

**PERILAKU BETON BERSERAT BAJA PASCA
BAKAR PADA KONDISI TAK TERKEKANG
DAN TERKEKANG TERHADAP
BEBAN UNIAKSIAL**

DISERTASI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mencapai Gelar Doktor



**Purwanto
132016010008**

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2021**

**PERILAKU BETON BERSERAT BAJA PASCA
BAKAR PADA KONDISI TAK TERKEKANG
DAN TERKEKANG TERHADAP
BEBAN UNIAKSIAL**

DISERTASI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mencapai Gelar Doktor



Purwanto

132016010008

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2021**

HALAMAN PENGESAHAN
PERILAKU BETON BERSERAT BAJA PASCA BAKAR PADA KONDISI
TAK TERKEKANG DAN TERKEKANG TERHADAP
BEBAN UNIAKSIAL



Oleh:

Purwanto

132016010008

Disetujui

Hari/Tanggal: Jumat, 5 Novemberr 2021

Promotor

Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.


Ko – Promotor

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D

PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2021

LEMBAR PENGUJI
SIDANG UJIAN DISERTASI
Hari/Tanggal: Kamis, 28 Oktober 2021

Ketua Sidang:



Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT.,Ph.D

Promotor



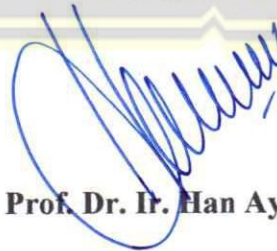
Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Ko - Promotor



Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D

Penguji Eksternal



Prof. Dr. Ir. Han Ay Lie., M.Eng

Penguji Internal



Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA

Penguji Internal

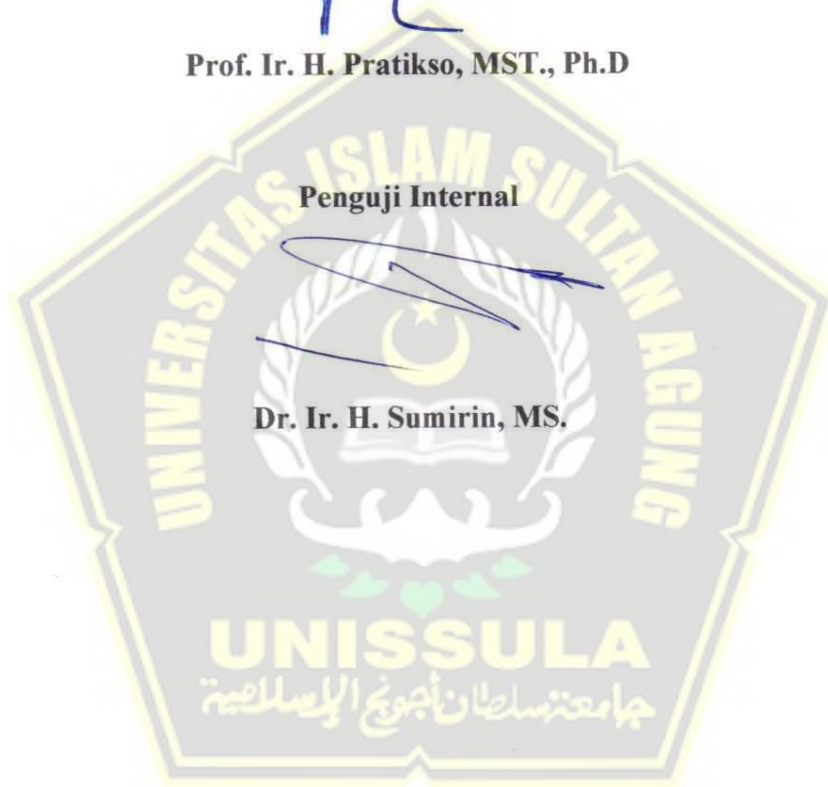


Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D

Penguji Internal



Dr. Ir. H. Sumirin, MS.



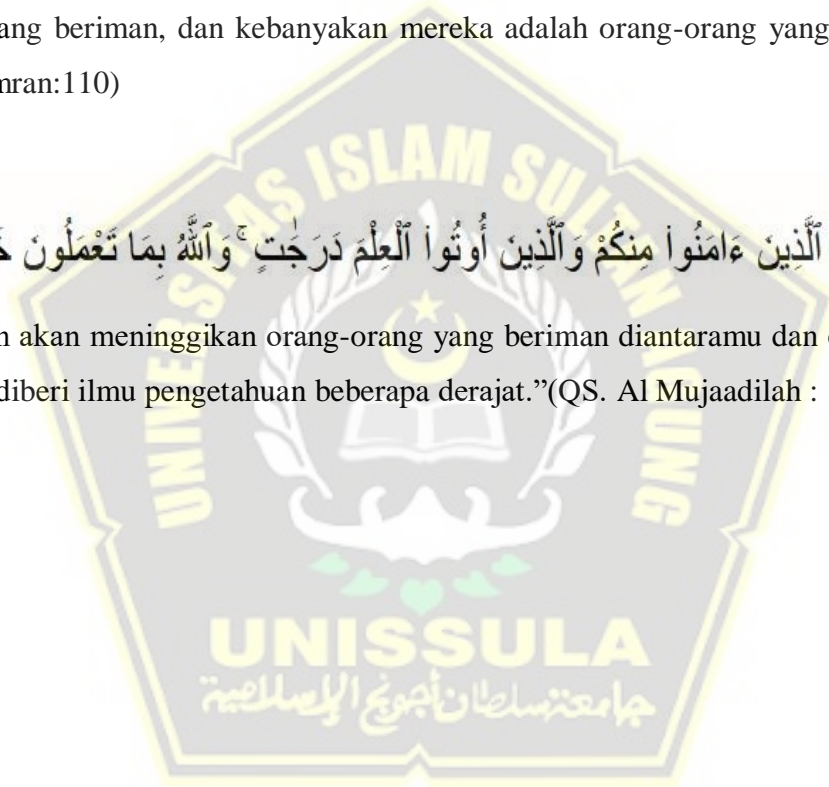
MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ
الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, diantara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik. (QS- Ali-Imran:110)

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”(QS. Al Mujaadilah : 11)



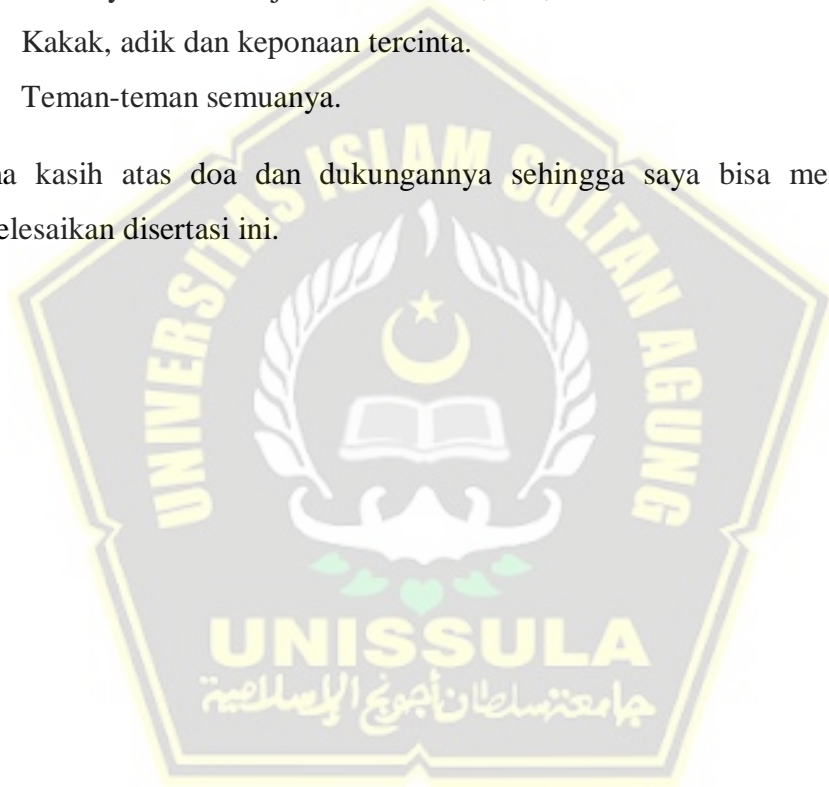
PERSEMBAHAN

Puji syukur Kami panjatkan Kehadirat Allah SWT, yang senantiasa memberikan kita limpahan rahmat serta ridhoNya, serta Sholawat dan Salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang membawa dan menerangi hari nurani kita, menjadi cahaya bagi segala perbuatan mulia.

Disertasi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya (Alm. Bp. Atmo Sutoyo dan Ibu Tumirah, Alm. Bp. H. Djadja Sumardja dan Ibu. Hj. Sukinah).
2. Istri saya tercinta Hj. Hani Purwanti, ST.,MT.
3. Kakak, adik dan keponaan tercinta.
4. Teman-teman semuanya.

Terima kasih atas doa dan dukungannya sehingga saya bisa menyusun dan menyelesaikan disertasi ini.



ABSTRAK

Perilaku beton berserat baja pasca bakar sangat penting untuk dievaluasi secara mendalam karena akan sangat menentukan kapasitas struktur eksisting pasca mengalami kebakaran. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama dapat dilengkapinya *database* perilaku beton berserat, terutama kondisi pasca bakar, memodelkan perilaku keruntuhan beton berserat pasca bakar dan mengembangkan persamaan analitik kekangan (*confined*). Program eksperimen dilakukan dengan membuat dan mengevaluasi lebih dari seratus spesimen, dimana spesimen dibagi menjadi dua kategori utama yaitu spesimen tak terkekang dan spesimen yang dipasang tulangan pengekang. Kedua kategori spesimen di atas masing-masing dibagi menjadi spesimen yang dibakar, dan spesimen tak dibakar sebagai kontrol terhadap spesimen pasca bakar. Spesimen tak terkekang dan beton terkekang meninjau beberapa variabel yaitu kuat tekan beton. Variabel lainnya adalah volume fraksi serat di dalam beton yaitu sebesar 0%, 1% dan 2%, dan durasi pembakaran yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Spesimen beton terkekang menggunakan cincin/*hoop* bulat, dimana variabel yang ditinjau sama dengan variabel pada spesimen beton tak terkekang, ditambah variabel lainnya yaitu rasio volumetrik atau spasi tulangan *hoop*. Semua spesimen beton terkekang tanpa menggunakan selimut beton. Standar pembakaran spesimen mengikuti ketentuan di dalam ASTM dimana pembakaran spesimen dilakukan setelah beton berumur 90 hari. Semua spesimen diuji terhadap beban uniaksial tekan kapasitas 2000 kN secara monotonik menggunakan mesin uji tekan dengan sistem kontrol deformasi. Semua spesimen tanpa serat mengalami penurunan kekuatan seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran. Spesimen beton mutu menengah dan mutu tinggi kehilangan kekuatan 25% hingga 40% dari kekuatan awalnya jika dibakar pada waktu 1 dan 2 jam, dan kekuatannya kembali menurun jika spesimen tersebut dibakar hingga 3 jam. Data-data hasil eksperimen beton tak terkekang tersebut digunakan untuk mengembangkan model tegangan-regangan beton tak terkekang pasca bakar. Hasil validasi menunjukkan bahwa ekspresi analitik yang diusulkan mampu memprediksi hasil eksperimen beton berserat baja mutu normal hingga mutu tinggi dengan berbagai variasi fraksi serat dan durasi pembakaran. Secara umum, penambahan volume fraksi serat, peningkatan rasio volumetrik atau reduksi spasi tulangan *hoop* mampu meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang, baik pada kondisi suhu normal maupun kondisi pasca bakar. Model kekangan beton berserat baja pasca bakar dikembangkan di dalam penelitian ini, dengan melakukan modifikasi terhadap model kekangan eksisting, serta menambah beberapa persamaan desain yang diturunkan dari hasil eksperimen. Hasil validasi antara model kekangan usulan dengan hasil eksperimen memperlihatkan bahwa model usulan mampu memprediksi perilaku pra dan pasca puncak beton berserat terkekang dalam kondisi tak dibakar maupun kondisi pasca bakar.

Kata kunci : Tegangan-Regangan, Serat Baja, Volume Fraksi, Kuat Tekan Beton, Durasi Pembakaran, Model Kekangan.

ABSTRACT

The behavior of post-burned steel fibrous concrete is fundamentally significant to be elaborated in depth because it will greatly determine the capacity of the existing structure after experiencing a fire. This research was conducted with the primary objective of completing a database of fibrous concrete behavior, especially post-burned conditions, modeling the failure behavior of post-burned fibrous concrete and developing analytical confinement equations (confined). The experimental program was carried out by making and evaluating more than one hundred specimens, of which the specimens were divided into two primary categories, namely unfettered specimens and specimens with reinforcing bars. The two categories of specimens above were divided into burned specimens and unburned specimens as a control for post-burned specimens. Unfettered specimens and confined concrete consider several variables, namely the compressive strength of concrete. Other variables comprise the volume on fiber fraction in the concrete which is 0%, 1% and 2%, and the duration of burning represents 1 hour, 2 hours, 3 hours. Confined concrete specimens used round rings with the same variables on unbridled concrete only added with volumetric ratio variables or round reinforcement spacing. All concrete specimens were confined without the use of concrete covers. The standard for burning specimens follows the provisions in ASTM wherein the burning of specimens was carried out after the concrete was 90 days old. All specimens were tested against an uniaxial compression load with a capacity about 2000 kN monotonically using a compression testing machine with a deformation control system. All specimens without fibers experienced a decrease in strength with increasing burning time. Medium and high-strength concrete specimens lose 25% to 40% of their initial strength if burned for 1 and 2 hours, if they are burned for 3 hours their strength will decrease, although not drastically. The experimental data from the unconfined concrete are employed be used to develop the post-burned stress-strain model of unconfined concrete. The validation results show that the proposed one is able to predict both the experimental results of normal to high strength steel fibrous concrete with various variations of fiber fraction and duration of burning. The addition of the volume of fiber fraction and the increase in the volumetric ratio can increase the strength and ductility of confined concrete, both under normal temperature conditions and post-burn conditions. The post-burned steel fibrous concrete confinement model was developed in this research by modifying the existing confinement model, and adding several design equations derived from the experimental results. The validation results between the proposed confinement model and the experimental results show that the proposed model is able to predict the pre- and post-top behavior of confined fibrous concrete in unburned and post-burned conditions.

Keywords: Stress-Strain, Steel fiber, Fraction Volume, Compressive Strength of Concrete, Burning Duration, Confinement Model.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala Puji bagi Allah SWT, atas segala Ridho dan KaruniaNya sehingga penulis bisa menyelesaikan disertasi dengan judul ” **Perilaku Beton Berserat Baja Pasca Bakar Pada Kondisi Tak Terkekang dan Terkekang Terhadap Beban Uniaksial**”. Disertasi ini sebagai syarat untuk memperoleh Gelar Doktor Teknik Sipil pada Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada beberapa pihak yang telah banyak membantu khususnya kepada yang terhormat:

1. Ketua Pengurus, Ketua Pembina dan Ketua Pengawas Yayasan Alumni Universitas Diponegoro beserta anggotanya yang telah banyak memberikan bantuan dan fasilitas..
2. Ketua Dewan Penyantun Universitas Semarang beserta anggotanya yang telah banyak memberikan bantuan dan fasilitas..
3. Rektor, Wakil Rektor 1, Wakil Rektor 2 dan Wakil Rektor 3 Universitas Semarang yang telah memberikan kesempatan dan dukungannya
4. Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T. selaku Promotor yang dengan sabar memberikan arahan dan bimbingan yang sangat bermanfaat untuk terselesainya disertasi ini.
5. Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D selaku Co-Promotor yang telah memberikan arahan dan bimbingan yang sangat bermanfaat untuk terselesainya disertasi ini.
6. Pengelola Program Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Semarang (Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA dan Prof. Dr. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D), Mas Wildan dan Mbak Mimi yang telah banyak memberikan bantuan dan fasilitas.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pengampu Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
8. Bapak dan Ibu Dekan, Ketua Lembaga dan Direktur Program Pasca Sarjana dilingkungan Universitas Semarang, terima kasih atas dukungan dan Doanya

9. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Universitas Semarang, terima kasih atas dukungan dan Doanya.
10. Koordinator dan Tenaga Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Diponegoro (Dr. Ir. Purwanto, MT, Tatang, Bowo dan Niko) terima kasih atas semua bantuan dan fasilitasnya.
11. Manajer Krematorium Kedungmundu Kota Semarang dan Tenaga Krematorium (Hariyadi dan Zulkani) terima kasih atas semua bantuan dan fasilitasnya.
12. Pimpinan PT. Nurcahya Jaya Mandiri Beton (Drs. H. Sugiarto), Kepala *Batching Plant* (Hartanto, ST), Koordinator *Batching Plant* (Dhamang Budi Cahyono, ST.,MT) dan Kepala Laboratorium (Mas Rico, ST), terima kasih atas semua bantuan dan fasilitasnya.
13. Teman-teman seperjuangan angkatan pertama Program Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Semarang.
14. Semua pihak yang telah memberikan segala bentuk dukungan dan dorongan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari, laporan disertasi ini masih jauh dari yang diharapkan, kritik dan saran penulis harapkan untuk memperbaikinya. Semoga laporan itu dapat memenuhi sebagai persyaratan yang ditetapkan.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Semarang, Nopember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xxxii
DAFTAR NOTASI.....	xxxiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxxv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Hipotesis	5
BAB II.....	7
STUDI PUSTAKA	7
2.1. Beton Serat.....	7
2.2. Penambahan Serat pada Beton.....	12
2.3. Tingkat Kerusakan Gedung Pasca Kebakaran.....	22
2.4. Dampak Beton Pasca Bakar.....	23
2.5. Pengekangan beton.....	25
2.6. Perilaku Tegangan-Regangan Beton Terkekang	27
2.7. Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang	30
2.8. Pengaruh Kuat Tekan Beton.....	31
2.9. Pengaruh Rasio Tulangan Lateral	32
2.10. Pengaruh Spasi Tulangan Lateral	32
2.11. Pengaruh Tegangan Leleh Tulangan Lateral.....	32
2.12. Pengaruh Tulangan Longitudinal.....	33

2.13. Daktilitas.....	33
2.14. Model Kekangan Beton Berserat Baja.....	35
2.14.1 Model Mansur <i>et. al</i>	35
2.14.2 Model Kekangan Campione.....	36
2.14.3 Model Lima & Giongo	37
2.14.4 Model Paultre <i>et al</i>	38
BAB III.....	44
METODE PENELITIAN.....	44
3.1. Pembuatan Benda Uji dan Tempat Pengujian.	44
3.2. Bahan / Material.....	45
3.3. Spesifikasi Benda Uji	45
3.4. Model benda Uji Terkekang	46
3.5. Nomenklatur	47
3.6. Tempat Pembakaran	48
3.7. Tahap Pengujian.....	50
3.8. Alat-alat pengujian	50
3.9. Prosedur Pengujian Tekan	55
3.10. Pengolahan data hasil pengujian	57
3.11. <i>Toughness Index</i>	60
3.12. Bagan Alir.....	59
BAB IV	61
ANALISA DATA DAN HASIL ANALISA	61
4.1. Persiapan Bahan.....	61
4.2. Rancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	63
4.3. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 1	64
4.4. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 2 dan Proses Pembakaran.....	66
4.5. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 3, Proses Pembakaran dan Pemasangan <i>Strain Gauge</i>	70
4.6. Pengujian Tekan Beton	73
4.7. Variabel Penelitian	73
BAB V.....	74
HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN	74
5.1. Hasil Eksperimen Dan Pembahasan Beton Polos/Tak Terkekang	

(UnConfined)	74
5.1.1. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i>	77
5.1.2. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i> yang dibakar selama 1 jam.....	78
5.1.3. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i> Yang Dibakar Selama 2 Jam	79
5.1.4. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i> yang dibakar selama 3 jam.....	79
5.1.5. Degradasi Tegangan Puncak Beton Terhadap Lamanya Pembakaran	80
5.1.6. Regangan Puncak Beton Yang Tidak Dibakar Dan Beton Yang Dibakar.....	82
5.1.7. Perilaku Tegangan Regangan Spesimen Tanpa Bakar	84
5.1.8. Perilaku Tegangan Regangan Spesimen Pasca Bakar	86
5.1.9. Pengaruh Serat Terhadap Waktu Pembakaran	91
5.1.10. Pengembangan Model Tegangan Regangan Beton Tak Terkekang Berserat Baja Pasca Kebakaran	95
5.1.11. Untuk Volume Fraksi (V_f)= 0%	97
5.1.12. Untuk Volume Fraksi (V_f) 1%	98
5.1.13. Untuk Volume Fraksi (V_f) 2%	99
5.1.14. Validasi Usulan dengan hasil eksperimen untuk beton yang tidak dibakar.....	100
5.2. Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan	118
5.3. Modus Keruntuhan Beton Terkekang	119
5.3.1 Modus keruntuhan beton serat terkekang tanpa bakar sengkang S100	120
5.3.2 Modus keruntuhan beton serat terkekang pasca bakar <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i> untuk S100.....	120
5.3.3 Modus keruntuhan beton serat terkekang tanpa bakar <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan <i>HSC</i> untuk S50.....	121
5.3.4 Modus keruntuhan beton serat terkekang pasca bakar <i>NSC</i> , <i>MSC</i> dan	

HSC untuk S50.....	121
5.4. Perilaku Tegangan-Regangan Beton Terkekang.....	122
5.4.1 Hasil-Hasil Parameter Desain	122
5.4.2 Efek Pengaruh Serat.....	126
5.4.3 Pengaruh pembakaran untuk Kekangan Ø5.5-100.....	138
5.4.4 Pengaruh pembakaran untuk Kekangan Ø5.5-50.....	144
5.4.5 Efek Pengaruh Spasi Tulangan Pengekang (<i>Hoop</i>).....	150
5.4.6 Efek Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang (ϵ_{ccf}').....	167
5.4.7 Efek Pembakaran Terhadap Regangan Beton Terkekang Saat Tegangan Turun 50% Pasca Puncak (ϵ_{ccf50}).....	171
5.4.8 Perbandingan Model-model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Spesimen Tak Dibakar/Suhu Normal.....	174
5.5. Pengembangan Model Kekangan pada Kondisi Tidak Dibakar dan Pasca Bakar	185
5.5.1. Kondisi Beton Suhu Normal (Tidak Dibakar)	185
5.5.2. Kondisi Beton Pasca Bakar	188
5.5.3. Validasi Model dengan Eksperimen.....	193
BAB VI.....	231
KESIMPULAN DAN SARAN	231
6.1. Kesimpulan.....	231
6.1.1 Beton Tak Terkekang.....	231
6.1.2 Beton Terkekang	232
6.2. Penelitian Yang Masih Terbuka.....	232
DAFTAR PUSTAKA	234

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Regangan Beton Serat Baja (Twin1tec, 2002)	8
Gambar 2. 2 Pengaruh konsentrasi serat dan ratio l/d terhadap Kuat Tarik.....	8
Gambar 2. 3 Pengaruh ratio l/d terhadap Keliatan (<i>toughness</i>) Beton (Beaudoin, 1990	9
Gambar 2. 4 Hubungan Antara Kekuatan Tekan dan Serat Fraksi Volume Serat (Song & Hwang, 2004).....	14
Gambar 2. 5 Hubungan Antara Tarik Terpisah Kekuatan, Modulus Pecah dan ..	14
Gambar 2. 6 Macam Serat (Soroushian & Bayasi, 1991)	16
Gambar 2. 7 Degradasi Kuat Tekan Beton pada berbagai Temperatur	20
Gambar 2. 8 Perilaku tegangan-regangan beton dengan variasi suhu	24
Gambar 2. 9 Perilaku tegangan-regangan beton dengan variasi $f'c$, suhu 300°C.	24
Gambar 2. 10 Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang (Saatcioglu & Razvi,1992).....	28
Gambar 2. 11 Diagram beban-lendutan beton bertulang (Paulay & Priestley, 1992)	34
Gambar 2. 12 Model tegangan-regangan (Naeimi et. al 2021)	40
Gambar 3.1 Pengekangan tulangan Spasi 50 mm	47
Gambar 3.2 Pengekangan tulangan Spasi 100 mm.....	47
Gambar 3. 3. Tampak Dalam Tungku.....	48
Gambar 3.4. Penataan Benda Uji Dalam Tungku	49
Gambar 3. 5. Mekanisme Pembakaran	49
Gambar 3. 6. Universal Testing Machine	50
Gambar 3. 7. Load Cell Kapasitas 200	51
Gambar 3. 8. Strain Gauge Baja	51
Gambar 3. 9. Strain Gauge Beton.....	52
Gambar 3. 10. Pemasangan Strain Gauge pada Tulangan Longitudinal.....	52
Gambar 3. 11. Pemasangan Strain Gauge pada Tulangan Sengkang	52
Gambar 3. 12. Data Logger Type TSD-630.....	53
Gambar 3. 13. Hubungan/Konversi Suhu Terhadap Durasi Pembakaran (ASTM E 119 – Ooa, 2000)	54

Gambar 3. 14 Grafik Hubungan Antara Suhu Dengan Lamanya Pembakaran (Harprastanti (2017) maupun Antonius et. al (2019, 2020).....	54
Gambar 3. 15. Setting Pengujian	56
Gambar 3. 16. Pengujian spesimen 1	56
Gambar 3. 17. Pengujian spesimen 2.....	56
Gambar 3. 18. Visual hasil uji tekan Beton.....	57
Gambar 3. 19. Penentuan beban yang dipikul beton	58
Gambar 3.20 Parameter beton tak terkekang dan beton terkekang	58
Gambar 3. 21. Definisi penentuan Toughness Index.....	60
Gambar 4. 1. Potongan Kawat Bendrat.....	61
Gambar 4. 2. Agregat Kasar	61
Gambar 4. 3 .Agregat Halus	62
Gambar 4. 4 Gambar 4.4: Fly Ash.....	62
Gambar 4. 5. Sika Viscocrete 1003	63
Gambar 4. 6. Semen Gresik.....	64
Gambar 4. 7. Pengadukan beton dengan Mixer	65
Gambar 4. 8. Hasil Adukan Beton.....	65
Gambar 4. 9. Trial Uji Slump	65
Gambar 4. 10. Hasil Trial Uji Slump	66
Gambar 4. 11. Sample Benda Uji	66
Gambar 4. 12 Proses Pengangkutan.....	66
Gambar 4. 13 Proses Penataan beton.....	67
Gambar 4. 14 Tampak Penataan Beton.....	67
Gambar 4. 15 Proses Pembakaran	68
Gambar 4. 16. Tampak samping tungku	68
Gambar 4. 17. Lubang Kontrol Tungku.....	68
Gambar 4. 18. Alat Pengukur Suhu	69
Gambar 4. 19 Beton Pasca Pembakaran	69
Gambar 4. 20 Pembongkaran Beton	69
Gambar 4. 21. Beton Pasca Bakar	70
Gambar 4. 22. Rakitan Tulangan S50.....	70
Gambar 4. 23. Spesimen 100x200 mm.....	71

Gambar 4. 24. Tulangan dalam Spesimen	71
Gambar 4. 25. Beton S100 dan S50.....	71
Gambar 4. 26. Tampak dalam Tungku	72
Gambar 4. 27. Persiapan Pembakaran	72
Gambar 4. 28. Proses Pembakaran	72
Gambar 5. 1. Jenis keruntuhan beton tak kekang tanpa bakar NSC.....	77
Gambar 5. 2 Jenis keruntuhan beton tak kekang tanpa bakar MSC	77
Gambar 5. 3. Jenis Keruntuhan Beton Tak Terkekang Tanpa Bakar HSC.....	78
Gambar 5. 4 Jenis Keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 1 Jam	78
Gambar 5. 5. Jenis Keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 2 Jam.....	79
Gambar 5. 6 Jenis keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 3 Jam	79
Gambar 5. 7. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran NSC.....	80
Gambar 5. 8. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran MSC	80
Gambar 5. 9. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran HSC.....	81
Gambar 5. 10. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran,	82
Gambar 5. 11. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran,	83
Gambar 5. 12. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran,	83
Gambar 5. 13. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=34.9$ MPa).....	84
Gambar 5. 14. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=50.6$ MPa).....	85
Gambar 5. 15. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=70.5$ MPa).....	85
Gambar 5. 16. Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c =34,9$ MPa	86
Gambar 5. 17. Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c =50,6$ MPa	87
Gambar 5. 18 Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'c =70,5$ MPa dengan $V_f=0\%$ (tanpa serat).....	87
Gambar 5. 19 Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c =34,9$ MPa Dengan $V_f=1\%$	88
Gambar 5. 20 Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'c =50,6$ MPa dengan $V_f=1\%$	88
Gambar 5. 21 Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'c =70,5$ MPa dengan $V_f=1\%$	89

Gambar 5. 22. Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'_c = 34,9$ MPa dengan $V_f = 2\%$	89
Gambar 5. 23. Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'_c = 50,6$ MPa dengan $V_f = 2\%$	90
Gambar 5. 24. Pengaruh lamanya pembakaran untuk mutu beton $f'_c = 70,5$ MPa dengan $V_f = 2\%$	90
Gambar 5. 25. Pengaruh serat pada pembakaran 1 jam untuk $f'_c = 34,9$ MPa	91
Gambar 5. 26. Pengaruh serat pada pembakaran 1 jam untuk $f'_c = 50,6$ MPa	91
Gambar 5. 27. Pengaruh serat pada pembakaran 1 jam untuk $f'_c = 70,5$ MPa	92
Gambar 5. 28. Pengaruh serat pada pembakaran 2 jam untuk $f'_c = 34,9$ MPa	92
Gambar 5. 29. Pengaruh serat pada pembakaran 2 jam untuk $f'_c = 50,6$ MPa	93
Gambar 5. 30. Pengaruh serat pada pembakaran 2 jam untuk $f'_c = 70,5$ MPa	93
Gambar 5. 31. Pengaruh serat pada pembakaran 3 jam untuk $f'_c = 34,9$ MPa	94
Gambar 5. 32. Pengaruh serat pada pembakaran 3 jam untuk $f'_c = 50,6$ MPa	94
Gambar 5. 33. Pengaruh serat pada pembakaran 3 jam untuk $f'_c = 70,5$ MPa	95
Gambar 5. 34. Hubungan Tegangan Dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 0\%$	97
Gambar 5. 35. Hubungan Regangan Dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 0\%$	97
Gambar 5. 36. Hubungan Tegangan Dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 1\%$	98
Gambar 5. 37. Hubungan Tegangan Dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 1\%$	98
Gambar 5. 38. Hubungan Tegangan Dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 2\%$	99
Gambar 5. 39. Hubungan Tegangan dan Lama Pembakaran Dengan $V_f = 2\%$	99
Gambar 5. 40. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f'_c = 34,9$ MPa Tanpa Bakar Dengan $V_f = 0\%$	100
Gambar 5. 41. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f'_c = 34,9$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 1\%$	101
Gambar 5. 42. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f'_c = 34,9$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 2\%$	101
Gambar 5. 43. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f'_c = 50,6$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 0\%$	102
Gambar 5. 44. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f'_c = 50,6$ MPa Tanpa Bakar Dengan $V_f = 1\%$	102

Gambar 5. 45. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 2\%$	103
Gambar 5. 46. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 0\%$	103
Gambar 5. 47. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 1\%$	104
Gambar 5. 48. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Tidak Dibakar Dengan $V_f = 2\%$	104
Gambar 5. 49. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 0\%$	105
Gambar 5. 50. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 1\%$	105
Gambar 5. 51 Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 2\%$	106
Gambar 5. 52. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 0\%$	106
Gambar 5. 53. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 1\%$	107
Gambar 5. 54. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 2\%$	107
Gambar 5. 55. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 0\%$	108
Gambar 5. 56. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 1\%$	108
Gambar 5. 57 Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam Dengan $V_f = 2\%$	109
Gambar 5. 58. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 0\%$	109
Gambar 5. 59. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 1\%$	110
Gambar 5. 60. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 2\%$	110

Gambar 5. 61. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 0\%$	111
Gambar 5. 62. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 1\%$	111
Gambar 5. 63. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 2\%$	112
Gambar 5. 64. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 0\%$	112
Gambar 5. 65. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk	113
Gambar 5. 66. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 2 Jam Dengan $V_f = 2\%$	113
Gambar 5. 67. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 0\%$	114
Gambar 5. 68. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 1\%$	114
Gambar 5. 69. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 2\%$	115
Gambar 5. 70. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 0\%$	115
Gambar 5. 71. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 1\%$	116
Gambar 5. 72. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 2\%$	116
Gambar 5. 73. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 0\%$	117
Gambar 5. 74. Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70,5$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 1\%$	117
Gambar 5. 75 Grafik Perbandingan Antara Model Dengan Eksperimen Untuk $f_c' = 70,5$ MPa Dibakar 3 Jam Dengan $V_f = 2\%$	118
Gambar 5. 76 Grafik Kuat leleh Baja Tulangan	119
Gambar 5. 77 Keruntuhan beton serat terkekang tanpa bakar sengkang S100 ...	120
Gambar 5. 78 Keruntuhan Beton beton serat terkekang bakar sengkang S100 ..	120

Gambar 5. 79 Keruntuhan Beton beton serat terkekang tanpa bakar sengkang S50	121
Gambar 5. 80 Keruntuhan Beton beton serat terkekang bakar sengkang S50	121
Gambar 5. 81 Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 34.9 MPa Spasi 100	126
Gambar 5. 82 Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	127
Gambar 5. 83 Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	127
Gambar 5. 84 Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 100	128
Gambar 5. 85 Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	129
Gambar 5. 86 Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	129
Gambar 5. 87 Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 100	130
Gambar 5. 88 Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	131
Gambar 5. 89. Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	131
Gambar 5. 90. Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	132
Gambar 5. 91. Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	133
Gambar 5. 92. Pengaruh serat dibakar 1 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	133
Gambar 5. 93. Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	134
Gambar 5. 94 Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	135

Gambar 5. 95 Pengaruh serat dibakar 2 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	135
Gambar 5. 96 Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	136
Gambar 5. 97 Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	137
Gambar 5. 98 Pengaruh serat dibakar 3 jam untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	137
Gambar 5. 99 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 100	138
Gambar 5. 100 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 100	139
Gambar 5. 101 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 2% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 100	139
Gambar 5. 102 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	140
Gambar 5. 103 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	141
Gambar 5. 104 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 2% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 100	141
Gambar 5. 105 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	142
Gambar 5.106 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	143
Gambar 5. 107 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 2% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 100	143
Gambar 5. 108 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	144
Gambar 5. 109 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	145
Gambar 5. 110 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 2% untuk mutu beton 34.9 MPa spasi 50	145

Gambar 5. 111 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	146
Gambar 5. 112. Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	147
Gambar 5. 113 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 50.6 MPa spasi 50	147
Gambar 5. 114. Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 0% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	148
Gambar 5. 115 Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 1% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	149
Gambar 5. 116. Pengaruh lama pembakaran terhadap Vf 2% untuk mutu beton 70.5 MPa spasi 50	149
Gambar 5. 117 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34,9 MPa dengan Vf = 0% dan dibakar 1 jam	150
Gambar 5. 118 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34,9 MPa dengan Vf = 1% dan dibakar 1 jam	151
Gambar 5. 119. Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34,9 MPa dengan Vf = 2% dan dibakar 1 jam	151
Gambar 5. 120. Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50,6 MPa dengan Vf = 0% dan dibakar 1 jam	152
Gambar 5. 121. Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50,6 MPa dengan Vf = 1% dan dibakar 1 jam	153
Gambar 5. 122 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50,6 MPa dengan Vf = 2% dan dibakar 1 jam	153
Gambar 5. 123 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70,5 MPa dengan Vf = 0% dan dibakar 1 jam	154
Gambar 5. 124 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan Vf = 1% dan dibakar 1 jam	155
Gambar 5. 125 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan Vf = 2% dan dibakar 1 jam	155
Gambar 5. 126 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan Vf = 0% dan dibakar 2 jam	156

Gambar 5. 127. Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 2 jam	157
Gambar 5. 128 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan dibakar 2 jam	157
Gambar 5. 129 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50.6 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan dibakar 2 jam	158
Gambar 5. 130 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50.6 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 2 jam	159
Gambar 5. 131 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan dibakar 2 jam	159
Gambar 5. 132 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 2 jam	160
Gambar 5. 133 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan dibakar 2 jam	161
Gambar 5. 134. Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan dibakar 3 jam	162
Gambar 5. 135 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 3 jam	162
Gambar 5. 136 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 34.9 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan dibakar 3 jam	163
Gambar 5. 137 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50.6 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan dibakar 3 jam	164
Gambar 5. 138 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50.69 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 3 jam	164
Gambar 5. 139 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 50.6 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan dibakar 3 jam	165
Gambar 5. 140 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan dibakar 3 jam	166
Gambar 5. 141 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan dibakar 3 jam	166
Gambar 5. 142 Pengaruh spasi terhadap kekuatan beton terkekang mutu 70.5 MPa dengan $V_f = 3\%$ dan dibakar 3 jam	167

Gambar 5. 143 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 34.9 MPa.....	168
Gambar 5. 144 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 50.6 MPa.....	168
Gambar 5. 145 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa.....	169
Gambar 5. 146 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 34.9 MPa	169
Gambar 5. 147 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 50.6 MPa	170
Gambar 5.148 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa	170
Gambar 5.149 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 34.9 MPa, spasi 100	171
Gambar 5.152 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 34.9 MPa, spasi 50	173
Gambar 5. 155 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 0\%$	175
Gambar 5. 156 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 1\%$	167
Gambar 5. 157 Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 2\%$	176
Gambar 5. 158 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 0\%$	177
Gambar 5. 159 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 0\%$	1777
Gambar 5. 160 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 1\%$	178
Gambar 5. 161 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 2\%$	1788
Gambar 5. 162 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50 dengan $V_f= 0\%$	179

Gambar 5. 163 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50 dengan Vf= 1%	180
Gambar 5.172. Efektifitas kekangan (Mander, 1988).....	188
Gambar 5. 173. Model perilaku tegangan-regangan beton terkekang	188
Gambar 5. 173. Regresi nilai ϵ_{ccf50} untuk pembakaran 1 jam	189
Gambar 5. 174. Regresi nilai ϵ_{ccf50} untuk pembakaran 2 jam	190
Gambar 5. 175. Regresi nilai ϵ_{ccf50} untuk pembakaran 3 jam	1900
Gambar 5. 176. Regresi tulangan pengekang	1911
Gambar 5. 178. Regresi nilai $\epsilon_{ccft'}$ terhadap waktu pembakaran untuk Vf=1%	1921
Gambar 5. 179. Regresi nilai $\epsilon_{ccft'}$ terhadap waktu pembakaran untuk Vf=2%	1933
Gambar 5.180 Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100	1933
Gambar 5. 182 Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 183 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ dan Vf=2%	1944
Gambar 5. 183. Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ dan Vf=0%	1955
Gambar 5. 184. Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ dan Vf=0%	197
Gambar 5. 185. Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ dan Vf=1%	197
Gambar 5.186. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ dan Vf=2%	198
Gambar 5. 187 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ dan Vf=0%	198
Gambar 5. 188. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ dan Vf=1%	199
Gambar 5.189. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ dan Vf=2%	199
Gambar 5. 190. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ dan Vf=0%	200

Gambar 5. 191. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ dan $V_f=1\%$	200
Gambar 5. 192. Model usulan vs eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ dan $V_f=0\%$	201
Gambar 5. 195. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=0\%$	203
Gambar 5. 196. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=1\%$	203
Gambar 5. 197. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=2\%$	204
Gambar 5. 198. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=0\%$	204
Gambar 5. 199 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=2\%$	205
Gambar 5.200. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=2\%$	205
Gambar 5. 201. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=0\%$	206
Gambar 5. 202. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$	206
Gambar 5. 203. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$	207
Gambar 5.204. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=0\%$	207
Gambar 5. 205. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=1\%$	208
Gambar 5. 206. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=2\%$	208
Gambar 5. 207. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=1\%$	209
Gambar 5. 208. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=2\%$	209

Gambar 5. 209. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=0\%$	210
Gambar 5. 210. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$	210
Gambar 5. 211. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$	211
Gambar 5. 212. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$	211
Gambar 5.213. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=0\%$ dan dibakar selama 2 jam	212
Gambar 5. 214 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=1\%$ dan dibakar selama 2 jam	212
Gambar 5. 215. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=2\%$ dan dibakar selama 2....	213
Gambar 5. 216. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=0\%$ dan dibakar selama 2 jam	213
Gambar 5. 217. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=1\%$ dan dibakar selama 2 jam	214
Gambar 5. 218. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=2\%$ dan dibakar selama 2 jam	214
Gambar 5. 219. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=0\%$ dan dibakar selama 2 jam	215
Gambar 5. 220. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$ dan dibakar selama 2 jam	215

Gambar 5. 221 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 2 jam	216
Gambar 5. 222 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 2 jam	216
Gambar 5. 223. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 2 jam	217
Gambar 5. 224. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 2 jam	217
Gambar 5. 225 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 2 jam	218
Gambar 5. 226. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 2 jam	218
Gambar 5. 227. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 2 jam	219
Gambar 5. 228. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 2 jam	219
Gambar 5. 229. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 2 jam	220
Gambar 5. 230. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 2 jam	220

Gambar 5. 231. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	221
Gambar 5. 232 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	221
Gambar 5. 233. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	222
Gambar 5. 234. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	222
Gambar 5. 235. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	223
Gambar 5. 236. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	223
Gambar 5. 237. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	224
Gambar 5. 238. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	224
Gambar 5. 239. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	225
Gambar 5. 240. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 30.9$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	225

Gambar 5. 241. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 30.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	226
Gambar 5. 242. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 30.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	226
Gambar 5. 243 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	227
Gambar 5. 244. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	227
Gambar 5. 245 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	228
Gambar 5. 246. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$ dan dibakar selama 3 jam	228
Gambar 5. 247. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$ dan dibakar selama 3 jam	229
Gambar 5. 248. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 50 dengan mutu beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$ dan dibakar selama 3 jam	229

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perilaku fisik berbagai jenis serat (Mindness & Young, 1981)	12
Tabel 3. 1. Rencana Benda Uji	46
Tabel 4. 1. Mix Design Beton Serat 0%	63
Tabel 4. 2 Mix Design Beton Serat 1%	63
Tabel 4. 3 . Mix Design Beton Serat 2%	64
Tabel 5.1a. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Tidak Dibakar	74
Tabel 5.1b. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 1 Jam	76
Tabel 5.1c. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 2 Jam	77
Tabel 5.1d. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 3 Jam	77
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan.....	118
Tabel 5.3. Beton Terkekang tidak dibakar	122
Tabel 5.4 Beton Terkekang dibakar 1 jam	123
Tabel 5.5 Beton Terkekang dibakar 2 jam	124
Tabel 5.6 Beton Terkekang dibakar 3 jam	125

DAFTAR NOTASI

A_{core}	: luas penampang inti silinder
A_{sh}	: luas total tulangan lateral
A_{sp}	: luas penampang tulangan lateral
A_s	: luas tulangan longitudinal
A_e	: luas efektif penampang daerah terkekang
c	: koefisien gesekan pada kriteria Mohr-Coloumb
d_c	: diameter penampang inti beton
δ	: defleksi
E_c	: modulus elastisitas beton
e	: eksentrisitas beban
e_b	: eksentrisitas beban pada keadaan seimbang
f_2	: tegangan lateral
f_{cc}'	: tegangan maksimum beton terkekang
f_c'	: kuat tekan beton normal
f_{co}'	: tegangan puncak beton tanpa kekangan
f_{ccf}'	: tegangan puncak beton dengan kekangan
f_r	: tegangan sisa
f_s	: tegangan tulangan lateral saat respon maksimum
f_y	: tegangan leleh tulangan
f_l	: tegangan lateral tulangan
f_{le}	: tegangan lateral tulangan efektif
K	: peningkatan kekuatan beton
k_d	: jarak antara serat tertekan sampai garis netral penampang
k_e	: koefisien efektifitas kekangan
k_1	: faktor kelengkungan grafik setelah respon puncak
k_2	: faktor kurvatur grafik setelah respon puncak
m	: rasio antara tegangan tekan maksimum terhadap tegangan tarik maksimum
μ	: daktilitas beton terkekang
μ_ϕ	: daktilitas kurvatur
ρ'	: rasio volumetrik tulangan lateral
ρ	: rasio volumetrik tulangan longitudinal
ϵ_{co}	: regangan puncak beton tanpa kekangan
ϵ_c	: regangan puncak beton tak terkekang
ϵ_{ccf}'	: regangan puncak beton terkekang
ϵ_{ccft}'	: regangan puncak beton terkekang yang dibakar
ϵ_{cft}'	: regangan puncak beton tanpa kekang yang dibakar

- ϵ_{ccf50} : regangan beton terkekang pada saat tegangan turun sampai 50% dari tegangan maksimal
- ϵ_{50} : regangan beton tidak terkekang pada saat tegangan beton turun sampai 50% dari tegangan maksimum
- ϵ_{85} : regangan beton tanpa kekangan setelah respon puncak pada saat 85% dari tegangan puncak beton tanpa kekangan
- ϵ_{85c} : regangan beton tanpa kekangan setelah respon puncak pada saat 85% dari tegangan puncak beton terkekang
- s : spasi tulangan lateral
- V_f : volume fraksi
- w : berat beton

DAFTAR LAMPIRAN

- L.1 LAPORAN HASIL UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
- L.2 HASIL ANALISIS KANDUNGAN *FLY ASH*
- L.3 RANCANGAN CAMPURAN BETON UNTUK BETON MUTU
NORMAL, MUTU MENENGAH DAN MUTU TINGGI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material beton merupakan bahan yang populer digunakan pada struktur bangunan. Hingga saat ini, material beton normal telah dapat dirancang dan dibuat dengan kuat tekan lebih dari 100 MPa. Beton yang mempunyai kuat tekan di atas 41 MPa sering didefinisikan sebagai beton mutu tinggi. Antonius & Imran (2012) mendefinisikan kuat tekan beton menjadi 3 yaitu Beton Mutu Normal yang mempunyai kuat tekan di bawah 41 MPa, Beton Mutu Menengah yaitu beton yang mempunyai kuat tekan dari 41 hingga 59 MPa, dan Beton Mutu Tinggi yaitu beton yang mempunyai kuat tekan lebih dari 60 MPa. Semakin tinggi mutu beton akan menyebabkan perilaku beton pasca puncak semakin curam dan daktilitas berkurang (Antonius 2005, 2014, 2017; Bae & Bayrak 2003; Paultre & Legeron 2008; Korsun *et. al* 2015). Untuk mendapatkan daktilitas yang tinggi, salah satunya adalah dengan cara penambahan serat pada campuran betonnya atau dengan memberi pengeangan. Penambahan serat kawat kedalam adukan beton digunakan untuk mengatasi sifat-sifat kurang baik dari beton. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan tulangan serat pada beton yang disebar merata secara acak (*random*) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan. Penambahan serat dan pengeangan dipilih untuk meningkatkan daktilitas pada elemen strukturnya. Serat baja dapat menambah penyerapan energi yang lebih besar dan mempunyai ketahanan terhadap aus, sifat matrik yang lebih kompak akan mendapatkan kekakuan (*thougness*) yang lebih baik. Serat tersebut berfungsi untuk mencegah adanya retak-retak kecil sehingga beton serat lebih daktail dibanding dengan beton biasa. Selain itu penambahan serat (*fiber*) kedalam campuran beton mutu tinggi untuk beton bertulang dapat menghindari terjadinya *spalling* pada selimut beton (Paultre *et. al* 2010, Antonius, 2015).

Beberapa penelitian sejenis juga telah dilakukan untuk memperbaiki sifat kurang baik pada beton yaitu dengan menambah serat. Beberapa macam serat yang umum dipakai adalah baja (*steel*), kaca (*glass*), plastik (*polyphrropylene*) dan

karbon (*carbon*). (Soroushian & Bayasi, 1987, Kalwane *et. al* 2016, Retnaker *et. al* 2017).

Macam *fiber* tersebut mempunyai beberapa kelemahan antara lain biaya yang relatif mahal karena harus import dari luar negeri, sehingga untuk mengatasi solusi tersebut digunakan serat lokal dengan biaya yang relatif lebih murah. Kebutuhan sekarang ini dan mungkin yang akan datang jenis serat lokal yang sering dipakai adalah jenis serat baja, yaitu berupa potongan kawat bendrat yang memiliki kekuatan relatif lebih tinggi dalam memikul beban tarik. Disamping itu serat bendrat tidak mudah mengalami perubahan bentuk terhadap ikatan alkali semen, hanya serat ini tidak tahan terhadap korosi apabila tidak terlindungi dengan baik oleh beton.

Keuntungan penggunaan beton serat tersebut selain dapat mereduksi retak–retak yang timbul akibat beban juga beton memiliki kuat lentur yang tinggi sehingga mampu memikul beban lentur yang lebih besar. Akan tetapi mutu beton yang tinggi juga mempunyai kelemahan yaitu sering terjadi keruntuhan getas/keruntuhan secara tiba-tiba. Beton berserat terkekang mutu tinggi menjadi sangat populer, karena mempunyai karakter tahan gempa yang tinggi seperti daktilitas yang tinggi dan meningkatkan kekuatan.

Untuk menaikkan daktilitas dan kekuatan beton mutu tinggi selain dengan menggunakan serat, juga dapat dengan pengekangan. Model pengekangan telah banyak dilakukan penelitian, terutama untuk struktur kolom, (Mander *et. al* 1988) dan masih banyak lagi. Pengekangan difungsikan untuk meningkatkan daktilitas dan kapasitas dari elemen struktur. Elemen struktur yang daktail akan mampu berotasi secara maksimal dalam menyerap energi yang lebih banyak sehingga menjamin bangunan dari keruntuhan. Secara umum kekangan oleh tulangan lateral efektif jika beban semakin besar dan mendekati beban maksimum.

Beton berserat baja sangat sensitif terhadap suhu, terlebih pada suhu tinggi, dibanding dengan beton normal (tanpa serat). Kandungan baja di dalam beton adalah faktor utama yang mempengaruhi perilaku mekanik (seperti kuat tekan) beton berserat kawat baja. Di lain pihak, dalam beberapa tahun terakhir ini bangunan sipil sering mengalami kebakaran karena berbagai sebab, baik itu karena hubungan pendek arus listrik, ledakan kompor/tabung gas, ledakan bom, sambaran

petir, atau karena kerusakan-kerusakan yang dengan sengaja membakar gedung-gedung. Apabila kebakaran yang terjadi cukup lama dimungkinkan bisa mencapai suhu 900°C atau bahkan lebih, sehingga perlu diteliti beton berserat baja apabila berada pada suhu yang sangat tinggi tersebut.

Hingga dasawarsa terakhir, persamaan degradasi kuat tekan beton berserat, terutama serat baja, pada berbagai tingkatan suhu relatif masih belum banyak dihasilkan. Model konstitutif yang dikembangkan pada umumnya masih terbatas pada beton normal dari suhu normal hingga suhu tinggi (Kodur, BS EN, Li & Purkiss, Hertz, Aslani & Bastami, Xiao & Ezekiel, 2003). Oleh karena itu, diperlukan persamaan konstitutif beton berserat, terutama serat baja, pada berbagai tingkatan suhu maupun terhadap durasi pembakaran. Pemodelan beton berserat pasca bakar menjadi sangat penting karena akan menentukan tingkat kelayakan penggunaan struktur pasca kebakaran.

Meskipun struktur beton bertulang umumnya didesain tahan api, namun kinerja struktur elemen api ini harus dipahami terlebih dahulu sebelum digunakan. Akibat pembakaran akan menghasilkan panas yang akan berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur beton. Akibat tingginya temperatur suhu api, akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton, dan kemungkinan kekuatan beton sudah tidak maksimal. Kekuatan beton pasca bakar juga dipengaruhi oleh temperatur suhu, durasi waktu/lama kebakaran dan jenis bahan penyusun beton tersebut. Kegunaan serat bendrat telah direkomendasi oleh banyak peneliti untuk mengurangi dan menghilangkan resiko spalling pada beton dan dengan penggunaan serat bendrat dapat menaikkan sifat mekanik dari beton mutu tinggi terhadap peningkatan suhu.

Di lain pihak penelitian tentang perilaku beton berserat baja terkekang pasca bakar masih sangat terbatas, sehingga masih perlu dilakukan penelitian secara komprehensif, tentang perilaku tegangan-regangan dikembangkannya model kekangan beton berserat pasca bakar yang akan sangat berguna dan bermanfaat untuk memprediksi kapasitas struktur (terutama kolom) pada kondisi pasca bakar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas rumusan permasalahan adalah sebagai berikut:

- a. Peningkatan daktilitas pada elemen struktur dapat dilakukan dengan cara memberikan tambahan serat baja dan kekangan pada betonnya. Namun perlu evaluasi yang komprehensif dari prosentase serat baja yang digunakan.
- b. Perilaku mekanik beton berserat baja termasuk model tegangan-regangannya dengan variasi fraksi serat di dalam beton yang sesuai dengan kondisi material di Indonesia masih sangat minim.
- c. Akibat kebakaran menyebabkan perubahan temperatur yang cukup tinggi, sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan mendasar pada sifat-sifat struktur beton, salah satunya perilaku kekangan pada kolom. Namun model kekangan beton berserat pada suhu tinggi ataupun terhadap lamanya kebakaran masih sangat minim, sehingga sangat perlu penelitian yang komprehensif.
- d. Model kekangan beton berserat baja dalam kondisi pasca bakar masih sangat minim dan sangat perlu dikembangkan, karena model kekangan tersebut sangat menentukan dan dapat memastikan kapasitas penampang beton terkekang yang mengalami kebakaran.
- e. Di dalam standar beton di Indonesia yang terbaru (SNI-2847-2019), persamaan desain masih berdasarkan perilaku beton normal (tanpa serat). Persamaan desain berdasarkan perilaku mekanik beton berserat baja (termasuk persamaan desain tulangan pengekang) masih belum diatur. Diharapkan hasil penelitian ini menjadi salah satu masukan dalam pengembangan SNI-2847 nantinya.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengevaluasi kontribusi serat baja terhadap kekuatan dan daktilitas beton tak terkekang dan terkekang.

- b. Investigasi degradasi mutu beton berserat baja tak terkekang dan terkekang terhadap durasi pembakaran dengan variasi volume fraksi serat.
- c. Melakukan evaluasi deformasi beton berserat baja tak terkekang dan terkekang, terutama besaran regangan puncak dan perilaku pasca puncak pada kurva tegangan-regangan.
- d. Memodelkan beton berserat tak terkekang (perilaku tegangan-regangan) pada kondisi suhu normal maupun kondisi pasca bakar.
- e. Menurunkan model kekangan beton berserat pasca bakar dengan berbagai variasi volume serat di dalam beton.

1.4. Batasan Masalah

Di dalam penelitian ini, batasan masalah maupun asumsi yang diambil adalah sebagai berikut:

- a. Serat benrat yang digunakan mempunyai rasio panjang terhadap diameternya $40 \leq l/d \leq 50$.
- b. Variasi campuran serat benrat yang dipakai sebesar 0%, 1% dan 2% dari volume beton.
- c. Kuat tekan beton (f'_c) serat direncanakan mutu adalah mutu normal, menengah dan mutu tinggi atau sekitar 30 MPa, 50 MPa dan 70 MPa.
- d. Tulangan kekangan yang digunakan adalah berupa cincin/*hoop* bundar/bulat.
- e. Spesimen yang dibakar adalah terhadap lamanya pembakaran yaitu 1 jam, 2 jam dan 3 jam.
- f. Beban yang dikenakan terhadap spesimen adalah beban konsentrik uniaksial, dengan demikian tidak ada pengaruh kelangsingan.

1.5. Hipotesis

Beton berserat mempunyai sifat daktilitas yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal (tanpa serat). Volume fraksi serat baja yang terkandung di dalam beton mempunyai peranan yang signifikan dalam menentukan daktilitas komponen struktur. Namun, sama halnya dengan beton normal, beton berserat baja

akan kehilangan kekuatannya apabila berada pada suhu tinggi dan semakin lama dibakar. Degradasi kekuatan tersebut berlaku untuk beton tak terkekang maupun beton terkekang. Dari berbagai studi literatur menunjukkan bahwa beton berserat baja terkekang akan mengalami peningkatan daktilitas dibandingkan dengan beton berserat baja tak terkekang (namun peningkatan kekuatan tidak signifikan) jika dibakar pada suhu yang semakin tinggi maupun dibakar dalam waktu yang lebih lama.

BAB II

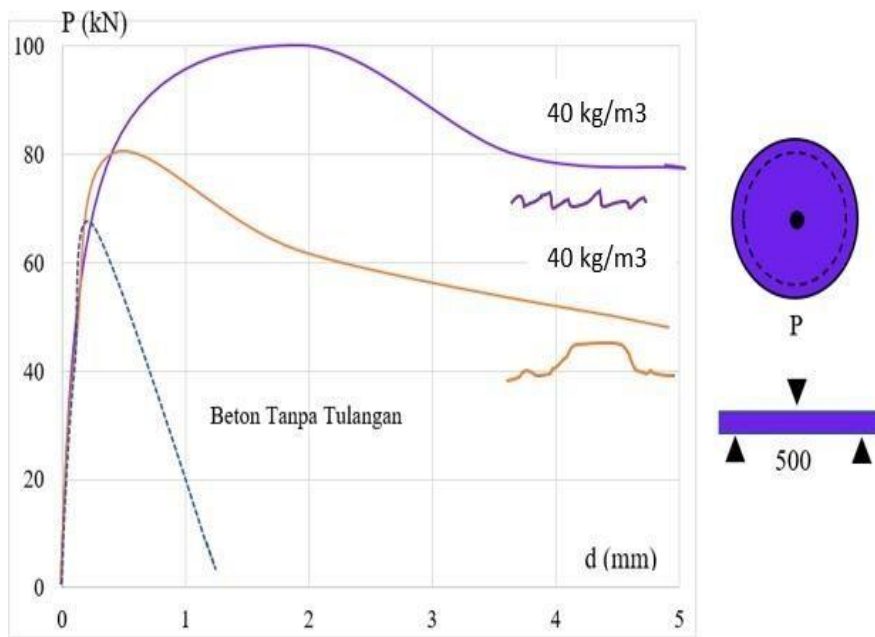
STUDI PUSTAKA

2.1. Beton Serat

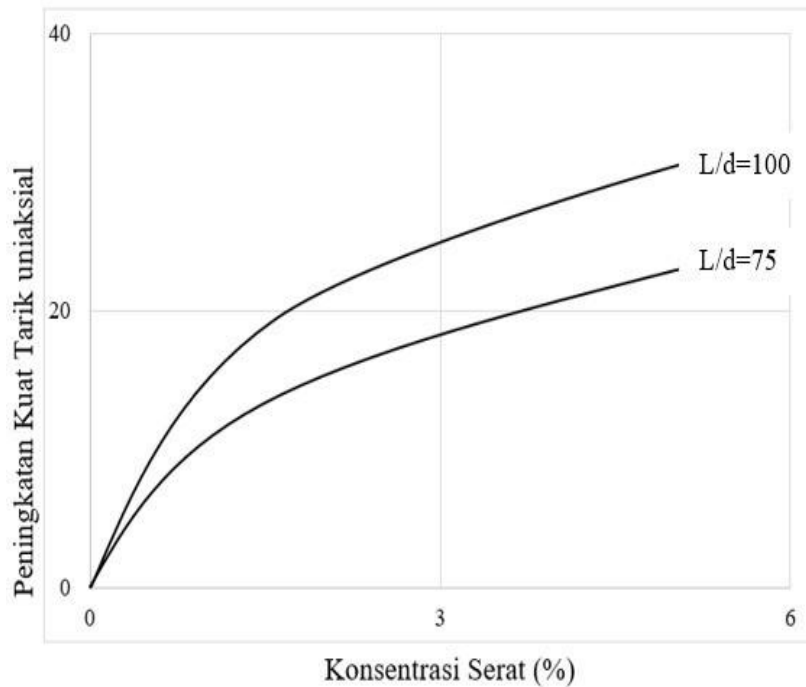
Beton serat (*fiber concrete*) adalah beton yang terbuat dari campuran semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, air dan serat dengan proporsi tertentu. Beton serat telah digunakan sejak dahulu kala dengan menggunakan rambut kuda untuk memperkuat pasta cemen dan jerami yang digunakan untuk memperkuat batu bata (Gani, M. S. J., 1997). *Steel fiber concrete* adalah sejenis beton yang menggunakan potongan-potongan serat baja yang terdistribusi pada beton. Beton ini dapat dikategorikan sebagai beton komposit yang terdiri dari agregat, pasir, serat baja dan semen sebagai bahan pengikat elemen-elemen yang ada pada beton (Kurganstalmost, 2002).

Steel fiber pada umumnya terbuat dari kawat yang terbuat dengan pemanasan rendah (*colddrawn wire*) dengan diameter sekitar 50 sampai 250 μm dan panjang 30 sampai 50 mm. Jumlah atau konsentrasi dari *steel fiber* yang akan ditambahkan pada adukan beton sangat tergantung pada ratio dari diameter dan panjangnya (l/d). Pada Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 terlihat dengan jelas bahwa dengan bertambahnya jumlah/konsentrasi dari steel fiber maka berpengaruh terhadap peningkatan kuat tarik (*tensile strength*), kuat kejut/tingkat keliatannya (*toughness strength*) dan regangan (*strain*) betonnya. Demikian pula dengan semakin tinggi ratio l/d maka terjadi peningkatan terhadap kuat tarik dan keliatan betonnya (Beaudoin, 1990)

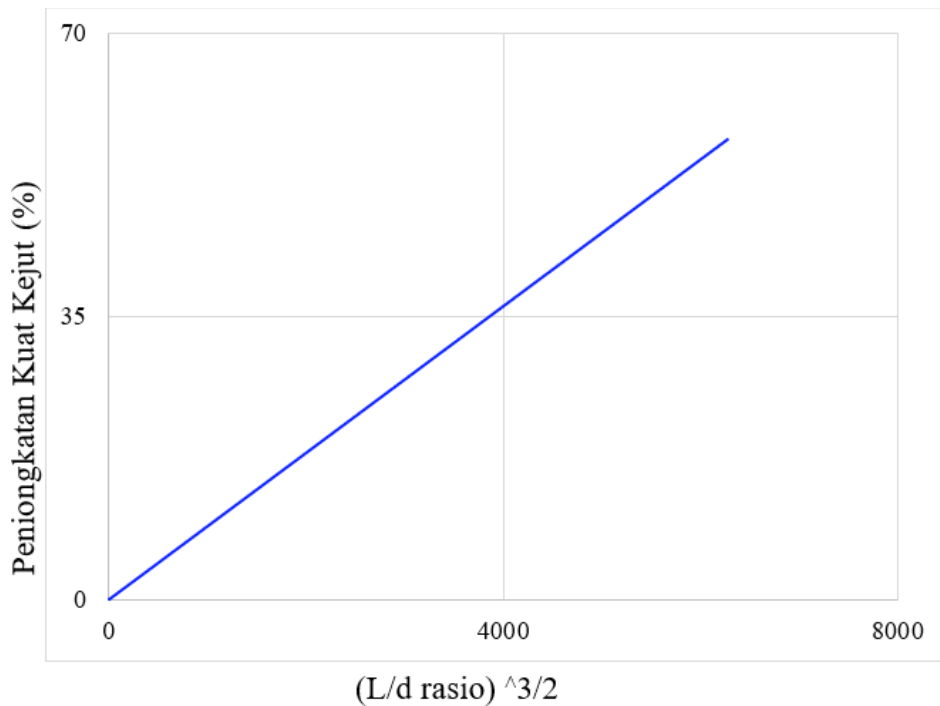
Suhendro (2000) mendefinisikan beton serat (*fiber concrete*) sebagai bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. *ACI Committee 544* menentukan ukuran serat baja yg bervariasi dari 12,7 mm hingga 63,5 mm. Diameter serat baja yang sering digunakan adalah dari ukuran 0,45 mm sampai 1 mm. Penambahan serat baja dapat meningkatkan beberapa sifat-sifat beton secara signifikan seperti kekuatan kejut (*impact*), *toughness* (penyerapan energi), kekuatan lentur, kekuatan fatigue, dan kemampuan menahan retak. Secara umum penambahan *steel fiber* dalam adukan beton tidak meningkatkan kuat tekan secara signifikan dibandingkan beton tanpa serat, namun dapat meningkatkan tegangan tekan pada saat beban ultimit.



Gambar 2. 1 Regangan Beton Serat Baja (*TwinItec*, 2002)



Gambar 2. 2 Pengaruh konsentrasi serat dan ratio l/d terhadap Kuat Tarik (*tensile strength*) Beton (*Beaudoin*, 1990)



Gambar 2. 3 Pengaruh ratio l/d terhadap Keliatan (*toughness*) Beton (Beaudoin, 1990)

Beberapa jenis bahan serat yang dapat dicampur ke dalam adukan beton, yaitu, (1) Serat Baja (*Steel Fibers*), yang mempunyai kekuatan serta modulus elastisitas yang cukup tinggi, tidak mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali dalam semen. Kelemahan yang dimiliki adalah jika serat baja tidak dalam posisi yang terlindung dalam beton, maka resiko terjadinya korosi. Sifat adhesi yang tinggi dari serat baja juga akan mengakibatkan terjadinya *Balling Effect*, yaitu serat tidak tersebar merata pada saat dicampur tetapi menggumpal menjadi suatu bola-bola serat. (2) Serat *Polypropelene*, serat ini merupakan jenis dari serat plastik (*Plastic Fibers*). Sifat *Polypropelene* adalah tidak menyerap air semen, modulus elastisitas yang rendah, ikatan dalam semen kurang baik, mudah terbakar, kurang tahan lama, serta titik lelehnya rendah. Serat plastik yang lain adalah serat Nilon (*Nylon Fibers*). Serat ini juga mempunyai sifat-sifat yang sama dengan sifat *Polypropelene*. (3) Serat Kaca (*Glass Fibers*) hampir menyamai serat baja tetapi berat jenisnya rendah dan modulus elastisitasnya hanya sepertiga dari serat baja. Kekurangan yang paling pokok dari serat kaca adalah

kurang tahan terhadap pengaruh alkali dalam kerusakan pada seratnya. (4) Serat Karbon (*Carbon Fibers*) Merupakan jenis serat yang paling mahal. Serat ini dapat dipakai untuk meningkatkan kekuatan dalam menahan retak serta kuat batas mortar. (5) Serat Asbestos (*Asbeston Fibers*) Serat ini tergolong serat murah dan sangat baik apabila dikombinasikan dengan pasta semen yang sering disebut dengan asbestos semen. (6) Serat dari tumbuh-tumbuhan, yang tergolong serat ini adalah serat ijuk, kapas dan bambu. (7) Serat Kevlar (*Cevlar fibers*) Serat ini merupakan serat yang terbuat dari polimer beraroma, yang memiliki nilai modulus elastisitas dan kuat tarik yang cukup tinggi. Serat ini harganya relatif mahal. Secara struktural beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah dan sifatnya getas (*brittle*). Untuk memperbaiki sifat kurang baik beton ditambahkan berbagai bahan tambah, baik yang bersifat kimiawi maupun fisikal pada adukan beton. Salah satu alternatif bahan tambah yang bersifat fisis adalah serat baja (*steel fibers*). Ide dasarnya adalah menulangi beton dengan serat baja yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton terlalu dini akibat pembebanan maupun panas hidrasi (Soroushian & Bayasi, 1991). Keadaan ini menyebabkan kemampuan beton untuk mendukung tegangan-tegangan dalam (aksial, lentur dan geser) yang terjadi akan meningkat. Pemberian serat baja lokal produksi dalam negeri dengan bentuk lurus berdiameter 1 mm berhasil menambah kekuatan tarik dan lentur, daktilitas, dan kuat desak beton (Suhendro, 1991). Kuat tarik beton dipengaruhi oleh bentuk fiber yang digunakan, aspek rasio dan jumlah fiber. Fiber dengan kait (*hooked fiber*) dapat menambah kuat tarik beton bila dibandingkan dengan fiber lurus (ACI Committee 544, 1988). Fiber dengan kait juga lebih efektif dibandingkan dengan fiber lurus dalam hal lenturan dan tekanan pada perilaku beton (Soroushian & Bayasi, 1991). Penambahan *steel fibers* dengan orientasi random akan meningkatkan kuat lentur beton fiber dibandingkan dengan beton tanpa fiber. Sifat getas beton dapat diatasi oleh fiber sehingga beton fiber menjadi liat (Soroushian & Bayashi, 1992). Selain itu fiber pada beton akan menambah kekuatan dan mengurangi lendutan (Mansur *et al.*, 1997). Di lain pihak, Balaguru & Ramakrishnan (1986) menjelaskan bahwa peningkatan kekuatan tekan beton berserat selalu akan diikuti dengan lebih

getasnya model keruntuhan. Beton berserat (*fiber*) dengan mutu normal mempunyai perilaku yang daktail, dimana beton fiber dapat berdeformasi secara signifikan tanpa kehilangan kekuatan yang berarti.

Sejak studi pertama tentang SFRC di awal 1960-an, sejumlah besar penelitian telah dilakukan untuk mencapai pemahaman yang lebih dalam tentang sifat mekanik dari bahan. Secara khusus, perhatian khusus telah diberikan pada observasi eksperimental elemen beton bertulang dalam tegangan langsung, yaitu elemen pengikat, untuk mempelajari retakan proses dan efek ketegangan ketegangan. Pengaruh serat baja dalam jenis elemen ini dan menentukan bahwa retakan pemisahan efektif dikendalikan dengan menambahkan serat dan retakan melintang lebih kecil dan lebih dekat diberi jarak dibandingkan pada spesimen tanpa serat baja.

Penambahan serat pada beton dimaksudkan untuk memperbaiki kelemahan sifat yang dimiliki oleh beton yaitu memiliki kuat tarik yang rendah. Di Indonesia konsep pemakaian beton serat baja pada adukan beton untuk struktur bangunan Teknik Sipil belum banyak dikenal dan dipakai dalam praktik atau aplikasi lapangan. Salah satu penyebabnya adalah belum tersedianya serat baja secara murah dalam jumlah yang cukup. Untuk mengatasi hal ini ditemukan solusi alternatif yaitu dengan menggunakan fiber lokal yang terbuat dari potongan-potongan kawat lokal yang tersedia di pasaran. Ide ini pada dasarnya adalah dengan memberikan tambahan adukan beton dengan bahan serat yang disebarkan secara merata dengan orientasi acak. Serat bendrat memiliki kekuatan serta modulus elastisitas yang cukup tinggi, selain itu serat bendrat juga tidak akan mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali semen dan lekatannya pada beton. Sedangkan kelemahan yang dimiliki serat bendrat adalah apabila serat bendrat tidak dalam posisi terlindung dalam beton, maka akan timbul korosi. Hal lain yang dapat berpengaruh adalah dengan penambahan kawat bendrat akan menambah berat sendiri betonnya. Sifat kohesif kawat bendrat yang tinggi akan menyebabkan serat bendrat akan menggumpal dan tidak tersebar secara merata pada saat pencampuran (Widodo, 2012).

2.2. Penambahan Serat pada Beton.

Penambahan serat kawat kedalam adukan beton digunakan untuk mengatasi sifat-sifat kurang baik dari beton. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan tulangan serat pada beton yang disebar merata secara acak (*random*) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan (Soroushin & Bayashi, 1992), Selain itu penambahan serat berupa *steel fiber* dari potongan bendrat akan mengalami kecenderungan beton menjadi lebih porous sehingga nilai permeabilitasnya akan meningkat. Mindness & Young, (1981) melakukan penelitian tentang perilaku fisik berbagai serat seperti terlihat dalam tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1. Perilaku Fisik Berbagai Jenis Serat (Mindness & Young, 1981)

Tipe serat	Kuat tarik (N/mm ²)	<i>Modulus Young</i> (N/mm ²)	Perpanjangan (%)	Berat Jenis (gr/cm ³)
<i>Aerylic</i>	210-420	2,1 x 10 ³	25-45	1,10
<i>Asbestos</i>	560-985	8,4-14	0,6	3,20
<i>Cotton</i>	420-700	5	3-10	1,50
<i>Glass</i>	1050-3870	70	1,5-3,5	2,50
<i>Nylon</i>	780-850	4,2	16-20	1,10
<i>Polyster</i>	750-880	8,5	11-13	1,40
<i>Polypropylene</i>	560-780	8,5	11-13	1,40
<i>Rayon</i>	420-630	7,3	10-25	1,50
<i>Steel</i>	280-420	20 x 10 ⁴	0,5-25	7,80

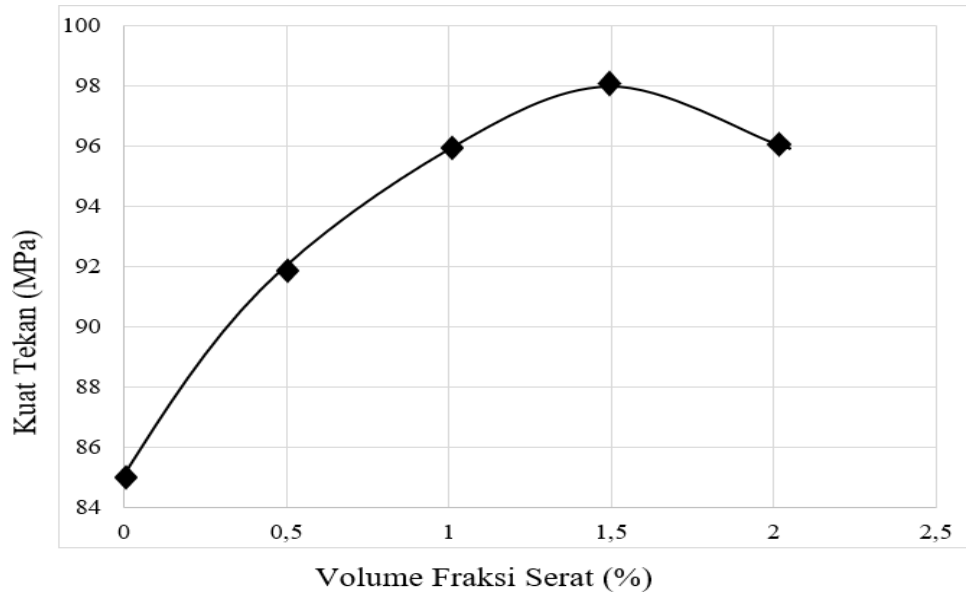
Suhendro 2000, dengan penambahan serat ke dalam adukan beton dapat memberikan beberapa keuntungan berupa perbaikan terhadap beberapa sifat beton antara lain: Daktilitas yang berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi, ketahanan terhadap beban kejut, kemampuan dalam menahan tarik, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susutan dan ketahanan terhadap aus dan *spalling*. Beberapa ahli di beberapa negara telah berusaha untuk memperbaiki kekurangan atau kelemahan dari beton tersebut dengan cara menambahkan serat didalam beton. Pemberian serat fiber ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan pada beton tersebut dalam menahan tegangan tarik.

Thomas & Ramaswamy (2007) mempresentasikan hasil melalui program eksperimental dan penilaian analitis pengaruh penambahan serat terhadap sifat mekanik beton. Model yang diperoleh didasarkan pada analisis regresi terhadap 60 data uji untuk berbagai sifat mekanik beton bertulang serat baja. Penelitian meliputi kuat tekan kubus dan spesimen, kuat tarik belah, modulus pecah, kinerja pasca retak, modulus elastisitas, rasio Poisson, dan regangan-tegangan tekan puncak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi matriks serat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik yang disebabkan oleh serat. Hanya terdapat sedikit peningkatan pada kuat tekan, modulus elastisitas, dan rasio Poisson (kurang dari 10%). Sedangkan kekuatan tarik belah dan modulus pecah mengalami kenaikan sebesar 40%. Respon pasca-retak meningkatkan secara signifikan dengan bertambahnya serat. Peningkatan maksimum regangan yang berhubungan dengan kuat tekan puncak ditemukan sekitar 30%.

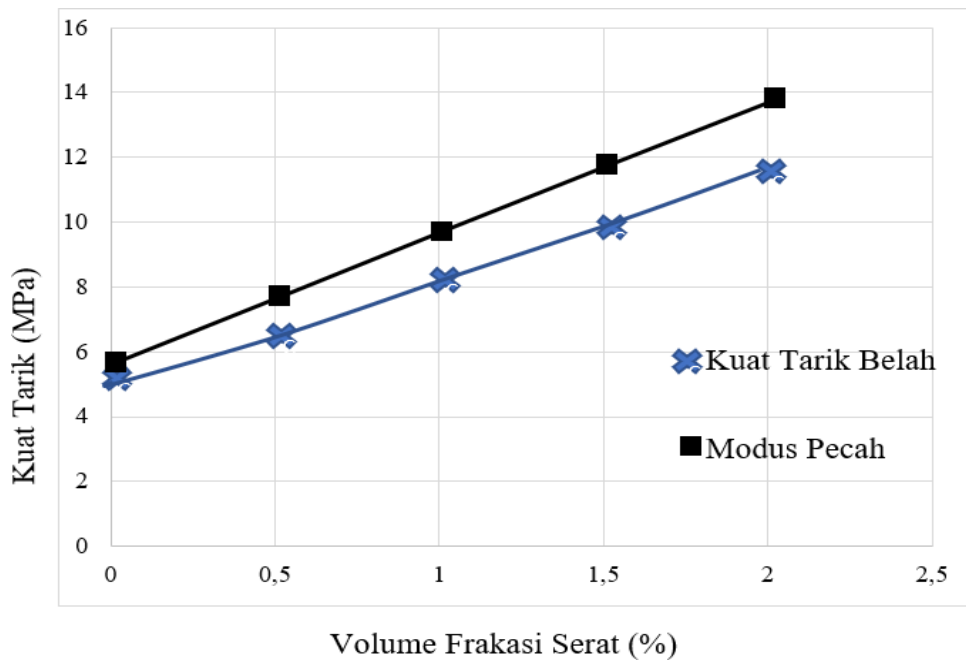
Khadake & Konapure (2013), menjelaskan bahwa berat Jenis pada beton meningkat sebanding dengan peningkatan prosentase dari serat baja, sedangkan nilai slump akan mengalami penurunan. Vikrant & Kavita (2012), menerangkan bahwa beton serat dapat menambah kemampuan struktur beton terhadap kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur serta meningkatkan daktilitasnya. Shireesha *et. al* (2015), menjelaskan dengan menggunakan serat baja sebagai campuran beton dapat meningkatkan kuat tarik, kuat tekan, dan kuat lenturnya. Sukoyo (2011), dengan penambahan fiber baja berupa kawat bendrat pada campuran beton dapat menaikkan kuat tekan beton sebesar 4,72 % dan kuat tarik sebesar 12,14 %.

Domski (2013), menjelaskan bahwa penggunaan serat baja serta limbah pasir dalam campuran beton dapat meningkatkan ketahanan terhadap kerapuhan serta dapat meningkatkan kapasitas retak pada beton.

Song & Hwang (2004) meneliti sifat mekanik beton bertulang serat baja mutu tinggi dengan kandungan serat yang bervariasi ($V_f = 0-2\%$). Gambar 2.4 menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dengan kandungan serat hingga $V_f = 1,5\%$, Sedangkan variasi kuat tarik belah dan modulus pecah mengikuti hubungan linier dengan fraksi volume serat. Kedua parameter kekuatan meningkat dengan kandungan serat (Gambar 2.5).



Gambar 2. 4 Hubungan Antara Kekuatan Tekan dan Serat Fraksi Volume Serat (Song & Hwang, 2004)



Gambar 2. 5 Hubungan Antara Tarik Terpisah Kekuatan, Modulus Pecah dan Fraksi Volume Serat (Song & Hwang, 2004)

Altun *et. al* (2007), menyelidiki pengaruh serat baja pada berbagai kelas beton. Distribusi serat yang tidak merata/homogen di dalam beton yang

menyebabkan penurunan yang cukup besar dalam kekuatan tekan dibandingkan dengan beton biasa.

Iqbal *et. al* (2015), dengan penambahan serat baja dapat meningkatkan kuat tarik beton sebesar sebesar 18 % dan meningkatkan kuat lentur sebesar 70 %.

Niu *et. al* (2013), dengan penggunaan serat baja pada beton ringan dapat meningkatkan daktilitas dan meningkatkan kuat lenturnya.

Serat baja dapat berupa potongan – potongan dari kawat bendrat dengan permukaan halus atau ulir (*deform*), lurus atau dibengkokkan untuk memperkuat lekatan dengan betonnya. Menurut Soroushian & Bayasi, 1991 ada beberapa jenis fiber baja seperti Gambar 2.6 sebagai berikut.

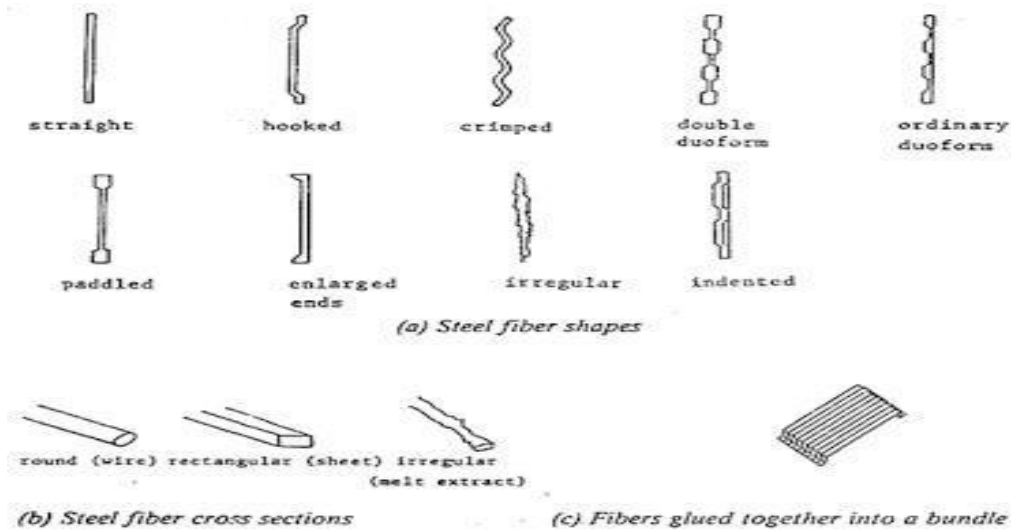
a. Bentuk serat baja :

- Lurus (*straight*)
- Berkait (*hooked*)
- Bergelombang (*crimped*)
- *Double duo form*
- *Ordinary duo form*
- Bundel (*paddled*)
- Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
- Tidak teratur (*irregular*)
- Bergerigi (*idented*)

b. Penampang serat baja (*steel fiber cross section*)

- Lingkaran (*round/wire*)
- Persegi/lembaran (*rectangular / sheet*)
- Tidak teratur / bentuk dilelehkan (*irregular / melt extract*)

c. Serat dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*).



Gambar 2. 6 Macam Serat (*Soroushian & Bayasi, 1991*)

Widodo, (2012), semakin banyak potongan serat bendrat pada campuran beton dapat menurunkan kelecakan pada beton yang ditandai dengan menurunnya nilai slump berkisar antara 2,5 cm. Akan tetapi penambahan kawat bendrat pada campuran beton akan meningkatkan kuat tarik belah dan kuat tekan beton.

Prashant *et. al* (2011), penggunaan kombinasi silika dengan serat baja prosentase 0.5 %, 1.0 % dan 1.5 % dapat meningkatkan kuat tekan beton dan juga dapat meningkatkan modulus elastisitas pada beton.

Tantary *et. al* (2012), dengan penambahan serat baja dapat meningkatkan tegangan dan regangan, meningkatkan kekerasan/kekakuan, serat beton arah lateral dapat mengurangi retak dan dapat meningkatkan titik puncak penyerapan energi serta menambah daktilitas beton.

Verma (2015), dengan penggunaan serat baja pada beton untuk *shotcrete* terowongan bawah tanah dapat meningkatkan kuat tekan beton dan dapat meningkatkan kuat lentur.

Penggunaan serat baja yang di campur dengan *polymer* dapat meningkatkan kapasitas regangan, meningkatkan kuat lentur dan meningkatkan rekatan betonnya. (Kalwane *et. al* (2016).

Yu *et. al* (2013), penggunaan serat baja dapat meningkatkan kekuatan pada perkerasan serta mampu mengurangi pemakaian banyak lapisan pada jalan tanpa mengurangi daktilitas sehingga memiliki nilai ekonomis tinggi. Penggunaan serat

baja dapat meningkatkan kerekatan beton, dapat mengurangi keretakan pada beton dan kerusakan yang terjadi pada perkerasan, dan serat baja efektif mencegah keretakan paling awal yang terjadi pada beton.

Kumar P. and Praven (2015), menerangkan bahwa nilai kuat tekan beton dengan menggunakan serat baja mengalami peningkatan lebih baik pada kuat tekannya dibandingkan dengan kuat tekan beton yang diperkuat oleh serat kaca.

Patria & Agustinus (2014), penggunaan Fiber kawat bendrat berdiameter 1 mm dan panjang 60 mm, dengan volume fraksi (v_f) sebanyak 0,7 % dari volume, dengan faktor air semen sebesar 0,44 dan superplastizicer Sika Cim concrete additive sebanyak 0,4% dari berat semen dapat menaikkan modulus elastisitas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Han *et. al* (2015), penggunaan serat baja pada elemen lentur kurang signifikan dalam meningkatkan kapasitas momen ultimate ketika elemen di desain sebagai balok beton bertulang sedangkan pengekanan didaerah tekan dengan penggunaan serat baja dapat meningkatkan kapasitas momen ultimate balok. Pengekanan memiliki dampak besar terhadap elemen kapasitas retak. Penambahan serat baja secara positif mempengaruhi momen keretakan.

Antonius *et. al* (2015), menjelaskan beton berserat mutu tinggi mempunyai sifat pengerjaan yang cukup baik apabila digunakan *superplasticizer* dalam dosis tertentu. Kuat tarik beton berserat mutu tinggi adalah berkisar antara 5,5% – 6,5% dari kuat tekannya. Hasil ini hampir sama dengan beton mutu tinggi tanpa serat.. Berdasarkan regresi linear didapat persamaan sebagai berikut:

Beton berserat 1% adalah

$$f'_t = 0,71 \sqrt{f'_c} - 1,96 \dots\dots\dots 2.1$$

Beton berserat 1,5% adalah

$$f'_t = 0,78 \sqrt{f'_c} - 2,44 \dots\dots\dots 2.2$$

Sifat kekakuan beton berserat mutu tinggi ditunjukkan dari nilai Modulus Elastisitas sebagai berikut:

Collins dkk (1993):

$$E_c = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \text{ MPa} \dots\dots\dots 2.3$$

Antonius dkk (2001):

$$E_c = 3480 \sqrt{f'_c} + 4800 \text{ MPa} \dots\dots\dots 2.4$$

2.3. Beton Pasca Bakar

Salah satu tantangan yang dihadapi para ahli struktur/ahli forensik struktur adalah menaksir temperatur tertinggi yang dialami elemen struktur pada waktu terjadi kebakaran dan kekuatan struktur pasca kebakaran. Adanya perubahan temperatur yang sangat tinggi akan membawa dampak pada struktur betonnya.

Sumardi (2000), menjelaskan kebakaran pada hakekatnya merupakan reaksi kimia dari *combustible* material dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas. Panas hasil pembakaran ini diteruskan ke massa beton dengan dua macam mekanisme yakni pertama secara radiasi yaitu pancaran panas diterima oleh permukaan beton sehingga permukaan beton menjadi panas. Pancaran panas akan sangat potensial, jika suhu sumber panas relatif tinggi. Kedua secara konveksi yaitu udara panas yang bertiup/bersinggungan dengan permukaan beton sehingga beton menjadi panas. Bila tiupan angin semakin kencang, maka panas yang dipindahkan dengan cara konveksi semakin banyak.

Kebakaran membawa dampak yang serius terhadap bangunan gedung yang terbuat dari beton. Secara umum material beton relatif lebih tahan api dibandingkan kayu, plastik dan baja. Namun demikian, untuk memberikan kinerja durabilitas terhadap api yang signifikan, tetap diperlukan beberapa persyaratan untuk durabilitas beton pasca bakar yang memadai (Kusno dan Susilorini, 2011).

Apabila terjadi kebakaran maka mekanisme penyebaran panas ada dua cara yaitu secara radiasi dimana pancaran panas diterima secara langsung oleh permukaan beton dan penyebaran panas secara konveksi yaitu udara panas bersinggungan dengan permukaan beton.

Pada umumnya, beton memiliki ketahanan api yang tinggi, efek suhu yang tinggi maupun pada suhu normal pada kekuatan beton menggunakan tiga metode dasar pernah dilakukan penelitian oleh (Castillo 1987, Castillo dan Durrani 1990,

Phan dan Carino 2002, Husem 2006, Biolzi *et. al* 2008). Ketiga metode tersebut antara lain : (1) *unstressed tests* (tes tanpa pembebanan), dimana spesimen dipanaskan tanpa tekanan awal dan pembebanan sampai terjadi leleh saat terjadi kenaikan suhu, (2) *stressed tests* (tes tekanan) , dimana sebagian kecil dari kuat tekan ultimit pada suhu kamar diterapkan dan dipertahankan selama pemanasan dan ketika suhu target tercapai, spesimen dibebani sampai terjadi leleh dan (3) *residual unstressed tests* , dimana spesimen dipanaskan tanpa pembebanan, didinginkan sampai mencapai suhu ruangan dan selanjutnya dibebani sampai mencapai leleh.

Saat beton dihadapkan pada kenaikan suhu, retak permukaan mulai terjadi, retak permukaan menjadi tampak saat temperatur mencapai 600°C. Sedangkan pada saat suhu 400°C - 800°C beton mulai terjadi kehilangan kekuatan (Chan *et. al* 1999).

Peningkatan kekuatan berhubungan dengan peningkatan temperatur antara 100°C sampai dengan 200°C, diatas 400°C beton mutu tinggi mengalami kehilangan kekuatan dengan cepat. Pada temperatur ini, hidrasi pasta semen berangsur-angsur hancur. Sejak pasta cenderung melemah ikatan antara agregat dan pasta melemah, kekuatan pada beton mengalami penurunan. Penambahan serat baja memberikan sedikit dampak pada kekuatan beton. Pada saat beton serat dibakar sampai suhu 400°C, beton mutu tinggi tanpa serat baja memiliki kuat tekan sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton berserat baja. sedangkan beton serat baja nilai daktilitas meningkat (Cheng *et. al* 2004).

Ahmad *et. al* (2009), menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Beton yang telah dipanasi pada temperatur 200°C, 400°C dan 600°C, kuat tekan rata-ratanya berturut-turut sebesar 85,83%, 58,40% dan 35,08% dari beton normal.

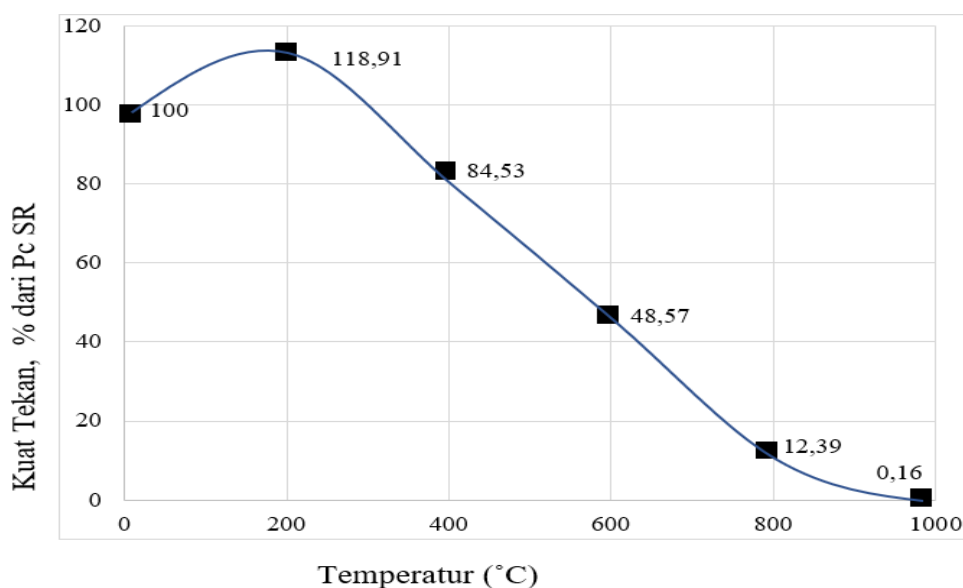
Suhu diatas 400°C beton mutu tinggi akan mulai kehilangan kuat tekannya, pada saat suhu 800°C beton kehilangan kekuatan mencapai sekitar 75%, (Lie,1996).

Chan *et. al* (1999), kekuatan yang tersisa setelah kebakaran dipengaruhi oleh parameter yang berbeda. Hal ini mencakup sifat material (agregat, pasta semen, ikatan pasta semen agregat dan kompatibilitas termalnya satu sama lain, pada ketahanan beton) dan faktor lingkungan (laju pemanasan, durasi pemaparan terhadap suhu maksimum, laju pendinginan, kondisi pemuatan dan kelembaban).

Studi eksperimental sebelumnya menunjukkan bahwa beton di bawah suhu tinggi menghasilkan: (1) paparan yang lebih lama terhadap suhu tinggi mengurangi kekuatan dan (2) kekuatan tekan berkurang jika beton dipanaskan dalam kondisi tertutup (Petkovski 2010).

Menurut Antonius *et. al*, (2012), pada beton berserat baja suhu tinggi tanpa kekangan, peningkatan suhu 300⁰C nilai *E* turun sebesar 30% dari nilai kontrolnya, pada suhu hingga 600⁰C, nilai *E* turun hingga 50% dan pada suhu hingga 900⁰C nilai *E* turun hingga 75%.

Menurut Suhendro (2000), bila pasta semen dipanasi, dari suhu kamar sampai sekitar 200° C, kekuatannya tampak sedikit meningkat, karena ketika sedikit diatas 100° C air bebas serta air yang terserap dalam pasta menguap. Pada suhu antara 400 - 600°C beton mengalami penurunan kekuatan. Selanjutnya di atas suhu 600° C atau 700° C beton kehilangan kekuatan sama sekali, sebagaimana tampak pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2. 7 Degradasi Kuat Tekan Beton pada Berbagai Temperatur
Suhendro (2000)

Menurut Rochman A. (2006), struktur beton yang mengalami kebakaran, kekuatan beton akan dipengaruhi oleh perubahan temperatur, lama pemanasan, jenis dan perilaku pembebanan, jenis dan ukuran agregat dan faktor air semen. Pengaruh pemanasan sampai suhu 200°C beton akan mengalami peningkatan kekuatan karena air dalam rongga-rongga beton menguap. Pada dasarnya beton beton

tidak mampu menahan panas lebih dari 250° C, karena akibat panas yang berlebihan tersebut beton akan mengalami retak, *spalling* dan mengurangi kekuatannya akibat perubahan komposisi kimianya pada pasta semennya. Temperatur tinggi sangat berpengaruh pada beton, dimana beton akan mengalami penurunan kepadatan, kuat tekan, modulus elastisitas dan ketidakstabilan dimensi serta terjadinya perubahan warna permukaan beton. Ketidakstabilan dimensi struktur beton biasanya ditandai dengan adanya retak pertama setelah mengalami pemanasan pada temperatur 400 °C. Penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas beton disebabkan karena terjadi penguapan air bebas dalam pori – pori yang berukuran besar. Kerusakan beton juga dipengaruhi oleh perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen, sehingga lekatan antar agregat menjadi berkurang. Perbedaan ini dapat menimbulkan retak – ratak pada beton. Tapi yang paling nyata adalah terjadinya *spalling* akibat tekanan uap air yang terperangkap dalam beton. Beton semakin rapat semakin mudah terjadinya pengelupasan oleh panas, karena uap air tidak mudah mengalir lewat pori.

Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Kuat tekan beton akan mengalami penurunan akibat adanya kenaikan temperatur (Aswani *et. al* 2009).

Menurut Santosa (2009), ketebalan selimut beton tidak begitu berpengaruh terhadap tegangan leleh baja meskipun dibakar sampai suhu 900°C, besarnya tegangan leleh tulangan beton masih memenuhi persyaratan, yaitu tegangan leleh tulangan sebelum dan setelah dibakar masih dalam satu kelas (SII 0136-80).

Kodur *et. al* (2003), faktor yang mempengaruhi suhu dan perilaku struktural dari kolom beton mutu tinggi yang terbakar menunjukkan bahwa ketahanan api pada kolom beton biasa lebih tinggi dibandingkan dengan kolom beton mutu tinggi, penambahan serat *polypropylene* dan penggunaan agregat karbonat menambah ketahanan terhadap api.

2.3. Tingkat Kerusakan Gedung Pasca Kebakaran

Ciri-ciri struktur yang terjadi pada beton karena pengaruh temperatur yang tinggi adalah :

1. Kekuatan menurun.
2. Mengelupasnya beton.
3. Terjadinya retak-retak.

Jenis kerusakan yang sering terjadi akibat kebakaran antara lain : retak ringan, retak berat, beton pecah/terkelupas, voids (lubang-lubang yang cukup dalam atau keropos), lendutan balok dan tulangan putus, hilang atau tekuk.

Menurut Rizal (2006), Klasifikasi tingkat kerusakan gedung pasca kebakaran antara lain:

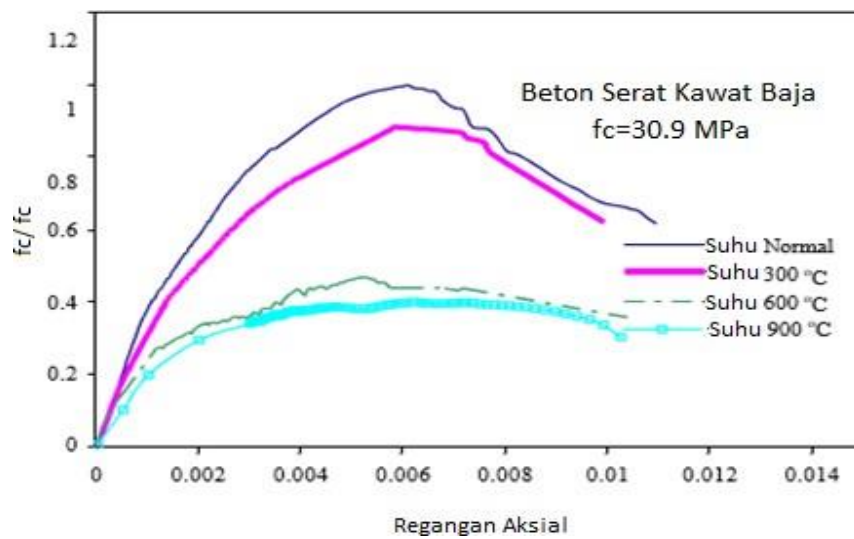
1. Kerusakan ringan.
Kerusakan ini berupa pengelupasan pada plesteran luar beton dan terjadinya perubahan warna permukaan menjadi hitam akibat asap yang mungkin disertai dengan retak-retak pada plesteran.
2. Kerusakan sedang.
Kerusakan ini berupa munculnya retak-retak ringan (kedalaman kurang dari 1 mm) pada bagian luar beton yang berupa garis-garis yang sempit dan tidak terlalu panjang dengan pola menyebar. Retak ini diakibatkan oleh proses penyusutan beton pada saat terjadi kebakaran.
3. Kerusakan Berat
Retak yang terjadi sudah memiliki ukuran lebih dalam dan lebar, terjadi secara tunggal atau kelompok. Jika terjadi pada balok kadang-kadang disertai dengan lendutan yang dapat dilihat dengan mata.
4. Kerusakan sangat berat.
Kerusakan yang terjadi sudah sedemikian rupa sehingga beton pecah/terkelupas sehingga tampak tulangan bajanya, atau bahkan sampai tulangan putus/tertekuk, beton inti hancur.

2.4. Dampak Beton Pasca Bakar

Untuk melihat seberapa kerusakan yang diakibatkan oleh kebakaran, dilakukan beberapa tahapan penelitian, antara lain : *Visual Inspection*, *Non-destructive test*/ uji tidak merusak, dan *Destructive Test*/ Uji merusak, *Full Scale Loading Test* (Uji pembebanan skala penuh). Setelah diketahui jenis dan penyebab kerusakan, langkah selanjutnya adalah menentukan metode perbaikan untuk masing-masing elemen struktur. Bahan yang digunakan harus sedemikian rupa sehingga hasil perbaikan yang diperoleh memiliki kekuatan sesuai dengan yang diinginkan dan tahan lama.

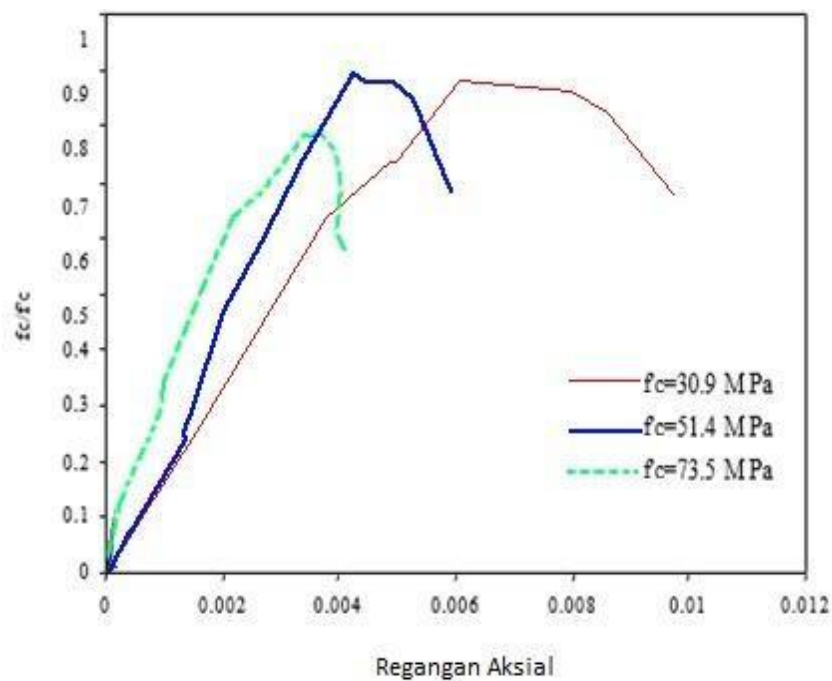
Pelapisan beton dianggap sebagai salah satu metode paling efektif untuk memperbaiki dan merehabilitasi kolom beton. Namun, meskipun teknik rehabilitasi terbukti efektif, ini membutuhkan banyak tenaga kerja. Untuk memastikan ikatan jaket yang tepat, permukaan kolom yang ada membutuhkan pengasaran dan pembersihan ekstensif untuk memastikan bahwa semua beton yang rusak dihilangkan. Selain itu, diperlukan pengeboran ke kolom yang ada untuk memungkinkan lewatnya tulangan tambahan di jaket beton. Peningkatan tenaga kerja menghasilkan biaya tinggi dan gangguan yang cukup besar pada penggunaan gedung selama aplikasi. Peningkatan dimensi kolom setelah aplikasi juga bisa menjadi batasan penggunaannya.

Antonius *et. al* (2014), mensimulasikan hasil eksperimen perilaku tegangan-regangan pada kuat tekan beton 30.4 MPa (Gambar 2.8) yang menunjukkan degradasi kuat tekan terhadap beton kontrol (pada suhu Normal). Kuat tekan dan daktilitas mengalami penurunan belum berarti pada suhu 300⁰C, namun pada suhu 900⁰C terjadi penurunan kuat tekan yang drastis (hingga 75%) terhadap spesimen suhu normal, meskipun daktilitas yang dihasilkan masih memadai. Perilaku daktilitas ini ditandai dari besarnya regangan hancur spesimen yang relatif panjang.



Gambar 2. 8 Perilaku Tegangan-Regangan Beton dengan Variasi Suhu

Gambar 2.9 adalah kurva tegangan-regangan beton berserat kawat baja pada suhu 300°C dengan variasi kuat tekan beton. Perilaku daktilitas beton mutu yang lebih rendah memperlihatkan perilaku yang mirip dengan beton normal (tanpa serat), dimana sifat daktilitas berkurang apabila kuat tekan beton meningkat.



Gambar 2. 9 Perilaku Tegangan-Regangan Beton dengan Variasi f'_c , Suhu 300°C

2.5. Pengekangan beton

Dewasa ini telah banyak dikembangkan model – model pengekangan beton yang digunakan untuk memprediksi perilaku keruntuhan kolom. Namun demikian untuk mendapatkan model beton terkekang yang bersifat umum masih banyak menemui hambatan antara lain belum cukupnya data base hasil – hasil pengujian untuk beton mutu tinggi. Pemasangan tulangan lateral sebagai pengekang pada inti kolom untuk meningkatkan tegangan lateral sehingga menambah kekuatan dan memperlambat proses keruntuhan kolom beton terkekang sehingga menjadi daktail, Antonius (2010).

Mander (1988) dan Antonius (2001), ada enam cara untuk meningkatkan daktilitas pada balok tulangan rangkap *unconfined* (tidak terkekang), antara lain dengan menurunkan rasio tulangan tarik (ρ), meningkatkan rasio tulangan tekan (ρ'), menurunkan mutu baja (f_y), meningkatkan mutu beton (f'_c) dan meningkatkan regangan beton (ϵ_c). Pada solusi yang terakhir, yaitu meningkatkan regangan beton (ϵ_c) hanya mungkin dilakukan bila ada *confinement* (pengekangan). *Confinement* merupakan solusi yang paling efektif dalam meningkatkan daktilitas dibandingkan dengan yang lain. Ada kelemahan jika rasio tulangan tarik (ρ) dan mutu baja (f_y) diturunkan karena harus dipertimbangkan antara penurunan kemampuan nominalnya dalam memikul beban dengan peningkatan daktilitas yang ingin dicapai. Berbeda dengan *confinement*, dengan adanya *confinement* pada beton maka akan meningkatkan daktilitas kurvatur (μ) dan regangan beton (ϵ_c). Perhitungan geser pada balok maupun kolom didasarkan pada perhitungan hasil dari momen nominal, sehingga saat beban gempa dikenakan pada struktur maka peristiwa kegagalan terhadap lentur idealnya dapat terjadi sebelum kegagalan terhadap geser. Namun pada kenyataannya momen nominal yang dianalisis tidak memperhitungkan adanya pengaruh confinement, padahal confinement mampu meningkatkan kekuatan yang ditunjukkan dengan usulan hubungan tegangan-regangan beton confined (terkekang) dan unconfined yang diajukan oleh Mander, *et. al* (1988).

Model-model pengekangan telah dikembangkan beberapa peneliti untuk memprediksi perilaku tegangan-regangan antara lain: Cusson & Paultre (2014), mengevaluasi kekuatan maksimal, daktilitas dan kekerasan dari pengekangan beton

mutu tinggi, membandingkan nilai statistik dari kekuatan maksimum dan hubungan dengan regangan.

Pengekangan dapat dibedakan menjadi 2 yaitu, pengekangan didalam dan pengekangan diluar. Pengekangan didalam menitikberatkan dengan pemberian tulangan di dalam tubuh beton bertulang, sedangkan pengekangan diluar, pengekangan dipasang diluar dari tubuh beton bertulang (diluar selimut beton), yaitu dengan cara memberi bahan lain (sebagai contoh dengan pemberian lapisan *Fiber Reinforced Polymer*).

Confinement mampu meningkatkan kekuatan yang ditunjukkan dengan usulan hubungan tegangan-regangan beton *confined* dan *unconfined* yang diajukan oleh Mander *et al*, (1988). Elemen yang dikekang akan memiliki kekuatan lebih besar daripada yang tidak dikekang. Hal ini karena akibat kekangan akan menambah besar tegangan dan regangan tekan maksimum beton. Kekangan yang umum dipakai selama ini pada kolom adalah *internal confinement* berupa tulangan sengkang baik spiral maupun sengkang ikat (*hoop*).

Perilaku beton terkekang akan sangat dipengaruhi oleh aktifitas pengekangnya. Penambahan kekang dapat meningkatkan kemampuan beton. Dari Penelitian Safitri & Endah (2013), didapatkan kurva yang memperlihatkan bahwa kekangan mampu meningkatkan kemampuan beton untuk berdeformasi seiring dengan meningkatnya tegangan lateral yang diaplikasikan pada beton. Pada percobaan di laboratorium, saat beton sudah mencapai sekitar 50% beban maksimum (P_{max} beton tanpa kekangan) maka cincin baja mulai aktif bekerja dengan memberikan tegangan lateral pada inti beton untuk menahan inti beton dari deformasi lateral yang berlebihan. Kekangan cincin baja pada beton akan menahan tegangan yang terjadi pada sampai dengan batas tegangan lateral yang diberikan oleh cincin baja. Semakin rapat jarak antar cincin baja, maka daerah kekangan semakin luas sehingga beton mampu menerima beban aksial lebih besar. Meningkatnya daya dukung beton juga terbukti meningkatkan kemampuan beton dalam berdeformasi.

2.6. Perilaku tegangan-regangan beton terkekang

Penggunaan tulangan lateral sebagai pengekang akan mempengaruhi hubungan tegangan-regangan beton, dimana bentuk hubungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa variabel, terutama kuat tekan beton, rasio tulangan lateral terhadap volume inti beton, tegangan leleh tulangan lateral, spasi tulangan lateral dan tingkat laju pembebanan, dimana karakteristik tegangan-regangan beton memiliki unsur *time-dependent* Mender *et. al* (1988), Azizinamini *et. al* (1994), Saatcioglu & Baingo (1999).

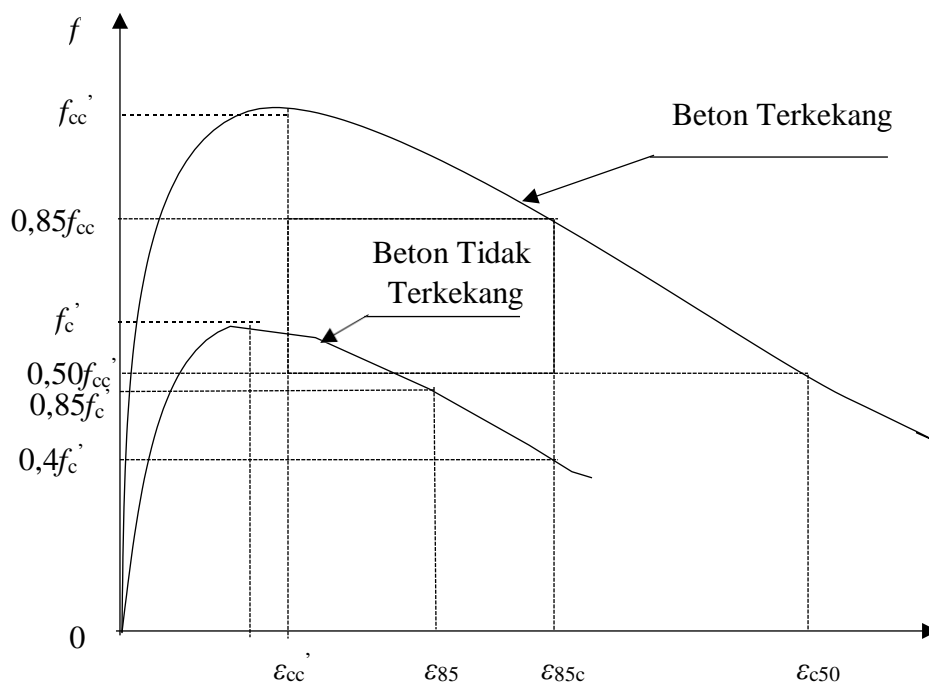
Kekangan pada beton juga meningkatkan sisa kekuatan setelah runtuh. Mansur *et al* (1996), hasil penelitian yang dilakukan pada beton mutu tinggi dengan kuat tekan beton 60-120 MPa, melaporkan untuk beton dengan mutu yang sama, kekangan pada salah satu spesimen meningkatkan kuat sisa beton yang semula 20 MPa menjadi 40-50 MPa. Besarnya kuat sisa ini tergantung dari mutu beton dan dipengaruhi oleh besarnya tegangan lateral kekangan. Beton mutu tinggi terkekang menunjukkan perilaku yang berbeda dibandingkan dengan beton normal terkekang. Dengan rasio tulangan lateral, tulangan longitudinal dan ukuran penampang yang sama, kekangan akan lebih efektif pada beton normal terkekang, yang artinya memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan beton mutu tinggi.

Tulangan lateral yang terpasang dapat berfungsi sebagai kekangan untuk memperlambat pengembangan lateral beton akibat beban aksial, mencegah terjadinya *buckling* pada tulangan longitudinal dan mencegah terjadinya keruntuhan geser. Tulangan lateral juga dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton jika dibandingkan dengan beton tanpa kekangan lateral.

Gambar 2.10 memperlihatkan bahwa pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dan tidak terkekang hampir sama. Ini menunjukkan pada tegangan awal tersebut, tulangan lateral belum aktif memberikan tahanan lateral. Deformasi lateral yang disebabkan oleh beban aksial masih mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton. Rasio Poisson yang merupakan perbandingan antara deformasi lateral dengan deformasi aksial antara beton terkekang dengan beton tidak terkekang masih sama. Pada tegangan sekitar $0,4f_c'$, perilaku kurva tegangan-regangan beton mulai non-linear. Poisson rasio mengecil, karena deformasi lateral

mulai mendapatkan tahanan dari tulangan lateral. Tingkat tegangan ini ditandai dengan mulai runtuhnya selimut beton dan mempunyai perilaku tegangan-regangan yang berbeda dengan inti beton. Deformasi lateral beton, menimbulkan reaksi dari kekangan berupa tahanan lateral. Hal ini meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibanding dengan beton tidak terkekang.

Dari grafik beton terkekang tersebut juga terlihat bahwa setelah puncak terjadi penurunan tegangan yang lebih landai, artinya mempunyai daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Pola seperti ini disebabkan karena daya dukung inti beton sebagian besar berasal dari tahanan tulangan lateral, sehingga penurunan tegangan beton menyerupai pola tegangan-regangan tulangan lateral yang daktil. Tegangan puncak dari beton terkekang terlihat pada regangan yang lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Setelah regangan pada tegangan puncak, pada beton tidak terkekang mulai terjadi penurunan tegangan. Sebaliknya pada regangan yang sama pada beton terkekang, dengan bertambahnya deformasi aksial terjadi peningkatan kekuatan, yang tergantung dari besarnya tegangan lateral, samapi mencapai tegangan puncak.



Gambar 2. 10 Hubungan Tegangan-Regangan Beton Terkekang dan Beton Tidak Terkekang (Saatcioglu & Razvi, 1992)

Antonius (2001, 2010) mengungkapkan bahwa besarnya peningkatan tegangan tekan akibat efek kekangan yang ditimbulkan oleh tegangan lateral dapat diturunkan berdasarkan kriteria leleh Mohr-Coulomb. Kriteria Mohr-Coulomb dinyatakan dalam persamaan :

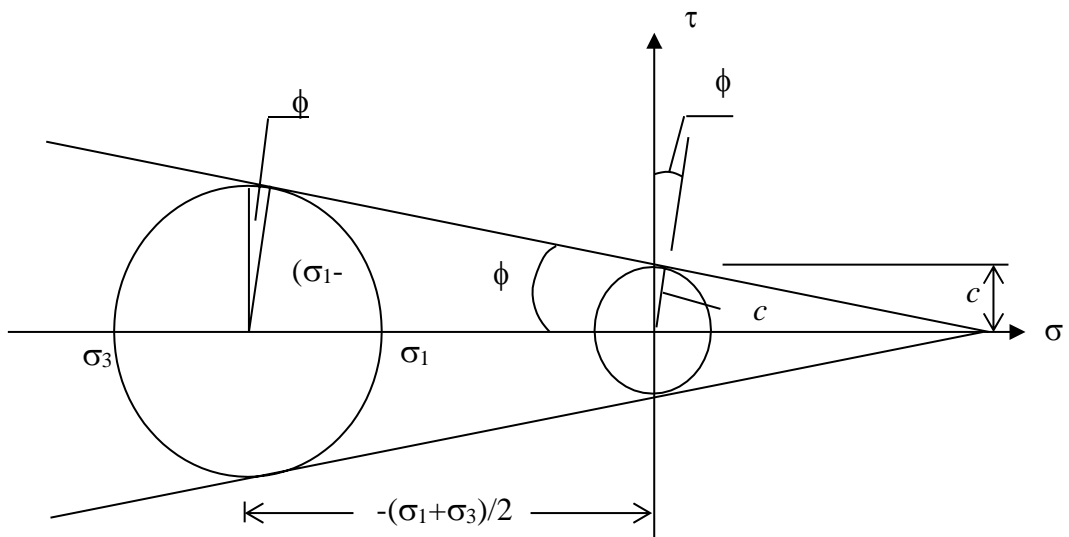
$$|\tau| = c - \sigma \tan \phi \dots\dots\dots 2.5$$

Berdasarkan gambar 2.11, persamaan (2.5) dapat diubah menjadi :

$$\sigma_1 \frac{1 + \sin \phi}{2 c \cos \phi} - \sigma_3 \frac{1 - \sin \phi}{2 c \cos \phi} = 1 \dots\dots\dots 2.6$$

Untuk kekangan (*confinement*) berlaku $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ atau

$$\frac{\sigma_1}{f'_t} - \frac{\sigma_3}{f'_c} = 1 \dots\dots\dots 2.7$$



Gambar 2.11. Hubungan antara tegangan geser utama kriteria Mohr-Coulomb

dimana:

$$f'_c = \frac{2 c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \dots\dots\dots 2.8$$

$$f'_t = \frac{2 c \cos \phi}{1 + \sin \phi} \dots\dots\dots 2.9$$

ambil notasi

$$m = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \frac{f_c'}{f_t'} \dots\dots\dots 2.10$$

maka persamaan (2.7) dapat diubah menjadi

$$m \sigma_1 - \sigma_3 = f_c' \dots\dots\dots 2.11$$

Selanjutnya persamaan (2.11) dapat diformulasikan menjadi :

$$K = \frac{f_{cc'}}{f_c'} = 1 + m \frac{f_2}{f_c'} \dots\dots\dots 2.12$$

Pada persamaan (2.12) tersebut, f_{cc}' identik dengan tegangan tekan beton yang terkekang ($=-\sigma_3$), f_2 adalah tegangan kekangan ($=-\sigma_1$), dan f_c' adalah kuat tekan beton terhadap beban uniaksial. Koefisien m pada persamaan (2.12) diperoleh dari hasil uji eksperimental. SNI-2847-2019 menggunakan nilai m sebesar 4,1 sebagai dasar untuk memformulasikan beton terkekang terhadap beban statik. Pantazopoulou & Zanganeh (2001) mengusulkan nilai m sebesar 3,5 untuk beton berserat.

2.7. Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang

Mekanisme keruntuhan beton mutu tinggi terkekang sangat menentukan perilaku tegangan-regangan setelah puncak. Konig & Simsch (1996), mekanisme terjadinya keruntuhan pada beton terkekang terbagi dua, yaitu keruntuhan geser dan keruntuhan pemisahan. Keruntuhan geser terjadi ketika tegangan geser melebihi tahanan geser. Sedangkan keruntuhan pemisahan terjadi ketika tegangan tarik pada tulangan lateral telah mencapai tegangan lelehnya. Keruntuhan pemisahan ini juga terjadi karena keruntuhan geser tertahan oleh tulangan lateral. Tegangan yang menyebabkan beton runtuh adalah tegangan terkecil antara kedua mekanisme tersebut, karena keruntuhan akan terjadi pada bagian yang mempunyai energi terendah. Keruntuhan geser akan menyebabkan keruntuhan getas, sedangkan keruntuhan pemisahan akan menghasilkan pola keruntuhan daktail.

Setelah puncak akan terjadi penurunan kekuatan dengan meningkatnya deformasi beton. Penurunan kekuatan ini merupakan awal dari proses terjadinya keruntuhan, disebabkan oleh interaksi dari fenomena sebagai berikut:

- a. Terbukanya kaitan tulangan lateral, sehingga tulangan lateral tidak memberikan tegangan lateral lagi untuk menahan deformasi beton arah lateral.
- b. Putusnya tulangan lateral, sehingga kekuatan beton menurun drastis
- c. Terjadinya *buckling* pada tulangan longitudinal, yang disebabkan oleh adanya tahanan lateral yang cukup kuat dari tulangan lateral.

2.8. Pengaruh Kuat Tekan Beton

Ahmad & Shah dalam Antonius (2001) menjelaskan penelitian beton terkekang dengan tulangan spiral sebagai tulangan lateralnya. Penelitian dilakukan terhadap spesimen ukuran 76x152 mm dan 76x305 mm dengan kuat tekan antara 20,7 dan 69 MPa. Pembebanan benda uji adalah aksial tekan. Semua spesimen tanpa menggunakan tulangan longitudinal. Hasil evaluasi terhadap efektifitas kekangan dinyatakan dalam parameter k_1 dan k_2 sebagai berikut:

$$f_{oc} = f_o + k_1 (f_r)_p \dots\dots\dots 2.13$$

$$\varepsilon_{oc} = \varepsilon_o + k_2 (f_r)_p \dots\dots\dots 2.14$$

dimana:

- f_o dan ε_o = tegangan dan regangan puncak pada beton tidak terkekang
- f_{oc} dan ε_{oc} = tegangan dan regangan puncak pada beton terkekang
- $(f_r)_p$ = tegangan lateral yang dihitung berdasarkan asumsi bahwa tulangan spiral leleh sebelum tegangan puncak.

Efektifitas k_1 dan k_2 dijadikan parameter untuk mengukur efektifitas kekangan, dimana kekangan semua spesimen sama besar. Dari hasil penelitian tersebut efektifitas tulangan spiral (k_1 dan k_2) pada tegangan puncak, akan menurun dengan meningkatnya kekuatan beton. Penemuan lainnya untuk beton mutu tinggi, tulangan spiral belum leleh pada saat tegangan puncak. Hal ini ditandai dengan menurunnya nilai k_1 dan k_2 saat beban puncak maksimum.

2.9. Pengaruh Rasio Tulangan Lateral

Kuantitas tulangan lateral secara umum dinyatakan dengan rasio volumetrik (ρ_s), yang menyatakan perbandingan antara jumlah tulangan lateral dalam satuan volume terhadap inti beton. Penelitian umumnya dilakukan dengan memvariasi ρ_s dengan parameter lainnya seperti: kuat tekan beton, spasi dan tegangan leleh tulangan lateral. Sheikh dan Toklucu (1993), Scott *et. al* (1982), Mander *et al*, (1988), Young *et. al* (1988), Nishiyama *et. al* (1993) pada umumnya menyimpulkan ada batas-batas minimum tertentu dari rasio volumetrik tulangan lateral, kekuatan dan daktilitas beton terkekang meningkat secara signifikan.

Antonius & Imran (2012), menyebutkan bahwa kekuatan dan daktilitas beton terkekang akan meningkat secara signifikan jika rasio volumetrik tulangan lateral lebih besar dari 1,7%. Sedangkan untuk beton mutu tinggi menurut Nishiyama *et. al* (1993), dengan rasio volumetrik tulangan lateral minimum 2,8%, maka kekuatan dan daktilitas beton akan meningkat secara berarti.

2.10. Pengaruh Spasi Tulangan Lateral

Penggunaan spasi tulangan lateral akan meningkatkan efektifitas tulangan pengekang, yang berakibat naiknya kuat tekan kolom pada penampang inti. Nagashima (1992), membandingkan kolom dengan rasio tulangan pengekang yang sama, tetapi variasi spasinya, menunjukkan ada peningkatan kekuatan penampang inti kolom apabila spasi semakin kecil akan tetapi tidak ada perubahan dalam hal daktilitas.

2.11. Pengaruh Tegangan Leleh Tulangan Lateral

Pada beton normal, Muguruma & Martinez dalam Antonius (2001), menyimpulkan bahwa tulangan lateral biasanya leleh pada saat beban maksimum, akan tetapi untuk beton mutu tinggi, Nishiyama (1993) menyebutkan bahwa pada waktu beban maksimum tulangan lateral ternyata belum tentu leleh.

2.12. Pengaruh Tulangan Longitudinal

Penelitian tentang ada dan tidaknya tulangan longitudinal dalam peningkatan daktilitas kolom telah banyak dilakukan. Pada umumnya rasio tulangan longitudinal yang digunakan disesuaikan dengan luas penampang. Semakin besar diameter atau ukuran penampang, semakin besar pula rasio diameter dan jumlah tulangan longitudinal yang digunakan. Bjerkelli *et. al* (1990), melakukan penelitian kolom dengan ukuran 300x500 mm dengan kuat tekan beton 83 sampai dengan 110 MPa dan jumlah tulangan 12 dan 18 buah. Ada pengaruh yang cukup signifikan terhadap daktilitas kolom beton mutu tinggi berkaitan dengan jumlah tulangan longitudinal. Akan tetapi terhadap perilaku tegangan-regangan kolom beton kekangan mutu tinggi, perubahan diameter tulangan tidak mempunyai efek yang berarti. Nagashima, Sugano, Kimura & Ichikawa (1992), dengan ukuran kolom 225x225 mm dengan kuat tekan beton 59 sampai dengan 118 MPa, menunjukkan tidak ada perbedaan yang cukup berarti dalam kekuatan dan daktilitas kolom, baik dengan jumlah tulangan longitudinal sebanyak 6 buah, 8 buah dan 12 buah.

2.13. Daktilitas

Daktilitas merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan suatu elemen struktur disamping aspek kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen-elemen struktur yang mempunyai daktilitas besar akan menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan elemen-elemen struktur dengan daktilitas kecil atau getas. Daktilitas pada balok beton bertulang didefinisikan sebagai perbandingan suatu parameter deformasi struktur pada saat runtuh terhadap parameter deformasi pada saat tulangan tarik terluar penampang mengalami leleh pertama.

Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan pengaruh deformasi akibat kondisi pembebanan yang berlebihan (Park & Ruitong, 1988) . Daktilitas pada umumnya ada dua macam , yaitu daktilitas lengkung (*Curvature ductility*) dan daktilitas simpangan (*displacement ductility*) (Paulay & Priestlay, 1992). Perilaku beban dengan lendutan seperti pada gambar 2.12.

- a. Daktilitas kelengkungan (*Curvature Ductility*,) merupakan perbandingan sudut kelengkungan (*Angle Of Curvature*) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh elemen struktur akibat momen lentur.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \dots\dots\dots 2.15$$

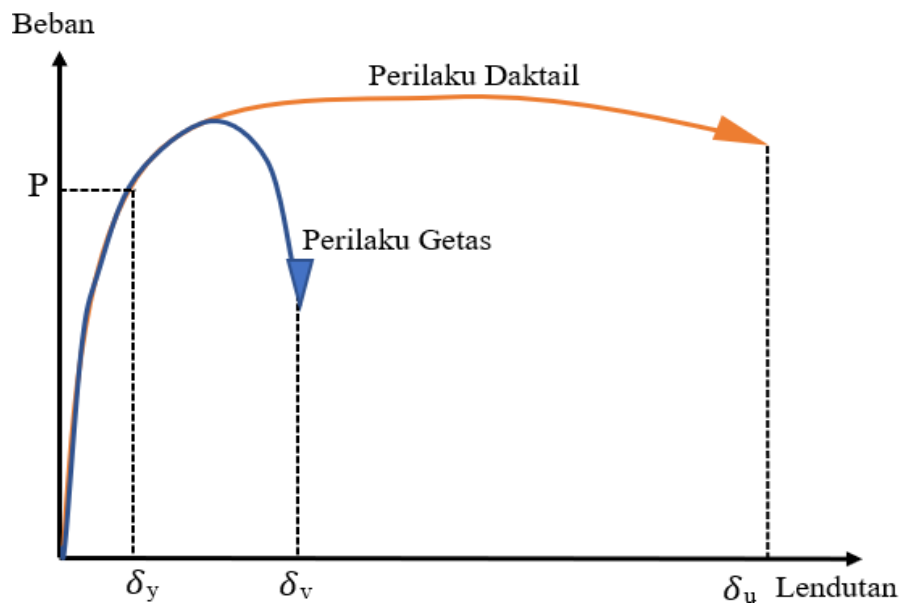
- b. Daktilitas perpindahan (*Displacement Ductility*), merupakan perbandingan perpindahan (*deformasi*) maksimum struktur (*arah lateral*) dalam kondisi ultimat terhadap perpindahan deformasi struktur saat leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots 2.16$$

- c. Daktilitas Tegangan (*Strain Ductility*)

Daktilitas tegangan (μ_{δ}) dapat dinyatakan dengan hubungan antara δ dan δ_y , Dimana δ adalah total tegangan yang terjadi dan δ_y adalah tegangan pada saat leleh.

$$\mu_{\delta} = \frac{\delta}{\delta_y} \dots\dots\dots 2.17$$



Gambar 2. 12 Diagram Beban-Lendutan (Paulay & Priestly, 1992 dan Antonius 2014)

Sheikh & Li (2007) mengklasifikasi tingkat daktilitas kurvatur dalam tiga tingkatan yaitu :

1. Tinggi (*High ductility*), apabila $\mu_\phi > 9$
2. Sedang (*Moderate ductility*), apabila $4 < \mu_\phi < 9$
3. Rendah (*Low ductility*), apabila $\mu_\phi \leq 4$

Semakin tinggi tingkat daktilitas maka akan semakin baik elemen struktur tersebut menahan beban maupun mendisipasi energi.

2.14. Model Kekangan Beton Berserat Baja

2.14.1 Model Mansur *et. al*

Mansur *et al*, (1997) mengusulkan model kekangan yang dapat diaplikasikan pada beton normal dan beton berserat mutu tinggi terkekang. Program eksperimental yang dilakukan diantaranya adalah meninjau parameter kuat tekan beton mutu tinggi (60-120 MPa) dan pengaruh adanya serat. Hasil penting yang diungkapkan dari hasil pengujian ini adalah bahwa tidak ada perbedaan yang berarti perilakunya antara beton normal dan beton berserat mutu tinggi terkekang dalam hal nilai modulus elastisitas, Poisson ratio maupun rasio antara kekuatan beton terkekang terhadap kekuatan beton tak terkekang. Kurva tegangan-regangan beton terkekang sebelum dan pasca puncak adalah:

$$f_c = f_{cc} \left[\frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^{\beta}}{\beta - 1 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^{\beta}} \right] \dots\dots\dots 2.18$$

dan

$$f_c = f_{cc} \left[\frac{k_1 \cdot \beta \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^{k_2 \cdot \beta}}{k_1 \cdot \beta - 1 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^{k_2 \cdot \beta}} \right] \dots\dots\dots 2.19$$

f_{cc} dan ϵ_{cc} masing-masing adalah tegangan puncak dan regangan puncak beton terkekang. E_{ti} adalah modulus elastisitas beton tanpa kekangan dan f_o adalah

tegangan beton tak terkekang. Factor β adalah besaran yang akan menentukan slope kurva sebelum respon puncak, dimana:

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc} \cdot E_{ti}}} \dots\dots\dots 2.20$$

k_1 dan k_2 masing-masing adalah faktor yang menentukan bentuk kurva setelah puncak yaitu:

$$k_1 = 2.77 \left\{ \frac{\rho_s f_y}{f_o} \right\} \dots\dots\dots 2.21$$

dan

$$k_2 = 2.19 \left\{ \frac{\rho_s f_y}{f_o} \right\} + 0.17 \dots\dots\dots 2.22$$

Nilai f_{cc} dan ε_{cc} diestimasi dengan persamaan berikut:

$$\frac{f_{cc}}{f_o} = 1 + 0,6 \left(\rho_s \frac{f_y}{f_o} \right)^{1,25} \dots\dots\dots 2.23$$

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_o} = 1 + 2,6 \left(\rho_s \frac{f_y}{f_o} \right)^{0,8} \dots\dots\dots 2.24$$

Persamaan (2.23) dan (2.24) di atas menunjukkan bahwa pengaruh kekangan oleh tulangan lateral ditentukan langsung oleh faktor $\rho_s \frac{f_y}{f_o}$, dimana ρ_s adalah rasio volumetric tulangan lateral. Mansur menganggap bahwa tulangan lateral telah leleh (f_y) pada saat beton berada di respon puncaknya. Namun demikian model usulan Mansur di atas hanya dapat diterapkan untuk beton terkekang penampang persegi.

2.14.2 Model Kekangan Campione

Campione (2002) mengusulkan model kekangan berserat baja yang dapat diaplikasikan pada beton penampang persegi.

Kurva sebelum puncak:

$$\frac{\sigma}{f'_c} = \frac{\beta (\varepsilon / \varepsilon_0)}{\beta - 1 + (\varepsilon / \varepsilon_0)^\beta} \dots\dots\dots 2.25$$

Kurva setelah puncak:

$$\frac{\sigma}{f'_c} = \eta_d \exp \left[-k_d \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - x_d \right)^\lambda \right] \dots\dots\dots 2.26$$

$$\beta = A + B(RI)^C \dots\dots\dots 2.27$$

dimana A=0.5811 ; B=1.93 ; C=-0.740

$$\beta = \frac{E_c \dots\dots\dots 2.28}{E_c - (f'_c / \varepsilon_o)}$$

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + 2.1 \left[k_e \frac{f_l}{f'_c} \right]^{0.7} \dots\dots\dots 2.29$$

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_o} = 1 + 5k_1 \left[k_e \frac{f_l}{f'_c} \right]^{0.7} \dots\dots\dots 2.30$$

Persamaan (2.29) dan (2.30) di atas menunjukkan bahwa nilai tegangan puncak dan regangan puncak beton berserat terkekang ditentukan oleh aplikasi tegangan lateral (akibat sengkang) dan efektifitas kekangan (k_e).

2.14.3 Model Lima & Giongo

Lima & Giongo (2005) mengusulkan model kekangan berserat baja untuk penampang persegi sebagai berikut.

Perilaku kurva sebelum puncak mengadopsi persamaan usulan Popovics (1973) yaitu:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ccf}} = \left[\frac{\beta \left(\frac{s_c}{s_{ccf}} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{s_c}{s_{ccf}} \right)} \right] \dots\dots\dots 2.31$$

Dimana:

$$\beta = \frac{E_{cf}}{E_{cf} - (f_{ccf} / s_{ccf})} \dots\dots\dots 2.32$$

Kurva pasca puncak diambil persamaan usulan Fatifis & Shah yaitu:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ccf}} = \exp [k_{11} (\varepsilon_c - \varepsilon_{ccf})^{k_{22}}] \dots\dots\dots 2.33$$

k_{11} dan k_{12} adalah faktor yang mengontrol bentuk kurva dan kelengkungan kurva pasca puncak.

$$k_{11} = \frac{\ln 0.5}{(s_{cc50} - s'_{cc})^{k_{12}}} \dots\dots\dots 2.34$$

$$k_{22} = 1,3344 - 8,864 \left[\frac{f_{le}}{f_{cf}} \right] + 41,455 \left(\frac{f_{le}}{f_{cf}} \right)^2 + 0,525 R^{0,789} \dots\dots 2.35$$

R adalah faktor penambahan serat baja yaitu:

$$R = \frac{V_f l_f}{\varphi_f} \dots\dots\dots 2.36$$

Persamaan tegangan dan regangan beton terkekang di saat puncak diprediksi berdasarkan hasil regresi non linier sebagai berikut

$$\frac{f_{ccf}}{f_{cf}} = 1,0 + 2, \left(\frac{f_{le}}{f_{cf}} \right)^0 \dots\dots\dots 2.37$$

$$\varepsilon_{ccf} - \varepsilon_{co} = 0,266 \left(\frac{f_{le}}{f_{cf}} \right)^{1,7} + 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot R \dots\dots\dots 2.38$$

Dan regangan di saat tegangan turun sebesar 50% pada kondisi pasca puncak adalah:

$$\varepsilon_{0,5ccf} - \varepsilon_{0,5c} = 0,175 \left(\frac{f_{le}}{f_{cf}} \right)^{1,1} + 134,425 \left(\frac{R}{f_{cf}} \right)^{0,701} \dots\dots 2.39$$

2.14.4 Model Paultre *et al.*

Paultre *et. al* (2010), menurunkan model kekangan beton berserat baja mutu tinggi dari hasil pengujian benda uji kolom penampang persegi sebanyak lima belas buah. Beberapa parameter seperti kuat tekan beton, rasio tulangan longitudinal dan karakteristik tulangan lateral (rasio, spasi dan tegangan leleh) divariasikan untuk memperoleh perilaku tegangan-regangan secara komprehensif. Kurva tegangan regangan dibagi dalam dua tahap yaitu kurva sebelum puncak dan setelah puncak. Kurva sebelum puncak adalah:

$$f_c = f'_{cc} \left[\frac{k \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_{cc}} \right)}{k - 1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_{cc}} \right)^k} \right], \quad \epsilon_c \leq \epsilon'_{cc} \dots\dots\dots 2.40$$

dimana k adalah parameter untuk mengontrol *slope* kurva *ascending branch* yaitu:

$$k = \frac{E_c}{E_c - \left(f'_{cc} / \epsilon'_{cc} \right)} \dots\dots\dots 2.41$$

E_c adalah modulus elastisitas beton unconfined. Kurva *descending branch* adalah:

$$f_c = f'_{cc} \cdot \exp \left[k_1 (\epsilon_c - \epsilon'_{cc})^{k_2} \right], \quad \epsilon_c \geq \epsilon'_{cc} \dots\dots\dots 2.42$$

k_1 dan k_2 adalah parameter yang mengontrol bentuk kurva pasca puncak dimana:

$$k_1 = \frac{\ln 0.5}{\left(\epsilon_{cc50} - \epsilon'_{cc} \right)^{k_2}} \dots\dots\dots 2.43$$

$$k_2 = 0.58 + 60(I_{e50})_{1,4} \dots\dots\dots 2.44$$

I_{e50} adalah tegangan lateral akibat tulangan lateral yang dipasang ditambah dengan kontribusi serat, yang dirumuskan:

$$I_{e50} = \frac{\rho_{sy} f_{hy}}{f'_c} + \frac{\eta_{50} \eta_{\theta} \tau_{fu} v_f \left(\frac{l}{d} \right)}{f'_c} \dots\dots\dots 2.45$$

Tegangan lateral pada suku pertama di ruas kanan persamaan (2.45) adalah untuk beton terkekang penampang persegi karena sesuai dengan eksperimen oleh Paultre yang berupa kolom penampang persegi. Selanjutnya:

$$\tau_{fu} = 2f_t \dots\dots\dots 2.46$$

Paultre mendefinisikan nilai f_t adalah 8, nilai η_{θ} dan η_{50} adalah sama yaitu 0.5. Regangan beton terkekang pada saat tegangan puncak drop sebesar 50% saat pasca puncak adalah:

$$\epsilon_{cc50} = \epsilon_{c50} + 0.15(I_{e50})^{1,1} \dots\dots\dots 2.47$$

Paultre mengusulkan persamaan non linier peningkatan kekuatan beton terkekang atau K dan regangan puncak beton terkekang sebagai berikut:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + 2.4(I'_e)^{0.7} \dots\dots\dots 2.48$$

$$\varepsilon'_{cc} = \varepsilon'_c + 0.21(I'_e)^{1.7} \dots\dots\dots 2.49$$

$$I'_e = \frac{f'_{le}}{f'_c} \dots\dots\dots 2.50$$

I'_e adalah index kekangan yang merupakan fungsi dari tegangan lateral efektif (f'_{le}).

2.14.6. Model kekangan usulan Naeimi *et. al* (2021).

Naeimi *et. al* (2021), menurunkan model kekangan beton berserat baja untuk penampang bulat dan persegi yang diuraikan di bawah ini.

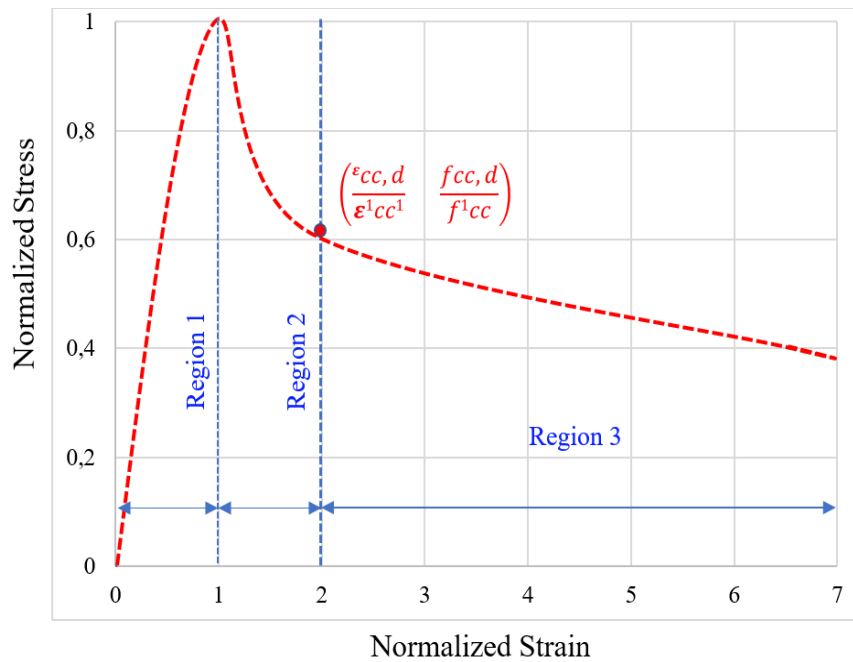
$$E_c = 3400\sqrt{f_{co'vf=0}} + 1310v_f \text{ MPa} \dots\dots\dots 2.51$$

$$f_{cc'} = f_{co'vf=0} + 6.26v_f + 6.57\rho_s \text{ (MPa)} \dots\dots\dots 2.52$$

$$\varepsilon_{cc'} = \varepsilon_{co'vf=0} + 7.82 \cdot 10^{-5}v_f + 3.49 \cdot 10^{-4}\rho_s \dots\dots\dots 2.53$$

$$\varepsilon_{co'vf=0} = 2.54 \cdot 10^{-5} \cdot f_{co'vf=0} \dots\dots\dots 2.54$$

$$\eta_d = 0.289 + 0.004v_f + 0.052\rho_s \dots\dots\dots 2.55$$



Gambar 2. 11 Model tegangan-regangan (Naeimi *et. al* 2021)

Daerah 1:

$$f_c = f_{cc}' \left[\frac{\beta_1 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c50c}} \right)}{\beta_1 - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c50c}} \right)^{\beta_1}} \right] \text{ untuk } \frac{s_c}{s_{cc}'} \leq 1.0 \dots\dots\dots 2.56$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 - \frac{f_{cc}'}{s_{cc}' \cdot E_c}} \dots\dots\dots 2.57$$

Daerah 2:

$$f_c = f_{cc}' \left[\frac{\beta_2 \left(\frac{s_{cc}'}{s_c} \right)}{\beta_2 - 1 + \left(\frac{s_{cc}'}{s_c} \right)^{\beta_2}} \right] \text{ untuk } 1.0 \leq \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}, \leq \chi_d \dots\dots\dots 2.58$$

$$\chi_d = \frac{s_{cc,d}}{s_{cc}'} \dots\dots\dots 2.59$$

$$\varepsilon_{cc,d} = \frac{y_d}{f_{cc}'} \dots\dots\dots 2.60$$

$$\beta_2 = 3.096 - 0.0941 v_f - 0.2073 \rho_s \dots\dots\dots 2.61$$

$$\beta_3 = 3.793 - 0.2314 v_f - 0.0100 \rho_s \dots\dots\dots 2.62$$

2.14.6. Model kekangan beton berserat baja pada suhu tinggi

Zaidi *et. al* (2016), mengusulkan model kekangan beton berserat baja pada suhu 200°C-800°C. Karakteristik tegangan–regangan sisa dari kekangan biasa dan beton terkekang berserat mutu tinggi bergantung pada karakteristik lateral pengekang baja, sifat serat dan suhu. Efek dari baja pengikat lateral dan suhu diperhitungkan dengan parameter f_{leT}/f'_{cc} , dimana, f_{leT} adalah tekanan efektif lateral pengekangan pada saat pemanasan puncak. $f_{leT} = K_e f_{lT}$

$$K_e = \frac{(1-s^F/2c)}{(1-\rho_c)} \dots\dots\dots 2.63$$

$$f_{lT} = \frac{1}{2} \rho_s f_{yT} \dots\dots\dots 2.64$$

$$\frac{f_{yT}}{f_y} = 0,966 + 3,87 \times 10^{-4} T - 1,08 \times 10^{-6} T^2 \dots\dots\dots 2.65$$

s adalah jarak sengkang, ρ_c adalah rasio tulangan longitudinal di bagian inti dan c adalah diameter inti, ρ_s adalah rasio tulangan pengekangan dan f_{yT} adalah kekuatan hasil sisa pengekangan.

Maka persamaan untuk tegangan maksimum terkekang (f_{cc}), regangan (ε_{cc}) dan regangan puncak (ε_{c50c}) sebagai berikut:

Tegangan Maksimum:

$$\frac{f_{cc}}{f'_c} = 11,59 \left[\frac{f_{leT}}{f'_c} + \frac{k_{F1}}{f'_c} \right]^{0,85} - 0,164 \dots \dots \dots 2.66$$

Regangan Puncak:

$$\frac{s_{cc}}{s_{co}} = 149,84 \left[\frac{f_{leT}}{f'_c} + \frac{k_{F2}}{f'_c} \right]^{1,75} - 0,128 \dots \dots \dots 2.67$$

Regangan pada 50 %:

$$\frac{s_{c50c}}{s_{co}} = 175 \left[\frac{f_{leT}}{f'_c} + \frac{k_{F3}}{f'_c} \right]^{0,051} - 151,53 \dots \dots \dots 2.68$$

❖ Suhu $20^\circ C < T < 400^\circ C$

$$k_{f1} = 1,457 + 0,00269T + 0,985 (RI)_s + 0,0052 (RI)_s$$

❖ Suhu $400^\circ C < T < 800^\circ C$

$$k_{f1} = 3,55 - 0,00545T + 1,56 (RI)_s + 0,42 (RI)_s$$

❖ Suhu $20^\circ C < T < 300^\circ C$

$$k_{f1} = 0,92 + 0,0037T + 1,06 (RI)_s + 1,63 (RI)_s$$

❖ Suhu $300^\circ C < T < 800^\circ C$

$$k_{f1} = 0,92 + 0,0037T + 1,06 (RI)_s + 1,63 (RI)_s$$

❖ Suhu $20^\circ C < T < 400^\circ C$

$$k_{f1} = 1,98 + 0,0068T + 9,91 (RI)_s + 3,82 (RI)_s$$

❖ Suhu $400^\circ C < T < 800^\circ C$

$$k_{f1} = -10,206 + 0,043T + 9,76 (RI)_s + 10,82 (RI)_s$$

$$RI = w_f \left(\frac{l_f}{d} \right) \dots \dots \dots 2.69$$

k_{f1} , k_{f2} dan k_{f3} merupakan koefisien pengekangan lateral yang disumbangkan oleh serat baja (MPa)

Sedangkan untuk Modulus Elastisitas

Untuk $20^{\circ}\text{C} < T < 200^{\circ}\text{C}$

$$\frac{E_{ciT}}{E_{ci}} = 1 \dots\dots\dots 2.70$$

Untuk $200^{\circ}\text{C} < T < 800^{\circ}\text{C}$

$$\frac{E_{ciT}}{E_{ci}} = 1.76 - 4.29 \times 10^{-3}T + 2.7 \times 10^{-6}T^2 \dots\dots 2.71$$

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini mencakup 2 aspek yaitu studi literatur dan studi eksperimental. Berdasarkan studi literatur sudah banyak yang melakukan penelitian tentang pengembangan beton serat, khususnya serat yang digunakan adalah serat baja (kawat bendrat). Dimana dengan menggunakan bahan tambah serat baja pada beton sangat baik karena dapat meningkatkan daktilitas beton. Di dalam penelitian ini dikembangkan lagi untuk mengetahui perilaku beton serat terkekang yang dibakar hingga suhu tinggi. Studi eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini merupakan serangkaian pengujian di laboratorium yang terdiri dari uji properties dari beton serat baja sebelum dibakar dan setelah dibakar serta beton serat dengan kekangan berpenampang lingkaran sebelum dibakar dan setelah dibakar.

3.1. Pembuatan Benda Uji dan Tempat Pengujian.

Untuk pembuatan benda uji beton dan perawatannya bekerjasama dengan PT. Nurcahya Jaya Mandiri yang merupakan Perusahaan Ready mix yang berlokasi di daerah Demak. Pembuatan benda uji dalam bentuk spesimen ukuran 100x200 mm yang terdiri dari benda uji terkekang dan benda uji tidak terkekang. Untuk benda uji beton terkekang digunakan tulangan longitudinal dengan diameter 8 mm sedangkan untuk tulangan lateral menggunakan tulangan diameter 5.5 mm. Pembakaran benda Uji dilakukan di Krematorium yang ada di kota Semarang. Dengan durasi waktu pembakaran dilakukan selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Pengujian spesimen beton semua dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Diponegoro (Undip). Kuat tekan rencana beton sebesar ± 30 MPa, ± 50 MPa dan ± 70 MPa dengan bahan tambah dari serat bendrat dengan perbandingan antara panjang dan diameter serat yaitu $40 \leq l/d \leq 50$.

3.2. Bahan / Material

- a. Semen
Semen yang digunakan adalah semen type 1 (*Portland Composite Cement*) atau semen normal yang banyak tersedia di pasaran.
- b. Agregat Halus (Pasir)
Agregat halus yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari pasir gunung merapi yang diambil dari daerah muntilan.
- c. Agregat Kasar (kerikil)
Agregat kasar yang digunakan berasal daerah Jepara dengan ukuran maksimum agregat 15 mm.
- d. Air
Air yang digunakan adalah air yang memenuhi persyaratan untuk campuran beton.
- e. Serat Bendrat
Jenis serat yang digunakan pada campuran beton adalah dengan menggunakan serat bendrat dengan panjang $40 \leq l/d \leq$ bendrat yang digunakan yang ada dipasaran dengan variasi campuran 0%, 1%, 2% dari volume beton.

Untuk proses pencampuran/pengadukan beton yaitu dengan cara memasukan bahan/material kedalam alat aduk beton (*Concrete Mixer*) secara berurutan mulai dari kerikil, pasir, semen, serat bendrat dan air. Untuk menghindari terjadinya penggumpalan serat pada waktu proses pencampuran yaitu dengan cara serat bendrat dimasukan kedalam mixer secara bertahap sehingga penyebaran bisa merata.

3.3. Spesifikasi Benda Uji

Spesifikasi benda uji yang digunakan berbentuk silinder ukuran 100 mm x 200 mm. Penelitian terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1. Spesimen tak terkekang tidak dibakar
2. Spesimen tak terkekang dibakar
3. Spesimen terkekang tidak dibakar
4. Spesimen terkekang dibakar

Untuk pengeangan ada 2 model yaitu pengeangan dengan spasi 50 mm dan pengeangan spasi 100 mm. Masing-masing 1 spesimen dengan total keseluruhan 108 spesimen dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Rencana Benda Uji

Mutu Beton (f_c)	Volume Fraksi (V_f)	Tak terkekang dan tidak dibakar	Tak Terkekang dan dibakar			Terkekang dan tidak dibakar		Terkekang dan dibakar						Σ	
			1 Jam	2 Jam	3 Jam	S 100	S 50	Spasi 100			Spasi 50				
								1 Jam	2 Jam	3 Jam	1 Jam	2 Jam	3 Jam		
30	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	2%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
50	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	2%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
70	0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	2%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Jumlah														108	

3.4. Model benda Uji Terkekang

Model benda uji yang digunakan untuk penelitian berbentuk silinder dengan ukuran diameter 100 mm x 200 mm, tulangan longitudinal 4Ø8 dan tulangan kejang/lateral ada dua model yaitu 1) kejang Ø5.5 – 50 mm, 2) kejang Ø5.5 – 100 mm. Model merupakan representasi dari struktur yang akan diuji dan dibuat dalam skala yang lebih kecil, tetapi harus mampu menggambarkan dari keadaan struktur yang sebenarnya. Pembuatan model dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ketersediaan alat, kemampuan alat tempat pengujian dan biaya. Model benda uji seperti gambar 3.1 dan 3.2 berikut ini:



Gambar 3.1 Pengekangan Tulangan Spasi 50 mm



Gambar 3.2 Pengekangan tulangan Spasi 100 mm

3.5. Nomenklatur

Nomenklatur diperlukan untuk mendapatkan gambaran secara ringkas dan jelas mengenai penamaan dari suatu benda uji. Untuk mutu beton yang digunakan yaitu *Normal Strength Concrete* (NSC), *Medium Strength Concrete* (MSC) dan *High Strength Concrete* (HSC), dengan prosentase serat 0%, 1%, 2% dan lama

pembakaran 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Berikut nomenklatur dari benda uji spesimen beton:

1. NFUC1: *Non Fire Un Confined*
2. NFC1: *Non Fire Confined*
3. F1C1: *Fire Confined*

Keterangan:

F1 : menunjukkan lama pembakaran 1 jam

F2 : menunjukkan lama pembakaran 2 jam

F3 : menunjukkan lama pembakaran 3 jam

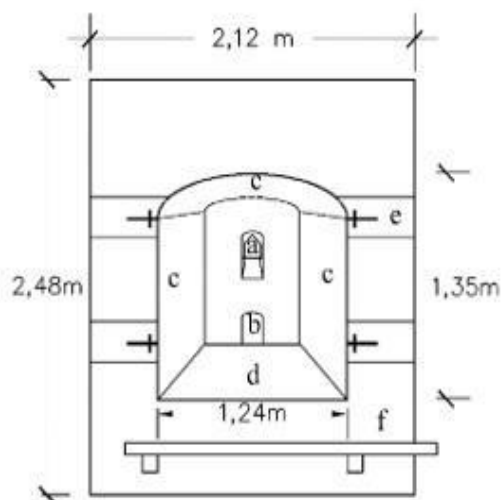
C1 : kekangan untuk spesimen nomor 1

C2 : kekangan untuk spesimen nomor 2

C3 : kekangan untuk spesimen nomor 3 dst.

3.6. Tempat Pembakaran

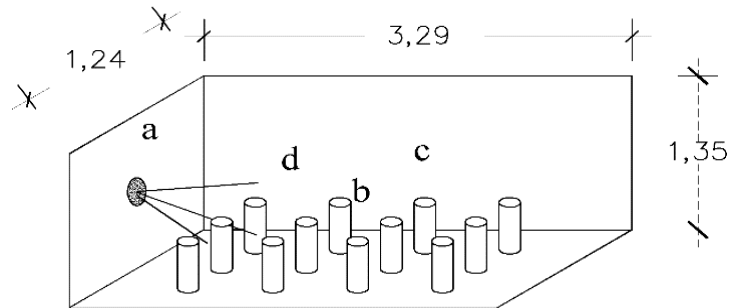
Proses pembakaran benda uji dilakukan di Krematorium Kota Semarang. Ruang pembakaran mempunyai ukuran tinggi 1.35 m, lebar 1.24 m dan panjang 3.29 m. Tempat dan proses pembakaran seperti pada Gambar 3.3, dan 3.4 dan Gambar 3.5. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah solar. Tempat/tungku terbuat dari bahan tahan api.



Gambar 3. 3. Tampak Dalam Tungku

Keterangan :

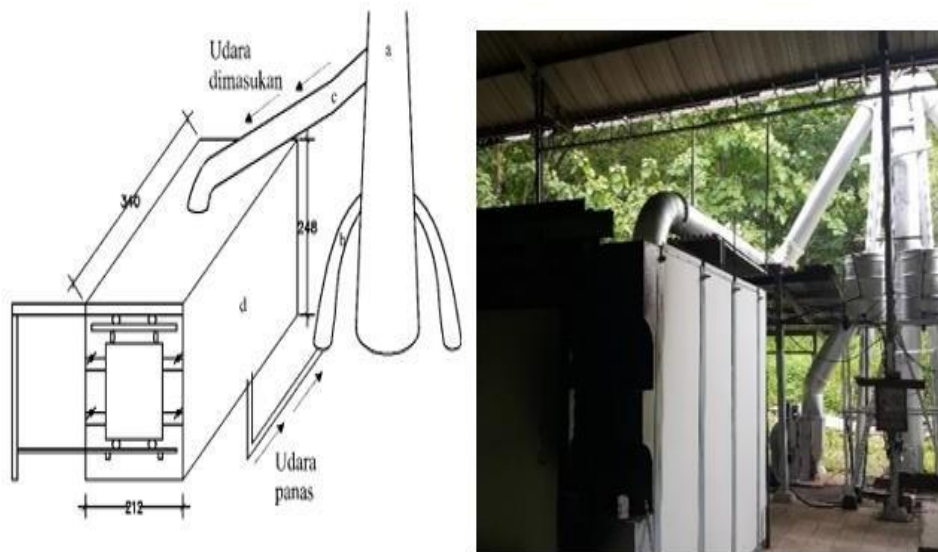
- a. Blower, b. Termometer, c. Batu Api, d. Tempat Benda Uji, e. Kunci Penutup, f. Rel Pintu



Gambar 3.4. Penataan Benda Uji Dalam Tungku

Keterangan:

- a. Blower , b. Benda Uji, c. Batu api d. Semburan api



Gambar 3. 5. Mekanisme Pembakaran

Keterangan :

- a) Cerobong udara, b) Cerobong penyedot udara, c) Cerobong pemberi udara, d) Ruang pembakaran

3.7. Tahap Pengujian

Benda Uji yang akan digunakan untuk pengujian pada eksperiment ini ditujukan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik material beton serat mutu tinggi dan perilaku beton serat terkekang yang dibakar pada suhu tinggi. Alat uji karakteristik dan perilaku mekanik material adalah: *Universal Testing Machine* kapasitas 200 kN dengan sistem *Displacement Control*, *LVDT*, *Strain Gauge*, *Dial Gauge*, *Load Cell Capacity* dan lain-lain. Pada penelitian ini pengujian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: Uji Properties tanpa bakar, Uji Properties Pasca Bakar, Uji Beton Kekang Tanpa Bakar dan Uji Beton Kekang Pasca Bakar.

3.8. Alat-alat pengujian

a. *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM merupakan suatu mesin atau alat pengujian yang berfungsi untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. Metode pengujian mengikuti standart uji ASTM C39 yang dilakukan pada umur 28 hari untuk beton tidak dibakar dan 90 hari untuk beton yang dibakar. UTM ini telah terbukti sangat akurat akan memberikan informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap bahan sehingga standarisasi yang diinginkan dapat tercapai dengan sempurna. Pengujian tidak hanya untuk mendapatkan nilai kekuatan maksimum spesimen saja tetapi juga untuk mendapatkan perilaku yang terjadi akibat beban aksial tekan tersebut.



Gambar 3. 6. *Universal Testing Machine*

b. Load Cell

Load Cell berfungsi untuk membaca kekuatan dari bahan yang diuji. *Load Cell* yang digunakan Type CLC-1MNA kapasitas 200 T.



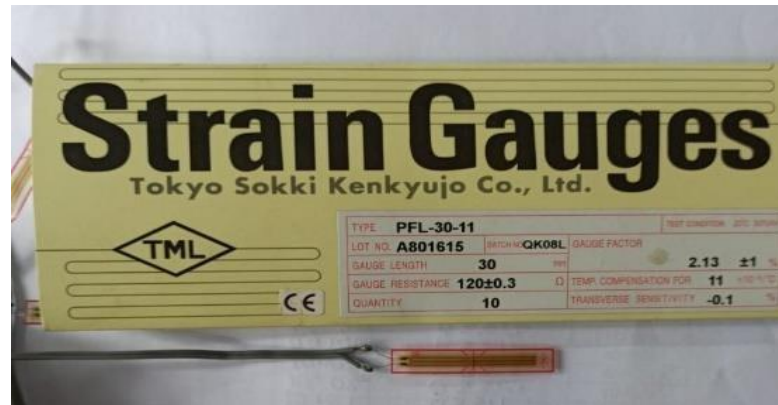
Gambar 3. 7. *Load Cell* Kapasitas 200

c. Strain Gauge

Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (*deformasi* atau *strain*). Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat *insulatif* (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Ada 2 jenis *Strain Gauge* yang digunakan dalam penelitian yaitu *Strain Gauge* untuk baja digunakan Type FLA-6-11 sedangkan *Strain Gauge* untuk beton digunakan Tipe PFL-30-11.



Gambar 3. 8. *Strain Gauge* Baja



Gambar 3. 9. *Strain Gauge* Beton



Gambar 3. 10. Pemasangan *Strain Gauge* Pada Tulangan Longitudinal



Gambar 3. 11. Pemasangan *Strain Gauge* Pada Tulangan Senggang

d. Data Logger

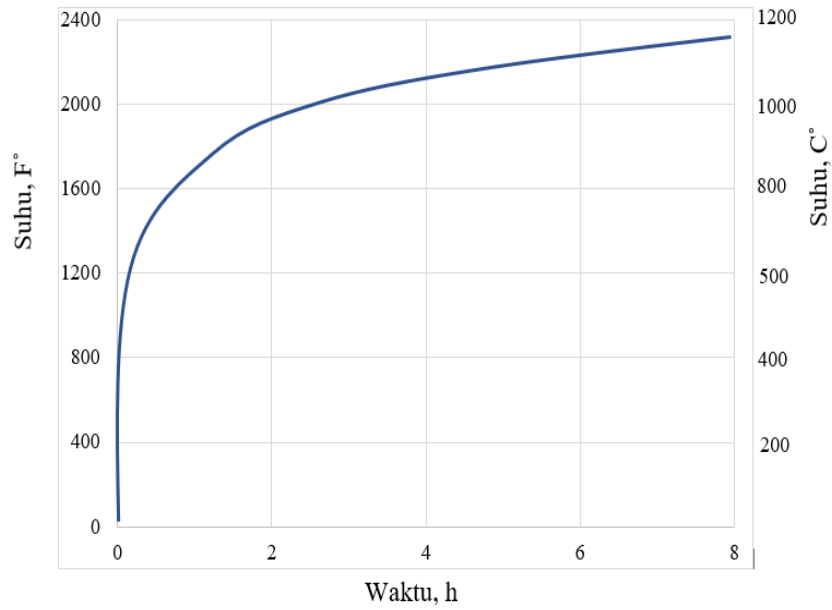
Alat yang digunakan untuk menyimpan dokumen informasi yang berkaitan dengan proses yang berhubungan dengan pembacaan data lebih valid.



Gambar 3. 12. *Data Logger Type TSD-630*

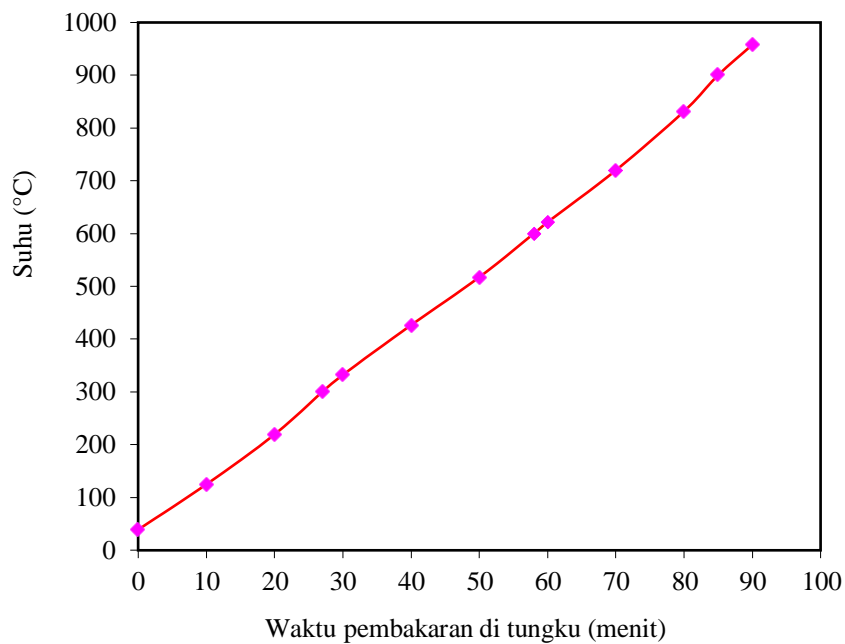
3.8 Metode Pembakaran Benda Uji

ASTM E 119 – Ooa (2000) dan Model Code 2010 mengatur tentang metode penelitian pembakaran spesimen beton dari suhu normal maupun suhu tinggi. Namun kedua standar tersebut di atas juga memperbolehkan metode pembakaran benda uji terhadap durasi (lamanya pembakaran). Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.13, besarnya suhu dapat dikonversi ke dalam durasi pembakaran.



Gambar 3. 13. Hubungan/Konversi Suhu Terhadap Durasi Pembakaran (ASTM E 119 – Ooa, 2000)

Di lain pihak, metode pembakaran yang digunakan oleh Harprastanti (2017) maupun Antonius *et al.* (2019, 2020) adalah berdasarkan pengukuran suhu secara langsung di tungku pembakaran. Hasil pengukuran terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Grafik Hubungan Antara Suhu Dengan Lamanya Pembakaran (Harprastanti (2017) maupun Antonius *et. al* (2019, 2020)

Di dalam dalam penelitian ini, pembakaran spesimen diambil berdasarkan durasi pembakaran yaitu 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Karena penelitian menggunakan tungku pembakaran yang sama oleh Harprastanti maupun Antonius di atas, maka jika dikonversi berdasarkan gambar di atas maka suhu yang timbul akibat pembakaran 1 jam adalah 600°C, dan jika dibakar di atas 2 jam maka suhu yang terjadi di atas 900°C. Dengan demikian dapat dikatakan sesuai kedua standar di atas spesimen dibakar pada suhu tinggi.

3.9. Prosedur Pengujian Tekan

Pelaksanaan pengujian beton dilakukan dalam 4 tahap, yaitu:

- a. Pengujian untuk beton non bakar
- b. Pengujian beton pasca bakar
- c. Pengujian beton keang tidak dibakar
- d. Pengujian beton keang pasca bakar

Prosedur pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011 (Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Spesimen) dengan tahapan sebagai berikut:

1. Benda uji spesimen diletakkan pada mesin tekan secara sentris
2. *Strain Gauge* dipasang (ditempel) pada beton dan disambungkan ke *Data Logger*
3. *Load Cell* disambungkan ke *Data Logger*
4. Mesin dinyalakan dengan penambahan beban dengan kecepatan secara konstan dengan penambahan beban sebesar 0,15 N/mm²
5. Pengujian dengan pembebanan dilakukan sampai beton hancur
6. Semua hasil pengujian terekam pada *Data Logger*.



Gambar 3. 15. *Setting* Pengujian



Gambar 3. 16. Pengujian Spesimen 1



Gambar 3. 17. Pengujian Spesimen 2



Gambar 3. 18. Visual Hasil Uji Tekan Beton

3.10. Pengolahan data hasil pengujian

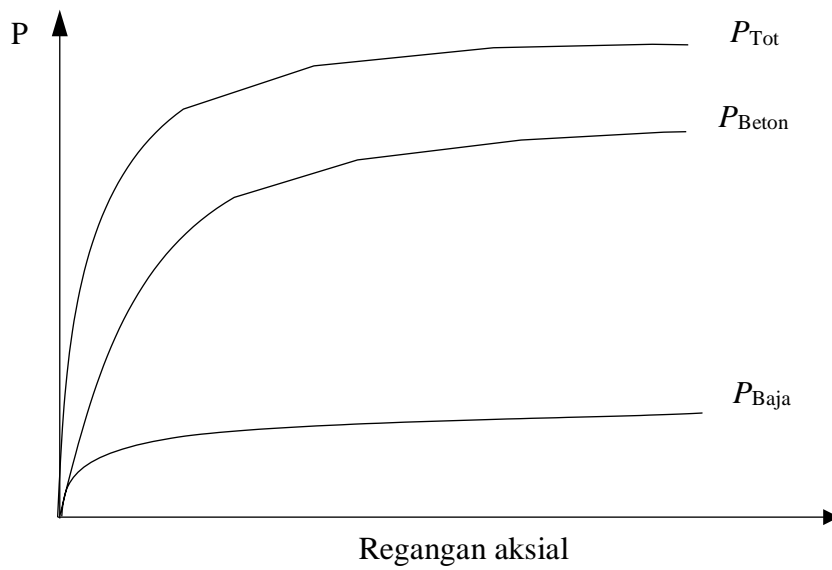
Beban maksimum yang bekerja dapat dibaca dari *Data Logger*, dimana nilai P_{mak} ini berkorelasi dari regangannya. Beban yang dipikul beton (P_{beton}) diperoleh dari harga P_{mak} yang dikurangi dengan beban yang diterima oleh tulangan longitudinal berdasarkan data regangan (Gambar 3.19). Berdasarkan Gambar 3.19 tersebut, tegangan beton terkekang:

$$f_{ccf'} = \frac{P_{beton}}{A_{core}} \dots\dots\dots 3.1$$

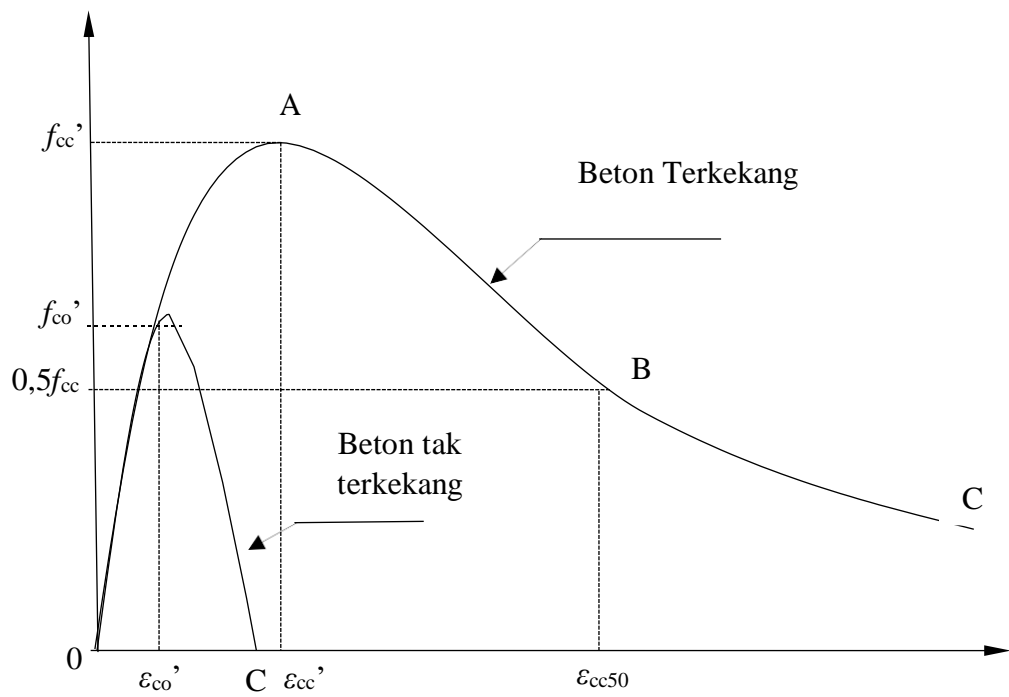
Besarnya peningkatan kekuatan beton terkekang (K) adalah:

$$K = \frac{f_{ccf'}}{0,85f_c'} \dots\dots\dots 3.2$$

Selanjutnya data-data lain yang diperoleh adalah besaran tegangan dan regangan puncak, dan regangan di saat beton pasca puncak telah turun setelah 50% (ϵ_{ccf50}), lihat Gambar 3.20.

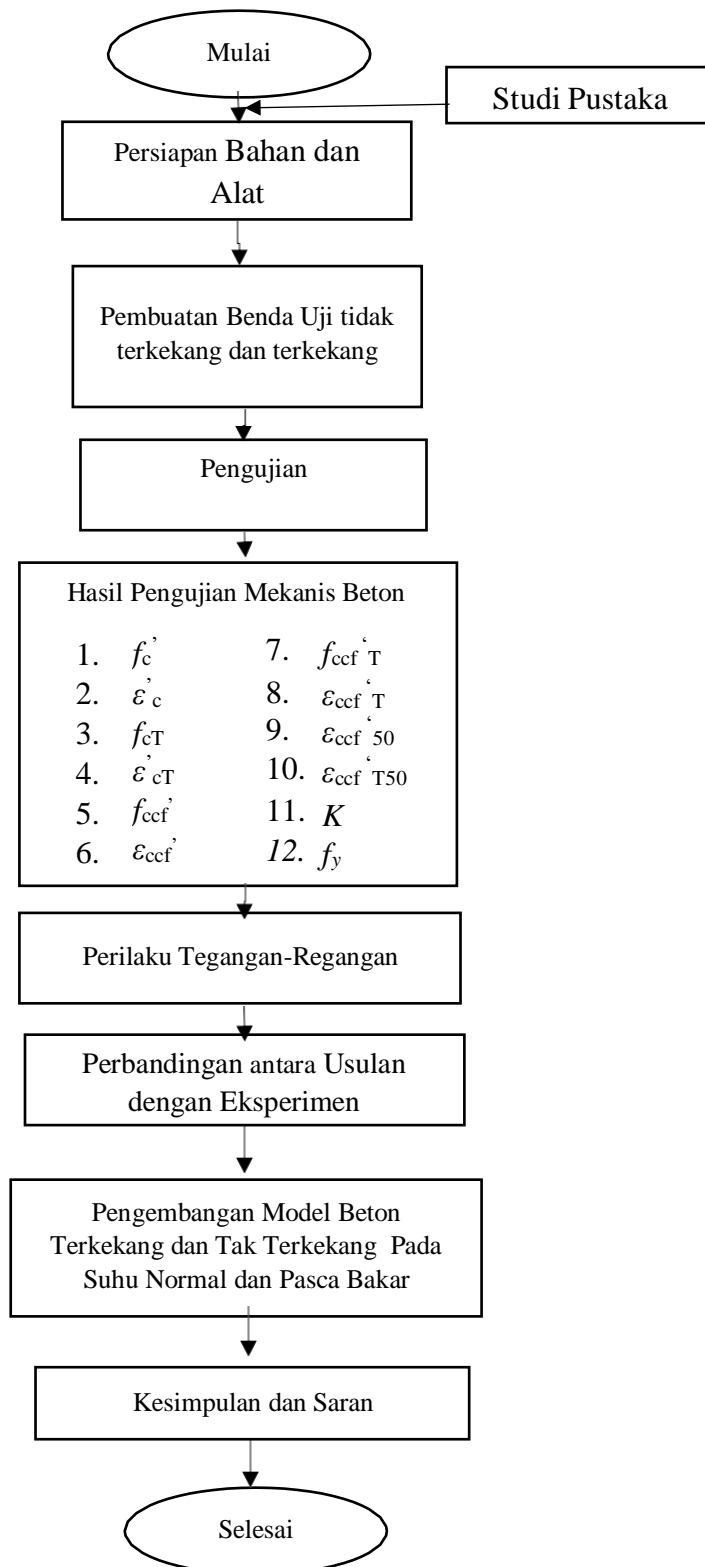


Gambar 3.19. Penentuan Beban yang Dipikul Beton



Gambar 3.20 Parameter Beton Tak Terkekang dan Beton Terkekang

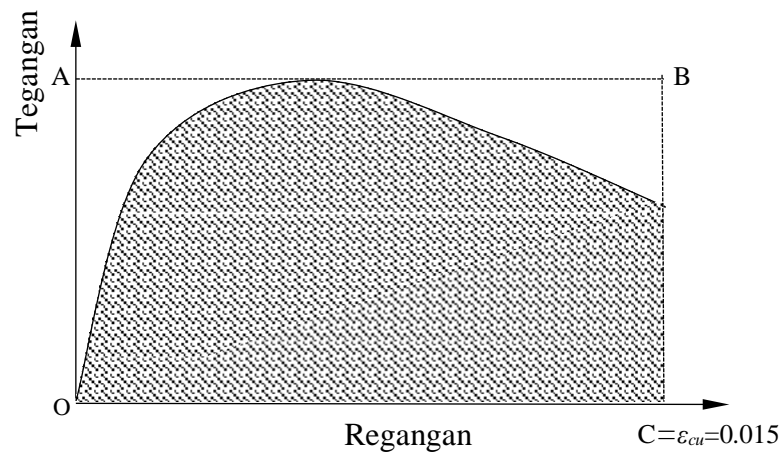
3.11. Bagan alir



Gambar 3.22. Alur Penelitian

3.12. Toughness Index

Di dalam penelitian ini, besaran *toughness* untuk beton tak terkekang dinyatakan dalam *Toughness Index* (TI), dimana kalkulasinya dilakukan berdasarkan pendekatan oleh Aoude *et. al* (2014) dan Antonius (2015) seperti terlihat pada Gambar 3.21. Berdasarkan gambar tersebut, TI didefinisikan sebagai luas daerah yang diarsir dibagi dengan luas persegi panjang OABC (Nataraja, 1998).



Gambar 3. 21. Definisi Penentuan *Toughness Index*

BAB IV

ANALISA DATA DAN HASIL ANALISA

4.1. Persiapan Bahan

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan, pembuatan benda uji, pembakaran dan tahap pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan disiapkan antara lain bahan *Fly Ash* yang diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati Jepara bekerjasama dengan Koperasi Jasa Pembangkit Tanjung Jati. Bendrat dibeli dari toko di Demak, untuk sika, pasir, kerikil dan Semen Gresik diambil dari *stock plant* PT Nur Jaya Mandiri (NJM) yang berlokasi di Kabupaten Demak. Semua proses pembuatan benda uji spesimen beton dilakukan di PT NJM.



Gambar 4. 1. Potongan Kawat Bendrat



Gambar 4. 2. Agregat Kasar



Gambar 4. 3 .Agregat Halus



Gambar 4.4 *Fly Ash*



Gambar 4. 4. *Sika Viscocrete 1003*



Gambar 4. 5. Semen Gresik

4.2. Rancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Mutu beton yang dirancang ada 3 macam yaitu mutu 30 MPa, 50 MPa dan 70 MPa. Metode Rancangan Campuran Beton berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil Rancangan Campuran Beton tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1. Rancangan Campuran Beton Serat 0%

Bahan	Kuat Tekan ($f'c$)		
	30 (MPa) W/C=0,53	50 (MPa) W/C=0,38	70 (MPa) W/C=0,28
Semen (Kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i> (Kg/ M ³)	-	72,05	82,83
Air (Lt/ M ³)	186	160	136
Agregat Halus (Kg/ M ³)	722,9	646,62	622,07
Agregat Kasar (Kg/ M ³)	886,8	1044,93	1086,22
Viscocrete (Sp) (Kg/ M ³)	1,75	7,38	10,68
Serat Bendrat (Kg/ M ³)	-	-	-

Tabel 4. 2 Rancangan Campuran Beton Serat 1%

Bahan	Kuat Tekan ($f'c$)		
	30 W/C=0,53	50 W/C=0,38	70 W/C=0,28
Semen (Kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i> (Kg/ M ³)	-	72,05	82,83
Air (Lt/ M ³)	186	160	136
Agregat Halus (Kg/ M ³)	722,9	464,62	622,07
Agregat Kasar (Kg/ M ³)	886,8	1044,93	1086,22
Viscocrete (Sp) (Kg/ M ³)	1,75	7,38	10,68
Serat Bendrat (Kg/ M ³)	21,45	24,02	24,59

Tabel 4. 3 . Rancangan Campuran Beton Serat 2%

Bahan	Kuat Tekan ($f'c$)		
	30 W/C=0,53	50 W/C=0,38	70 W/C=0,28
Semen (Kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i> (Kg/ M ³)	-	72,05	82,83
Air (Lt/ M ³)	186	160	136
Agregat Halus (Kg/ M ³)	722,9	646,62	622,07
Agregat Kasar (Kg/ M ³)	886,8	1044,93	1086,22
Viscocrete (Sp) (Kg/ M ³)	1,75	9,84	14,19
Serat Bendrat (Kg/ M ³)	42,91	48,03	49,18

4.3. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 1

Pembuatan spesimen beton, yaitu dengan memasukkan adukan beton ke dalam cetakan spesimen beton dalam 3 tahap, masing-masing tahap ditusuk sejumlah 25 kali. Setelah lapisan ketiga selesai, bagian permukaan diratakan sama dengan permukaan spesimen. Cetakan dibongkar setelah 24 jam, selanjutnya dilakukan perawatan beton dengan cara direndam.



Gambar 4. 6. Pengadukan beton dengan *Mixer*



Gambar 4. 7. Hasil Adukan Beton



Gambar 4. 8. Trial Uji *Slump*



Gambar 4. 9. Hasil Trial Uji *Slump*



Gambar 4. 10. Sample Benda Uji

4.4. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 2 dan Proses Pembakaran

Pembuatan benda Uji tahap 2 sama dengan tahap 1, baik dari bahan, mutu dan jumlahnya. Pada tahap ke 2 ini setelah beton dikeluarkan dari rendaman disimpan pada tempat yang kering udara minimal selama 90 hari kalender. Lama penyimpanan ini mengurangi kandungan kadar air pada beton, dan untuk menghindari terjadinya ledakan pada saat beton dibakar. Tempat pembakaran di Krematorium Semarang dengan durasi proses pembakaran selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Proses pembongkaran beton dari dalam tungku menunggu sampai tungku dingin, minimal dilakukan satu hari setelah pembakaran selesai.



Gambar 4. 11 Proses Pengangkutan



Gambar 4. 12 Proses Penataan Benda Uji



Gambar 4. 13 Tampak Penataan Benda Uji



Gambar 4. 14 Proses Pembakaran Benda Uji



Gambar 4. 15. Tampak Samping Tungku



Gambar 4. 16. Lubang Kontrol Tungku



Gambar 4. 17. Alat Pengukur Suhu



Gambar 4. 18 Beton Pasca Pembakaran



Gambar 4. 19 Pembongkaran Beton



Gambar 4. 20. Beton Pasca Bakar

4.5. Pembuatan Benda Uji Beton Tahap 3, Proses Pembakaran dan Pemasangan *Strain Gauge*

Untuk tahap ke 3 pembuatan benda uji spesimen beton ukuran 100x200 mm dengan tambahan tulangan (Gambar 4.22). Ada 2 jenis penulangan yang digunakan yaitu 1) 4-Ø8 mm dengan sengkang Ø6 – 50 mm 2) 4-Ø8 mm dengan sengkang Ø6 – 100 mm tanpa selimut beton. Pada tahap ke 3 ini setelah beton dikeluarkan dari rendaman di simpan pada tempat yang kering udara minimal selama 90 hari kalender. Tempat pembakaran di Krematorium Semarang dengan durasi proses pembakaran selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Setelah selesai proses pembakaran, untuk proses pembongkaran beton menunggu sampai krematorium dingin yaitu minimal dilakukan satu hari setelah pembakaran selesai.



Gambar 4. 21. Rakitan Tulangan S50



Gambar 4. 22. Spesimen 100x200 mm



Gambar 4. 23. Tulangan dalam Spesimen



Gambar 4. 24. Beton S100 dan S50



Gambar 4. 25. Tampak dalam Tungku



Gambar 4. 26. Persiapan Pembakaran



Gambar 4. 27. Proses Pembakaran



Gambar 4. 28. Pasca Bakar



Gambar 4. 29. Penomoran Beton Pasca Bakar

4.6. Pengujian Tekan Beton

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan uniaksial UTM (*Universal Testing Machine*). Pengujian untuk beton yang tidak dibakar dilakukan pada saat beton umur 28 hari, sedangkan untuk beton yang dibakar dilakukan pada saat beton umur minimal 90 hari. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari benda uji akibat pembebanan aksial. Persamaan tegangan- regangan sebagai berikut:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 4.1$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l}{L} \dots\dots\dots 4.2$$

4.7. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spasi tulangan pengekang
Spasi sangat berpengaruh terhadap efektifitas kekangan, pada penelitian ini spasi pengekangan ada 2 macam yaitu, spasi 50 mm dan spasi 100 mm
2. Volume fraksi serat
Volume fraksi serat akan berpengaruh terhadap daktilitas dari beton. fraksi yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0%, 1% dan 2% dari volume beton
3. Lama Pembakaran
Lama pembakaran akan berpengaruh terhadap daktilitas dari beton, lama pembakaran dalam penelitian ini 1 jam, 2 jam dan 3 jam.

BAB V

HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Eksperimen Dan Pembahasan Beton Polos/Tak Terkekang (UnConfined)

Bab ini berisi tentang hasil-hasil eksperimen berupa pengamatan visual dan data-data dari hasil uji laboratorium, yang berupa gambar pola retak dan data-data yang kemudian diolah dalam bentuk grafik. Seperti yang telah disampaikan di muka bahwa rancangan kuat tekan terdiri dari tiga bagian yaitu Beton Mutu Normal, Beton Mutu Menengah, dan Beton Mutu Tinggi.

Tabel 5.1a. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Tidak Dibakar

Jenis Spesimen	Kode Spesimen	V_f (%)	Tidak Dibakar		
			ϵ'_c	f_c (MPa)	TI
Beton Mutu Normal	NFUC1	0	0.0027	34.9	0.23
	NFUC2	1	0.0068	40.9	0.65
	NFUC3	2	0.0086	41.2	0.77
Beton Mutu Menengah	NFUC4	0	0.003	50.6	0.48
	NFUC5	1	0.0061	57	0.82
	NFUC6	2	0.0089	57.5	0.85
Beton Mutu Tinggi	NFUC7	0	0.0045	70.5	0.6
	NFUC8	1	0.0062	71.1	0.75
	NFUC9	2	0.0093	80.6	0.85

Tabel 5.1b. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 1 Jam

Jenis Spesimen	Kode Spesimen	V_f (%)	Dibakar 1 Jam		
			ϵ'_c	f_c (MPa)	TI
Beton Mutu Normal	NFUC10	0	0.0021	26.3	0.44
	NFUC11	1	0.0048	29	0.69
	NFUC12	2	0.0048	27.8	0.9
Beton Mutu Menengah	NFUC13	0	0.0071	49.4	0.67
	NFUC14	1	0.0074	52.6	0.71
	NFUC15	2	0.009	52.3	0.8
Beton Mutu Tinggi	NFUC16	0	0.0035	62.1	0.31
	NFUC17	1	0.0072	69.6	0.81
	NFUC18	2	0.0098	70.7	0.94

Tabel 5.1c. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 2 Jam

Jenis Spesimen	Kode Spesimen	V_f (%)	Dibakar 2 Jam		
			ε'_c	f_c (MPa)	TI
Beton Mutu Normal	NFUC19	0	0.0015	24.4	0.15
	NFUC20	1	0.0026	25.8	0.35
	NFUC21	2	0.0025	28	0.28
Beton Mutu Menengah	NFUC22	0	0.0063	36.7	0.79
	NFUC23	1	0.009	37.2	0.83
	NFUC24	2	0.0116	40	0.75
Beton Mutu Tinggi	NFUC25	0	0.0073	55.4	0.84
	NFUC26	1	0.0096	58.4	0.84
	NFUC27	2	0.009	62.1	0.71

Tabel 5.1d. Hasil Uji Beton Tak Terkekang, Dibakar 3 Jam

Jenis Spesimen	Kode Spesimen	V_f (%)	Dibakar 3 Jam		
			ε'_c	f_c (MPa)	TI
Beton Mutu Normal	NFUC28	0	0.0082	15.9	0.81
	NFUC29	1	0.0064	17.3	0.87
	NFUC30	2	0.0093	18.4	0.81
Beton Mutu Menengah	NFUC31	0	0.0065	18.3	0.76
	NFUC32	1	0.007	25	0.86
	NFUC33	2	0.0067	26.6	0.75
Beton Mutu Tinggi	NFUC34	0	0.0037	33	0.68
	NFUC35	1	0.0041	33.6	0.81
	NFUC36	2	0.009	39.6	0.87

Hasil eksperimen tegangan dan regangan puncak beton serta *Toughness Index* disajikan dalam Tabel 5.1a, Tabel 5.1b, Tabel 5.1c dan Tabel 5.1d. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai TI meningkat secara linier terhadap meningkatnya volume fraksi serat pada setiap kelompok kuat tekan beton dan spesimen yang dibakar pada suhu yang sama. Hasil ini sejalan dengan teori dasar beton berserat bahwa serat memegang peranan signifikan terhadap peningkatan energi yang mampu diserap spesimen atau dengan kata lain semakin tinggi serat yang dikandung di dalam beton maka material tersebut semakin daktail.

Di lain pihak, hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai TI tidak selalu mengalami peningkatan jika durasi pembakaran semakin lama. Sebagai contoh

pada spesimen NSC tanpa serat, pada saat tidak dibakar mempunyai nilai TI sebesar 0.48, namun setelah dibakar 1 jam nilai TI menurun menjadi 0.41, kemudian setelah dibakar 2 jam dan 3 jam masing-masing nilai TI meningkat menjadi 0.43 dan 0.49. Demikian pula pada spesimen NSC dengan volume fraksi serat 1%, dimana nilai TI yang tidak dibakar adalah 0.81, kemudian nilai TI tersebut turun menjadi 0.67 dan 0.59 pada saat pembakaran 1 jam dan 2 jam, namun nilai TI kembali naik menjadi 0.75 jika spesimen dibakar 3 jam. Perilaku yang kurang lebih sama juga ditunjukkan pada spesimen HSC, misal spesimen dengan volume fraksi serat 2%. Jika spesimen tidak dibakar diperoleh nilai TI sebesar 0.80, kemudian jika dibakar 1, 2 dan 3 jam maka nilai TI masing-masing menjadi 0.78, 0.82 dan 0.77. Dari hasil tersebut menunjukkan naik turunnya nilai TI disebabkan karena adanya kandungan air didalam beton.

Selama pembakaran spesimen, ada spesimen yang mengalami pengelupasan (*spalling*) secara cepat atau bisa juga lebih lambat dan hal tersebut tidak tergantung dari durasi pembakaran tersebut. Hal lainnya yang terlihat adalah bahwa tegangan sisa (*residual stress*) yang terjadi berbeda-beda dan tidak menentu pada setiap spesimen. Perilaku ini akan terlihat pada kurva tegangan-regangan, sehingga area pada perilaku tegangan-regangan juga sangat bervariasi dan lamanya pembakaran tidak berpengaruh dan tidak menentukan besarnya tegangan sisa.

Dari hasil pengamatan selama pengujian kuat tekan beton menunjukkan adanya perbedaan pola retak antara beton tanpa serat dengan beton berserat. Jenis keruntuhannya seperti terlihat dalam pembahasan berikut sub bab di bawah.

Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 menunjukkan beton tanpa serat memiliki kecenderungan terjadinya keruntuhan getas, dimana setelah mencapai beban puncak betonnya hancur, di lain pihak keruntuhan beton berserat tersebut tampak secara visual bahwa serat baja berperan dalam menghambat proses keruntuhan spesimen sehingga bersifat lebih daktail.

5.1.1. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang NSC, MSC dan HSC



Gambar 5. 1. Jenis Keruntuhan Beton Tak Kekang Tanpa Bakar NSC



Gambar 5. 2 Jenis Keruntuhan Beton Tak Kekang Tanpa Bakar MSC



Gambar 5. 3. Jenis Keruntuhan Beton Tak Terkekang Tanpa Bakar HSC

5.1.2. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang NSC, MSC dan HSC yang Dibakar Selama 1 jam



Gambar 5. 4 Jenis Keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 1 Jam

Gambar 5.4 secara visual menunjukkan beton pasca bakar tanpa serat tingkat kehancurannya lebih besar/banyak sedangkan beton yang menggunakan bahan tambah dari serat tingkat kehancurannya relatif lebih sedikit. Ini menunjukkan dengan menggunakan bahan tambah dari serat beton mempunyai sifat yang lebih daktail.

5.1.3. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang *NSC*, *MSC* dan *HSC* yang Dibakar Selama 2 Jam



Gambar 5. 5. Jenis Keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 2 Jam

Gambar 5.5 menunjukkan gambar secara visual setelah benda uji dibakar selama 2 jam. Tampak jelas dari gambar bahwa benda uji dengan volume serat 0% tingkat kerusakannya lebih banyak/hancur, sedangkan untuk volume fraksi 1% dan 2% tingkat kerusakannya tidak sebanyak volume serat 1%. Disini tampak peran dari serat baja yang digunakan.

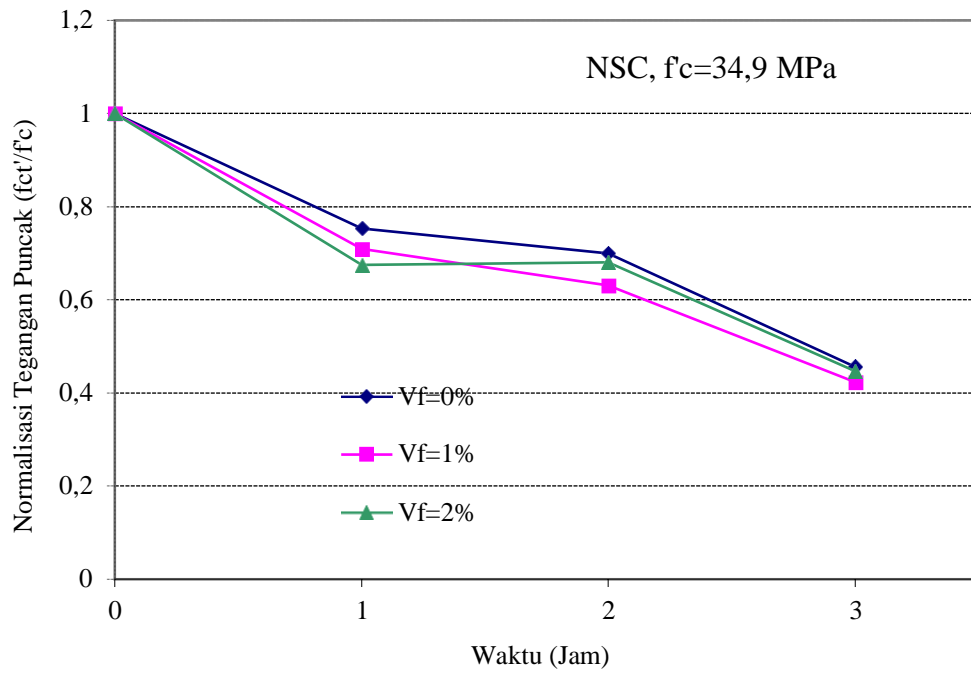
5.1.4. Jenis Keruntuhan Hasil Pengujian Mekanik Spesimen Beton Tanpa Kekang *NSC*, *MSC* dan *HSC* yang Dibakar Selama 3 jam



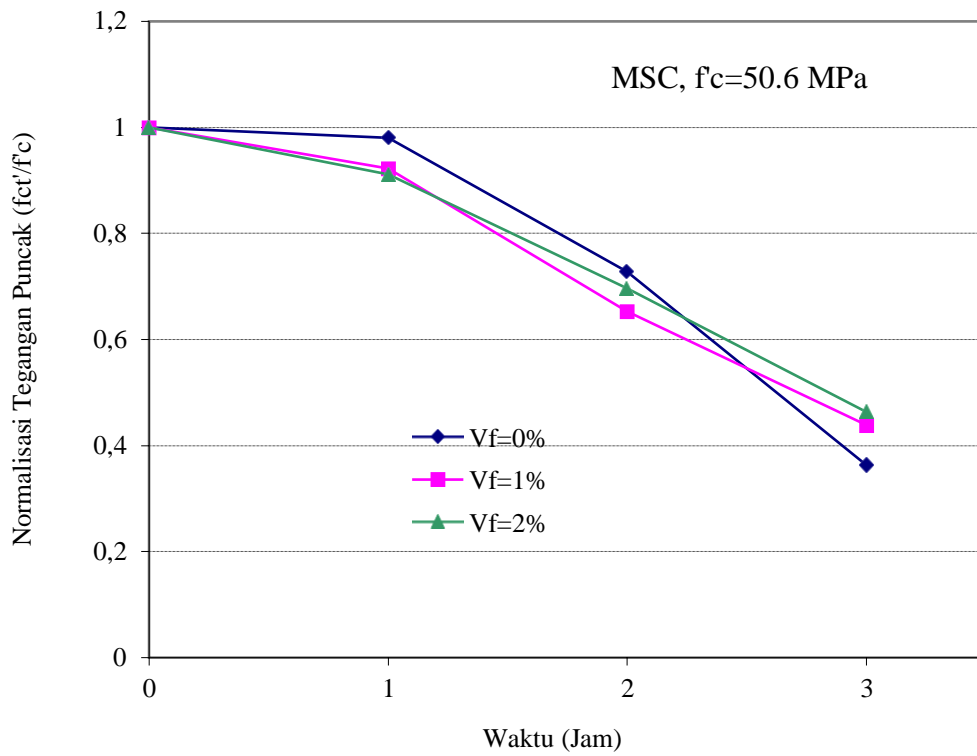
Gambar 5. 6 Jenis keruntuhan Beton Normal Pasca Bakar 3 Jam

Gambar 5.6 merupakan gambar dari benda uji spesimen beton yang dibakar selama 3 jam, secara visual tingkat kerusakan hampir sama atau lebih besar dengan gambar 5.5. dimana benda uji akan mengalami degradasi yang cukup besar.

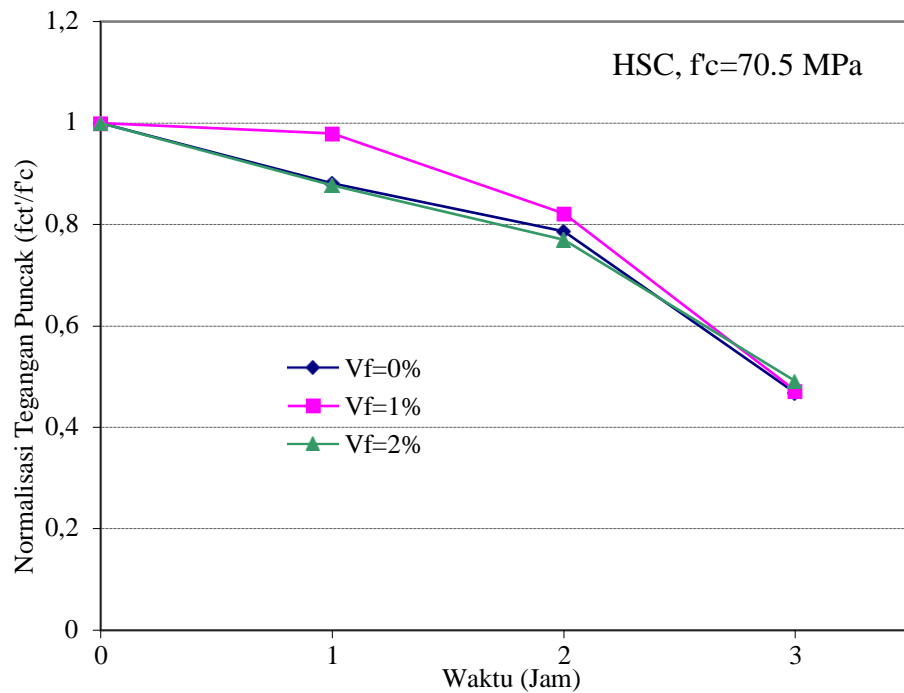
5.1.5. Degradasi Tegangan Puncak Beton Terhadap Lamanya Pembakaran



Gambar 5. 7. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran NSC



Gambar 5. 8. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran MSC



Gambar 5. 9. Degradasi Kekuatan Terhadap Lamanya Pembakaran HSC

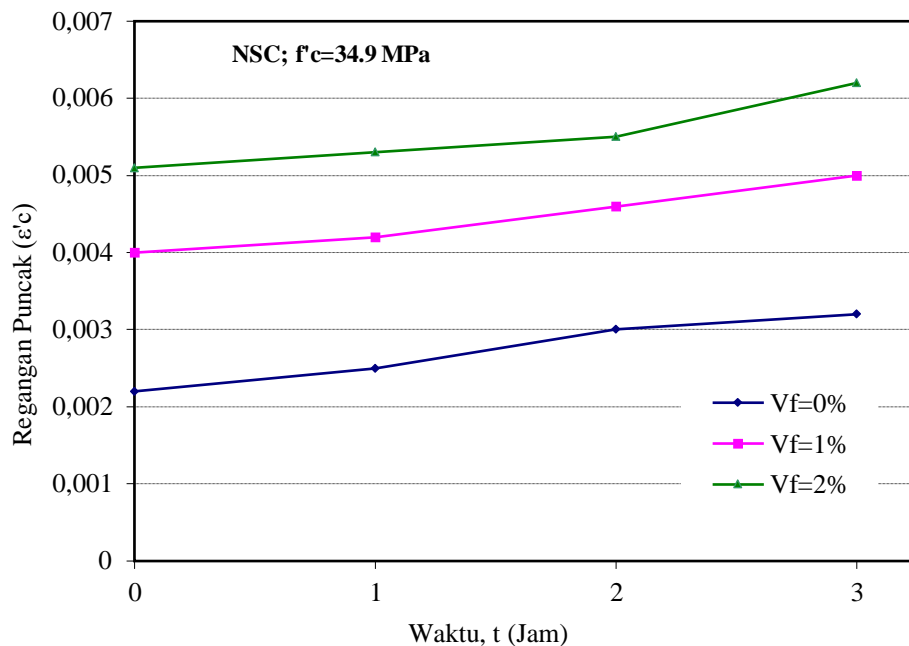
Evaluasi penurunan tegangan puncak beton terhadap lamanya pembakaran dilakukan dengan melakukan normalisasi tegangan puncak pada masing-masing spesimen pada Tabel 5.1a, Tabel 5.1b, Tabel 5.1c dan Tabel 5.1d di atas terhadap kuat tekan beton kontrol. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7, semua spesimen NSC, baik yang tanpa serat maupun yang mengandung serat baja 1% dan 2% mengalami tren penurunan kekuatan yang tidak berbeda jauh satu sama lain. Pembakaran spesimen selama satu jam akan menurunkan tegangan puncak sekitar 25-35%, jika dibakar selama dua jam maka tegangan puncak yang hilang meningkat menjadi 30-40%. Kehilangan tegangan puncak beton meningkat signifikan hingga sekitar 55-60% jika durasi pembakaran spesimen mencapai 3 jam.

Perilaku degradasi kekuatan agak sedikit berbeda pada spesimen MSC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8. Semua spesimen hanya kehilangan tegangan puncak maksimum 10% jika proses pembakaran spesimen hanya 1 jam. Namun pada pembakaran spesimen selama 2 jam, kehilangan kekuatan puncak sama dengan spesimen NSC di atas yaitu antara 30-40%. Demikian pula jika spesimen dibakar selama 3 jam, maka tegangan puncak yang hilang sekitar 55-60% atau sama

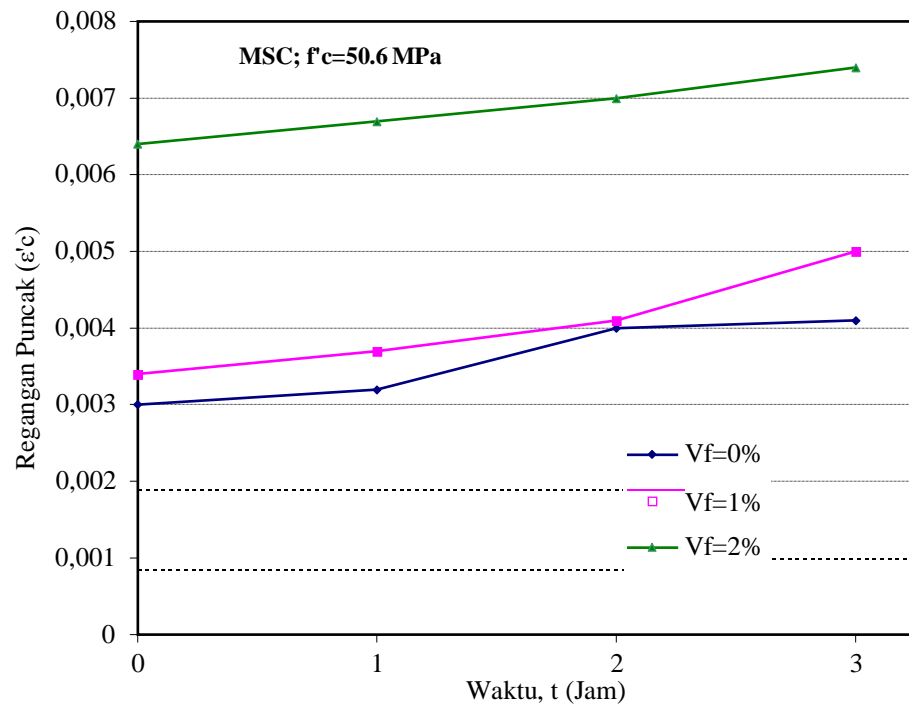
dengan kehilangan tegangan puncak spesimen MSC di atas kecuali pada spesimen tanpa serat ($V_f = 0\%$).

Gambar 5.9 menunjukkan degradasi tegangan puncak beton terhadap lamanya pembakaran pada HSC. Pembakaran spesimen selama satu jam mengakibatkan spesimen kehilangan tegangan sekitar 10-15%, kecuali pada spesimen dengan volume fraksi serat 1% yang relatif sangat sedikit kehilangan kekuatannya (kurang dari 5%). Spesimen yang dibakar selama 2 jam menyebabkan hilangnya tegangan puncak sebesar 20% dan jika spesimen dibakar selama 3 jam maka kehilangan tegangan puncak sekitar 45%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada beton mutu tinggi (HSC), kehilangan kekuatan setelah dibakar 1, 2 dan 3 jam ternyata lebih sedikit dibandingkan pembakaran dengan durasi yang sama pada NSC dan MSC.

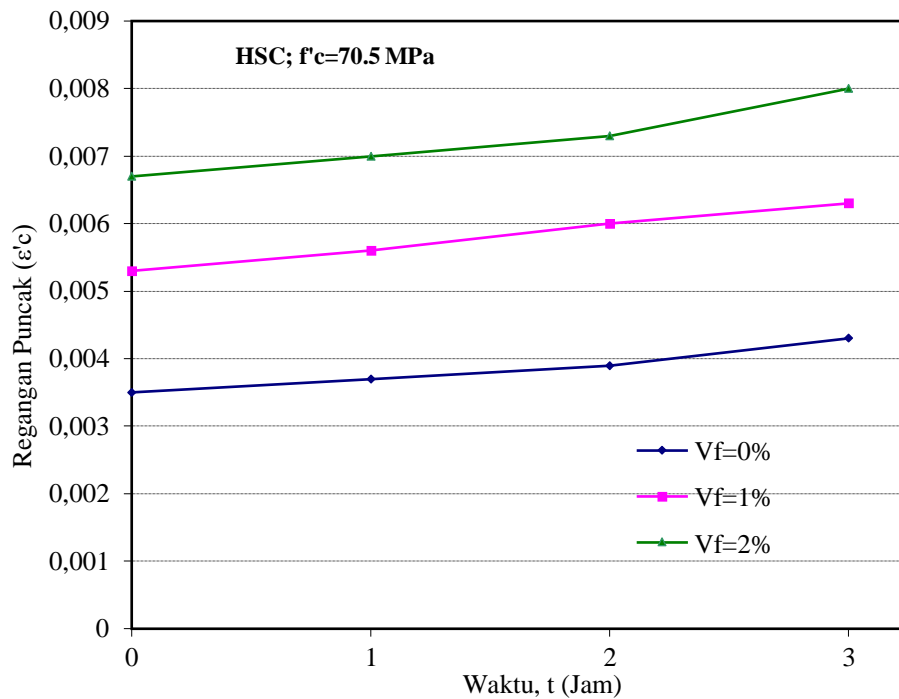
5.1.6. Regangan Puncak Beton Yang Tidak Dibakar Dan Beton Yang Dibakar



Gambar 5. 10. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran, Spesimen NSC



Gambar 5. 11. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran, Spesimen MSC

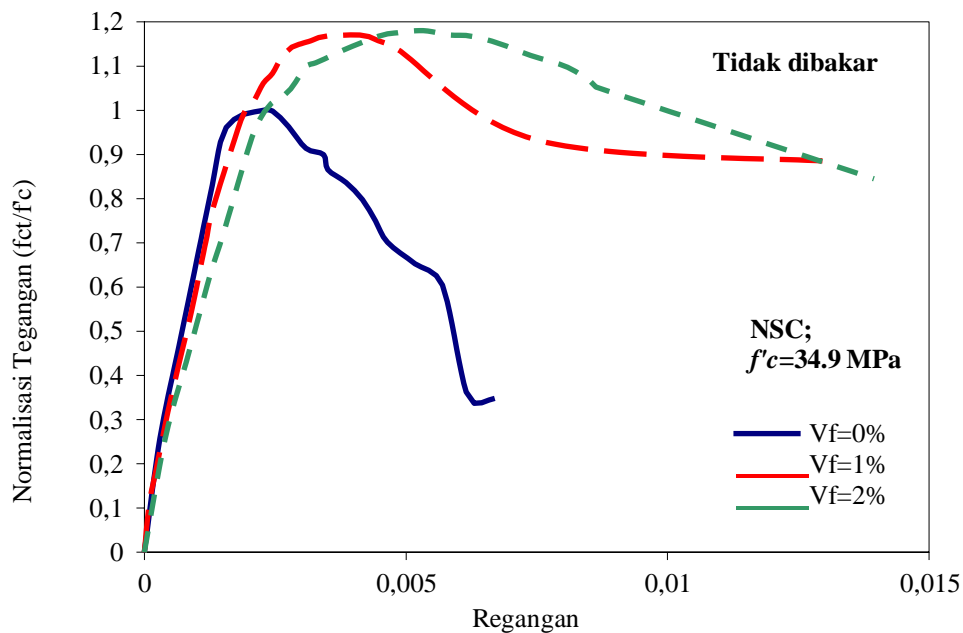


Gambar 5. 12. Peningkatan Regangan Terhadap Lamanya Pembakaran, Spesimen HSC

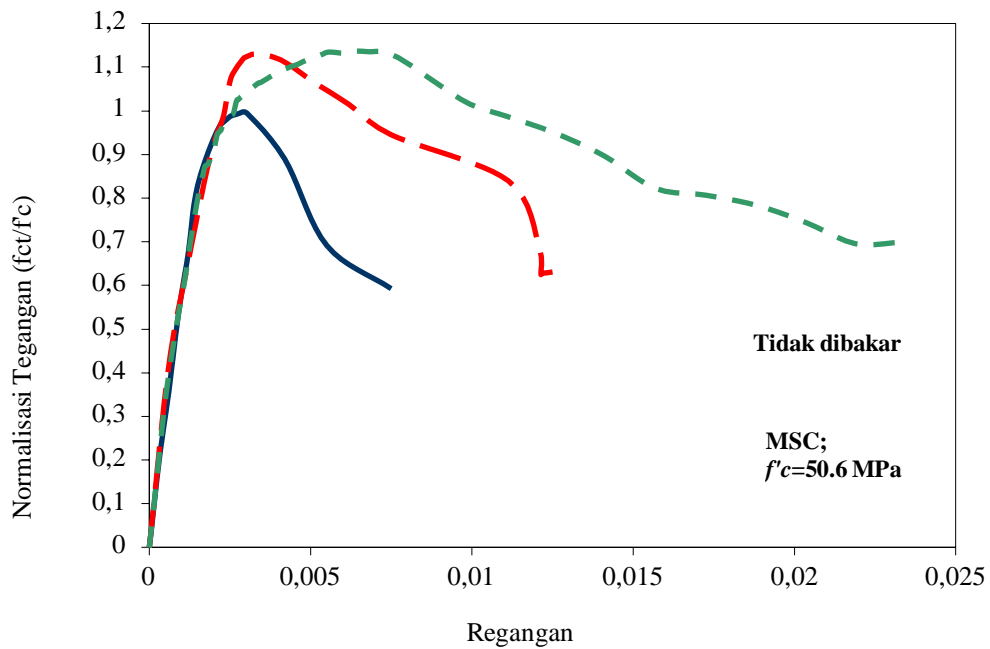
Secara umum berdasarkan Tabel 5.1a, Tabel 5.1b, Tabel 5.1c dan Tabel 5.1d dapat dikatakan bahwa semua regangan puncak spesimen beton tak dibakar maupun yang dibakar (ε'_c dan ε'_{ct}) mengalami peningkatan seiring dengan bertambah lamanya pembakaran. Hal tersebut juga diperlihatkan pada Gambar 5.10, 5.11. dan 5.12. Berdasarkan data Tabel 5.1a, Tabel 5.1b, Tabel 5.1c dan Tabel 5.1d dan dari ketiga gambar tersebut, peningkatan regangan puncak dari waktu pembakaran 2 jam ke pembakaran 3 jam yang terendah terjadi pada spesimen tanpa serat (beton polos). Perilaku ini mengindikasikan terutama pada beton berserat, bahwa meskipun beton mengalami kehilangan kekuatan jika dibakar dengan durasi yang meningkat semakin lama, namun masih mampu mengalami deformasi yang signifikan karena adanya peranan serat baja. Hal ini juga memperlihatkan bahwa spesimen beton berserat baja yang bersifat daktail.

5.1.7. Perilaku Tegangan Regangan Spesimen Tanpa Bakar

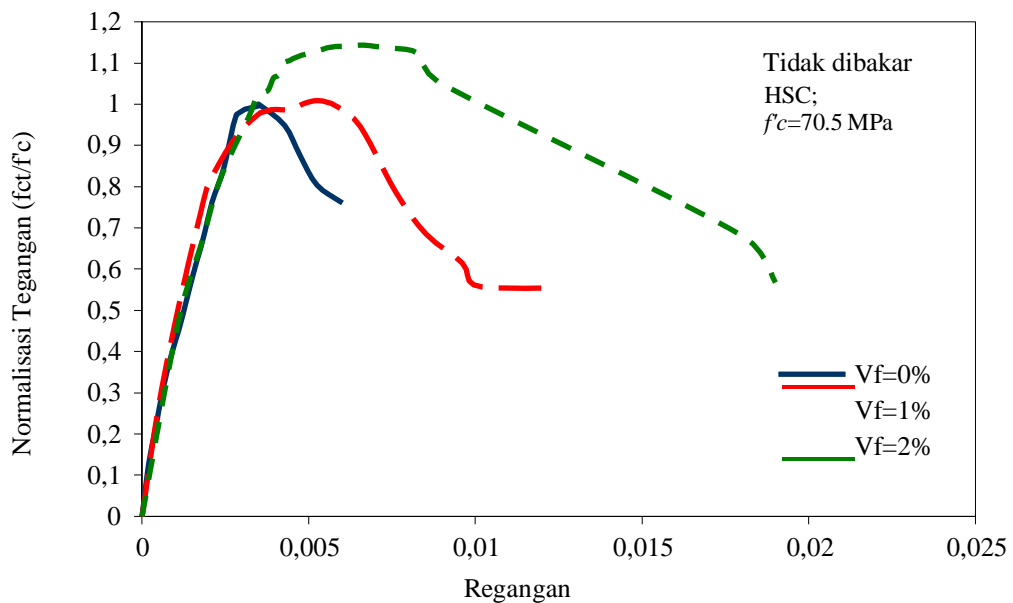
Analisis perilaku tegangan-regangan semua spesimen dilakukan untuk mengevaluasi perilaku spesimen sebelum dan setelah tegangan puncak. Perilaku tegangan digambarkan melalui normalisasi tegangan terhadap kuat tekan beton.



Gambar 5. 13. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=34.9$ MPa)



Gambar 5. 14. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=50.6$ MPa)



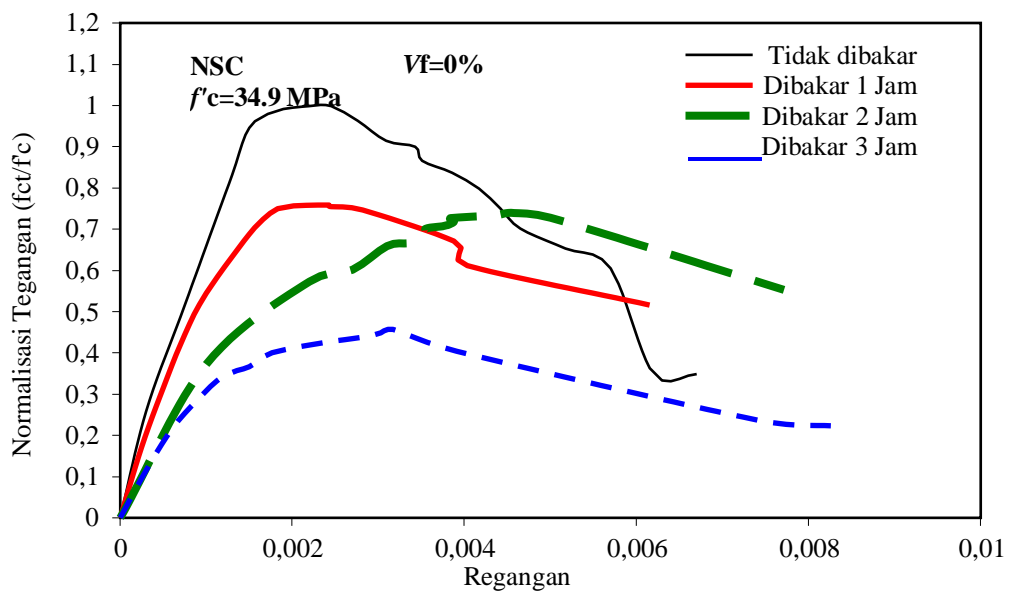
Gambar 5. 15. Pengaruh Serat Pada Spesimen Tanpa Bakar ($f'c=70.5$ MPa)

Perilaku tegangan-regangan spesimen tidak dibakar yang berfungsi sebagai spesimen kontrol ditunjukkan pada Gambar 5.13, 5.14 dan 5.15. Secara umum spesimen tanpa serat memperlihatkan perilaku pasca tegangan puncak yang cenderung getas apabila kuat tekan beton meningkat. Adanya serat baja di dalam

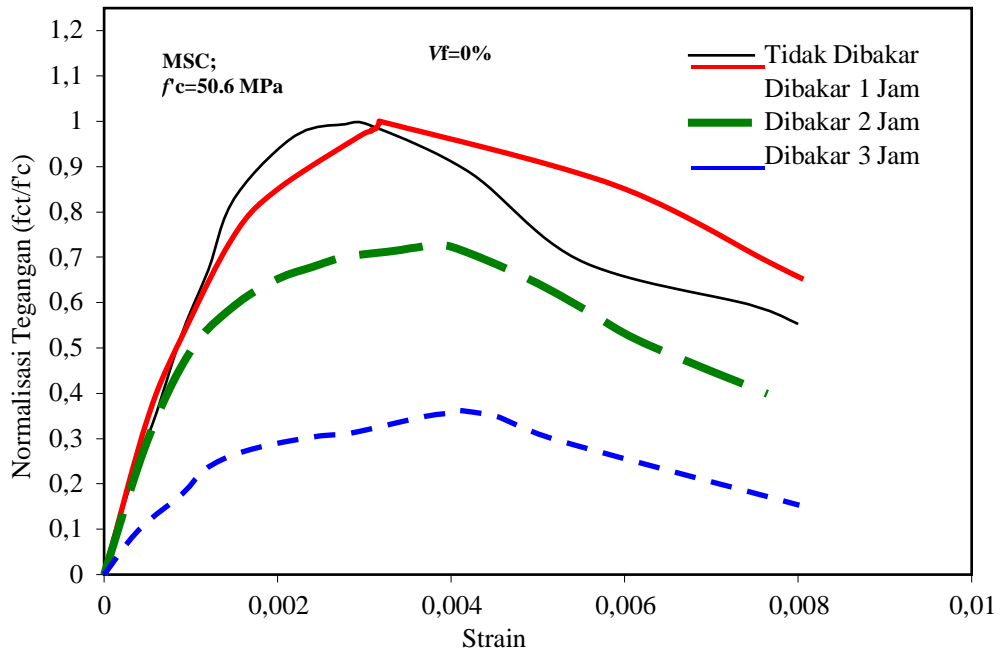
beton berperan dalam meningkatkan daktilitas, dimana hal ini ditunjukkan perilaku pasca puncak yang relatif landai dibandingkan spesimen tanpa serat.

5.1.8. Perilaku Tegangan Regangan Spesimen Pasca Bakar

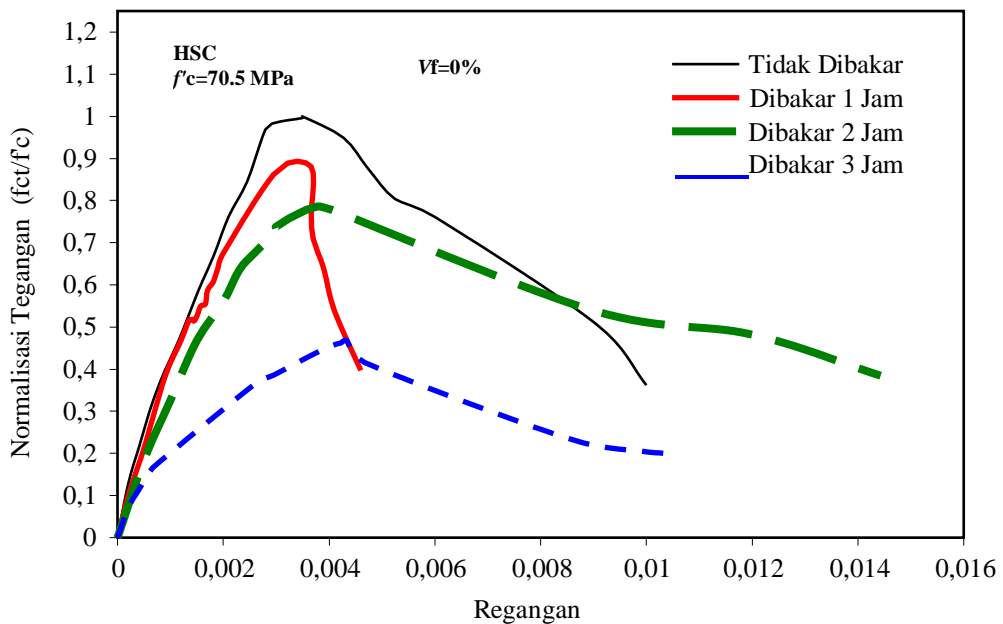
Gambar 5.16 sampai dengan gambar 5.24 menunjukkan perilaku tegangan-regangan spesimen yang meninjau variabel lamanya pembakaran. Seperti yang telah dijelaskan di atas, bahwa regangan puncak beton semakin meningkat. Meningkatnya regangan puncak beton terlihat signifikan pada spesimen beton berserat 1% bahkan pada spesimen dengan volume fraksi 2%. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.16, 5.17 dan 5.18 dimana beton tanpa serat ($V_f = 0\%$), memperlihatkan regangan puncak dan perilaku pasca puncak yang lebih landai seiring dengan lebih lamanya durasi pembakaran spesimen. Namun jika spesimen mengandung serat 1%, selain regangan puncak beton yang semakin tinggi lagi, namun respon beton pasca puncak terlihat lebih landai jika spesimen dibakar semakin lama. Perilaku ini diperlihatkan pada Gambar 5.19, 5.20 dan 5.21. Perilaku yang lebih signifikan pada semakin daktilnya beton dengan semakin lamanya pembakaran diperlihatkan pada Gambar 5.22, 5.23 dan 5.24 dimana spesimen beton mengandung volume fraksi serat 2%.



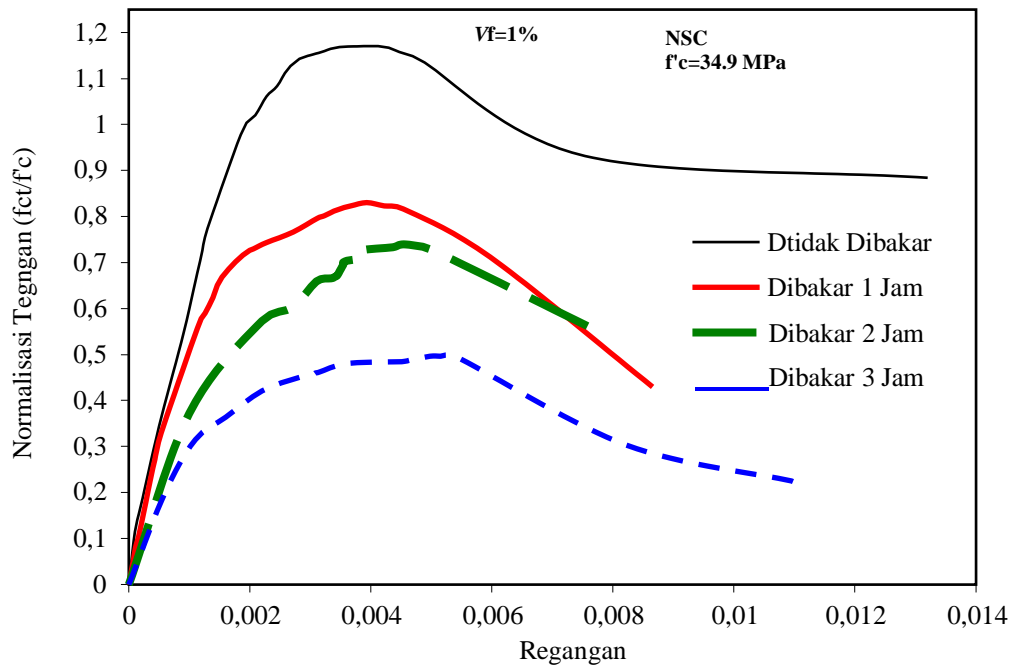
Gambar 5. 16. Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c = 34,9$ MPa dengan $V_f = 0\%$



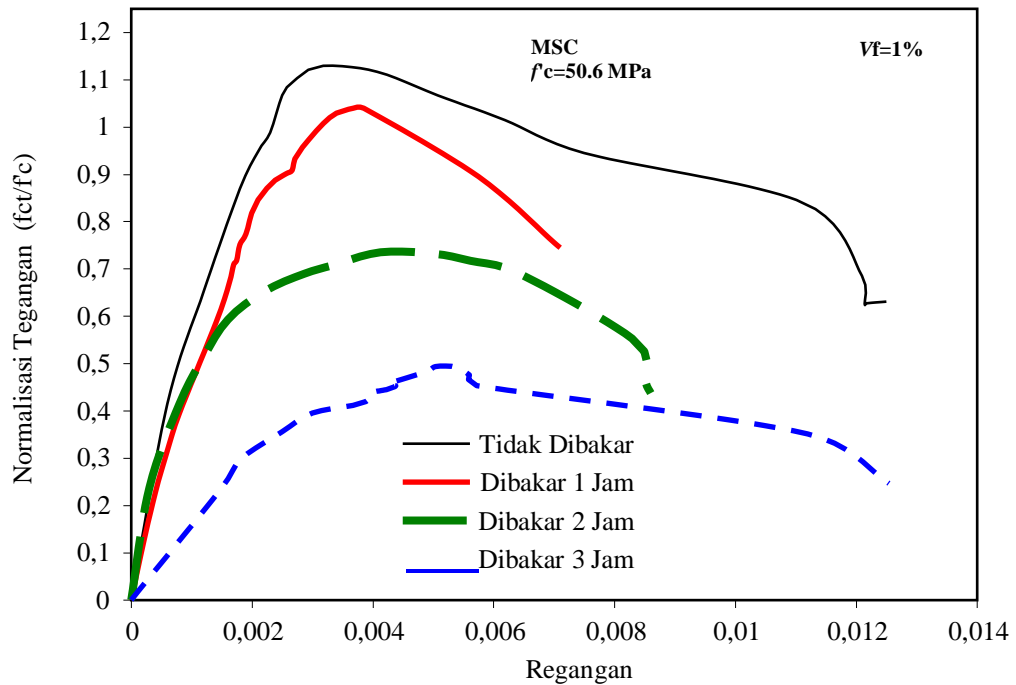
Gambar 5. 17. Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c = 50,6$ MPa dengan $V_f=0\%$



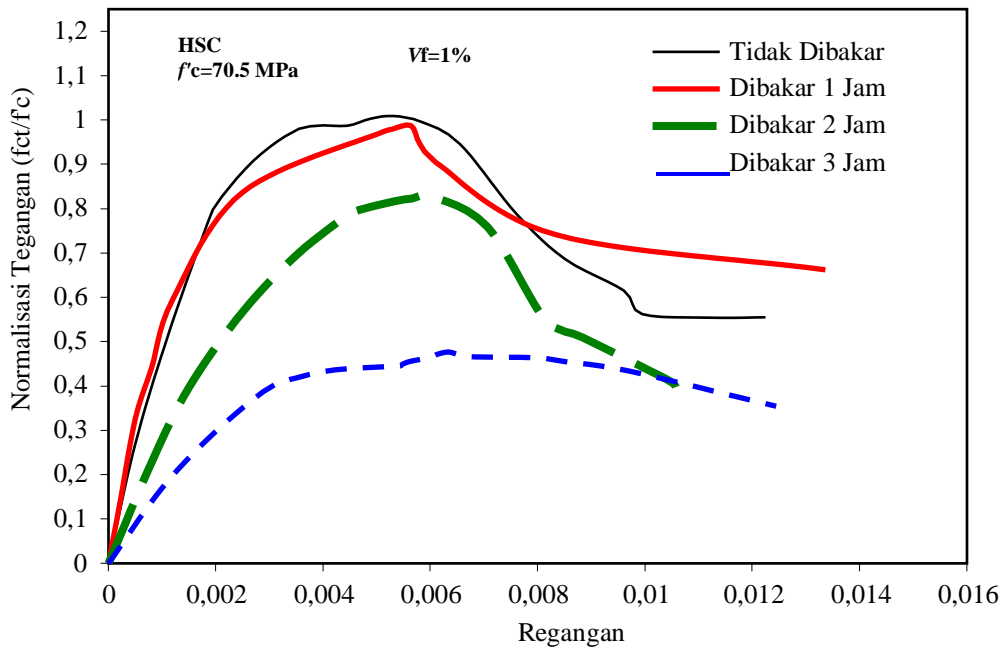
Gambar 5. 18 Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'c = 70,5$ MPa dengan $V_f=0\%$ (tanpa serat)



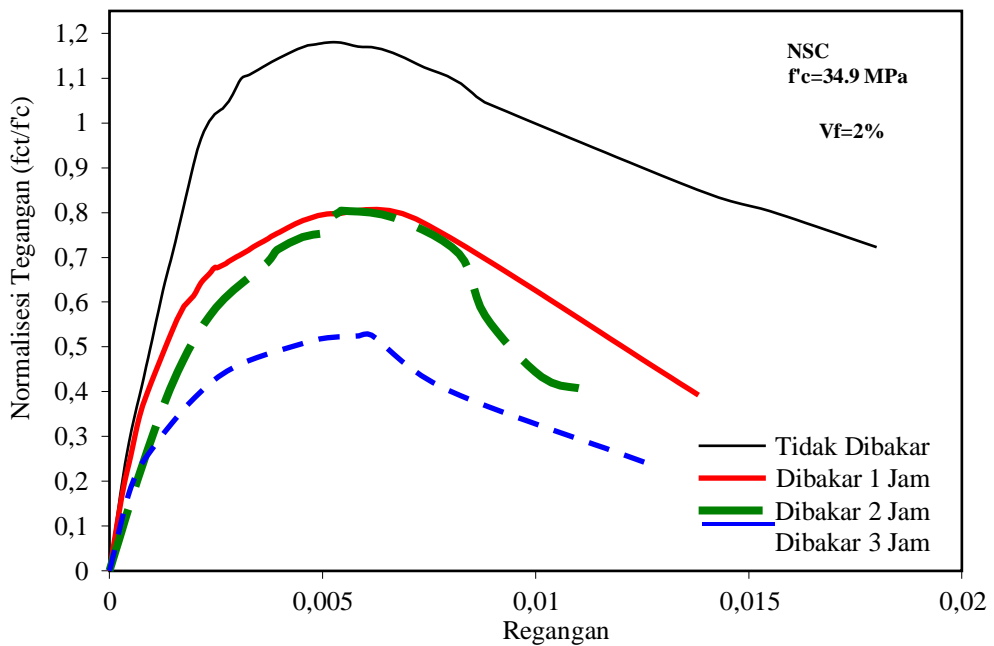
Gambar 5. 19 Pengaruh Lamanya Pembakaran Untuk Mutu Beton $f'c = 34,9$ MPa dengan $V_f=1\%$



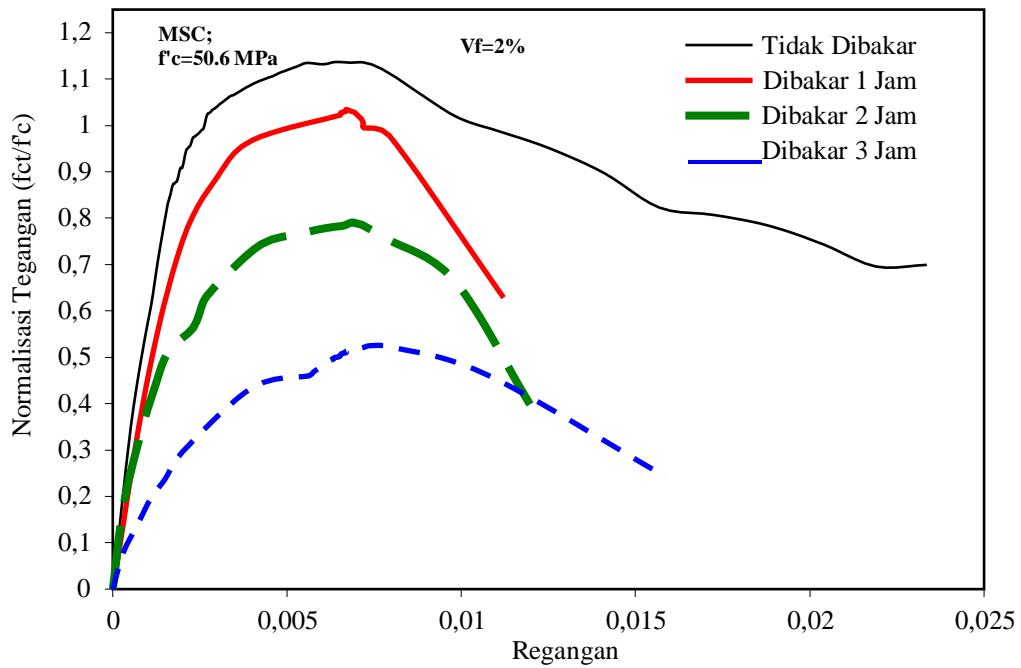
Gambar 5. 20 Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'c = 50,6$ MPa dengan $V_f=1\%$



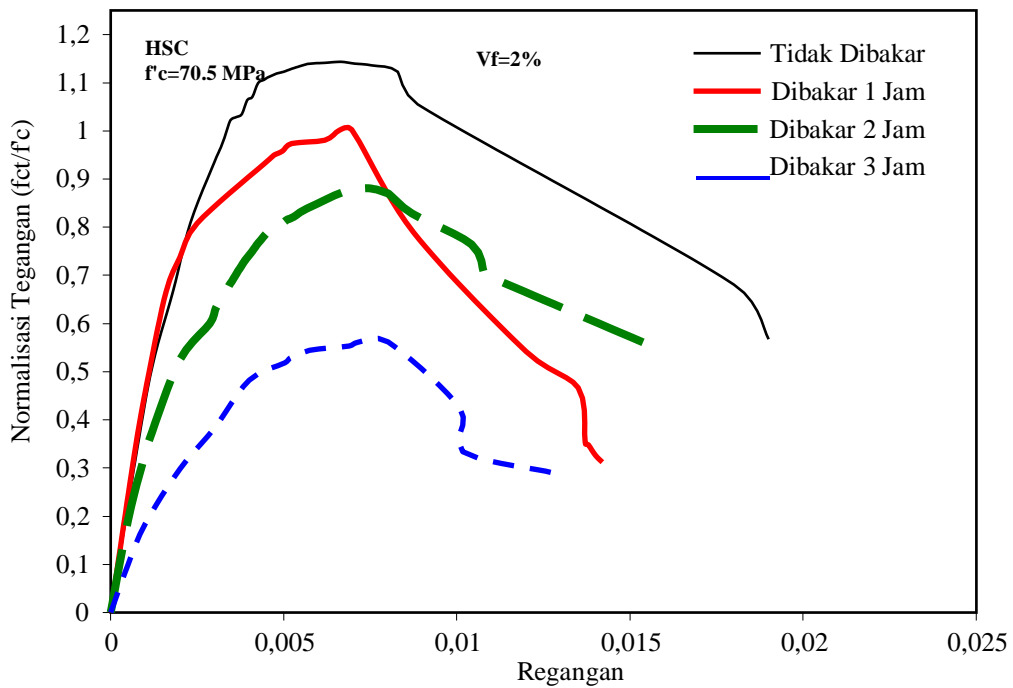
Gambar 5. 21 Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'c = 70,5$ MPa dengan $V_f = 1\%$



Gambar 5. 22. Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'c = 34,9$ MPa dengan $V_f = 2\%$



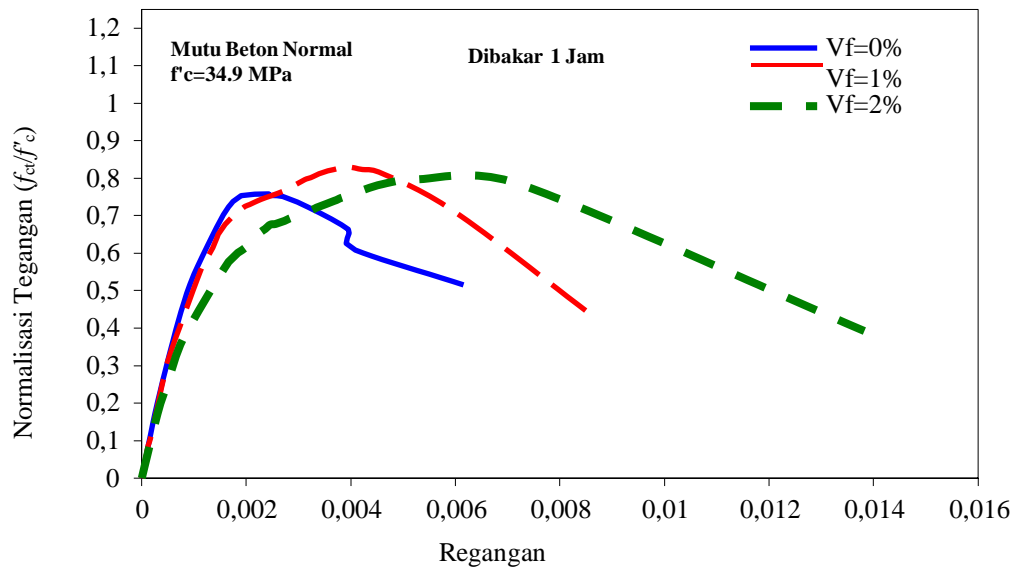
Gambar 5. 23. Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'_c = 50,6$ MPa dengan $V_f=2\%$



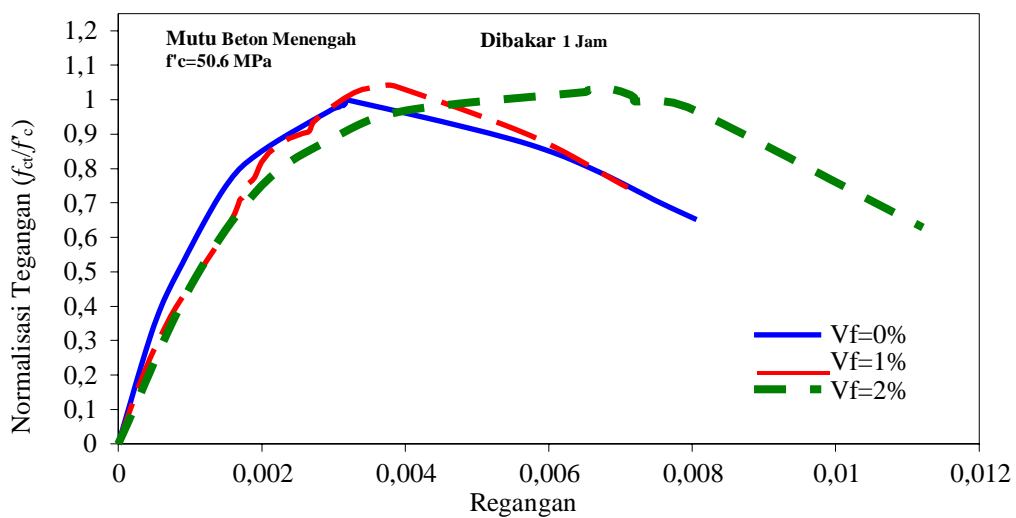
Gambar 5. 24. Pengaruh Lamanya Pembakaran untuk Mutu Beton $f'_c = 70,5$ MPa dengan $V_f=2\%$

5.1.9. Pengaruh Serat Terhadap Waktu Pembakaran

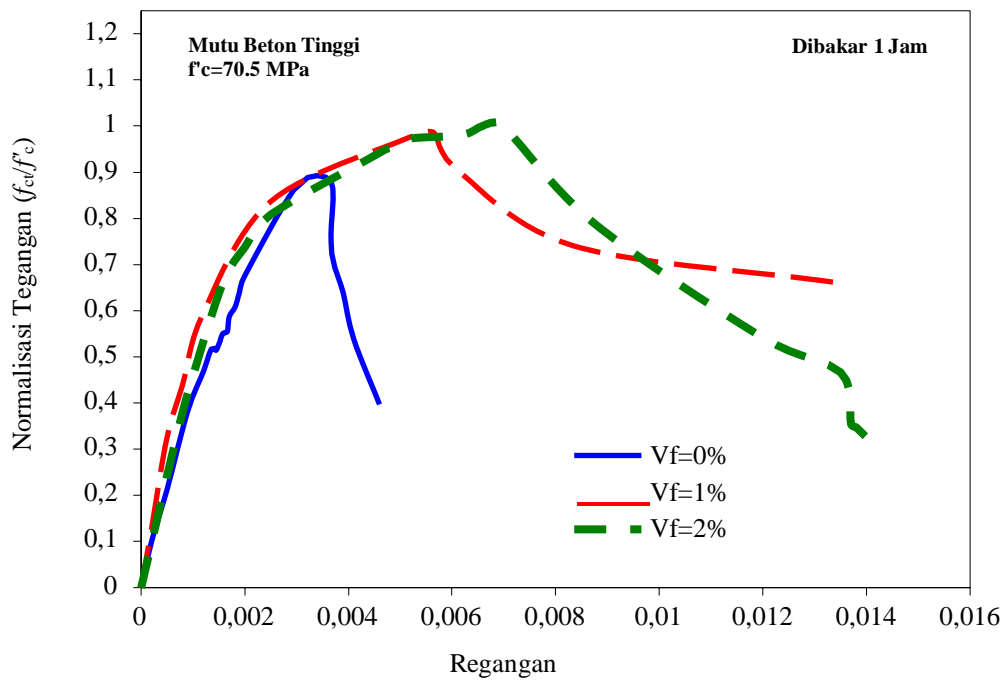
Peranan serat baja dalam meningkatkan tegangan maupun daktilitas beton mutu normal hingga mutu tinggi diperlihatkan pada Gambar 5.25 sampai gambar 5.33. Pada masing-masing durasi pembakaran yaitu 1 jam, 2 jam dan 3 jam, semua spesimen cenderung lebih daktil apabila volume serat baja yang digunakan semakin tinggi. Hal ini merupakan indikasi dari peranan serat baja dalam menjaga kekuatan maupun daktilitas beton agar tidak mengalami keruntuhan getas.



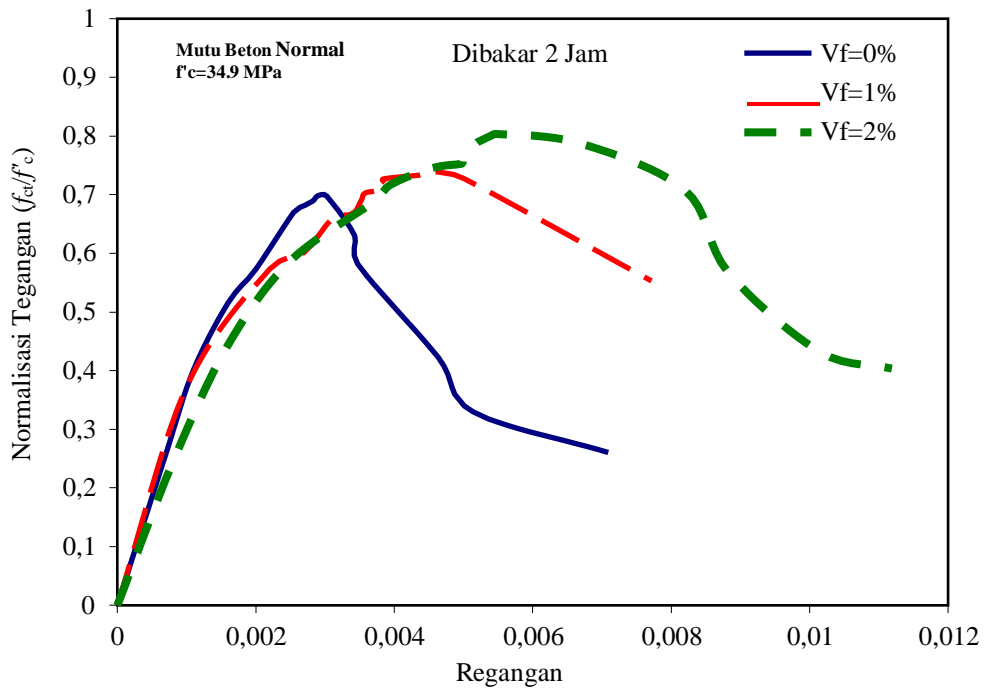
Gambar 5. 25. Pengaruh Serat pada Pembakaran 1 Jam untuk $f'_c=34.9$ MPa



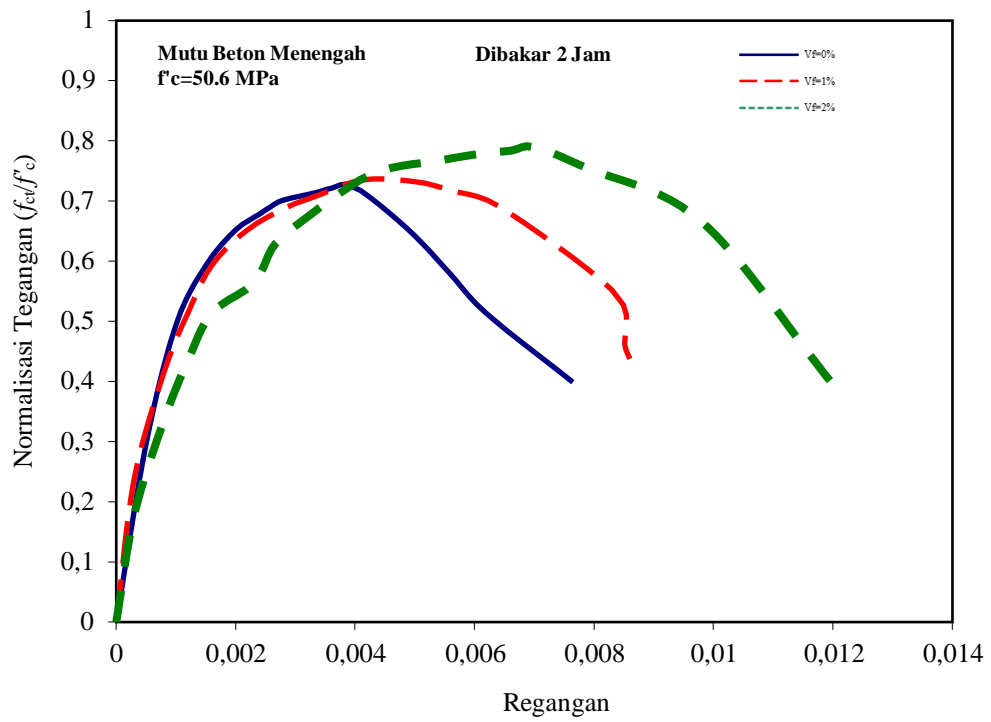
Gambar 5. 26. Pengaruh Serat pada Pembakaran 1 Jam untuk $f'_c=50.6$ MPa



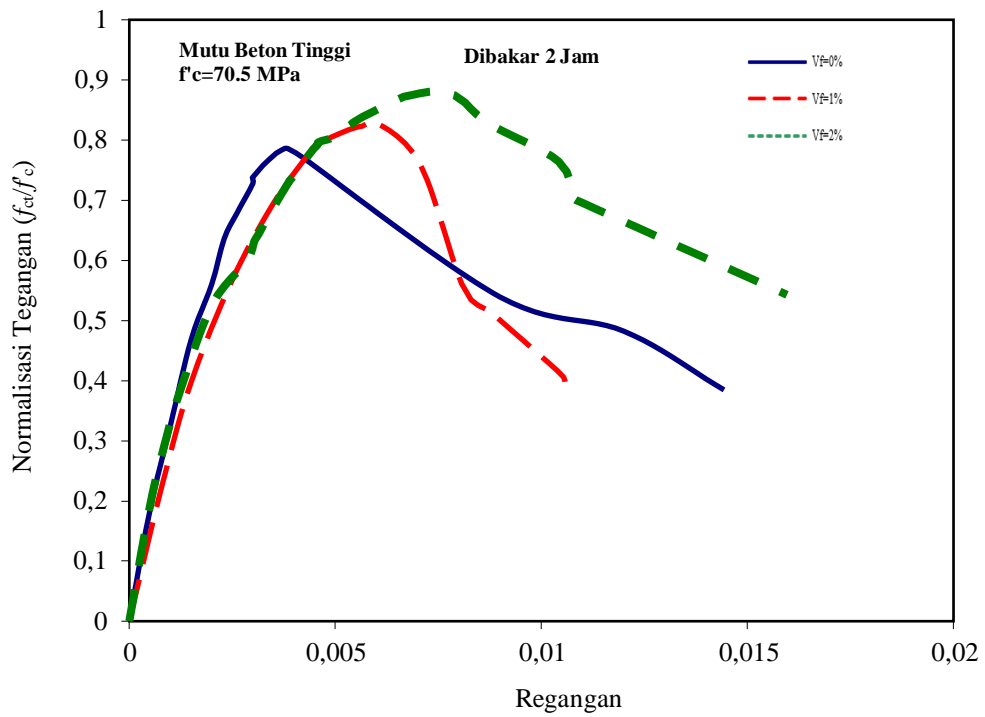
Gambar 5. 27. Pengaruh Serat pada Pembakaran 1 Jam untuk $f'_c = 70.5 \text{ MPa}$



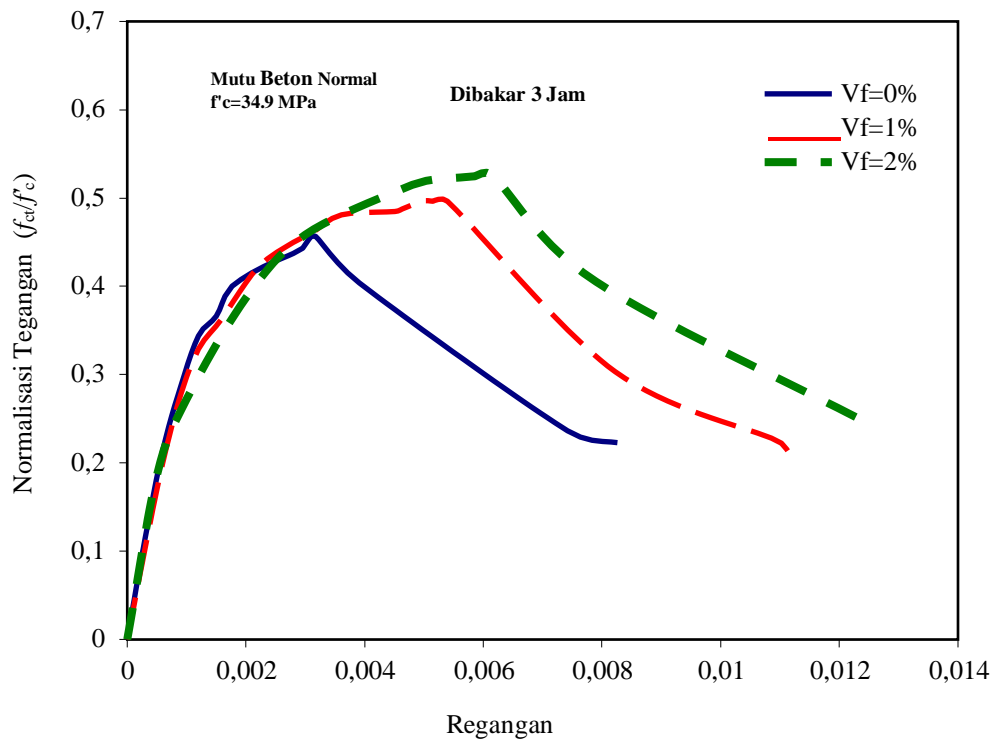
Gambar 5. 28 Pengaruh Serat pada Pembakaran 2 Jam untuk $f'_c = 34.9 \text{ MPa}$



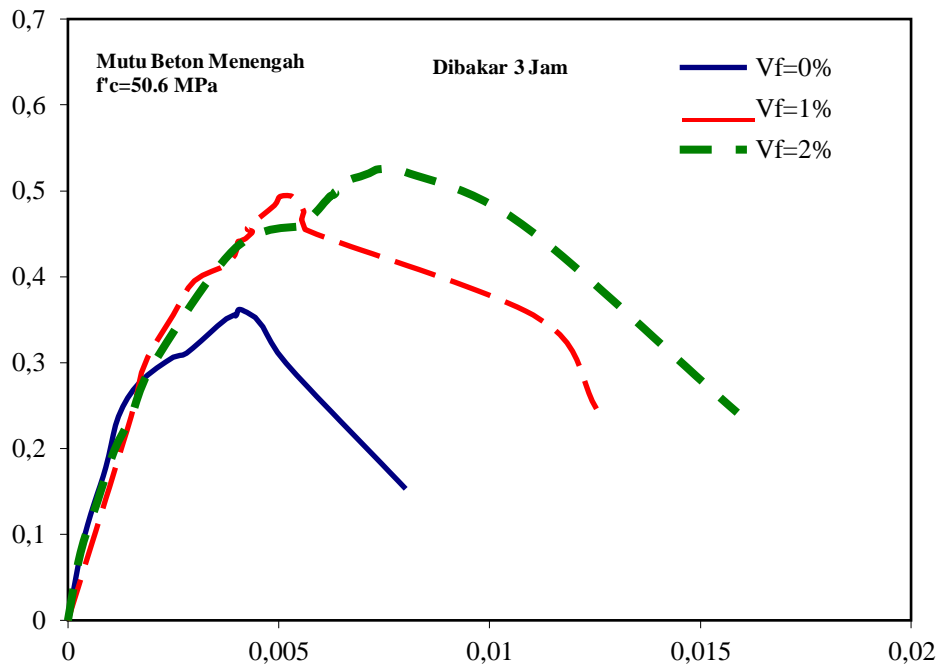
Gambar 5. 29. Pengaruh Serat pada Pembakaran 2 Jam untuk $f'c=50.6$ MPa



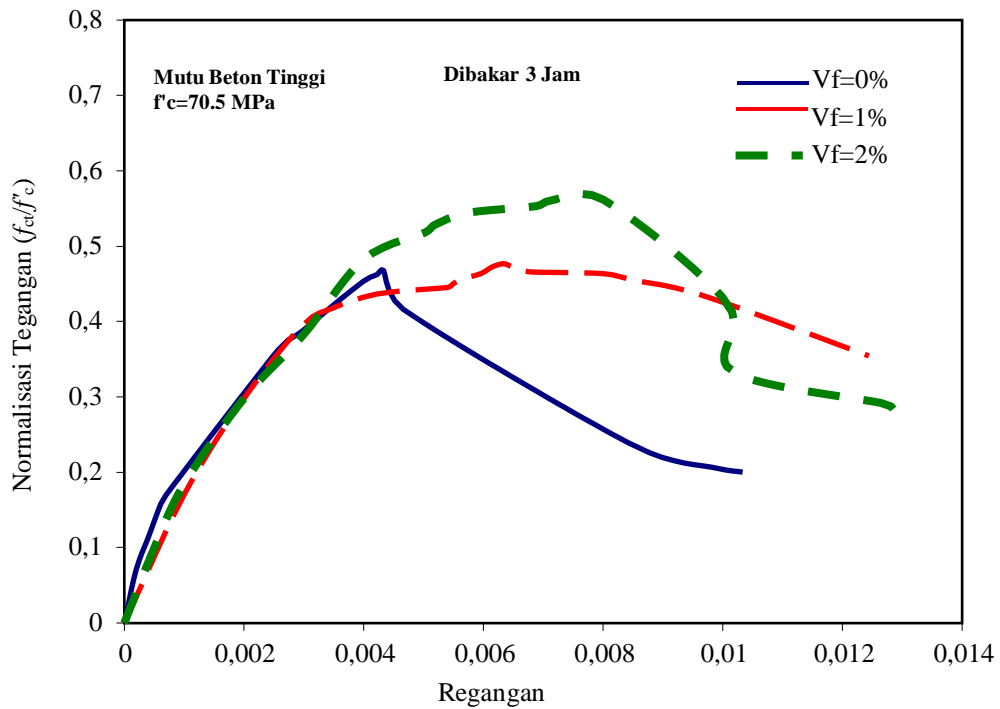
Gambar 5. 30. Pengaruh Serat pada Pembakaran 2 Jam untuk $f'c=70.5$ MPa



Gambar 5. 31. Pengaruh Serat pada Pembakaran 3 Jam untuk $f'c=34.9$ MPa



Gambar 5. 32. Pengaruh Serat pada Pembakaran 3 Jam untuk $f'c=50.6$ MPa



Gambar 5. 33 Pengaruh Serat pada Pembakaran 3 Jam untuk $f'c=70.5$ MPa

5.1.10. Pengembangan Model Tegangan Regangan Beton Tak Terkekang Berserat Baja Pasca Kebakaran

Pengembangan tegangan-regangan untuk mutu beton normal mengacu pada persamaan Popovic (Antonius, 2001) sebagai berikut:

$$\frac{f_c}{f'_{cf}} = \frac{Q \left[\frac{s_c}{s_{of}} \right]}{Q - 1 + \left[\frac{s_c}{s_{of}} \right]} \dots \dots \dots 5.1$$

Dimana: β adalah adalah faktor yang mempengaruhi bentuk kurva pasca puncak.

Untuk beton tanpa serat β mengadopsi dari persamaan Junior *et. al* (2010) yaitu:

$$\beta = (0,0536 - 0,5754 \cdot V_f) \cdot f'_c \dots \dots \dots 5.2$$

Dimana: V_f adalah volume fraksi serat

Untuk beton berserat baja, factor β mengadopsi pendekatan oleh Nataraja *et. al* (1999) yaitu:

$$\beta = 0,5811 + 1,93 \cdot RI^{-0,7406} \dots \dots \dots 5.3$$

Dimana:

RI (Reinforcing Indeks)= berat volume fraksi dikalikan rasio panjang serat baja terhadap diameternya.

Berat volume fraksi (w_f) = 3,2 x volume fraksi (Nataraja *et. al*, 1999).

$$RI = 3,2 \cdot V_f \cdot l/d \dots\dots\dots 5.4$$

Di dalam penelitian ini:

l/d rata-rata adalah sebesar 45, sehingga didapat nilai V_f sebagai berikut ini:

- $V_f = 1\%$

$$RI = 3,2 \times 0,01 \times 45 = 1,44$$

- $V_f = 2\%$:

$$RI = 3,2 \times 0,02 \times 45 = 2,88$$

Sedangkan untuk persamaan tegangan puncak dan regangan puncak beton akibat penambahan serat baja adalah:

$$f'_{cf} = f'_c + 2,1604 \cdot RI \dots\dots\dots 5.5$$

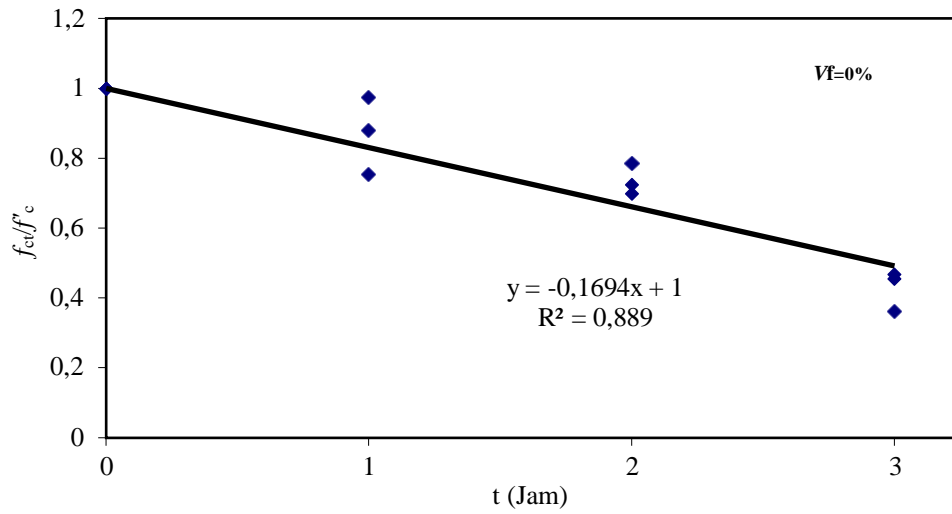
$$\varepsilon'_{of} = \varepsilon'_o + 0.0006 \cdot RI \dots\dots\dots 5.6$$

Persamaan (5.5) dan (5.6) di atas berlaku untuk kondisi tanpa dibakar maupun pasca dibakar, dimana f'_c dan ε'_o diambil berdasarkan nilai kuat tekan beton tanpa serat ($V_f = 0\%$). Berdasarkan Antonius *et. al*, 2017, regangan puncak beton tanpa serat adalah fungsi dari kuat tekan beton mutu normal dan mutu tinggi yaitu:

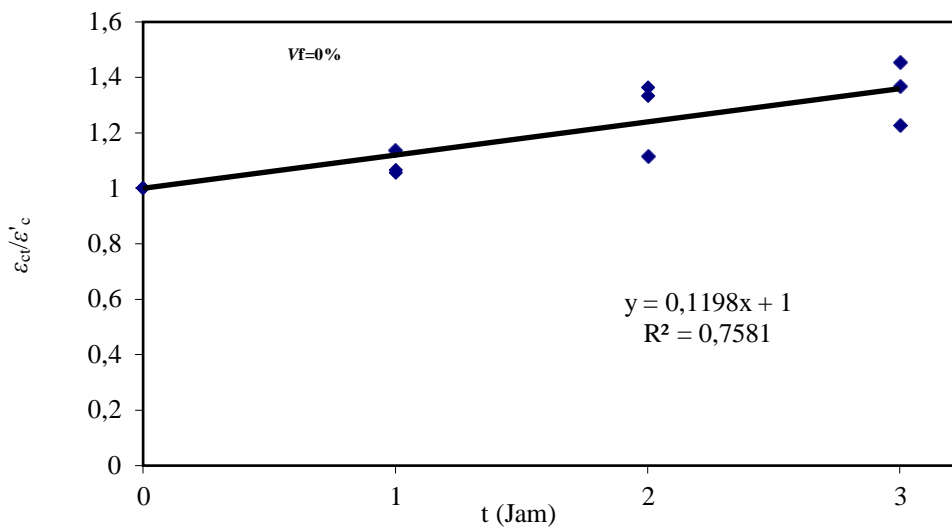
$$\varepsilon'_o = 0,0004(f'_c)^{0,45} \dots\dots\dots 5.7$$

Berdasarkan hasil-hasil eksperimen yang telah diuraikan di atas, tegangan puncak beton mengalami penurunan terhadap penambahan durasi pembakaran, namun sebaliknya regangan puncak beton meningkat terhadap tambah lamanya pembakaran. Oleh karena itu diturunkan persamaan hubungan tegangan-regangan terhadap durasi pembakaran berdasarkan data-data penelitian ini dengan menggunakan regresi linier.

5.1.11. Untuk Volume Fraksi (Vf)= 0%



Gambar 5. 34. Hubungan Tegangan dan Lama Pembakaran dengan Vf=0%



Gambar 5. 35. Hubungan Regangan dan Lama Pembakaran dengan Vf=0%

Persamaan Tegangan:

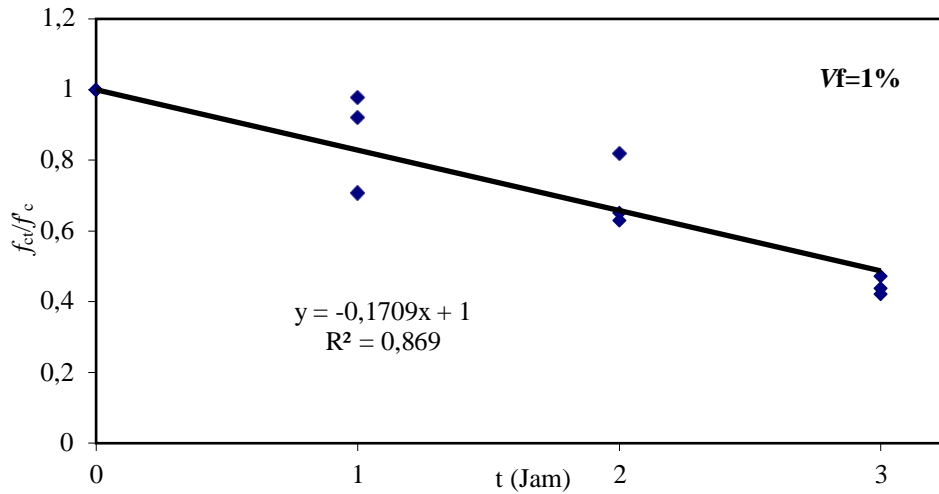
$$\frac{f_{cT}}{f'_c} = 1 - 0.1694t \dots\dots\dots 5.8$$

Persamaan Regangan :

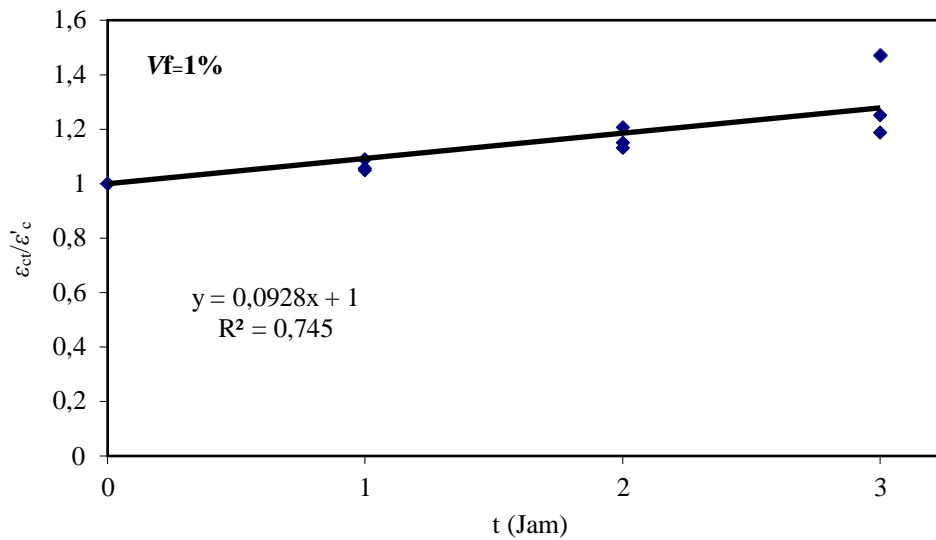
$$\frac{\varepsilon_{cT}}{\varepsilon'_c} = 1 + 0.1198t \dots\dots\dots 5.9$$

t merupakan fungsi dari waktu/lamanya pembakaran (Jam)

5.1.12. Untuk Volume Fraksi (Vf) 1%



Gambar 5. 36. Hubungan Tegangan dan Lama Pembakaran dengan Vf=1%



Gambar 5. 37. Hubungan Regangan dan Lama Pembakaran dengan Vf=1%

Persamaan Tegangan:

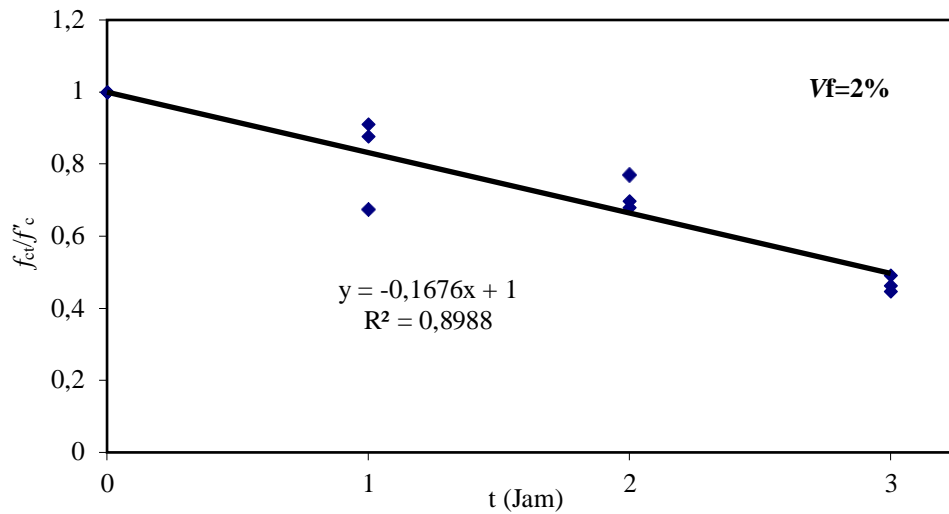
$$\frac{f_{ct}}{f'_c} = 1 - 0.1709t \dots\dots\dots 5.10$$

Persamaan Regangan :

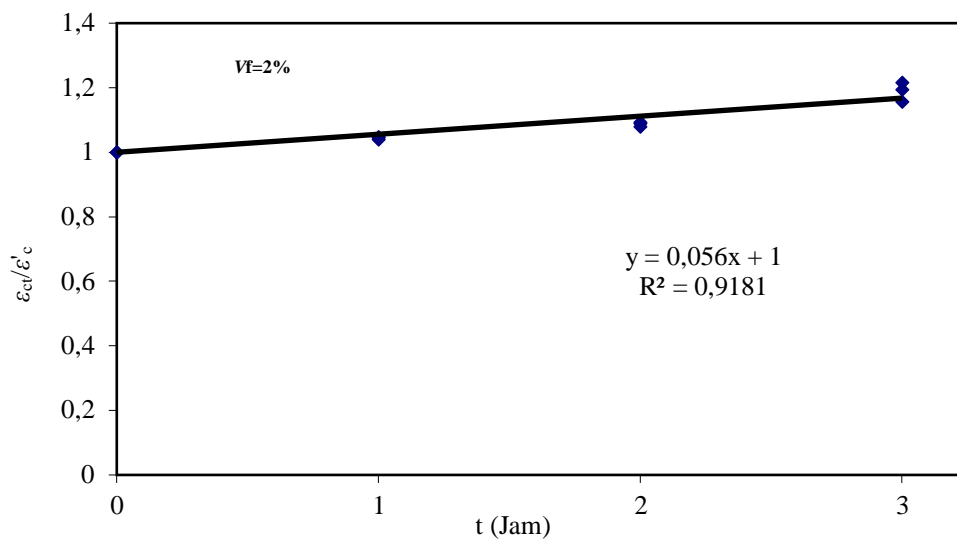
$$\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon'_c} = 1 + 0.0928t \dots\dots\dots 5.11$$

t merupakan fungsi dari waktu/lamanya pembakaran (Jam)

5.1.13. Untuk Volume Fraksi (Vf) 2%



Gambar 5. 38. Hubungan Tegangan Dan Lama Pembakaran dengan Vf=2%



Gambar 5. 39. Hubungan Regangan dan Lama Pembakaran dengan Vf=2%

Persamaan Tegangan:

$$\frac{f_{cT}}{f'_c} = 1 - 0.1676t \dots\dots\dots 5.12$$

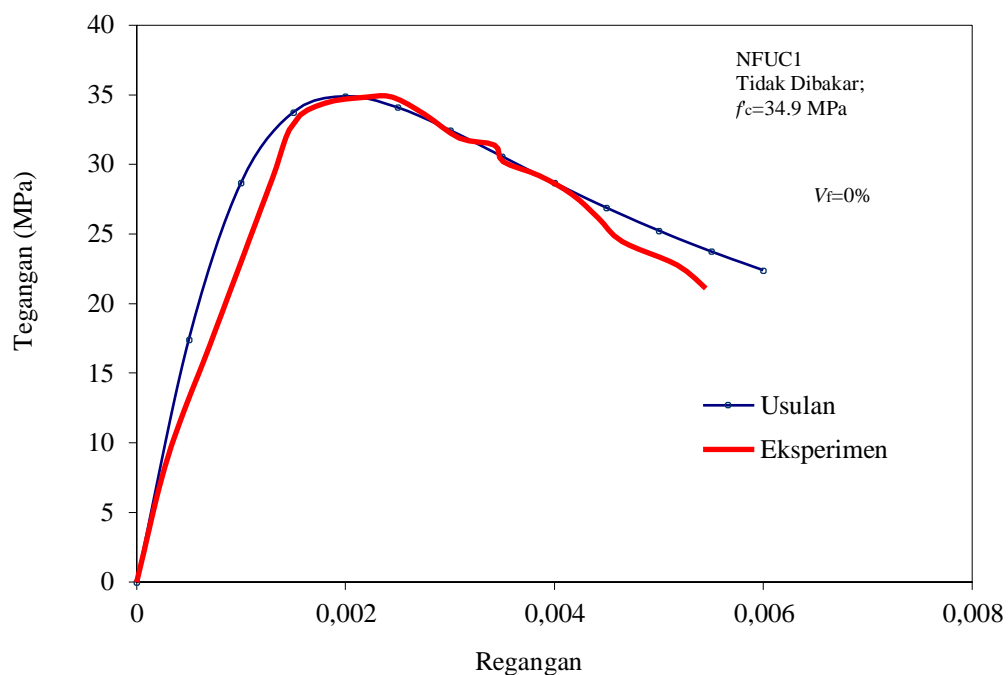
Persamaan Regangan :

$$\frac{s_{cT}}{s'_c} = 1 + 0.056t \dots\dots\dots 5.13$$

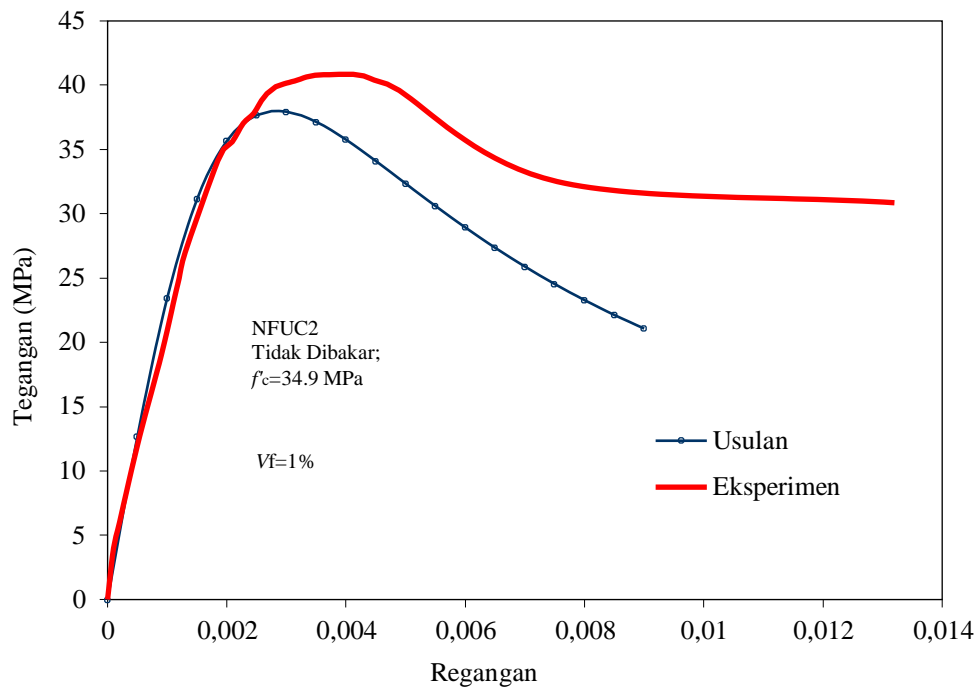
t merupakan fungsi dari waktu/lamanya pembakaran (Jam).

5.1.14. Validasi Usulan dengan hasil eksperimen untuk beton yang tidak dibakar

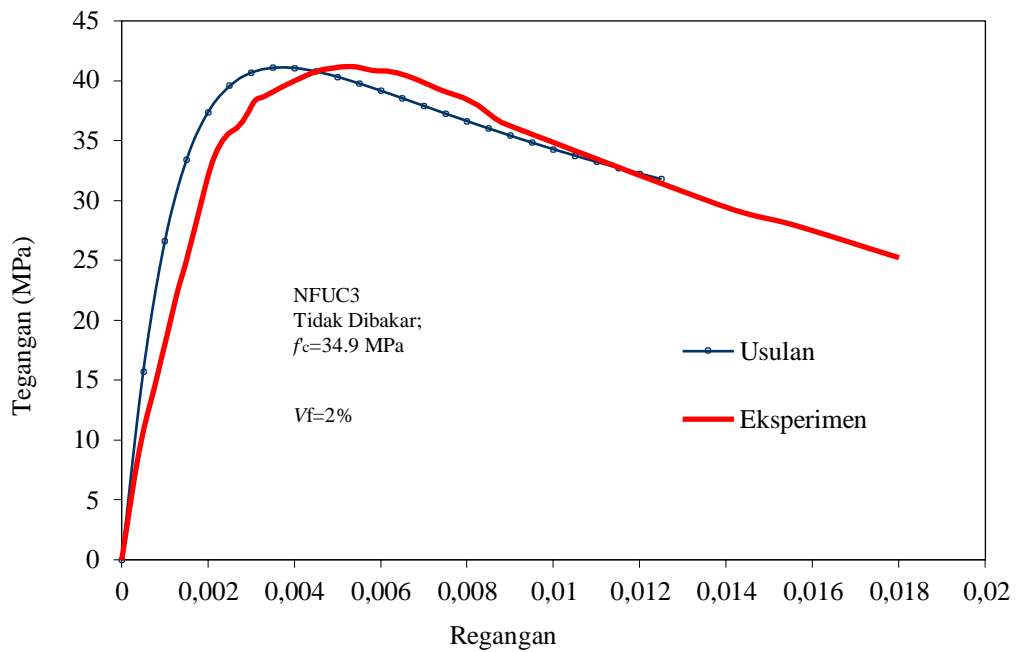
Selanjutnya model tegangan-regangan divalidasi dengan hasil eksperimen yang diperlihatkan pada Gambar 5.40 sampai dengan Gambar 5.75. Hasil validasi menunjukkan bahwa model yang diusulkan mampu memprediksi perilaku sebelum maupun pasca puncak dengan baik. Model tegangan-regangan tersebut berlaku secara umum, yaitu untuk beton mutu normal hingga mutu tinggi, variasi volume fraksi serat dan pada setiap durasi pembakaran.



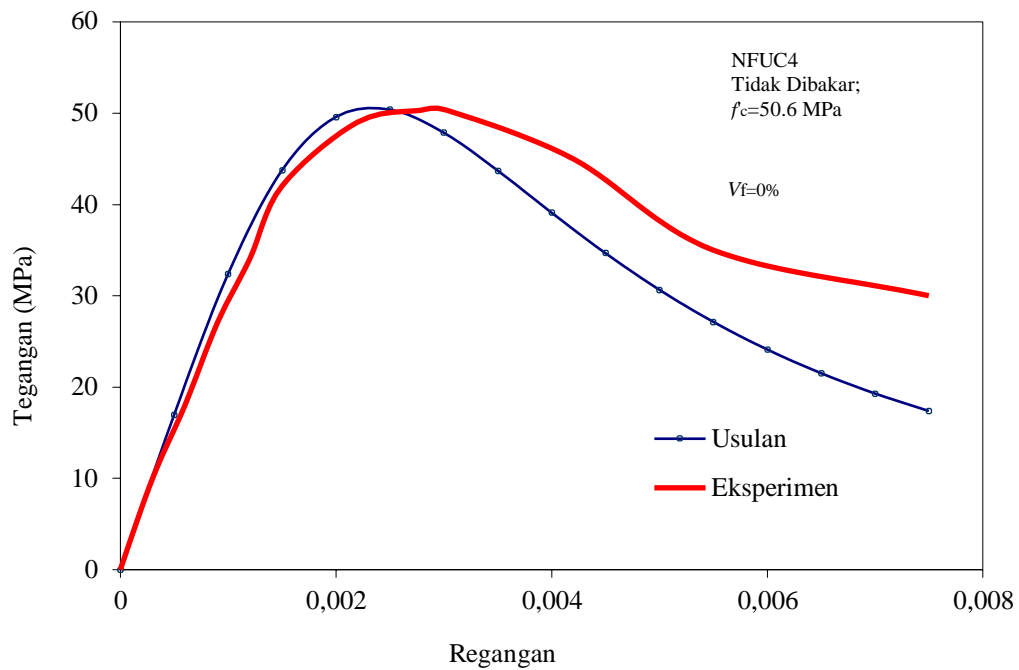
Gambar 5.40. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Tanpa Bakar dengan $V_f = 0\%$



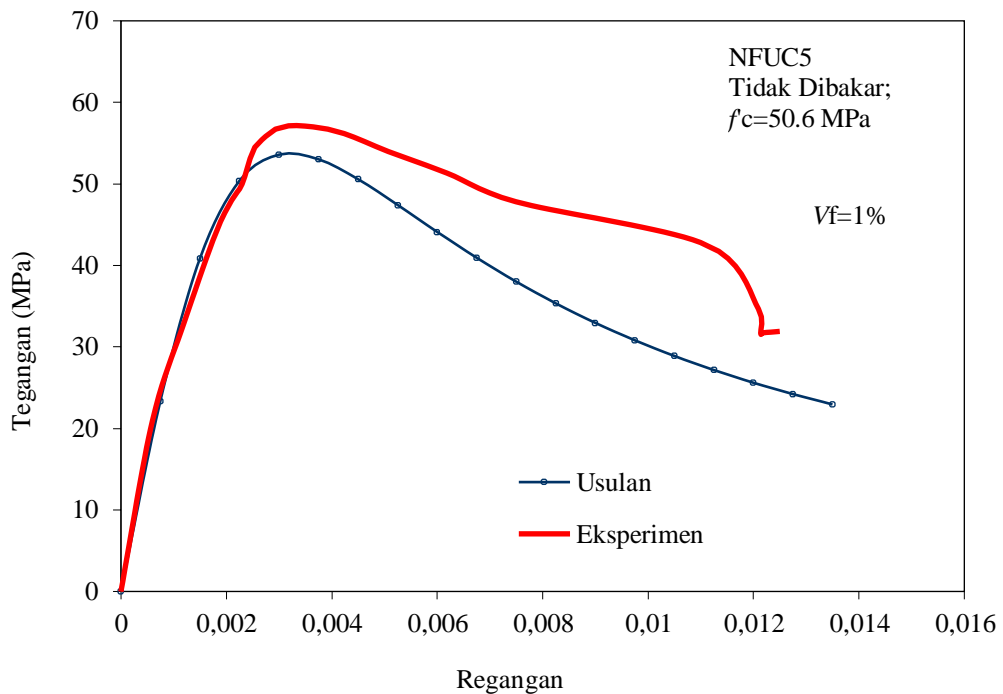
Gambar 5. 41. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 1\%$



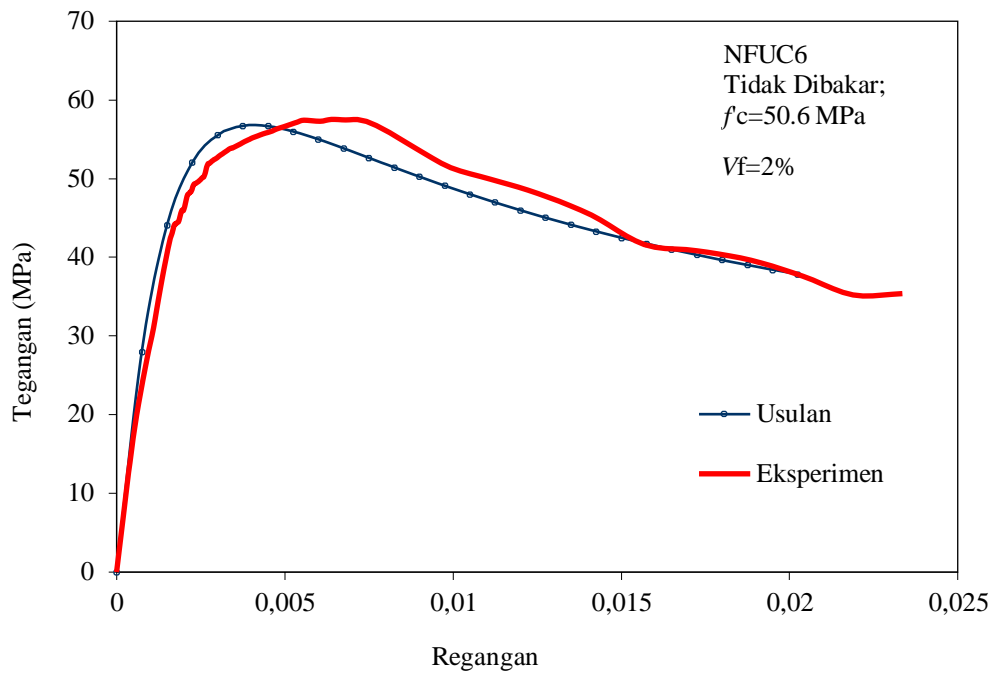
Gambar 5. 42. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 2\%$



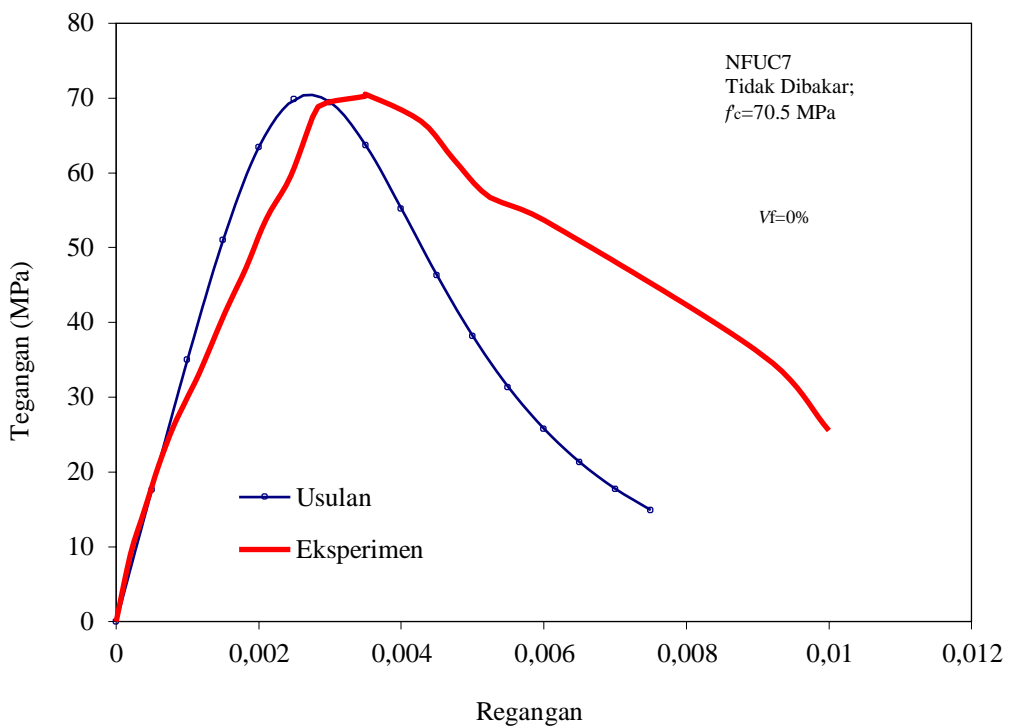
Gambar 5. 43. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c=50.6$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f=0\%$



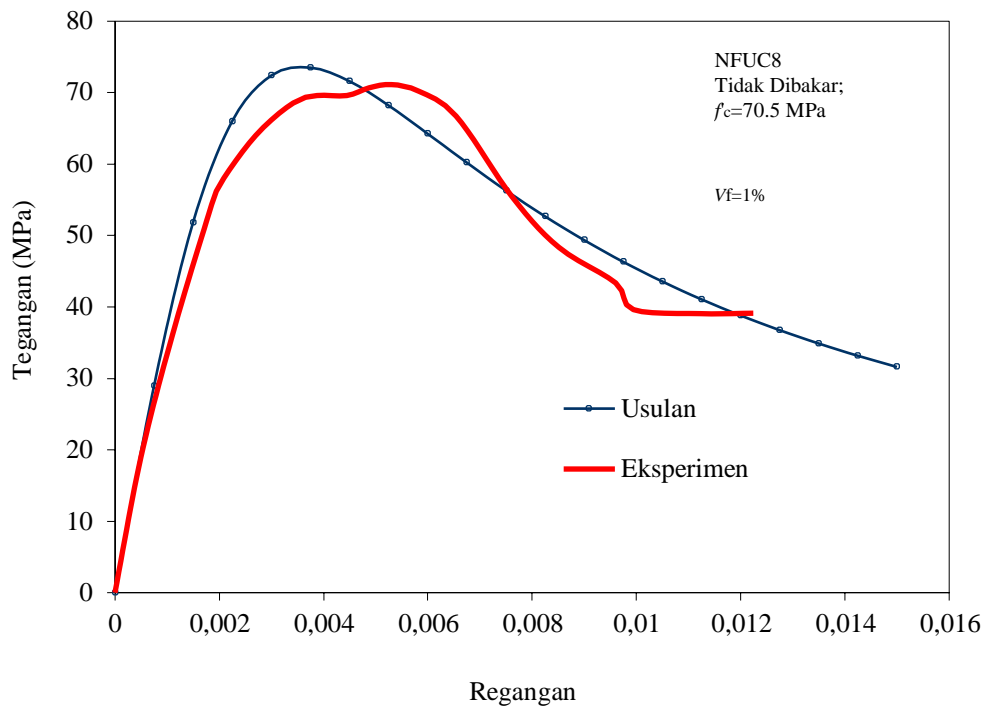
Gambar 5. 44. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c=50.6$ MPa Tanpa Bakar dengan $V_f=1\%$



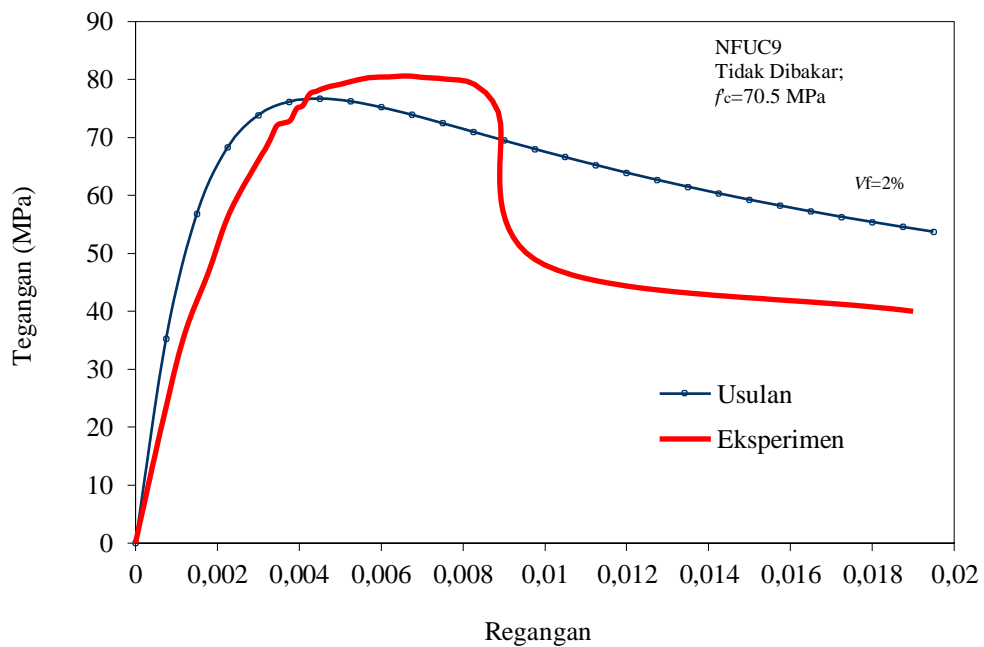
Gambar 5. 45. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 2\%$



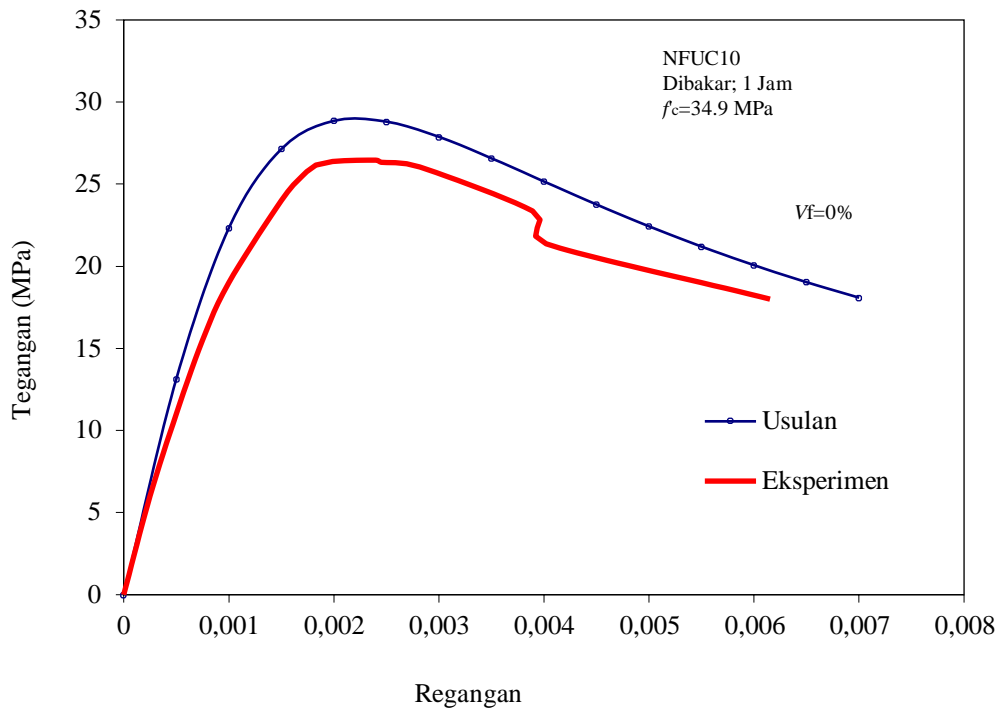
Gambar 5. 46. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 70.5$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 0\%$



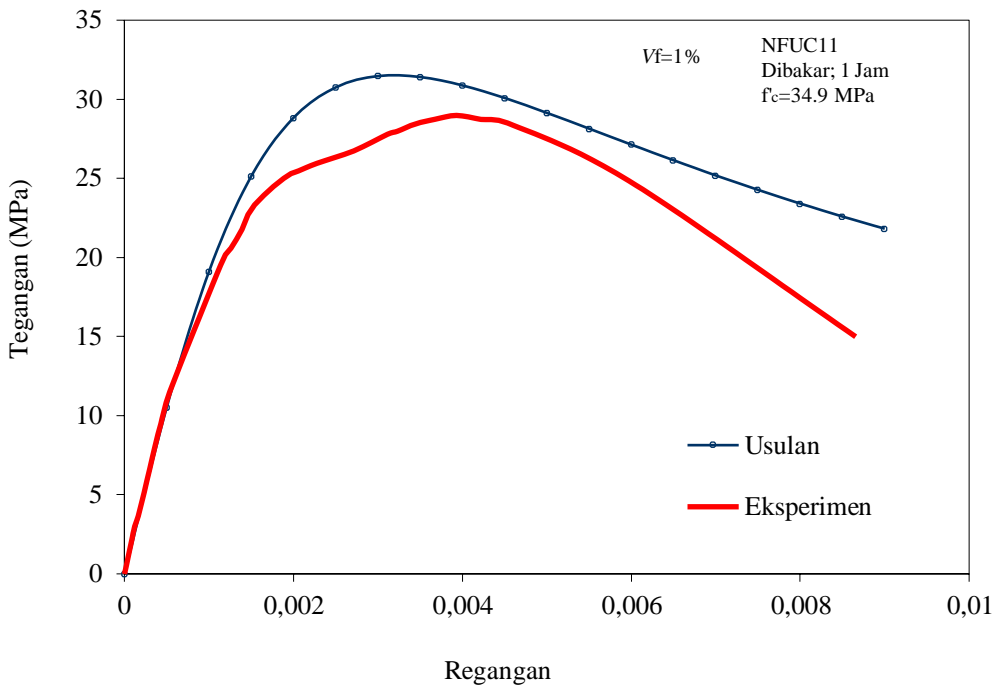
Gambar 5. 47. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 1\%$



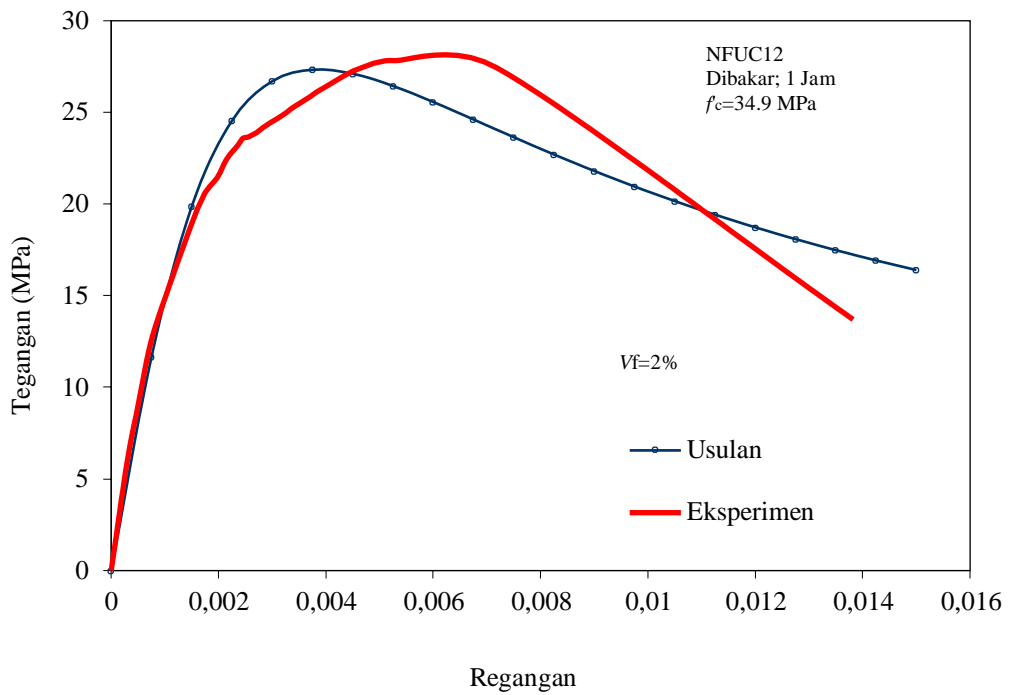
Gambar 5. 48. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Tidak Dibakar dengan $V_f = 2\%$



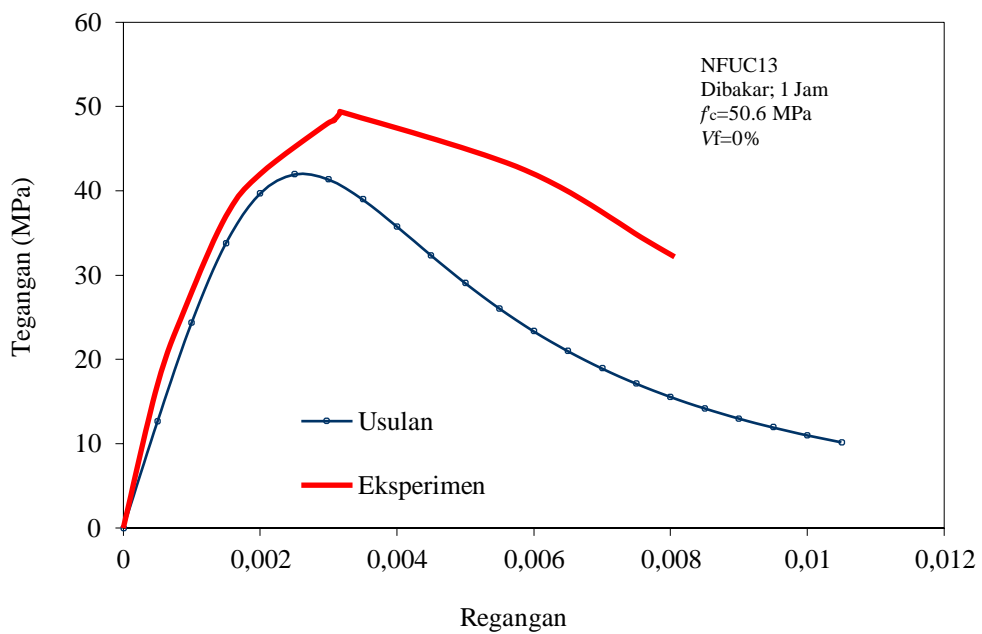
Gambar 5. 49. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 0\%$



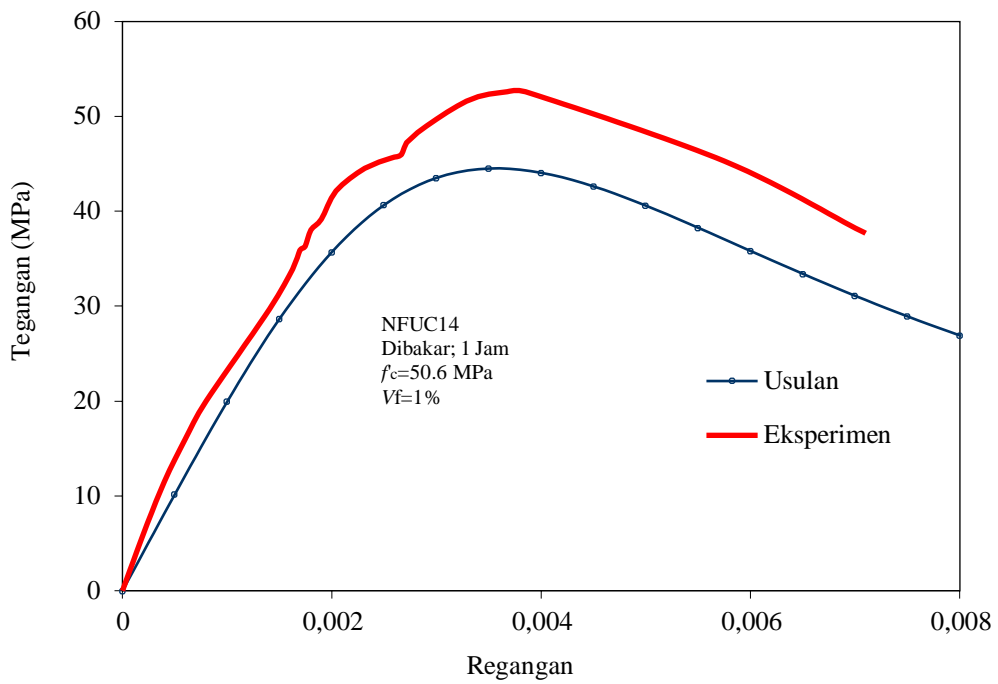
Gambar 5. 50. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 1\%$



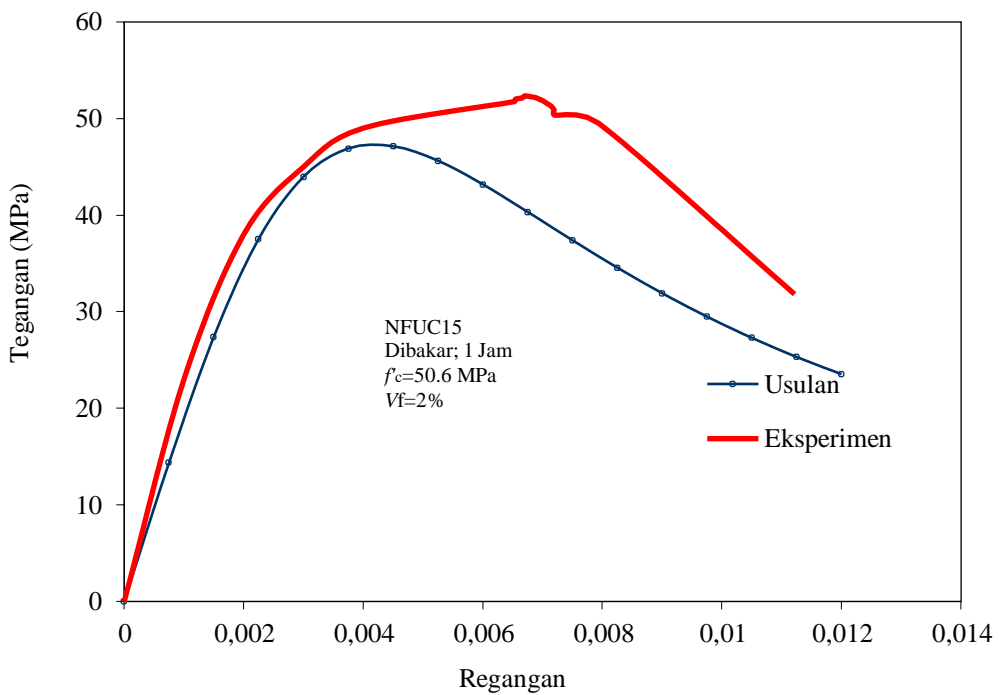
Gambar 5. 51 Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 2\%$



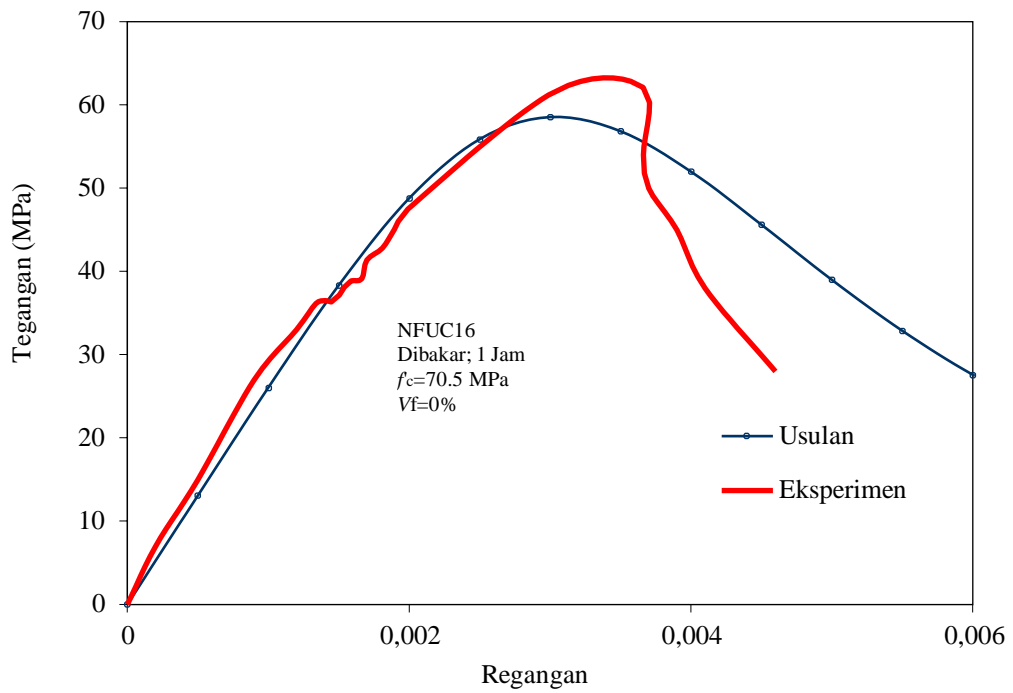
Gambar 5. 52. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 0\%$



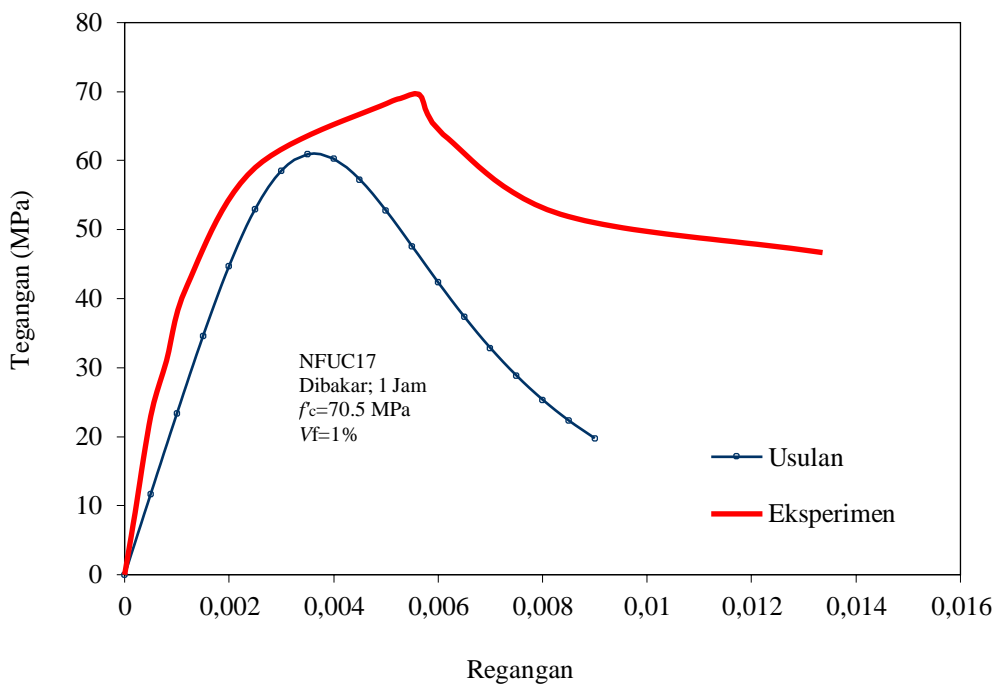
Gambar 5. 53. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 1\%$



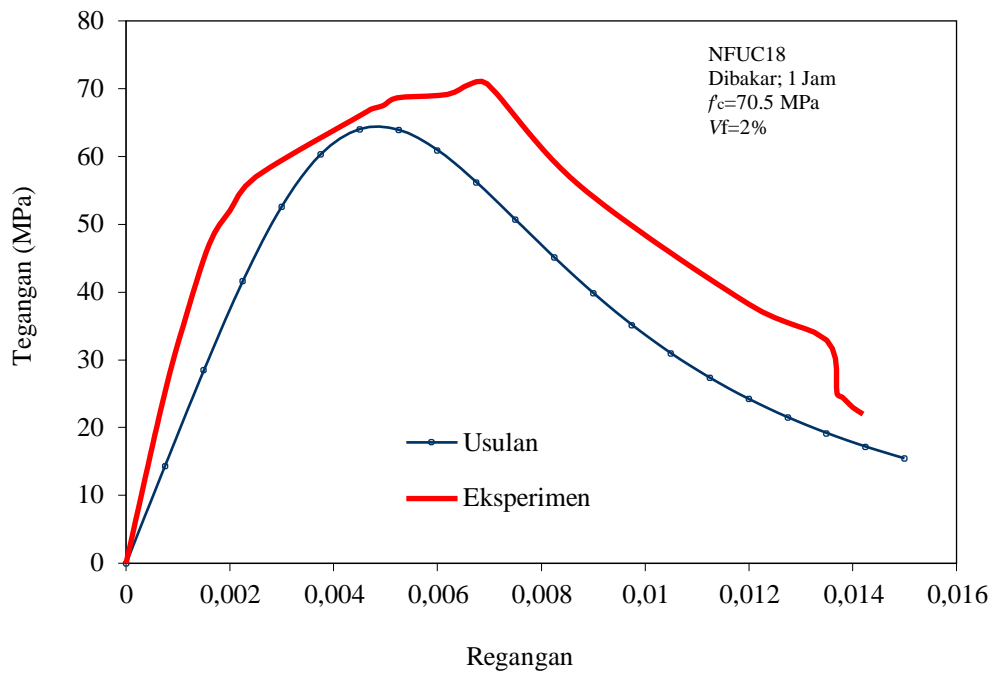
Gambar 5. 54. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 2\%$



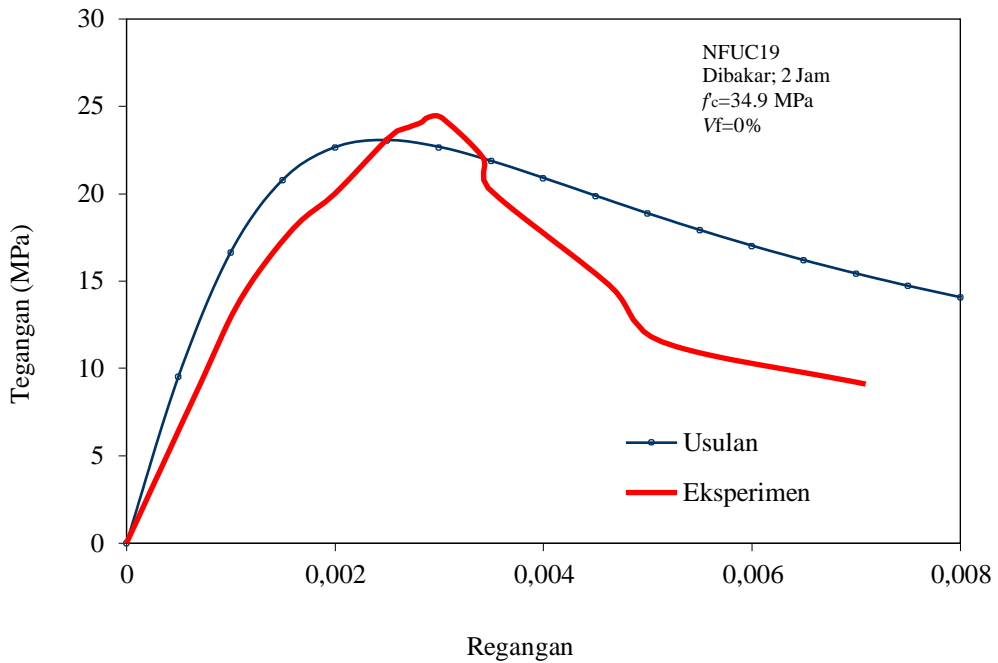
Gambar 5. 55. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 0\%$



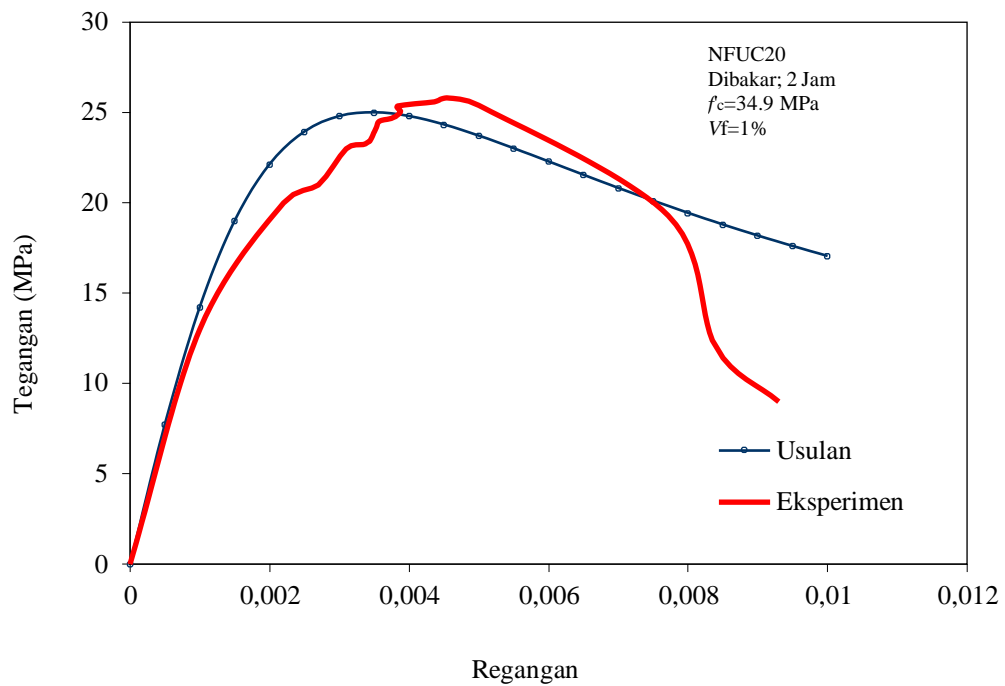
Gambar 5. 56. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f = 1\%$



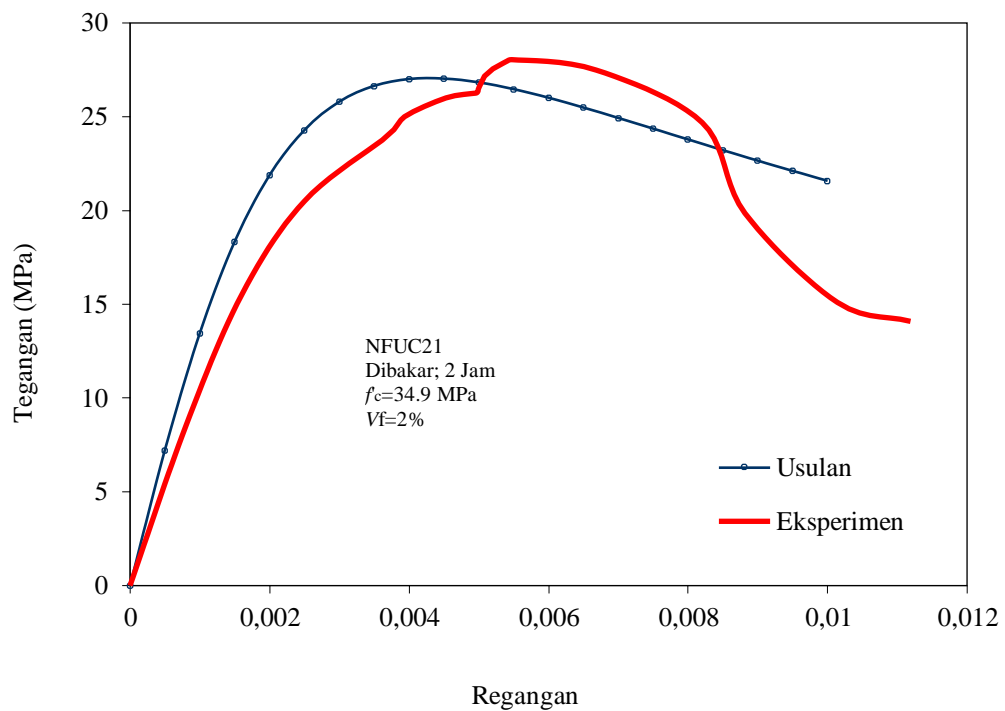
Gambar 5. 57 Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 1 Jam dengan $V_f=2\%$



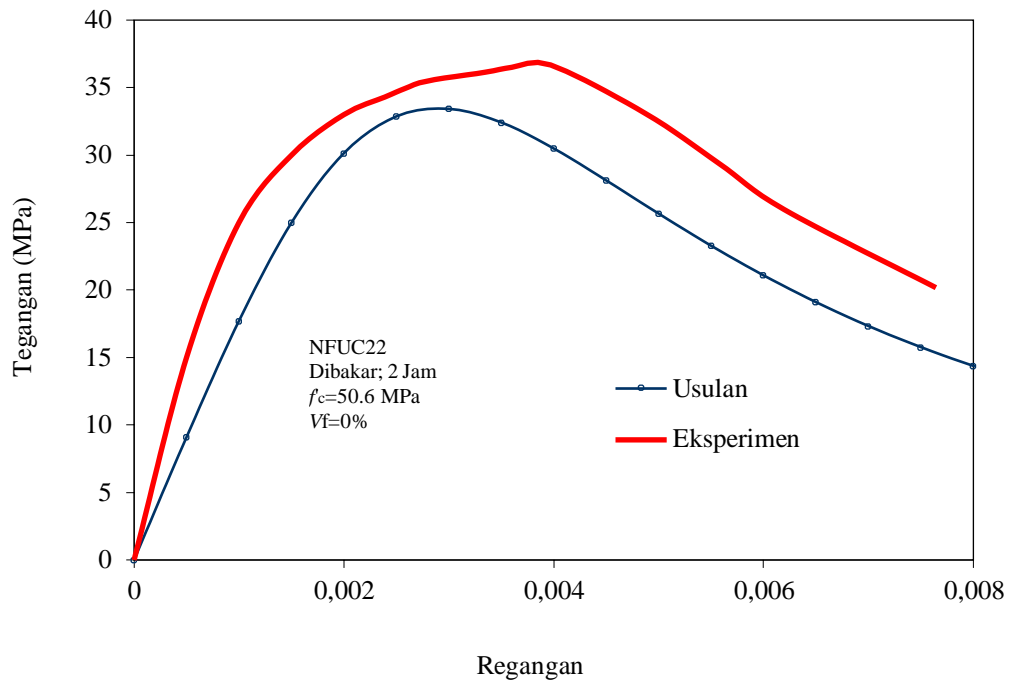
Gambar 5. 58. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f= 0\%$



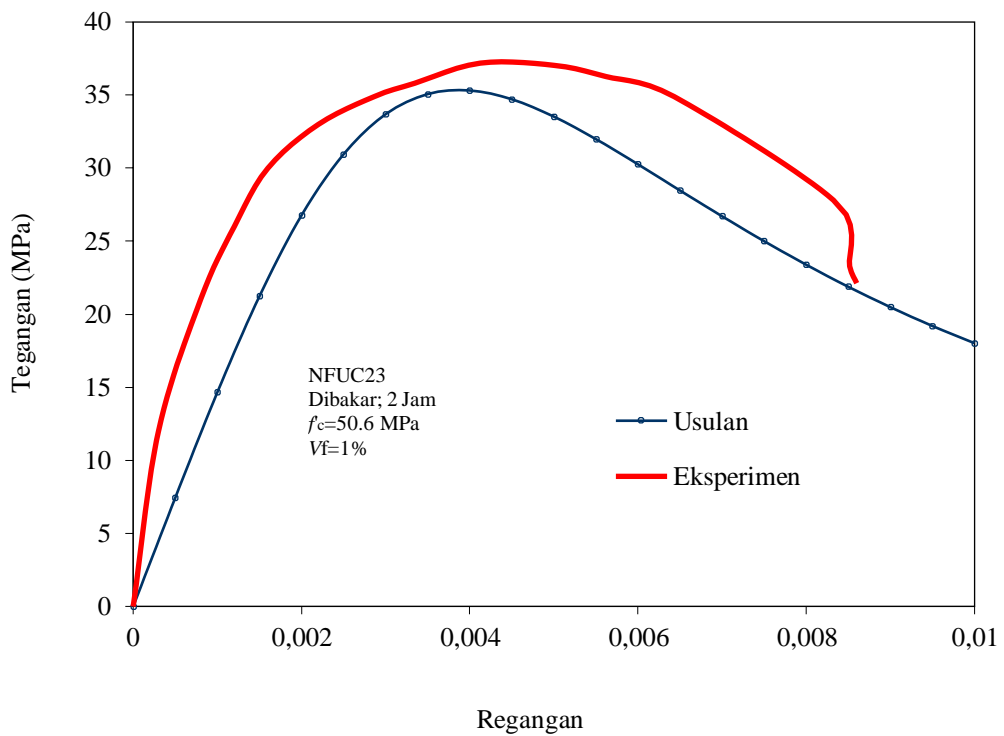
Gambar 5. 59. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f=1\%$



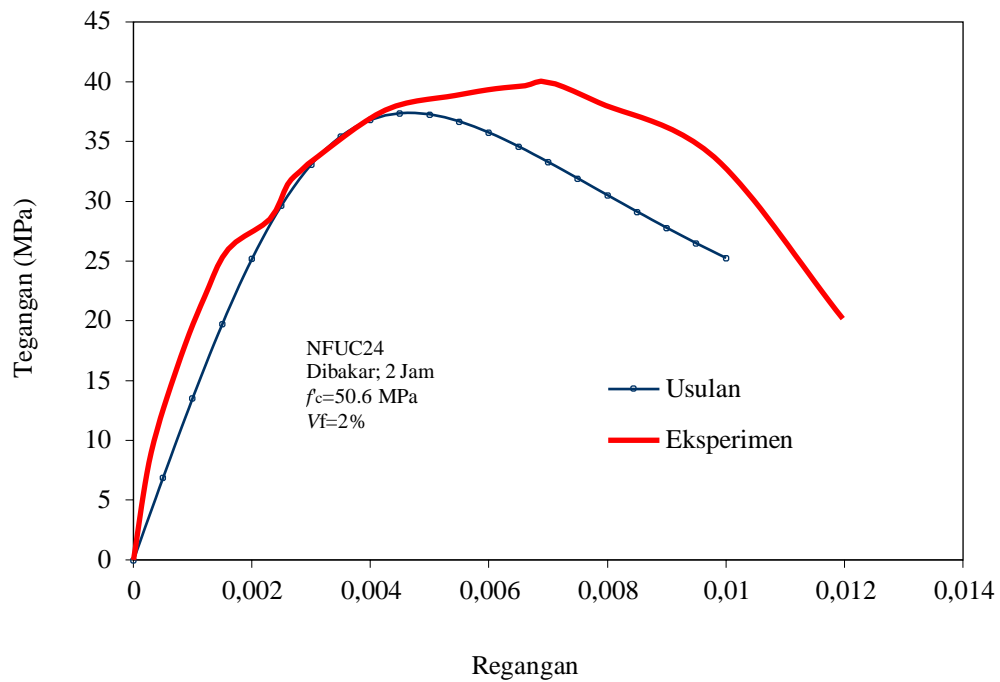
Gambar 5. 60. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 34.9$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f= 2\%$



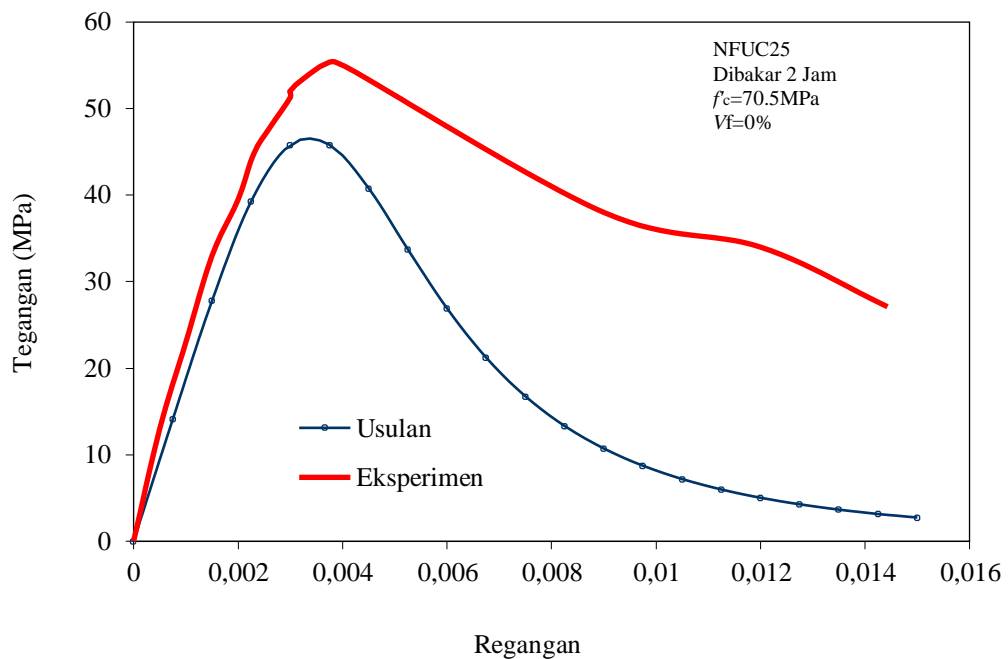
Gambar 5. 61. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 0\%$



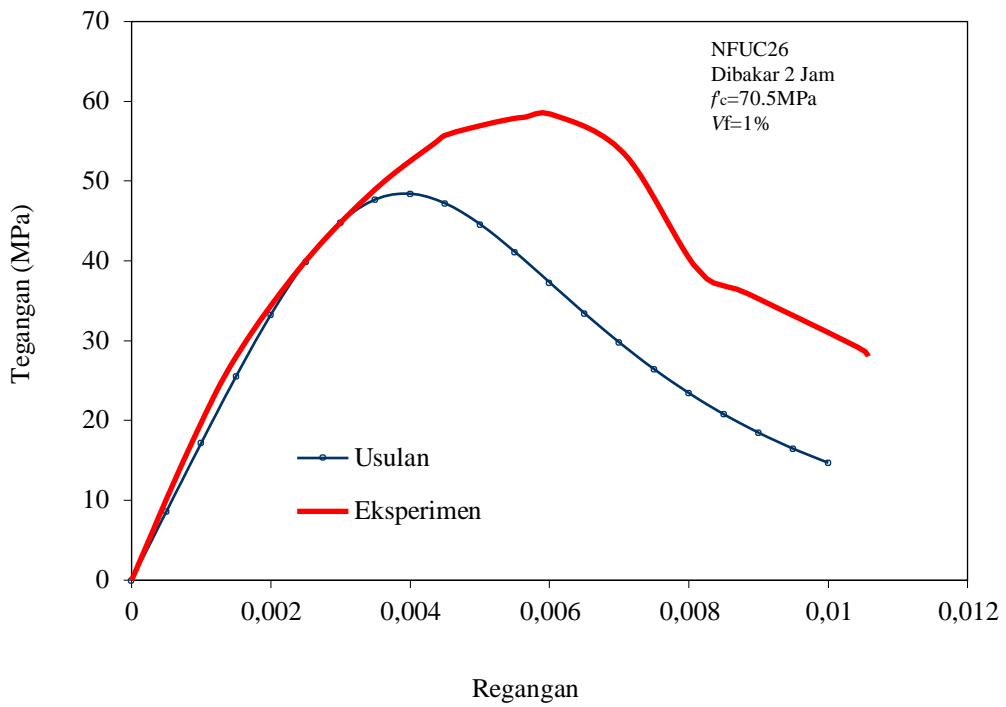
Gambar 5. 62. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 1\%$



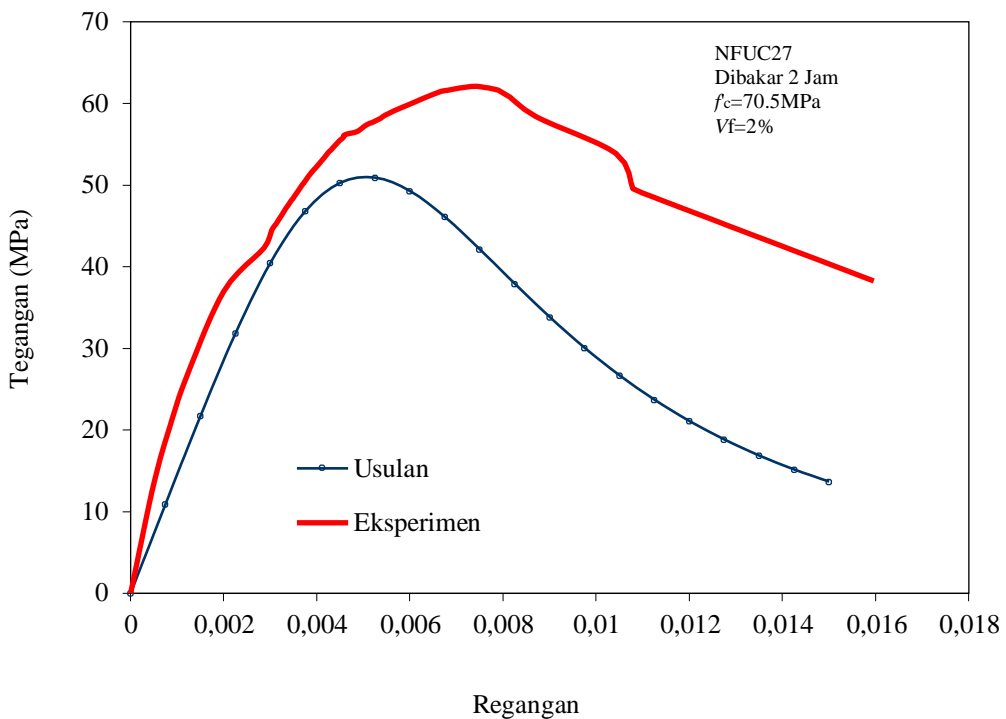
Gambar 5. 63. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 2\%$



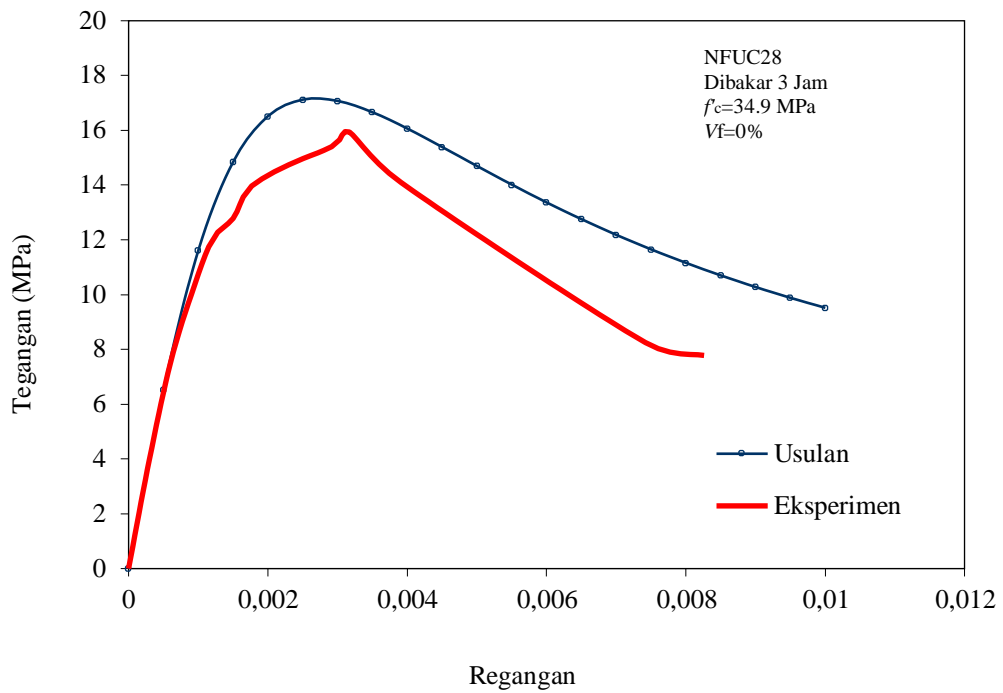
Gambar 5. 64. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 70.5$ MPa Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 0\%$



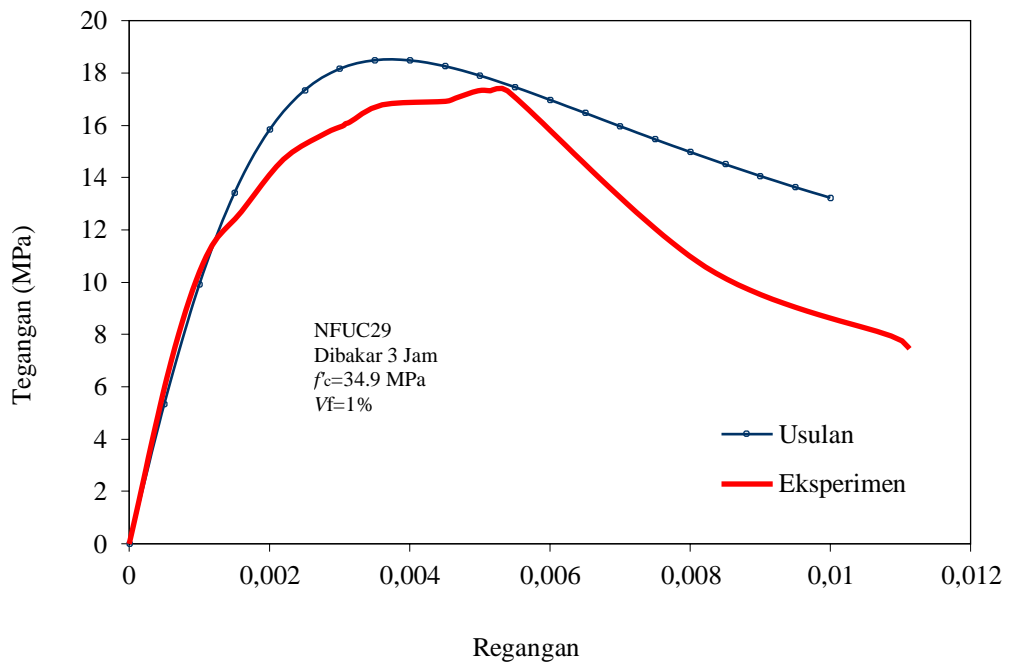
Gambar 5. 65. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5 \text{ MPa}$ Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 1\%$



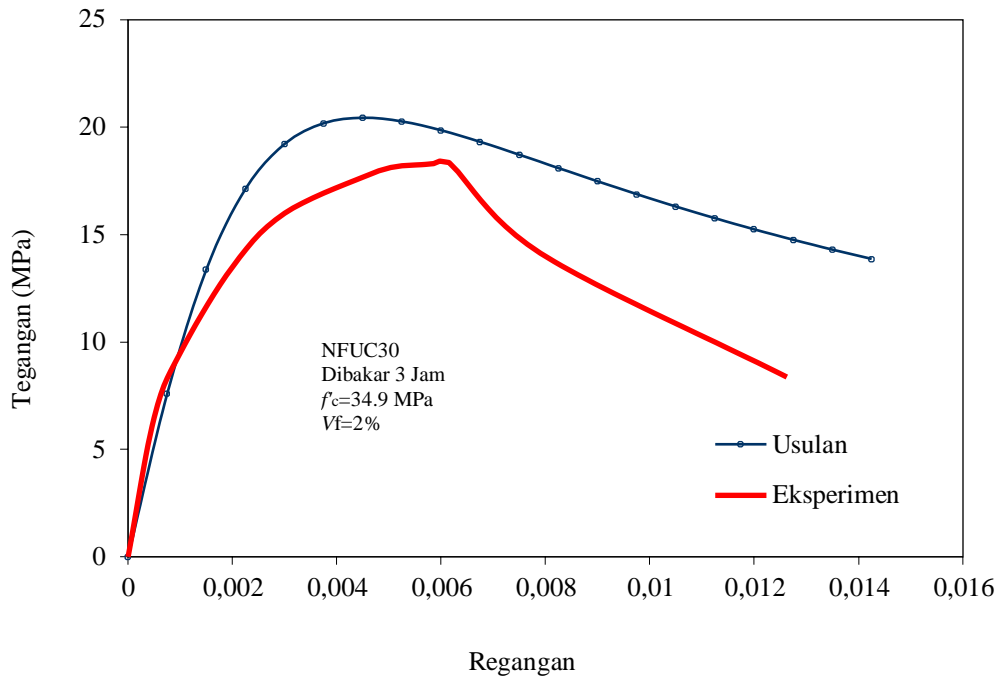
Gambar 5. 66. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70.5 \text{ MPa}$ Dibakar 2 Jam dengan $V_f = 2\%$



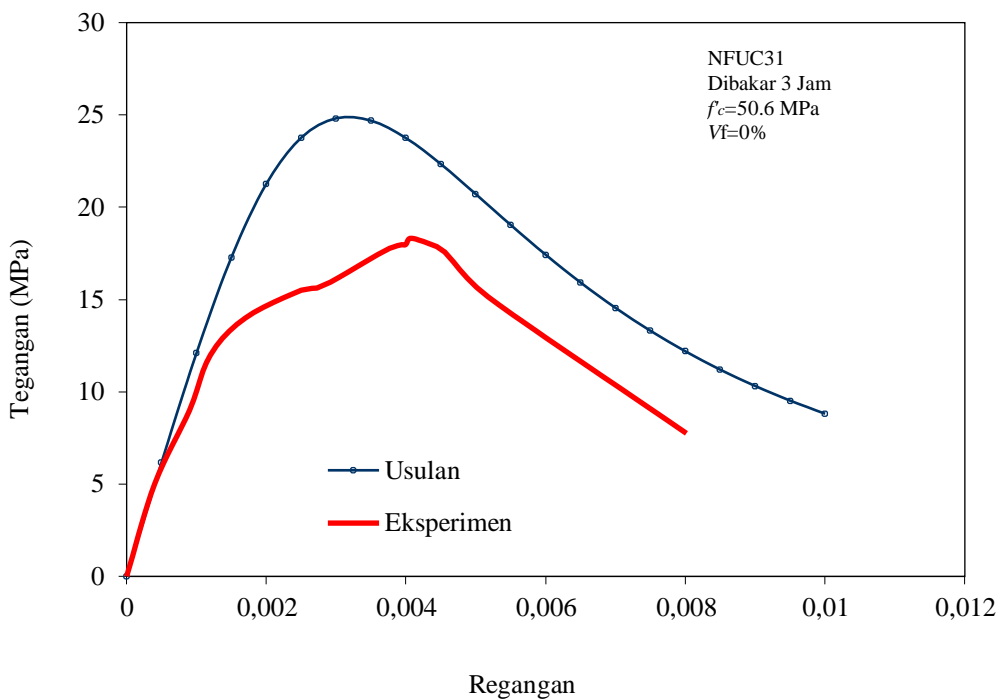
Gambar 5. 67. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 34.9$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 0\%$



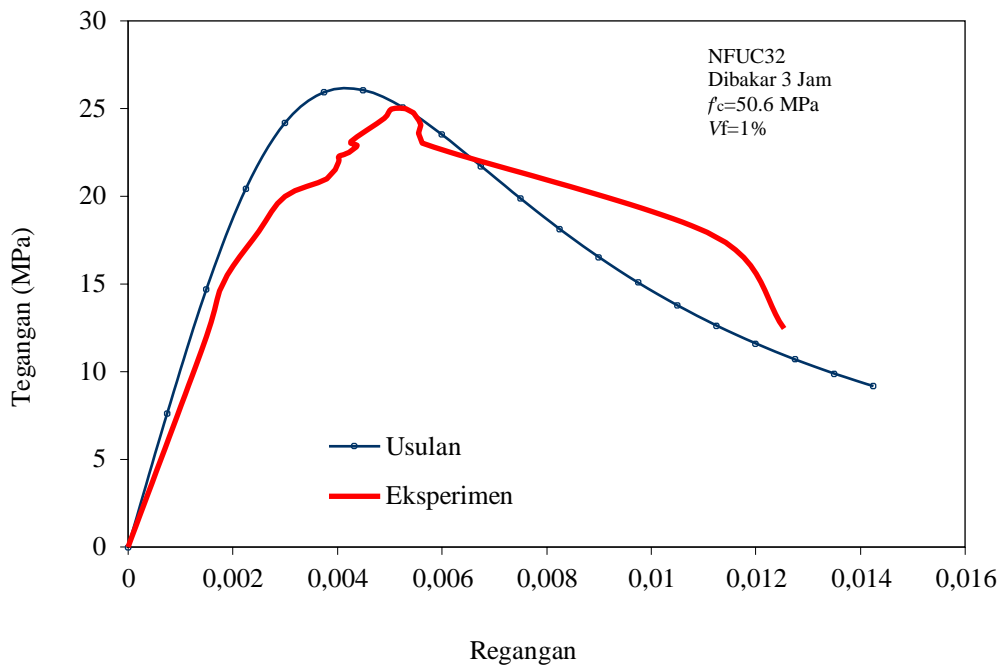
Gambar 5. 68. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 34.9$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 1\%$



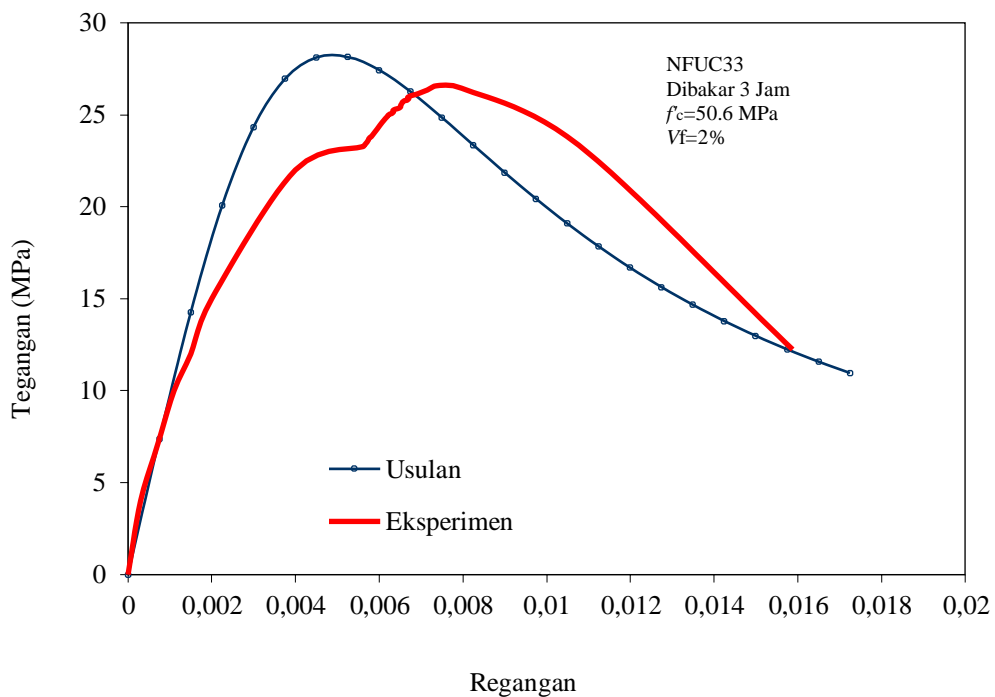
Gambar 5. 69. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 34.9$ Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 2\%$



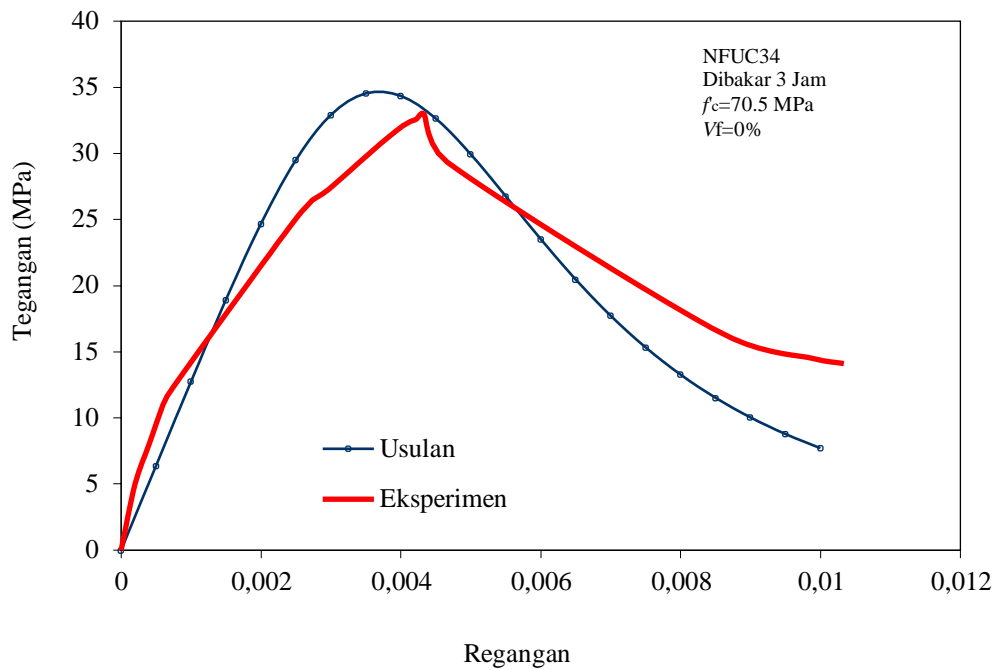
Gambar 5. 70. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 0\%$



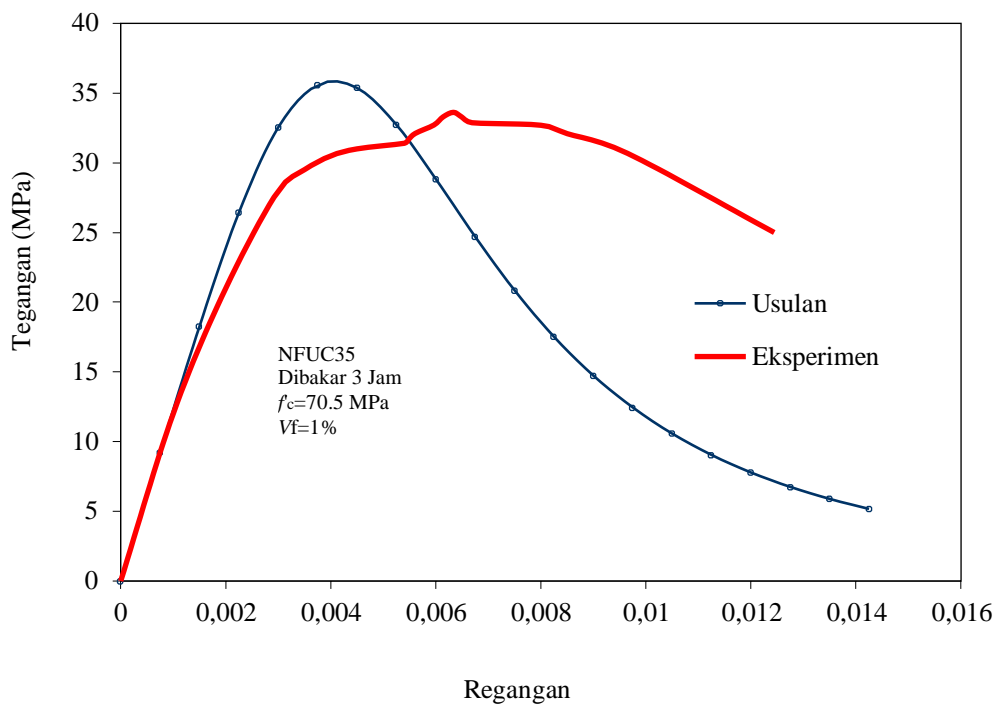
Gambar 5. 71. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f=1\%$



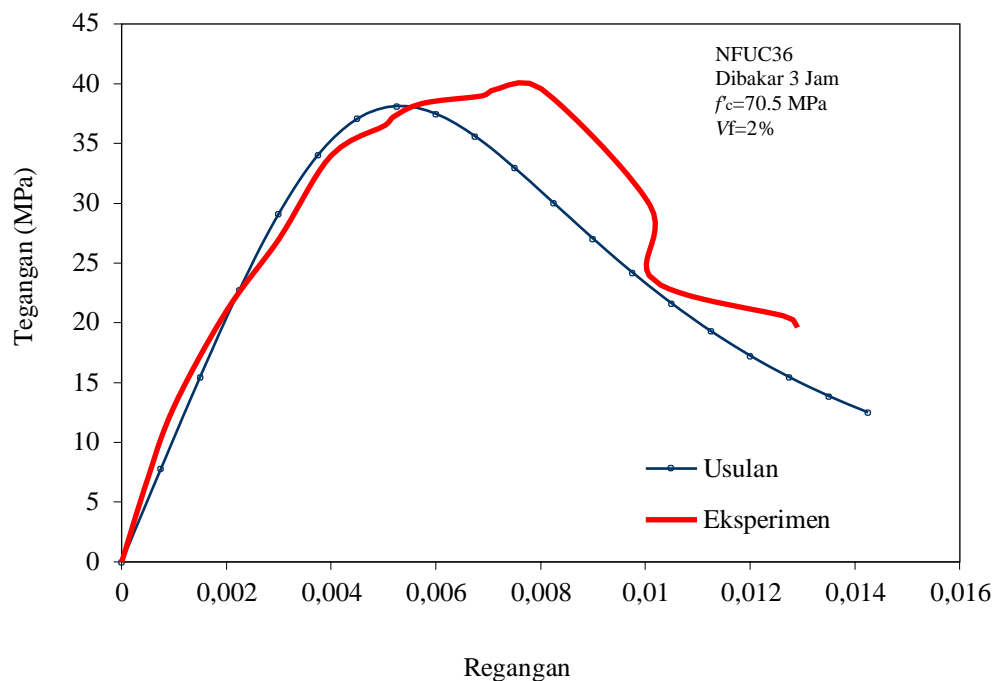
Gambar 5. 72. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c = 50.6$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f= 2\%$



Gambar 5. 73. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen untuk $f_c' = 70.5$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 0\%$



Gambar 5. 74. Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f_c' = 70,5$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f = 1\%$



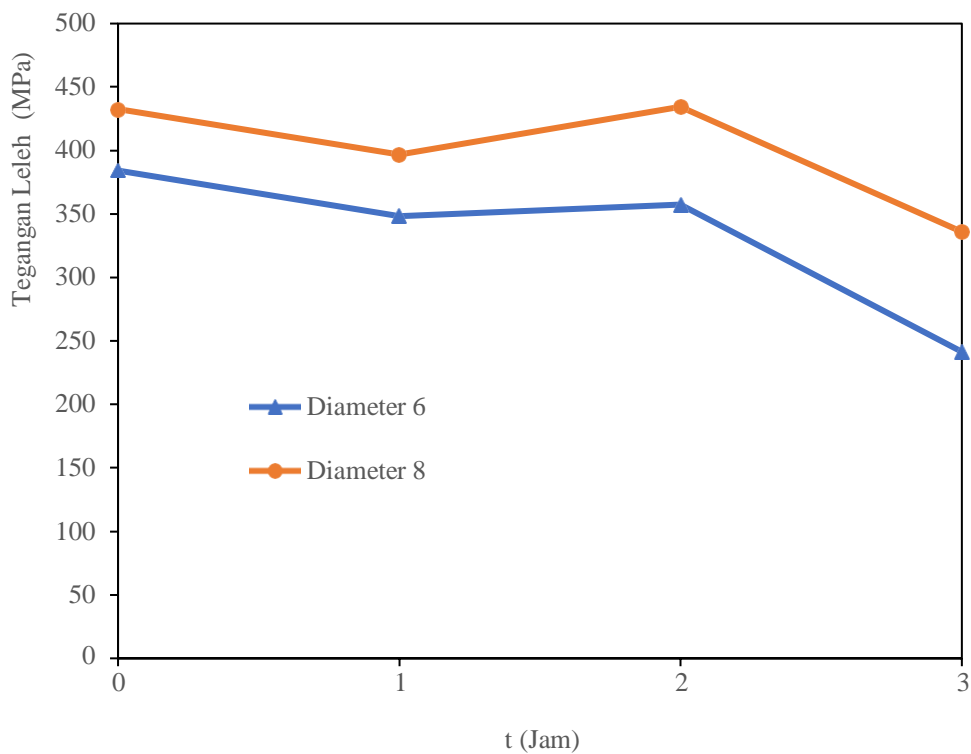
Gambar 5. 75 Grafik Perbandingan Antara Tegangan-Regangan Usulan dan Eksperimen Untuk $f'_c=70,5$ MPa Dibakar 3 Jam dengan $V_f=2\%$

5.2. Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

Tulangan untuk penelitian ini merupakan besi polos dengan diameter 6 mm yang digunakan untuk pengekangan dan besi polos dengan diameter 8 mm untuk tulangan pokok. Pengujian besi meliputi besi tanpa dibakar dan besi yang dibakar dengan lama pembakaran 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Pengujian dilakukan berdasarkan (SNI-2052-2017) tentang Baja Tulangan Beton dan dilaksanakan di Laboratorium Politeknik Negeri Semarang (Polines). Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.2 dan Gambar 5.76 berikut ini.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

No	Diameter Tulangan (mm)	Tegangan Leleh (MPa)			
		Tidak dibakar	Dibakar 1 jam	Dibakar 2 jam	Dibakar 3 jam
1	5.5 mm	384.26	348.63	357.43	241.64
2	7.6 mm	432.40	396.63	343.43	335.94



Gambar 5. 76 Grafik Tegangan Leleh Baja Tulangan

Tabel 5.2 dan Gambar 5.76 menunjukkan nilai kuat tarik dari besi Ø5.5 yang dibakar dan tidak dibakar. Nilai kuat leleh besi tulangan Ø5.5 yang tidak dibakar sebesar 384.26 MPa, dibakar 1 jam sebesar 348.63 MPa, dibakar 2 jam 357.43 MPa dan dibakar 3 jam 241.64 MPa, sedangkan nilai kuat leleh tulangan longitudinal Ø8 tidak dibakar sebesar 432.42 MPa, dibakar 1 jam sebesar 396.63 MPa, dibakar 2 jam 434.43 MPa dan dibakar 3 jam 335.94 MPa. Dari gambar tersebut di atas menunjukkan bahwa seperti pada sifat besi, setelah leleh pertama maka besi akan mengalami kenaikan nilai tariknya setelah itu nilai kuat tarik besi akan turun sampai besi putus.

5.3. Modus Keruntuhan Beton Terkekang

Secara visual hasil eksperimen beton terkekang pada suhu normal dan pasca bakar diperlihatkan pada gambar di bawah ini.

5.3.1 Modus Keruntuhan Beton Serat Terkekang Tanpa Bakar Spasi 100



Gambar 5. 77 Keruntuhan Beton Serat Terkekang Tanpa Bakar Spasi100

Gambar 5.77, memperlihatkan bahwa spesimen beton serat maupun tanpa serat dan dikekang dengan model *hook* jarak spasi 100 mm model keruntuhannya hancurnya beton disertai dengan tekuknya tulangan longitudinal.

5.3.2 Modus Keruntuhan Beton Serat Terkekang Pasca Bakar NSC, MSC dan HSC untuk S100



Gambar 5. 78 Keruntuhan Beton Serat Terkekang Bakar Senggang S100

Gambar 5.78 menunjukkan spesimen beton serat maupun tanpa serat pasca bakar dan dikekang dengan model *hook* jarak spasi 100 mm model keruntuhannya hancurnya beton disertai dengan tekuknya tulangan longitudinal.

5.3.3 Modus Keruntuhan Beton Serat Terkekang Tanpa Bakar NSC, MSC dan HSC untuk S50



Gambar 5. 79 Keruntuhan Beton Serat Terkekang Tanpa Bakar Senggang S50

Gambar 5.79 menunjukkan spesimen beton serat maupun tanpa serat dan dikekang dengan model *hook* jarak spasi 50 mm model keruntuhannya hancurnya beton tanpa disertai dengan tekuknya tulangan longitudinal.

5.3.4 Modus Keruntuhan Beton Serat Terkekang Pasca Bakar NSC, MSC dan HSC untuk S50



Gambar 5. 80 Keruntuhan Beton Serat Terkekang Bakar Senggang S50

Gambar 5.80 menunjukkan hasil visual hancurnya beton terkekang pasca bakar, spesimen beton berserat maupun tanpa serat dan dikekang dengan model

hook jarak spasi 50 mm. Beton mutu normal, beton mutu menengah dan beton mutu tinggi dengan volume fraksi 0%, 1% dan 2 % bentuk keruntuhan adalah dengan hancurnya beton tanpa disertai dengan tertekuknya tulangan longitudinal dan tanpa disertai dengan rusaknya tulangan lateral, dimana tulangan lateral masih mengikat secara kuat pada betonnya. Sedangkan beton mengalami kehancuran diantara spasi tulangan lateral.

5.4. Perilaku Tegangan-Regangan Beton Terkekang

5.4.1 Hasil-Hasil Parameter Desain

Tabel 5.3. Beton Terkekang Tidak Dibakar

No	Kode	f _c '	f _{cf} '	V _f	Confined		f _{ccf} '	ε _{ccf} '	ε _{ccf50}	K = $\frac{f_{cc}}{0.85f_{cf}}$
					φ-spasi	E _h (respon puncak)				
1	NFC1		34.9	0		0.0019	30.71	0.0019	0.007	1.04
2	NFC2	34.9	40.9	1	5.5-100	leleh	38.45	0.002	0.006	1.11
3	NFC3		41.2	2		leleh	40.38	0.0022	0.0125	1.15
4	NFC4	50.6	50.4	0	5.5-100	0.0013	41.83	0.0023	0.0045	0.98
5	NFC5		70.5	0		0.0012	57.11	0.0023	0.0067	0.95
6	NFC6	70.5	71.1	1	5.5-100	0.0012	63.99	0.0026	0.0095	1.06
7	NFC7		80.6	2		leleh	73.35	0.0026	0.0134	1.07
8	NFC8		34.9	0		leleh	38.14	0.0025	0.0068	1.29
9	NFC9	34.9	40.9	1	5.5-50	leleh	44.83	0.0028	0.007	1.29
10	NFC10		41.2	2		leleh	45.64	0.0031	0.016	1.30
11	NFC11		50.6	0	5.5-50	leleh	54.56	0.0026	0.0063	1.27
12	NFC12	50.6	57	1		leleh	62.47	0.0034	0.0071	1.29
13	NFC13		70.5	0		leleh	73.52	0.003	0.0071	1.23
14	NFC14	70.5	71.1	1	5.5-50	0.0019	75.89	0.0035	0.0131	1.26
15	NFC15		80.6	2		0.0015	86.77	0.0046	0.0151	1.27

Tabel 5.3. memperlihatkan bahwa beton terkekang tanpa bakar dengan spasi 100 mm untuk mutu beton normal mengalami kenaikan kekuatan betonnya (K) seiring dengan bertambahnya volume fraksi, untuk beton mutu menengah mengalami penurunan kekuatan betonnya sedangkan untuk beton mutu tinggi mengalami peningkatan nilai kekuatan betonnya. Untuk beton terkekang tanpa bakar dengan spasi 50 mm untuk beton mutu normal, beton mutu menengah dan

untuk beton mutu tinggi mengalami kenaikan kekuatan betonnya seiring dengan bertambahnya volume fraksi. Sedangkan nilai regangan untuk mutu beton yang sama dengan semakin bertambahnya volume fraksi serat mengalami kenaikan nilai regangannya. Sedangkan nilai regangan pada saat tegangan turun 50% dari tegangan maksimum, baik spasi 100 mm dan spasi 50 mm mengalami peningkatan, ini tidak terlepas dari peran fiber yang digunakan untuk campuran beton. Dengan adanya peningkatan regangan ini menunjukkan beton bersifat duktail.

Tabel 5.4 Beton Terkekang Dibakar 1 jam

No	Kode	f _c '	f _{cf} '	V _f	Confined		f _{ccf} '	ε _{ccf} '	ε _{ccf50}	K = $\frac{f_{cc}^F}{0.85f_{cf}^f}$
					φ-spasi	ε _h (respon puncak)				
16	F1C1		26.3	0		0.0019	25.41	0.0026	0.0052	1.14
17	F1C2	34.9	29	1	5.5-100	leleh	27.1	0.0031	0.0043	1.10
18	F1C3		27.8	2		leleh	28.25	0.003	0.0055	1.20
19	F1C4		49.4	0		leleh	38.75	0.0029	0.0051	0.92
20	F1C5	50.6	52.6	1	5.5-100	leleh	40.09	0.0032	0.0047	0.90
21	F1C6		52.3	2		0.0019	45.14	0.0035	0.0059	1.02
22	F1C7		62.1	0		leleh	54.03	0.003	0.0044	1.02
23	F1C8	70.5	69.6	1	5.5-100	leleh	61.9	0.0035	0.0054	1.05
24	F1C9		70.7	2		leleh	61.3	0.0037	0.0069	1.02
25	F1C10		26.3	0		leleh	30.48	0.0032	0.0066	1.36
26	F1C11	34.9	29	1	5.5-50	leleh	30.8	0.0053	0.0098	1.25
27	F1C12		27.8	2		leleh	33.64	0.0071	0.0161	1.42
28	F1C13		49.4	0		leleh	39.45	0.0052	0.0083	0.94
29	F1C14	50.6	52.6	1	5.5-50	leleh	47.86	0.0063	0.0093	1.07
30	F1C15		52.3	2		leleh	48.92	0.0064	0.0108	1.10
31	F1C16		62.1	0		leleh	59.12	0.0051	0.0081	1.12
32	F1C17	70.5	69.6	1	5.5-50	leleh	61.28	0.0062	0.0102	1.04
33	F1C18		70.7	2		leleh	61.87	0.0077	0.0117	1.03

Tabel 5.4. menggambarkan bahwa beton terkekang dibakar 1 jam dengan volume fraksi 0%, 1% dan 2 % untuk spasi 100 mm untuk beton mutu normal menunjukkan nilai K mengalami kenaikan kekuatan betonnya , untuk mutu beton mutu menengah mengalami penurunan walaupun masih relatif kecil, sedangkan untuk beton mutu tinggi kekuatan beton mengalami kenaikan lagi walaupun relatif kecil, perilaku yang sama juga terjadi pada mutu beton tinggi dimana kekuatan betonnya mengalami penurunan. Spesimen dengan spasi 50 mm untuk mutu beton normal, beton mutu menengah dan untuk beton mutu tinggi mengalami kenaikan

nilai kekuatan betonnya walaupun relatif kecil. Sedangkan nilai regangan beton untuk spasi 100 mm dan 50 mm dengan mutu beton yang sama baik untuk beton mutu normal, beton mutu sedang dan beton mutu tinggi dengan semakin bertambahnya volume fraksi serat mengalami kenaikan nilai regangannya. Sedangkan nilai regangan pada saat tegangan turun 50% dari tegangan maksimum, baik spasi 100 mm dan spasi 50 mm mengalami peningkatan, ini tidak terlepas dari peran fiber yang digunakan untuk campuran beton. Dengan adanya peningkatan regangan ini menunjukkan beton bersifat daktail.

Tabel 5.5 Beton Terkekang Dibakar 2 jam

No		f _c '	f _{ctf} '	V _f	Confined		f _{ccf} ' (MPa)	ε _{cc} '	ε _{cc50}	K = $\frac{f_{ccf}^F}{0.85f_{ctf}^F}$
					φ-spasi	ε _{sh} (respon puncak)				
34	F2C1		24.4	0		leleh	22.98	0.0027	0.0041	1.11
35	F2C2	34.9	25.8	1	5.5-100	leleh	21.58	0.0032	0.0061	0.98
36	F2C3		28	2		0.0018	25.74	0.0037	0.0073	1.08
37	F2C4		36.7	0		leleh	29.55	0.003	0.0047	0.95
38	F2C5	50.6	37.2	1	5.5-100	leleh	32.19	0.0033	0.0075	1.02
39	F2C6		40	2		leleh	32.38	0.0037	0.0072	0.95
40	F2C7		55.4	0		0.0016	42.7	0.0031	0.005	0.91
41	F2C8	70.5	58.4	1	5.5-100	0.0016	46.69	0.0036	0.009	0.94
42	F2C9		62.1	2		0.0014	49.41	0.0037	0.0076	0.94
43	F2C10		24.4	0		leleh	24.72	0.0031	0.0063	1.19
44	F2C11	34.9	25.8	1	5.5-50	leleh	26.34	0.0061	0.0091	1.20
45	F2C12		28	2		leleh	29.15	0.0068	0.0095	1.22
46	F2C13		36.7	0		leleh	36.64	0.0045	0.008	1.17
47	F2C14	50.6	37.2	1	5.5-50	leleh	37.68	0.0055	0.0082	1.19
48	F2C15		40	2		leleh	40.81	0.0068	0.0155	1.20
49	F2C16		55.4	0		leleh	45.48	0.0062	0.0075	0.97
50	F2C17	70.5	58.4	1	5.5-50	leleh	47.7	0.0076	0.0104	0.96
51	F2C18		62.1	2		leleh	49.35	0.0078	0.0098	0.93

Tabel 5.5. menggambarkan bahwa beton terkekang mutu normal dengan spasi 100 mm yang dibakar 2 jam dengan dengan bertambahnya volume fraksi tidak terjadi peningkatan kekuatan betonnya, untuk beton mutu menengah dengan bertambahnya volume fraksi terjadi penurunan nilai kekuatan betonnya dan untuk beton mutu tinggi dengan bertambahnya volume fraksi juga mengalami penurunan nilai kekuatan betonnya, ini menunjukkan bahwa beton yang dibakar 2 jam sudah mengalami degradasi penurunan untuk nilai kekuatan betonnya. Sedangkan untuk spesimen dengan spasi 50 mm untuk mutu beton normal dan beton mutu menengah

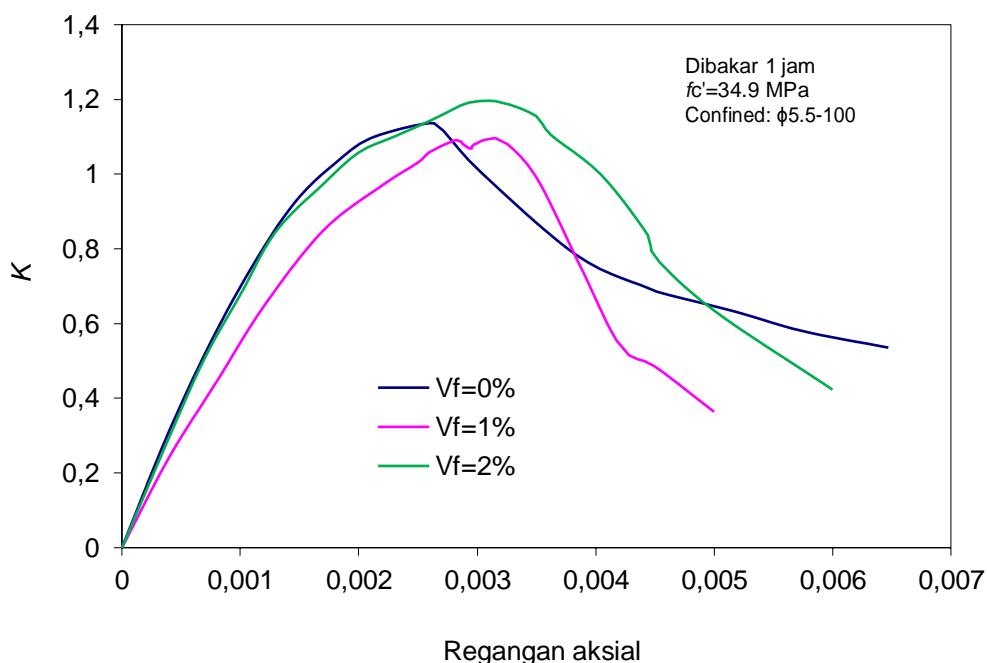
dengan bertambahnya volume fraksi masih mengalami kenaikan nilai kekuatan betonnya walaupun relatif kecil. Sedangkan untuk beton mutu tinggi dengan bertambahnya volume farksi mengalami penurunan kekuatan betonnya. Hal ini menunjukkan peran serat dan pengaruh kekangan untuk beton mutu normal dan beton mutu menengah masih efektif dalam menerima beban, sedangkan untuk beton mutu tinggi sudah mulai terjadi degradai kekuatan walaupun masih relatif kecil. Sedangkan nilai regangan beton untuk spasi 100 mm dan 50 mm dengan mutu beton yang sama baik untuk beton mutu normal, beton mutu sedang dan beton mutu tinggi dengan semakin bertambahnya volume fraksi serat mengalami kenaikan nilai regangannya Sedangkan nilai regangan pada saat tegangan turun 50% dari tegangan maksimum, untuk beton mtu normal, beton mutu menengah dan beton mutu tinggi baik spasi 100 mm dan spasi 50 mm dengan bertambahnya volume fraksi mengalami peningkatan nilai regangannya, ini menunjukkan peran dari kekangan dan fiber yang digunakan dapat meningkatkan bersifat daktail pada betonnya.

Tabel 5.6 Beton Terkekang Dibakar 3 jam

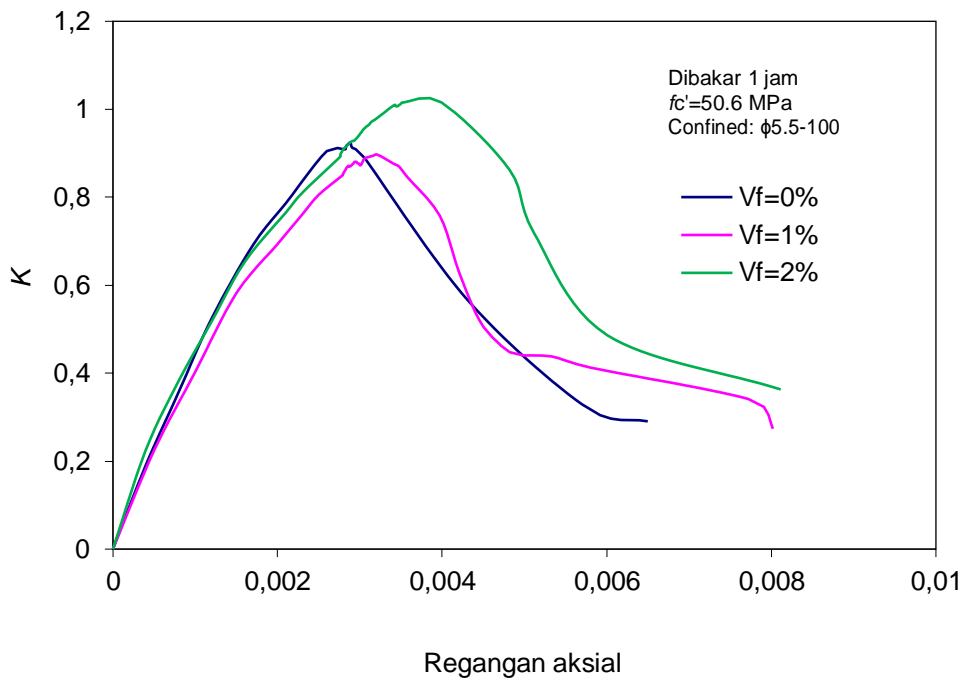
No	Kode	f _c '	f _{ct} '	V _f	Confined		f _{cc} '	ε _{cc} '	ε _{cc50}	K = $\frac{f_{cc}}{0.85f_{ct}'} \frac{f}{f}$
					φ-spasi	ε _h (repon puncak)				
52	F3C1		15.9	0		leleh	14.95	0.004	0.0049	1.11
53	F3C2	34.9	17.3	1	5.5-100	leleh	15.97	0.0042	0.0078	1.09
54	F3C3		18.4	2		leleh	20.2	0.0056	0.0084	1.29
55	F3C4		18.3	0		leleh	20.17	0.0051	0.0065	1.30
56	F3C5	50.6	25	1	5.5-100	leleh	21.48	0.0054	0.0076	1.01
57	F3C6		26.6	2		leleh	28.53	0.006	0.0091	1.26
58	F3C7		33	0		leleh	32.17	0.0053	0.0069	1.15
59	F3C8	70.5	33.6	1	5.5-100	leleh	30.29	0.0056	0.0089	1.06
60	F3C9		39.6	2		leleh	31.14	0.0062	0.0091	0.93
61	F3C10		15.9	0		leleh	19.81	0.0035	0.006	1.47
62	F3C11	34.9	17.3	1	5.5-50	leleh	21.1	0.0068	0.0115	1.43
63	F3C12		18.4	2		leleh	21	0.0074	0.0133	1.34
64	F3C13		18.3	0		leleh	24.92	0.005	0.0088	1.60
65	F3C14	50.6	25	1	5.5-50	leleh	25.12	0.0074	0.0116	1.18
66	F3C15		26.6	2		leleh	29.25	0.008	0.0117	1.29
67	F3C16		33	0		leleh	31.6	0.0068	0.0089	1.13
68	F3C17	70.5	33.6	1	5.5-50	leleh	32.61	0.0081	0.0112	1.14
69	F3C18		39.6	2		leleh	38.88	0.0099	0.014	1.16

Tabel 5.6 menggambarkan bahwa beton terkekang spasi 100 mm dan dibakar 3 jam untuk beton mutu normal, beton mutu sedang dan beton mutu tinggi dengan bertambahnya volume fraksi menunjukkan nilai K mengalami kenaikan kekuatan betonnya walaupun perilaku ini tidak diberlakukan terhadap semua mutu beton. Beton mutu tinggi dengan bertambahnya volume fraksi 2%, justru beton mengalami penurunan kekuatannya. Sedangkan nilai regangan beton untuk spasi 100 mm dan 50 mm dengan mutu beton yang sama baik untuk beton mutu normal, beton mutu sedang dan beton mutu tinggi dengan semakin bertambahnya volume fraksi serat mengalami kenaikan nilai regangannya. Sedangkan nilai regangan pada saat tegangan turun 50% dari tegangan maksimum, baik spasi 100 mm dan spasi 50 mm mengalami peningkatan nilai regangannya, ini tidak terlepas dari peran fiber yang digunakan untuk campuran beton. Dengan adanya peningkatan regangan ini menunjukkan beton bersifat lebih daktail.

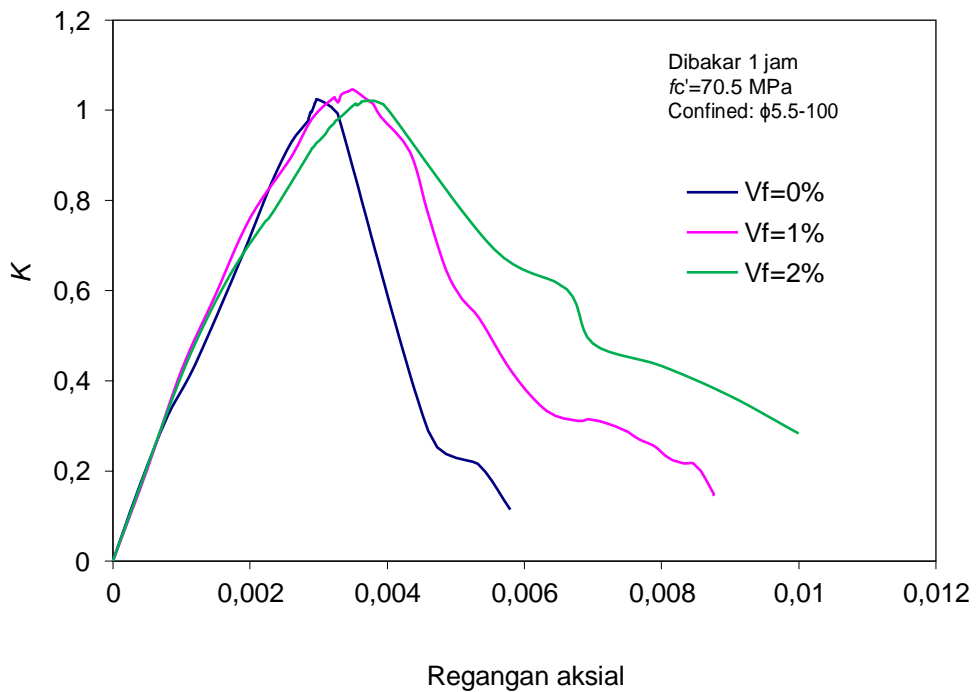
5.4.2 Efek Pengaruh Serat



Gambar 5. 81 Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100

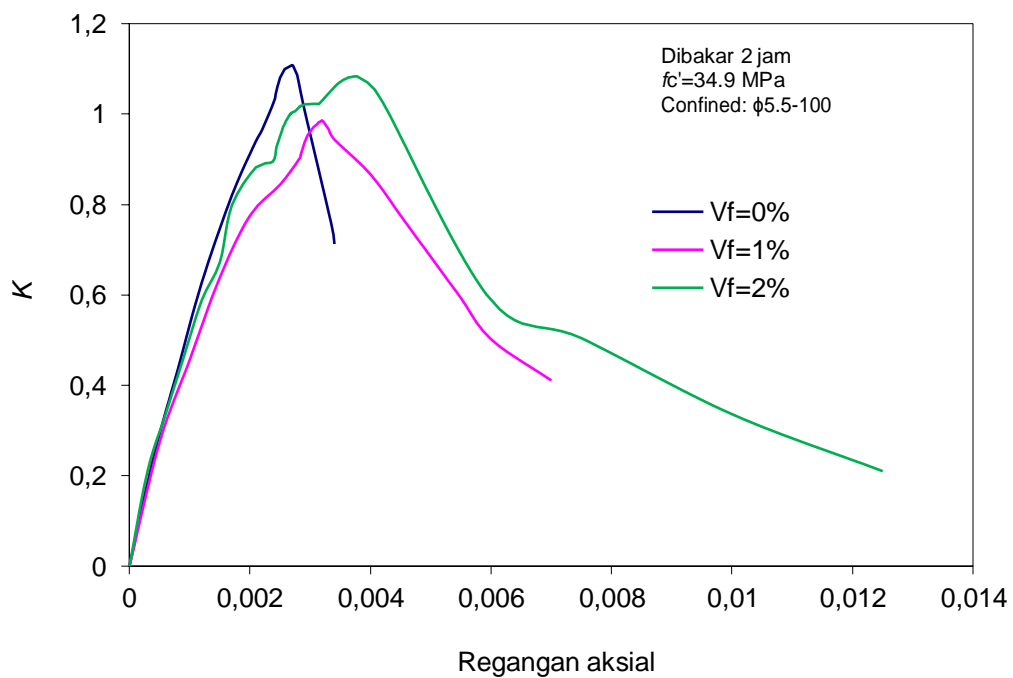


Gambar 5. 82 Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

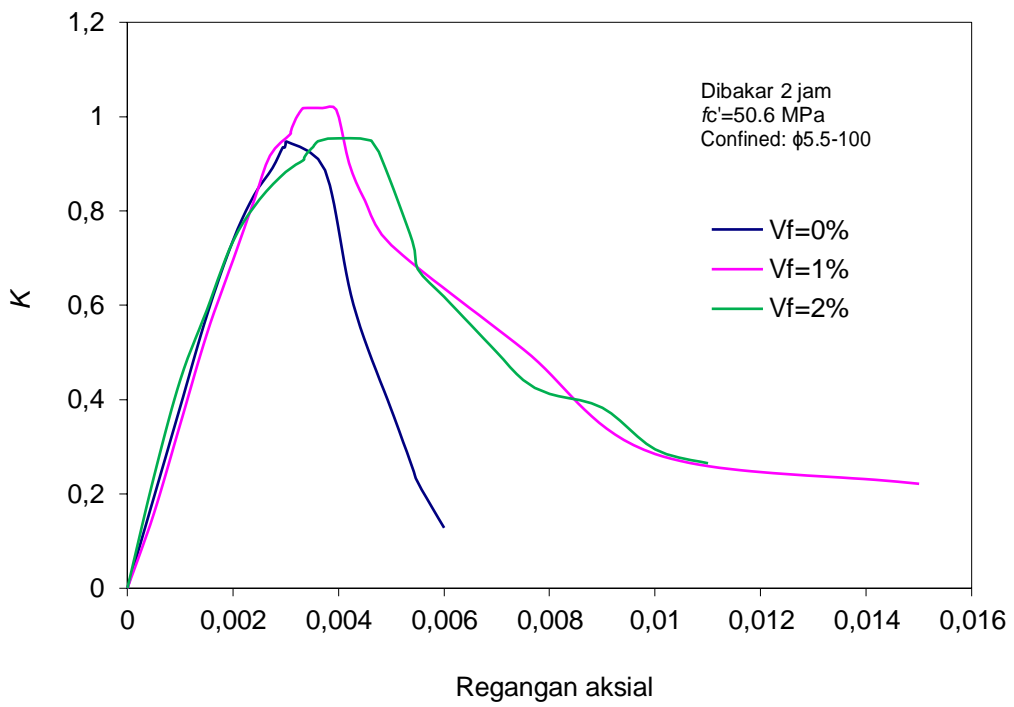


Gambar 5. 83 Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100

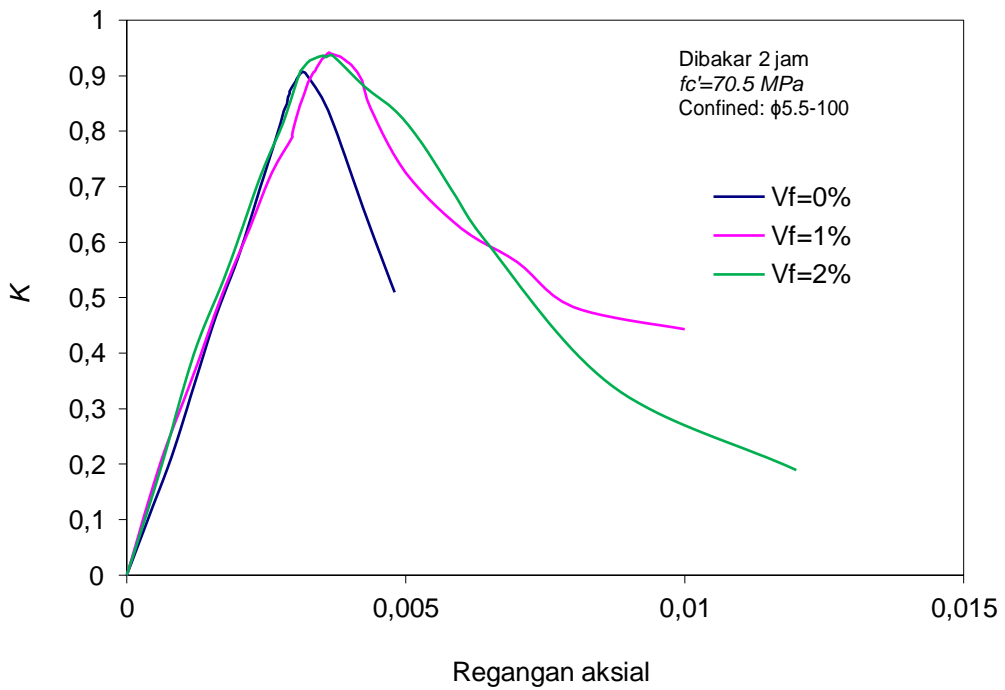
Gambar 5.81, 5.82 dan 5.83 menggambarkan beton terkekang dengan spasi 100 mm yang dibakar 1 jam dengan mutu beton yang sama dan volume fraksi semakin bertambah, beton mengalami peningkatan kekuatannya (K), meskipun naiknya nilai kekuatan beton tersebut tidak terlalu signifikan atau relatif kecil. Kenaikan ini sebanding dengan naiknya volume fraksi, meskipun tulangan pengekang mempunyai spasi yang sama dengan diameter spesimennya. Nilai regangan untuk beton berserat lebih besar dan mempunyai bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai bentuk lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa volume fraksi sangat berperan dalam hal nilai kekuatan betonnya dan beton lebih bersifat daktail.



Gambar 5. 84 Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Mutu Beton 34.9 MPa
 Spasi 100

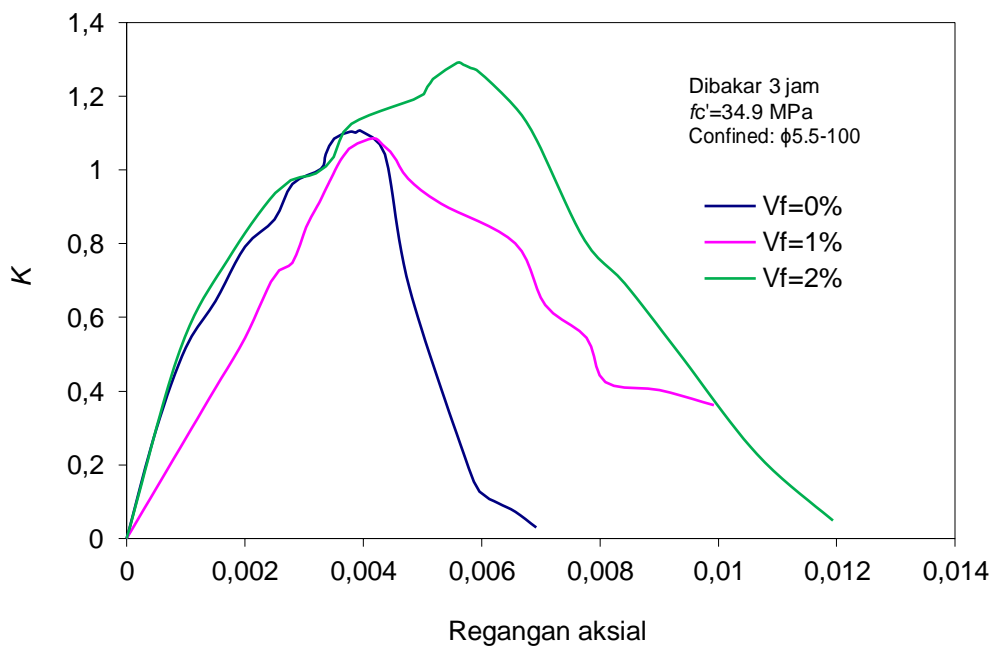


Gambar 5. 85 Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

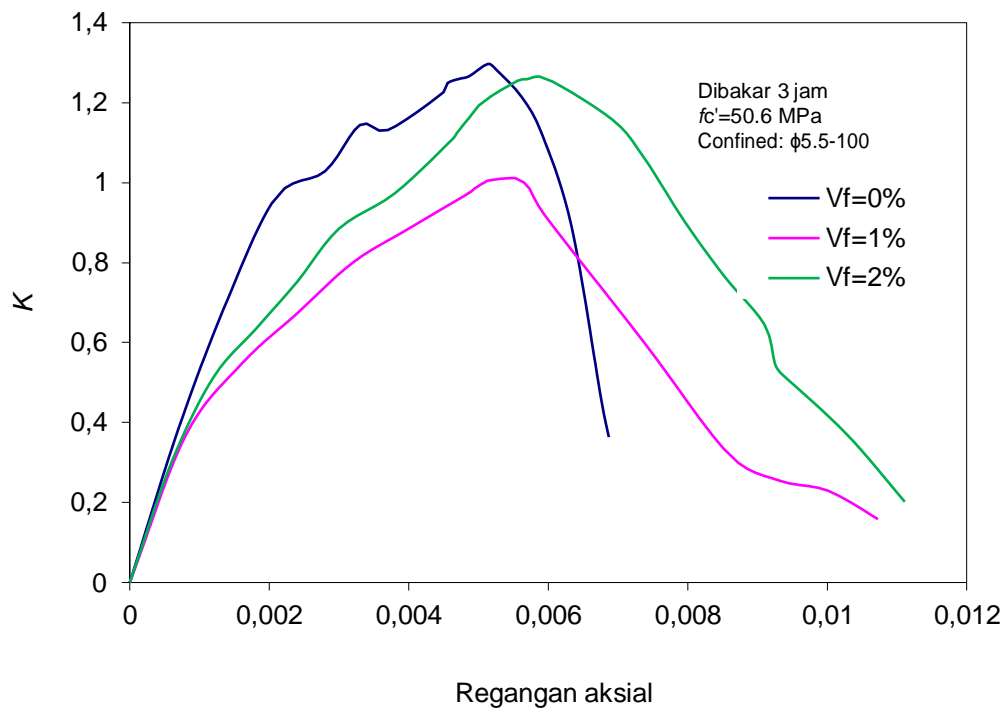


Gambar 5. 86 Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100

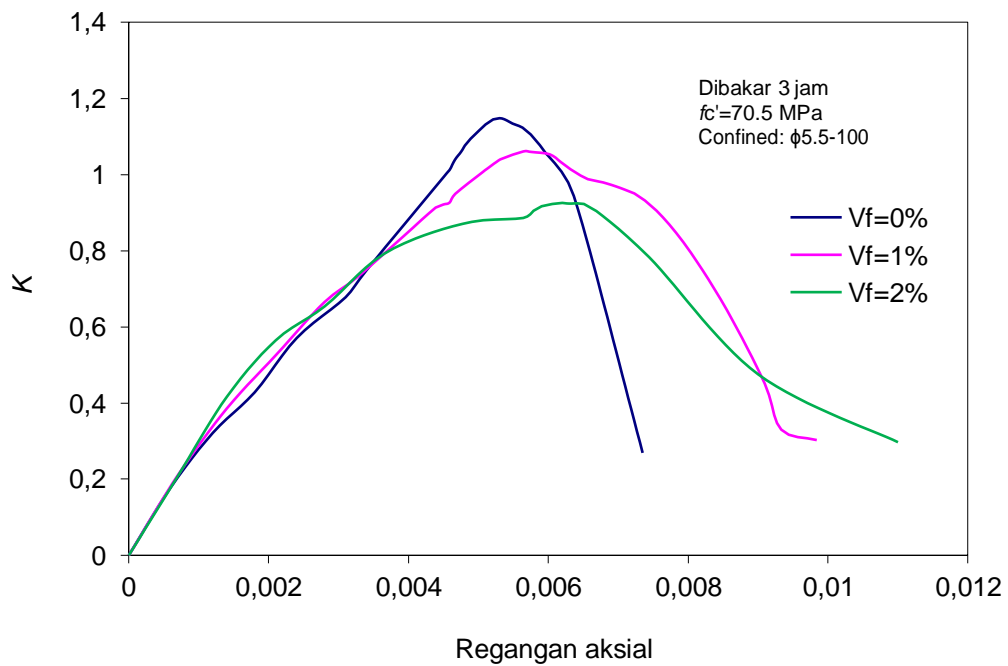
Gambar 5.84 5.85 dan 5.86 menggambarkan beton terkekang dengan spasi 100 mm yang dibakar 2 jam dimana beton mutu normal mengalami penurunan kekuatan sedangkan untuk mutu beton menengah dan tinggi mengalami peningkatan kekuatannya (K), meskipun naiknya nilai kekuatan beton tersebut tersebut tidak signifikan atau relatif kecil jika dibandingkan dengan beton tanpa serat. Untuk beton berserat mempunyai nilai regangan yang lebih besar dan mempunyai pola bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat lebih daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai pola bentuk yang lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa dengan ditambahkan fraksi serat sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan betonnnya dan regangannya dimana beton lebih bersifat daktail.



Gambar 5. 87 Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100

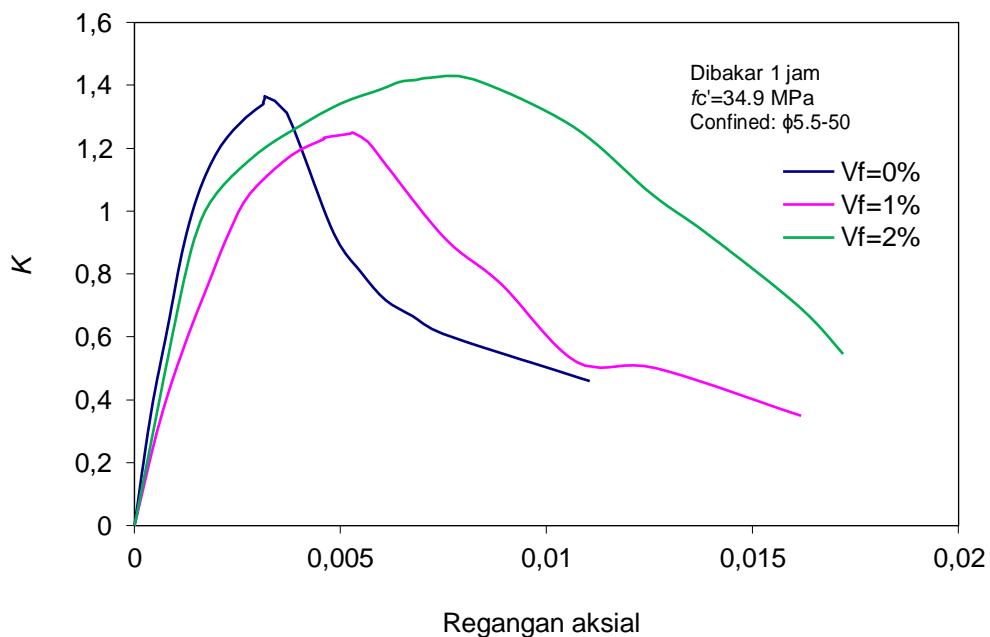


Gambar 5. 88 Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

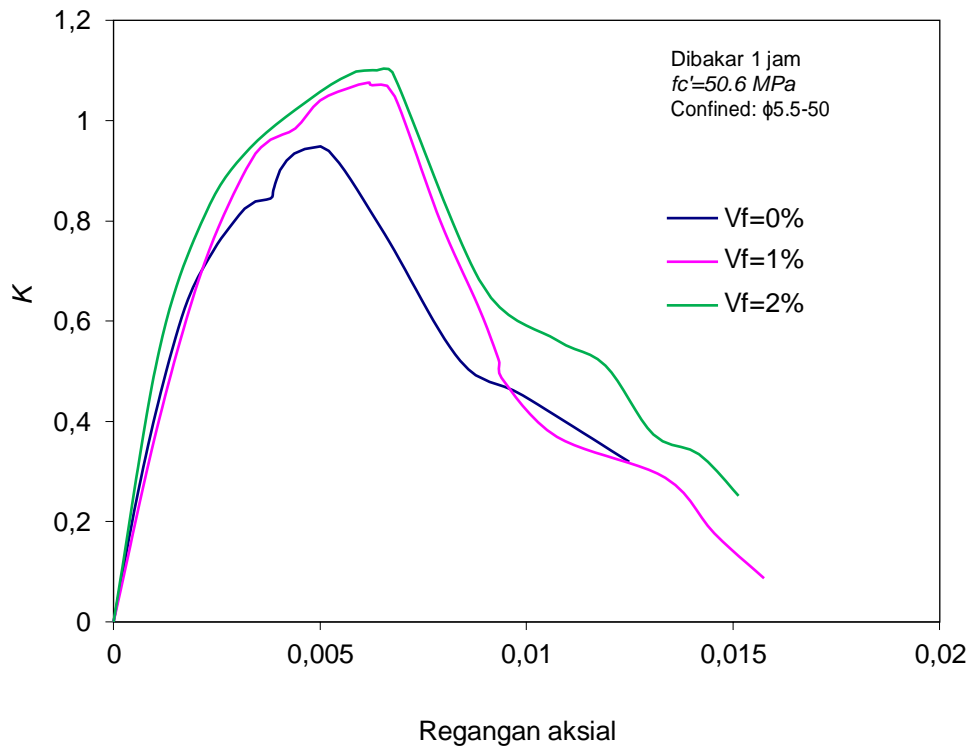


Gambar 5. 89. Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100

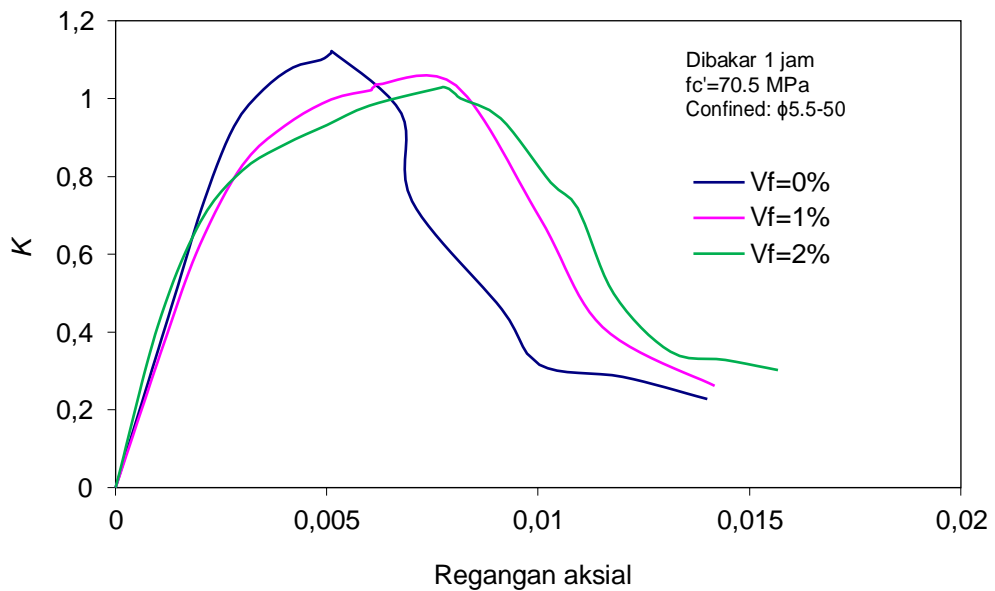
Gambar 5.87, 5.88 dan 5.89 menunjukkan untuk beton terkekang spasi 100 mm yang dibakar 3 jam dengan mutu beton normal volume fraksi 2% mengalami kenaikan kekuatan jika dibandingkan beton normal dengan volume fraksi 0% dan 1%, untuk mutu beton menengah dan tinggi mengalami penurunan kekuatan betonnya (K) baik untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2%. Sedangkan nilai regangan untuk semua mutu beton berserat mempunyai nilai yang lebih besar dan bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat lebih daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai pola bentuk yang lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Kenaikan nilai regangan seiring dengan bertambahnya volume fraksi. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa dengan ditambahkan fraksi serat sangat berpengaruh terhadap sifat beton yaitu beton akan lebih bersifat daktail.



Gambar 5. 90. Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam untuk Beton 34.9 MPa Spasi 50

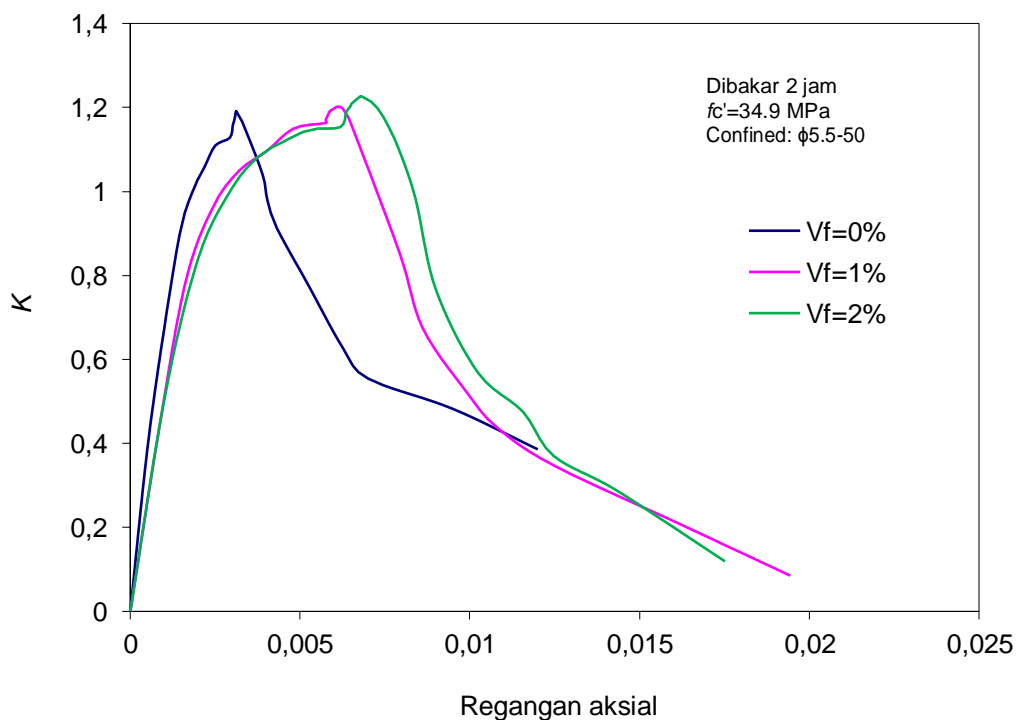


Gambar 5. 91. Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam untuk Beton 50.6 MPa Spasi 50

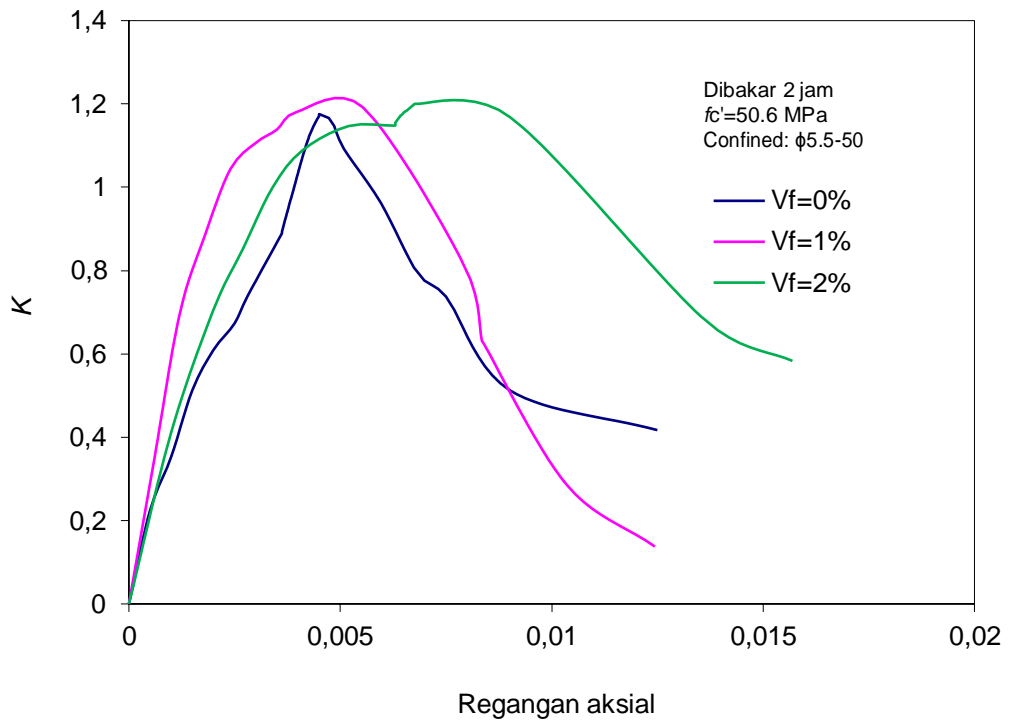


Gambar 5. 92. Pengaruh Serat Dibakar 1 Jam untuk Beton 70.5 MPa Spasi 50

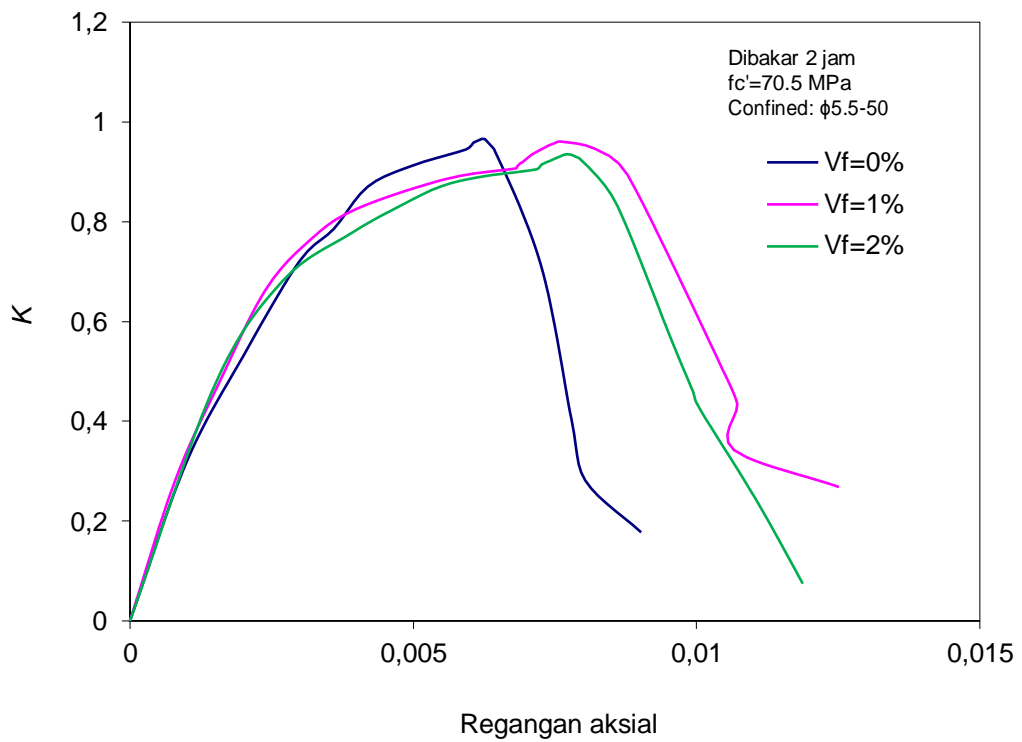
Gambar 5.90, 5.91 dan 5.92 menggambarkan beton terkekang dengan spasi 50 mm yang dibakar 1 jam untuk beton normal menunjukkan bahwa dengan volume fraksi 1% beton mengalami peningkatan kekuatannya (K) bila dibandingkan dengan beton tanpa serat, sedangkan dengan volume serat 2% beton mengalami kenaikan kekuatan relatif kecil. Untuk beton mutu menengah dengan volume fraksi 1% dan 2% mengalami kenaikan kekuatan betonnya, seiring dengan bertambahnya volume fraksi walaupun sedangkan yang beton dengan mutu tinggi dengan volume fraksi 1% dan 2% mengalami penurunan kekuatan betonnya. yang sama dan volume fraksi semakin bertambah, meskipun naiknya nilai kekuatan beton tersebut tersebut tidak signifikan atau relatif kecil. Nilai regangan untuk beton berserat lebih besar dan mempunyai bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai bentuk lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa volume fraksi sangat berperan dalam hal laju kekuatan betonnya dan beton lebih bersifat daktail.



Gambar 5. 93. Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Beton 34.9 MPa Spasi 50

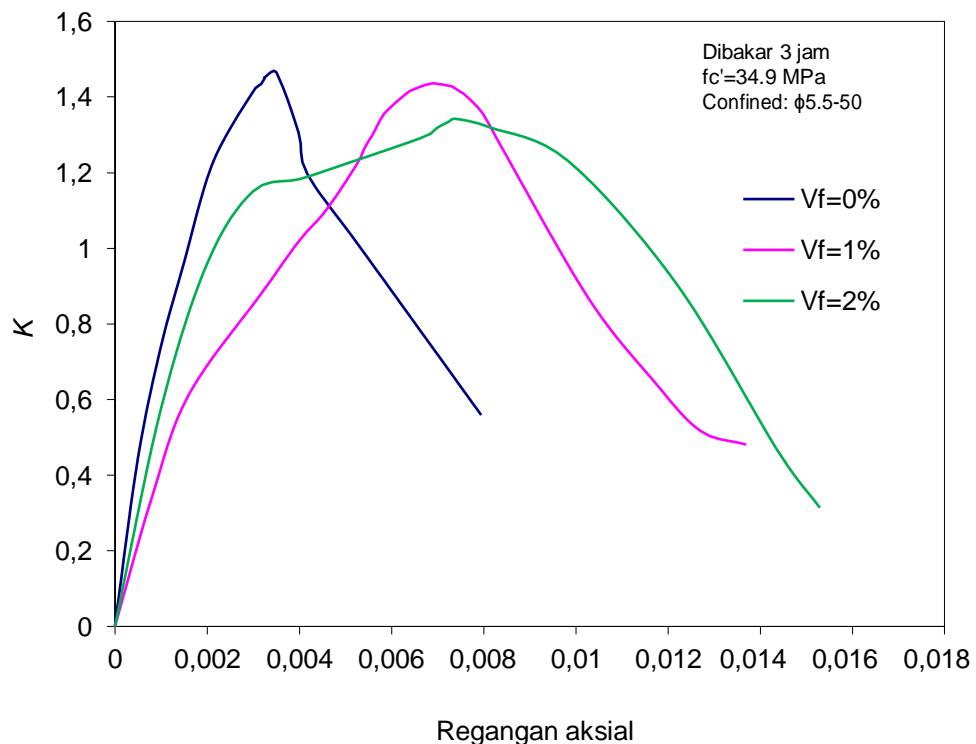


Gambar 5. 94 Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Beton 50.6 MPa Spasi 50

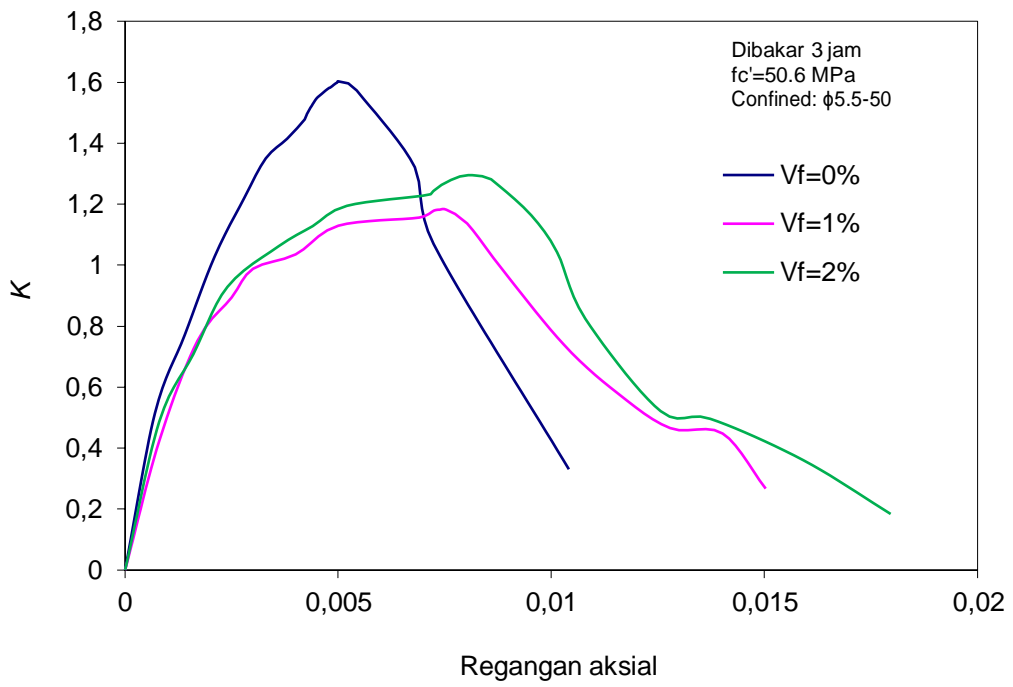


Gambar 5. 95 Pengaruh Serat Dibakar 2 Jam untuk Beton 70.5 MPa Spasi 50

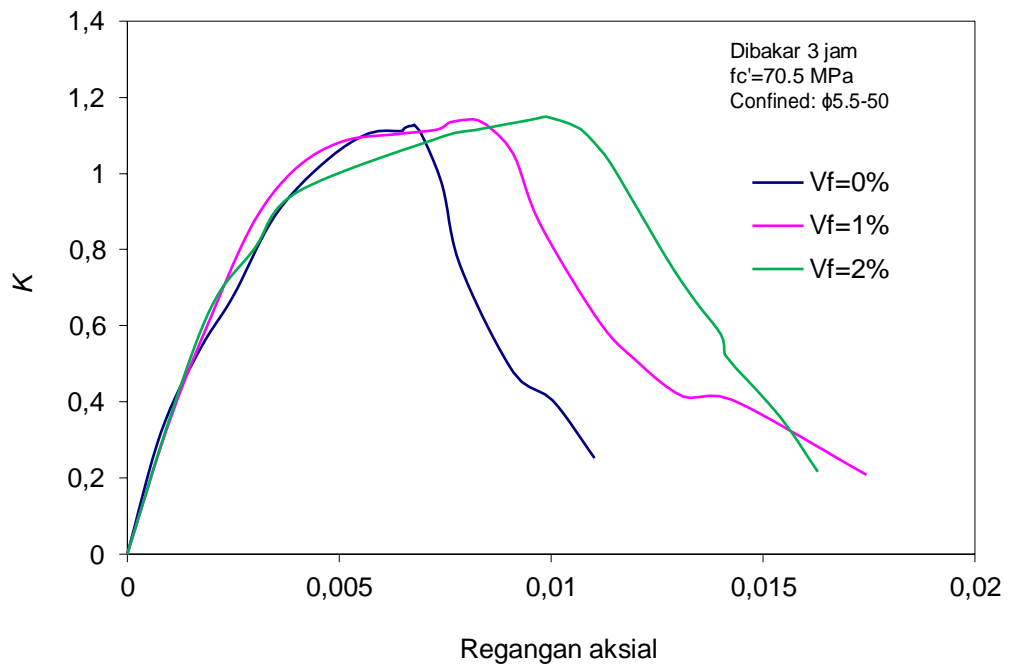
Gambar 5.93, 5.94 dan 5.95 menggambarkan beton terkekang dengan spasi 50 mm yang dibakar 2 jam untuk beton normal menunjukkan bahwa dengan volume fraksi 1% dan 2% beton mengalami peningkatan kekuatannya (K) bila dibandingkan dengan beton tanpa serat walaupun relatif kecil. Perilaku yang sama untuk beton mutu menengah dengan volume fraksi 1% dan 2 % juga mengalami kenaikan kekuatan betonnya, seiring dengan bertambahnya volume fraksi walaupun sedangkan yang beton dengan mutu tinggi dengan volume fraksi 1% dan 2 % mengalami penurunan kekuatan betonnya relatif kecil jika dibandingkan dengan beton volume serat 0%. Nilai regangan untuk beton berserat lebih besar dan mempunyai bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai bentuk lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa volume fraksi sangat berperan dalam hal lai kekuatan betonnya dan beton lebih bersifat daktail.



Gambar 5. 96 Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Beton 34.9 MPa Spasi 50



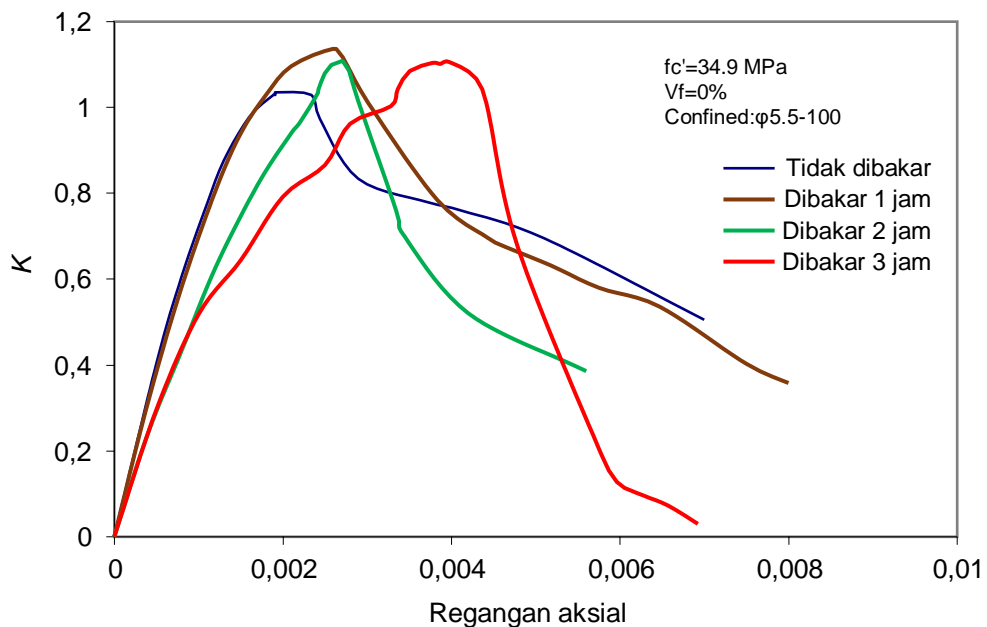
Gambar 5. 97 Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Beton 50.6 MPa Spasi 50



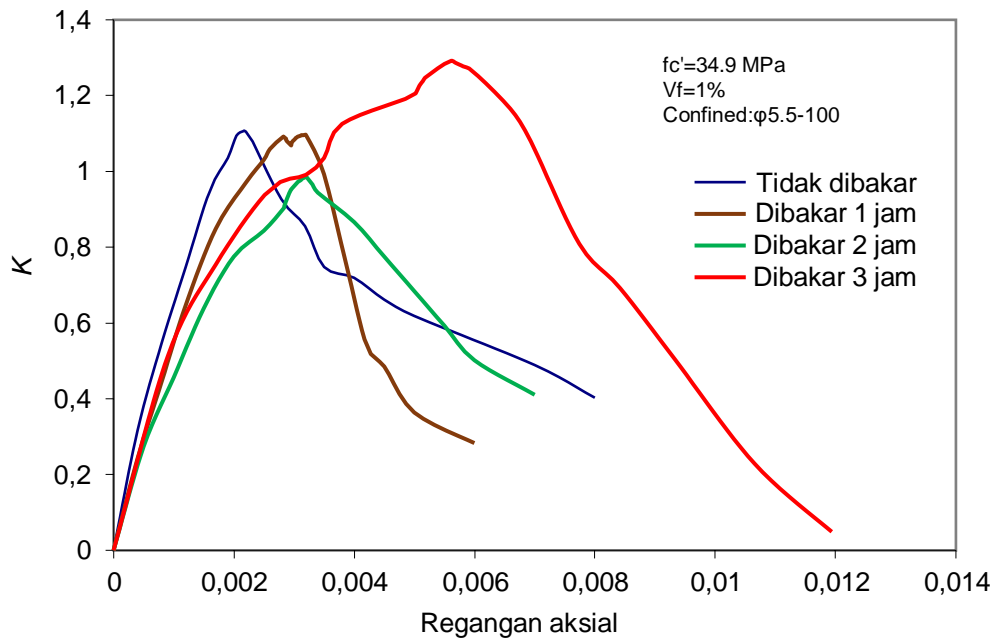
Gambar 5. 98 Pengaruh Serat Dibakar 3 Jam untuk Beton 70.5 MPa Spasi 50

Gambar 5.96, 5.97 dan 5.98 Gambar 5.96, 5.97 dan 5.98 menggambarkan beton terkekang dengan spasi 50 mm yang dibakar 3 jam untuk beton normal menunjukkan bahwa dengan volume fraksi 1% dan 2% beton mengalami peningkatan kekuatannya (K) bila dibandingkan dengan beton tanpa serat walaupun relatif kecil. Perilaku yang sama untuk beton mutu menengah dengan volume fraksi 1% dan 2% juga mengalami penurunan kekuatan betonnya secara signifikan, sedangkan untuk beton dengan mutu tinggi dengan volume fraksi 1% dan 2% mengalami kenaikan kekuatan betonnya walaupun relatif kecil jika dibandingkan dengan beton volume serat 0%. Nilai regangan untuk beton berserat lebih besar dan mempunyai bentuk grafik yang lebih landai bila dibanding dengan beton tanpa serat, ini menunjukkan beton mempunyai sifat daktail sedangkan untuk beton tanpa serat mempunyai bentuk lebih curam setelah tegangan puncak, ini menunjukkan beton lebih bersifat getas. Hal tersebut mengindikasikan bahwa volume fraksi sangat berperan dalam hal laju kekuatan betonnya dan beton lebih bersifat daktail.

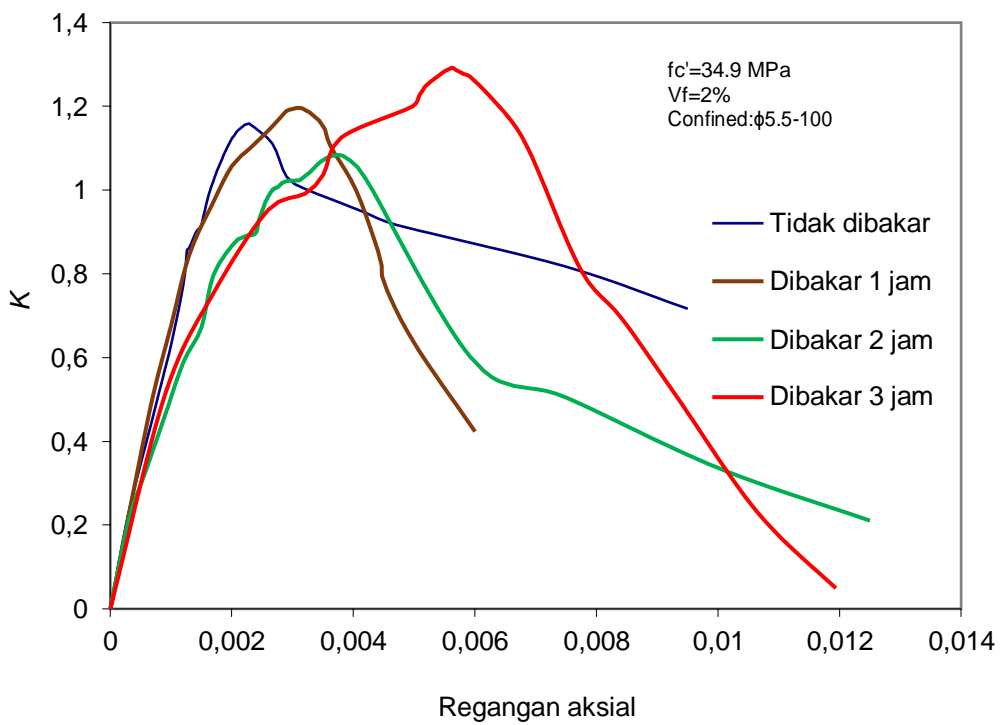
5.4.3 Pengaruh pembakaran untuk Kekangan Ø5.5-100



Gambar 5. 99 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100

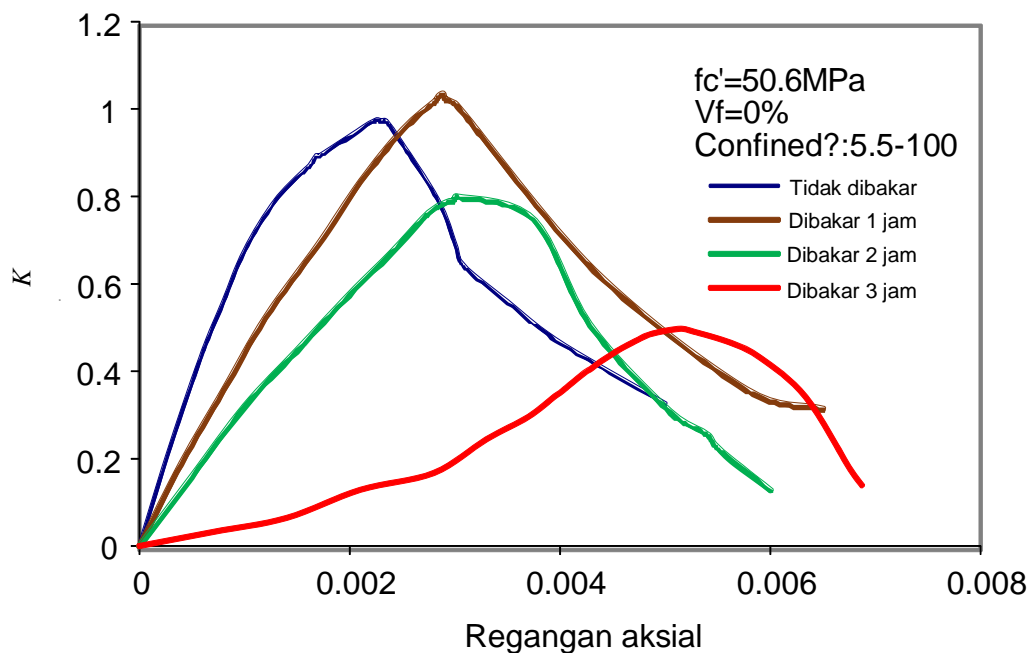


Gambar 5. 100 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100

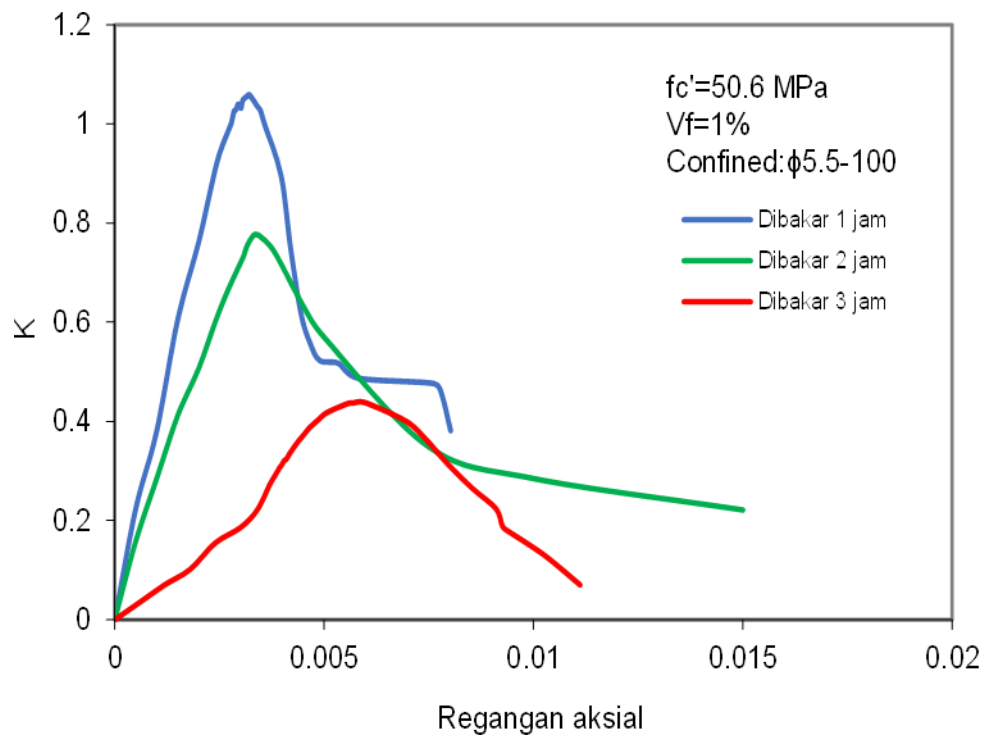


Gambar 5. 101 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 2% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100

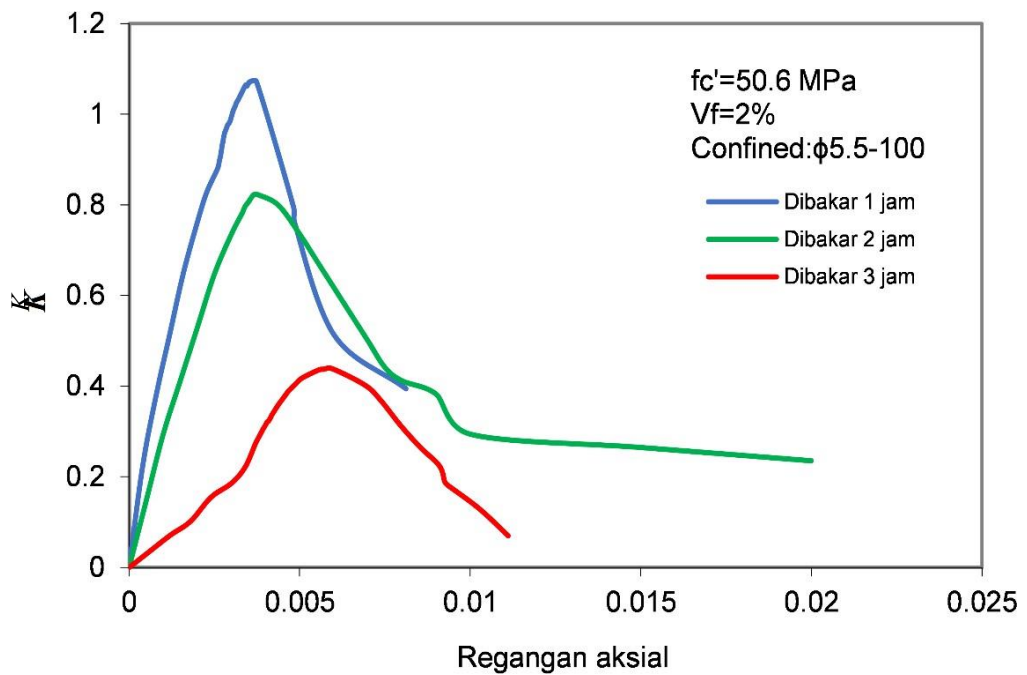
Gambar 5.99, 5.100 dan 5.101 memperlihatkan beton normal terkekang spasi 100 mm dengan volume fraksi 0% dan dibakar mengalami kenaikan kekuatan betonnya (K) walaupun relatif kecil, sedangkan untuk volume 1%, peningkatan kekuatan beton sangat signifikan terjadi pada saat 3 jam, sedangkan dibakar 1 jam dan 2 jam justru mengalami penurunan kekuatan dibanding dengan yang tidak dibakar walaupun relatif kecil, sedangkan untuk volume fraksi 2% yang dibakar 3 jam juga mengalami kenaikan termasuk yang dibakar 2 jam walaupun relatif kecil sedangkan yang dibakar 2 jam mengalami penurunan kekuatan jika dibandingkan dengan tanpa serat. Sedangkan nilai regangan, untuk volume fraksi 0% baik yang dibakar maupun yang tidak dibakar mempunyai nilai regangan yang tinggi. Untuk nilai regangan, dengan volume fraksi 1% dan dibakar 3 jam mempunyai nilai regangan lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang tidak dibakar maupun dibakar 1 jam dan 2 jam. Sedangkan dengan serat 2 % nilai regangan meningkat ketika dibakar selama 2 jam dan 3 jam dari pada beton yang tidak dibakar maupun yang dibakar 1 jam



Gambar 5. 102 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

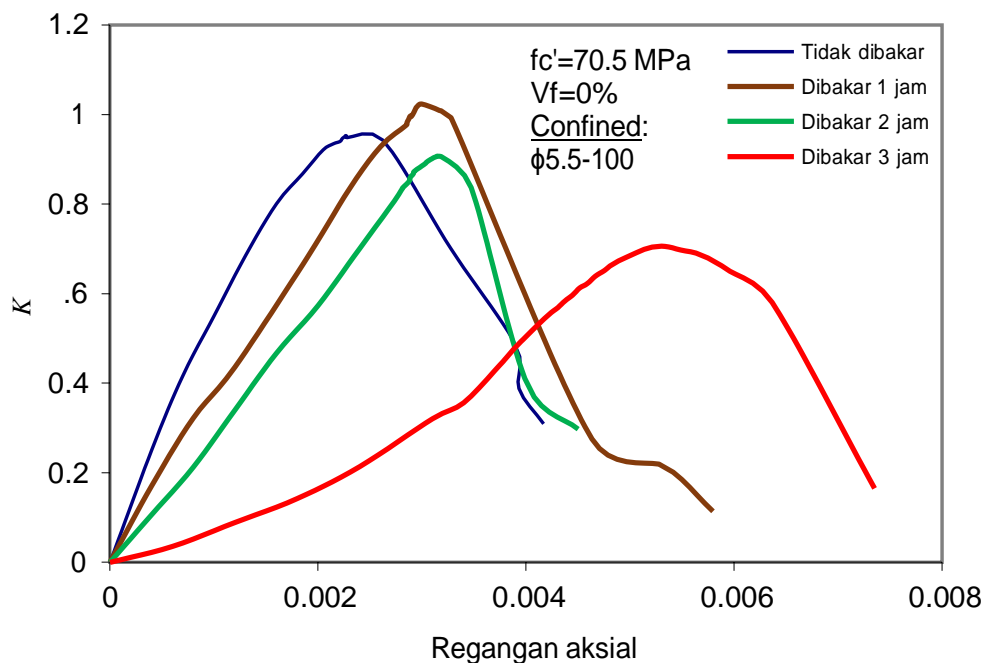


Gambar 5. 103 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

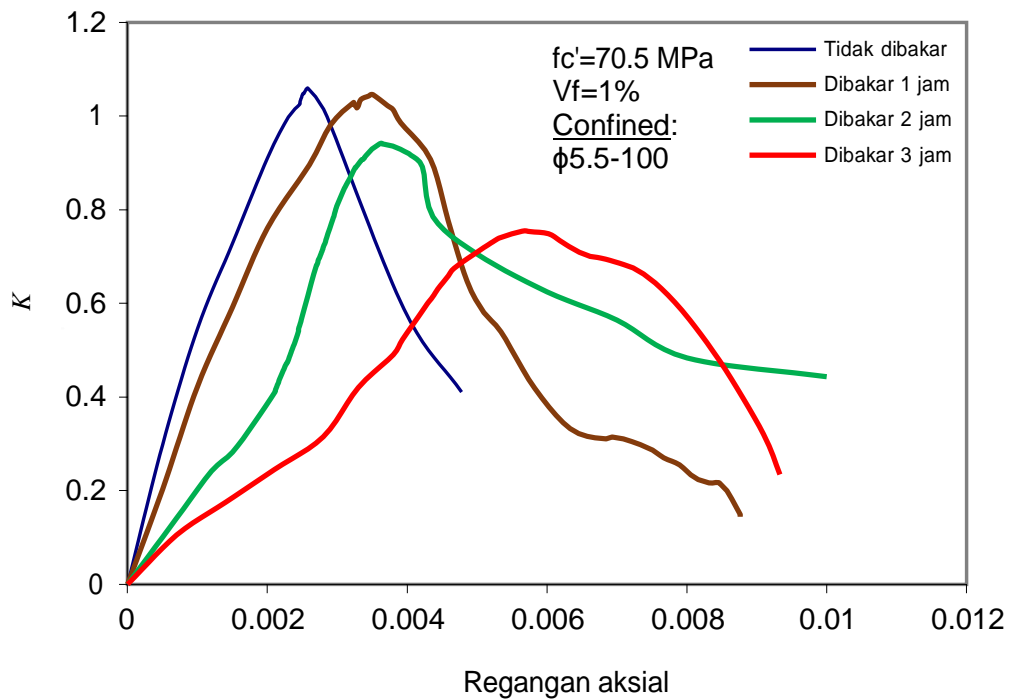


Gambar 5. 104 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 2% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100

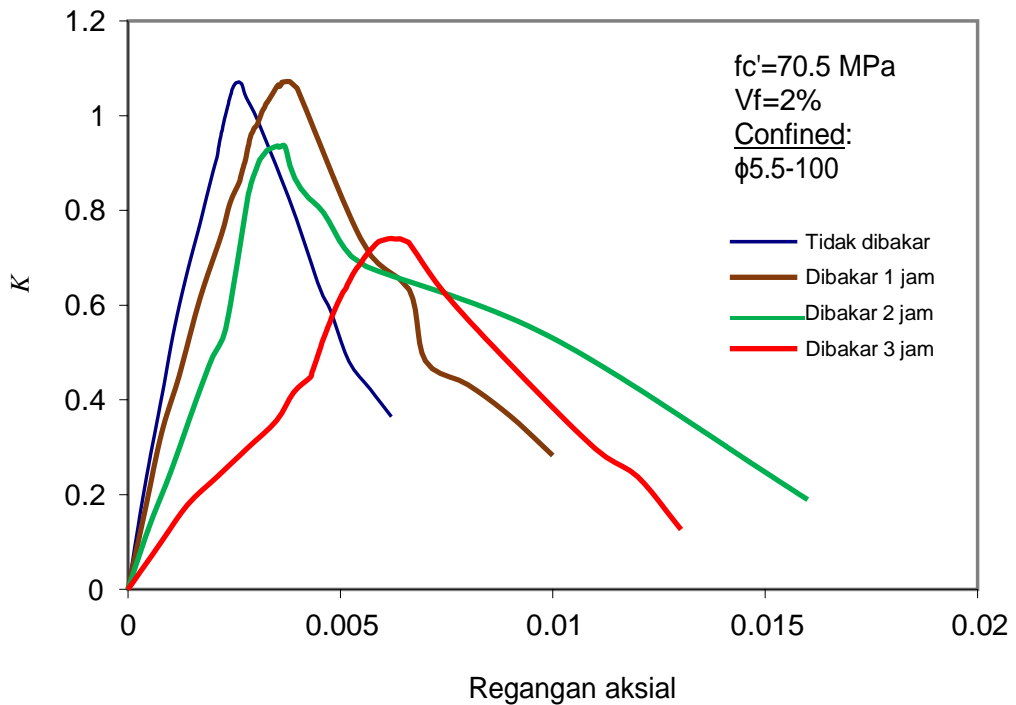
Gambar 5.102, 5.103 dan 5.104 memperlihatkan beton mutu menengah terkekang spasi 100 mm dengan volume fraksi 0% dan dibakar 1 jam mengalami kenaikan kekuatan betonnya (K) walaupun relatif kecil, sedangkan yang dibakar 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan sangat drastis seiring dengan bertambahnya lama pembakaran. Perilaku yang sama terjadi pada mutu beton menengah dengan volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% dimana beton mengalami penurunan kekuatan pasca bakar. Sedangkan nilai regangan, untuk volume fraksi 0% pasca bakar mempunyai nilai regangan yang relatif masih tinggi. Untuk nilai regangan, dengan volume fraksi 1%, dan 2% nilai regangan lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang tidak dibakar. Volume fraksi 0% dari grafik nampak spesimen yang tidak dibakar dan pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam menunjukkan penurunan yang landai setelah pasca puncak, ini menunjukkan beton masih bersifat daktail, sedangkan untuk volume fraksi 1% dan 2% setelah pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam juga masih menunjukkan penurunan yang landai, nilai regangan terbesar pada saat spesimen dibakar 2 jam.



Gambar 5. 105 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100



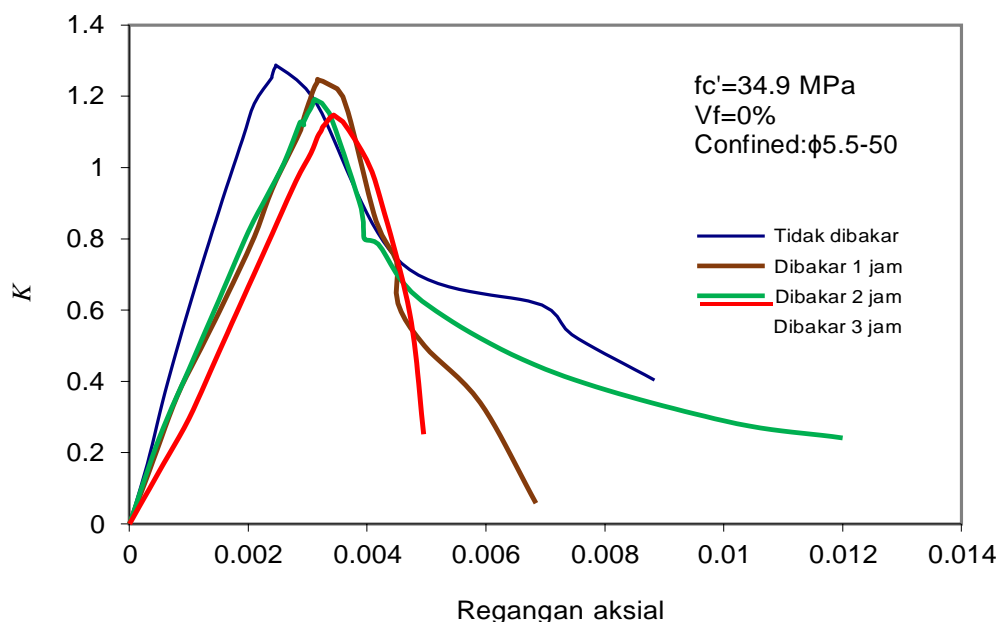
Gambar 5.106 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100



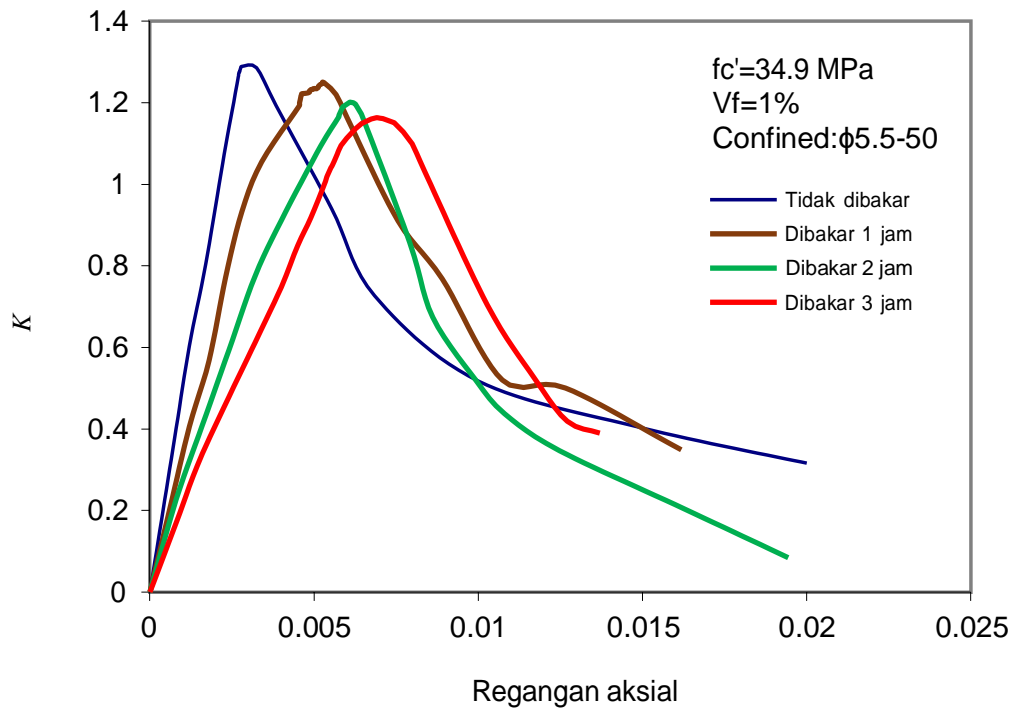
Gambar 5. 107 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 2% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100

Gambar 5.105, 5.106 dan 5.107 memperlihatkan beton terkekang dengan mutu beton 70.5 MPa spasi 100 mm. Dengan volume fraksi 0% menunjukkan adanya kenaikan kekautn beton pada saat spesimen dibakar 1 jam, sedangkan pada saat dibakar 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan beton. Pada volume fraksi 2% setelah pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam kekuatan beton mengalami penurunan. Perilaku yang sama juga terjadi pada volume fraksi 2% dimana setelah pasca bakar bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam spesimen mengalami penurunan kekuatan beton, penurunan terbesar terjadi pada saat beton dibakar sampai 3 jam. Sedangkan untuk nilai regangan pasca bakar bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dibakar. Dari grafik tersebut diatas menunjukkan adanya kenaikan nilai regangan, ini menggambarkan perilaku beton berserat walaupun sudah mengalami penurunan kekuatannya tetapi masih mempunyai sifat daktilitas meskipun dibakar sampai 3 jam.

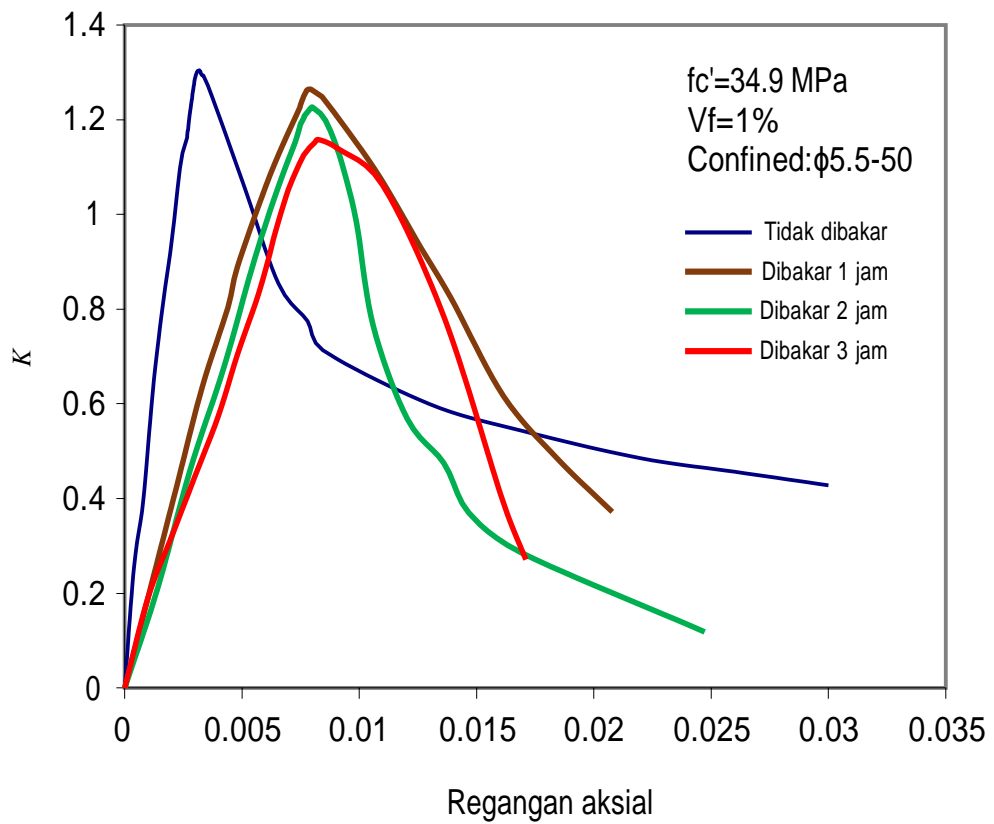
5.4.4 Pengaruh pembakaran untuk Kekangan Ø5.5-50



Gambar 5. 108 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50

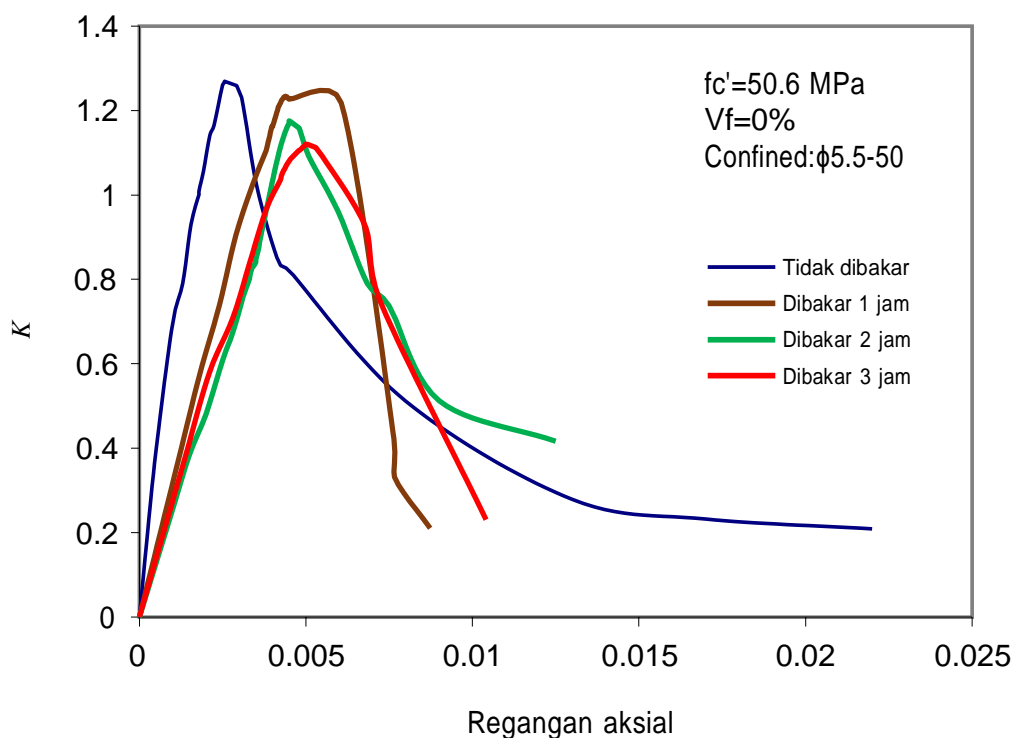


Gambar 5. 109 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50

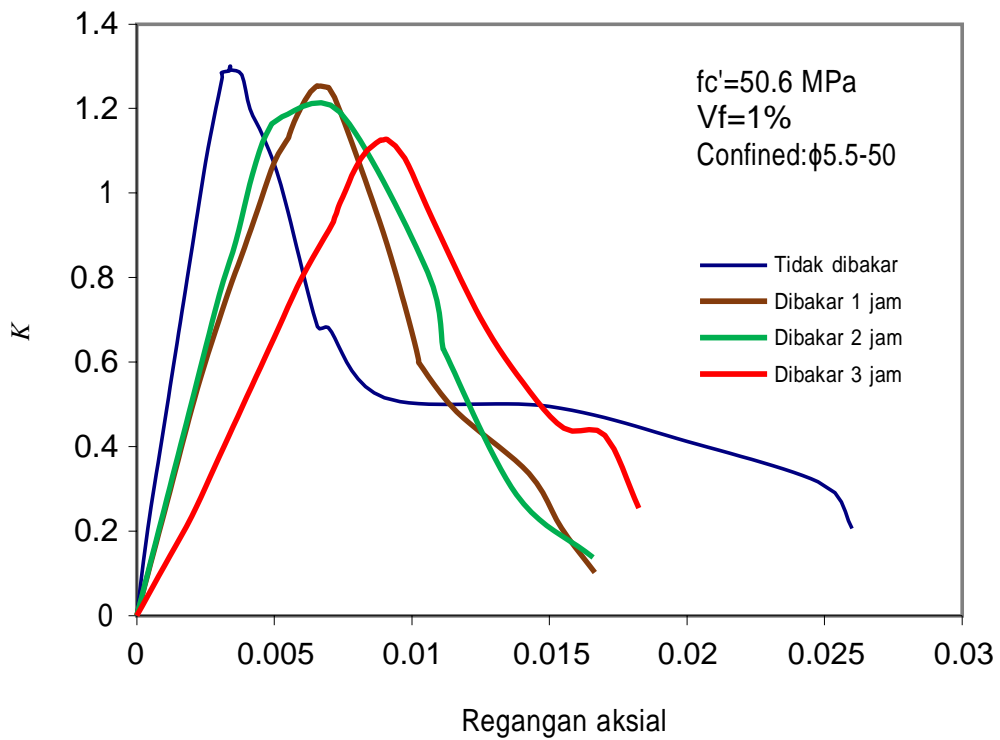


Gambar 5. 110 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 2% untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50

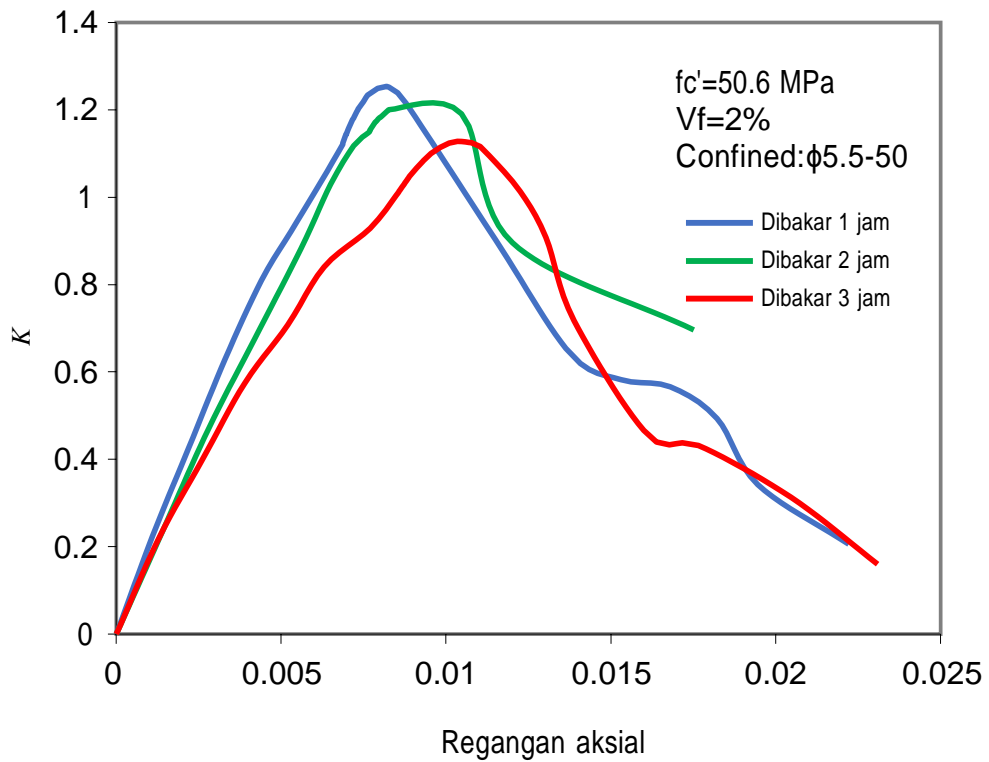
Gambar 5.108, 5.109 dan 5.110 memperlihatkan beton normal terkekang spasi 50 mm dengan volume fraksi 0% nampak setelah spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya (K) walaupun relatif kecil, seiring dengan semakin lama proses pembakarannya. Perilaku yang sama terjadi pada volume fraksi 1%, dimana spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran, begitu juga untuk spesimen dengan volume fraksi 2% setelah pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan dibanding dengan yang tidak dibakar walaupun relatif kecil. Sedangkan nilai regangan saat puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% mempunyai nilai regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dibakar. Dari grafik tersebut diatas nampak walupun spesimen pasca bakar mengalami penurunan kekuatan betonnya tetapi masih mempunyai nilai regangan yang lebih besar, ini menunjukkan beton masih bersifat daktail.



Gambar 5. 111 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 50

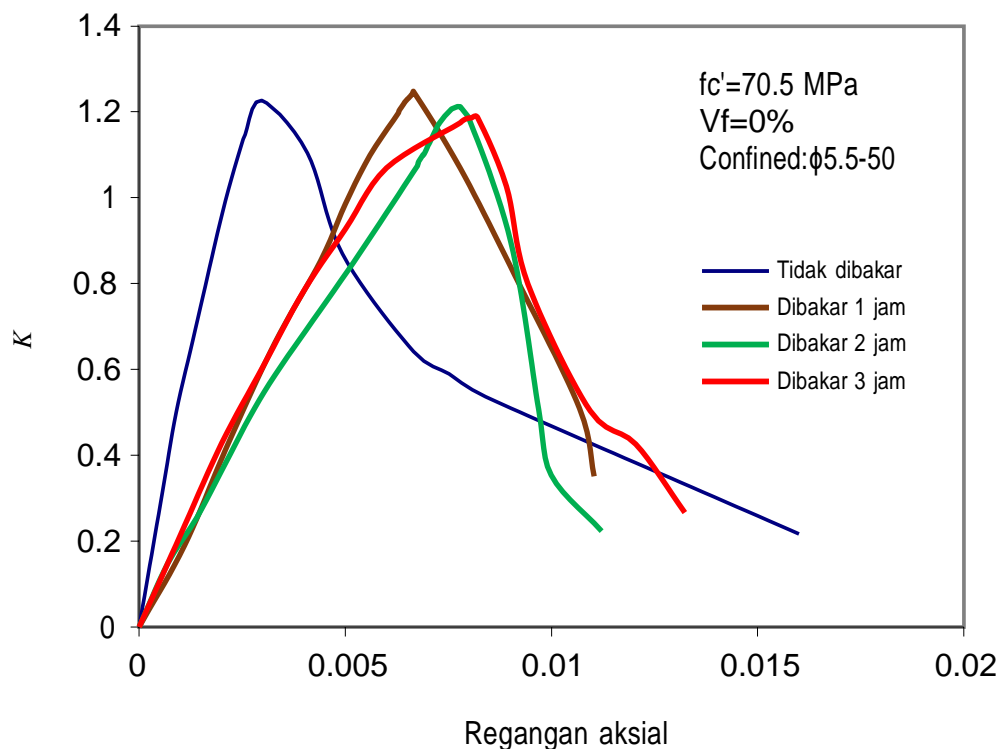


Gambar 5. 112. Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 50

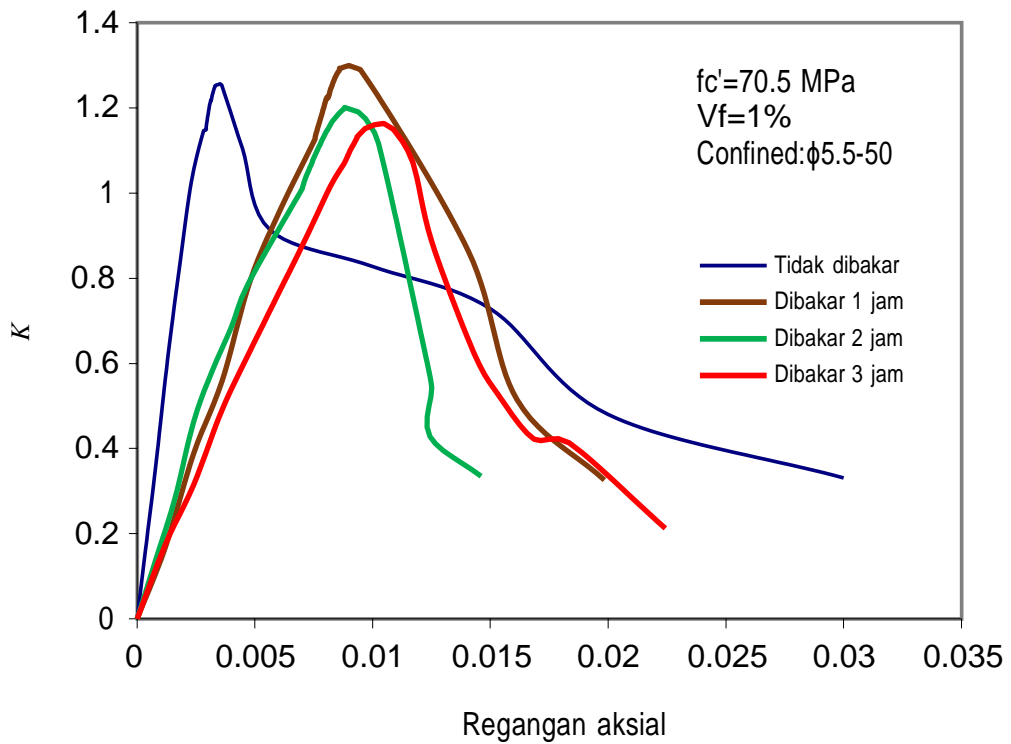


Gambar 5. 113 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 50

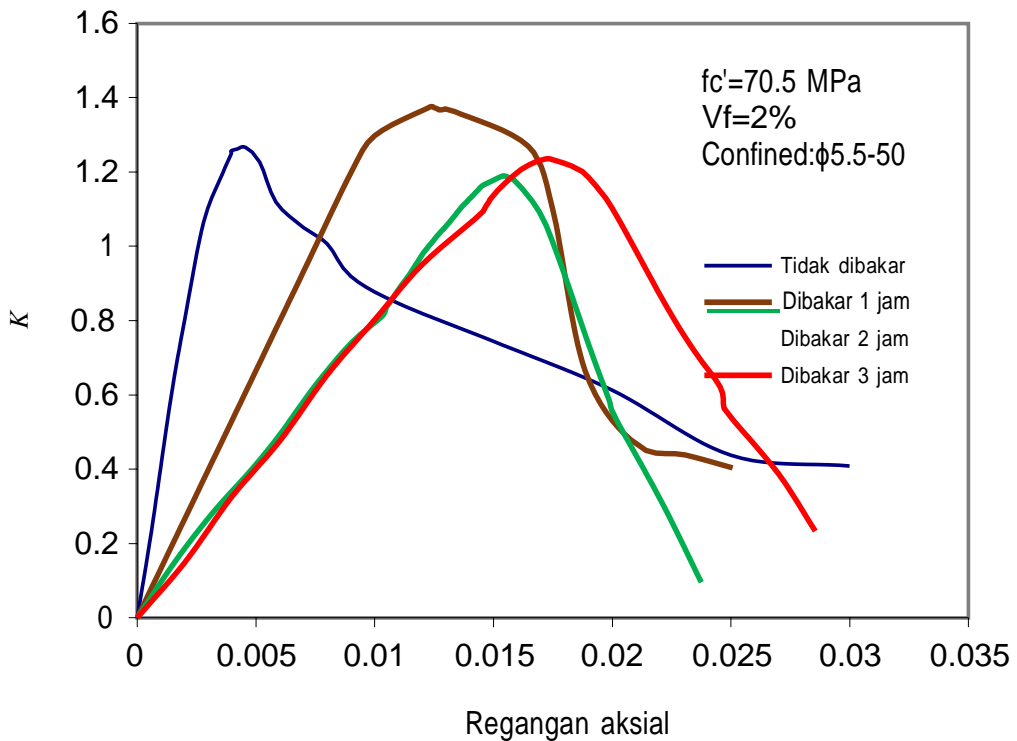
Gambar 5.111, 5.112 dan 5.113 memperlihatkan beton mutu menengah terkekang spasi 50 mm dengan volume fraksi 0% nampak setelah spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya (K) walaupun relatif kecil, seiring dengan semakin lama proses pembakarannya. Perilaku yang sama terjadi pada volume fraksi 1%, dimana spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran, begitu juga untuk spesimen dengan volume fraksi 2% setelah pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan dibanding dengan yang tidak dibakar walaupun relatif kecil. Sedangkan nilai regangan saat puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% mempunyai nilai regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dibakar. Dari grafik tersebut diatas nampak walupun spesimen pasca bakar mengalami penurunan kekuatan betonnya tetapi masih mempunyai nilai regangan yang lebih besar, ini menunjukkan beton masih bersifat daktail.



Gambar 5. 114. Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 0% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50



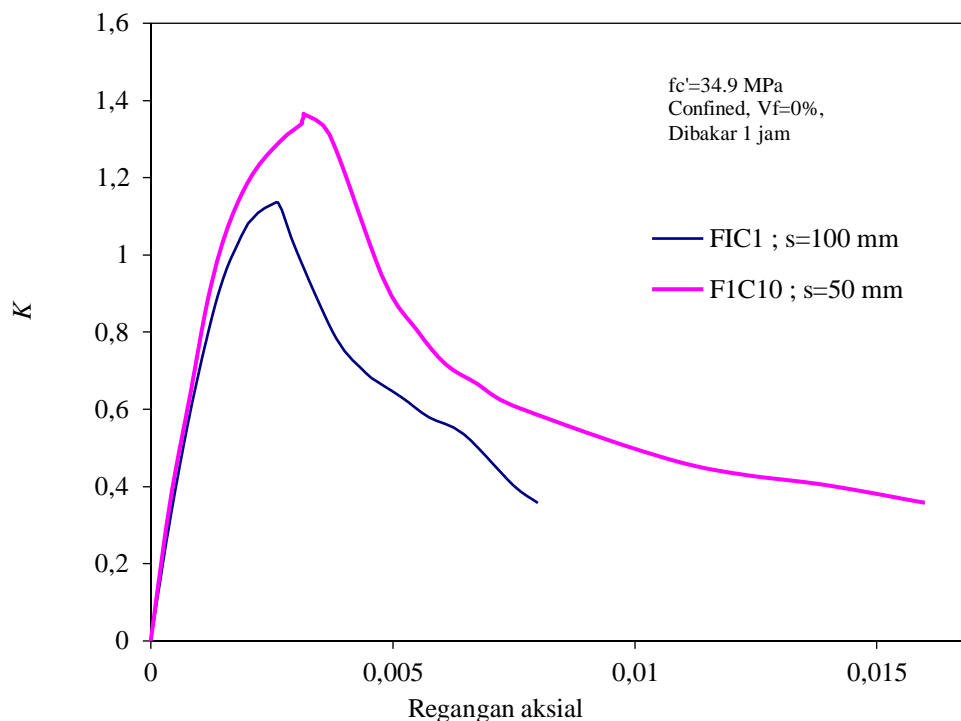
Gambar 5. 115 Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 1% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50



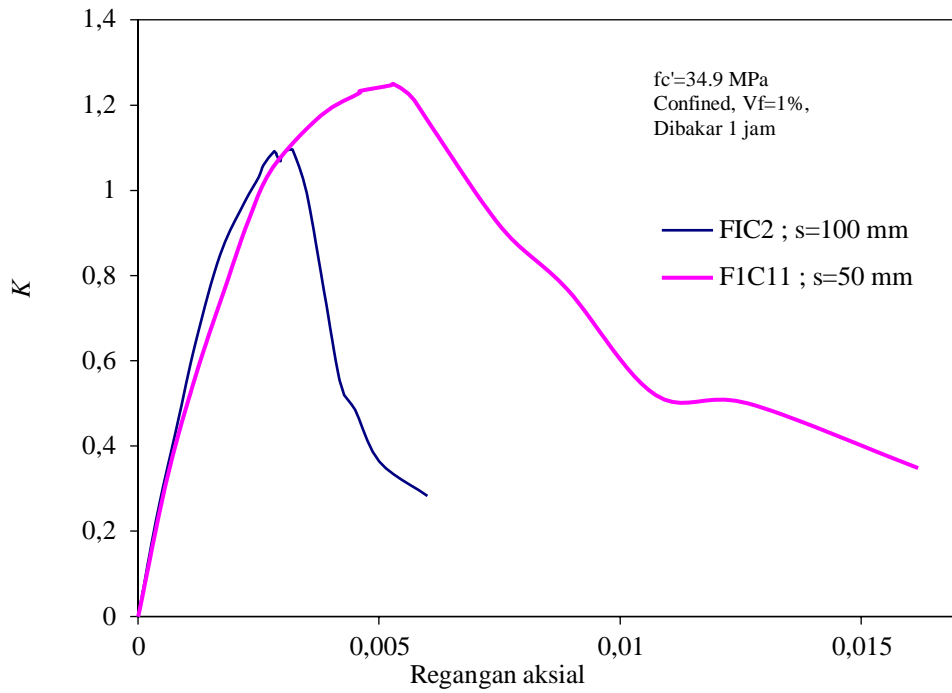
Gambar 5. 116. Pengaruh Lama Pembakaran Terhadap Vf 2% untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50

Gambar 5.114, 5.115 dan 5.116 memperlihatkan beton mutu tinggi terkekang spasi 50 mm dengan volume fraksi 0% nampak setelah spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya (K) walaupun relatif kecil, seiring dengan semakin lama proses pembakarannya. Perilaku yang sama terjadi pada volume fraksi 1%, dimana spesimen pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan betonnya seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran, begitu juga untuk spesimen dengan volume fraksi 2% setelah pasca bakar 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengalami penurunan kekuatan dibanding dengan yang tidak dibakar walaupun relatif kecil. Sedangkan nilai regangan saat puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% mempunyai nilai regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dibakar. Dari grafik tersebut diatas nampak walupun spesimen pasca bakar mengalami penurunan kekuatan betonnya tetapi masih mempunyai nilai regangan yang lebih besar, ini menunjukkan beton masih bersifat duktail.

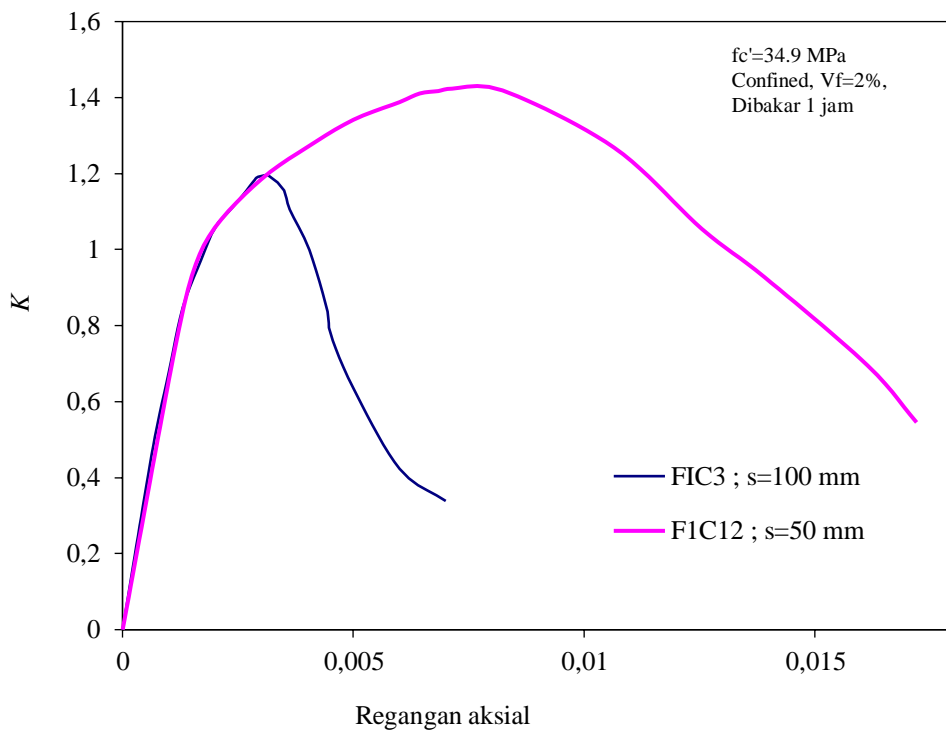
5.4.5 Efek Pengaruh Spasi Tulangan Pengekang (*Hoop*)



Gambar 5. 117 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 1 jam

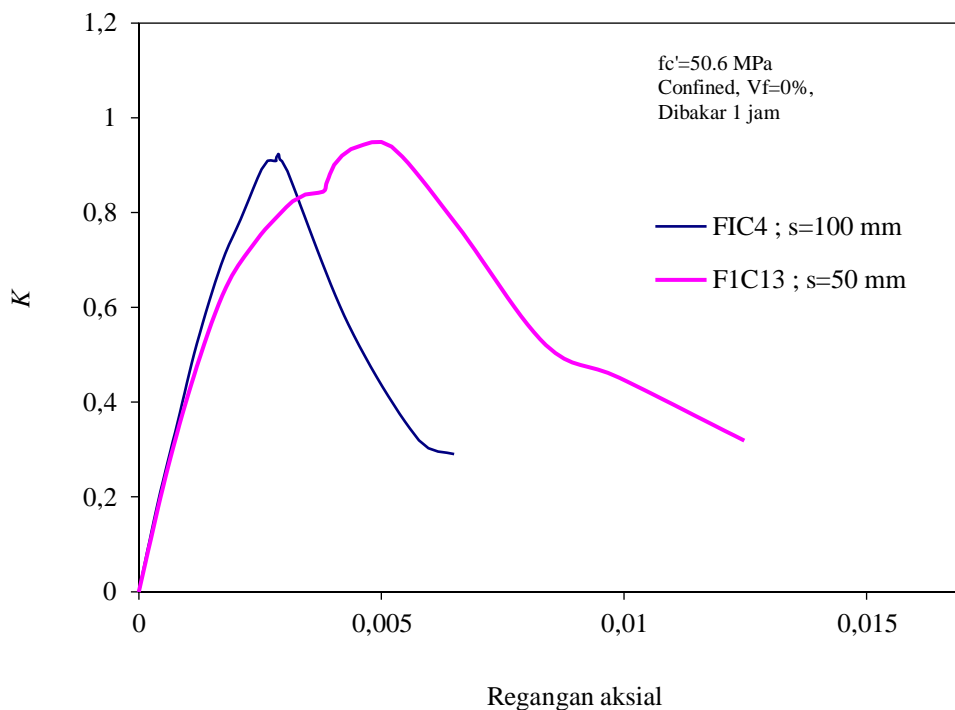


Gambar 5. 118 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 1% dan Dibakar 1 jam

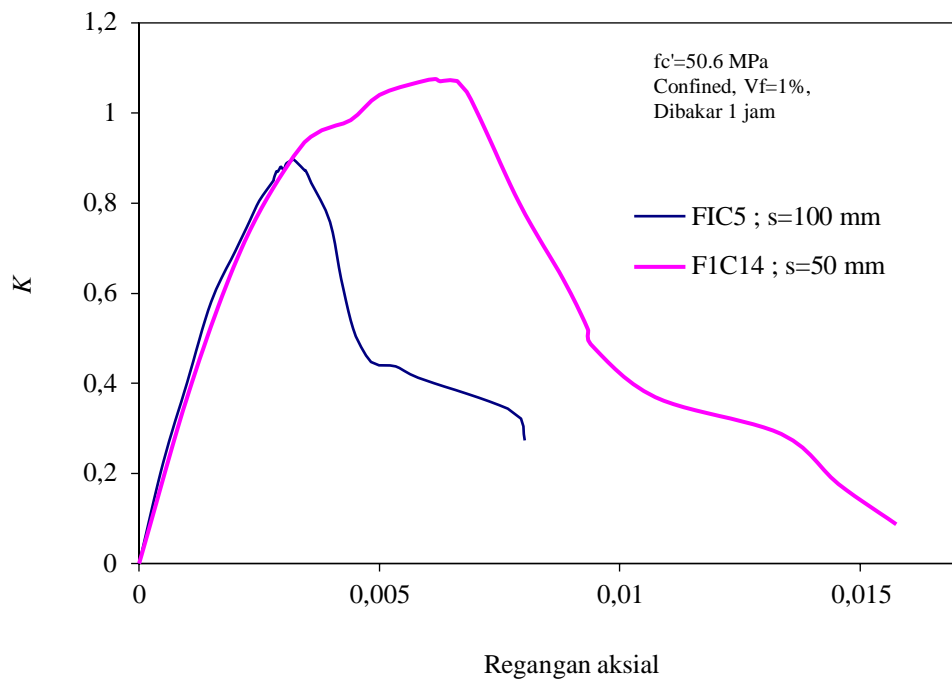


Gambar 5. 119. Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 1 jam

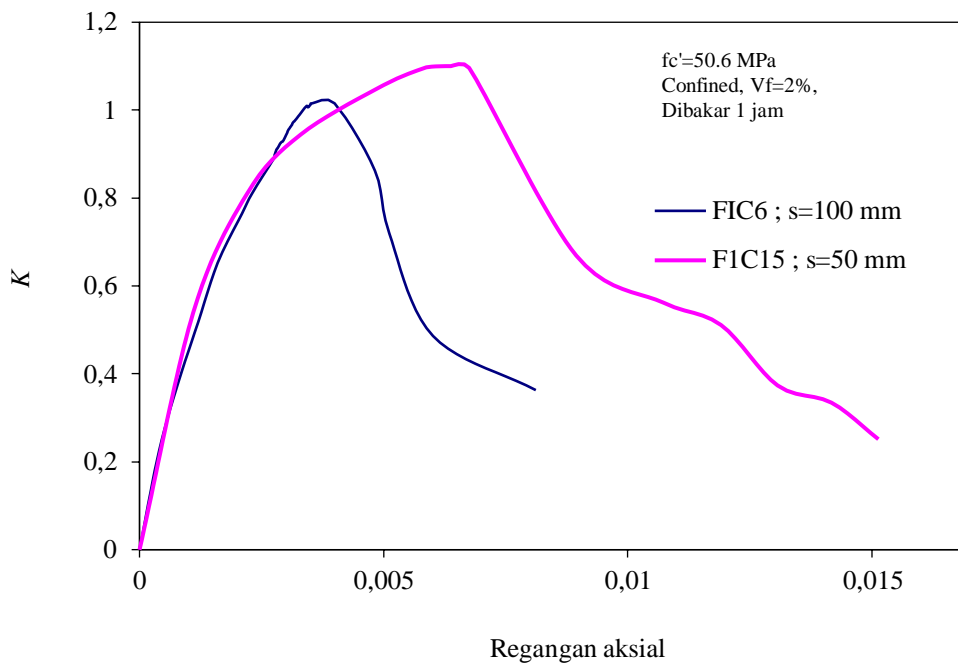
Gambar 5.117 s/d Gambar 5.119 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu normal pasca bakar 1 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 120. Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 1 jam

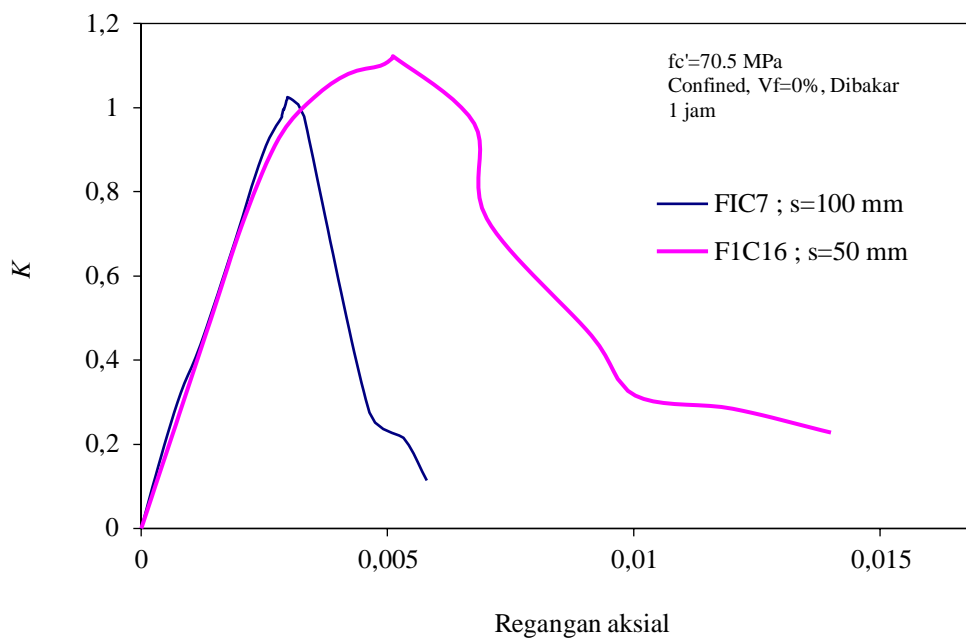


Gambar 5. 121. Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan Dibakar 1 jam

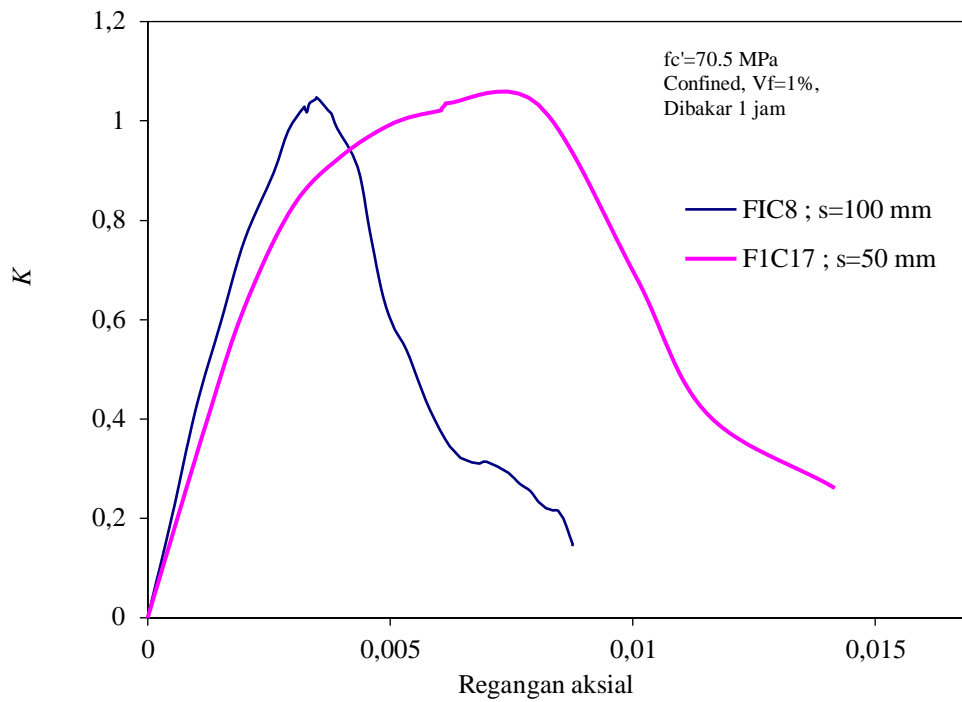


Gambar 5. 122 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan Dibakar 1 jam

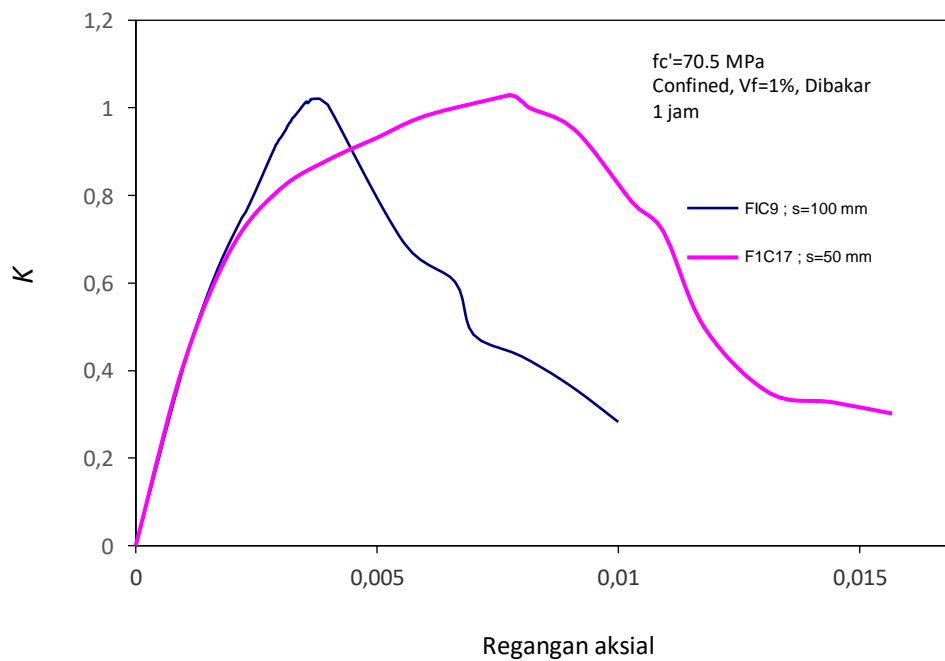
Gambar 5.120 s/d Gambar 5.122 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu menengah pasca bakar 1 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 123 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 1 jam

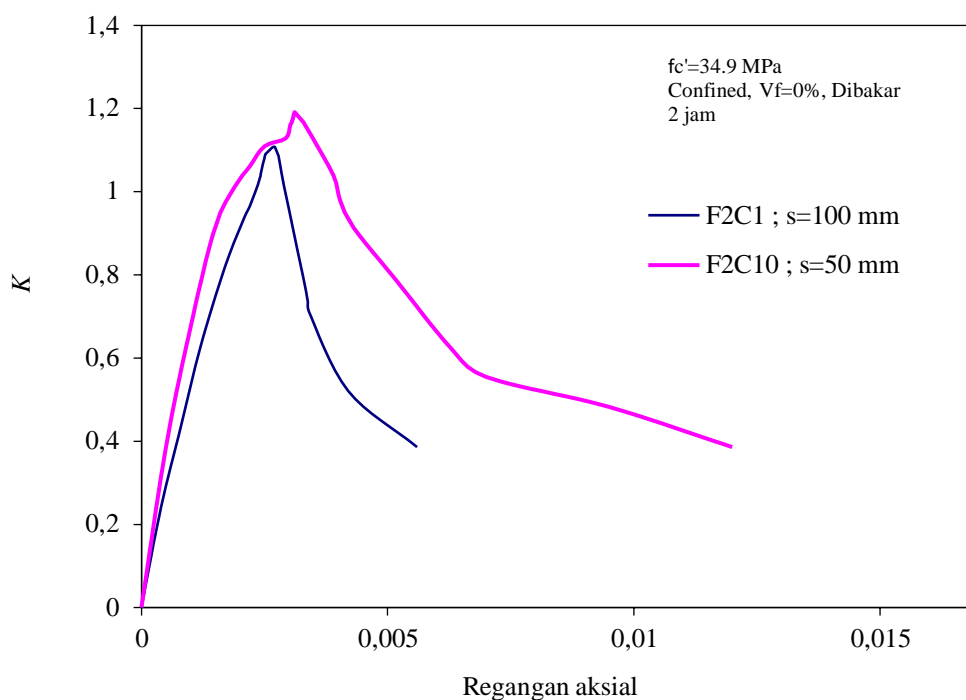


Gambar 5. 124 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 1 jam

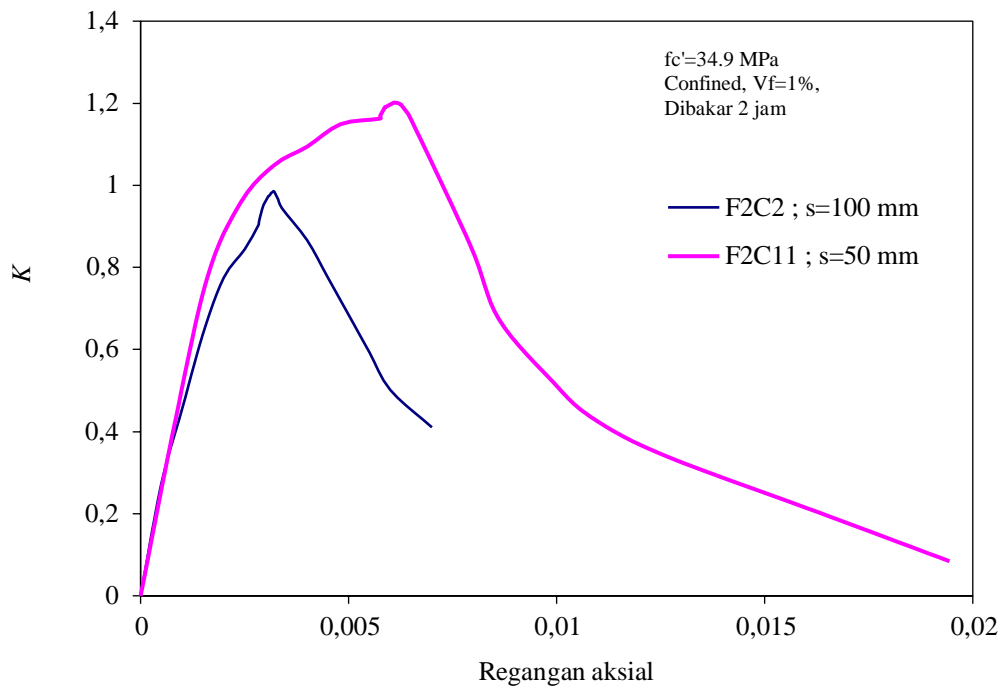


Gambar 5. 125 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 1 jam

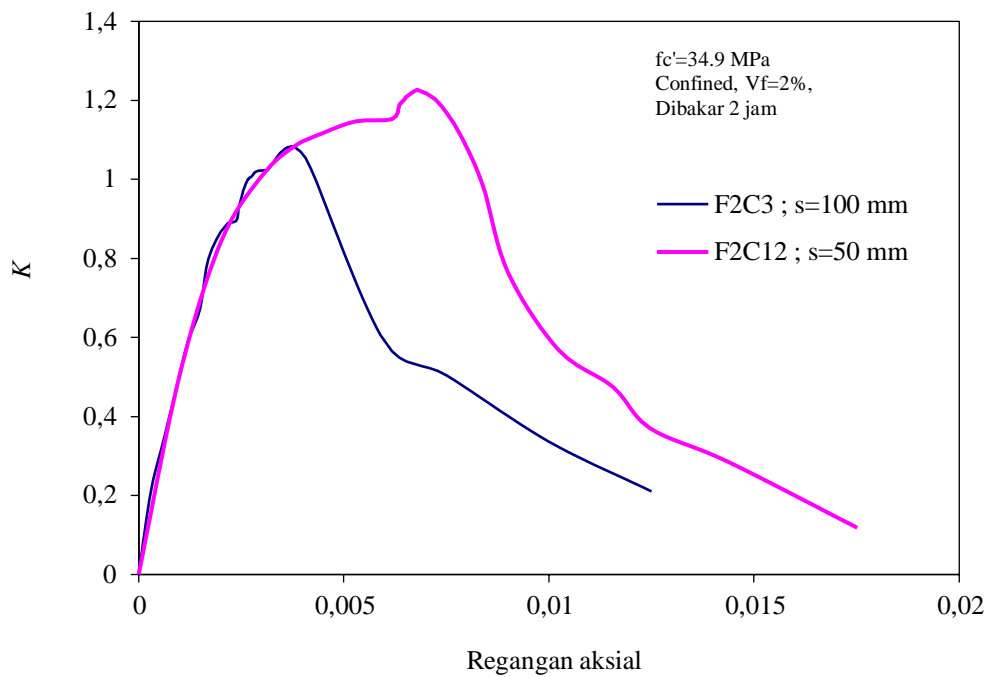
Gambar 5.123 s/d Gambar 5.125 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu tinggi pasca bakar 1 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton walaupun relatif kecil jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 126 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 2 jam

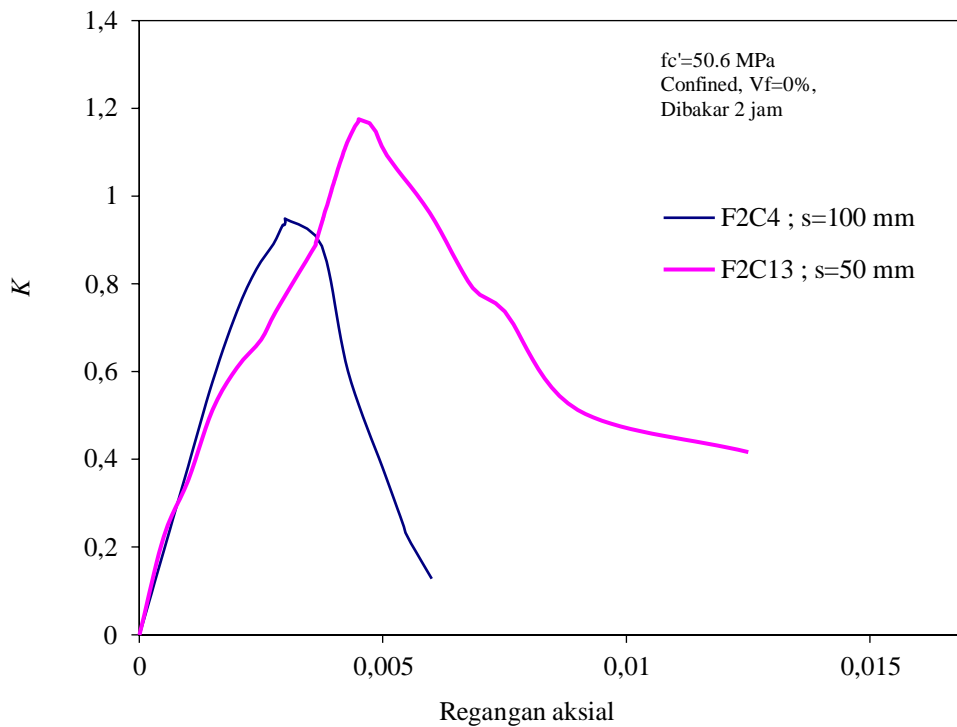


Gambar 5. 127. Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 1% dan Dibakar 2 jam

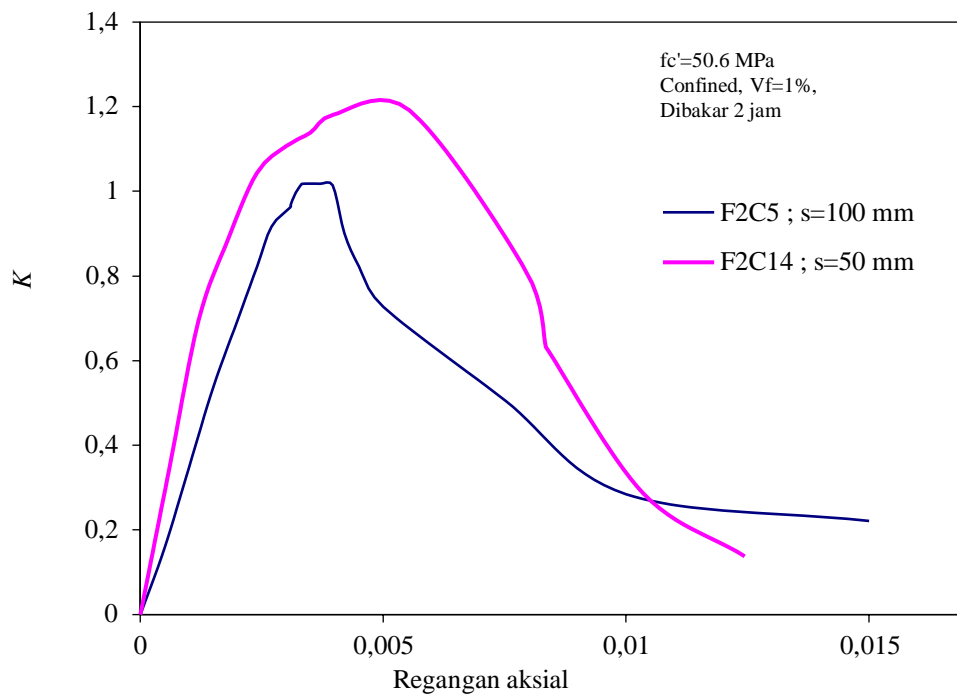


Gambar 5. 128 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 2 jam

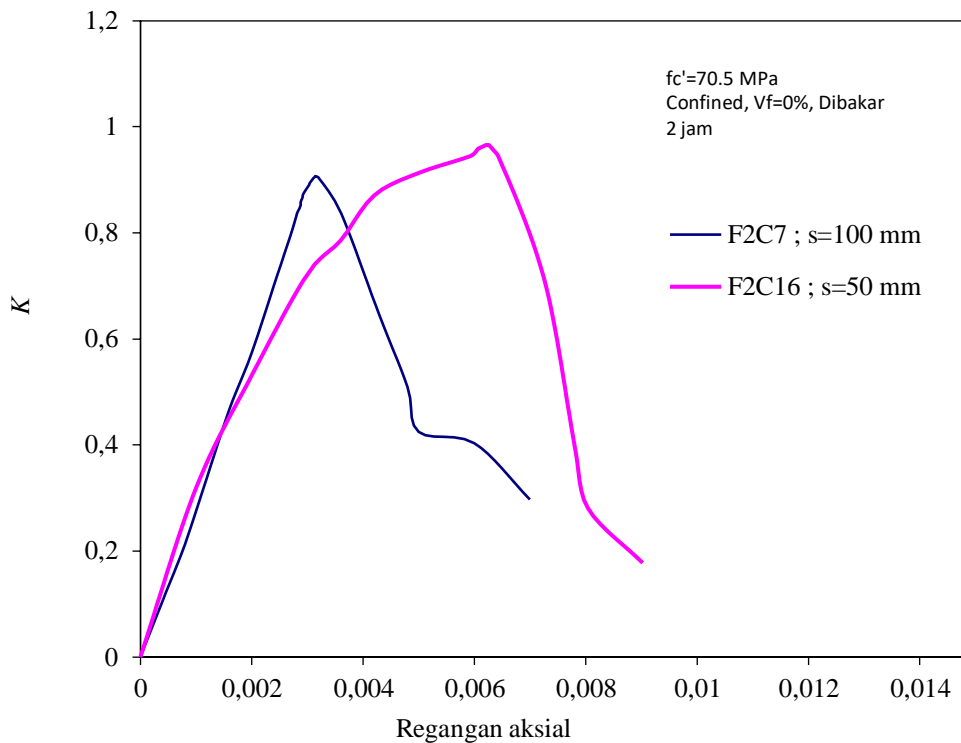
Gambar 5.126 s/d Gambar 5.128 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu normal pasca bakar 2 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 129 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan Dibakar 2 jam

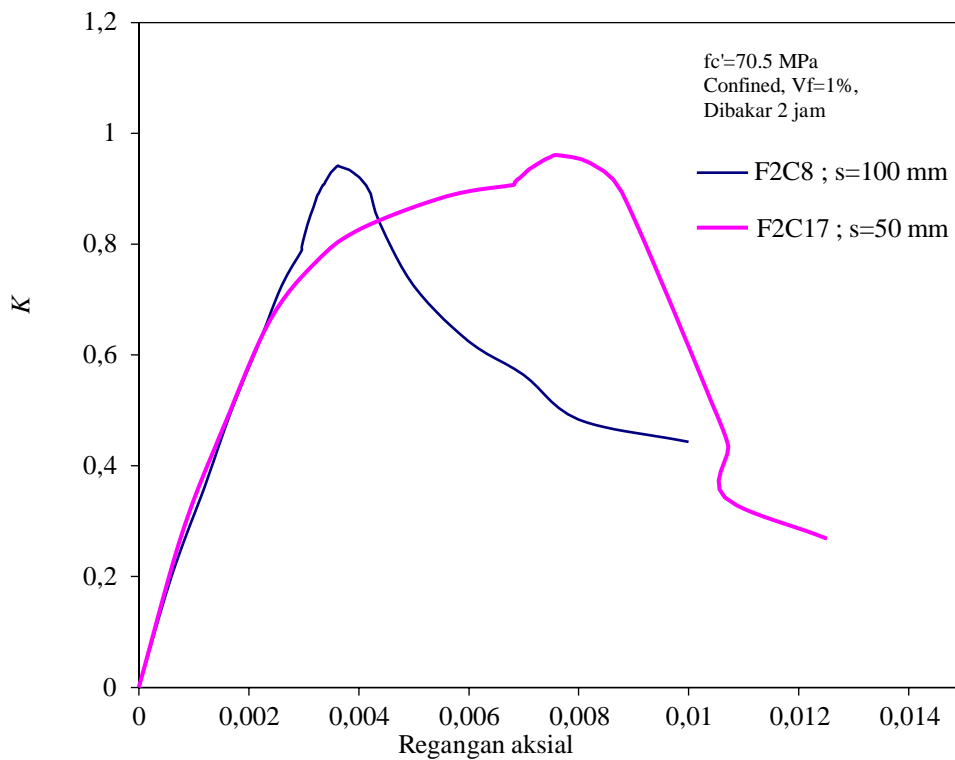


Gambar 5. 130 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan Vf = 1% dan Dibakar 2 jam

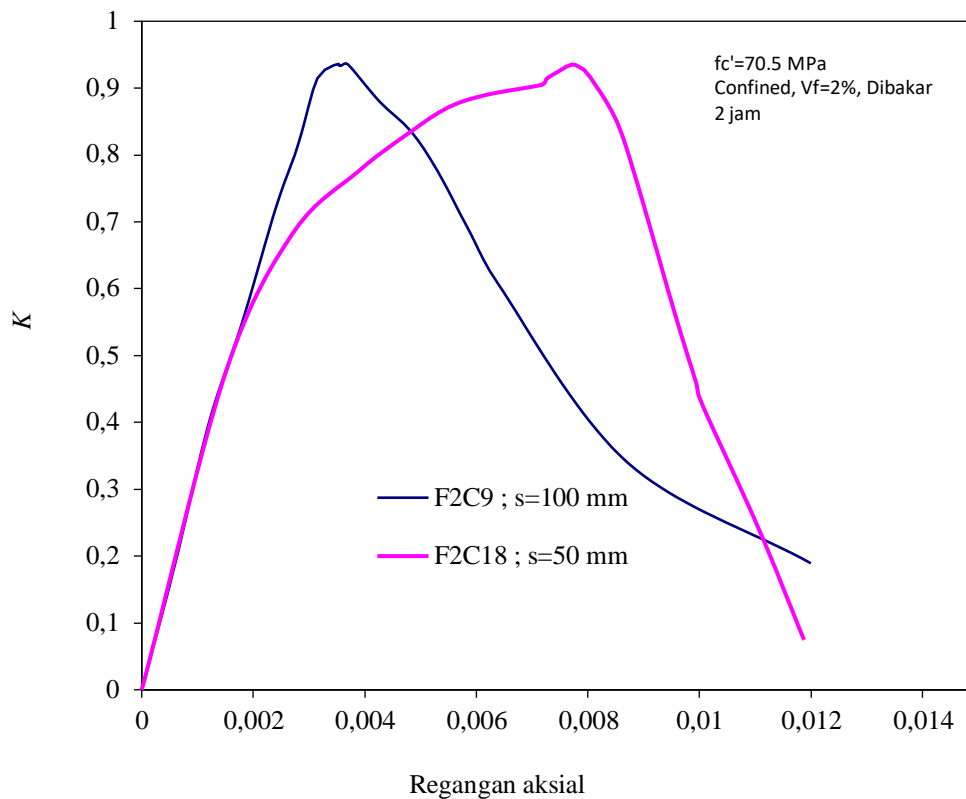


Gambar 5. 131 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 2 jam

Gambar 5.129 s/d Gambar 5.131 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu menengah pasca bakar 2 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.

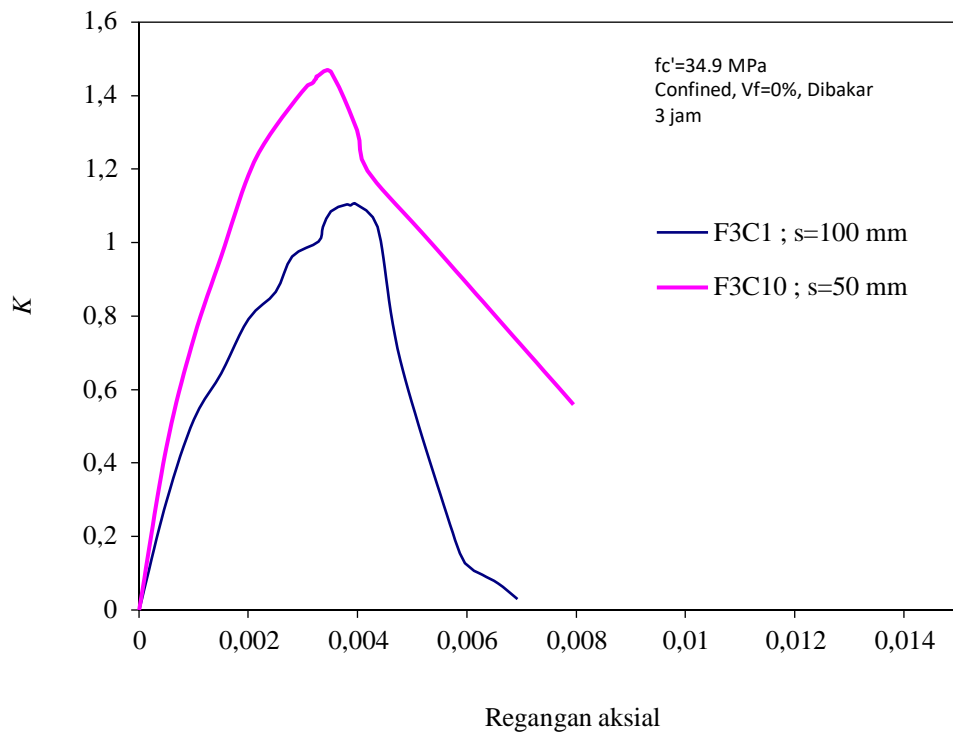


Gambar 5. 132 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan Dibakar 2 jam

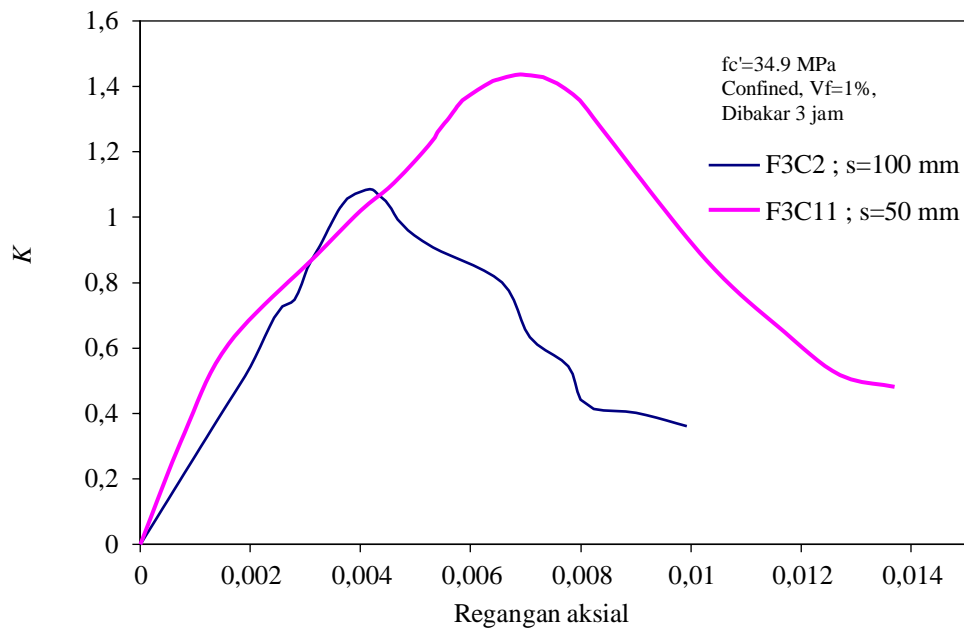


Gambar 5. 133 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 2 jam

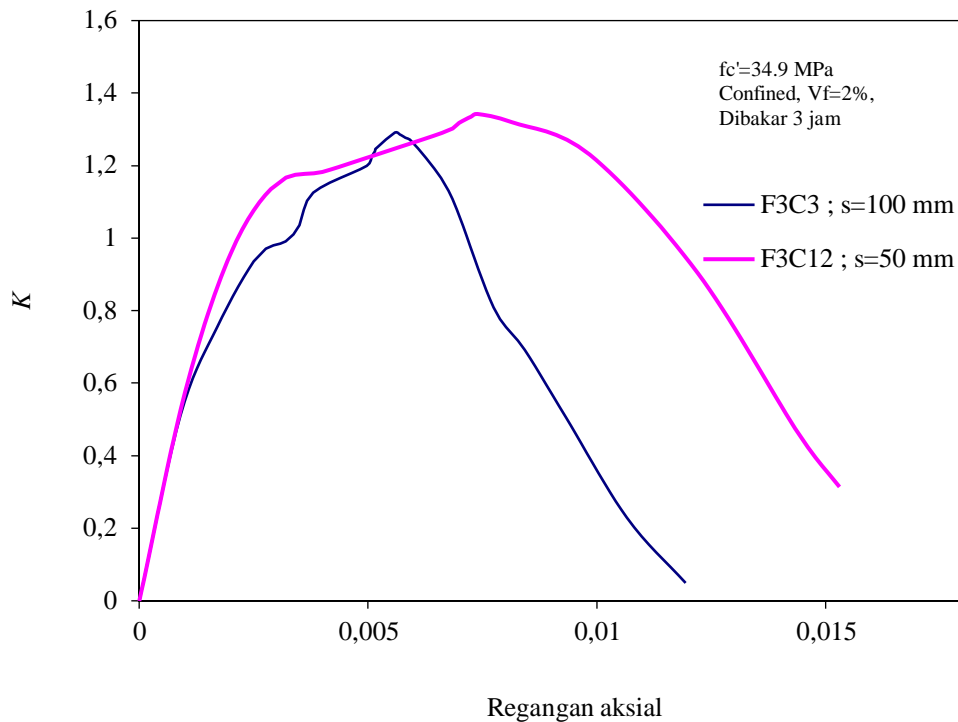
Gambar 5.132 s/d Gambar 5.133 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu tinggi pasca bakar 2 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 1% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi walaupun relatif kecil jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 134. Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 3 jam

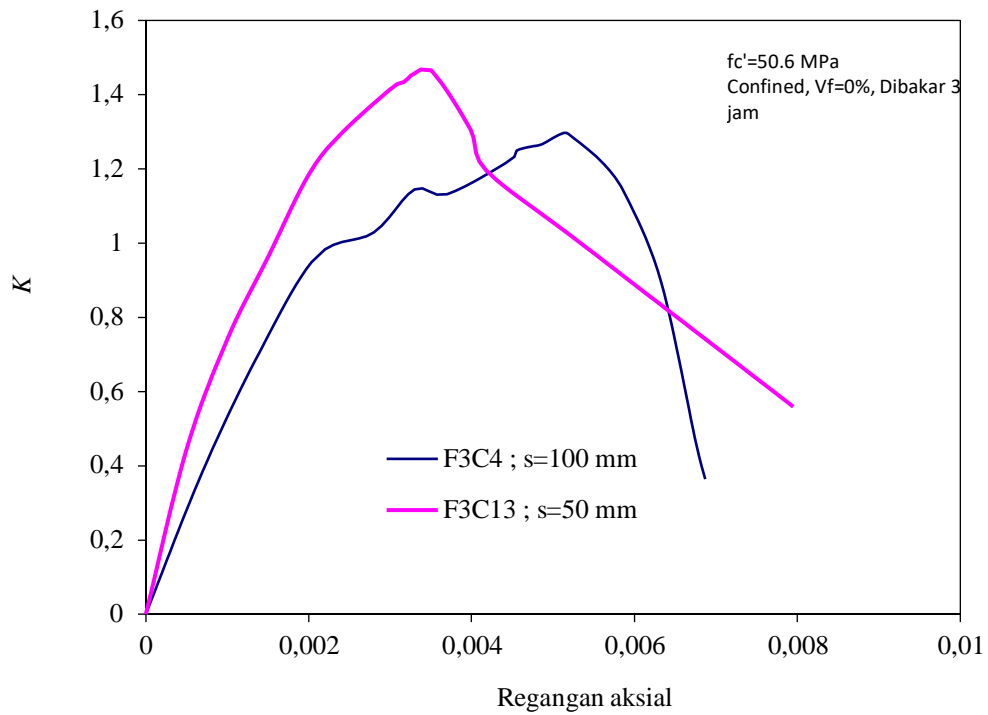


Gambar 5. 135 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan Vf = 1% dan Dibakar 3 jam

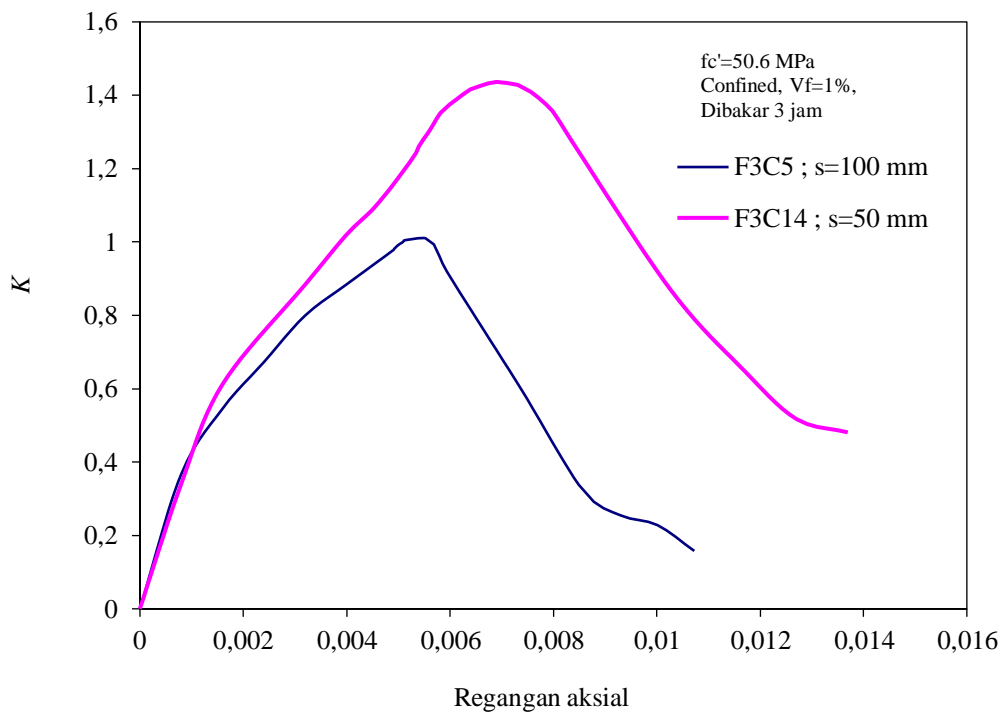


Gambar 5. 136 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 34,9 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan Dibakar 3 jam

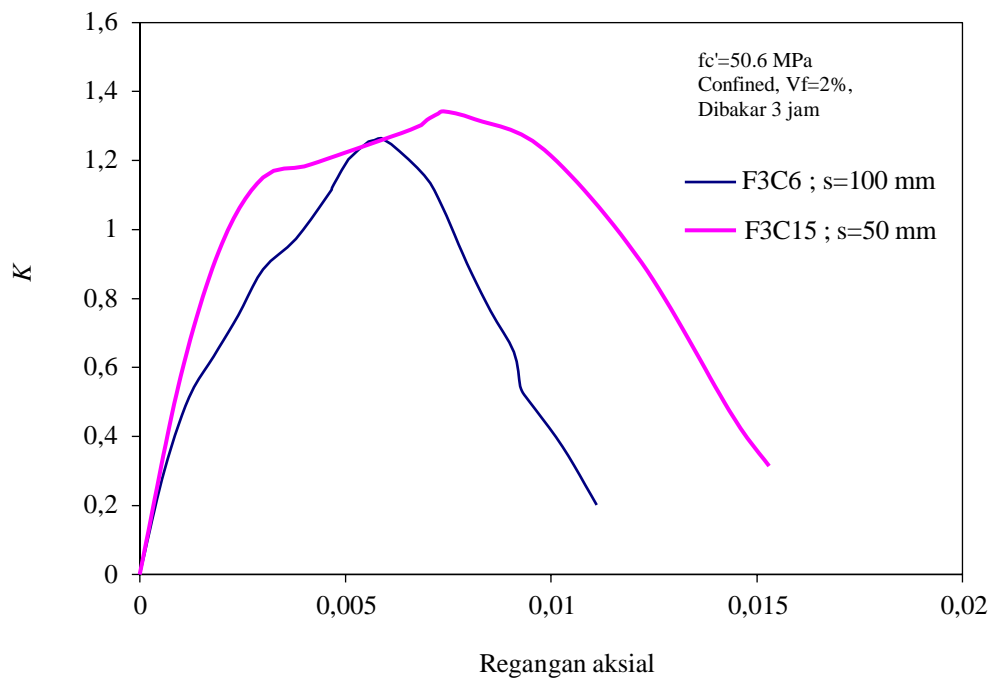
Gambar 5.134 s/d Gambar 5.136 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu normal pasca bakar 3 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 137 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan $V_f = 0\%$ dan Dibakar 3 jam

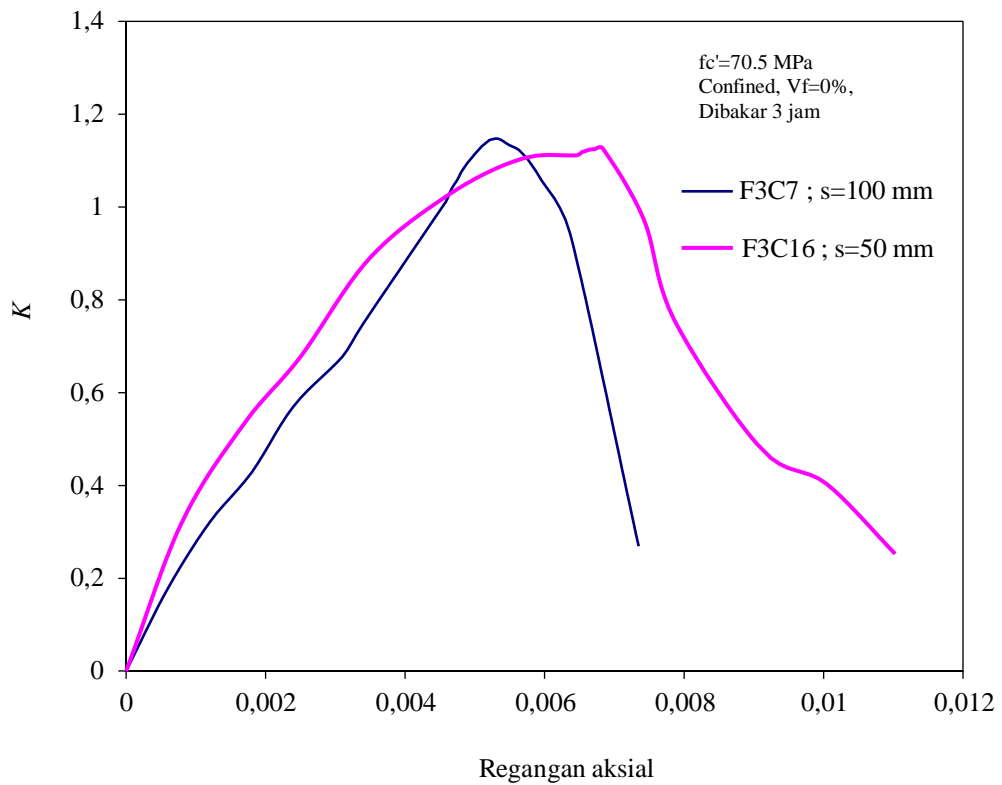


Gambar 5. 138 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan $V_f = 1\%$ dan Dibakar 3 jam

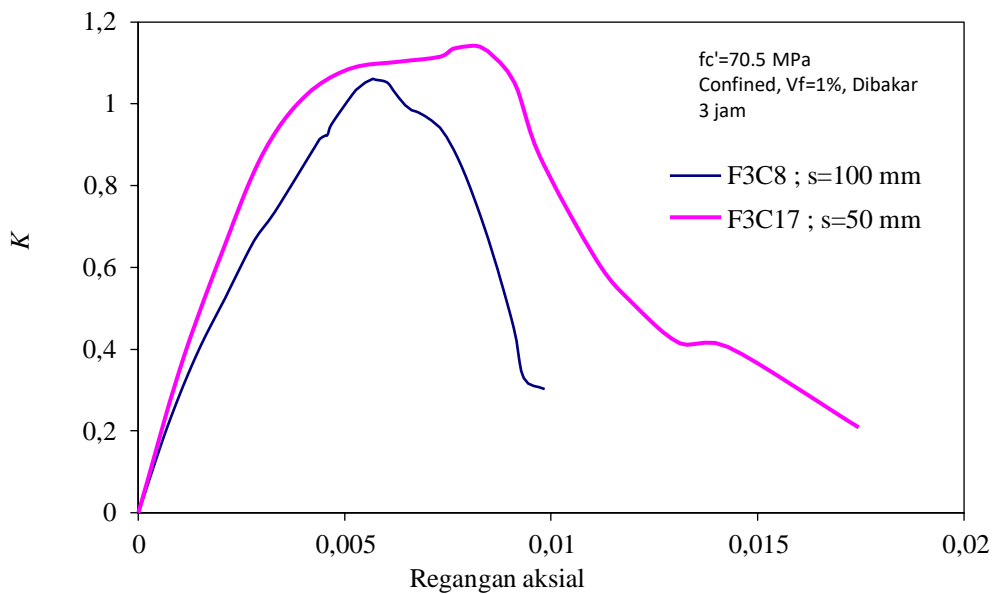


Gambar 5. 139 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 50,6 MPa dengan Vf = 2% dan Dibakar 3 jam

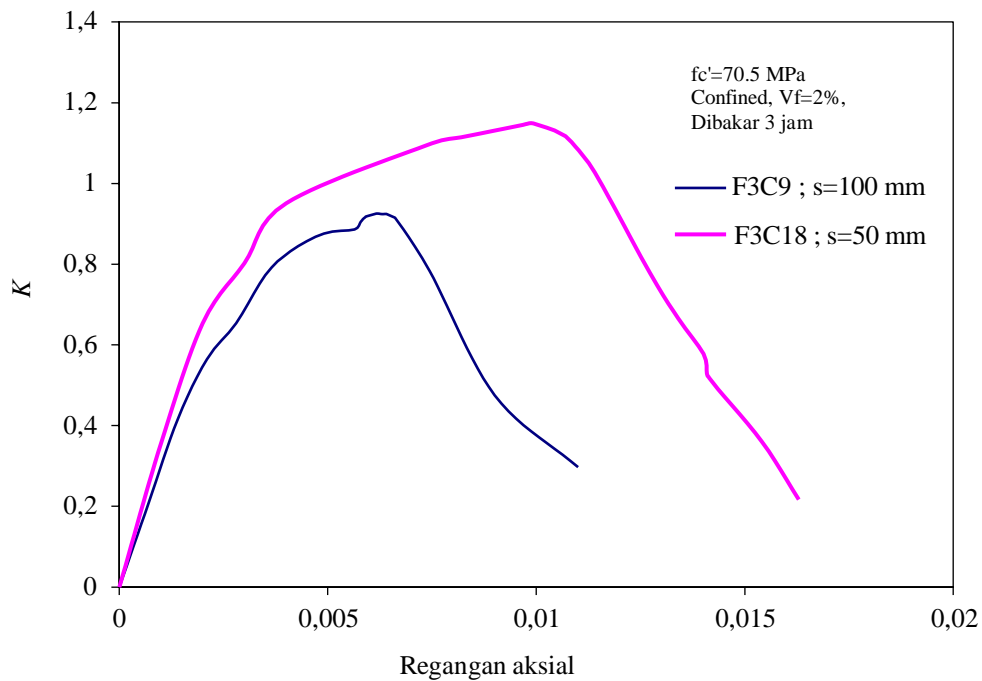
Gambar 5.137 s/d Gambar 5.139 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu menengah pasca bakar 3 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.



Gambar 5. 140 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 0% dan Dibakar 3 jam



Gambar 5. 141 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan Vf = 1% dan Dibakar 3 jam



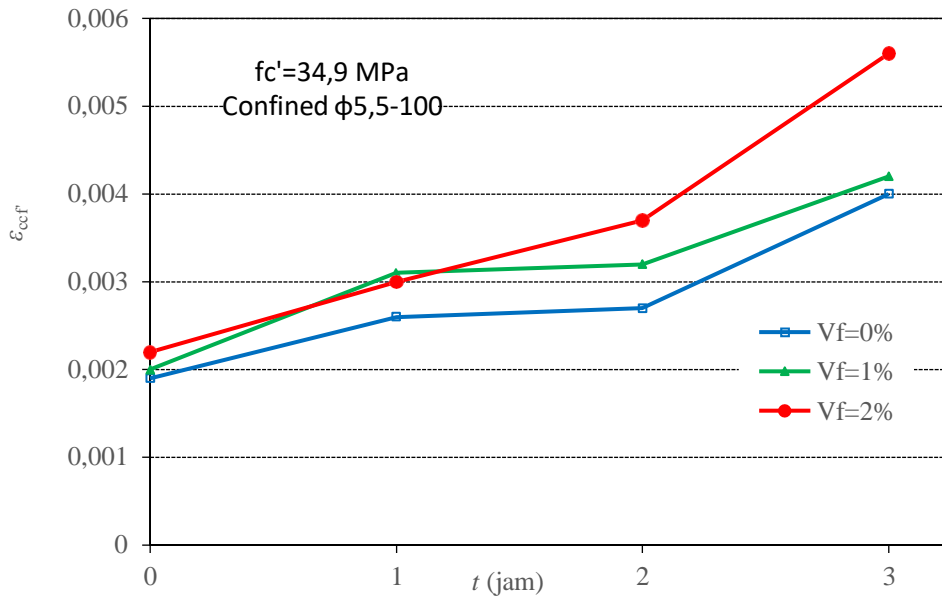
Gambar 5. 142 Pengaruh Spasi Terhadap Kekuatan Beton Terkekang Mutu 70,5 MPa dengan $V_f = 2\%$ dan Dibakar 3 jam

Gambar 5.140 s/d Gambar 5.142 menyajikan efek spasi/rasio *volumetric* tulangan pengekang/*hoop*/bulat terhadap perilaku tegangan-regangan beton terkekang mutu tinggi pasca bakar 3 jam. Dari grafik menunjukkan dengan volume fraksi 0% dan dengan spasi kekangan jarak 50 mm, spesimen mengalami kenaikan kekuatan beton yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spasi kekangan 100 mm. Sedangkan nilai regangan dengan spasi 50 mm mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan spasi 100 mm. Perilaku yang sama juga untuk spesimen dengan volume fraksi 1% dan 2%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak spasi kekangan akan menaikkan kekuatan dan daktilitasnya.

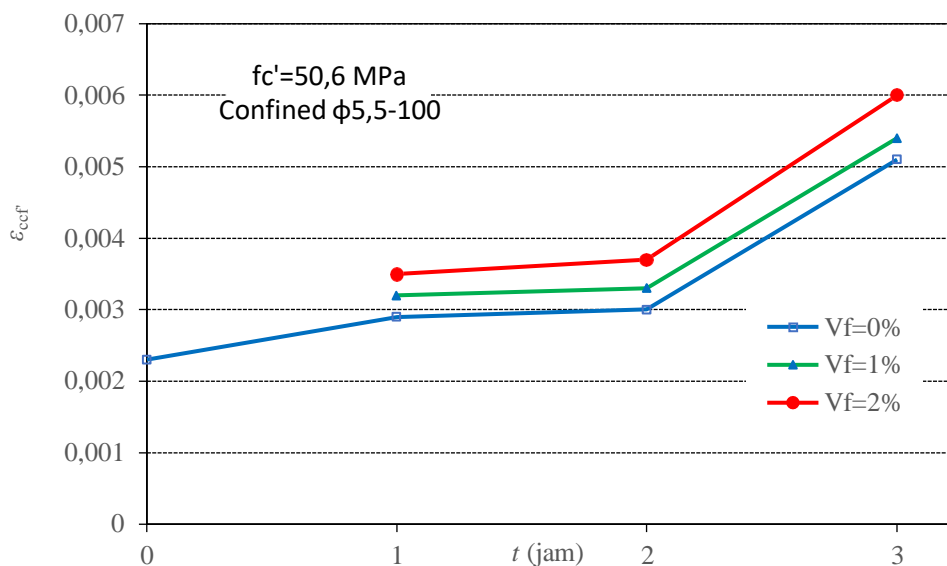
5.4.6 Efek Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang (ϵ_{ccf}')

Gambar 5.143 s/d Gambar 5.148 menunjukkan nilai regangan puncak beton terkekang (ϵ_{ccf}') terhadap lamanya pembakaran. Berdasarkan gambar tersebut, secara umum dapat dikatakan bahwa nilai ϵ_{ccf}' cenderung meningkat seiring dengan

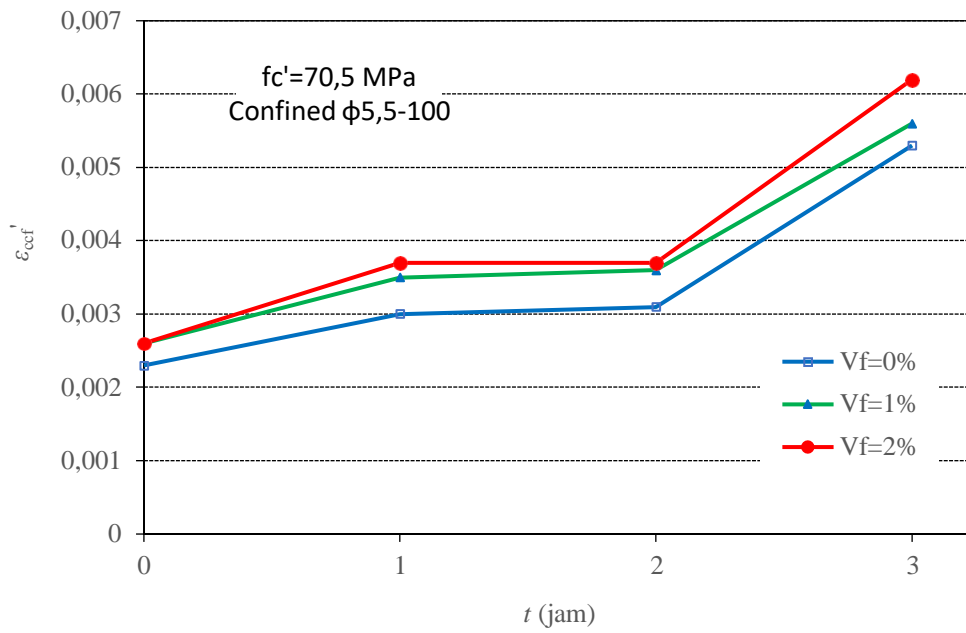
bertambahnya durasi pembakaran. Naiknya nilai ϵ_{ccf}' terhadap durasi pembakaran tersebut menunjukkan lebih daktailnya spesimen akibat penambahan lamanya pembakaran. Hal ini berlaku pada spesimen beton normal (tanpa serat) maupun beton berserat baja.



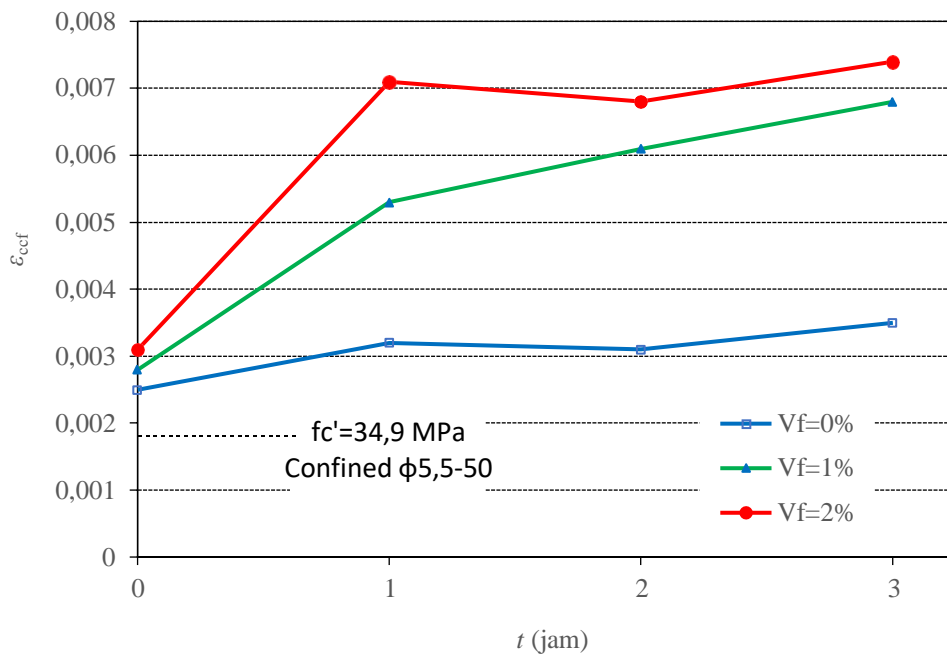
Gambar 5. 143 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 34.9 MPa



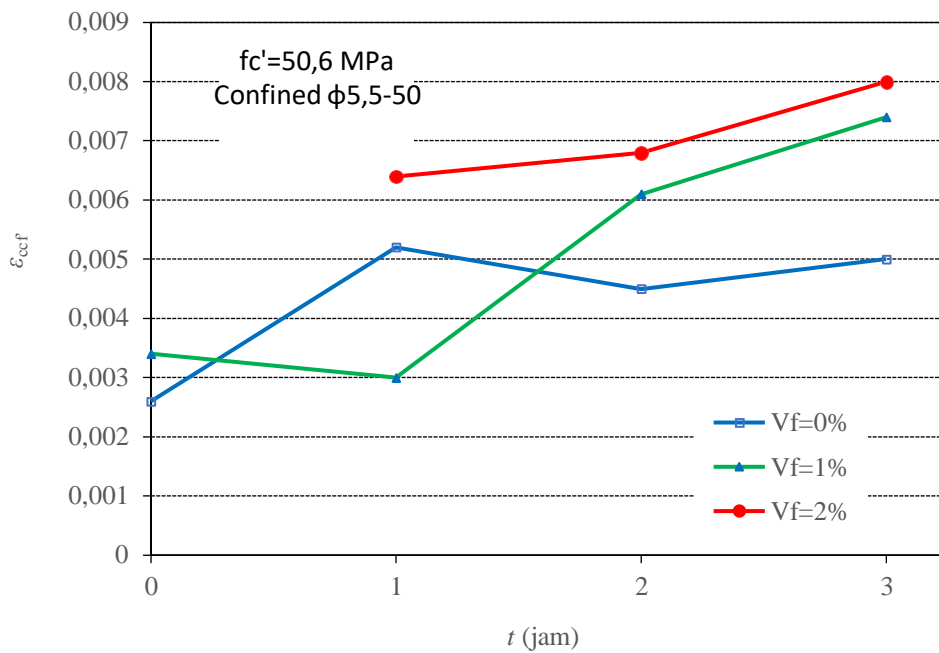
Gambar 5. 144 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 50.6 MPa



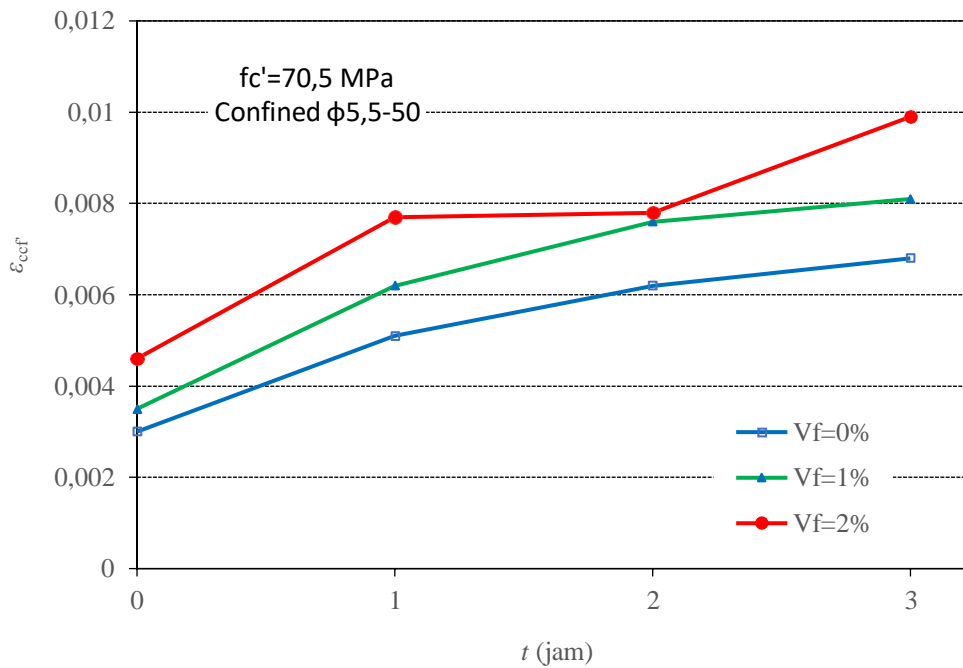
Gambar 5. 145 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 100 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa



Gambar 5. 146 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 34.9 MPa



Gambar 5. 147 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 50.6 MPa

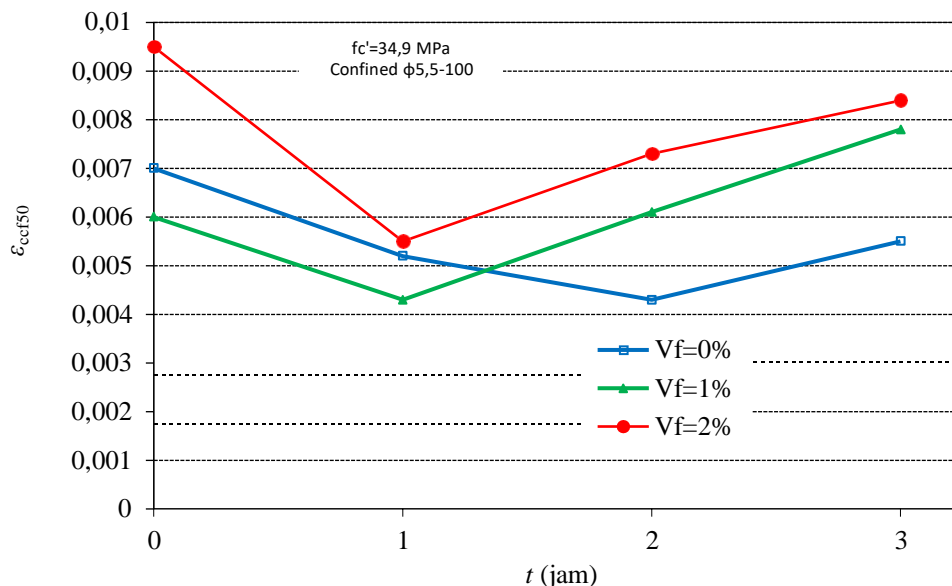


Gambar 5.148 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Regangan Puncak Beton Terkekang Spasi 50 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa

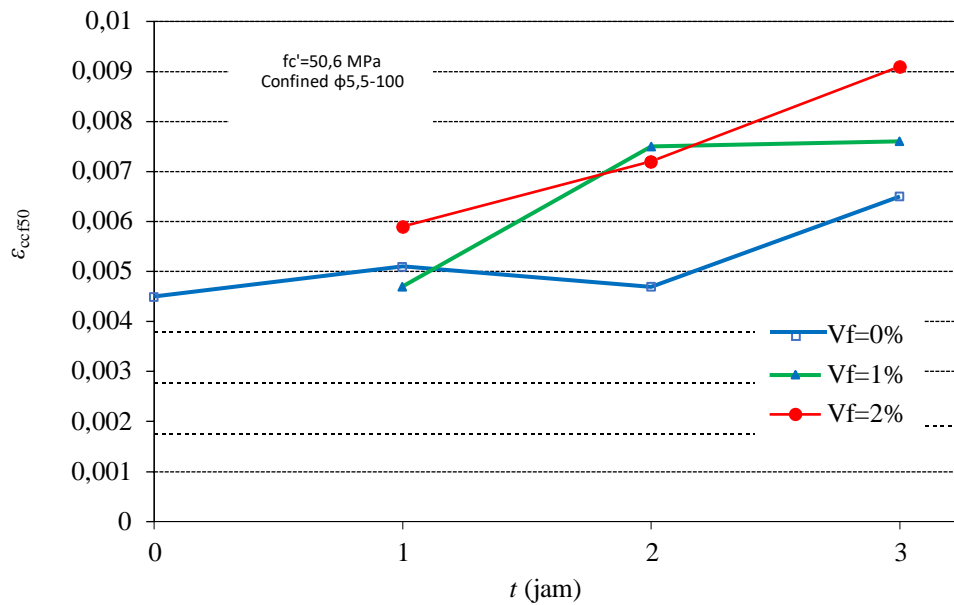
5.4.7 Efek Pembakaran Terhadap Regangan Beton Terkekang Saat Tegangan Turun 50% Pasca Puncak (ϵ_{ccf50})

Pada dasarnya agak sulit untuk mengevaluasi nilai ϵ_{ccf50} terutama pada kondisi pasca bakar. Hal ini disebabkan oleh tidak seragamnya spesimen yang terkena semburan api pembakaran, dan juga perilaku beton pasca puncak yang juga tergantung dari tulangan pengekuat apakah masih dapat bekerja dalam mengaplikasikan tegangan lateral dengan baik. Oleh sebab itu di bawah ini akan diuraikan secara pendekatan perilaku spesimen pada kondisi sekitar ϵ_{ccf50} .

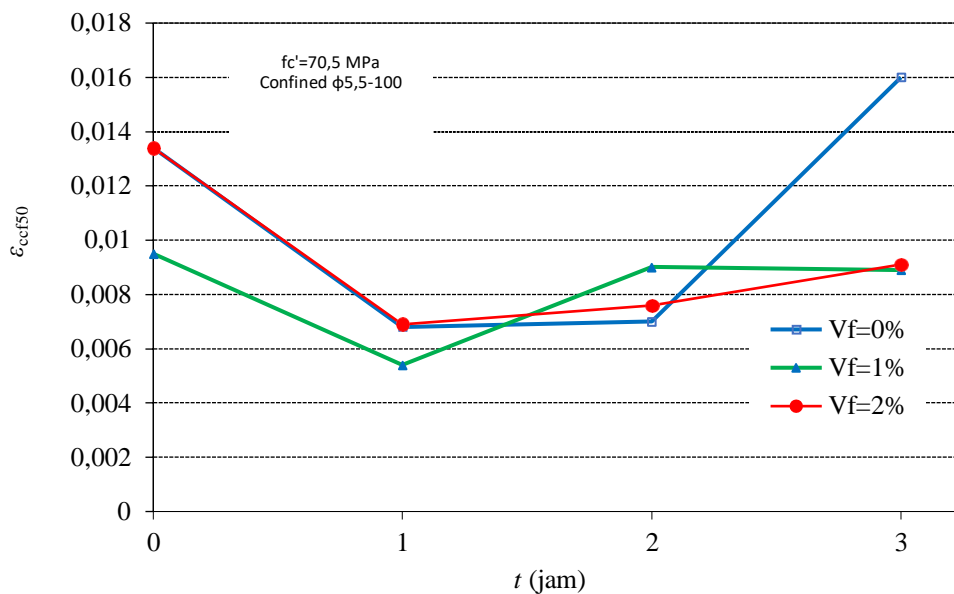
Nilai ϵ_{ccf50} mengalami penurunan jika spesimen beton terkekang dibakar 1 jam, namun pada umumnya nilai tersebut cenderung meningkat jika durasi pembakaran meningkat menjadi 2 dan 3 jam. Perilaku tersebut terjadi pada beton mutu normal dengan spasi tulangan pengekuat 100 mm (Gambar 5.149). Nilai ϵ_{ccf50} spesimen dengan kuat tekan beton mutu menengah ($f_c' = 50.6$ MPa) dan spasi 100 mm cenderung meningkat jika durasi pembakaran meningkat menjadi 1 jam, 2 jam dan 3 jam (Gambar 5.150). Dengan spasi tulangan pengekuat yang sama dengan spasi spesimen di atas, pada beton mutu tinggi ($f_c' = 70.5$ MPa) memperlihatkan tren nilai ϵ_{ccf50} yang sama dengan perilaku beton mutu normal (lihat Gambar 5.151).



Gambar 5.149 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 34.9 MPa, spasi 100

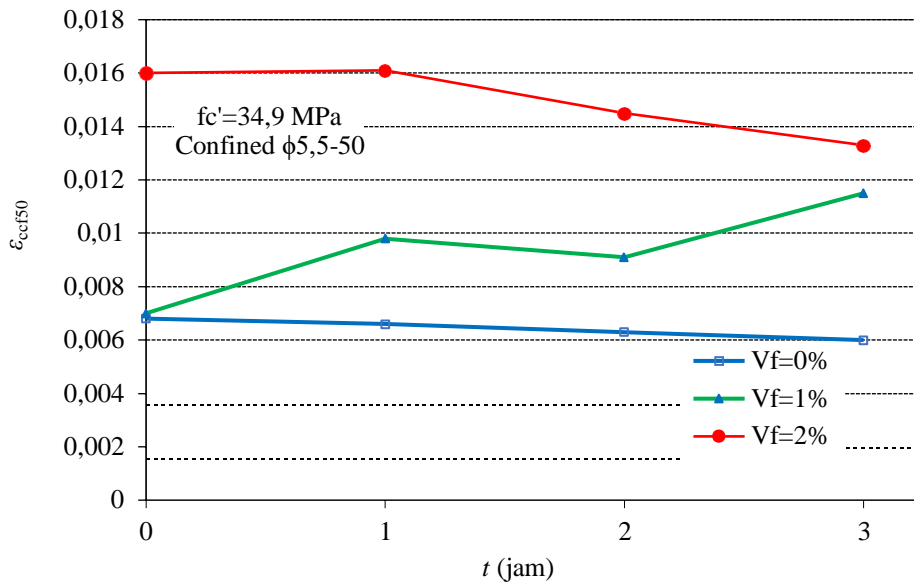


Gambar 5.150 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 50.6 MPa, spasi 100

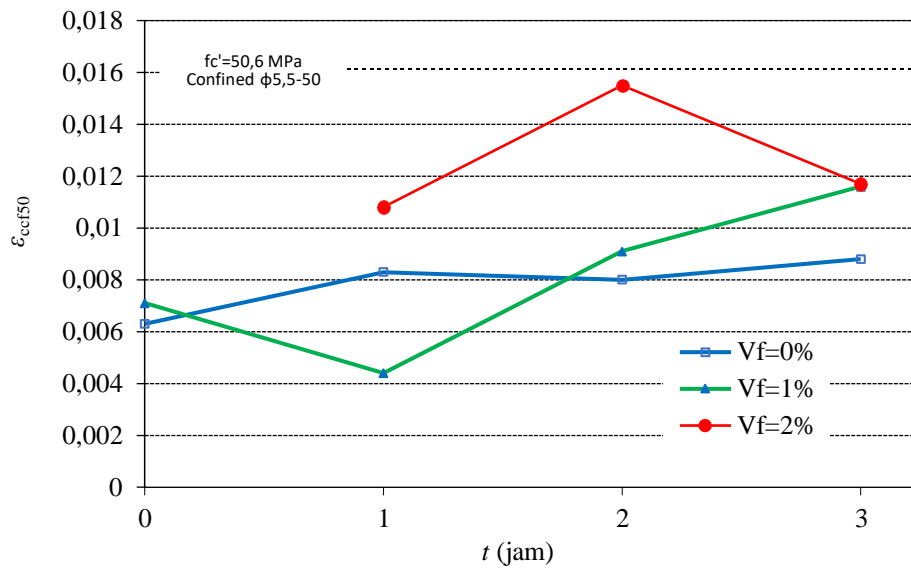


Gambar 5.151 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 70.5 MPa, spasi 100

Pada spesimen yang dipasang tulangan pengekan lebih rapat (50 mm), beton terkekang mutu normal memperlihatkan nilai ϵ_{ccf50} yang cenderung tidak ada peningkatan yang berarti, bahkan pada spesimen tanpa serat dan spesimen dengan serat baja 2%, nilai ϵ_{ccf50} tersebut cenderung menurun seiring dengan penambahan lamanya pembakaran (Gambar 5.152).

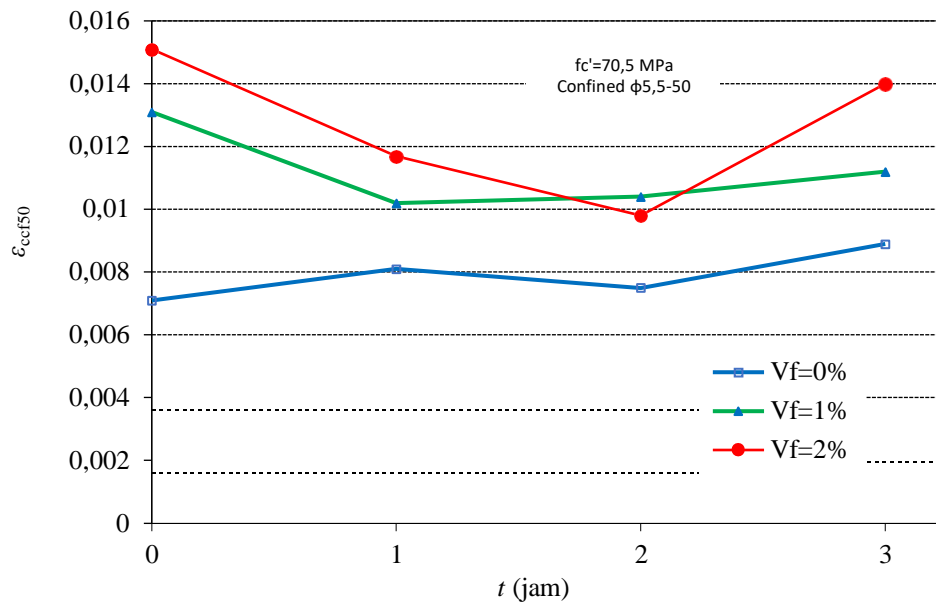


Gambar 5.152 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 34.9 MPa, spasi 50



Gambar 5.153 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 50.6 MPa, spasi 50

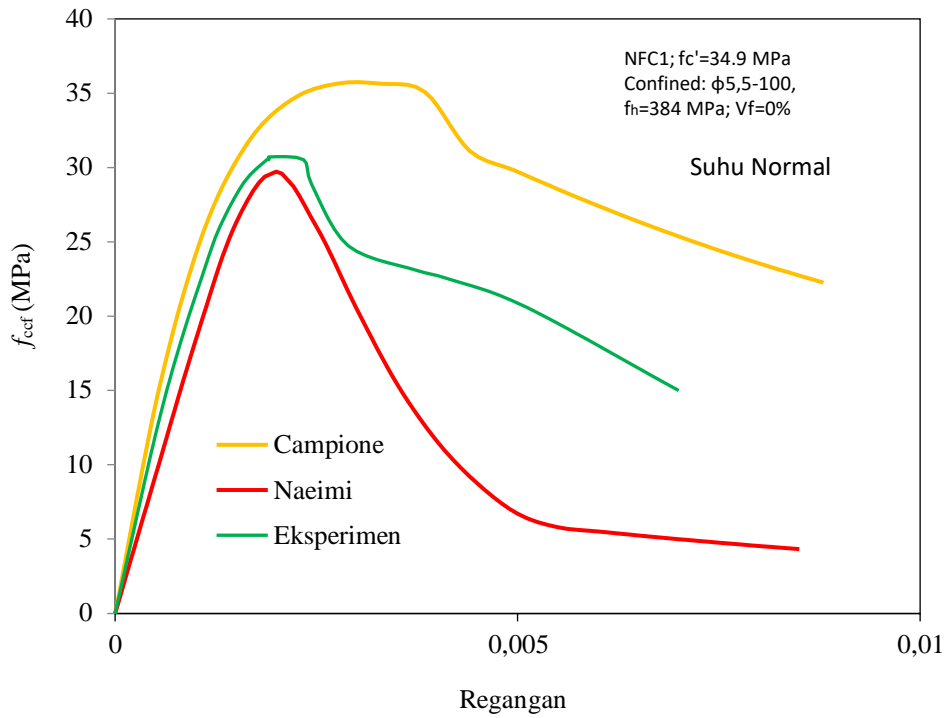
Nilai ϵ_{ccf50} mengalami kenaikan jika spesimen dibakar 2 jam dan 3 jam ($f_c'=50.6$ MPa), untuk spesimen yang mengandung serat 0% dan 1% (Gambar 5.153). Perilaku yang kurang lebih sama terjadi pada spesimen beton mutu tinggi ($f_c'=70.5$ MPa), dimana nilai ϵ_{ccf50} mengalami peningkatan jika durasi pembakaran mencapai 3 jam (Gambar 5.154).



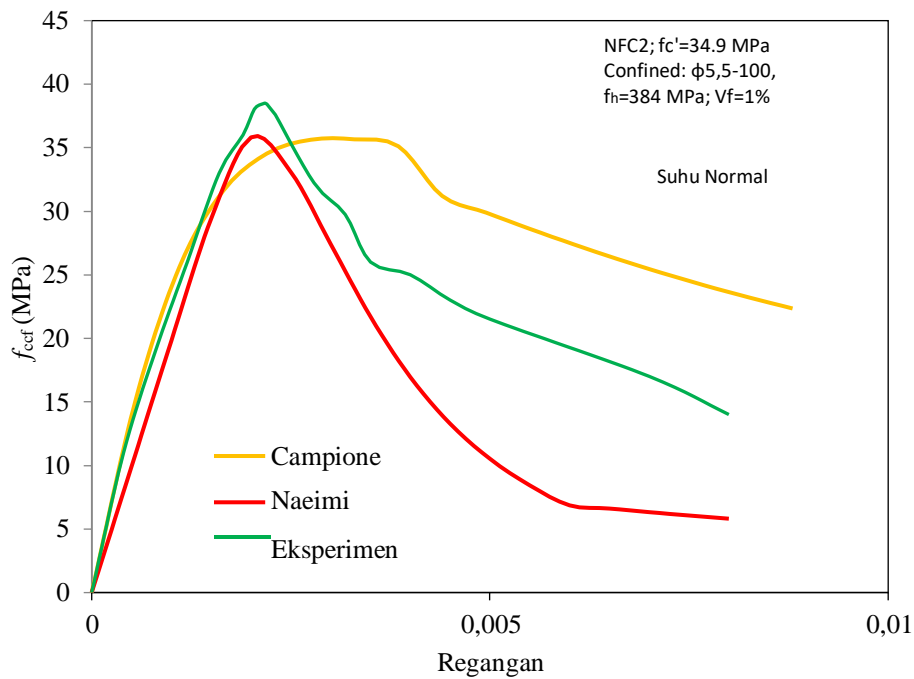
Gambar 5.154 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Nilai ϵ_{ccf50} untuk Mutu Beton 70.5 MPa, spasi 50

5.4.8 Perbandingan Model-model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Spesimen Tak Dibakar/Suhu Normal

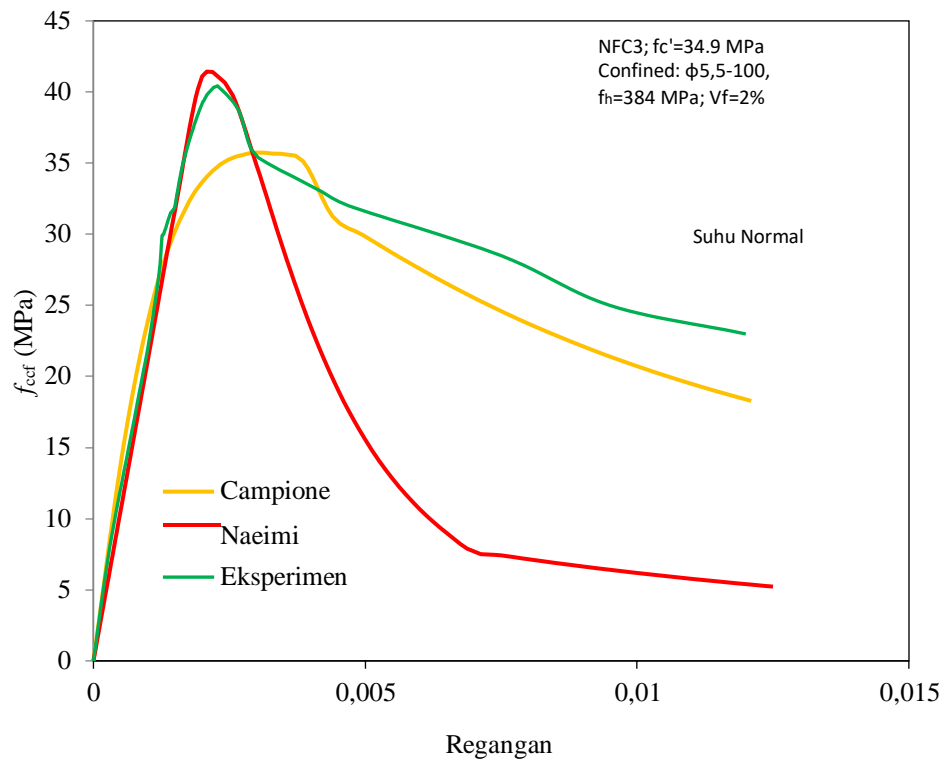
Hasil eksperimen beton terkekang yang telah ditampilkan di atas selanjutnya dibandingkan dengan model-model kekangan beton berserat eksisting. Berdasarkan studi literature yang telah dibahas di bab II, model-model kekangan eksisting masih terbatas pada beton terkekang pada suhu normal (tidak dibakar). Model kekangan pasca bakar yang ada juga berlaku hanya meninjau terhadap temperatur/suhu (Zaidi et al., 2016). Oleh sebab itu yang dibahas di dalam sub bab ini adalah perbandingan model kekangan dengan hasil eksperimen pada spesimen tidak dibakar (suhu normal). Model kekangan yang dipilih dalam perbandingan adalah model usulan Campione (2002) dan model Naeimi (2021), dengan pertimbangan bahwa model tersebut dapat diaplikasikan terhadap beton terkekang penampang bulat yang sesuai dengan penampang spesimen di dalam penelitian ini. Perbandingan tersebut ditampilkan pada Gambar 5.155 s/d Gambar 5.169.



Gambar 5.155 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f = 0\%$

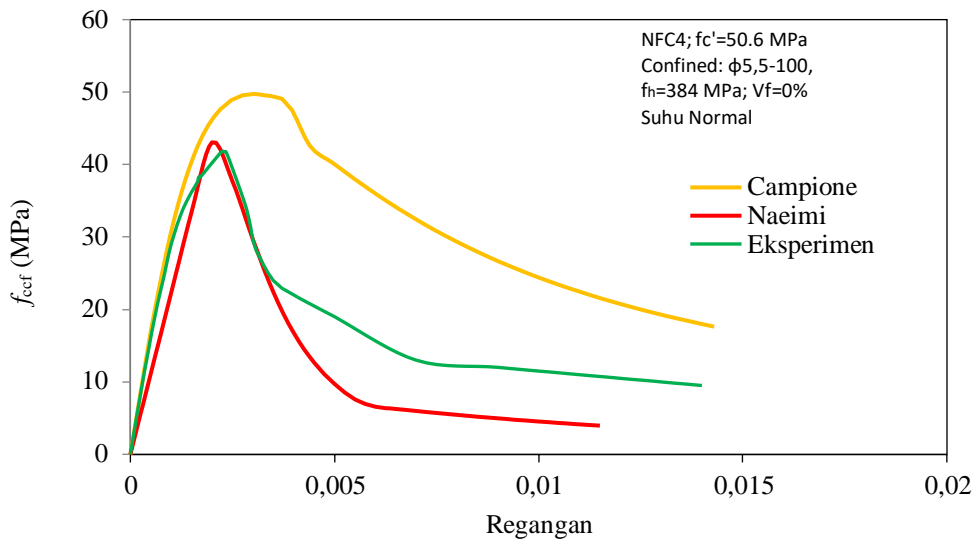


Gambar 5.156 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f = 1\%$



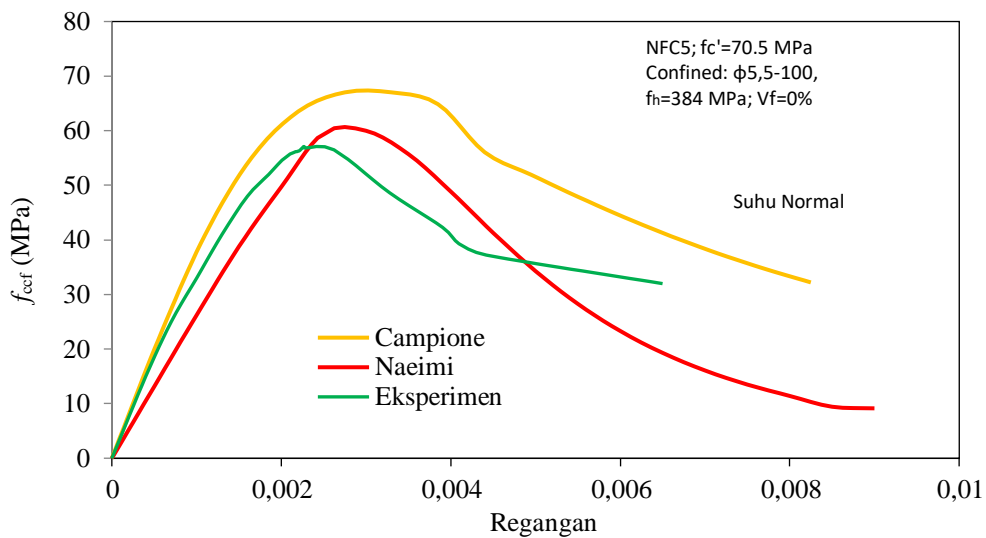
Gambar 5.157 Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 2\%$

Gambar 5.155 sampai dengan Gambar 5.157 menunjukkan bahwa untuk beton mutu normal dengan spasi 100 dan volume fraksi 0% mempunyai bentuk yang hampir sama antara Model Campion, Model Naeimi dan Model Eksperimen, untuk model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan model Naeimi dan Model Eksperimen, pada saat volume fraksi 1% nilai tegangan hampir sama dari ketiga model, sedangkan untuk volume fraksi 2 % Model Naeimi dan Model Eksperimen mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibanding dengan Model Campion. Sedangkan untuk regangannya Model Campion dan Model Esperimen bersifat lebih landai setelah tegangan puncak.

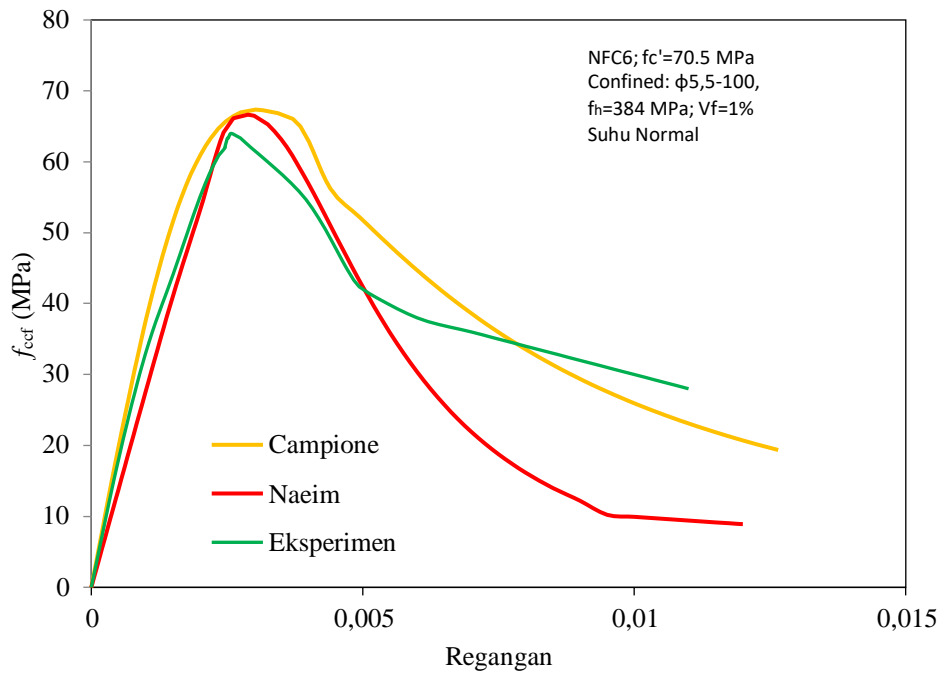


Gambar 5.158 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 100 dengan $V_f=0\%$

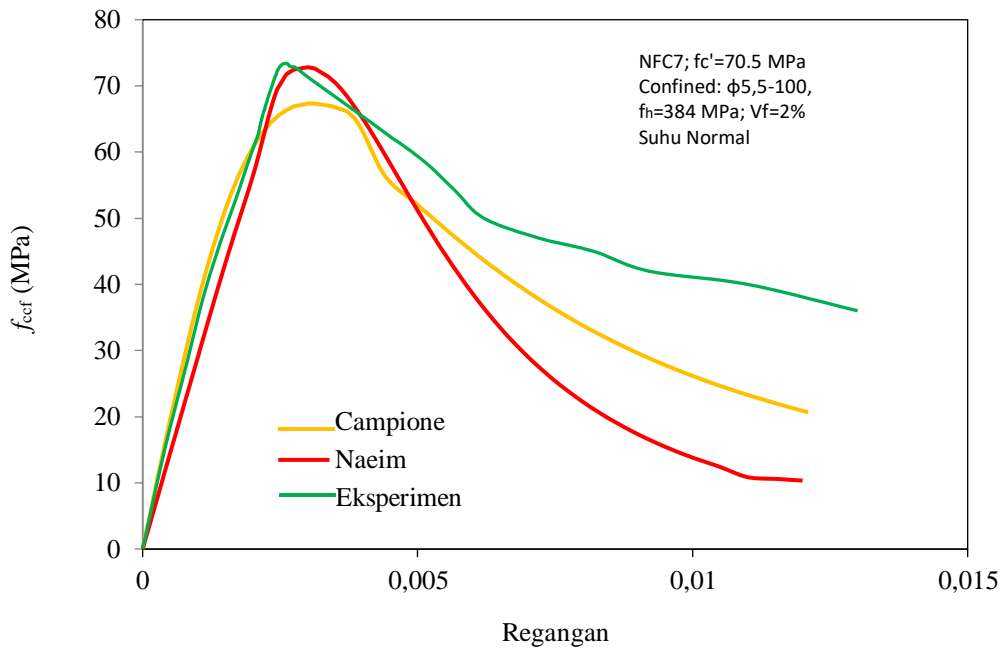
Gambar 5.158 sampai dengan Gambar 5.157 menunjukkan bahwa untuk beton mutu menengah dengan spasi 100 dan volume fraksi 0% mempunyai bentuk yang hampir sama antara Model Campion, Model Naeimi dan Model Eksperimen, untuk model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan model Naeimi dan Model Eksperimen. Sedangkan untuk regangannya Model Campion bersifat lebih landai setelah tegangan pasca puncak.



Gambar 5.159 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f=0\%$

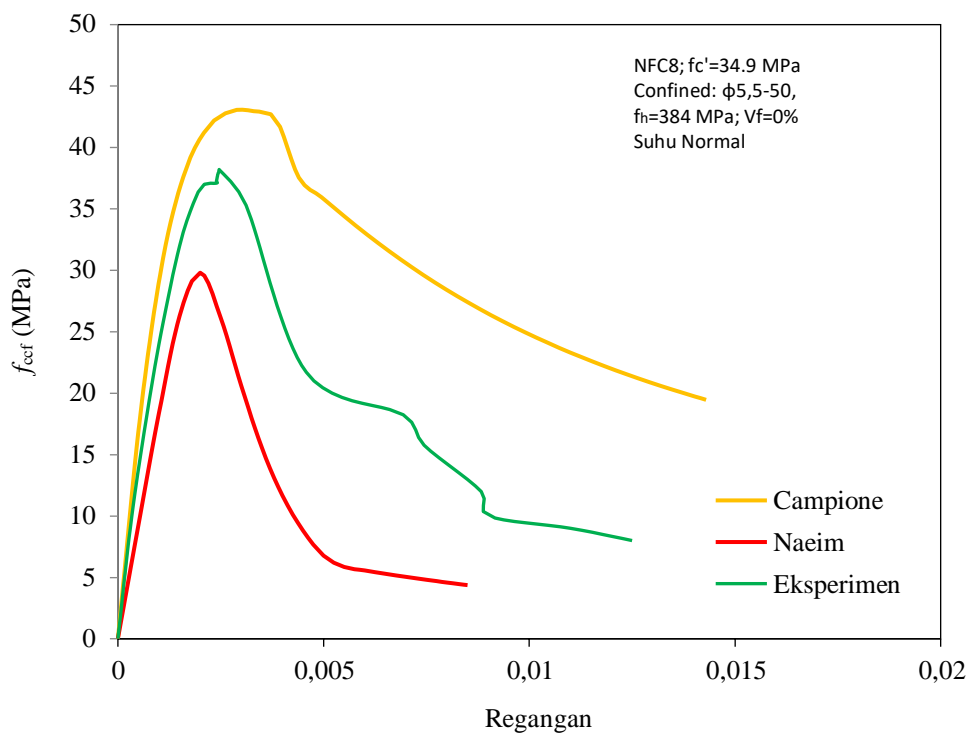


Gambar 5.160 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 1\%$

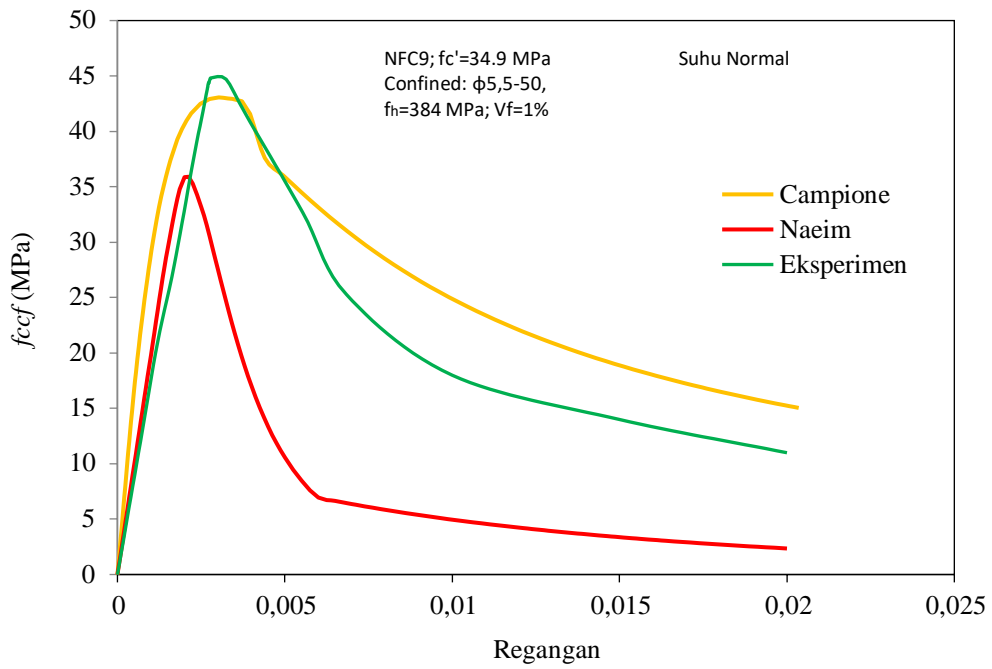


Gambar 5.161 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 100 dengan $V_f= 2\%$

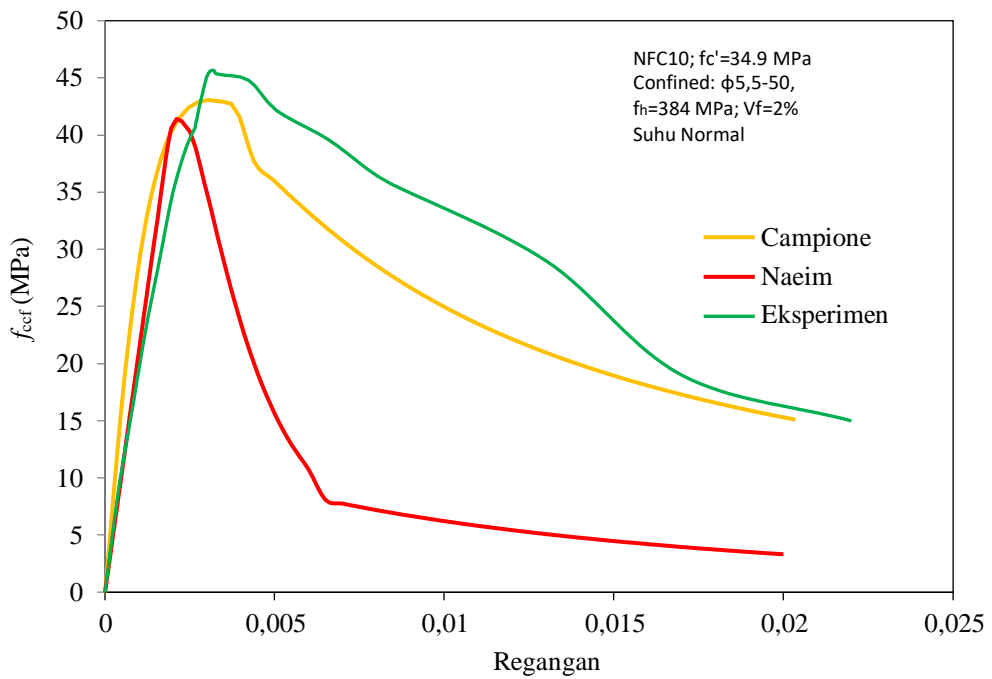
Gambar 5.158 sampai dengan Gambar 5.160 menunjukkan bahwa untuk beton mutu tinggi dengan spasi 100 mempunyai bentuk yang hampir sama antara Model Campion, Model Naeimi dan Model Eksperimen, untuk volume fraksi 0% Model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan model Naeimi dan Model hasil Eksperimen, volume fraksi 1 % nilai tegangan Model Naeimi dan Model Campion lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Eksperimen, sedangkan untuk volume fraksi 2% Model Naeimi dan Model Esperimen nilai tegangan lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Campion. Nilai regangannya pada volume fraksi 0% Model Campion lebih landai, pada saat volume fraksi 1% nilai regangan hampir sama sedangkan dengan volume fraksi 2% model Eksperimen lebih landai setelah tegangan pasca puncak.



Gambar 5.162 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 0\%$

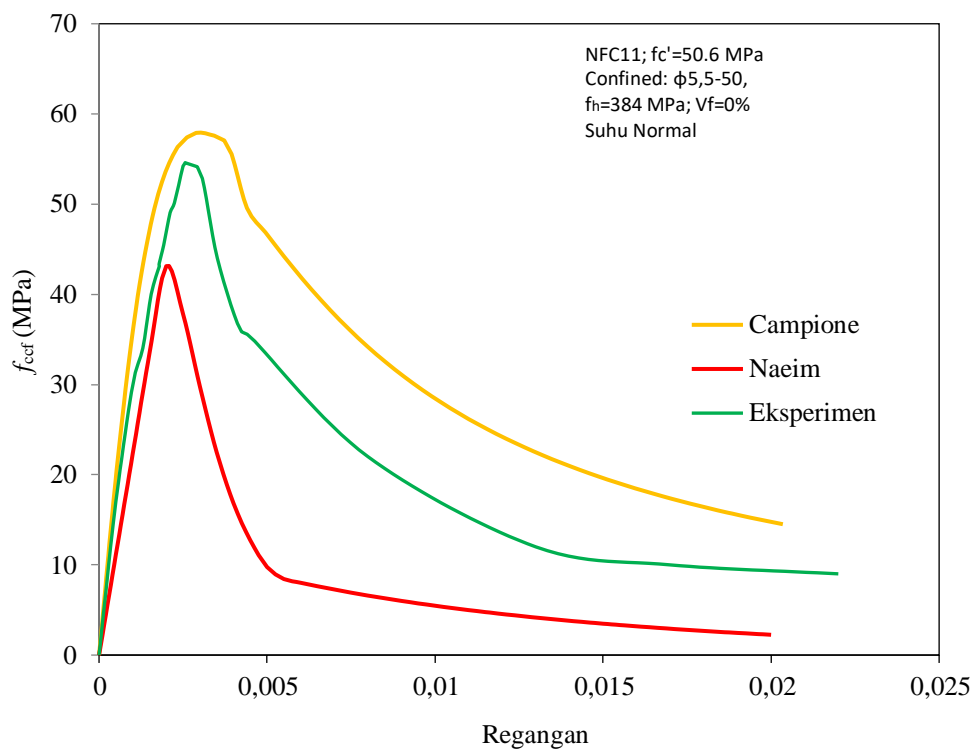


Gambar 5.163 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 1\%$

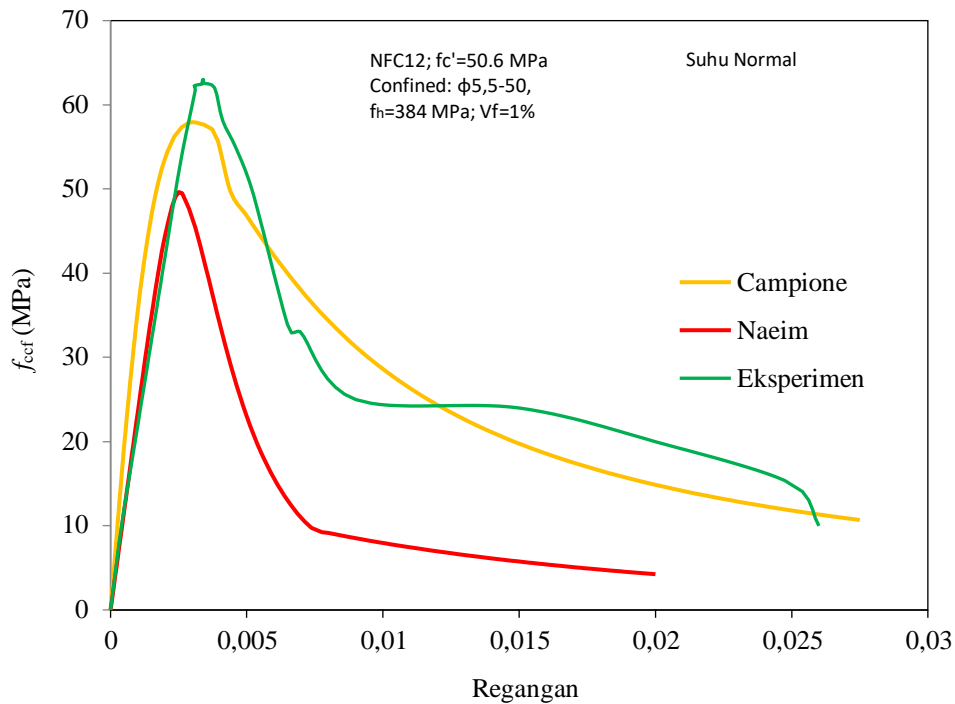


Gambar 5.164 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 34.9 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 2\%$

Gambar 5.162 sampai dengan Gambar 5.164 menunjukkan bahwa untuk beton mutu normal dengan spasi 50, untuk volume fraksi 0% Model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Naeimi dan Model Eksperimen, untuk volume fraksi 1% dan 2% Model Eksperimen mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Campion dan Model Naeimi, Sedangkan nilai regangan untuk volume fraksi 2%, Model Eksperimen yang lebih landai setelah tegangan pasca puncak.



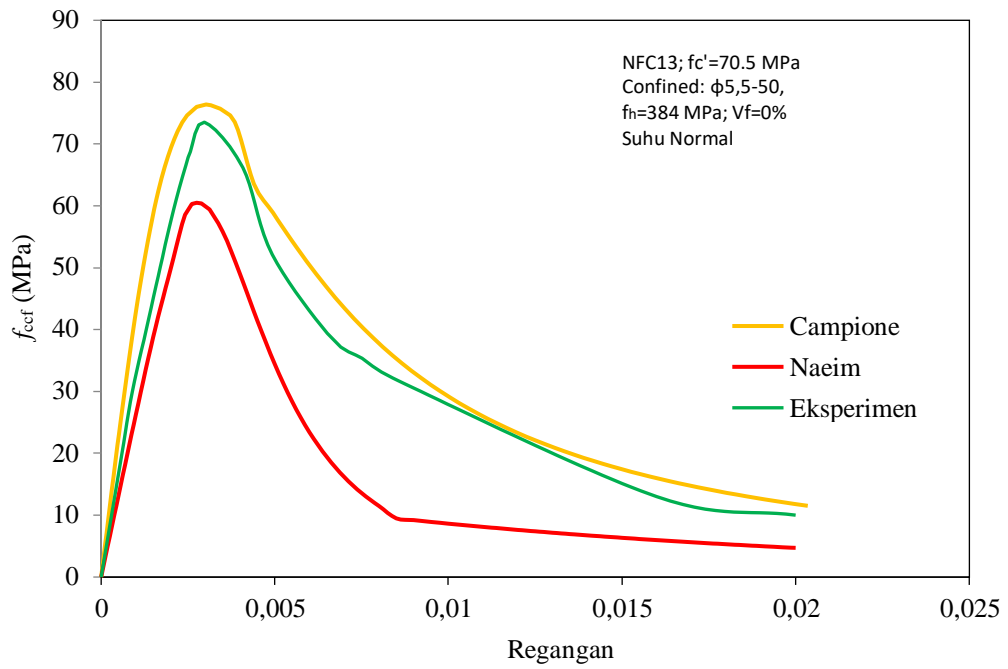
Gambar 5.165 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 0\%$



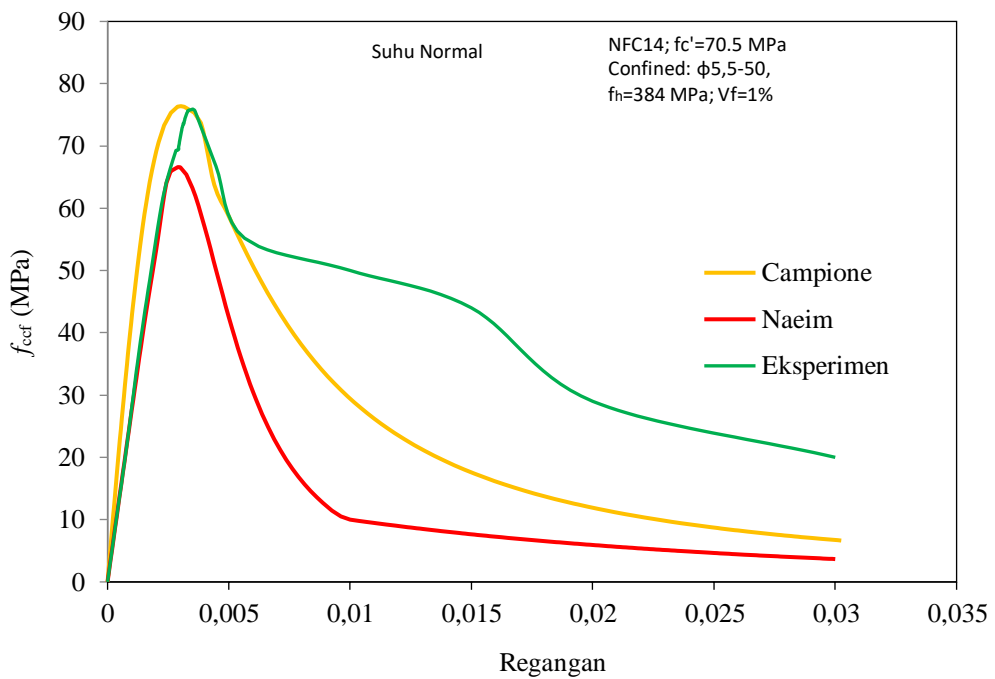
Gambar 5.166 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 50.6 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 1\%$

Gambar 5.165 sampai dengan Gambar 5.166 menunjukkan bahwa untuk beton mutu menengah dengan spasi 50 mempunyai bentuk yang hampir sama antara Model Campion, Model Naeimi dan Model Eksperimen, untuk volume fraksi 0% Model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Naeimi dan Model hasil Eksperimen, volume fraksi 1 % nilai tegangan Model Eksperimen lebih tinggi daripada Model Naeimi dan Model Campion. Nilai regangannya pada volume fraksi 0% dan 1% Model Campion lebih landai setelah pasca puncak.

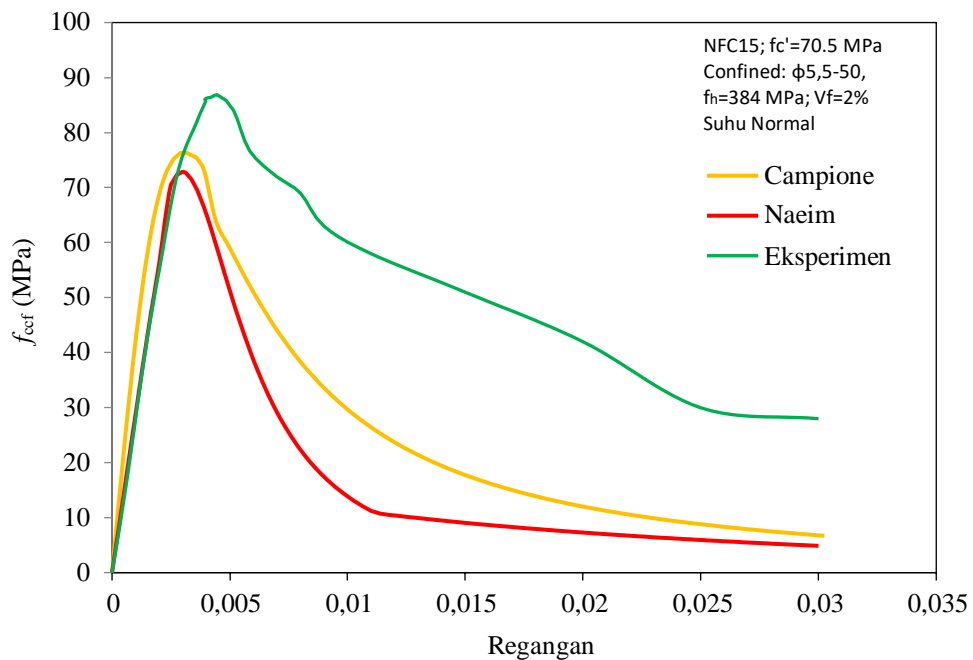
Gambar 5.167 sampai dengan Gambar 5.169 menunjukkan bahwa untuk beton mutu tinggi dengan spasi 50 dengan untuk volume fraksi 0% Model Campion mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Model Naeimi dan Model hasil Eksperimen, volume fraksi 1 % nilai tegangan Model Campion dan Model Eksperimen sama besar daripada Model Naeimi dan untuk volume fraksi 2% Model Eksperimen mempunyai nilai tegangan yang lebih tinggi sedangkan Nilai regangannya pada volume fraksi 0%, 1% dan 2% Model Eksperimen lebih landai setelah pasca puncak.



Gambar 5.167 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen
 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 0\%$



Gambar 5.168 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen
 Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 1\%$



Gambar 5.169 Model Kekangan Beton Berserat Baja Dengan Hasil Eksperimen Untuk Mutu Beton 70.5 MPa Spasi 50 dengan $V_f = 2\%$

Berdasarkan perbandingan tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Prediksi tegangan puncak beton terkekang yang dinyatakan dalam nilai K berdasarkan model usulan Naeim relatif tidak berbeda jauh dengan hasil eksperimen (Gambar 5.155 s/d Gambar 5.169). Namun prediksi nilai K berdasarkan model Campione cenderung akurat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.158 s/d Gambar 5.169.
2. Perilaku pasca puncak model-model kekangan eksisting berbeda signifikan dengan perilaku pasca puncak hasil eksperimen.
3. Model kekangan beton berserat baja terhadap durasi pembakaran belum ada, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen spesimen terkekang pasca bakar.
4. Berdasarkan hasil no. 1, 2 dan 3 di atas, maka diperlukan pengembangan maupun modifikasi model kekangan beton berserat baja pada suhu normal/tak dibakar dan pasca bakar dari data-data penelitian ini.

5.5. Pengembangan Model Kekangan pada Kondisi Tidak Dibakar dan Pasca Bakar

Model tegangan-regangan beton tak terkekang yang telah dikembangkan pada sub bab 5.1.10 dijadikan sebagai basis untuk pengembangan model analitik beton terkekang.

5.5.1. Kondisi Beton Suhu Normal (Tidak Dibakar)

Kurva Tegangan-Regangan mengadopsi persamaan usulan dari Popovics, karena sudah digunakan secara luas sebagai basis untuk menggambarkan perilaku tegangan-regangan beton terkekang. Persamaan tersebut adalah:

$$\frac{f_{co}^F}{f_{cc}^F} = \frac{\beta \left(\frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cc}^F} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cc}^F} \right)} \dots \dots \dots 5.14$$

Dimana:

f_{co}^F = tegangan beton tanpa kekang

$$f_{co}^F = 0,85 f_{ct}^F \dots \dots \dots 5.15$$

β = faktor yang mempengaruhi bentuk kurva, dimana:

untuk $V_f = 0\%$ (tanpa fiber)

$$\beta = (0,536 - 0,5754V_f) f_c' \dots \dots \dots 5.16$$

untuk $V_f \neq 0$ (dengan fiber)

$$\beta = 0.5811 + 1,93 (RI)^{-0,7406} \dots \dots \dots 5.17$$

f_c' merupakan nilai kuat tekan beton spesimen 150x300 mm pada umur 28 hari. RI adalah *Reinforced Indeks* dimana:

$$RI = 3,2 \cdot V_f \cdot (l/d) \dots \dots \dots 5.18$$

l = panjang serat

d = diameter serat

Berdasarkan Nataraja (1999) akibat penambahan serat, tegangan dan regangan puncak beton tak terkekang dipengaruhi oleh *Reinforcing Index*, yaitu:

$$f_{cf}' = f_{co}' + 2,1604 (RI) \dots\dots\dots 5.19$$

$$\varepsilon_{cf}' = \varepsilon_{co}' + 0,0006 (RI) \dots\dots\dots 5.20$$

dimana:

f_{cf}' = tegangan puncak beton fiber tidak terkekang

ε_{cf}' = regangan puncak beton fiber tidak terkekang

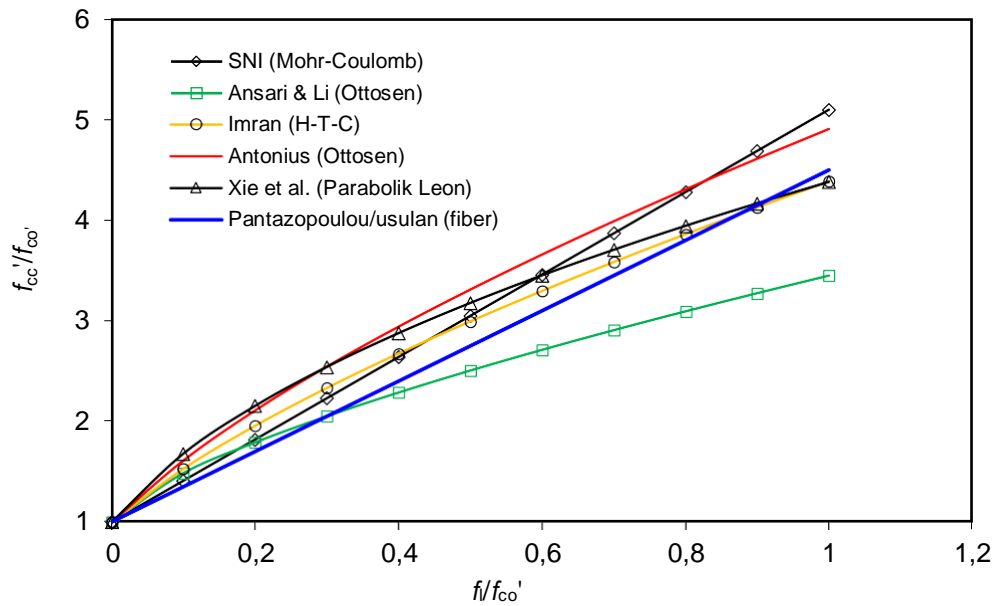
ε_{co}' adalah regangan puncak beton normal (tak terkekang) dan diadopsi berdasarkan usulan Antonius (2000) yaitu:

$$\varepsilon_{cof}' = 0,0004 (f_c')^{0,45} \dots\dots\dots 5.21$$

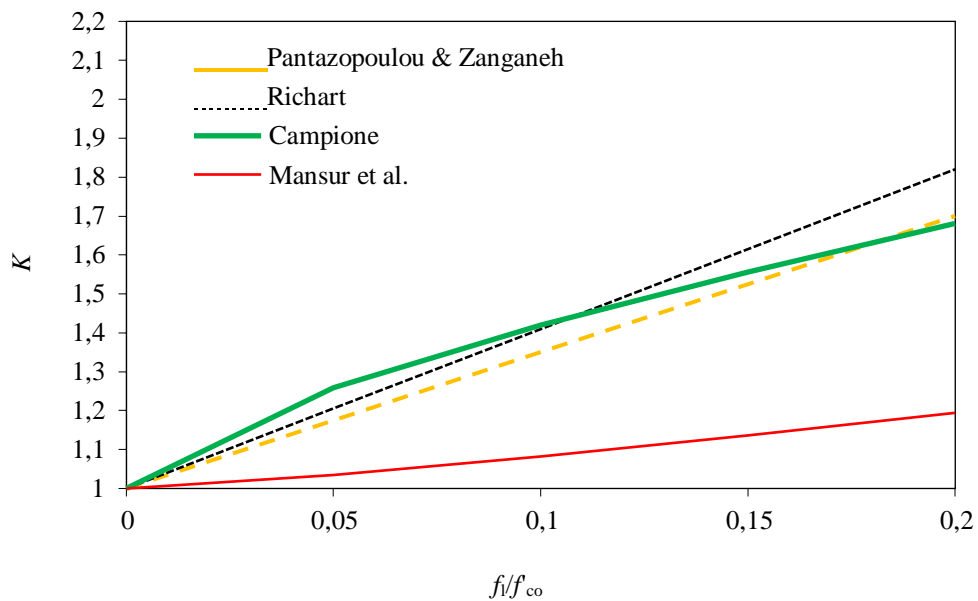
Pantazopoulou & Zanganeh (2001) melakukan pengujian triaksial untuk beton berserat dengan kekangan aktif. Hasil pengujian tersebut adalah bahwa tegangan puncak beton berserat terkekang dapat didekati secara linier, dan persamaan tersebut dipakai di dalam pengembangan model ini sebagai berikut:

$$f_{ccf}' = f_{cf}' \left(1 + 3,5 \frac{f_{le}}{f_{cf}'}\right) \dots\dots\dots 5.22$$

f_l adalah tegangan lateral akibat tulangan pengekang, yang memanfaatkan aksi busur kekangan akibat adanya tekanan lateral. Gambar (5.170) adalah kurva *strength envelope* yang menggambarkan nilai peningkatan kekuatan beton terkekang (K) terhadap tegangan lateral yang dinormalisasi terhadap beton tak terkekang. Selain persamaan yang digunakan di dalam usulan model ini, persamaan usulan yang lain diturunkan dari hasil pengujian beton tanpa serat untuk mutu normal hingga mutu tinggi. Terlihat dari gambar tersebut bahwa persamaan yang diadopsi di dalam model usulan ini tidak berbeda jauh dalam peningkatan nilai K dibandingkan persamaan lainnya. Persamaan usulan mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan yang digunakan di dalam Standar Beton Indonesia yaitu SNI-2847-2019 (persamaan linier) sebagai dasar untuk menentukan rasio volumetric tulangan pengekang berdasarkan beban statik. Jika dibandingkan dengan persamaan nilai K lainnya khususnya untuk beton berserat, terlihat bahwa persamaan usulan ini cukup moderat, dimana kurva *strength envelope* masih lebih tinggi dari persamaan usulan Mansur (Gambar 5.171).



Gambar 5. 170. Kurva *Strength Envelope* Beton Terkekang dari Berbagai Usulan



Gambar 5.171 *Strength Envelope Curve* untuk Nilai K (Beton Berserat)

Selanjutnya tegangan lateral untuk penampang bulat dihitung dengan persamaan berikut:

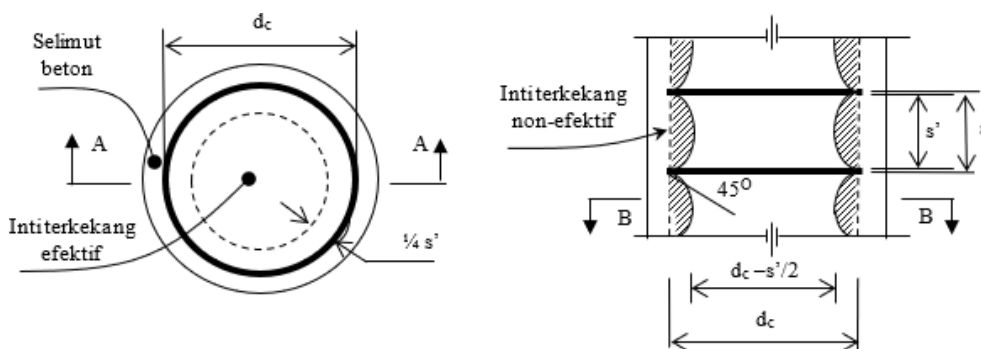
$$f_1 = \frac{2 \cdot A_{sh} \cdot f_y}{s \cdot d_c} \dots \dots \dots 5.23$$

Tegangan lateral tersebut di atas dipengaruhi oleh luas area kekangan efektif, sehingga tegangan lateral yang terjadi menjadi Tegangan Lateral Effektif:

$$f_{le} = k_e \cdot f_l \dots\dots\dots 5.24$$

Dimana k_e = efektifitas kekangan, untuk sengkang/*hoop* bulat:

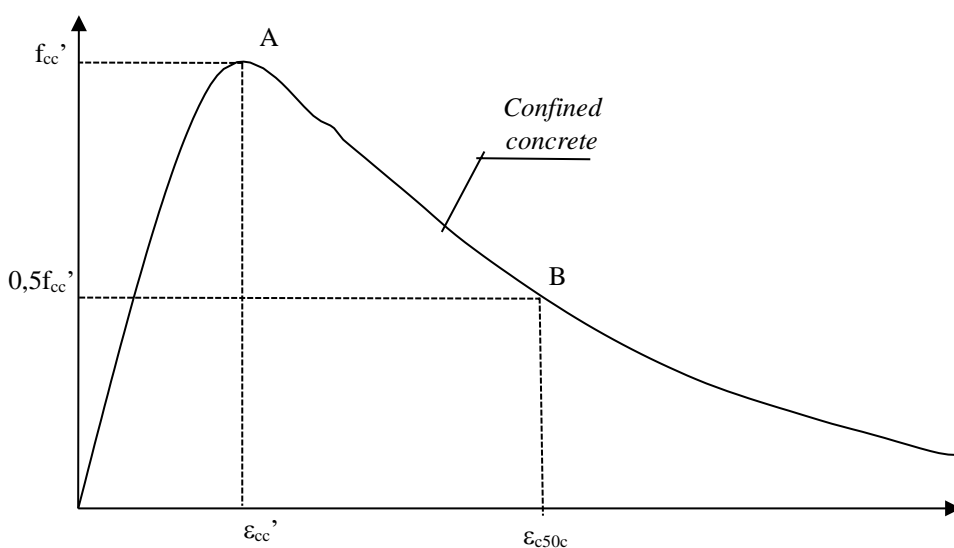
$$k_e = \frac{(1 - \frac{AF^2}{2d_c})}{1 - \rho_{cc}} \dots\dots\dots 5.25$$



Gambar 5.172. Efektifitas Kekangan (Mander, 1988)

5.5.2. Kondisi Beton Pasca Bakar

Karena pengaruh/efek pembakaran cenderung merusak dan menurunkan kualitas beton maupun tulangan, maka perilaku pasca puncak mempunyai deviasi yang cukup besar jika menggunakan persamaan (5.14), terutama dalam perilaku pasca puncak. Oleh sebab itu kurva tegangan-regangan beton berserat baja pasca bakar dibagi menjadi dua bagian yaitu kurva sebelum puncak (*ascending branch*) atau $\epsilon_c \leq \epsilon_{ccft}$, dan kurva pasca puncak (*descending branch*) atau $\epsilon_c > \epsilon_{ccft}$. Gambar 5.173 adalah model kekangan beton berserat pasca bakar.



Gambar 5.173. Model Perilaku Tegangan-Regangan Beton Terkekang

Persamaan (5.14) adalah kurva sebelum puncak atau berlaku untuk $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{ccft}$.

Untuk pasca puncak (*descending branch*) atau $\varepsilon_c > \varepsilon_{ccft}$:

$$f_c = f_{ccft} \exp[k_1(\varepsilon_c - \varepsilon_{ccft}')^{k_2}] \dots \dots \dots 5.26$$

Dimana:

$$k_1 = \frac{\ln 0,5}{s_{ccf50} - s_{ccf_t}^F} \dots \dots \dots 5.27$$

ε_{ccf50} merupakan hasil regresi data eksperimental dari pengujian yaitu:

- Untuk t = 1 jam (Gambar 5.173)

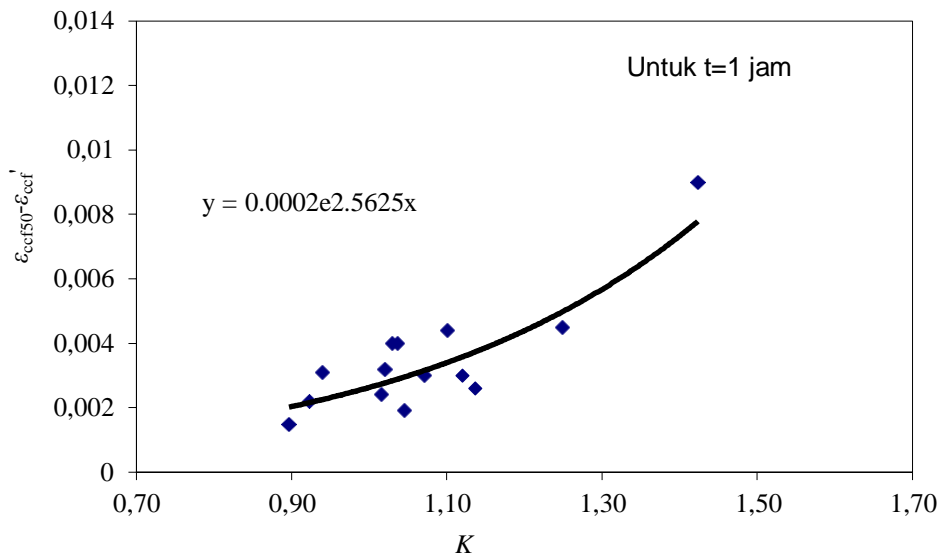
$$\varepsilon_{cc50f} = \varepsilon_{ccf}' + 0,002 \cdot e^{2,6K} \dots \dots \dots 5.28$$

- Untuk t = 2 jam (Gambar 5.174):

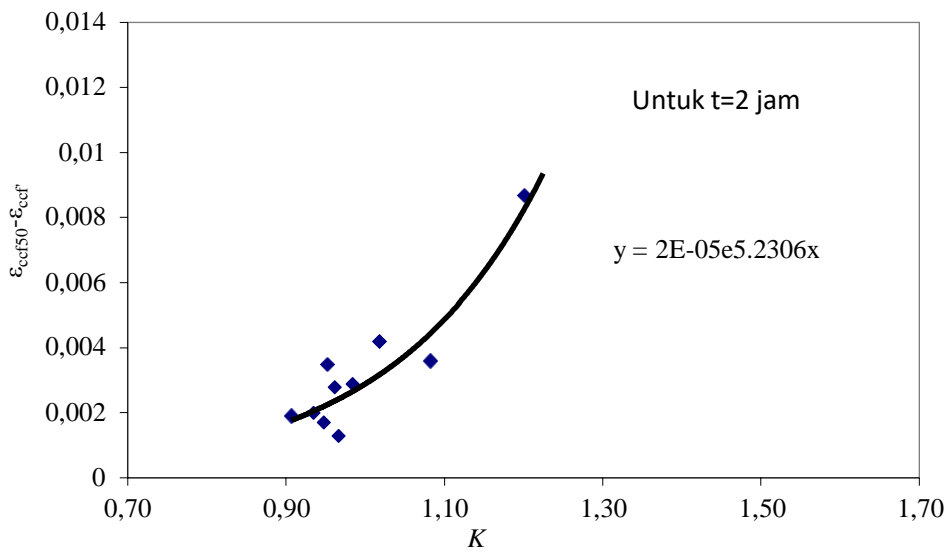
$$\varepsilon_{cc50f} = \varepsilon_{ccf}' + 2,10 \cdot 10^{-5} \cdot e^{5,2K} \dots \dots \dots 5.29$$

- Untuk t = 3 jam (Gambar 5.175):

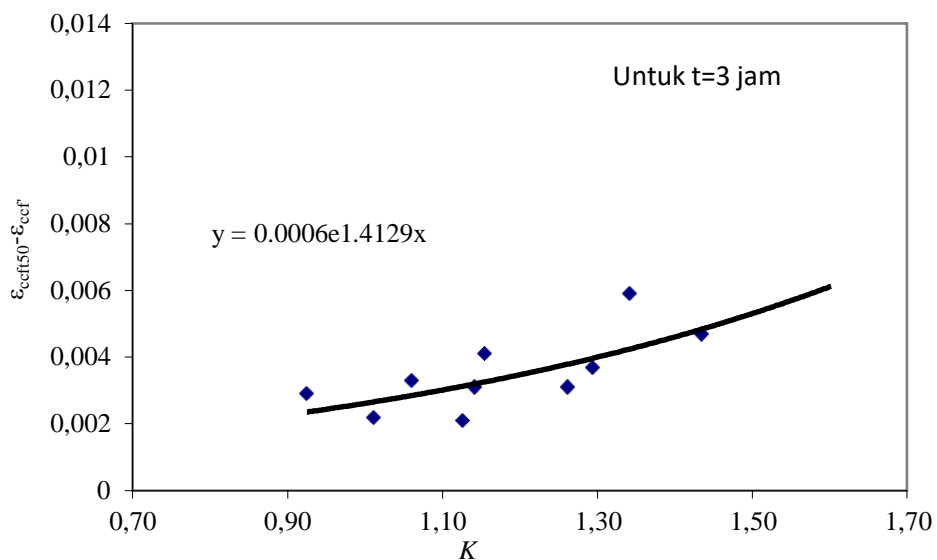
$$\varepsilon_{cc50f} = \varepsilon_{ccf}' + 0,006 \cdot e^{1,4K} \dots \dots \dots 5.30$$



Gambar 5.173. Regresi Nilai ε_{ccf50} untuk Pembakaran 1 jam



Gambar 5.174. Regresi Nilai ϵ_{ccf50} untuk Pembakaran 2 jam



Gambar 5.175. Regresi Nilai ϵ_{ccf50} untuk Pembakaran 3 jam

Persamaan Lima & Giongo digunakan untuk memprediksi nilai k_2 yaitu:

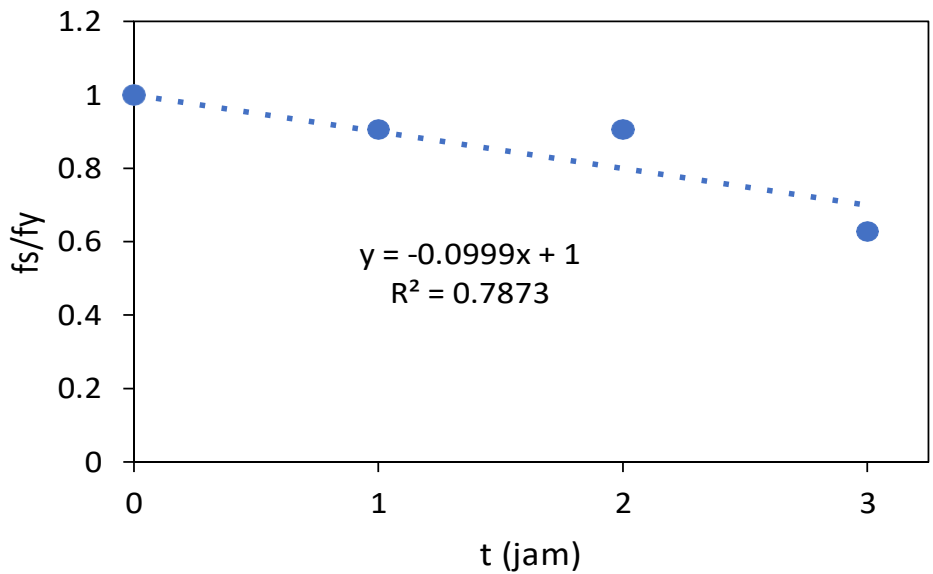
$$k_2 = 1,3344, -8,864 \left(\frac{f_{le}}{f_{co}^F}\right) + 41,55 \left(\frac{f_{le}}{f_{co}^F}\right)^2 + 0,525 \left(\frac{f_{le}}{f_{co}^F}\right)^{0,789} \dots\dots\dots 5.31$$

Selama pembakaran benda uji kuat tekan beton mengalami penurunan dan regangan puncak mengalami peningkatan, dalam hal ini mempunyai perilaku yang sama untuk beton tanpa kekang sehingga dari regresi linear data eksperimental

tegangan puncak dan regangan puncak tanpa kekang terhadap lamanya pembakaran telah diturunkan pada persamaan (5.8), (5.9), (5.10), (5.11), (5.12) dan (5.13).

Persamaan tegangan leleh tulangan pengekrang (*hoop*) berdasarkan lamanya pembakaran didekati berdasarkan hasil regresi linier sebagai berikut (Gambar 5.176):

$$\frac{f_s}{f_y} = 1 - 0,0999t \dots\dots\dots 5.32$$



Gambar 5.176. Regresi Tulangan Pengekrang

Persamaan (5.7) adalah regangan puncak beton fiber kondisi tidak dibakar. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa regangan puncak beton terkekang mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran. Oleh sebab itu regangan puncak beton terkekang pasca bakar diprediksi dengan pendekatan regresi linier sebagai berikut:

Untuk $V_f=0\%$ (Gambar 5.177):

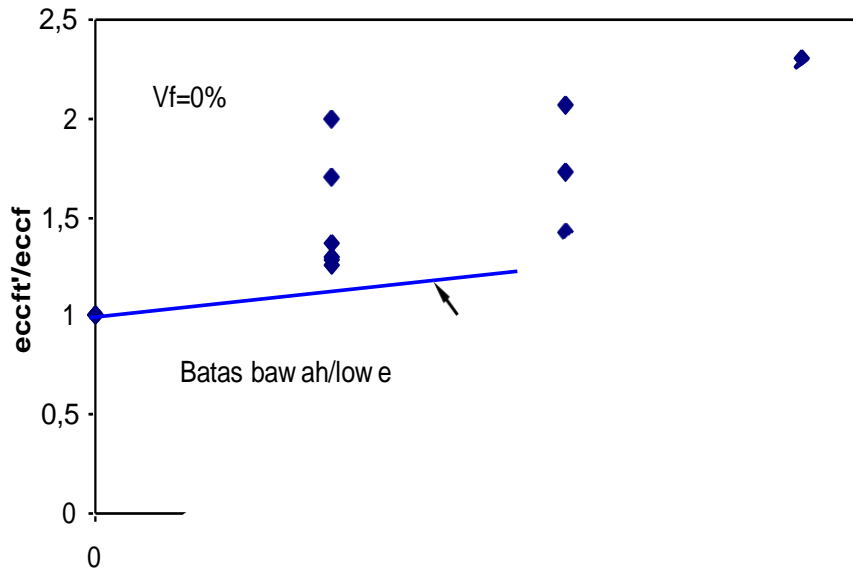
$$\frac{s_{cft}'}{s_{cft}} = 1 + 0.1333t \dots\dots\dots 5.33$$

Untuk $V_f=1\%$ (Gambar 5.178):

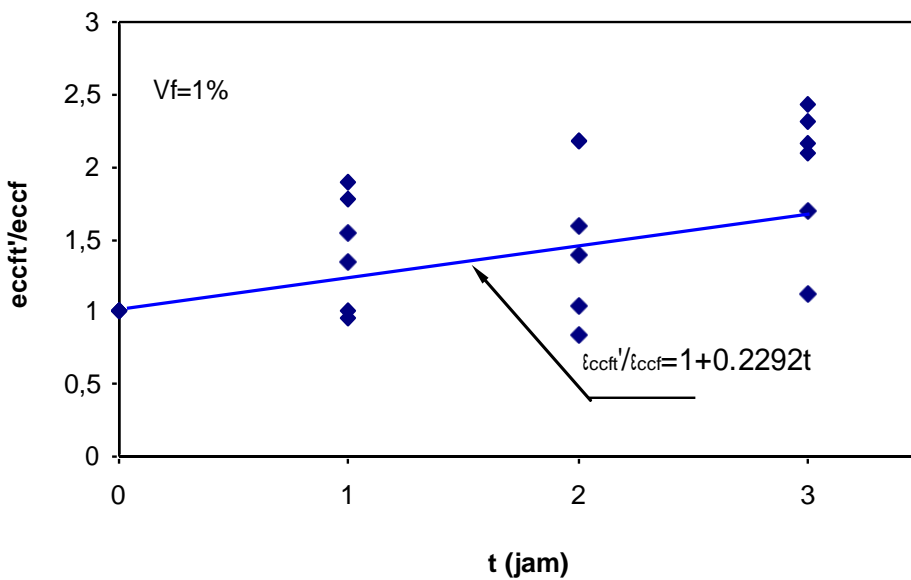
$$\frac{s_{cft}'}{s_{cft}} = 1 + 0.2292t \dots\dots\dots 5.34$$

Untuk $V_f = 2\%$ (Gambar 5.179):

$$\frac{s_{ccft}'}{s_{ccf}} = 1 + 0.2381t \dots\dots\dots 5.35$$



Gambar 5.177. Regresi Regangan Puncak Terhadap Waktu untuk $V_f = 0\%$



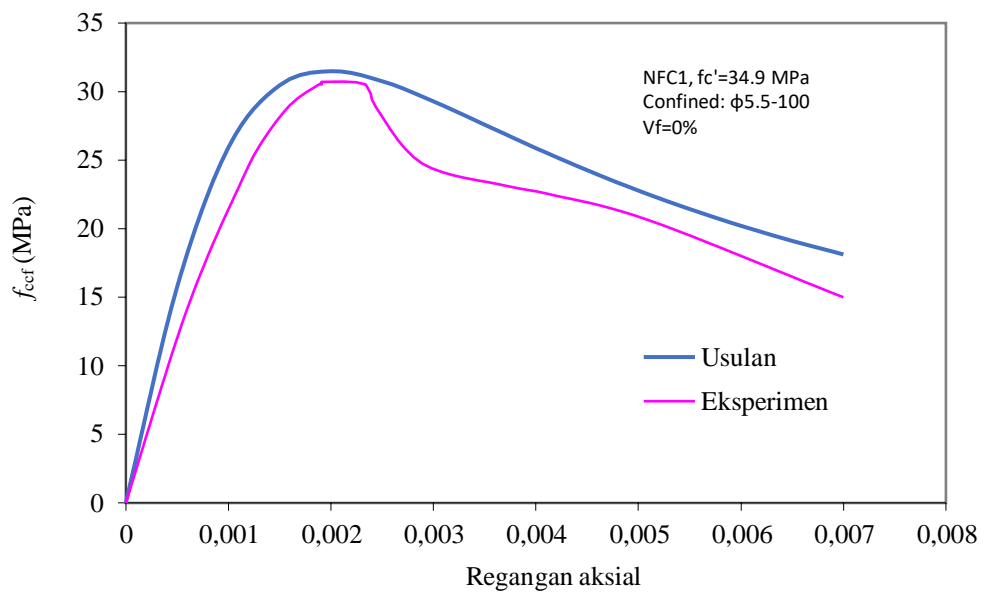
Gambar 5.178. Regresi Nilai ϵ_{ccft}' Terhadap Waktu Pembakaran untuk $V_f=1\%$

Gambar 5.179. Regresi Nilai ε_{ccf} Terhadap Waktu Pembakaran untuk $V_f=2\%$

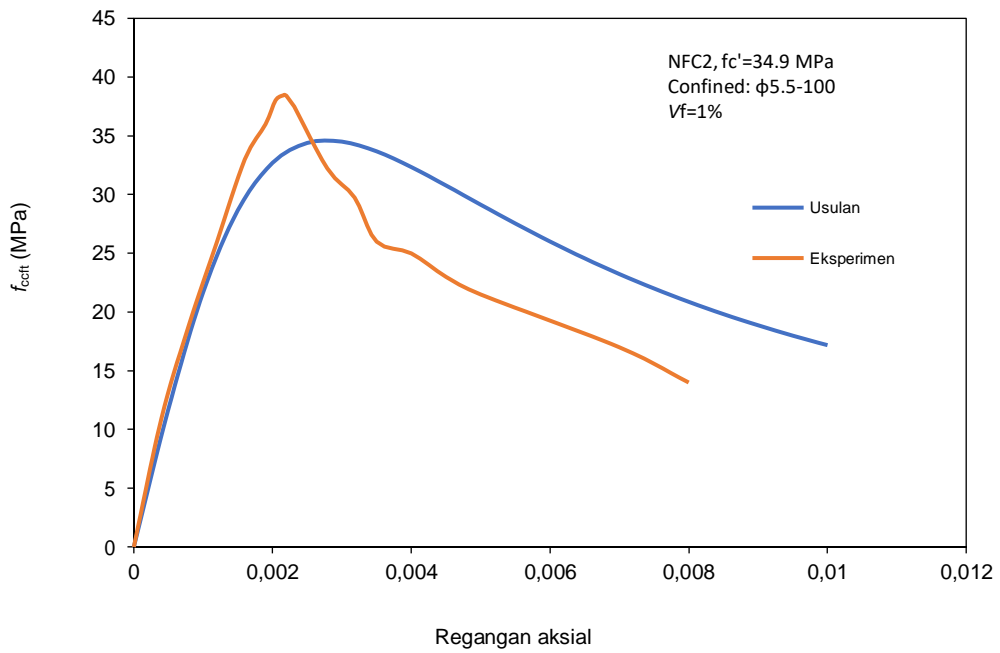
5.5.3. Validasi Model dengan Eksperimen

Model kekangan yang telah dikembangkan di atas selanjutnya divalidasi dengan hasil eksperimen di bawah ini (Gambar 5.180 s/d Gambar 5.248).

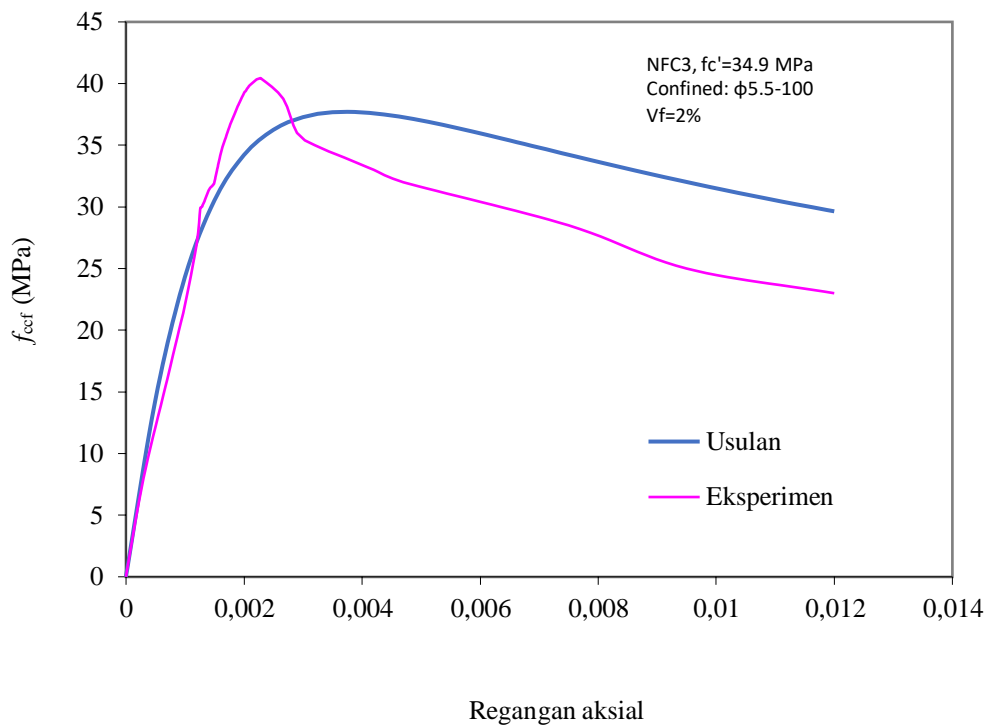
5.5.3.1. Spesimen Suhu Normal (Tanpa Bakar)



Gambar 5.180 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ dan $V_f=0\%$

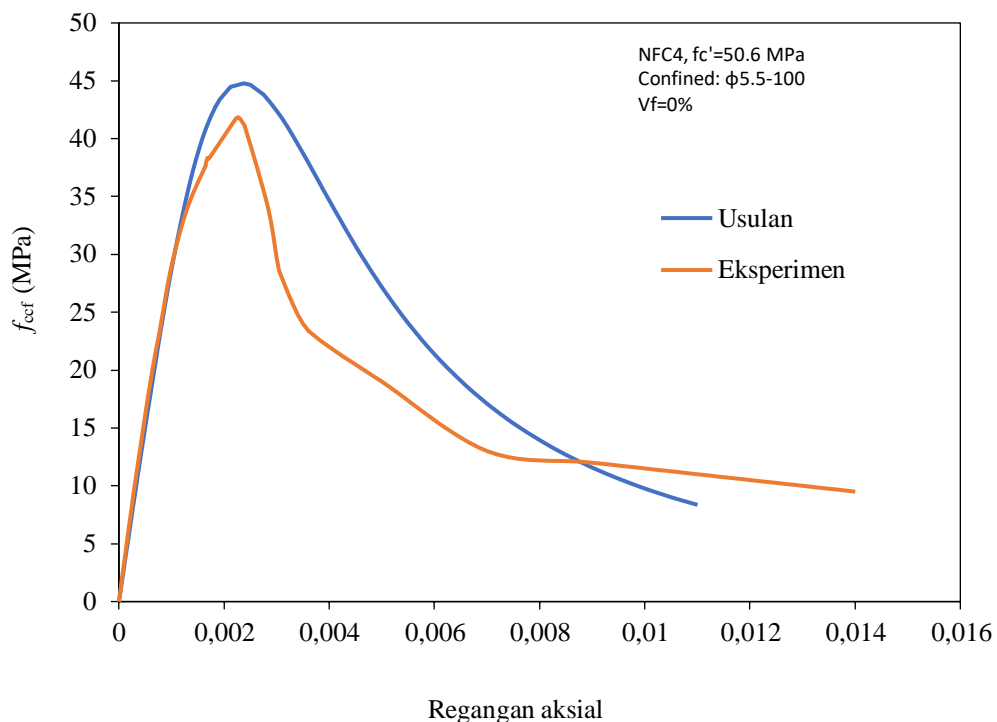


Gambar 5.181 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ dan $V_f = 1\%$



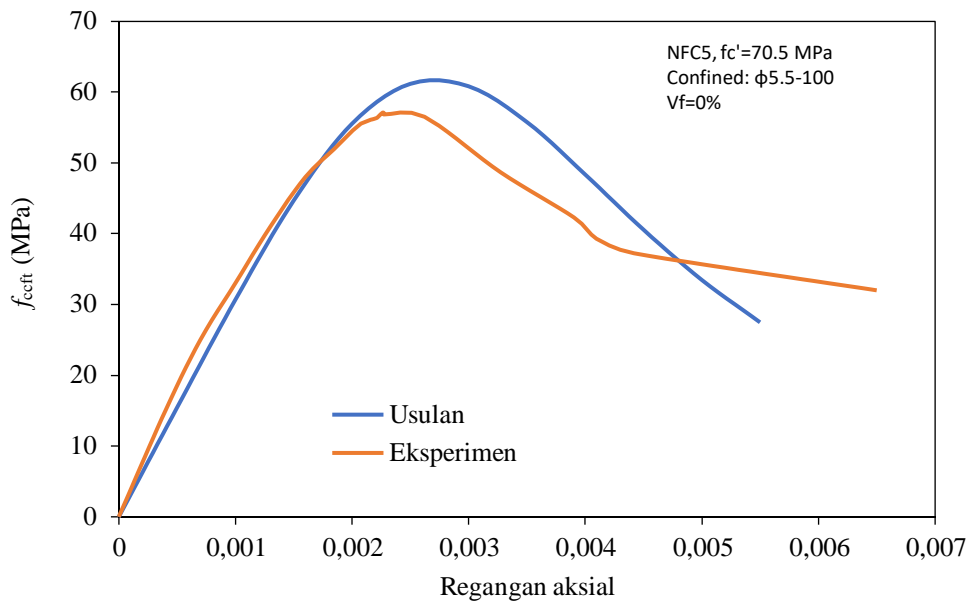
Gambar 5.182 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ dan $V_f = 2\%$

Gambar 5.180 s/d Gambar 5.182 menunjukkan validasi di atas, secara umum model kekangan usulan mampu memprediksi hasil eksperimen dalam perilaku sebelum dan sesudah pasca puncak dengan baik. Pada volume fraksi 0%, perilaku sebelum puncak dan setelah puncak hampir sama, sedangkan pada volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% perilaku sebelum puncak sama hanya Model Eksperimen mempunyai nilai tegangan lebih tinggi dibandingkan usulan, sedangkan pasca puncak Model Eksperimen di bawah Model Usulan.

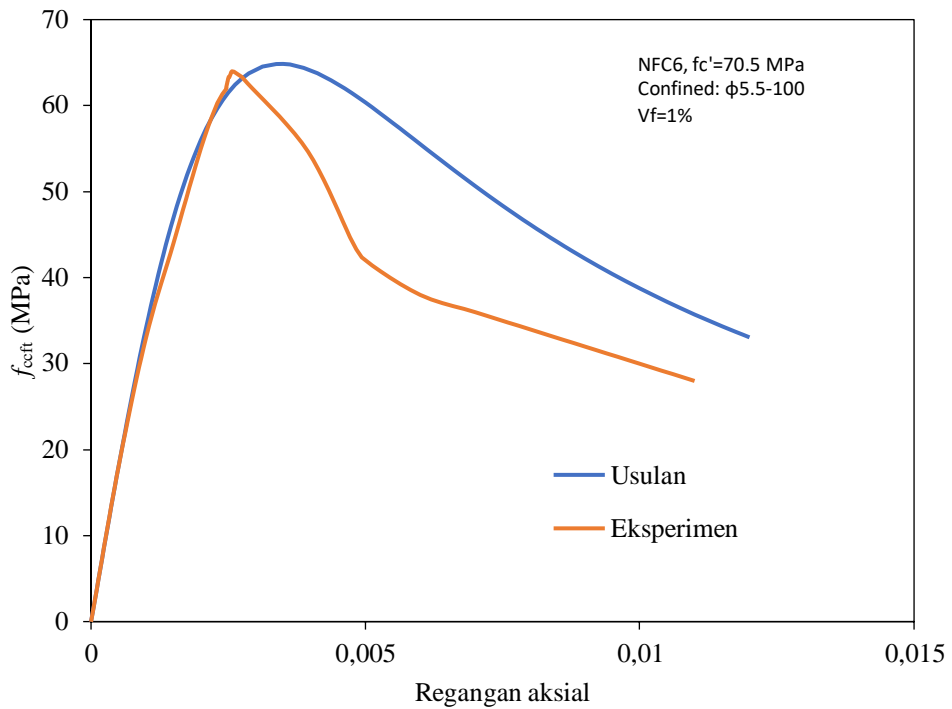


Gambar 5.183. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ dan $V_f = 0\%$

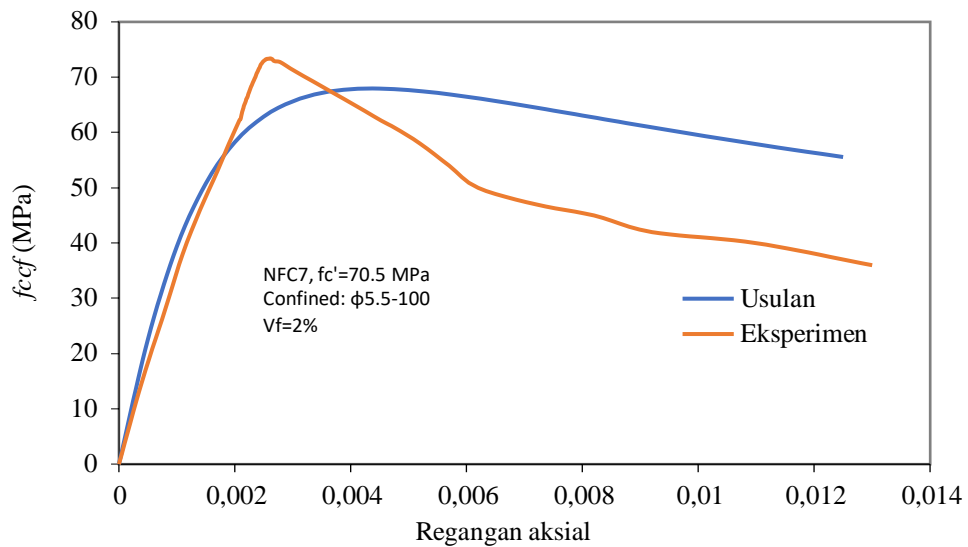
Gambar 5.183 merupakan hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.184. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ dan $V_f = 0\%$

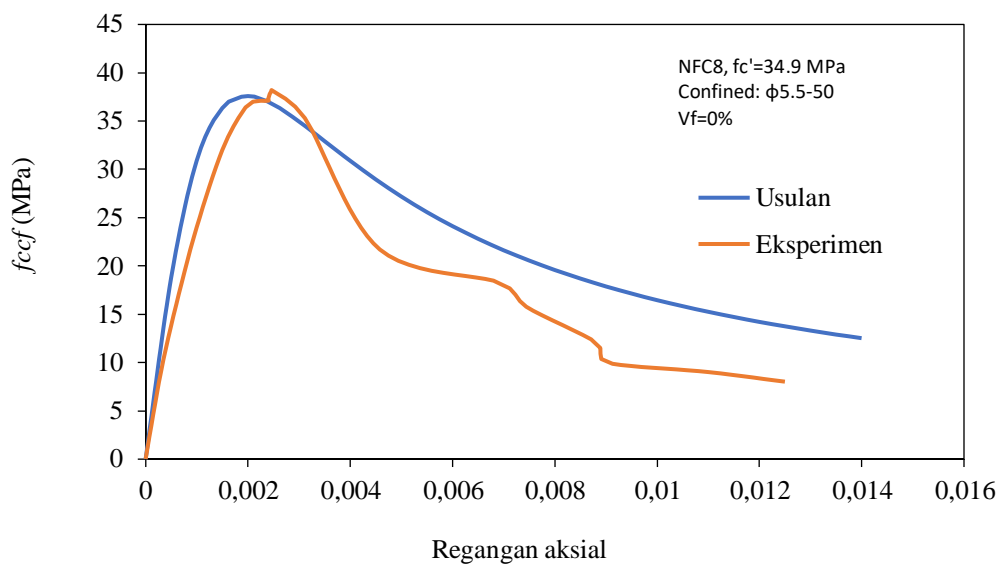


Gambar 5.185. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ dan $V_f = 1\%$

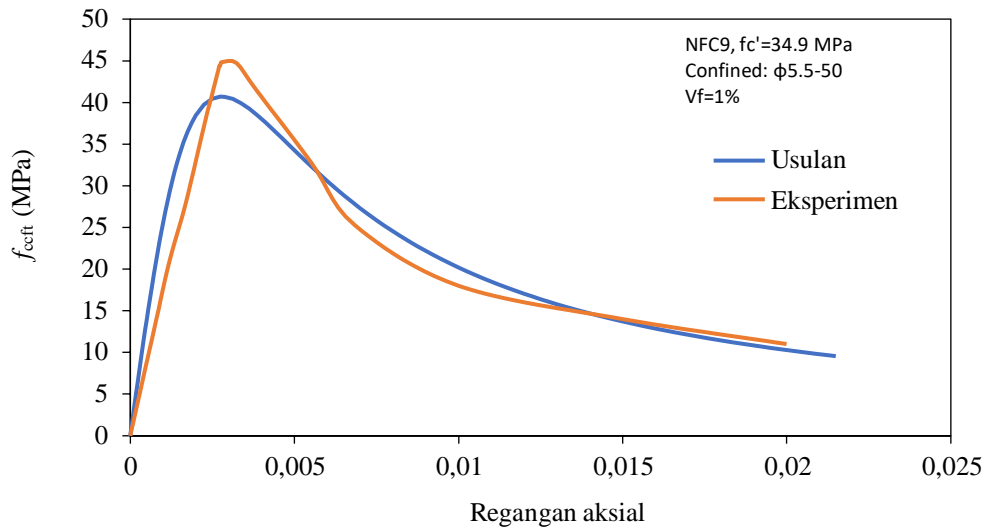


Gambar 5.186. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ dan $V_f = 2\%$

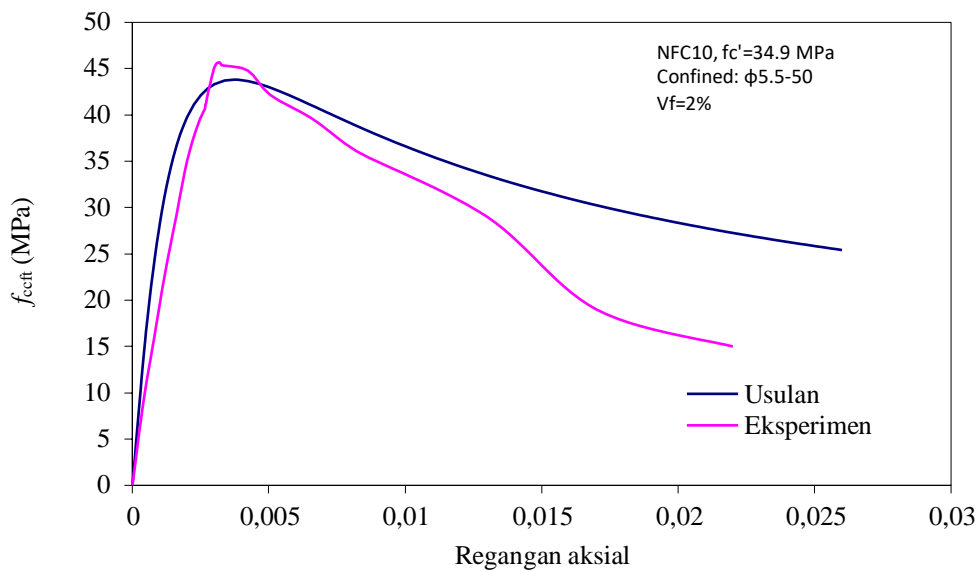
Gambar 5.184 s/d Gambar 5.185 merupakan hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5. 187 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ dan $V_f = 0\%$

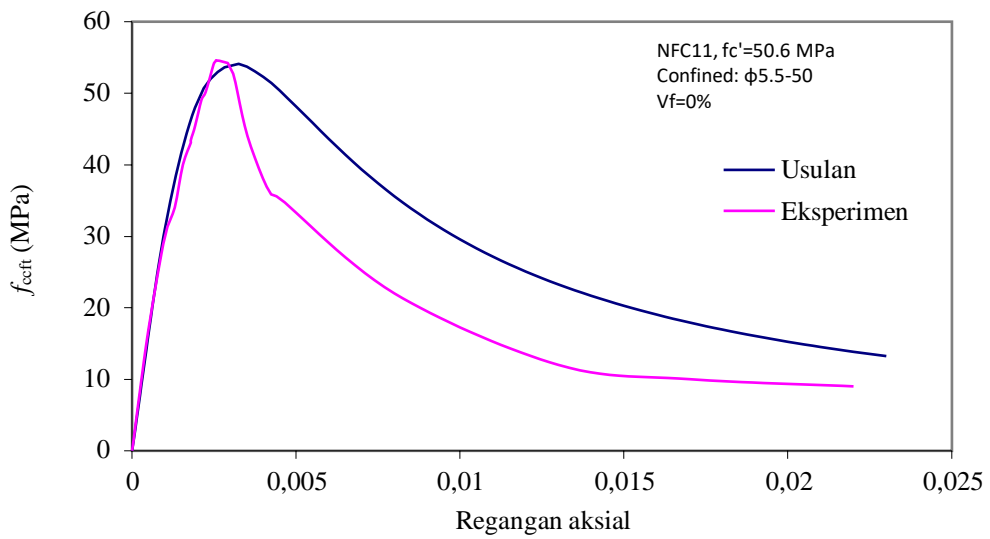


Gambar 5. 188. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ dan $V_f = 1\%$

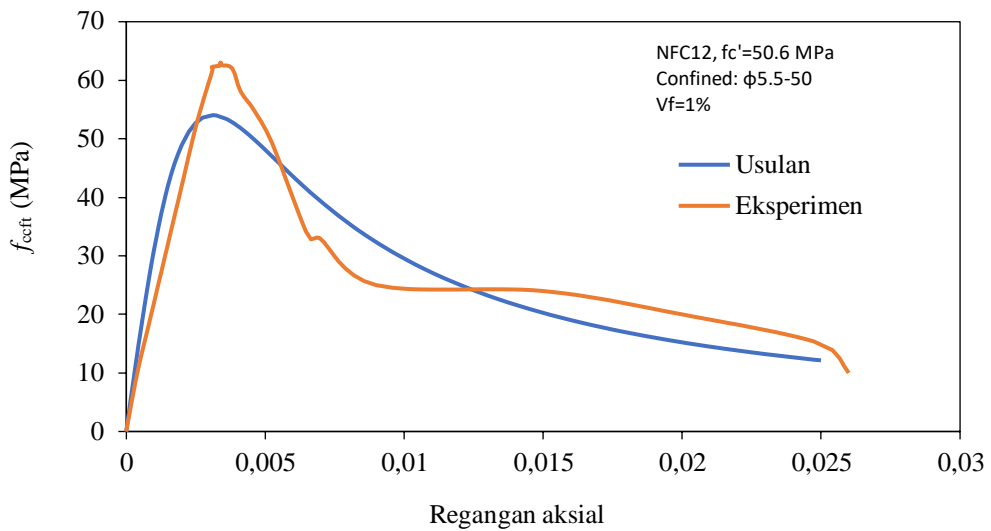


Gambar 5.189. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ dan $V_f = 2\%$

Gambar 5.187 s/d Gambar 5.189 merupakan hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Pada volume fraksi 0% dan 2% hasil Eksperimen masih berada dibawah hasil Usulan, sedangkan untuk volume fraksi 1% untuk sebelum dan sesudah pasca puncak mendapatkan hasil yang sama.

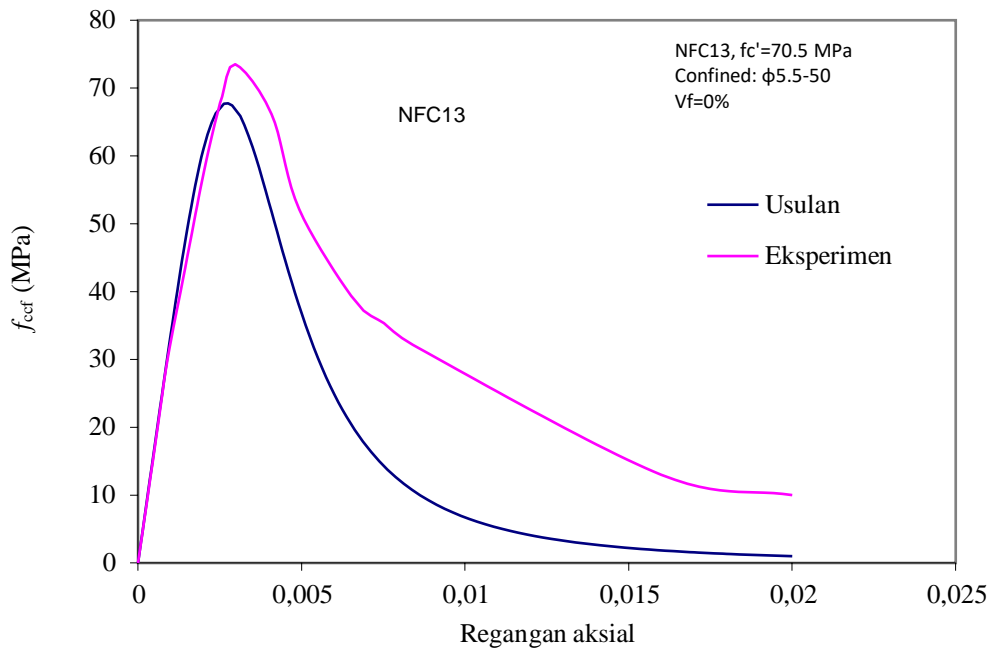


Gambar 5. 190. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ dan $V_f = 0\%$

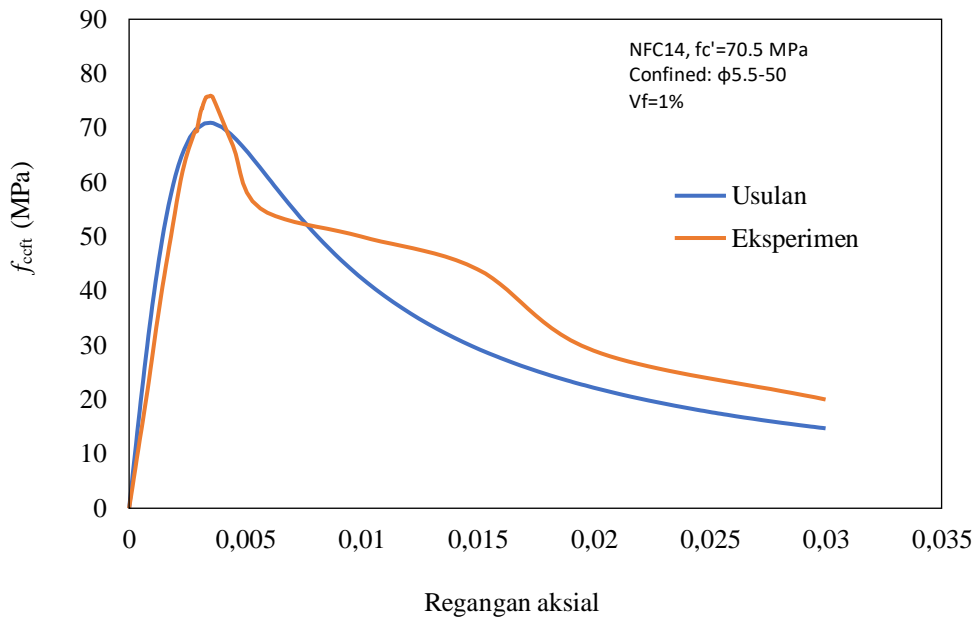


Gambar 5. 191. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ dan $V_f = 1\%$

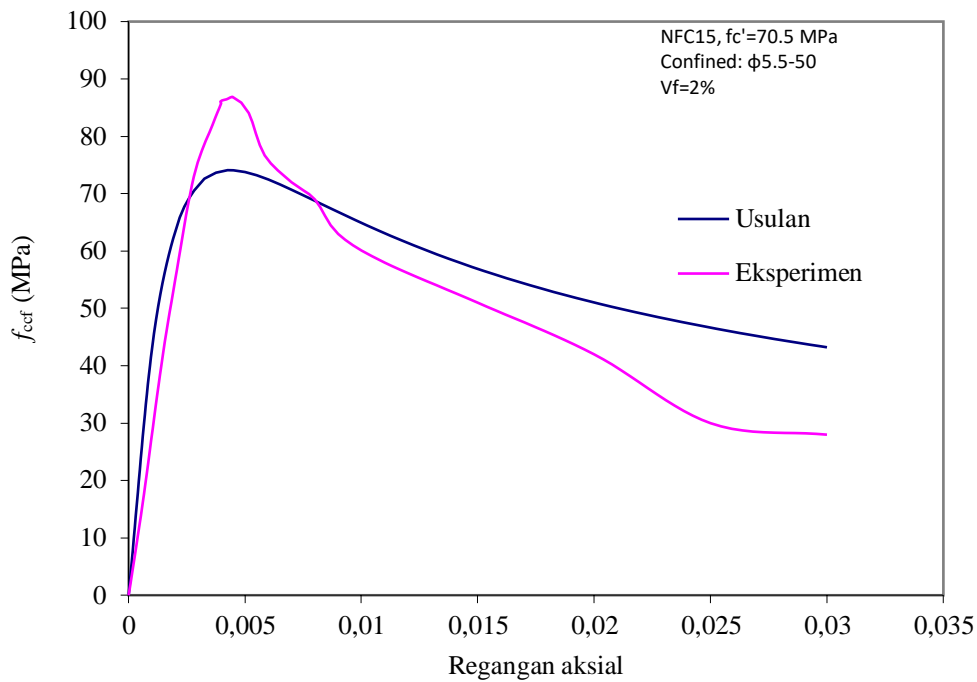
Gambar 5.190 s/d Gambar 5.191 merupakan hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5. 192. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ dan $V_f = 0\%$



Gambar 5. 193 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ dan $V_f = 1\%$

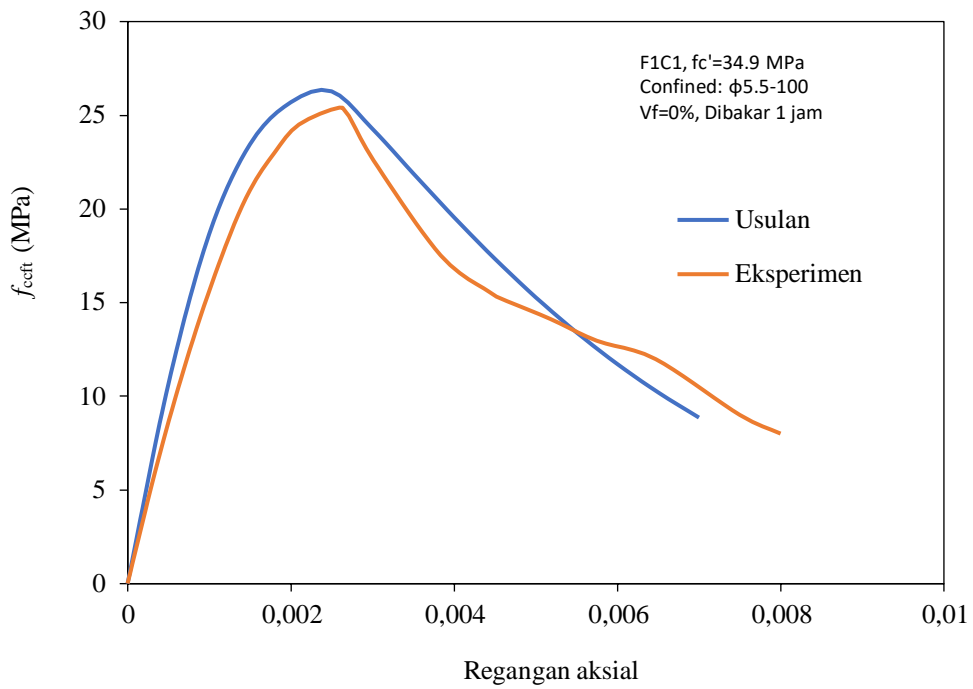


Gambar 5. 194 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ dan $V_f = 2\%$

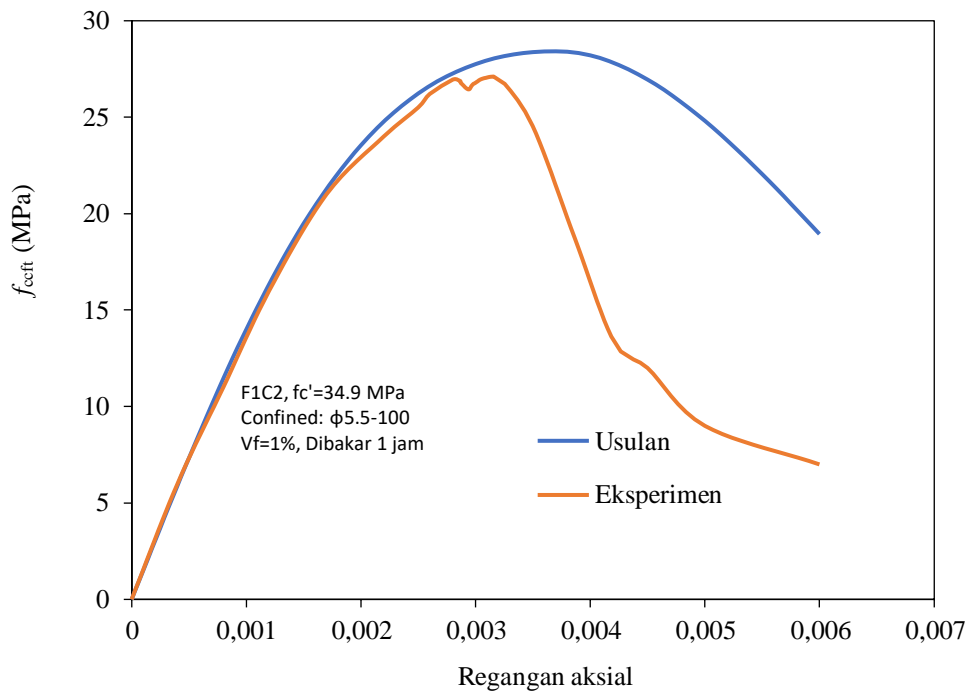
Gambar 5.192 s/d Gambar 5.194 merupakan hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0% dan volume fraksi 1% hasil Eksperimen berada di atas hasil Usulan, sedangkan untuk volume fraksi 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan

5.5.3.2. Spesimen Dibakar 1 jam

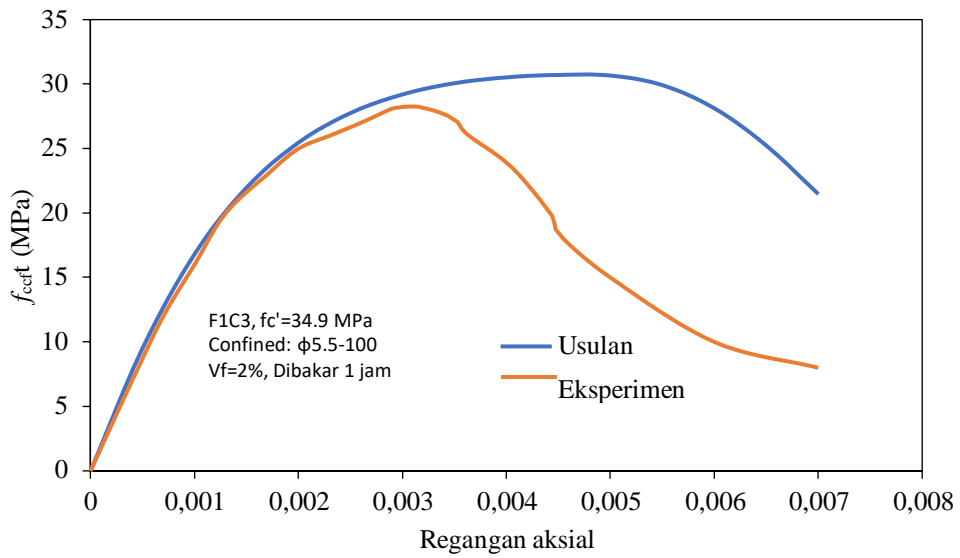
Gambar 5.195 s/d Gambar 5.212 menyajikan validasi model kekangan usulan dengan hasil eksperimen spesimen yang dibakar 1 jam.



Gambar 5.195. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 0\%$

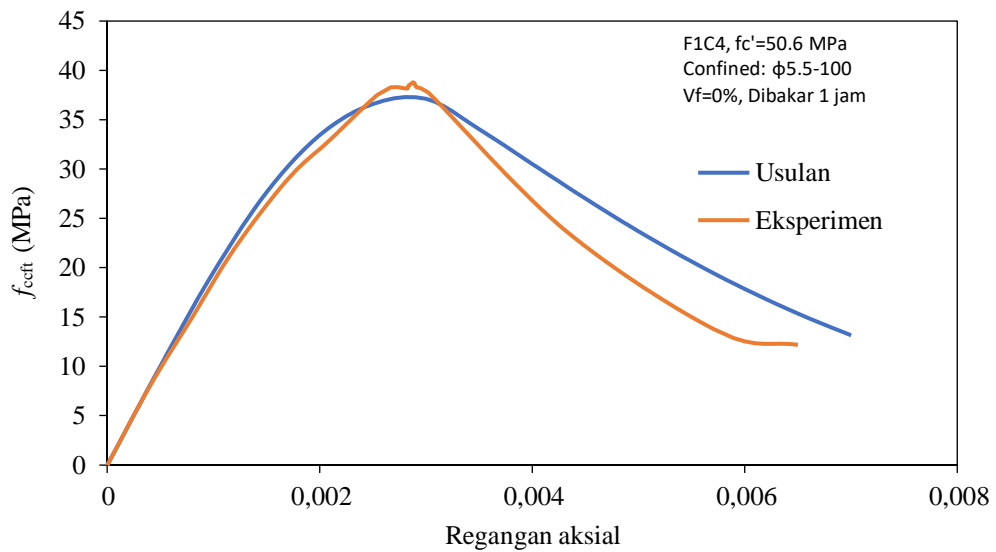


Gambar 5.196. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 1\%$

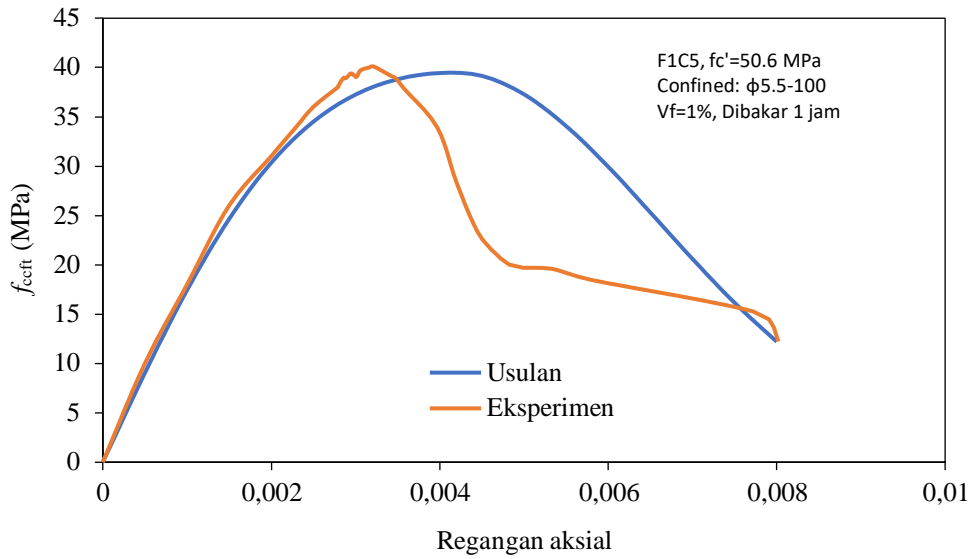


Gambar 5.197. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 2\%$

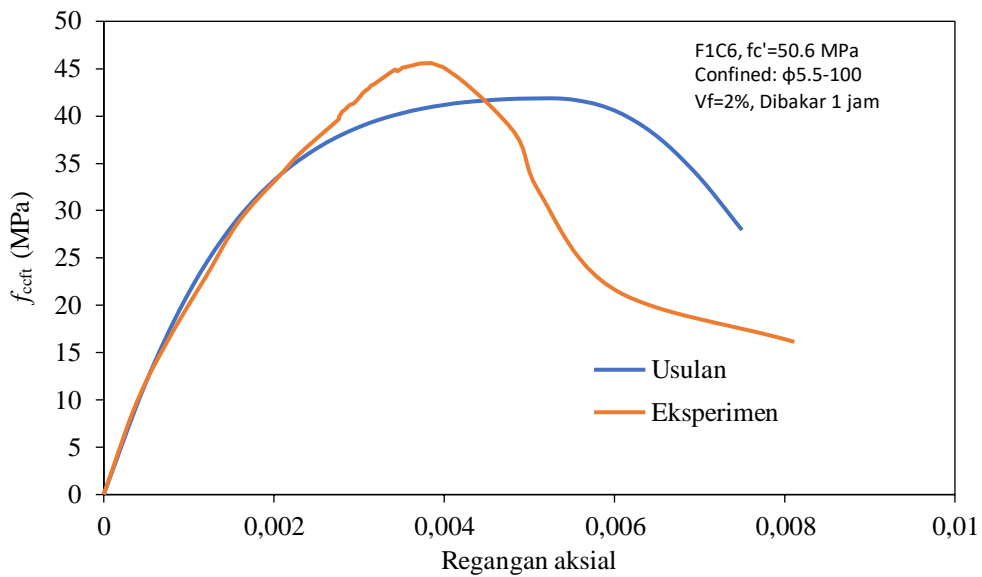
Gambar 5.195 s/d Gambar 5.197 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.198. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$

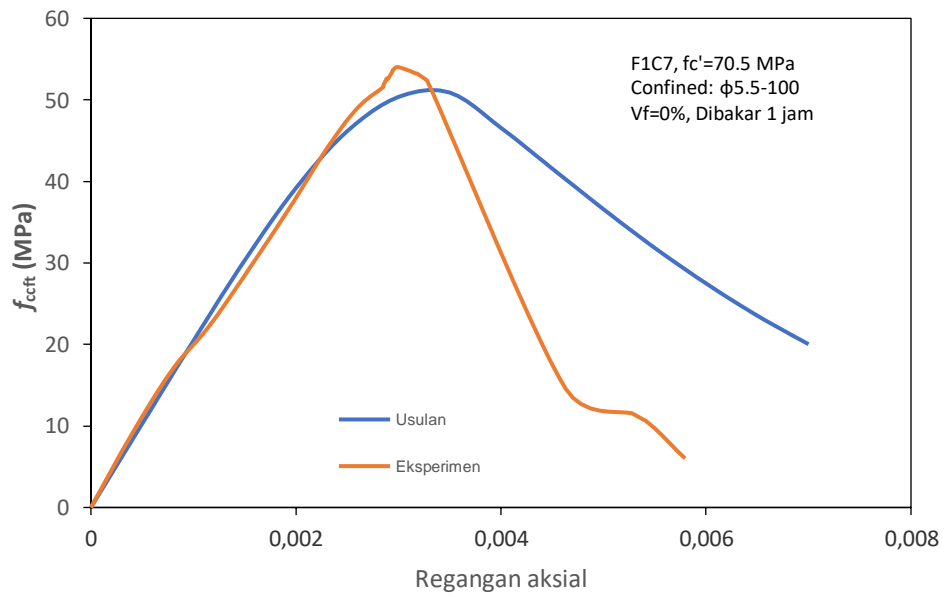


Gambar 5.199 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$

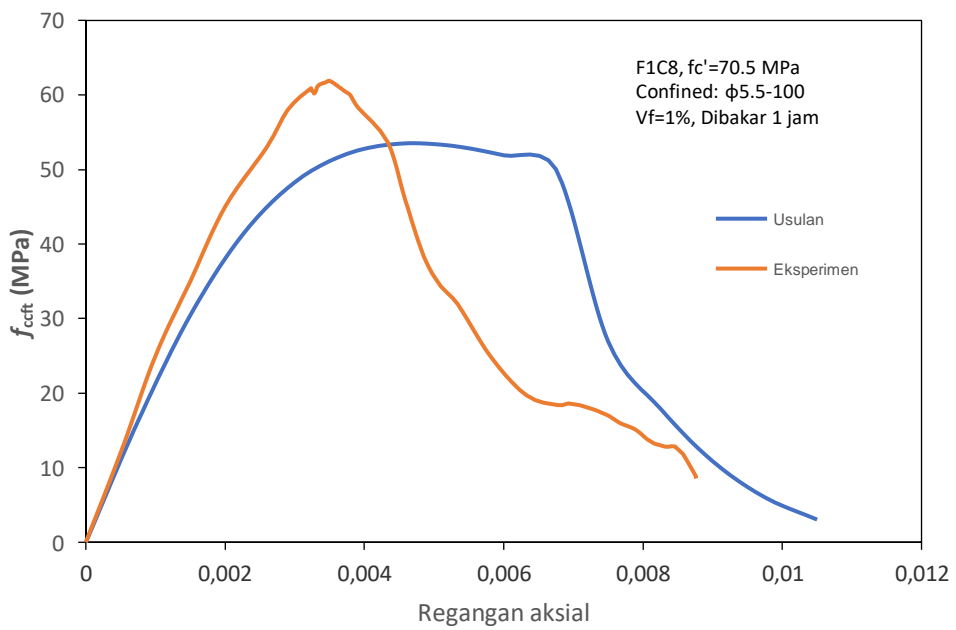


Gambar 5.200. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$

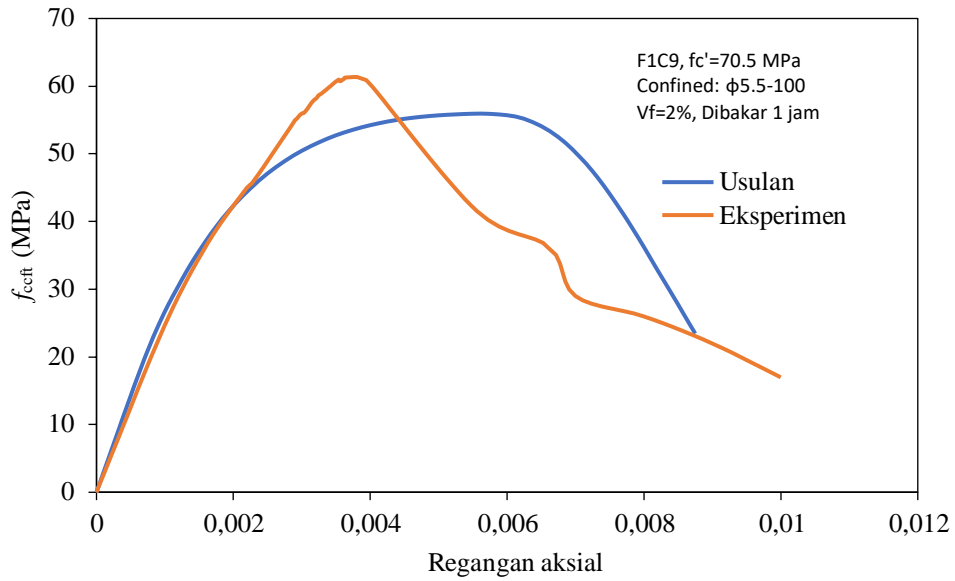
Gambar 5.198 s/d Gambar 5.200 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.201. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$

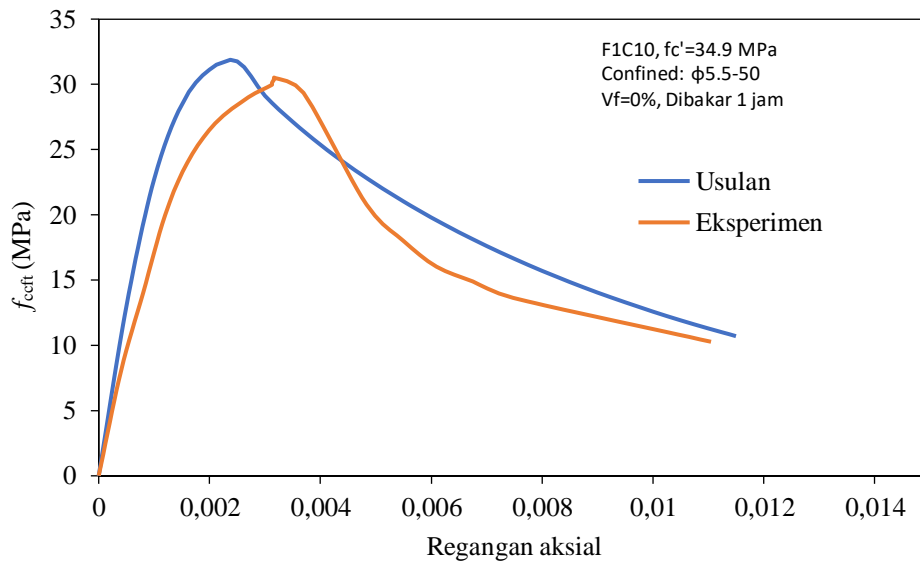


Gambar 5.202. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 Dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$

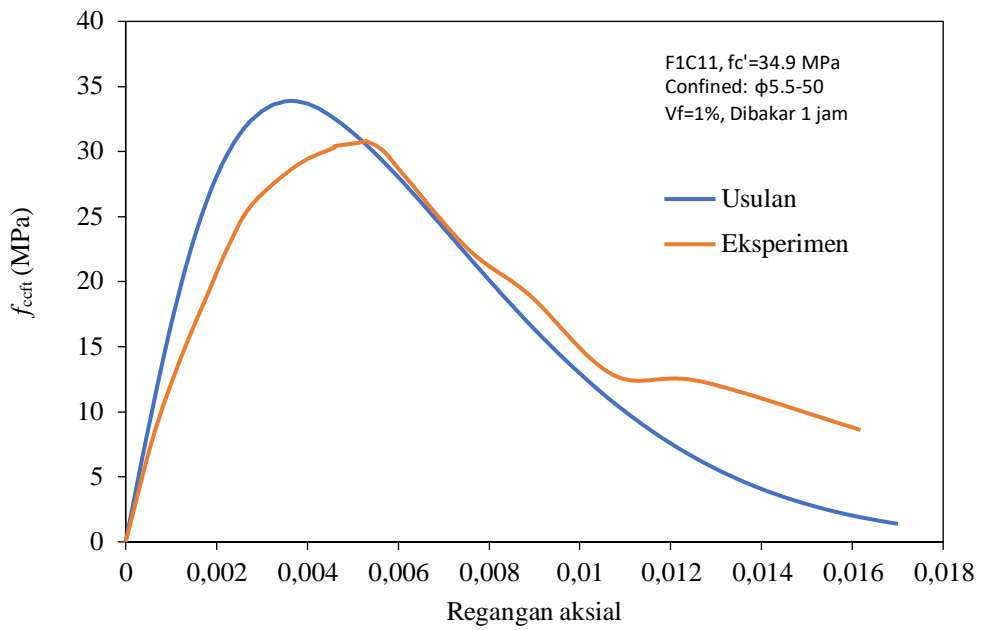


Gambar 5.203. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$

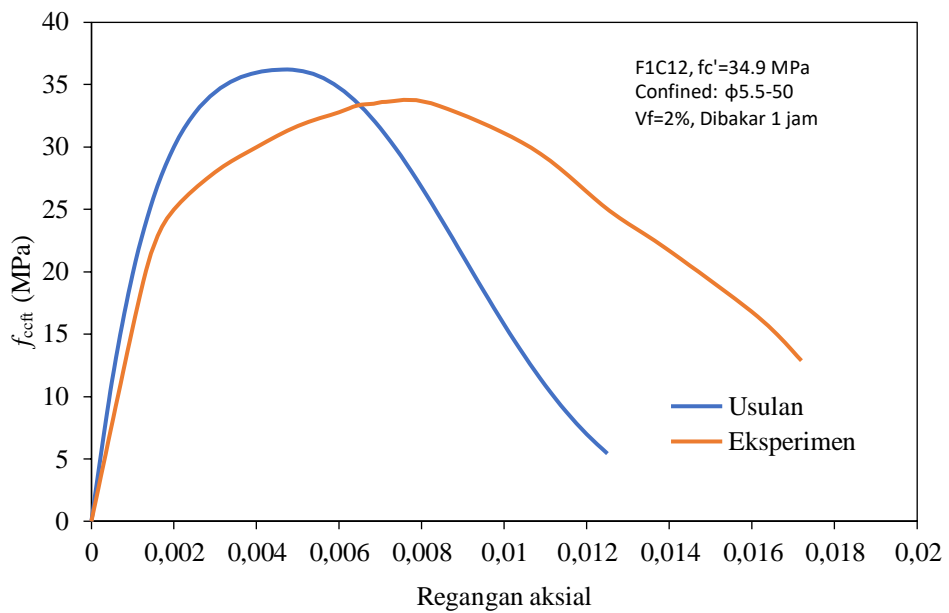
Gambar 5.200 s/d Gambar 5.203 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.204. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 0\%$

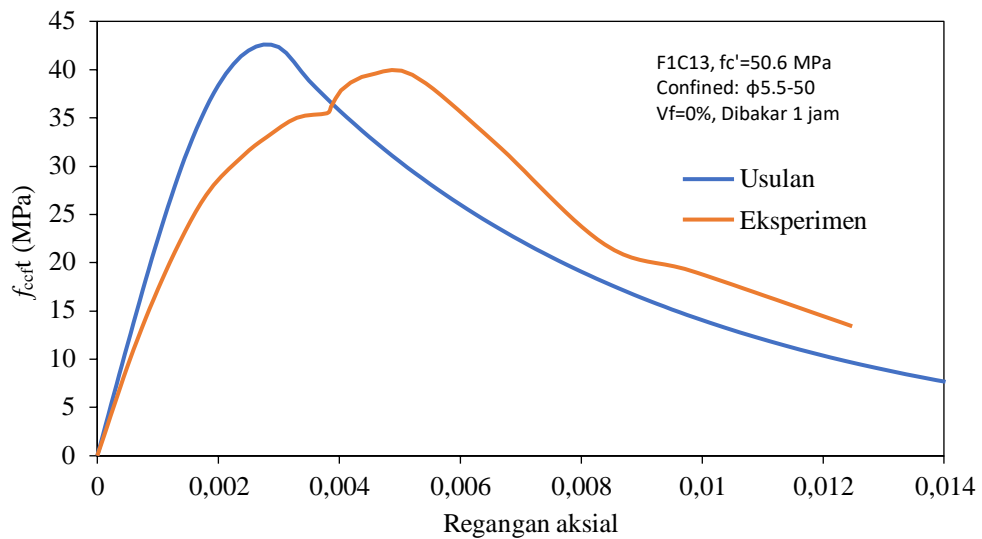


Gambar 5.205. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=1\%$

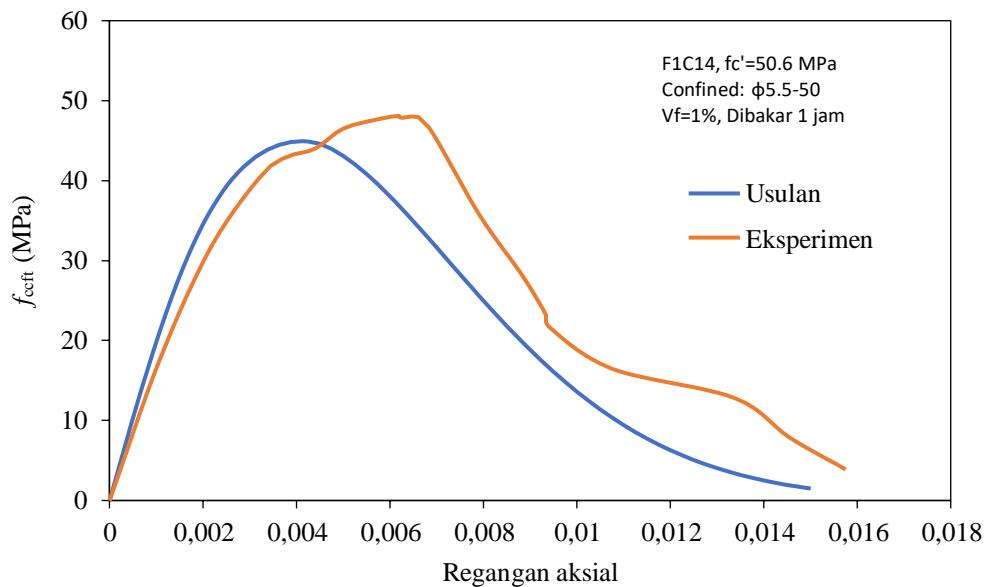


Gambar 5.206. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=2\%$

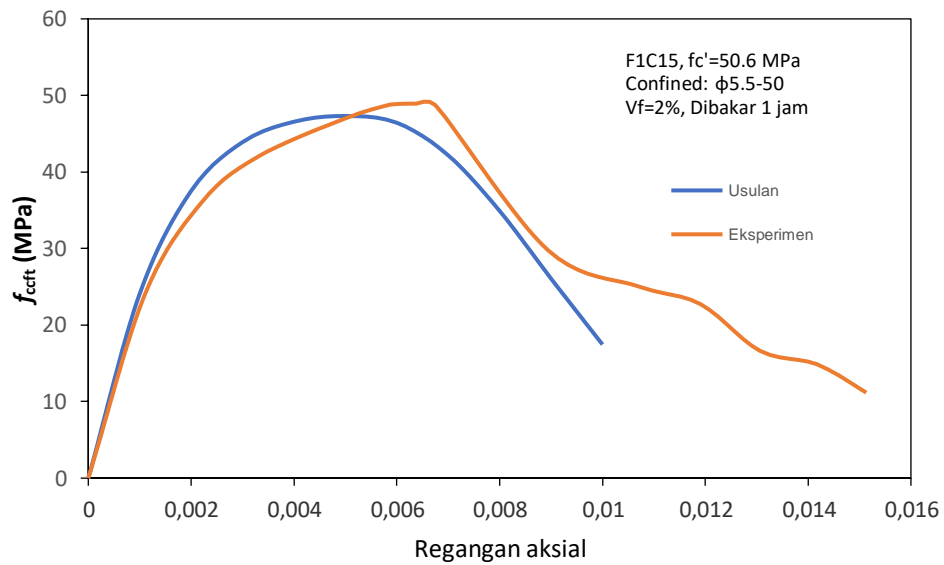
Gambar 5.204 s/d Gambar 5.206 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% hasil Usulan berada di bawah hasil Eksperimen.



Gambar 5.207. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$

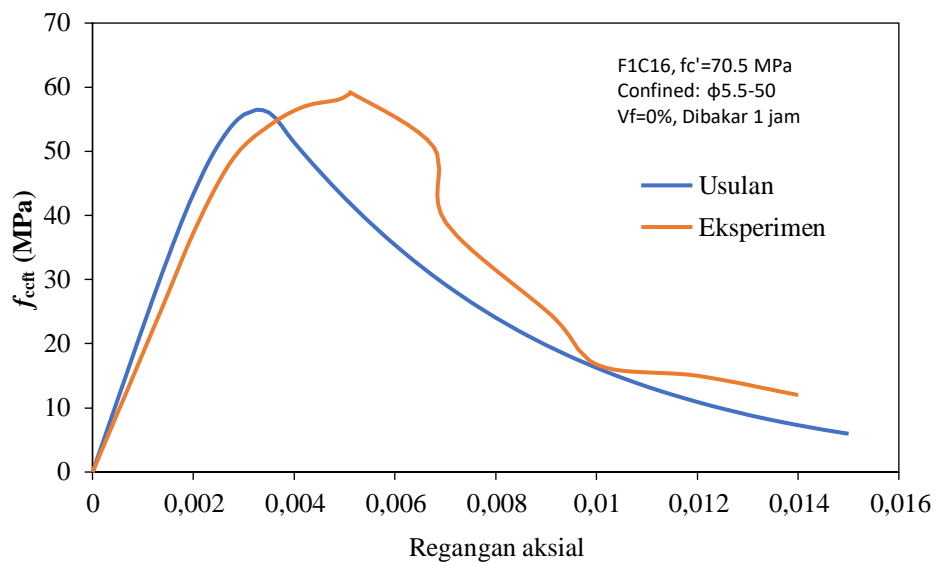


Gambar 5.208. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$

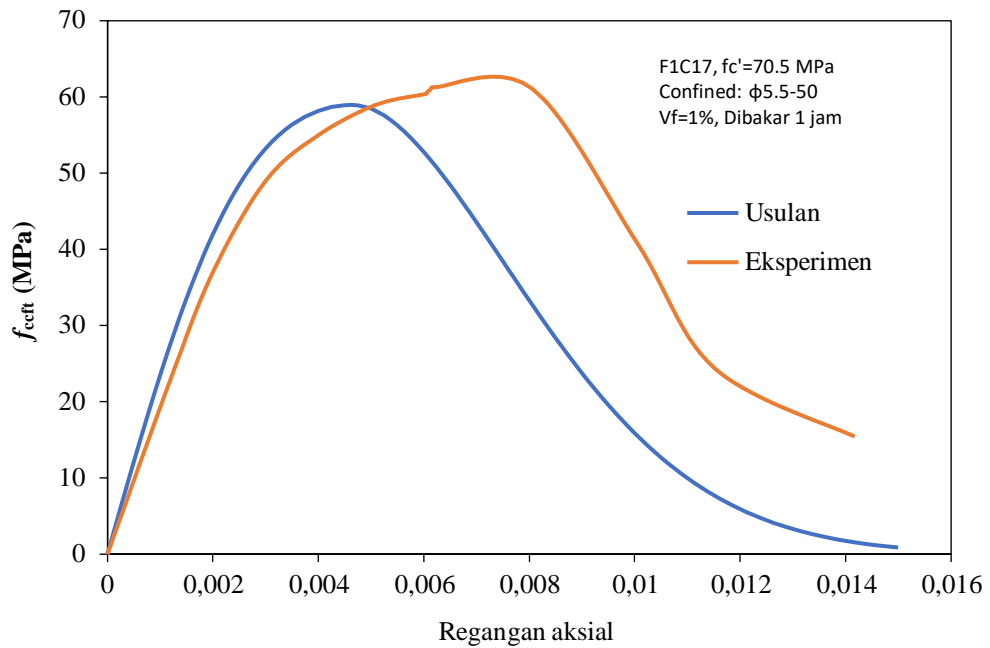


Gambar 5.209. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$

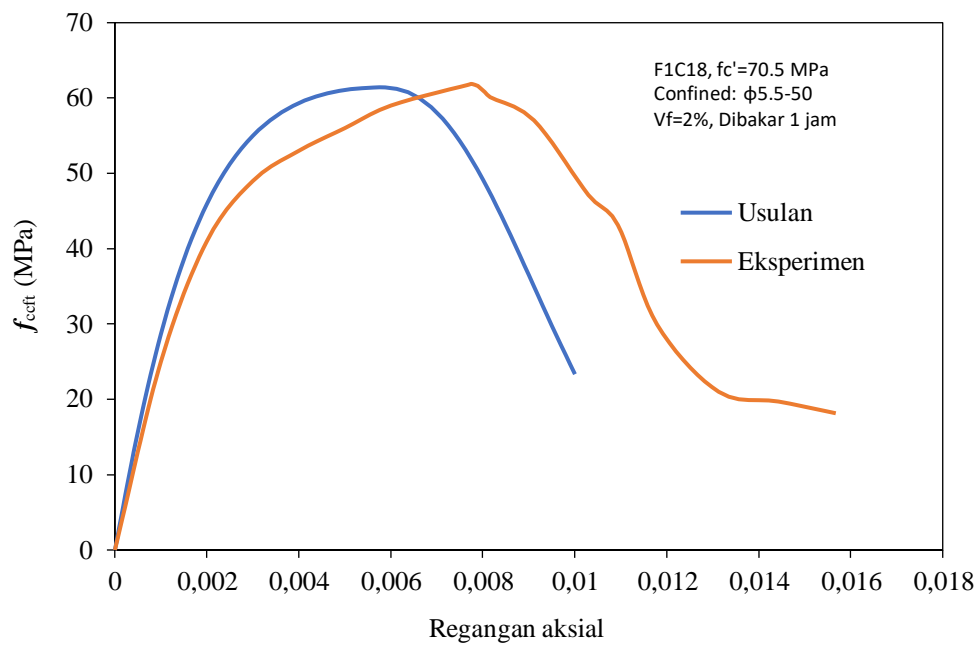
Gambar 5.207 s/d Gambar 5.209 pada volume fraksi 2% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0% dan volume fraksi 1% hasil Eksperimen berada di atas hasil Usulan.



Gambar 5.210. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$



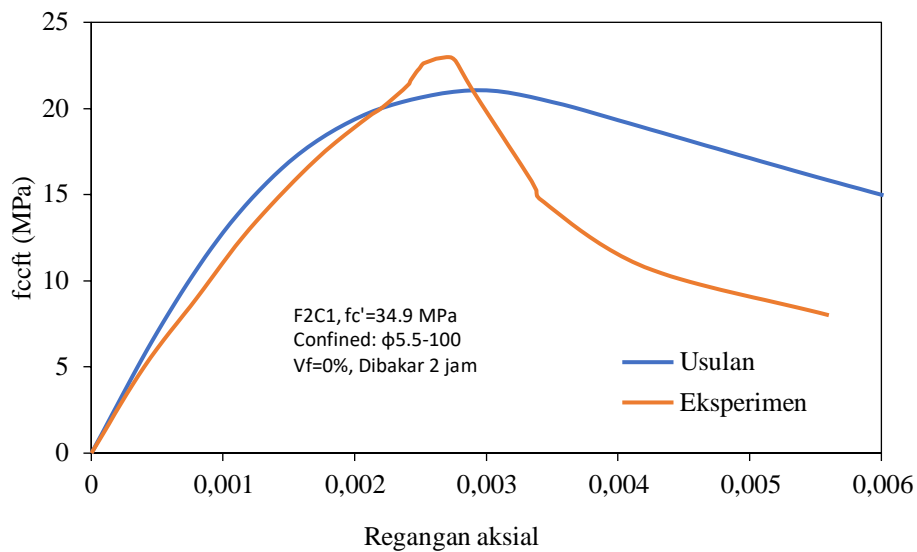
Gambar 5.211. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$



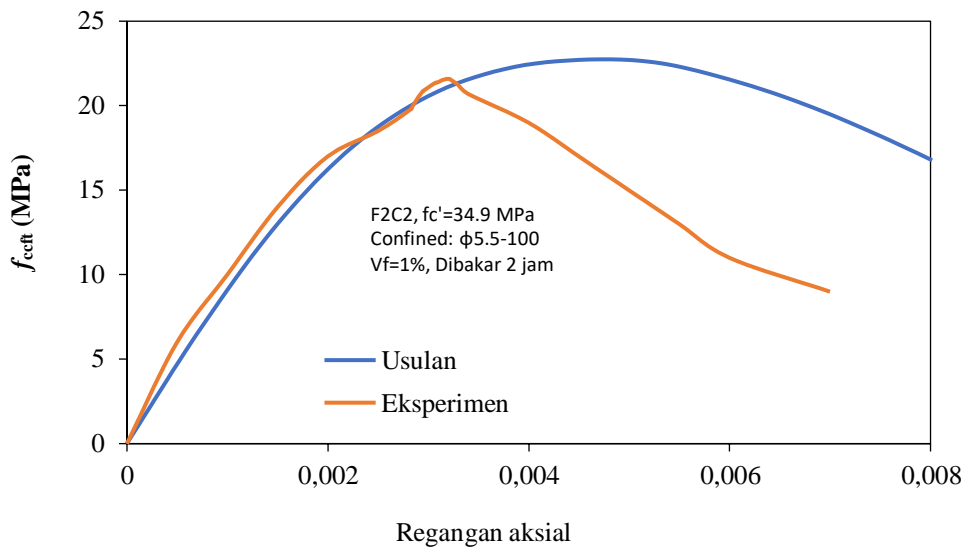
Gambar 5.212. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 2\%$

Gambar 5.210 s/d Gambar 5.212 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 1% dan volume fraksi 2% hasil Eksperimen berada di atas hasil Usulan.

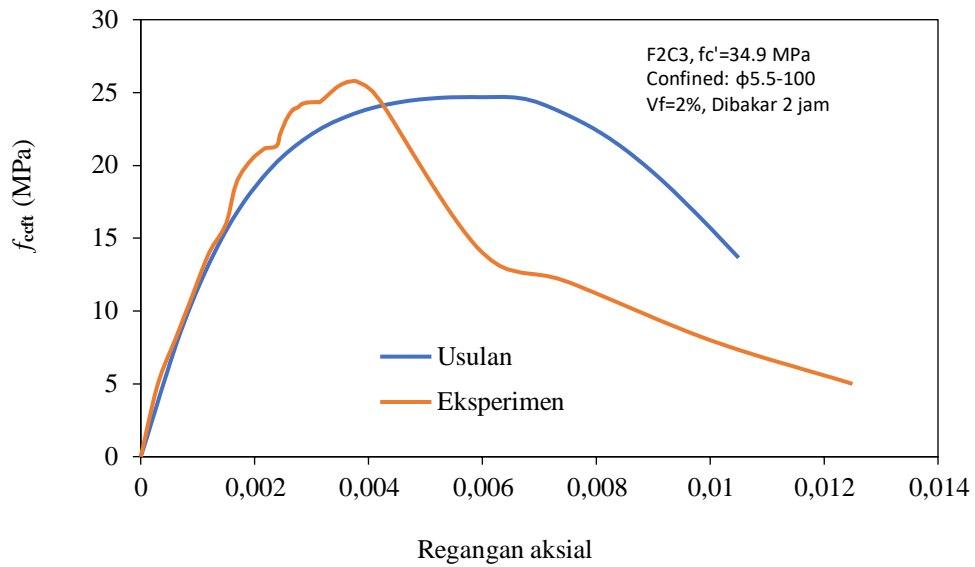
5.5.3.3. Spesimen Dibakar 2 jam



Gambar 5.213. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 0\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

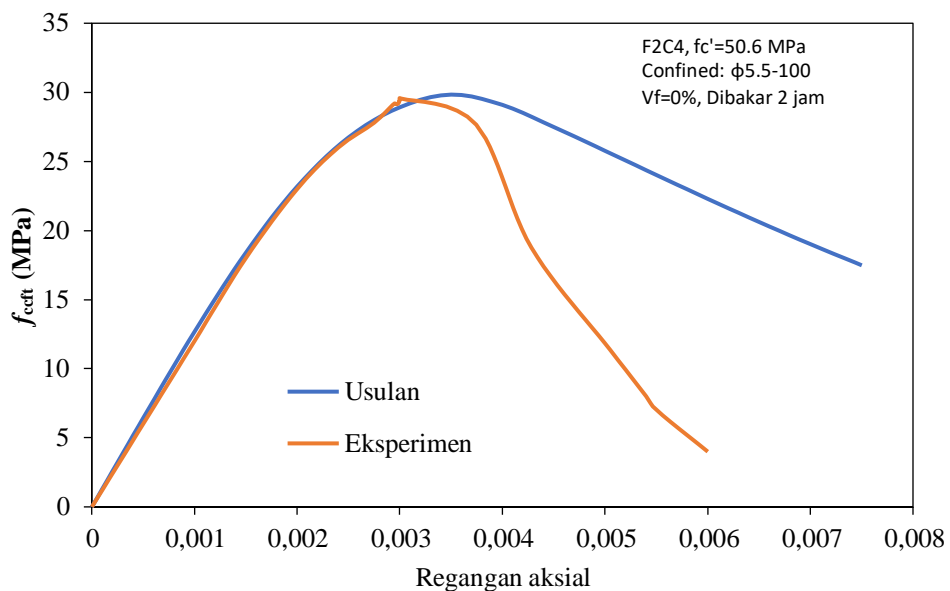


Gambar 5.214 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

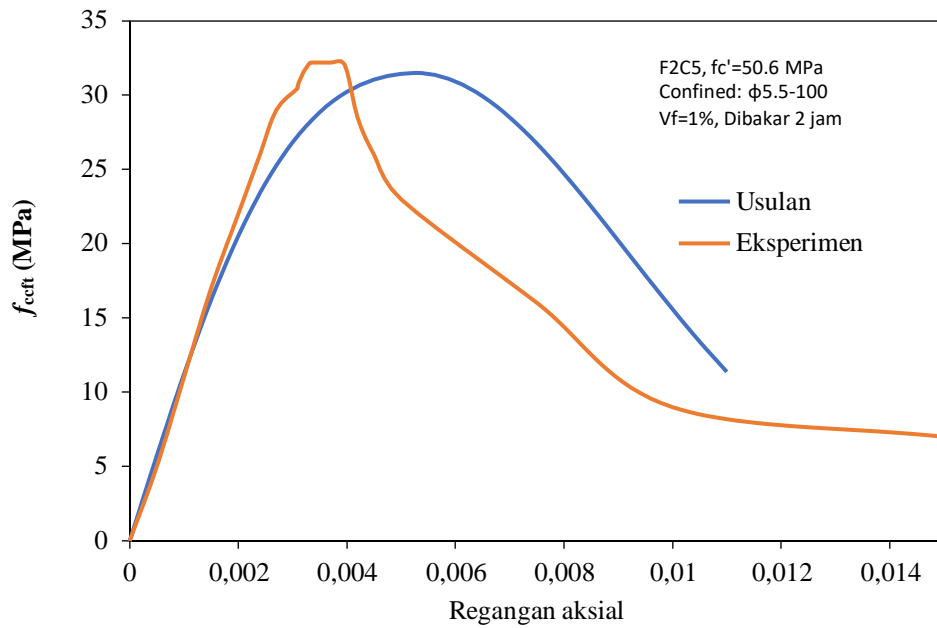


Gambar 5.215. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

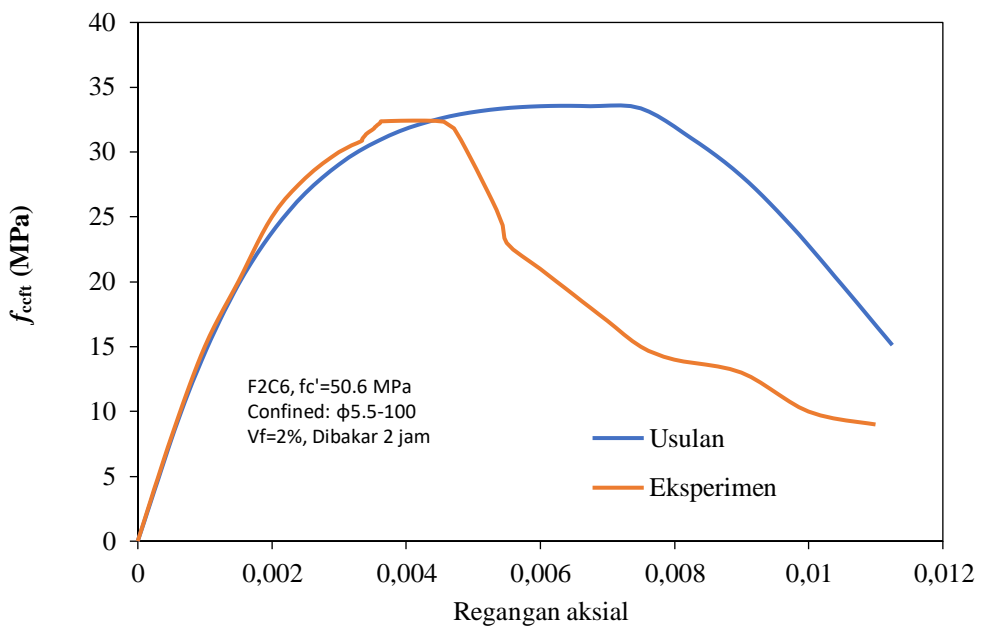
Gambar 5.213 s/d Gambar 5.215 pada volume fraksi 0% hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.216. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

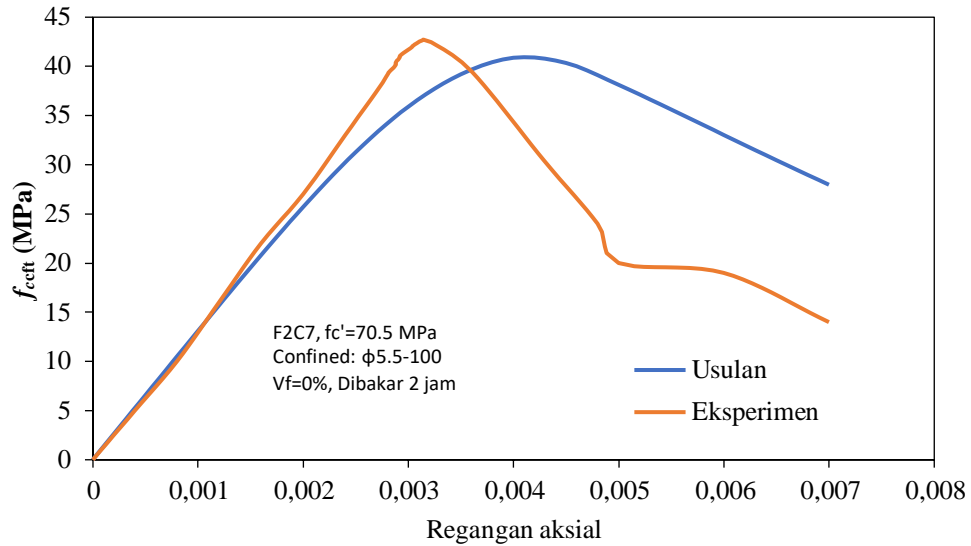


Gambar 5.217. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

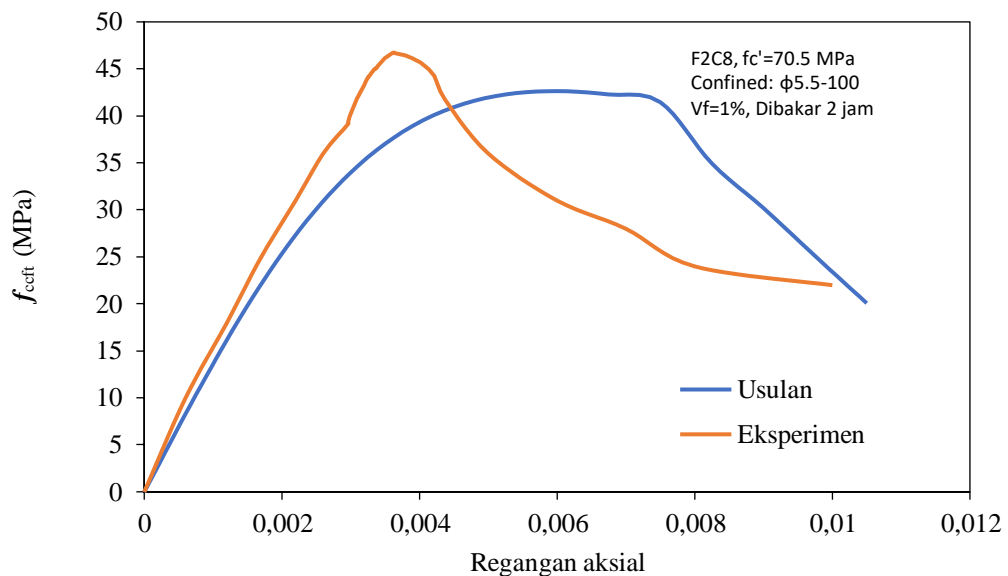


Gambar 5.218. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

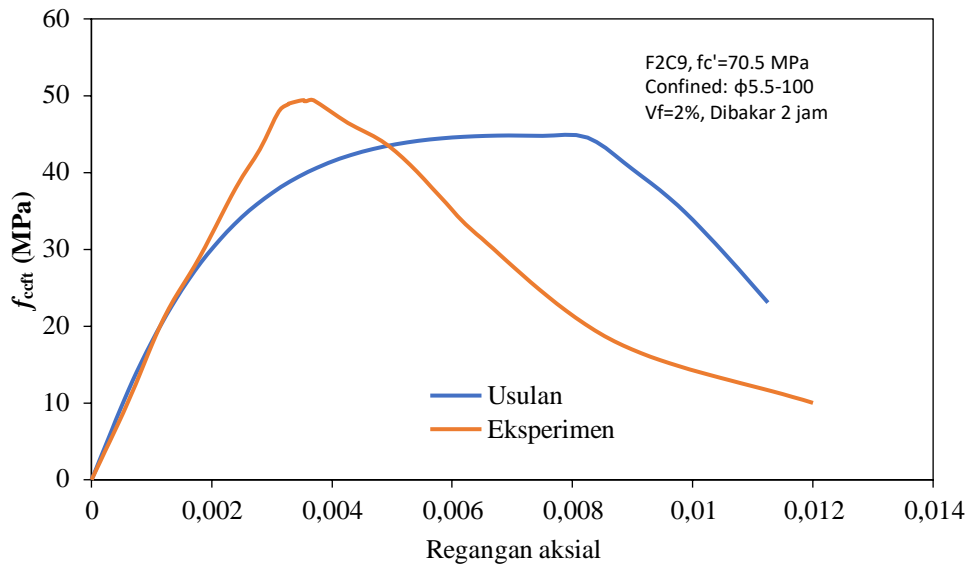
Gambar 5.216 s/d Gambar 5.218 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.219. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$ dan Dibakar selama 2 jam

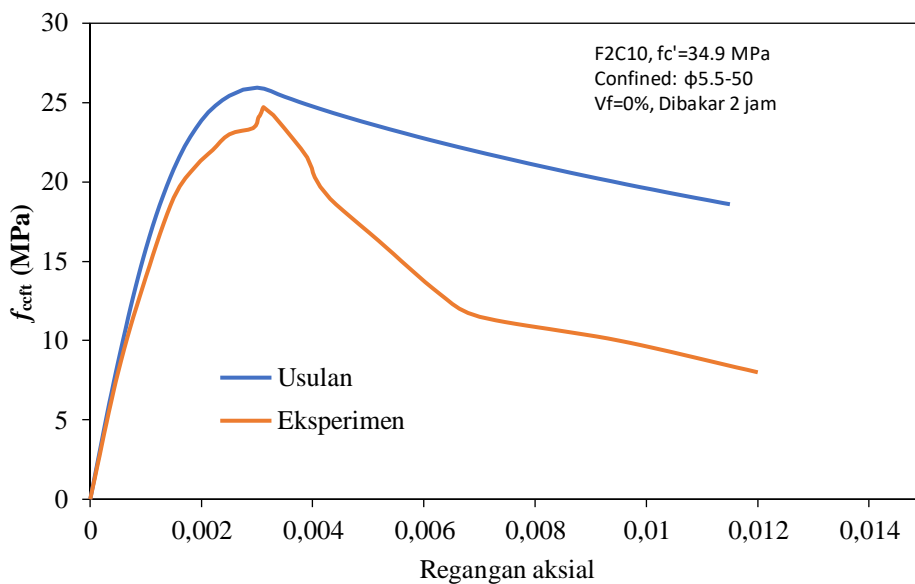


Gambar 5.220. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

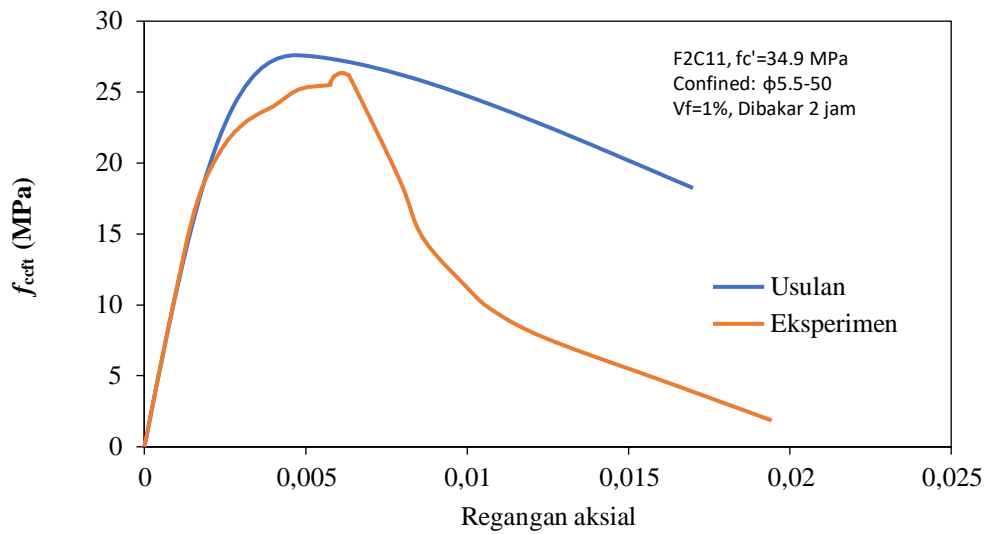


Gambar 5.221 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

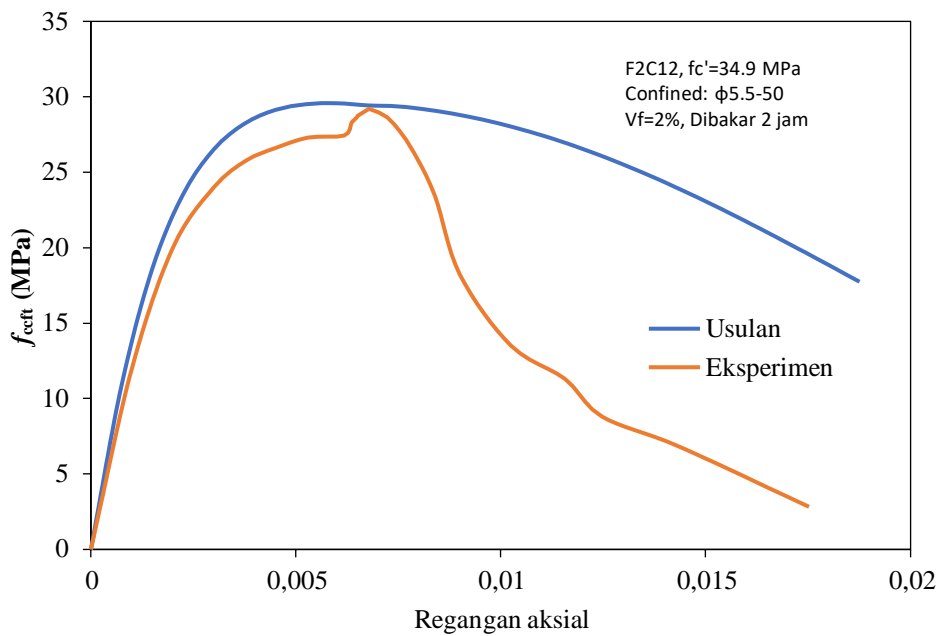
Gambar 5.219 s/d Gambar 5.221 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.222 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

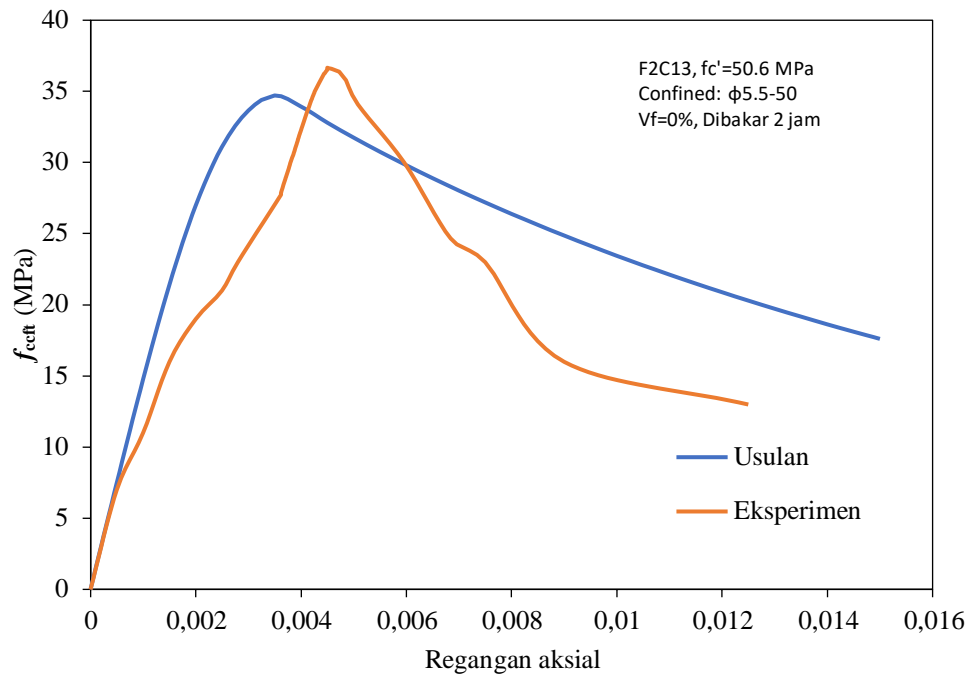


Gambar 5.223. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

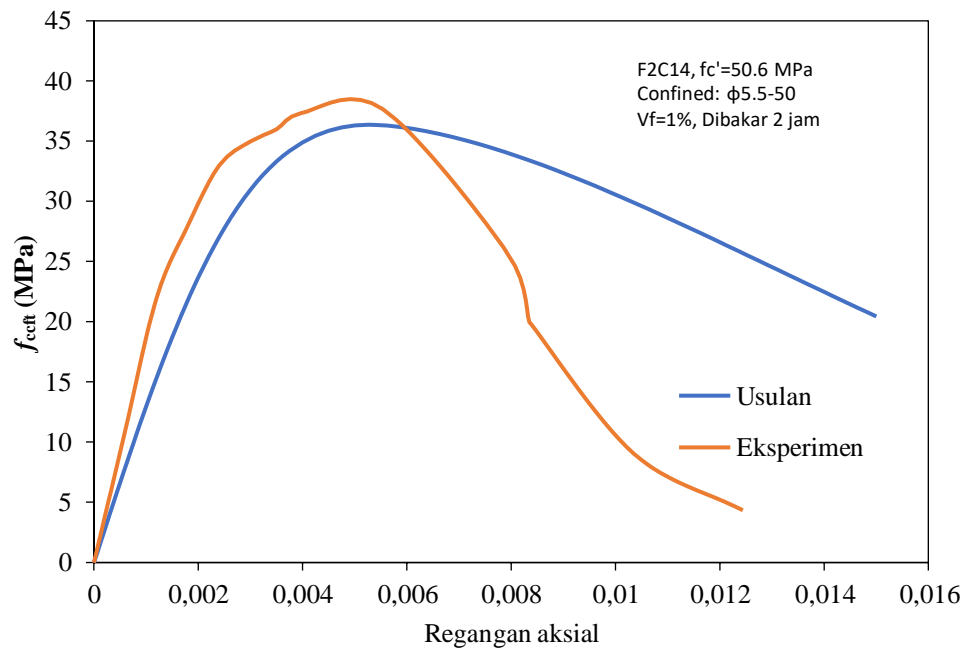


Gambar 5.224. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

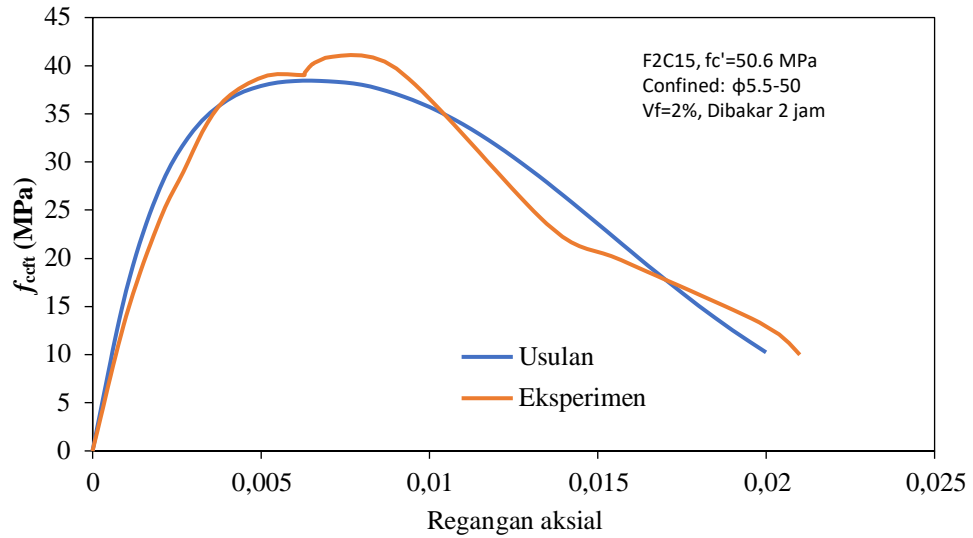
Gambar 5.222 s/d Gambar 5.224 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.225 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

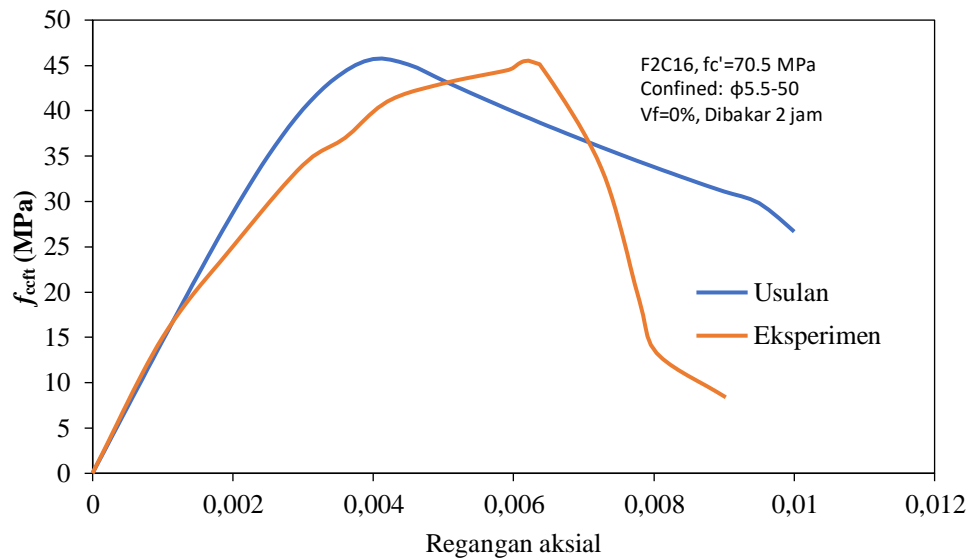


Gambar 5.226. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

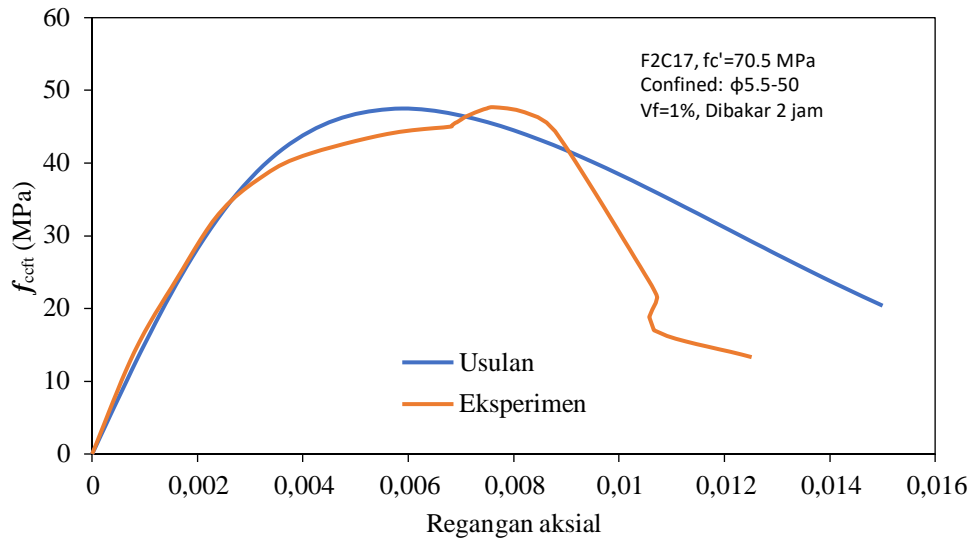


Gambar 5.227. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam

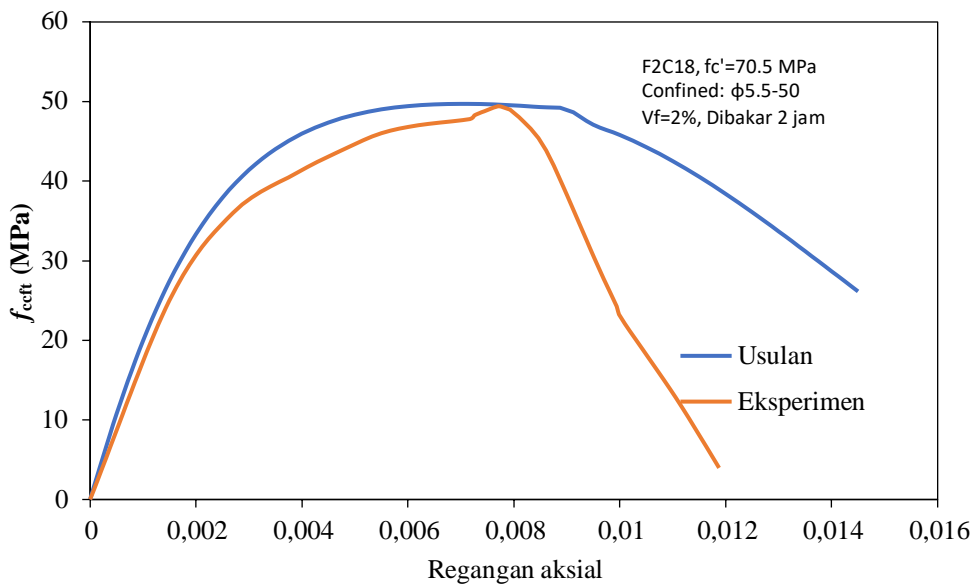
Gambar 5.225 s/d Gambar 5.227 pada hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, dan 1% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan kecuali volume fraksi 2 %.



Gambar 5.228. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 2 jam



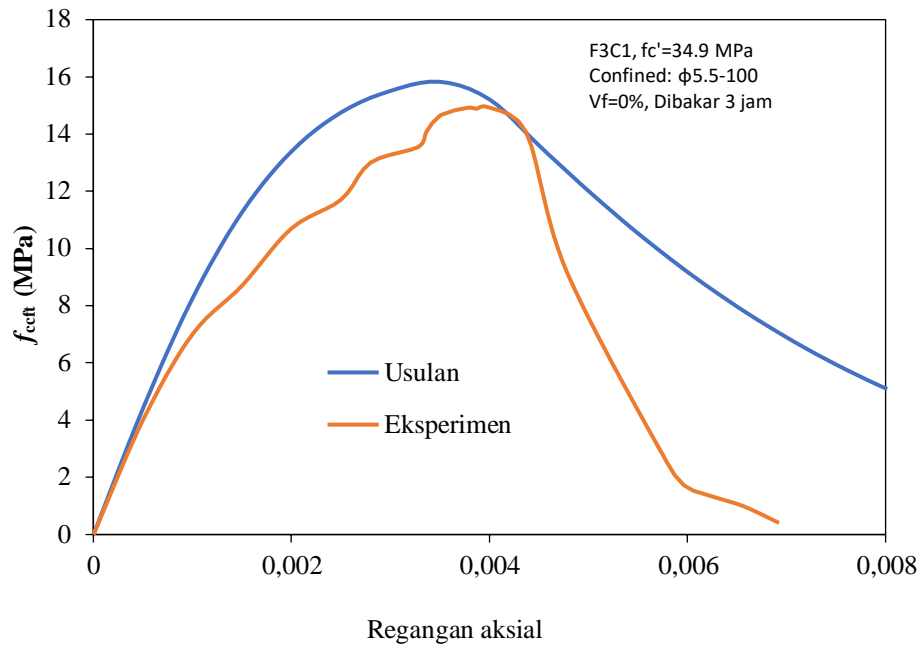
Gambar 5.229. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$ dan Dibakar Selama 2 jam



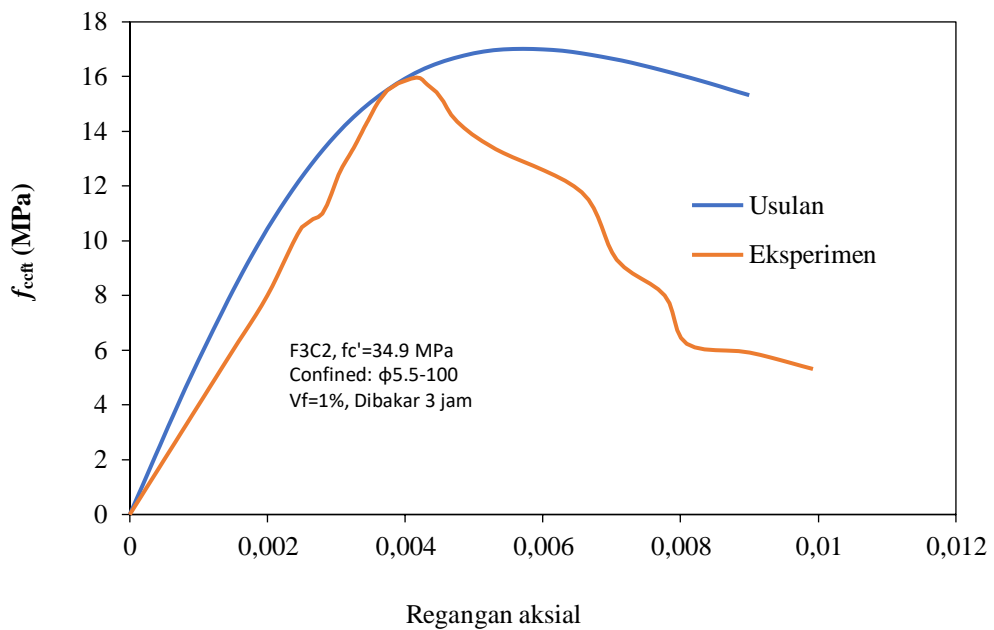
Gambar 5.230. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 2 jam.

Gambar 5.228 s/d Gambar 5.230 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.

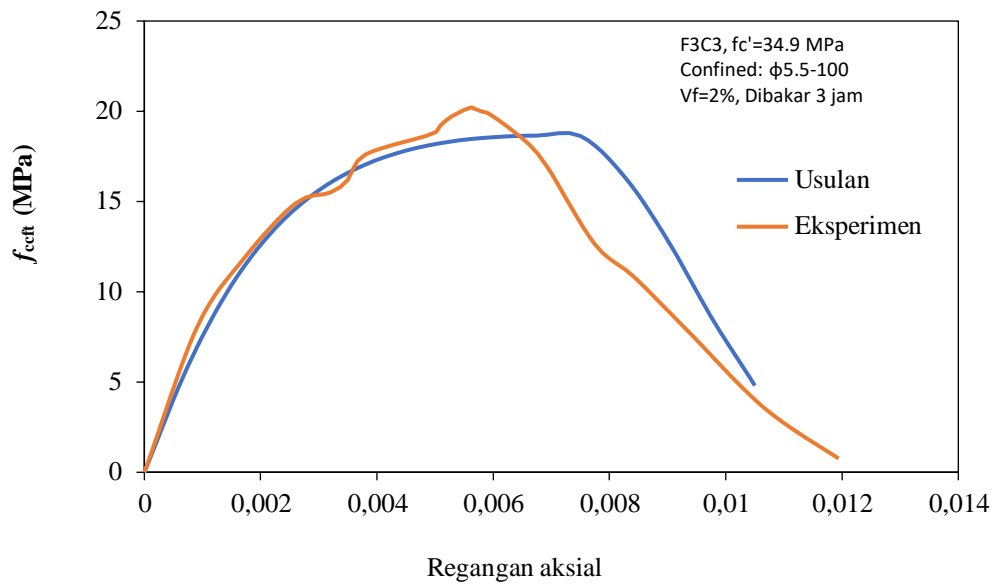
5.5.3.4. Spesimen Dibakar 3 jam



Gambar 5.231. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

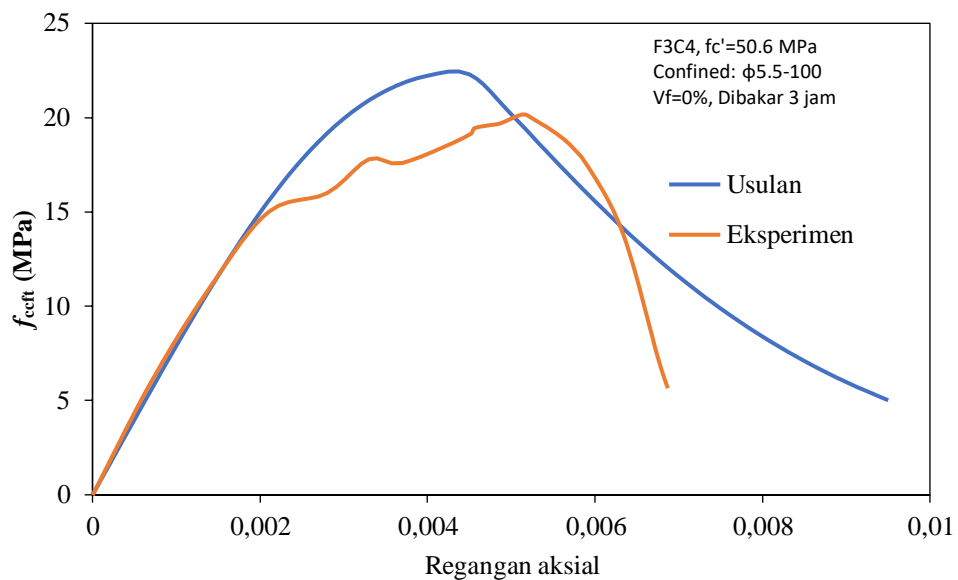


Gambar 5.232 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=34.9$ MPa, $V_f=1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

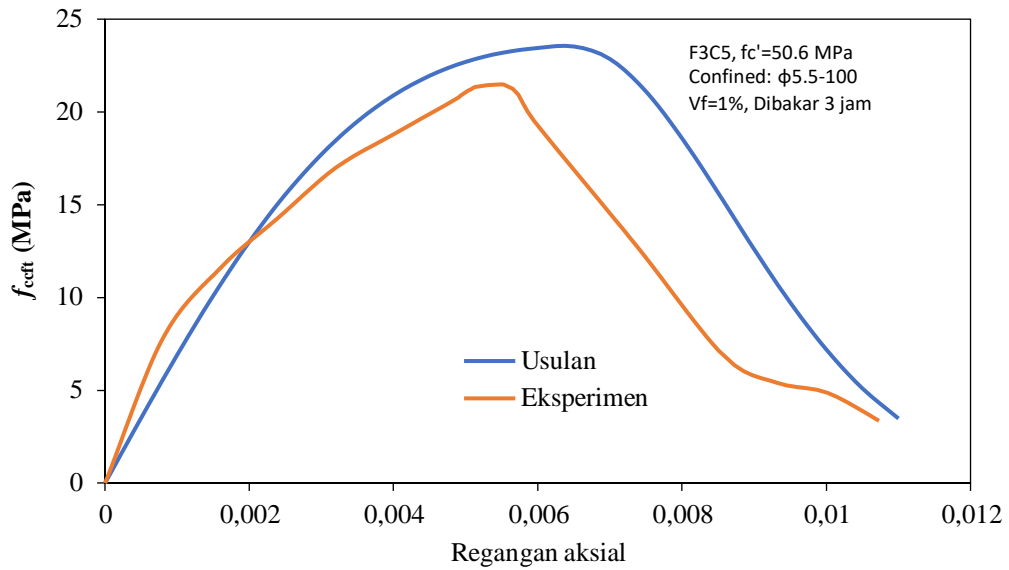


Gambar 5.233. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 34.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

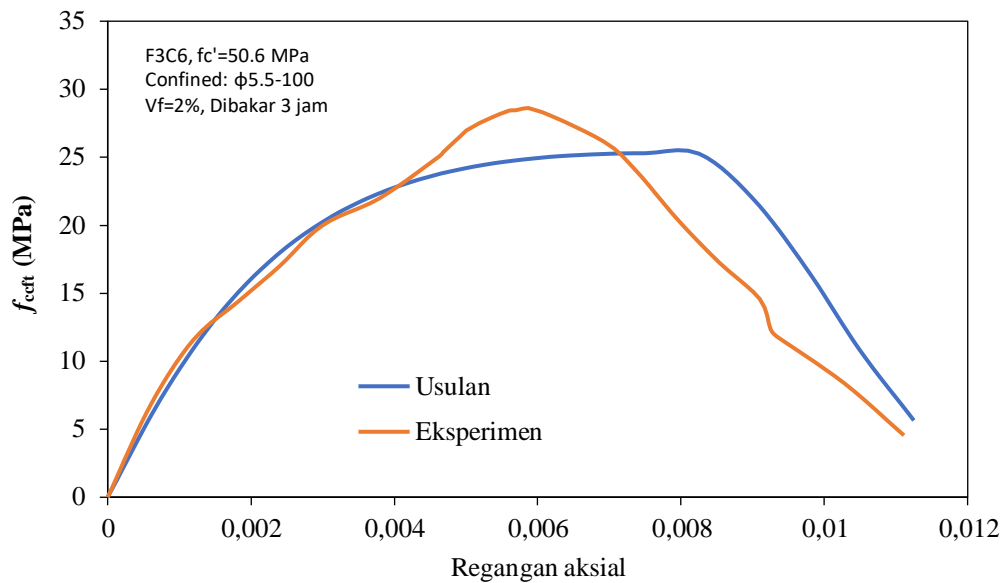
Gambar 5.231 s/d Gambar 5.233 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.234. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

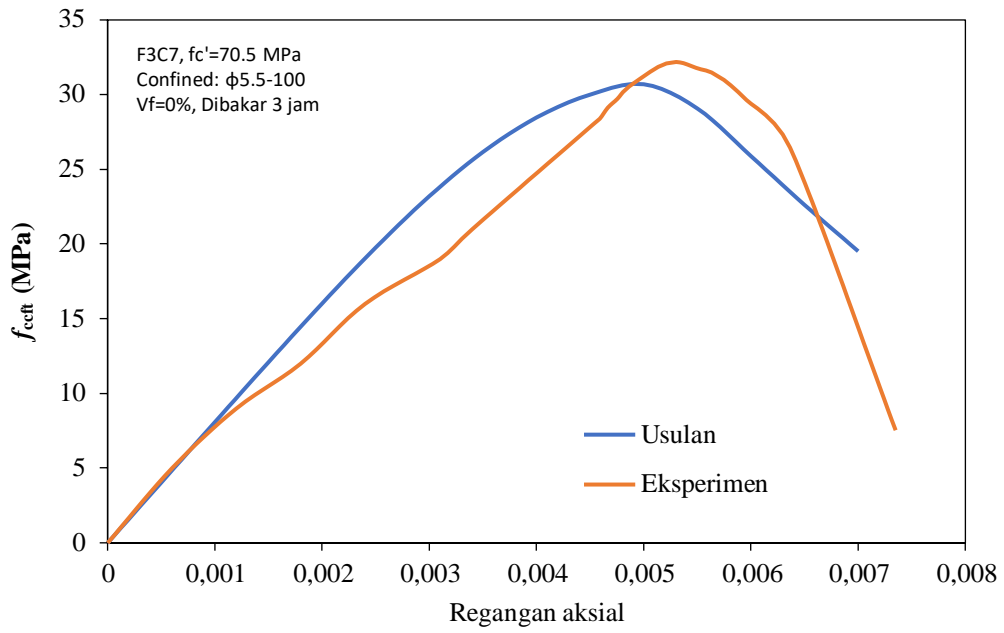


Gambar 5.235. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

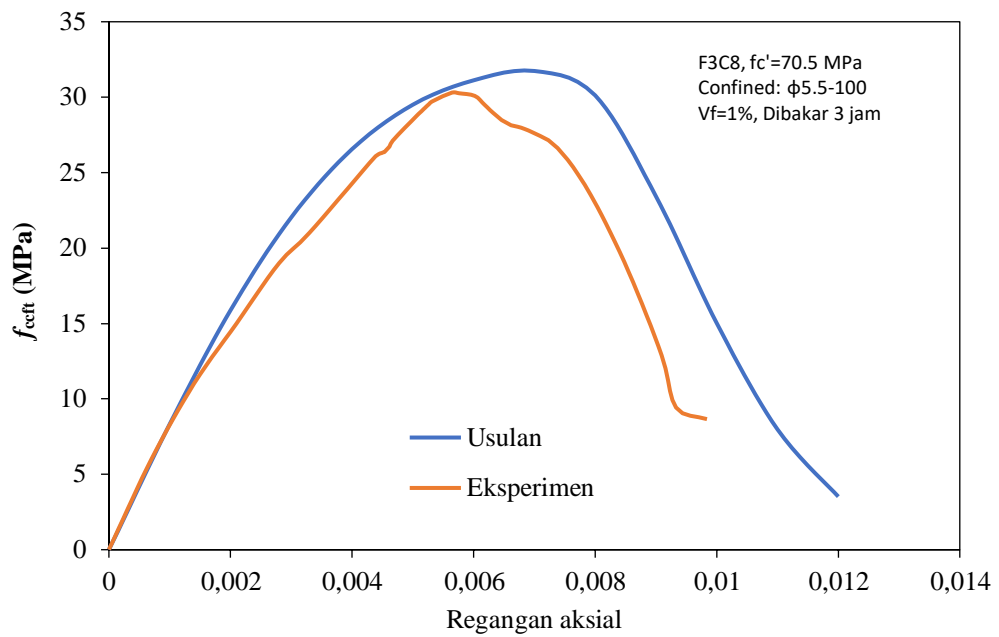


Gambar 5.236. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

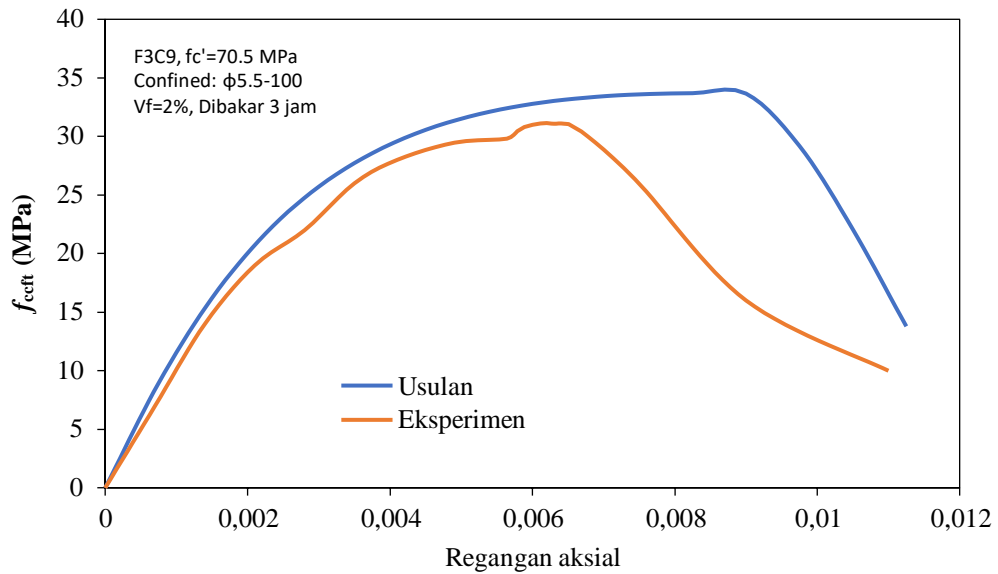
Gambar 5.234 s/d Gambar 5.236 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.237. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

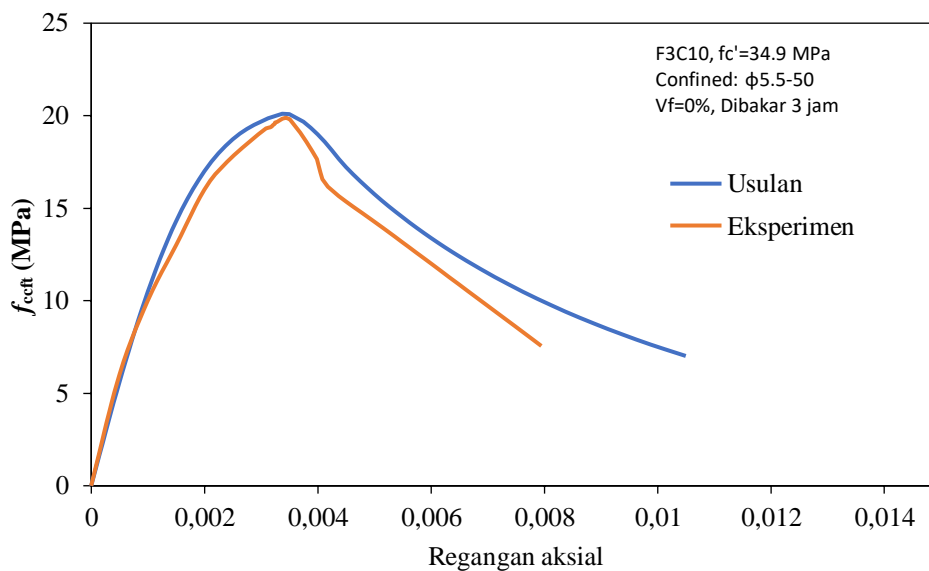


Gambar 5.238. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

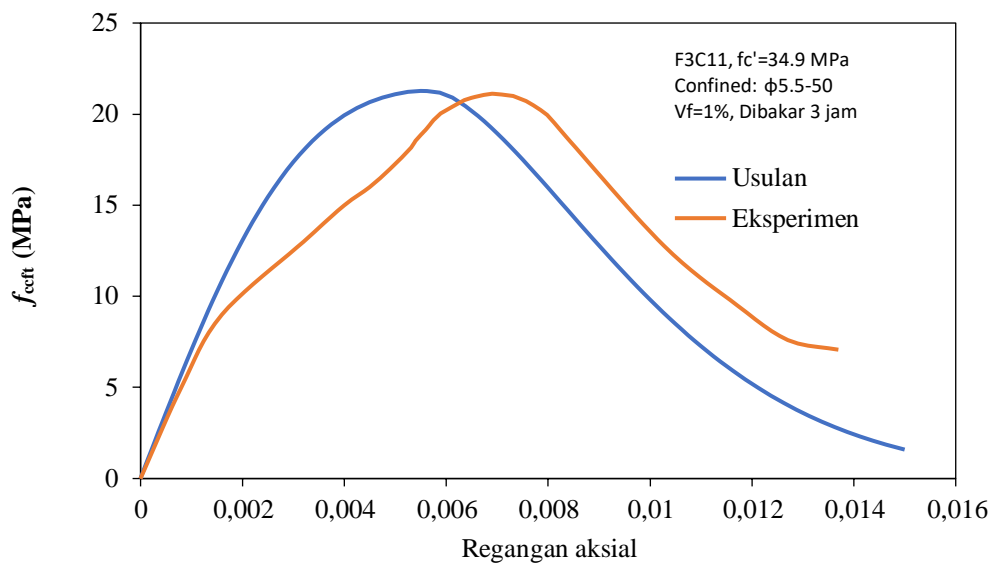


Gambar 5.239. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 100 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

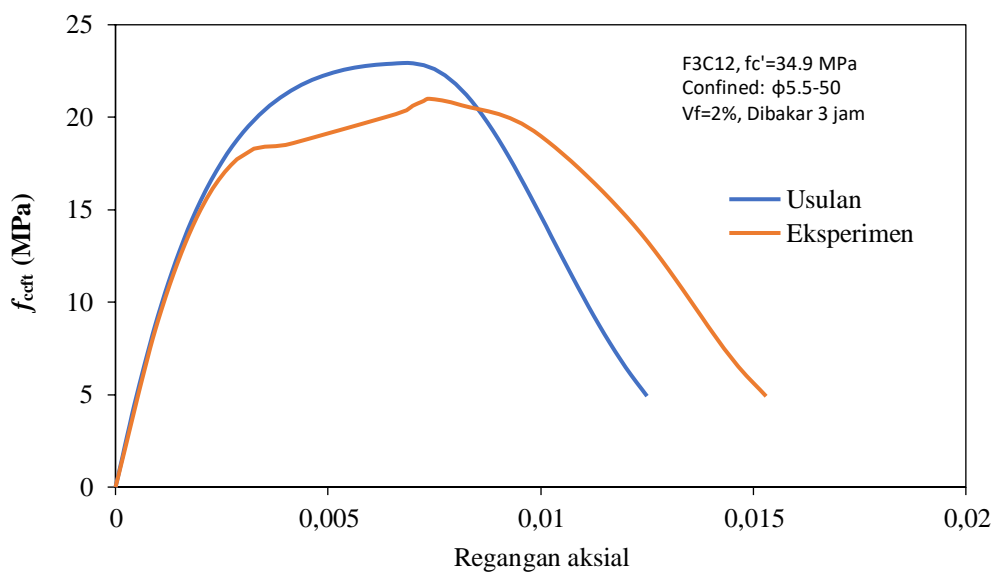
Gambar 5.237 s/d Gambar 5.239 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.240. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=30.9$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

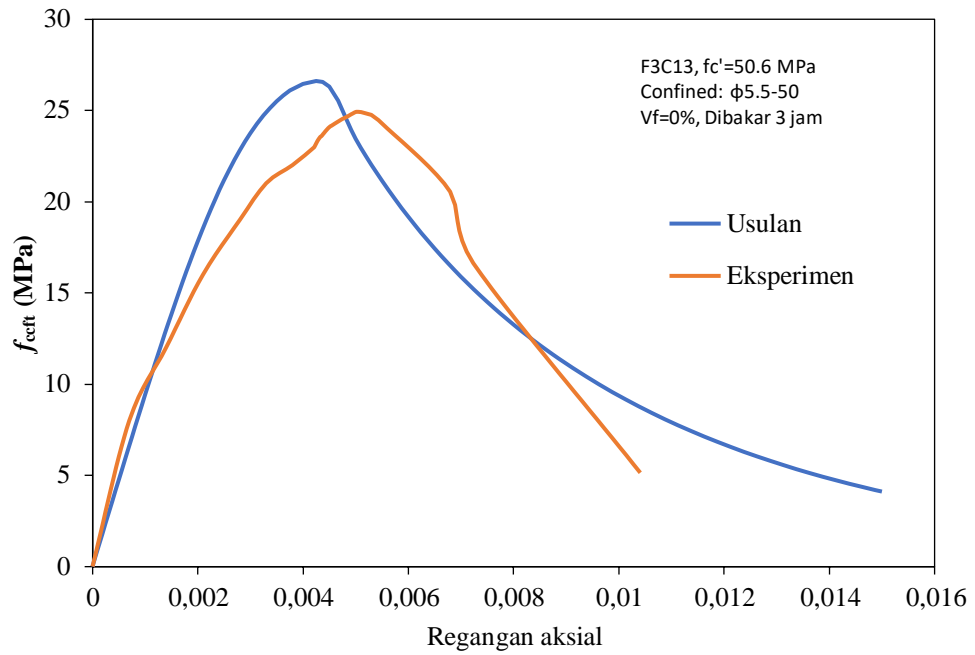


Gambar 5.241. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 30.9$ MPa, $V_f = 1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

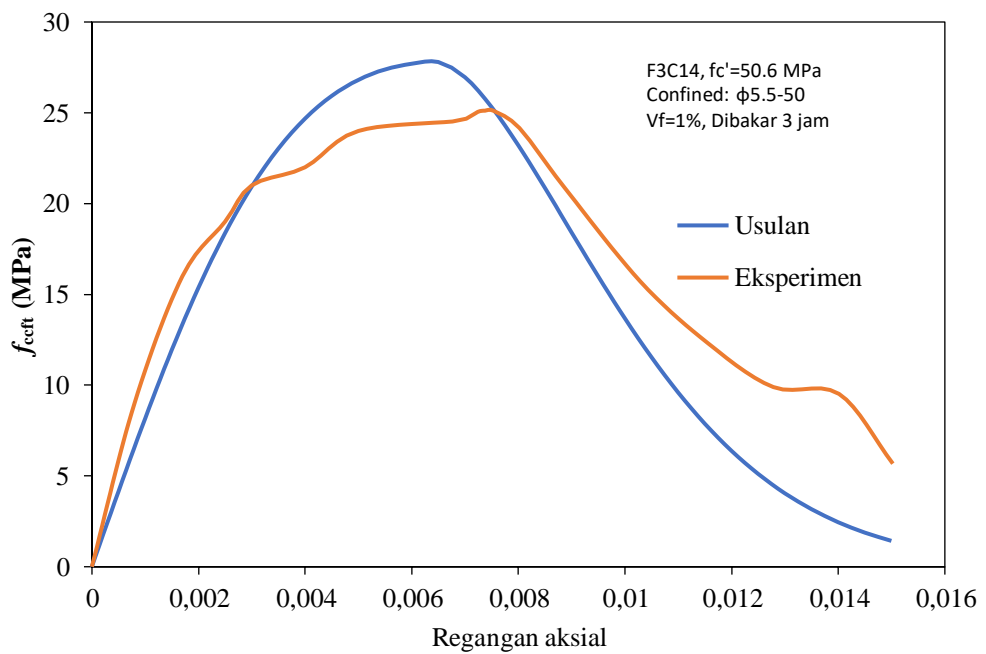


Gambar 5.242. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 30.9$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

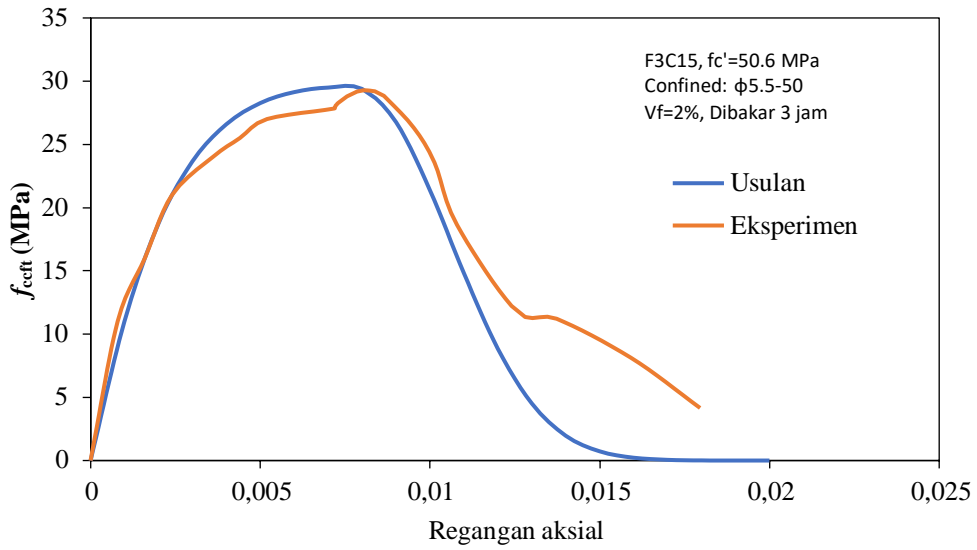
Gambar 5.240 s/d Gambar 5.242 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di atas hasil Usulan.



Gambar 5.243 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

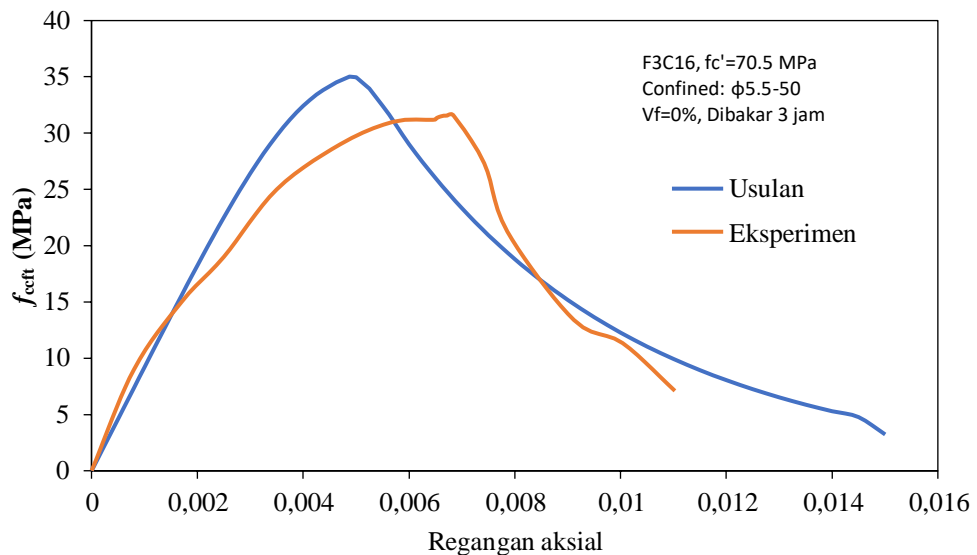


Gambar 5.244. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=50.6$ MPa, $V_f=1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

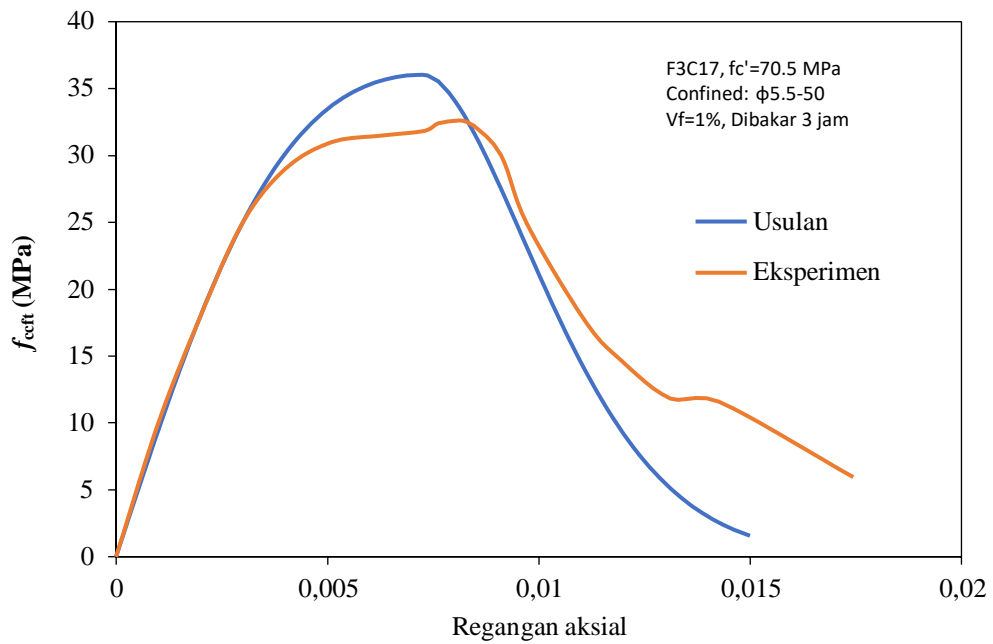


Gambar 5.245 Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 50.6$ MPa, $V_f = 2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

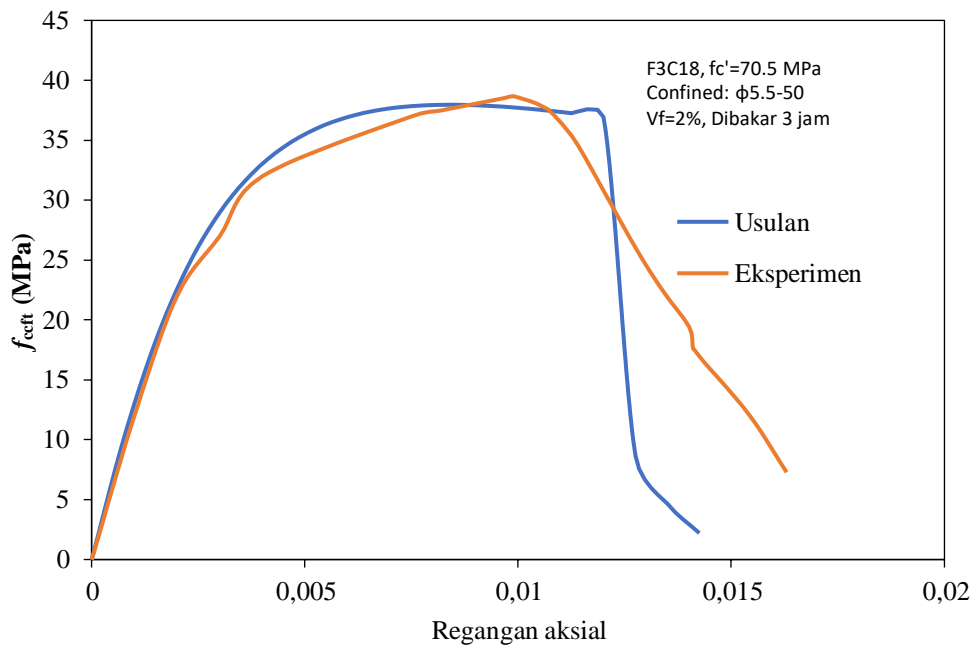
Gambar 5.243 s/d Gambar 5.245 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum pasca puncak dengan baik. Sedangkan perilaku pasca puncak untuk volume fraksi 0%, hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan, sedangkan 1% dan 2% hasil Eksperimen berada di bawah hasil Usulan.



Gambar 5.246. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c' = 70.5$ MPa, $V_f = 0\%$ dan Dibakar Selama 3 jam



Gambar 5.247. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=1\%$ dan Dibakar Selama 3 jam



Gambar 5.248. Model Usulan vs Eksperimen untuk Beton Terkekang Spasi 50 dengan Mutu Beton $f_c'=70.5$ MPa, $V_f=2\%$ dan Dibakar Selama 3 jam

Gambar 5.246 s/d Gambar 5.248 hasil validasi Model Usulan mampu memprediksi hasil Model Eksperimen dalam perilaku sebelum puncak dan setelah pasca puncak dengan baik.

Berdasarkan validasi di atas, secara umum model kekangan usulan mampu memprediksi hasil eksperimen dalam perilaku sebelum dan pasca puncak dengan baik. Model usulan ini dapat digunakan untuk beton terkekang tanpa serat maupun dengan berbagai variasi volume serat, dan dalam kondisi suhu normal (tidak dibakar) maupun dalam kondisi pasca bakar.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan di dalam penelitian ini dibagi menjadi dua kategori yaitu untuk beton tak terkekang dan beton terkekang.

6.1.1 Beton Tak Terkekang

1. Serat baja mempunyai nilai tambah yang sangat baik, yaitu dapat meningkatkan kekuatan beton sehingga kapasitas penampang juga meningkat. Keuntungan lainnya adalah bahwa *deformability* beton berserat baja semakin tinggi jika fraksi serat meningkat.
2. Secara umum, beton berserat baja mutu tinggi ($f'_c=70.5$ MPa) mengalami degradasi kekuatan yang paling sedikit dibandingkan dengan degradasi kekuatan beton berserat mutu normal ($f'_c=34.9$ MPa) maupun mutu menengah ($f'_c=50.6$ MPa). Hal ini berlaku pada spesimen yang dibakar 1 jam, 2 jam maupun 3 jam.
3. Regangan puncak beton mengalami tren peningkatan yang signifikan jika durasi pembakaran semakin lama. Selain itu peningkatan volume fraksi serat juga mempengaruhi meningkatnya nilai regangan tersebut.
4. Kemampuan spesimen dalam menyerap energi yang dinyatakan dalam besaran *Toughness Index* meningkat signifikan jika volume fraksi serat yang digunakan meningkat. Namun nilai TI belum tentu meningkat jika durasi pembakaran juga meningkat atau dengan kata lain lamanya pembakaran tidak berpengaruh signifikan dalam menentukan nilai TI.
5. Model tegangan-regangan yang diusulkan (persamaan 5.1 s/d 5.13) mampu memprediksi perilaku tegangan-regangan beton berserat baja dengan variasi volume fraksi serat dan lamanya pembakaran.

6.1.2 Beton Terkekang

1. Perilaku kekangan beton berserat baja pasca bakar seiring dengan perilaku beton terkekang berserat tak dibakar.
2. Parameter desain kuat tekan beton dan karakteristik tulangan pengekang memegang peranan penting dalam menentukan kekuatan dan daktilitas beton terkekang, seperti meningkatnya peningkatan kekuatan beton terkekang (K) yang lebih tinggi apabila kuat tekan beton yang digunakan menurun, rasio volumetrik yang lebih tinggi atau spasi yang lebih rapat.
3. Perilaku yang disebutkan di dalam no. 2 di atas mirip atau sejalan dengan perilakunya pada beton tak dibakar atau suhu normal.
4. Tegangan leleh tulangan pengekang mengalami penurunan jika spesimen dibakar 1 jam, namun tegangan leleh tersebut meningkat meskipun tidak signifikan jika spesimen dibakar 2 jam. Tegangan leleh tulangan pengekang kembali menurun jika spesimen dibakar selama 3 jam.
5. Secara umum, beton terkekang pasca bakar cenderung meningkatkan deformasi yang lebih tinggi (terutama regangan puncak).
6. Model-model kekangan beton berserat eksisting berbeda signifikan dengan hasil eksperimen, terutama dalam memodelkan perilaku pasca puncak.
7. Model kekangan beton berserat baja yang diusulkan (persamaan 5.14 s/d 5.35) mampu memprediksi perilaku tegangan-regangan beton terkekang pada kondisi tak dibakar maupun pasca bakar dengan baik.

6.2. Penelitian Yang Masih Terbuka

Penelitian disertasi ini masih terbuka untuk dikembangkan lebih lanjut diantaranya:

1. Perilaku beton berserat baja pasca bakar terhadap beban eksentrik, dan dikembangkannya persamaan blok tegangan beton berserat baja pasca bakar.
2. Perilaku beton berserat baja pasca bakar pada komponen struktur: kolom, balok, termasuk memperhitungkan selimut beton.
3. Penelitian ini masih terbatas pada beton terkekang penampang bulat, namun secara eksperimen masih perlu dikembangkan untuk beton berserat baja

terkekang penampang persegi dengan variasi konfigurasi tulangan, karena efektifitas kekangan yang berbeda dengan penampang bulat.

4. Pengembangan model numerik, model plastisitas beton berserat baja pasca bakar

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 39–94, *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Books of ASTM Standards 1996. USA.
- ASTM E 119 – Ooa, (2000), *Standart Test Methodes fao Fo-ire Tests of Building Construction and Materials*
- ACI Committee 544, (1998), *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*.
- MODEL CODE 2010, (2010), *Model Code Untuk Concrete Structures*
- SNI 2847 – 2019, *Persyaratan Beton Struktural untuk Gedung*.
- Antonius (2010), *Evaluasi Persamaan Konstitutif Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi Terkekang yang Diturunkan Berdasarkan Kriteria Leleh*, *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 10(2), 159-167
- Antonius, Imran. I., Setiyawan, P. (2017), *On the confined high-strength concrete and heed of future research*. *Procedia Engineering* 171 (2017) 121-130
www.sciencedirect.com
- Antonius & Imran, I. (2012), *Experimental Study of Confined Normal, Medium and High-Strength Concrete Subjected Concentric Compression*, *ITB Journal of Engineering Science*, Vol.44(3), 252-269.
- Antonius (2015), *Strength and Energy Absortion Of High-Strength Steel Fiber Concrete Confined By Circular Hoops*. *International Journal of Technology*, 6(2), 217-226.
- Antonius, Widhianto, A., Darmayadi, D. and Asfari, Gata D., (2014), “*Fire Resistance of Normal and High-Strength Concrete with Contains of Steel Fibre,*” *Asian Journal of Civil Engineering*, 15(5), 655-669.
- Antonius, Karlinasari R., Purwanto, and Widhianto A. (2020), *Shear strength and deformation of steel fiber reinforced concrete beams after fire*. *Advances in Concrete Construction*, 10(2), 105-111.
- Antonius, Purwanto and Harprastanti, P. (2019); *Experimental Study of the Flexural Strength and Ductility of Post Burned Steel Fiber RC Beams*; *International Journal of Technology*, 10(2), 428-437.

- Antonius (2014), *Performance of High-Strength Concrete Columns Confined by Medium Strength of Spirals and Hoops*; Asian Journal of Civil Engineering, Vol.15(2), April, 245-258.
- Antonius (2016), *Perkembangan Beton Mutu Tinggi dan Implikasinya Dalam Desain Elemen Struktur*, Pidato Ilmiah Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, ISBN 978-602-1145-37-1.
- Antonius (2001), *Perilaku Struktur Kolom Beton Mutu Tinggi terhadap Beban Konsentris dan Eksentris*, Disertasi, Insitut Teknologi Bandung.
- Ahmad I. A., Taufieq N. A. S dan Aras A. H. (2009), *Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton*, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar, Ujung Pandang.
- Altun *et. al* (2007), *Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams*, Construction and Building Materials, Vol. 21, pp 654–661
- Aoude H., Hosinieh, M.M., Cook, W.D. and Mitchell, D. (2014), *Behaviour of Rectangular Columns Constructed with SCC and Steel Fibers*, Journal of Structural Eng.
- Aswani I, *et. al* (2009), *Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton*, Jurnal Teknik Sipil, Vol 16 No. 2.
- Azizinmini *et.al* (1994), *High Strength Columns. Proceeding Paper*, American Society of Civil Engineers, New York, 978-0-87262 (ISBN – 13) / 0-87262-952-X (ISBN-10), Vol 2.
- Baliguru & Ramakrishan (1998), *Mechanical Properties of Superplastized Fiber Reinforced Concrete Developed for Bridge Decks an Highway Pavements* No.22, 563-584.
- Bjerkeli, L., Tomazewicz, A., and Jensen, J. J. (1990), *Deformation Poperties and Ductility of High Strength Concrete.*” Proc., 2nd Int. Symp. on Applications of High-Strength Concretes, SP-121, American Concrete Institute, Detroit, 215–238.
- Beaudoin, J.J. (1990), *Handbook of Reinforced Concrete*, Noyes Publications, Peark Ridge, New York, hal 30-40.

- Biolzi *et. al* (2008), *Evaluating Residual Properties of Thermally Damage Concrete, Cemen and Concrete Composite,s* 30 (10), 907-916
- Castillo and Carlos (1997), *Effect of Transien High Temperatures on High Strength Concrete*. <https://hdl.handle.net/1911/13275>.
- Castillo C. and A. J. Durrani, (1990), *Effect of Transient High Temperature on High-Strength Concrete*, ACI Materials Journal, Vol. 87, No 1, 47-53.
- Cusson D. and Paultre P. (1993), *Confinement Model for High-Strength Concrete Tied Columns*, Report No.SMS-9302, Departement of Civil Engineering, University of Sherbrooke, Quebec, Canada.
- Campione, G. (2002), *The Effects of Fibers on the Confinement Models for Concrete Columns*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.29, 742-750.
- Chan *et. al* (1999), *Residual Strength and Pore Structure of High-Strength Concrete and Normal Strength Concrete After Exposure to High Temperatures*, Cement and Concrete Composites 21(1): 2327.
- Cheng, F-P, Kodur V.K.R. , Wang T-C. (2004). *Stress-Strain Curves for High Strength Concete at Elevated Temperatures*. Journal of Materials in Civil Engineering, vol 16 no 1, January/February 2004, pp. 84-94.
- Cusson D and Paultre P (2014), *Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete*. Journal of Structural Engineering.
- Domski A, (2013), *Deflection Characteristic of Fibre Concrete Based on Waste Ceramic Aggregate*. Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska Volume/Tom 15.
- Gani, M. S. J. (1997), *Cement and Concrete*, Chapman & Hall, London, hal 129.
- Han A.L., Antonius, and Okiyarta A.W (2015), *Experimental Study of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams with Confinement*. Procedia Engineering, Vol. 125, 2015, pp. 1030–1035.
- Husem M (2006). *The Effects of High Temperature on Compressive and Flexural Strengths of Ordinary and High-Performance Concrete*. Fire Safety Journal 41(2) 155-163.

- Iqbal S *et. al* (2015), *Effect of Change in Micro Steel Fiber Content on Properties of High Strength Steel Fiber Reinforced Lightweight Self – Compacting Concrete (HSL SCC)*, *Procedia Engineering* 122 (88 – 94).
- Junior *et. al* (2010), *Stress-Strain Curves for Steel Fiber-Reinforced Concrete in Compression*. *Revista Materia*, Vol.15 (2), 260-266.
- Kalwane *et. al* (2016), *Toughness of Polymer Modified Steel Fiber Reinforced Concrete*, *Open Journal of Civil Engineering* 6, 8 – 18.
- Kusno & Susilorini (2011), *Teknologi Beton: Durabilitas Beton*, ISBN 978-602-98015-1-4.
- Khadake S.N and Kanapure CG (2013), *Experimental Study of Steel Fiber Reinforced Concrete With Fly Ash for M35 Grade*, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* ISSN: 2248 – 9622, Vol.3 Issue 1, 950 – 953
- Kodur *et. al* (2003), *Effect of Strength and Fiber Reinforced on Fire Resistance of High Strength Concrete Columns*, *Journal of Structural Engineering*. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 2.
- Konig & Simsch (1996), *Strain- Softening of Concrete in Uniaxial Compression*, *Materials and Structures* 30, 195-209, <http://doi.org/10.1007/BF02486177>.
- Kumar P. and Praven (2015), *Optimization of Percentages of Steel and Glass Fiber Reinforced Concrete*, *International Journal of Research in Engineering and Technology* eISSN: 2319 – 1163, ISSN: 2321 – 7308
- Kurganstalmost, [http://www. Steel fiber concrete.htm](http://www.Steel_fiber_concrete.htm), 2002
- Lie, T.T. and Kodur, V.K.R. (1996). *Thermal and Mechanical Properties of Steel-Fiber-Reinforced Concrete at Elevated Temperatures*. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.23, 511-517.
- Lima, H.H. and Giongo, J.S. (2005). *Theoretical Model for Confined Steel-Fiber-Reinforced High-Strength Concrete*. *Quality of Structures and Advances in Materials*, SP-229-18, 273-286.
- Mindes, S and Young, J.F (1981), *Concrete*, Prentice-Hall, New Jersey.

- Mander, J.B.; Priestley, M.J.N. and Park, R. (1988). *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*. Journal of Struc. Engrg. ASCE, V.114, No.8, August, 1804-1824.
- Mansur, M.A.; M.S. Chin; and T.H. (1997), *Stress-Strain Relationship of Confined High-Strength Plain and Fiber Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering., Volume 9, No.4, Nov .1997: 171-179.
- Nagashima, T., Sugano, S., Kimura, H., and Ichikawa, A. (1992), *Monotonic Axial Compression Test on Ultra-High-Strength Concrete Tied Columns*, Proceedings, 10th World Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, the Netherlands, , pp. 2983-2988.
- Niu J. et. al (2013), *Exspermental Study on The Flexure Tensile Properties of Fiber Reinforced Light – Weight Aggregate Concrete*, Applied Mechanics and Materials Vols. 341 – 342 pp 1458 -1462.
- Nishiyama, M., Fukushima, I., Watanabe, F., and Muguruma, H. (1993), *Axial Loading Tests on High-Strength Concrete Prisms Confined by Ordinary and High-Strength Steel*, Proc., Symposium on High-Strength Concrete, pp. 322-329.
- Naeimi, N., and Moustafa, M.A. (2021), *Analytical Stress–Strain Model for Steel Spirals-Confined UHPC*, Composites Part C: Open Access 5 (2021) 100130.
- Nataraja M.C., Dhang N., and Gupta A.P. (1999), *Stress-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression*. Cement & Concrete Composites, Vol. 21, 1999, 383-390.
- Patria & Agustinus, (2014), *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Lentur Balok Menggunakan Tulangan Minimum*, <http://e-journal.uajy.ac.id/id/eprint/5114>.
- Paulay, T. and Priestley M.J.N. (1992), *Seismic Design in Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Park, R. and Ruitong, D. (1988), *Ductility of Doubly Reinforced Concrete Beam Section*, ACI Structural Journal, Vol. 85, No. 2, March 1988, pp. 217-225.

- Phan L.T and Carino N.J (2002), *Effects of Test Conditions and Mixture Proportions on Behavior of High-Strength Concrete Exposed to High Temperatures*, ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 1.
- Pantazopoulou, S.J. and Zanganeh, M. (2001), *Triaxial Tests of Fiber-Reinforced Concrete*, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 13(5), 340-348.
- Paultre, P., Eid, R., Langlois, Y., and Lévesque, Y. (2010), *Behavior of Steel Fiber-Reinforced High-Strength Concrete Columns under Uniaxial Compression*. Journal Of Structural Eng., Vol.136 (10), 225–1235.
- Petkovski, M. (2010), *Effects of Stress During Heating on Strength and Stiffness of Concrete at Elevated Temperature*, Cement and Concrete Research 40(12): 1744-1755.
- Prashant *et. al* (2011), *Performance of steel fiber on standard strength concrete in compression*. International Journal Of Civil and Structural Engineering Volume 2, No 2.
- Popovics, S. (1973), *A Numerical Approach to The Complete Stress-Strain Curve of Concrete*. Cem. Concr. Res., 3 (5), 583–599.
- Rochman A (2006), *Estimasi Kekuatan Sisa dan Teknologi Perbaikannya*, Jurnal Dinamika Teknik Sipil Volume 6, Nomor 2 ; 94 – 100.
- Rizal, F. (2006). *Evaluasi Kekuatan dan Metode Perbaikan Struktur Beton pada Gedung Pasca Kebakaran*, Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, Aceh.
- Retnakar, A., *et. al* (2017), *Performance Evaluation of Glass Fibre Reinforced Concrete*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 04 Issue: 03 | Mar -2017
- Safitri and Endah. (2013), *Efek Berbagai Jarak External Confinment Terhadap Deformability Beton*. Konferensi Nasional Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret.
- Santosa A (2009), *Analitik Sifat Mekanik Tulangan Beton Pasca Bakar*, Jurnal
- Song P.S. and Hwang S. (2004), *Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete*, *Construction and Building Materials*, Vol. 18, 669–673. Gempa, 24-25 Maret, Yogyakarta.

- Soroushian and Z Bayasi (1987), *Concept of Fiber Reinforced Concrete*.
Proceeding of the International Seminar On Fiber Reinforced Concret.
- Soroushian, P., Bayasi, Z. (1992), *Effect of Steel Fiber Reinforced on Fresh Mix Properties of Concrete*, *ACI Material Journal*, tittle No.89-M41
- Soroushian, s and Z Bayasi (1991), *Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete*. *ACI Material Journal* 88 (2): 129 134.
- Suhendro, B (2000), *Beton Fiber Konsep, Aplikasi dan Permasalahannya*.
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Saatcioglu & Baingo (1999), *Circular High-Strength Concrete Columns Under Simulated Sismic Loading*, *Journal or Structural Engineering / Volume* 125, Issue 3.
- Saatcioglu & Razvi (1992), *Strength and Ductility of Confined Concrete*, *Journal of Structural Engineering* 118(6), DOI: 10.1061/(asce) 0733-9445 118: 6 (1590) .
- Sumardi, P.C., (2000), *Aspek Kimia Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa, 24-25 Maret.
- Sheikh and Toklucu (1993), *Reinforced Concrete Columns Confined by Circular Spirals and Hoops*, *ACI Structural Journal*, Title No. 90-S56.
- Scott, B. D., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1982), *Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates*. *ACI J.*, 79 (1), 13–27
- Tantary *et. al* (2012), *Steel Fibre Based Concrete in Its Fresh State*, *ICI Journal* , 13-22. Compression, I – Manager’s Journal on Structural Engineering Vol.1 no 3.
- Sheikh, S. A., and Li, Y. (2007), *Design of FRP Confinement for Square Concrete Columns*. *Engineering Structures*, 29(6): 1074-1083.
- Thomas J. and Ramaswamy A. (2007), *Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 385-392.

- Verma B, (2015), *Use of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) over Plain Concrete for Shotcrete in Underground Tunneling*, SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG – IJCE), Vol 2.
- Vikrant S. and Kavita S. K. (2012), *Experimental Investigation on Hybrid Fiber Reinforced Concrete*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, 1037-1041
- Widodo, A (2012), *Pengaruh Penggunaan Potongan Kawat Bendrat Pada Campuran Beton Dengan Konsentrasi Serat Panjang 4 cm Berat Semen 350 kg/m² dan Fas 0,5*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan N0.2 Vol. 4 (131 – 140)
- Yong, Y.-K., Nour, M. G., and Nawy, E. G. (1988), *Behavior of Laterally Confined High-Strength Concrete Under Axial Loads*. J. Struct. Eng., 114(2), 332–351.
- Yu *et. al* (2013), *Steel Fiber Reinforced Concrete Pavement Maintenance*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 252, 276 – 279, Trans Tech Publications, Switzerland
- Zaidi, K.A., Sharma, U.K., Bhandari, N.M., Bhargava, P. (2016), *Postheated Model of Confined High Strength Fibrous Concrete*. Advances in Civil Engineering, Hindawi Publishing Corporation, Vol.2016, Article ID 5659817.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

LAPORAN

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON

DI BUAT UNTUK:
UJI BESI DALAM RANGKA MENYELESAIKAN STUDI S3



PEMOHON:
DRS. SUTARNO,S.T.,M.T.

NOPEMBER 2020

UNIT PRODUKSI DAN JASA (PROJAS)

JURUSAN TEKNIK SIPIL

POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. Sudarto, S.H. Tembalang Kotak Pos 6199/SMS Semarang 50061
Telp. (024) 7478271, (024) 7473417 – Ps 150, Fax (024) 7472396



**LAB. UJI BAHAN BANGUNAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG**

Jl. Prof. Sudarto, S.H. Tembalang Kotak Pos 6199 / SMS Semarang 50061
Telp. (024) 7473417, 7466420 (Hunting) Fax. 472396
[http : // members, tripod. Com/~politeksmg](http://members.tripod.com/~politeksmg), email : poli-smg@idola.net.id

KATA PENGANTAR

Dengan ini kami laporkan hasil *Uji Tarik Baja Tulangan Beton* pada:

Proyek : **UJI BESI DALAM RANGKA MENYELESAIKAN STUDI S3**
Lokasi : -
Pemohon : **DRS. SUTARNO,S.T.,M.T.**

Untuk hasil lengkap pengujian *Uji Tarik Baja Tulangan Beton* bisa dilihat pada lampiran buku ini. Atas kerjasama dan kepercayaan kepada kami, diucapkan terima kasih.



Semarang, 05 Nopember 2020
Laboratorium Uji Bahan Bangunan
Jurusan Teknik Sipil Polines
Kepala,

Drs. Sutarno, M.M.
NIP. 19570610.1987.03.1.001



LABORATORIUM PENGUJI JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. Sudarto, SH. Tembalang Kotak Pos 6199/SMS Semarang 50061
Telp. 024 - 7478271 Fax. 024 - 7478271

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON

SNI - 2052 : 2017

Tanggal Datang : 20 Oktober 2020
Pelanggan : Bp. Drs. Sutarno, ST. MM
Proyek : Uji besi dalam rangka menyelesaikan studi S3
Alamat Proyek :
Operator Uji : M. Bagus Satriawan, ST.

No. Job. : 532/PJ-CI/ X /2020
Jenis Benda Uji : BJTP 6 mm
Ex. / Tgl. Kirim : HKHK / -
Tanggal Uji : 05 Nopember 2020
Analisis : Lely Fatmawati, ST. MT.

No.	Pemeriksaan	HASIL UJI				KETERANGAN	
		NOTASI - STANDARD	BU. A (Normal)	BU. B (Bakar 1 jm)	BU. C (Bakar 2 jm)		BU. D (Bakar 3 jm)
1	Berat Nominal (Kg/m)	bo	0.222	0.222	0.222	0.222	
2	Berat Aktual (Kg/m)	b ak	0.193	0.197	0.197	0.196	Kalibrasi Mesin
3	Diameter Nominal (mm)	d	6	6	6	6	BU A = - 0.001396
4	Diameter max. (mm)	d max	5.5	5.5	5.5	5.5	BU B = - 0.001286
5	Diameter min. (mm)	d min	5.2	5.2	5.2	5.2	BU C = - 0.001370
6	Diameter Aktual da (mm)	da	5.35	5.35	5.35	5.35	BU D = - 0.001157
7	Diameter setelah putus (mm)		3.3	3	3.4	3.1	
8	Penyimp. Diameter (mm)	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	
9	Penyimp. Kebund.(p) (%)	0.42	0.30	0.30	0.30	0.30	
10	Luas Pen. Nominal (mm ²)	A	28.27	28.27	28.27	28.27	
11	Panjang Ulur (mm)	Lo	200	200	200	200	
12	Beban Luluh (KN)	P _{yield}	10.88	9.87	10.12	6.84	
13	Kuat Luluh Min. (MPa)	280 - 405	384.26	348.63	357.43	241.64	
14	Kuat Luluh Min. (kgf/mm ²)	28.6 - 41.3	39.18	35.55	36.45	24.64	
15	Beban Maximum (KN)	P _{maks}	14.18	12.9	13.74	11.6	
16	Kuat Tarik Min. (MPa)	>350	500.81	455.66	485.29	409.79	
17	Kuat Tarik Min. (kgf/mm ²)	>35.69	51.07	46.46	49.49	41.79	
18	Panj. Setelah Putus (mm)	Lu	242	250	261	245	
19	Regangan Min. (%)	11	21.00	25.00	30.50	22.50	
20	Hasil Uji Lengkung		-	-	-	-	

Kesimpulan : BU. A Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. B Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. C Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. D Tidak Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017), Yield di bawah standart

Semarang, 08 Nopember 2020
Ka. Lab. Bahan Bangunan

Drs. Sutarno, MM.
NIP. 195706101987031001

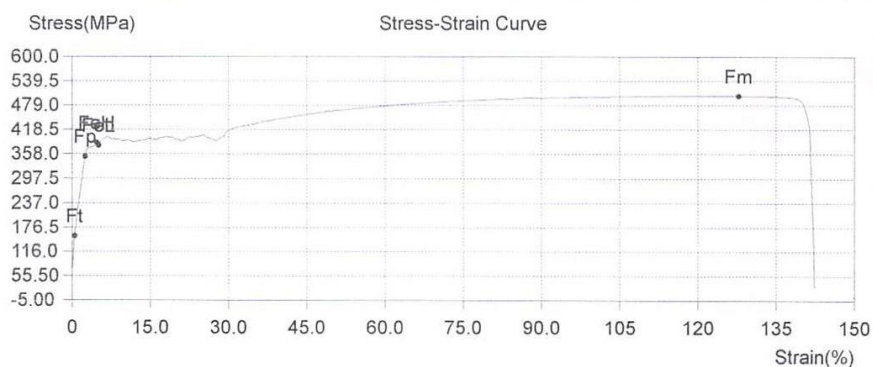


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 6 HKHK_1	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	6	Ao(mm ²)	28.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	242
A(%)	21.0	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	14.18
Rm(MPa)	500	FeH(kN)	10.88
UYS(MPa)	380	FeL(kN)	10.69
LYS(MPa)	380	Fp(kN)	9.91
Rp(MPa)	350	Ft(kN)	4.36
Rt(MPa)	150	E(GPa)	10.75



BJTP 8_HKHK_1

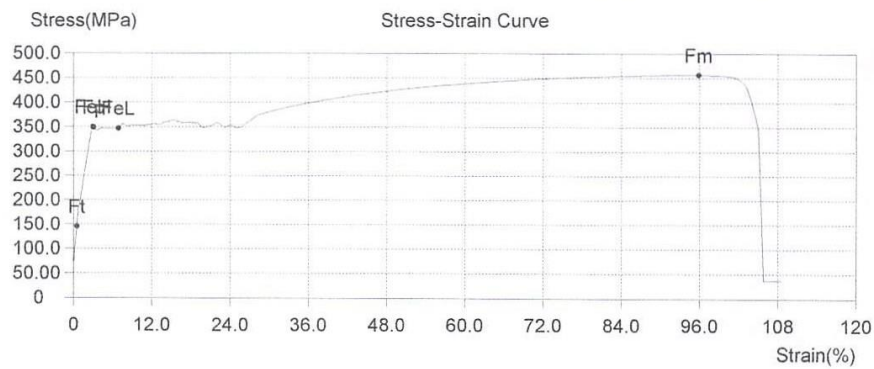


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 6 HKHK_1_1 JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	6	Ao(mm ²)	28.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	250
A(%)	25.0	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	12.90
Rm(MPa)	460	FeH(kN)	9.87
UYS(MPa)	350	FeL(kN)	9.79
LYS(MPa)	350	Fp(kN)	9.85
Rp(MPa)	350	Ft(kN)	4.10
Rt(MPa)	150	E(GPa)	7.91



BJTP 8_HKHK_1_1 JAM

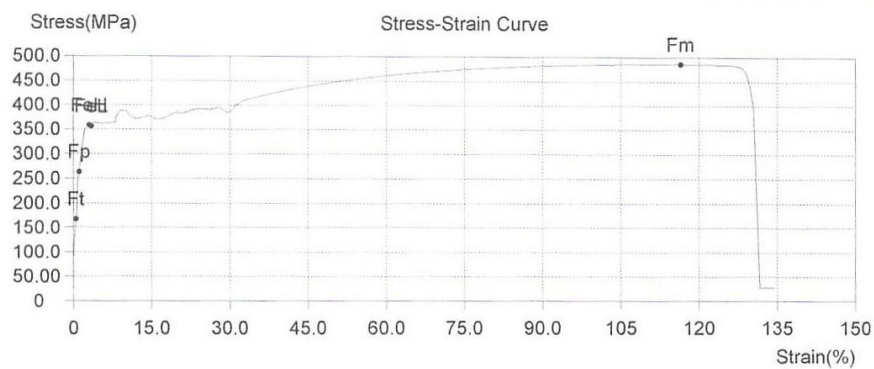


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 6 HKHK_1_2 JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	6	Ao(mm ²)	28.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	261
A(%)	30.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	13.74
Rm(MPa)	490	FeH(kN)	10.12
UYS(MPa)	360	FeL(kN)	10.06
LYS(MPa)	360	Fp(kN)	7.44
Rp(MPa)	260	Ft(kN)	4.73
Rt(MPa)	170	E(GPa)	31.98



BJTP 8_HKHK_1_2 JAM

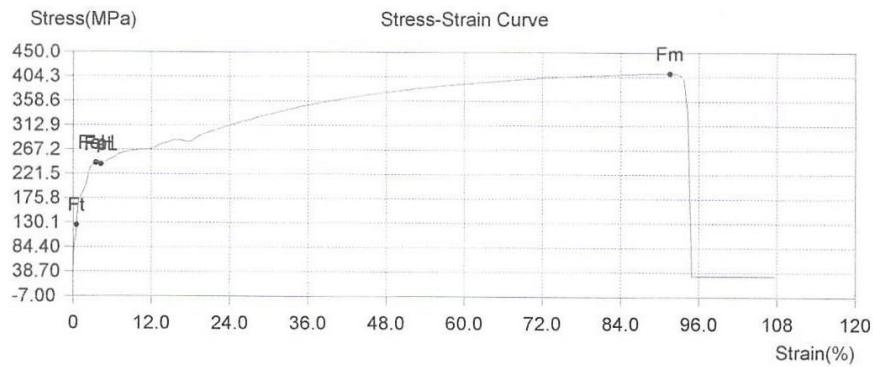


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 6 HKHK_1_3 JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	6	Ao(mm ²)	28.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	245
A(%)	22.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	11.60
Rm(MPa)	410	FeH(kN)	6.84
UYS(MPa)	240	FeL(kN)	6.77
LYS(MPa)	240	Fp(kN)	6.84
Rp(MPa)	240	Ft(kN)	3.54
Rt(MPa)	130	E(GPa)	3.10



BJTP 8_HKHK_1_3 JAM



LABORATORIUM PENGUJI JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang Kotak Pos 6199/SMS Semarang 50061
Telp. 024 - 7478271 Fax. 024 - 7478271

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON

SNI - 2052 : 2017

Tanggal Datang : 20 Oktober 2020
Pelanggan : Bp. Drs. Sutarno, ST. MM
Proyek : Uji besi dalam rangka menyelesaikan studi S3
Alamat Proyek :
Operator Uji : M. Bagus Satriawan, ST.

No. Job : 532/PJ-CI/ X /2020
Jenis Benda Uji : BJTP 8 mm
Ex. / Tgl. Kirim : HKHK / -
Tanggal Uji : 05 Nopember 2020
Analisis : Lely Fatmawati, ST. MT.

No.	Pemeriksaan	NOTASI -	HASIL UJI				KETERANGAN
		STANDARD	BU. A (Normal)	BU. B (Bakar 1 jm)	BU. C (Bakar 2 jm)	BU. D (Bakar 3 jm)	
1	Berat Nominal (Kg/m)	bo	0.395	0.395	0.395	0.395	
2	Berat Aktual (Kg/m)	b ak	0.368	0.369	0.367	0.370	Kalibrasi Mesin
3	Diameter Nominal (mm)	d	8	8	8	8	BU A = - 0.002991
4	Diameter max. (mm)	d max	7.6	7.6	7.6	7.6	BU B = - 0.002692
5	Diameter min. (mm)	d min	7.2	7.2	7.2	7.2	BU C = - 0.002891
6	Diameter Aktual da (mm)	da	7.4	7.4	7.4	7.4	BU D = - 0.002592
7	Diameter Setelah Putus (mm)		4.3	4.6	5	5.6	
8	Penyimp. Diameter (mm)	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	
9	Penyimp. Kebund (p) (%)	0.56	0.40	0.40	0.40	0.40	
10	Luas Pen. Nominal (mm ²)	A	50.27	50.27	50.27	50.27	
11	Panjang Uliur (mm)	Lo	200	200	200	200	
12	Beban Luluh (KN)	P _{yield}	21.8	19.99	21.9	16.93	
13	Kuat Luluh Min. (MPa)	280 - 405	432.40	396.62	434.43	335.94	
14	Kuat Luluh Min. (kgf/mm ²)	28.6 - 41.3	44.09	40.44	44.30	34.26	
15	Beban Maximum (KN)	P _{maks}	29.74	27.65	29.19	26.17	
16	Kuat Tarik Min. (MPa)	>350	589.89	548.60	579.04	519.29	
17	Kuat Tarik Min. (kgf/mm ²)	>35.69	60.15	55.94	59.05	52.95	
18	Panj. Setelah Putus (mm)	Lu	235	237	239	243	
19	Regangan Min. (%)	11	17.50	18.50	19.50	21.50	
20	Hasil Uji Lengkung		-	-	-	-	

Kesimpulan : BU. A Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. B Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. C Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)
BU. D Memenuhi BJTP 280 (Menurut SNI 2052-2017)

Semarang, 05 Nopember 2020
Ka. Lab. Bahan Bangunan

Drs. Sutarno, MM.
NIP. 195706101987031001

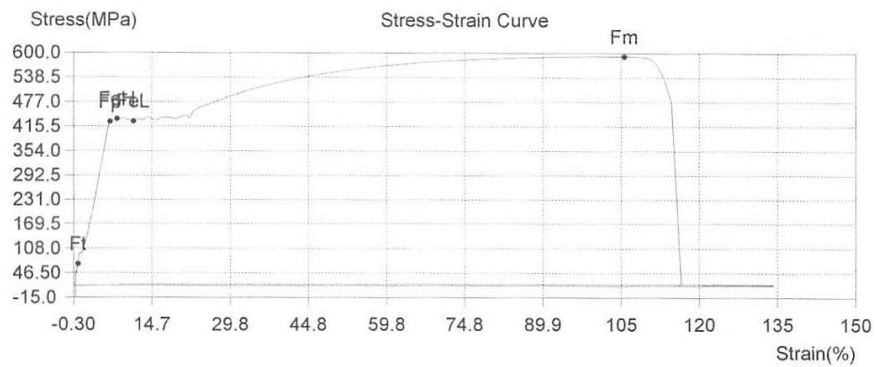


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 8 HKHK_1	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	8	Ao(mm ²)	50.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	235
A(%)	17.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	29.74
Rm(MPa)	590	FeH(kN)	21.80
UYS(MPa)	430	FeL(kN)	21.53
LYS(MPa)	430	Fp(kN)	21.46
Rp(MPa)	430	Ft(kN)	3.46
Rt(MPa)	70	E(GPa)	6.93



BJTP 8_HKHK_1

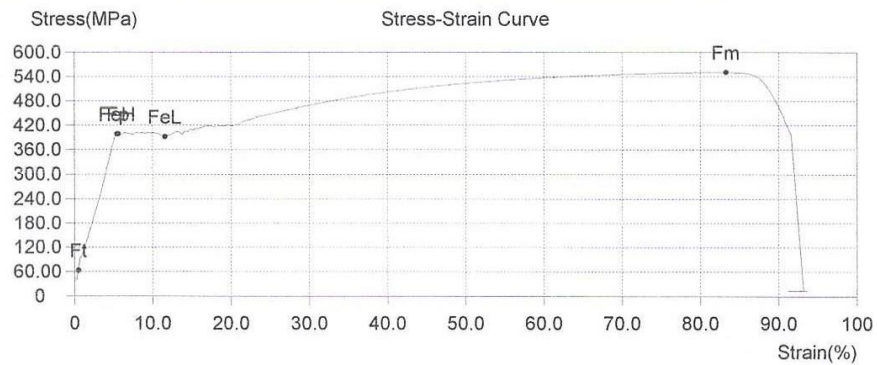


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 8 HKHK_1_1JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	8	Ao(mm ²)	50.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	237
A(%)	18.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	27.65
Rm(MPa)	550	FeH(kN)	19.99
UYS(MPa)	400	FeL(kN)	19.65
LYS(MPa)	390	Fp(kN)	19.98
Rp(MPa)	400	Ft(kN)	3.15
Rt(MPa)	60	E(GPa)	6.96



BJTP 8_HKHK_1_1 JAM

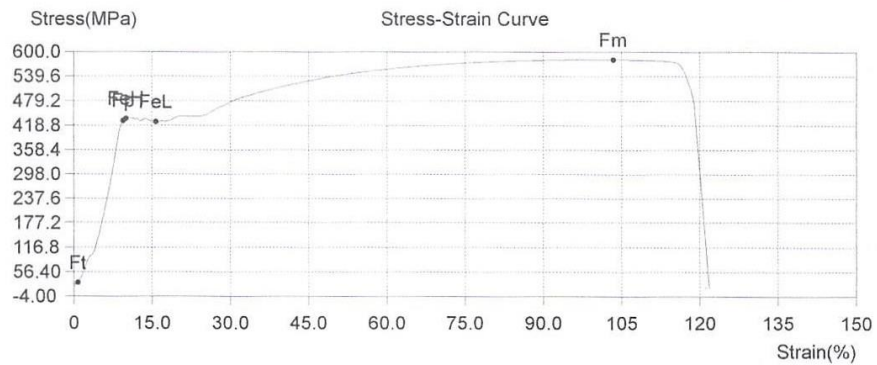


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 8 HKHK_1_2 JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	8	Ao(mm ²)	50.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	239
A(%)	19.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	29.19
Rm(MPa)	580	FeH(kN)	21.90
UYS(MPa)	440	FeL(kN)	21.48
LYS(MPa)	430	Fp(kN)	21.64
Rp(MPa)	430	Ft(kN)	1.49
Rt(MPa)	30	E(GPa)	6.66



BJTP 8_HKHK_1_2 JAM

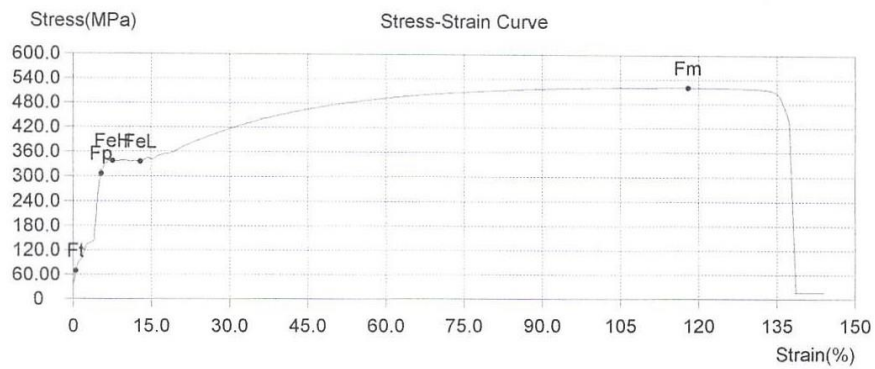


LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Telp. +62 24 7473417, 7499585, 7499586 Fax. +62 24 7472396

UJI TARIK BAJA TULANGAN BETON
SNI 2052 2017

SampleID	BJTP 8 HKHK_1_3 JAM	TestDate	11/5/2020
Operator	M.BAGUS.ST	Type	Circle
Size(mm)	8	Ao(mm ²)	50.27
Lo(mm)	200	Lu(mm)	243
A(%)	21.5	Au(mm ²)	
Z(%)	/	Fm(kN)	26.17
Rm(MPa)	520	FeH(kN)	16.93
UYS(MPa)	340	FeL(kN)	16.85
LYS(MPa)	340	Fp(kN)	15.36
Rp(MPa)	310	Ft(kN)	3.47
Rt(MPa)	70	E(GPa)	13.61



BJTP 8_HKHK_1_3 JAM

LAMPIRAN 2

Hasil Analisis Kandungan Fly Ash

1. Hasil Analisis Kandungan Fly Ash

Attachment
To Certificate No. 01498/ALBGAM
Date: June 13, 2019

Page 2 of 2



Jl. Sutan Syahrir (Raya Kaligawe KM. 8), Semarang, Indonesia
Phone/Facs: +62 24 3518618/3540065, 6590550
Email: semarang@sucofindo.co.id

REPORT OF ANALYSIS

Parameter**)	Unit	Test Results	Detection Limit	Requirement		Methods
				TCLP-A	TCLP-B	
Organic						
1,1,1,2-Tetrachloroethane*	mg/L	< 0.02	0.02	40	4	US EPA SW-846-8260 C
1,1,2,2-Tetrachloroethane*	mg/L	< 0.02	0.02	5.2	0.65	US EPA SW-846-8260 C
Tetrachloroethene	mg/L	< 0.001	0.001	20	2.5	APHA 6232 B
Toluene	mg/L	< 0.05	0.05	210	35	US EPA SW-846-8260 C
Trichlorobenzene*	mg/L	< 0.003	0.003	12	1.5	US EPA SW-846-8270 C
1,1,1-Trichloroethane*	mg/L	< 0.002	0.002	120	15	APHA 6232 B, US EPA SW-846-8260 C
1,1,2-Trichloroethane*	mg/L	< 0.02	0.02	4.8	0.6	US EPA SW-846-8260 C
Trichloroethene*	mg/L	< 0.001	0.001	2	0.25	APHA 6232 B
2,4,6 Trichlorophenol	mg/L	< 0.03	0.03	1600	200	US EPA SW-846-8270 C
2,4,6 Trichlorophenol	mg/L	< 0.02	0.02	8	1	US EPA SW-846-8270 C
Vinyl Chloride*	mg/L	< 0.0015	0.0015	0.12	0.015	US EPA SW-846-8260 C
Xylene	mg/L	< 0.03	0.03	150	25	US EPA SW-846-8260 C
Pesticides						
Aldrine + Dieldrine	mg/L	< 0.00003	0.00003	0.009	0.0015	US EPA SW-846-8081 A
DDT + DDD + DDE	mg/L	< 0.0001	0.0001	0.3	0.05	US EPA SW-846-8081 A
2,4-D *	mg/L	< 0.001	0.001	9	1.5	US EPA SW-846-8081 A
Chlordane	mg/L	< 0.001	0.001	0.06	0.01	US EPA SW-846-8081 A
Heptachlor	mg/L	< 0.00003	0.00003	0.12	0.015	US EPA SW-846-8081 A
Lindane	mg/L	< 0.00003	0.00003	0.6	0.1	US EPA SW-846-8081 A
Metoxychlor	mg/L	< 0.00004	0.00004	6	1	US EPA SW-846-8081 A
Pentachlorophenol	mg/L	< 0.05	0.05	2.7	0.46	US EPA SW-846-8270 C
Additional Parameter						
Endrine	mg/L	< 0.00003	0.00003	0.12	0.02	US EPA SW-846-8081 A
Hexachlorobenzene	mg/L	< 0.04	0.04	0.8	0.13	US EPA SW-846-8270 C
Hexachloroethane	mg/L	< 0.5	0.5	18	3	US EPA SW-846-8270 C
Pyridine	mg/L	< 0.22	0.22	30	5	US EPA SW-846-8270 C
Toxaphene	mg/L	< 0.001	0.001	3	0.5	US EPA SW-846-8081 A
2,4,5-TP (Silvex)*	mg/L	< 0.001	0.001	6	1	US EPA SW-846-8151 A

*) Excluded the scope of accreditation KAN
< = Less than the detection limit indicated

***) Analysis by PT. Sucofindo Laboratorium Cibitung Iwo Number : KDS.WO.19.00016



1374994

SC1-2007P



REPORT OF ANALYSIS

Parameter**)	Unit	Test Results	Detection Limit	Requirement		Methods
				TCLP-A	TCLP-B	
AnOrganic						
Antimony*	mg/L	< 0.04	0.04	6	1	US EPA SW-846-7081
Arsenic	mg/L	< 0.07	0.07	3	0.5	US EPA SW-846-7081
Barium	mg/L	0.98	0.02	210	35	US EPA SW-846-8010 B
Beryllium*	mg/L	< 0.03	0.03	4	0.5	US EPA SW-846-8010 B
Boron	mg/L	2.76	0.02	150	25	US EPA SW-846-8010 B
Cadmium	mg/L	< 0.01	0.01	0.9	0.15	US EPA SW-846-8010 B
Chromium Hexavalent*	mg/L	< 0.01	0.01	15	2.5	APHA 3500-Cr-B
Copper	mg/L	0.03	0.01	60	10	US EPA SW-846-8010 B
Lead	mg/L	0.20	0.06	3	0.5	US EPA SW-846-8010 B
Mercury	mg/L	< 0.018	0.018	0.3	0.05	US EPA SW-846-7470
Molybdenum*	mg/L	< 0.01	0.01	21	3.5	US EPA SW-846-8010 B
Nickel	mg/L	0.03	0.03	21	3.5	US EPA SW-846-8010 B
Selenium	mg/L	< 0.13	0.13	3	0.5	US EPA SW-846-7740
Silver	mg/L	< 0.03	0.03	-40	5	US EPA SW-846-8010 B
Tributyltin Oxide*	mg/L	< 0.02	0.02	0.4	0.05	APHA 6710 B
Zinc	mg/L	0.17	0.02	300	50	US EPA SW-846-8010 B
Anion						
Chloride	mg/L	7.65	0.9	75000	12500	APHA 4500-Cl-D
Cyanide*	mg/L	< 0.01	0.01	21	3.5	APHA 4500-CN-E
Fluoride	mg/L	0.34	0.06	450	75	APHA 4500-F-D
Iodide*	mg/L	< 0.06	0.06	40	5	APHA 4500-I-C
Nitrate	mg/L	< 0.02	0.02	15000	2500	APHA 4500-NO ₃ -E
Nitrite	mg/L	< 0.004	0.004	900	150	APHA 4500-NO ₂ -B
Organic						
Benzene	mg/L	< 0.01	0.01	3	0.5	US EPA SW-846-8280 C
Benzo (a) pyrene *	mg/L	< 0.0002	0.0002	0.004	0.0005	US EPA SW-846-8100 / 8270 C
Carbon Tetrachloride	mg/L	< 0.001	0.001	1.2	0.2	APHA 6232 B
Chlorobenzene	mg/L	< 0.02	0.02	120	15	US EPA SW-846-8280 C
Chloroform	mg/L	< 0.004	0.004	24	3	APHA 6232 B
2-Chlorophenol*	mg/L	< 0.16	0.16	120	15	US EPA SW-846-8270 C
Total Cresol	mg/L	< 0.06	0.06	800	100	US EPA SW-846-8270 C
Di (2 Ethylhexyl) phthalat *	mg/L	< 0.004	0.004	2.4	0.4	US EPA SW-846-8081 A
1,2 Dichlorobenzene*	mg/L	< 0.02	0.02	300	50	US EPA SW-846-8270 C
1,4 Dichlorobenzene	mg/L	< 0.02	0.02	90	15	US EPA SW-846-8270 C
1,2 Dichloroethane	mg/L	< 0.004	0.004	15	2.5	APHA 6232 B
1,1 Dichloroethene	mg/L	< 0.02	0.02	12	3	APHA 6232 B
1,2 Dichloroethene*	mg/L	< 0.02	0.02	15	2.5	APHA 6232 B
Dichloromethane (Methylene Chloride)	mg/L	< 0.006	0.006	6	1	APHA 6232 B
2,4-Dichlorophenol*	mg/L	< 0.08	0.08	80	10	US EPA SW-846-8270 C
2,4-Dinitrotoluene	mg/L	< 0.02	0.02	0.52	0.065	US EPA SW-846-8270 C
Ethylbenzene	mg/L	< 0.03	0.03	90	15	US EPA SW-846-8280 C
Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA)*	mg/L	< 0.05	0.05	180	30	HPLC
Formaldehyde*	mg/L	< 0.03	0.03	200	25	US EPA SW-846-8315 C
Hexachlorobutadiene	mg/L	< 0.003	0.003	0.18	0.03	US EPA SW-846-8270 C
Methyl Ethyl Kethon (MEK)	mg/L	< 5.32	5.32	800	100	US EPA SW-846-8280 C
Nitrobenzene *	mg/L	< 0.08	0.08	8	1	US EPA SW-846-8270 C
Phenol (Total, Non-Halogenasi)*	mg/L	< 0.1	0.1	66	7	US EPA SW-846-8270 C
Styrene*	mg/L	< 0.001	0.001	6	1	US EPA SW-846-8280 C

*) Excluded the scope of accreditation IKAN
 ** = Less than the detection limit indicated
 **) Analysis by PT. Sucofindo Laboratorium Cipting Iwo Number : KDS/ND/19.00018



1374993

SCI-2007P

LAMPIRAN 3

Bahan/ Material Untuk Campuran Beton



Lampiran Gambar 3. 1. Potongan Kawat Bendrat



Lampiran Gambar 3. 2. Agregat Kasar



Lampiran Gambar 3. 3 .Agregat Halus



Lampiran Gambar 3.4 *Fly Ash*



Lampiran Gambar 4. 4. *Sika Viscocrete 1003*



Lampiran Gambar 4. 5. *Semen Gresik*

LAMPIRAN 4

Rancangan Campuran Beton

1. Rancangan Campuran Beton untuk Mutu 30 MPa dengan campuran serat 0%



CV NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON

LABORATORIUM BATCHING PLANT

Jln. Lingkar Selatan RT.03/RW.02 Mranak Demak Jawa Tengah

Telp. 0291-681740 Fax. 0291-685131

Email : njmbeton@yahoo.com

Keterangan Campuran	:	Proporsi Campuran Beton Serat
Campuran Untuk	:	Penelitian S3 (Disertasi)
Tempat Uji	:	Laboratorium Beton CV.NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON
Mutu	:	30 N/mm ² Serat 0% Slump maximum 120 mm
Hal	:	Daftar Isian Rancangan Campuran Beton

1	Kuat tekan karakteristik 28hari	=	30,00	N/mm ²
2	Jenis semen	=	Semen Type I eks.Gresik	
3	Jenis agregat	Kasar	=	Batu pecah eks.batang
4	Jenis agregat	Halus	=	Pasir eks.merapi
5	Faktor air semen bebas	=	0,46	
6	Slump maximal	=	120	mm
7	Ukuran agregat maksimum	=	20	mm

8	Kadar air bebas		=	186	Liter		
9	Kadar semen Asli		=	402	Kg/m ³		
10	Kadar semen ditentukan		=	350	Kg/m ³		
11	Admixture Type D (Water Reducing&Retarder)	0,00%	=	-			
12	Admixture Type F (Superplastizier)	0,00%	=	Sika Viscocrete 3100			
13	Persentase serat kawat (L = 30mm) dari volume beton	0,00%	=	0	Kg/m ³		
14	Material Rancangan Campuran Beton Teoritis Dan Terkoreksi						
15	Semen		=	350	→	0,113	Kg/m ³
16	Pasir		=	1030	→	0,404	Kg/m ³
17	Batu Pecah 20mm		=	798	→	0,297	Kg/m ³
17	Batu Pecah 30mm		=	0	→	0,000	Kg/m ³
18	Air		=	186	→	0,186	Lt/m ³
19	Admixture Type F		=	0,00	→	0,000	Kg/m ³
20	Serat kawat		=	0,00	→	0,000	Kg/m ³
				2364		1,00	

Dibuat Oleh :

CV.Nurchaya Jaya Mandiri Beton

(.....)

Laboratorium

2. Rancangan Campuran Beton untuk Mutu 50 MPa dengan campuran serat 0%



CV NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON

LABORATORIUM BATCHING PLANT

Jln. Lingkar Selatan RT.03/RW.02 Mranak Demak Jawa Tengah

Telp. 0291-681740 Fax. 0291-685131

Email : njmbeton@yahoo.com



Keterangan Campuran Campuran Untuk	:	Proporsi Campuran Beton Serat Penelitian S3 (Disertasi)
Tempat Uji	:	Laboratorium Beton CV.NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON
Mutu	:	50 N/mm ² Serat 0% Slump maximum 120 mm
Hal	:	Daftar Isian Rancangan Campuran Beton

1	Kuat tekan karakteristik 28hari	=	50,00	N/mm ²
2	Jenis semen	=	Semen Type I eks.Gresik	
3	Jenis agregat Kasar	=	Batu pecah eks.batang	
4	Jenis agregat Halus	=	Pasir eks.merapi	
5	Faktor air semen bebas	=	0,32	
6	Slump maximal	=	120	mm
7	Ukuran agregat maksimum	=	20	mm
8	Kadar air bebas	=	160	Liter
9	Kadar semen Asli	=	509	Kg/m ³

10	Kadar semen ditentukan		=	419,98	Kg/m ³		
11	Persentase flyas						
12	Admixture Type D (Water Reducing&Retarder)	15,00%	=	74,11	Kg/m ³		
13	Admixture Type F (Superplastizier)	0,00%	≡	Sika Viscocrete 3100			
14	Persentase serat kawat (L = 30mm) dari volume beton	0,00%	=	0	Kg/m ³		
15	Material Rancangan Campuran Beton Teoritis Dan Terkoreksi						
16	Semen		=	419,98	→	0,135	Kg/m ³
17	Flyas		=	74,11	→	0,030	Kg/m ³
18	Pasir		=	911	→	0,357	Kg/m ³
19	Batu Pecah 20mm		=	853	→	0,318	Kg/m ³
20	Batu Pecah 30mm		=	0	→	0,000	Kg/m ³
21	Air		=	160	→	0,160	Lt/m ³
22	Admixture Type F		=	0,00	→	0,000	Kg/m ³
23	Serat kawat		=	0,00	→	0,000	Kg/m ³
				2418		1,00	

Dibuat Oleh :
CV.Nurcahya Jaya Mandiri Beton

(.....)
Laboratorium

Kantor Batching Plant Group dan Pemasaran :

cv.nurcahya jaya mandiri beton_alamat : Jalan lingkaran selatan demak rt.03/02 mranak demak

cv.nurcahya jaya lestari_alamat : Jl.Raya Blora-Purwodadi Km.17 Tanjungrejo Kec,Wirosari

pt.surya jaya mulya_alamat : Dk.Sidorejo Rt.01 Rw.01 Ds.Surodadi Gringsing Batang.

cv.rahmah jaya mandiri_alamat : Jalan Pandangan-Sedan Ke.Bogorejo Rt.03/01 Kab.Rembang

3. Rancangan Campuran Beton untuk Mutu 70 MPa dengan campuran serat 0%



CV NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON

LABORATORIUM BATCHING PLANT

Jln. Lingkar Selatan RT.03/RW.02 Mranak Demak Jawa Tengah

Telp. 0291-681740 Fax. 0291-685131

Email : njmbeton@yahoo.com



Keterangan Campuran	:	Proporsi Campuran Beton Serat
Campuran Untuk	:	Penelitian S3 (Disertasi)
Tempat Uji	:	Laboratorium Beton CV.NURCAHYA JAYA MANDIRI BETON
Mutu	:	70 N/mm ² Serat 0% Slump maximum 120 mm
Hal	:	Daftar Isian Rancangan Campuran Beton

1	Kuat tekan karakteristik 28hari	=	70,00	N/mm ²
2	Jenis semen	=	Semen Type I eks.Gresik	
3	Jenis agregat Kasar	=	Batu pecah eks.batang	
4	Jenis agregat Halus	=	Pasir eks.merapi	
5	Faktor air semen bebas	=	0,28	
6	Slump maximal	=	120	mm
7	Ukuran agregat maksimum	=	20	mm
8	Kadar air bebas	=	136	Liter
9	Kadar semen Asli	=	489	Kg/m ³
10	Kadar semen ditentukan	=	485,00	Kg/m ³

11	Persentase flyas	15,00%	=	85,59		Kg/m ³
12	Admixture Type D (Water Reducing&Retarder)	0,00%	=	-		
13	Admixture Type F (Superplastizier)	0,00%	=	Sika Viscocrete 3	00	
14	Persentase serat kawat (L = 30mm) dari volume beton	0,00%	=	0		Kg/m ³
15	Material Rancangan Campuran Beton Teoritis Dan Terkoreksi					
16	Semen		=	485,00	→	0,156 Kg/m ³
17	Flyas		=	85,59	→	0,034 Kg/m ³
18	Pasir		=	837	→	0,328 Kg/m ³
19	Batu Pecah 20mm		=	925	→	0,345 Kg/m ³
20	Batu Pecah 30mm		=	0	→	0,000 Kg/m ³
21	Air		=	136	→	0,136 Lt/m ³
22	Admixture Type F		=	0,00	→	0,000 Kg/m ³
23	Serat kawat		=	0,00	→	0,000 Kg/m ³
				2470		1,00

Dibuat Oleh :

CV.Nurchahya Jaya Mandiri Beton

(.....)

Kantor Batching Plant Group dan Pemasaran :

cv.nurcahya jaya mandiri beton_alamat : Jalan lingkar selatan demak rt.03/02 mranak demak
cv.nurcahya jaya lestari_alamat : Jl.Raya Blora-Purwodadi Km.17 Tanjungrejo Kec,Wirosari
pt.surya jaya mulya_alamat : Dk.Sidorejo Rt.01 Rw.01 Ds.Surodadi Gringsing Batang.

