

TUGAS AKHIR

**PENGARUH BATU ZEOLITE SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN
BETON NORMAL**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Muhammad Daud Yusuf

NIM : 30202000296

Bondan Bagus Sumantri

NIM : 30202000290

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH BATU ZEOLITE SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR
TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL



Muhammad Daud Yusuf
NIM : 30202000296



Bondan Bagus Sumantri
NIM : 30202000290

Telah disetujui oleh dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

	Tim Penguji	Pembin	Tanda Tangan
1.	Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT, Ph.D NIDN : 0607046802		
2.	Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. NIDN: 0625059102	wojSetiy	
3.	Dr. Abdul Rochim, ST., M.T NIDN: 0608067601	r.	

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No :

Pada hari ini tanggal (----) Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

1. Nama : Ir. Prabowo Setiawan, M.T., Ph.D.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muhammad Daud Yusuf Bondan Bagus Sumantri
30202000296 30202000290

Judul : Laporan Tugas Akhir Pengaruh Zeolite sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton Normal.

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keteranoan
1	Penunjukan dosen pembimbing	02/05/2022	ACC
2	Seminar Proposal	29/06/2022	
3	Pengumpulan data	06/07/2022	ACC
4	Analisis data	08/08/2022	
5	Penyusunan laporan	09/08/2022	
6	Selesai laporan	12/08/2022	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping



Ir. Prabowo Setiawan, M.T., Ph.D.



Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

NIDN : 0625059102

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Bondan Bagus Sumantri

NIM : 30202000290

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

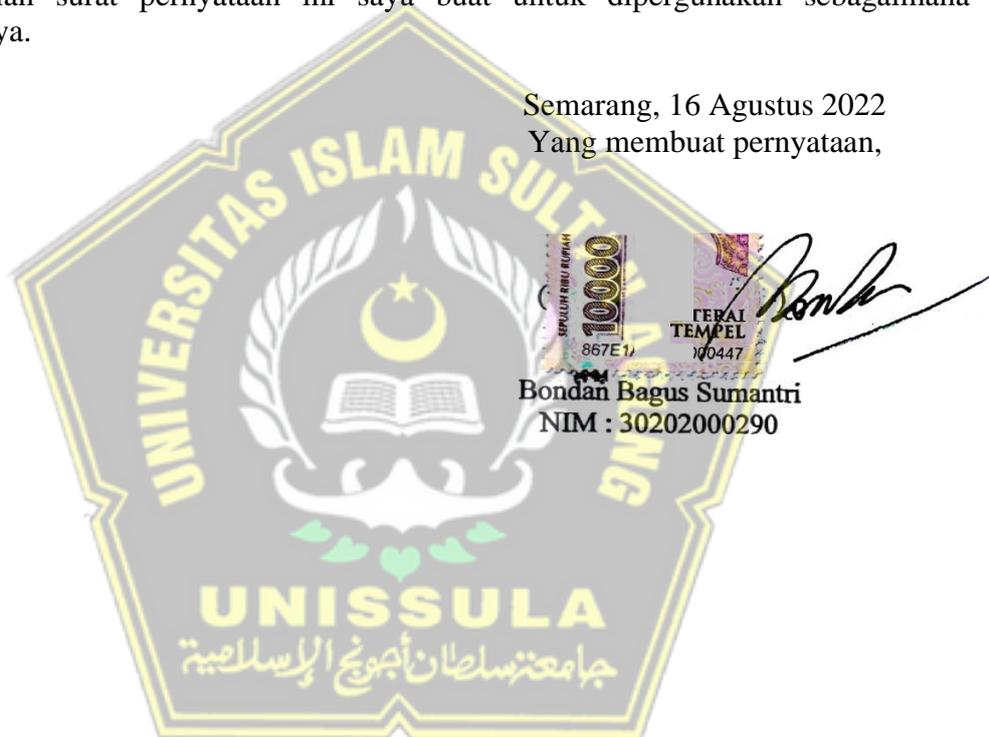
**PENGARUH BATU ZEOLITE SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT
KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 16 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Bondan Bagus Sumantri
NIM : 30202000290

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

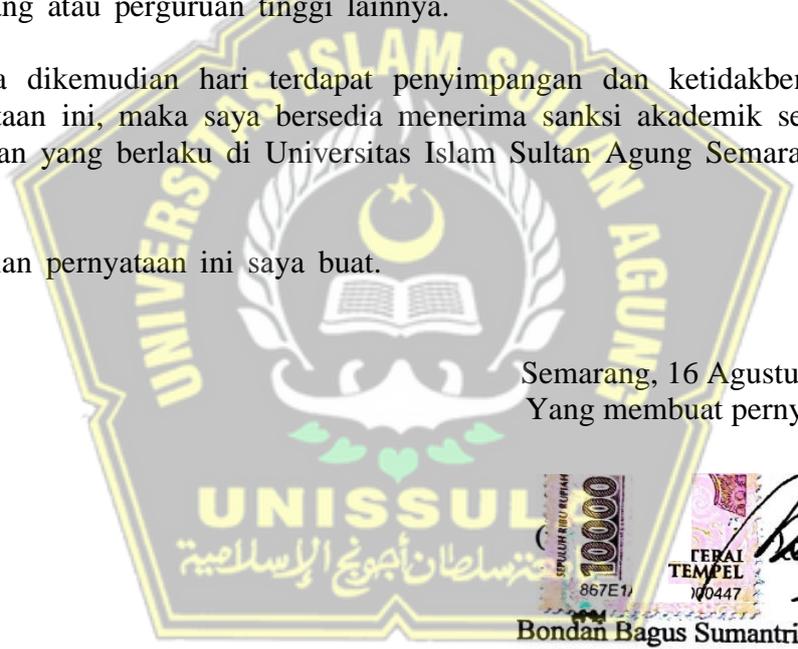
NAMA : Bondan Bagus Sumantri
NIM : 30202000290
JUDUL TUGAS AKHIR : **PENGARUH BATU ZEOLITE SEBAGAI
PENGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON
NORMAL**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 16 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,



Bondan Bagus Sumantri
NIM : 30202000290

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ
عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ
لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ
الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

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, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik. (QS. Ali Imran 3 : 110)

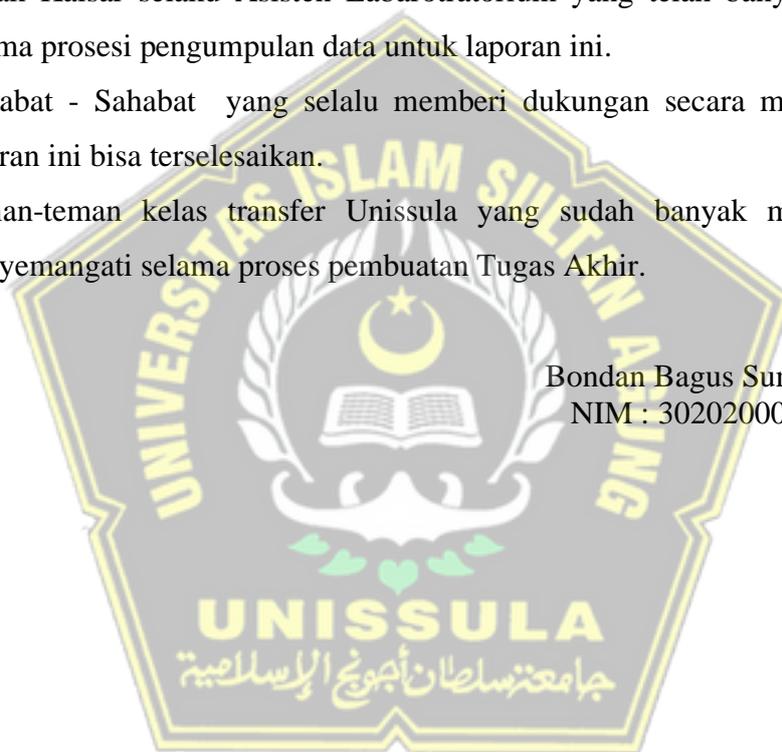
Menuntut ilmu adalah taqwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad. (Abu Hamid Al Ghazali)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Orang tua serta keluarga kami yang senantiasa membantu dalam suka maupun duka.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D. serta Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. yang telah berkenan membimbing kami dari awal hingga akhir laporan ini dibuat.
3. Bapak Kaiser selaku Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu selama prosesi pengumpulan data untuk laporan ini.
4. Sahabat - Sahabat yang selalu memberi dukungan secara moril sehingga laporan ini bisa terselesaikan.
5. Teman-teman kelas transfer Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.

Bondan Bagus Sumantri
NIM : 30202000290



KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Batu Zeolite Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D. yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 16 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

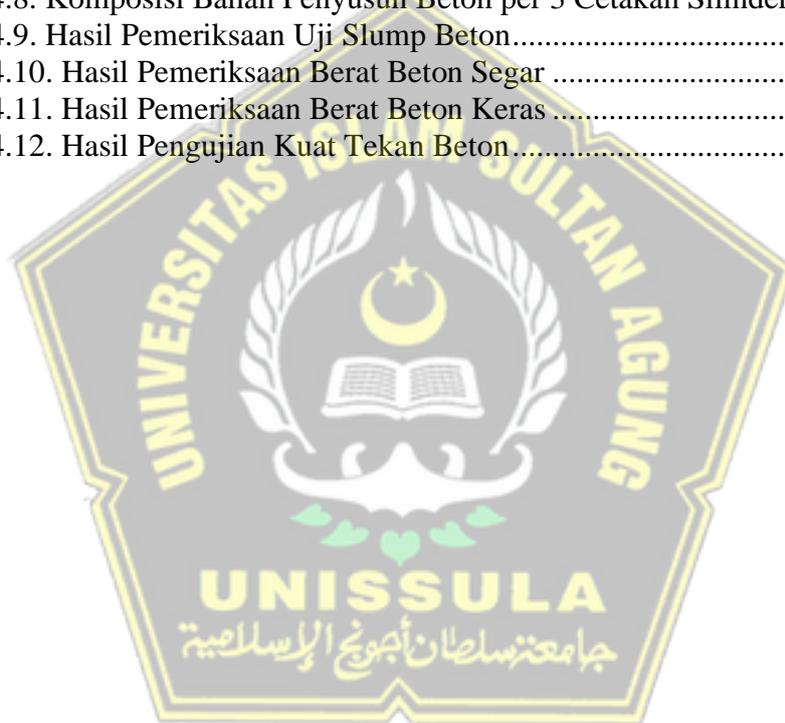
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Beton.....	4
2.1.1. Bahan Penyusun Beton.....	5
2.1.1.1. Semen.....	5
2.1.1.2. Agregat Halus (Pasir).....	6
2.1.1.3. Agregat Kasar (Kerikil)	7
2.1.1.4. Air	8
2.2. Batu Zeolite.....	8
2.3. Campuran Beton.....	9
2.4. Perawatan Beton	10
2.5. Kuat Tekan Beton	10
2.6. Penelitian Tentang Zeolite	11
2.6.1. Pemanfaatan Batu Zeolite Pengganti Semen pada Campuran Beton	12
2.6.2. Pemanfaatan Limbah Batu Marmer pada Campuran Aspal Beton.....	12
2.6.3. Penggunaan Zeolite pada Beton Ringan.....	13
2.6.4. Penggunaan Zeolite terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO ₂).....	13
2.6.5. Pengaruh Zeolite pada Campuran Paving Block	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1. Umum	15
3.2. Kajian Pustaka	15
3.3. Persiapan Alat dan Bahan	15
3.4. Pengujian Material	22
3.5. Perhitungan Mix Design	23

3.6. Pembuatan Benda Uji	24
3.7. Pengujian Benda Uji	25
3.8. Variabel dan Parameter	26
3.9. Analisa Hasil Penelitian	27
3.10. Kesimpulan dan Saran Penelitian	27
3.11. Bagan Alir Penelitian.....	27
3.12. Jadwal Pelaksanaan	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Pemeriksaan Sifat-Sifat Teknis Agregat Beton.....	30
4.2. Komposisi Bahan Penyusun Beton	40
4.3. Pemeriksaan Uji Slump Beton	41
4.4. Pemeriksaan Berat Volume Beton	41
4.5. Pengujian Kuat Tekan Beton	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Unsur-Unsur Penyusun Utama Semen.....	6
Tabel 3.1. Standard Job Mix Design Beton K-175	23
Tabel 3.2. Komposisi Bahan Campuran Beton untuk 3 Benda Uji	23
Tabel 3.3. Jadwal Pelaksanaan.....	29
Tabel 4.1. Hasil Penyaringan Agregat Halus	31
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus	33
Tabel 4.3. Hasil Penyaringan Agregat Kasar	35
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar	36
Tabel 4.5. Hasil Penyaringan Batu Zeolite	38
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Batu Zeolite.....	39
Tabel 4.7. Kebutuhan Bahan 1 m ³ beton mutu f'c = 14,5 MPa (K-175).....	40
Tabel 4.8. Komposisi Bahan Penyusun Beton per 3 Cetakan Silinder	41
Tabel 4.9. Hasil Pemeriksaan Uji Slump Beton.....	41
Tabel 4.10. Hasil Pemeriksaan Berat Beton Segar	42
Tabel 4.11. Hasil Pemeriksaan Berat Beton Keras	43
Tabel 4.12. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Pengujian Kuat Tekan Beton.....	11
Gambar 3.1. Timbangan Digital.....	16
Gambar 3.2. Mesin Sieve Shaker	16
Gambar 3.3. Oven	16
Gambar 3.4. Cetakan Benda Uji	17
Gambar 3.5. Satu Set Saringan (Standar ASTM)	17
Gambar 3.6. Compressing Test Machine.....	17
Gambar 3.7. Kerucut Abrams dan Besi Penggetar	18
Gambar 3.8. Gelas Ukur.....	18
Gambar 3.9. Concrete Mixer.....	18
Gambar 3.10. Ember dan Loyang	19
Gambar 3.11. Skop.....	19
Gambar 3.12. Palu.....	19
Gambar 3.13. Meteran.....	20
Gambar 3.14. Mesin Los Angeles.....	20
Gambar 3.15. Vertical Cylinder Capping	20
Gambar 3.16. Semen Tiga Roda	21
Gambar 3.17. Pasir.....	21
Gambar 3.18. Kerikil.....	21
Gambar 3.19. Air.....	22
Gambar 3.20. Batu Zeolite.....	22
Gambar 3.21. Bagan Alir Tahapan Penelitian	28
Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus.....	33
Gambar 4.2. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar.....	37
Gambar 4.3. Grafik Analisa Saringan Batu Zeolite	40
Gambar 4.4. Grafik Kuat Tekan Benda Uji	48

PENGARUH BATU ZEOLITE SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

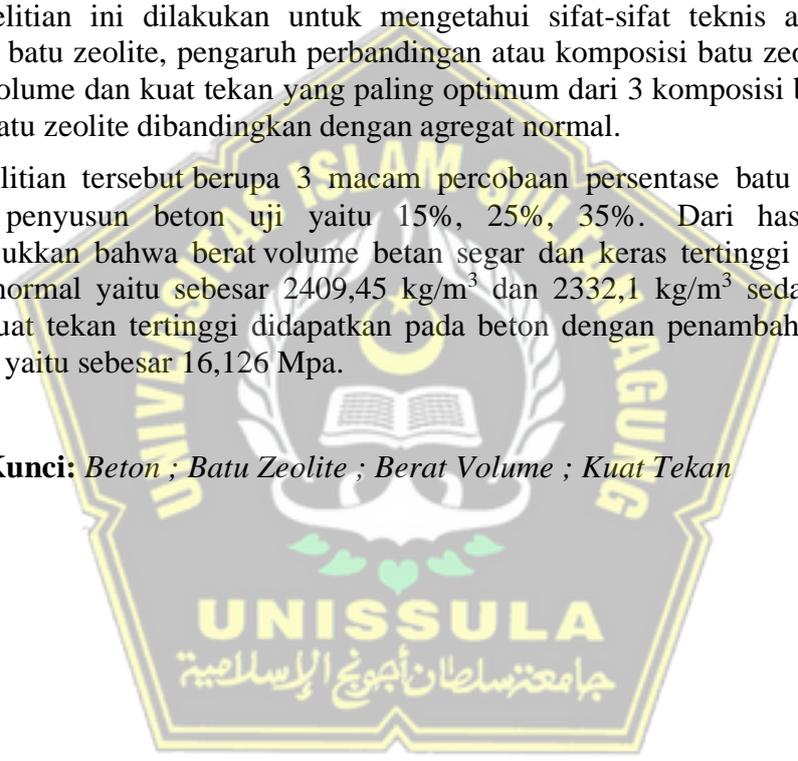
Abstrak

Beton merupakan suatu bahan konstruksi bangunan yang banyak digunakan untuk pembuatan bangunan. Tidak selamanya beton tersebut terbuat dari campuran semen, air, pasir dan kerikil. Salah satu alternatif penggunaan agregat kasar yaitu dengan menggunakan batu zeolite. Hal ini menjadi pemicu untuk diadakannya penelitian tentang pemanfaatan batu zeolite sebagai pengganti agregat kasar pada bahan penyusun beton.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat teknis agregat beton dengan batu zeolite, pengaruh perbandingan atau komposisi batu zeolite terhadap berat volume dan kuat tekan yang paling optimum dari 3 komposisi beton agregat kasar batu zeolite dibandingkan dengan agregat normal.

Penelitian tersebut berupa 3 macam percobaan persentase batu zeolite pada bahan penyusun beton uji yaitu 15%, 25%, 35%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa berat volume betan segar dan keras tertinggi didapat oleh beton normal yaitu sebesar $2409,45 \text{ kg/m}^3$ dan $2332,1 \text{ kg/m}^3$ sedangkan untuk hasil kuat tekan tertinggi didapatkan pada beton dengan penambahan 25% batu Zeolite yaitu sebesar 16,126 Mpa.

Kata Kunci: *Beton ; Batu Zeolite ; Berat Volume ; Kuat Tekan*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan pembangunan infrastruktur di Indonesia kini tengah berkembang pesat. Pada tahun 2014 hingga 2016 kebutuhan transportasi meningkat sebesar 103,2 juta penduduk (Kementerian Perhubungan, 2018). Peningkatan kebutuhan ini tentunya sangat berpengaruh terhadap perkembangan infrastruktur. Sejak 2014 Indonesia tengah membangun 247 Proyek Strategis Nasional (Jalan, Bandara, Pelabuhan, Bendungan) yang menghabiskan Rp 4.197 Triliun (Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas, 2018). Hal ini tentu menyebabkan semakin meningkatnya angka produksi semen sebagai bahan baku pembuatan struktur beton. Pada tahun 2014 hingga 2017, jumlah produksi semen meningkat sebesar 3,4 juta ton, yang semula 59,9 juta ton mejadi 63,3 juta ton (Asosiasi Semen Indonesia, 2018). Namun, produksi semen di pabrik turut berkontribusi terhadap meningkatnya emisi CO₂ di atmosfer. Emisi gas CO₂ yang dihasilkan pada tiap proses produksi 1 juta ton semen setara dengan 1 juta gas CO₂.

Menurut (Weitkamp dan Puppe, 1999), zeolite memiliki kemampuan untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terutama jenis mordenit. Struktur zeolite juga dapat melakukan adsorpsi dan absorpsi terhadap senyawa H₂O, CO₂, SO₂, H₂S (Weitkamp dan Puppe, 1999), dengan kemampuan penyerapan zeolite terhadap gas-gas tersebut sampai Hal tersebut menjadikan sebuah pemikiran untuk memanfaatkan batu zeolite (Sutarti dan Rachmati, 1994). Zeolite memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemurnian biogas karena mampu menyerap semua gas pengotor utama yaitu uap air, CO₂, dan H₂S, namun tidak menyerap gas utama yang ingin dimurnikan yaitu CH₄ (Wahono, 2008). Oleh karena pada penelitian ini, dimanfaatkanlah batu zeolite sebagai salah satu material pengganti bahan beton yang berkelanjutan dalam desain campuran beton yang ramah lingkungan bermutu tinggi..

1.2. Rumusan Masalah

Dengan ini maka penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah pengaruh penambahan batu zeolite terhadap kuat tekan beton.
- b. Seberapa besar nilai kadar optimum penggunaan batu zeolite dalam campuran beton yang dapat menghasilkan sifat-sifat beton sesuai standar yang dapat digunakan dalam struktur bangunan.

1.3. Maksud dan Tujuan

1.3.1. Maksud Tugas Akhir

Adapun maksud pada tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan batu zeolite terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui persentase optimum penambahan batu zeolite dalam campuran beton.

1.3.2. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir :

1. Diketahui pengaruh penambahan batu zeolite terhadap kuat tekan beton.
2. Diketahui persentase optimum penambahan batu zeolite dalam campuran beton.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian ini, maka permasalahan yang ditinjau dibatasi sebagai berikut:

- a. Mutu Beton yang disyaratkan memiliki $f'c = 25$ MPa pada umur 28 hari.
- b. Karakteristik yang diteliti adalah kuat tekan beton.
- c. Benda uji untuk penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
- d. Perencanaan campuran *standart mix design* ACI 211.1-91.
- e. Pengujian benda uji menggunakan *Compression Testing Machine*.
- f. Presentase zeolite terhadap agregat kasar yang diamati adalah 15%, 25% dan 35%
- g. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas dasar teori yang mendukung pelaksanaan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas metode dalam melaksanakan penelitian yang meliputi persiapan alat dan bahan, pemeriksaan bahan, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian, bagan alir penelitian dan jadwal pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil, analisis data serta pembahasan yang ada pada penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil serta analisis data dan juga saran yang diperlukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Terdiri dari nama penulis, judul tulisan, penerbit, identitas penerbit, dan tahun terbit yang menjadi referensi atau sumber untuk penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisi mengenai dokumen pendukung maupun berupa gambar, seperti foto dan format hasil pengujian laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (*Mc.Cormac, 2004*).

Secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah / kerikil). Kadang-kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton (*Asroni, 2010*).

Beton memiliki sifat kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (*Mulyono, 2004*).

Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh bahan penyusunya, pemakaian perbandingan campuran yang tepat, pemakaian bahan tambah dengan jumlah yang tepat serta cara pengerjaan dan perawatan. Cara pengerjaan tersebut meliputi cara pengadukan, penuangan dan pemadatan adukan beton. Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan kerikil dari adukan (segregasi) maupun pemisahan air semen dari adukan (*bleeding*). Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus dan kembang susutnya kecil (*Tjokrodimulyo, 1996 : 2*).

Beton banyak digunakan sebagai struktur bangunan karena mempunyai banyak keuntungan, diantaranya:

- a. Sebagian bahan pembentuknya didapat dari daerah setempat, kecuali Semen Portland, sehingga harga relatif murah.

- b. Beton sangat tahan terhadap aus dan juga api/kebakaran.
- c. Beton dapat dibentuk sesuai keinginan dalam berbagai ukuran.
- d. Tidak memerlukan perawatan yang rumit dan biaya pemeliharaan relatif murah.
- e. Beton sangat kuat dalam menahan desak, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan maupun pembusukan oleh kondisi lingkungan,

Namun beton juga mempunyai kelemahan yang perlu ditinjau oleh perencana dalam merencanakan struktur bangunan, antara lain:

- a. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak, oleh karena itu diberikan baja tulangan.
- b. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air dan air yang membawa kandungan garam dapat merukan beton.
- c. Apabila terjadi perubahan suhu cukup besar, beton akan mengembang dan menyusut.

Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar dikomposisikan dengan baja tulangan sehingga bersifat daktil.

2.1.1. Bahan Penyusun Beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (Nawy, 1985). Beton umumnya tersusun dari 3 (tiga) bahan penyusun utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik dari masing-masing komponen. Material penyusun beton yang terdiri dari beberapa bahan adalah sebagai berikut:

2.1.1.1. Semen Portland.

Semen Portland adalah bahan ikat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *Clinker* yang terutama terdiri dari silika-silika kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (Departemen Pekerjaan Umum, 1982).

Semen Portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak dan padat.

Tabel 2.1 Unsur-unsur penyusun utama semen (Tjokrodimulyo, 1995)

Nama Unsur	Simbol	Komposisi Kimia
Trikalsium Silikat	C3S	3CaO SiO ₂
Dikalsium Silikat	C2S	2CaO SiO ₂
Trikalsium Aluminat	C3A	2CaO Al ₂ O ₃
Tetrakalsium Aluminoferrite	C4AF	2CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃

(Sumber: Buku Teknologi Beton, Tjokrodimulyo;1995)

2.1.1.2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus sering juga disebut pasir. Syarat mutu agregat halus menurut SK SNI S-04-1989-F adalah sebagai berikut :

- Butirannya tajam, kuat dan keras.
- Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
- Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%
- Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
- Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5%. Apabila lebih dari 5% pasir harus dicuci.
- Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.

f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- Sisa diatas ayakan 4,8 mm, maksimal 2% dari berat
- Sisa diatas ayakan 1,2 mm, maksimal 10% dari berat
- Sisa diatas ayakan 0,30 mm, maksimal 15% dari berat

g. Tidak boleh mengandung garam.

2.1.1.3. Agregat Kasar (Batu Pecah)

Batu pecah merupakan agregat kasar pembentuk beton. Kadar agregat dalam campuran berkisar antara 70-75 % dari volume total beton, oleh karena itu kualitas agregat berpengaruh terhadap kualitas beton. Disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 4.8 mm (Mulyono,1997:65) dan 1010s saringan 0.25 in. Adapun persyaratan batu pecah yang digunakan dalam campuran beton menurut Departemen Pekerjaan Umum (1982) adalah sebagai berikut :

a. Syarat fisik :

- Besar butir agregat maksimum, tidak boleh lebih besar dari 1/5 jarak terkecil bidang-bidang samping dari cetakan, 1/3 tebal plat atau 3/4 dari jarak minimum tulangan.
- Kekerasan yang ditentukan dengan menggunakan bejana Rudellof tidak boleh mengandung bagian hancur yang tembus ayakan 2 mm lebih dari 16% berat.
- Bagian yang hancur bila diuji dengan menggunakan mesin Los Angeles, tidak boleh lebih dari 27% berat.
- Kadar lumpur maksimal 1%.
- Bagian butir yang panjang dan pipih, maksimum 20 % berat, terutama untuk beton mutu tinggi.

b. Syarat Kimia

- Kekekalan terhadap Na_2SO_4 bagian yang hancur, maksimum 12% berat dan kekekalan terhadap MgSO_4 bagian yang hancur maksimum 18%.

Kemampuan bereaksi terhadap alkali harus negatif sehingga tidak berbahaya.

2.1.1.4. Air.

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 25 persen berat semen saja. Namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1982), pemakaian air yang memenuhi syarat adalah sebagai berikut:

- a. Air harus bersih, tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- b. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
- e. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.

2.2. Batu Zeolite

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya, secara empiris mempunyai rumus sebagai berikut (Kirk-Othmer, 1978) dapat dilihat:



Secara umum, zeolit memiliki molekular sruktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom Silicon digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan Silicon sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation.

Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara

lembab. Oleh karena sifatnya tersebut maka Zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu Zeolit juga mudah melepas Kation dan diganti dengan Kation lainnya, misal Zeolit melepas Natrium dan digantikan dengan mengikat Kalsium atau Magnesium. Sifat ini pula menyebabkan Zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air (Nasution, 2020).

2.3. Campuran Beton

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar.

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran di lapangan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Indikasinya adalah warna adukan merata, kelecakan yang cukup dan tampak homogen.

Selama proses pengadukan harus dilakukan pendataan rinci mengenai jumlah *batch*-aduk yang dihasilkan, proporsi material, perkiraan lokasi dari penuangan akhir, waktu dan tanggal pengadukan serta penuangan. Untuk menghindari terjadinya segregasi dan *bleeding*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penuangan beton. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Campuran yang akan dituangkan harus ditempatkan sedekat mungkin dengan cetakan akhir untuk mencegah segregasi.
- b. Pembetonan harus dilaksanakan dengan kecepatan penuangan yang diatur sedemikian rupa sehingga campuran beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengalir dengan mudah ke dalam rongga di antara tulangan.

- c. Campuran beton yang telah mengeras atau yang telah terkotori oleh material asing tidak boleh dituang ke dalam struktur.
- d. Campuran beton yang setengah mengeras atau telah mengalami penambahan air tidak boleh dituangkan, kecuali telah disetujui oleh pengawas ahli.
- e. Beton yang dituangkan harus dipadatkan dengan alat yang tepat secara sempurna dan harus diusahakan secara maksimal agar dapat mengisi semua rongga beton.

2.4. Perawatan Beton

Perawatan (*Curing*) bermaksud untuk menghindari panas hidrasi yang tidak dikehendaki yang disebabkan oleh suhu. Cara dan bahan serta alat yang dipakai untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton yang dihasilkan, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu untuk merawat beton pun harus terjadwal dengan benar. Beton akan mengalami pengerasan secara sempurna adalah setelah 28 hari, sehingga pada hari-hari sebelumnya akan mempunyai kuat tekan yang berbeda. Perawatan dengan pembasahan bisa dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan. Pekerjaan perawatan dengan pembasahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

- a. Meletakkan beton segar dalam ruangan yang lembab.
- b. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
- c. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- d. Menyirami permukaan beton secara kontinu.

2.5. Kuat Tekan Beton

Untuk merencanakan sebuah komponen struktur beton, biasanya diasumsikan bahwa beton akan menopang tegangan tekan dan bukannya tegangan tarik. Oleh sebab itu kuat tekan beton pada dasarnya dijadikan pedoman untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton.

Umumnya sifat mekanik beton yang lainnya, dapat diperkirakan berdasarkan pada kuat tekan beton. Untuk menentukan besarnya kuat tekan beton dapat dilakukan uji kuat tekan dengan mengacu pada standar ASTM

C39/C39M-20 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Benda uji ditimbang dan dicatat beratnya.
- b. Benda uji diletakkan pada mesin penekan dan posisinya diatur agar supaya tepat berada ditengah-tengah plat penekan.
- c. Pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan secara kontinyu dengan mesin hidrolik sampai benda uji mengalami kehancuran (jarum penunjuk berhenti kemudian salah satunya bergerak turun).
- d. Beban maksimum yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk dicatat.



Gambar 2.1 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton
(Sumber: <http://repository.utu.ac.id/1424>)

- e. Kuat tekan dihitung dengan rumus, sebagai berikut:

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- f_c = Kuat tekan beton (MPa)
 P = Beban Tekan (N)
 A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

2.6. Penelitian tentang Zeolite

Penelitian terdahulu yang membahas mengenai batu Zeolite adalah upaya peneliti untuk mencari perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan inspirasi baru untuk penelitian selanjutnya di samping itu kajian terdahulu membantu penelitian dapat memosisikan penelitian serta menunjukkan orsinalitas dari penelitian. Pada bagaian ini peneliti mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan, kemudian membuat ringkasannya, baik penelitian yang sudah terpublikasikan atau belum terpublikasikan. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang masih terkait dengan tema yang penulis kaji yaitu batu Zeolite.

2.6.1. Pemanfaat Batu Zeolit sebagai Pengganti Semen pada Campuran Beton

Menurut Ika Febrianto (2011), dalam penelitiannya yang berjudul *“Tinjauan Kuat Lentur dan Porositas Beton dengan Zeolit sebagai Bahan Tambah disbanding Zeolit sebagai Pengganti Semen pada Campuran Beton”* mengatakan bahwa penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 33 buah. Benda uji terdiri atas beton tanpa bahan tambah sebagai pembanding, dengan zeolit sebagai bahan tambah dan pengganti semen 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Benda uji yang digunakan adalah balok beton dengan dimensi tinggi 10 cm, lebar 10 cm, dan panjang 55 cm. Mutu beton yang direncanakan adalah $f_c' = 30$ MPa. Uji lentur dan porositas dilakukan pada umur 28 hari.

Ditinjau dari variasi kadar zeolit yang dipakai didapatkan bahwa penggunaan zeolit sebagai bahan tambah 15% dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 26,99%, sedangkan zeolit sebagai pengganti semen 10% dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 35,67%. Nilai porositas pada beton dengan zeolit sebagai bahan tambah 10,33% berkurang sebesar 42,26%, sedangkan pada beton dengan zeolit sebagai pengganti semen 11,75% dapat menurunkan porositas sebesar 25,07%.

2.6.2. Pemanfaatan Limbah Batu Marmer pada Campuran Aspal Beton

Menurut Andi Syaiful Amal dan Chairil Saleh (2015), dalam penelitiannya yang berjudul “*Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik Marshall*” mengatakan bahwa penelitian ini dilakukan untuk mengetahui manfaat limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar terhadap karakteristik Marshall pada campuran laston. Campuran laston dengan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar menggunakan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35%. Hasil penelitian ini diketahui bahwa penggunaan limbah batu marmer dapat meningkatkan karakteristik Marshall. Campuran laston terbaik dengan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar dihasilkan kadar limbah batu marmer optimum 17,5%, menghasilkan campuran laston : Marshall stability 1050 kg, Marshall quotient 2,5KN/mm, volume air void 4,5 % dan film thickness 8,8 mm.

2.6.3. Penggunaan Zeolit pada Beton Ringan

Menurut Lexsi Kurniawan Bore (2016), dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Penggunaan Zeolit sebagai Pengganti Semen terhadap Sifat Mekanis Beton Ringan dengan Agregat Kasar Batu Apung*” menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 15 silinder dan 15 balok. Variasi substitusi zeolit terhadap semen yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Setiap campuran terdiri dari 3 benda uji silinder dan 3 benda uji balok. Ditinjau dari hasil pengujian didapatkan bahwa berat jenis beton sesuai variasi substitusi zeolit 0%, 10%, 15%, 20%, 25% berturut-turut yaitu 1812,720 kg/m³ , 1825,890 kg/m³ , 1743,100 kg/m³ , 1792,670 kg/m³ 179,7660 kg/m³ . Kuat tekan beton berturut-turut 11,231 MPa, 8,128 MPa, 9,826MPa, 9,385MPa, 7,174 MPa. Nilai modulus elastisitas beton berturut-turut yaitu 9882,130 MPa, 10052,980 MPa, 10642,539 MPa, 10555,283 MPa, 8578,917 MPa. Kuat lentur balok beton yang didapat berturut-turut 2,97 MPa, 2,54 MPa, 2,61MPa, 2,25 MPa, 2,52 MPa.

2.6.4. Pengaruh Zeolit terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO₂)

Menurut Ahmad Yamliha dan Bambang Dwi Argo (2013), dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Ukuran Zeolite terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO₂) pada Aliran Gas*” mengatakan bahwa gas karbondioksida yang terdapat di dalam kandungan biogas berpengaruh terhadap menurunnya nilai kalor pada saat proses pembakaran, sehingga diperlukan proses lanjutan untuk memisahkan kandungan gas tersebut. Salah satu bahan adsorbent yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan gas karbondioksida adalah zeolite. Perbedaan ukuran zeolite dapat mempengaruhi hasil persentase penyerapan kandungan gas karbondioksida pada biogas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi ukuran zeolite untuk menurunkan kandungan CO₂ dalam aliran biogas dan efektifitas zeolite untuk menurunkan kandungan CO₂ dalam aliran biogas.

Pada penelitian ini zeolite yang digunakan berukuran 5 mesh, 16 mesh, 60 mesh. Untuk mengoptimalkan proses adsorpsi zeolite maka perlu dilakukan proses aktivasi terlebih dahulu, Sedangkan untuk pengambilan data dilakukan pada selang waktu yang berbeda yaitu 0, 15, 30, 45 dan 60 menit.

Hasil analisa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan rata-rata penurunan kandungan CO₂ yang terbesar terjadi pada zeolite berpartikel ukuran 60 mesh yaitu sebesar 3.80%, pada partikel 16 mesh sebesar 2.28%, sedangkan berpartikel 5 mesh yaitu sebesar 2.02%. Sedangkan efektifitas penyerapan CO₂ oleh zeolite berpartikel 60 mesh yaitu sebesar 76.8%, pada 16 mesh sebesar 46.1%, sedangkan partikel 5 mesh efektifitasnya sebesar 40.5%, hal ini menunjukkan penggunaan zeolite berpartikel 60 mesh lebih efektif dan optimal bila dibandingkan dengan zeolite berpartikel 5 mesh dan 16 mesh, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran partikel zeolite mempunyai luas permukaannya semakin besar maka diperoleh daya serap (adsorbansi) pada zeolite yang berfungsi untuk menurunkan kandungan CO₂ dalam aliran biogas.

2.6.5. Pengaruh Zeolit pada Campuran Paving Block

Menurut Indah Pratiwi dan Evi D. Yanti (2018), yang berjudul “Pengaruh Zeolit sebagai Agregat Kasar dan Abubara sebagai bahan Campuran Semen terhadap Kuat Tekan Paving Block” mengatakan bahwa penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi campuran paving block yang memenuhi standar kuat tekan SNI, dengan memanfaatkan zeolit sebagai agregat kasar dan abu batubara sebagai bahan pengganti semen. Benda uji dibuat dengan komposisi campuran yang berbeda yaitu zeolit (agregat kasar), pasir (agregat halus), semen, abu batubara dan air, menggunakan alat cetak tekan manual dan diuji nilai kuat tekannya pada umur 28 hari. Persentase gradasi tiap ukuran butir diatur agar dicapai sifat fisik dan mekanik benda uji yang optimal.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, benda uji paving block ZFA2 memenuhi standar mutu kelas B dengan komposisi campuran zeolit, pasir, semen, abu batubara dan air sebesar 1:2:1,5:3:1 yang dapat digunakan untuk pelataran parkir dengan nilai kuat tekan sebesar 18,09 MPa. Benda uji paving block ZFA4 memenuhi standar mutu kelas C dengan komposisi campuran zeolit, pasir, semen, abu batubara dan air sebesar 1,5:3:1,5:1,5:1 yang cocok digunakan pada lahan pejalan kaki dengan nilai kuat tekan sebesar 15,89 MPa.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Umum

Metode penelitian adalah suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, atau dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah dalam bidang tertentu. Jenis-jenis metode penelitian dapat dikelompokkan menurut bidang, tujuan, metode, tingkat eksplanasi, dan waktu. Menurut bidang, penelitian dapat dibedakan menjadi penelitian akademis, profesional dan institusional. Dari segi tujuan, penelitian dapat dibedakan menjadi penelitian murni dan terapan.

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Obyek penelitian ini adalah *“Pengaruh Batu Zeolite sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”*.

3.2. Kajian Pustaka

Penelitian Kepustakaan dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari literatur yang berkaitan dengan inovasi beton dan batu zeolite. Sumber literatur berupa paper, journal, karya ilmiah dan situs-situs penunjang. Kegunaan metode ini diharapkan dapat mempertegas teori serta keperluan analisis dan mendapatkan hasil data yang sesungguhnya.

3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian yang dilaksanakan penulis menggunakan alat dan bahan yang menunjang pelaksanaan penelitian. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

3.3.1. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Timbangan

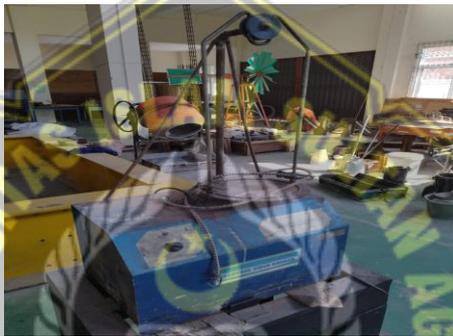
Pada penelitian ini timbangan yang digunakan adalah timbangan digital yang berada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.1 Timbangan Digital

b. Mesin *sieve shaker*

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah alat yang berada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.2 Mesin *Sieve Shaker*

c. Oven

Pada penelitian ini oven yang digunakan adalah oven yang berada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.3 Oven

d. Cetakan benda uji

Pada penelitian ini cetakan yang digunakan adalah cetakan berbentuk silinder yang terbuat dari baja dengan diameter 15 cm dan dengan tinggi 30 cm.



Gambar 3.4 Cetakan Benda Uji

- e. Satu set saringan (standar ASTM)

Pada penelitian ini saringan yang digunakan adalah satu set saringan berstandar ASTM yang berada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.5 Satu Set Saringan(standar ASTM)

- f. *Compressing test machine* (CTM)

Pada penelitian ini mesin uji kuat tekan beton yang digunakan adalah mesin uji kuat tekan yang berada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.6 *Compressing Test Machine*

- g. Kerucut Abrams dan Besi Penggetar

Pada penelitian ini menggunakan kerucut abrams dan besi penggetar yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.7 Kecurut Abrams dan Besi Penggetar

h. Gelas Ukur

Pada penelitian ini menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 500ml.



Gambar 3.8 Gelas Ukur

i. Concrete Mixer

Pada penelitian ini menggunakan mesin *concrete mixer* yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.9 *Concrete Mixer*

j. Ember dan Loyang

Pada penelitian ini menggunakan ember dan loyang yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.10 Ember dan Loyang

k. Skop

Pada penelitian ini menggunakan skop yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.11 Skop

l. Palu

Pada penelitian ini menggunakan palu yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.12 Palu

m. Meteran

Pada penelitian ini menggunakan meteran dengan panjang 5 meter.



Gambar 3.13 Meteran

n. **Mesin Los Angeles**

Pada penelitian ini menggunakan mesin los angeles yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.14 Mesin Los Angeles

o. *Vertical Cylinder Capping*

Pada penelitian ini menggunakan *Vertical Cylinder Capping* yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Unissula.



Gambar 3.15 *Vertical Cylinder Capping*

3.3.2. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Semen Portland

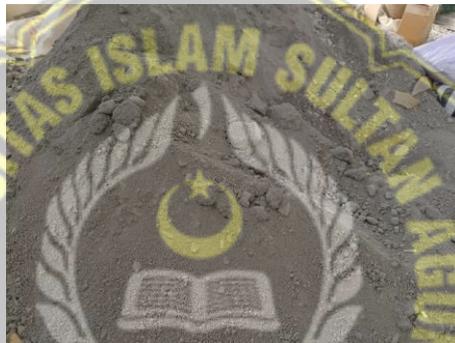
Pada Penelitian ini menggunakan semen dengan merk Semen Tiga Roda.



Gambar 3.16 Semen Tiga Roda

b. Agregat Halus (Pasir)

Pada penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari Muntilan.



Gambar 3.17 Pasir

c. Agregat Kasar (Kerikil)

Pada penelitian ini menggunakan agregat kasar yang berasal dari Muntilan.



Gambar 3.18 Kerikil

d. Air

Pada penelitian ini menggunakan air tawar yang ada di Labotorium Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Sultan Agung.



Gambar 3.19 Air

e. Batu Zeolite

Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah inovasi yaitu batu zeolite yang berasal dari Klaten.



Gambar 3.20 Batu Zeolite

3.4. Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui sifat serta karakteristik bahan tersebut memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan atau tidak jika digunakan dalam pencampuran beton.

a. Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan agregat halus yang dilakukan meliputi :

- 1) Pemeriksaan kadar air.
- 2) Pemeriksaan kadar lumpur
- 3) Analisis saringan agregat halus.

b. Pengujian Agregat Kasar (Kerikil)

Pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan meliputi :

- 1) Pemeriksaan kadar air.
- 2) Pemeriksaan kadar lumpur
- 3) Analisis saringan agregat kasar..

c. Pengujian Batu Zeolite

Pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan meliputi :

- 1) Analisis saringan batu zeolite.

3.5. Perhitungan *Mix Design*

SNI 7394-2008 menjadi acuan dalam membuat mix design pada penelitian ini, dan memiliki kuat tekan rencana $f'c$ 14,5 MPa (K175), slump (12±2), w/c=0,66. Penelitian ini dilakukan dengan memproporsikan beberapa campuran beton normal menggunakan batu zeolite (15%, 25%, 35% dari berat agregat kasar). Pada penelitian ini terdapat rancangan penelitian yang akan dilakukan. Berikut tabel rancangan penelitian yang dilakukan:

Tabel 3.1 Standard *Job Mix Design* Beton K-175

Semen	Kerikil	Pasir	Air
326 kg	760 kg	1029 kg	215 ltr

(Sumber: SNI 7394-2008)

Tabel 3.2 Komposisi Bahan Campuran Beton untuk 3 Benda Uji Silinder

Jenis Benda Uji	Semen	Kerikil	Pasir	Air	Batu Zeolite
Beton Normal	5,18 kg	12,08 kg	16,36 kg	3,42 kg	0 kg
Zeolite 15%	5,18 kg	10,27 kg	16,36 kg	3,42 kg	1,81 kg
Zeolite 25%	5,18 kg	9,06 kg	16,36 kg	3,42 kg	3,02 kg
Zeolite 35%	5,18 kg	7,85 kg	16,36 kg	3,42 kg	4,23 kg

(Sumber: Hasil Perhitungan Bulan Juli 2022)

$$\begin{aligned}\text{Volume 3 cetakan benda uji} &= 0,0053 \times 3 \\ &= 0,0159 \text{ m}^3\end{aligned}$$

3.6. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan silinder beton adalah sebagai replikasi dari beton yang digunakan untuk bahan bangunan. Silinder beton ini terbuat dari adukan beton yang akan digunakan, yang merupakan sampel yang akan diujikan di laboratorium. Jumlah pembuatan silinder beton harus mempresentasikan dari adukan beton bahan bangunan.

Adapun metode pelaksanaan yang dilakukan dalam pembuatan benda uji beton antara lain:

1. Lakukan pengisian adukan beton dalam 3 lapis, tiap lapis kira-kira mempunyai volume sama.
2. Lakukan pengisian dengan cetok ke bagian tepi silinder agar memperoleh beton yang simetri menurut sumbunya (keruntuhan timbunan beton dari tepi ke tengah).
3. Tusuk tiap lapisan dengan batang baja penusuk sebanyak 25 kali. Penusukan harus merata ke semua permukaan lapisan dengan kedalaman sampai sedikit masuk ke lapisan sebelumnya. Khusus untuk lapisan pertama, penusukan jangan sampai mengenai dasar cetakan.
4. Pindahkan cetakan ke ruangan yang lembab.

Setelah dilakukan pemadatan, langkah selanjutnya adalah menyimpan benda uji. Langkah-langkah dalam menyimpan benda uji antara lain:

1. Keluarkan benda uji silinder dari cetakan setelah 24 jam dari saat pencetakan.
2. Bersihkan benda uji dari kotoran yang mungkin melekat, kemudian memberi tanda atau sandi agar tidak keliru dengan benda uji yang lain dan menimbang benda uji.
3. Kembalikan benda uji ke dalam ruangan yang lembab atau tempat penyimpanan yang lain.
4. Bila melakukan pembuatan silinder dan penuangan beton di lapangan, setelah mengeluarkan benda uji, harus menutup benda uji dengan rapat (misalnya kertas kedap air) dan menghindarkan dari panas matahari langsung

3.7. Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji bermaksud untuk pengendalian atau pengawasan, tindakan pengendalian dimaksudkan agar kemungkinan kerusakan dapat dikurangi semaksimal mungkin sejak dini, sehingga kerusakan atau menurunnya kualitas beton yang telah direncanakan dapat dihindarkan.

Metode pengujian terhadap komponen yang diperiksa secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu dengan cara merusak (*Destructive Test*) dan tanpa merusak (*Non Destructive Test*). Pada penelitian ini metode pengujian yang digunakan adalah dengan cara tanpa merusak (*Non Destructive Test*) yaitu pengujian slump dan dengan cara merusak (*Destructive Test*) yaitu pengujian kuat tekan beton.

A. Pengujian Slump

Uji Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adonan beton. Hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin tinggi nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan.

Pengujian slump menggunakan kerucut Abrams, adapun langkah-langkah pengujian dengan kerucut Abrams adalah sebagai berikut:

- 1) Campuran beton tersebut sesegera mungkin dimasukkan kedalam kerucut secara bertahap, sebanyak 3 lapisan dengan ketinggian yang sama. Setiap lapis dipadatkan dengan cara ditusuk dengan menjatuhkan secara bebas tongkat baja berdiameter 16 mm, panjang 60 cm. Dilakukan sebanyak 25 kali untuk tiap lapis.
- 2) Meratakan adukan pada bidang atas kerucut Abrams dan didiamkan selama 30 detik.
- 3) Mengangkat kerucut Abrams secara perlahan dengan arah vertikal keatas, diusahakan jangan sampai terjadi singgungan terhadap campuran beton.
- 4) Pengukuran slump dilakukan dengan membalikkan posisi kerucut Abrams di sebelah adukan. Kemudian dilakukan pengukuran ketinggian penurunan dihitung terhadap bagian atas kerucut Abrams.

Dilakukan tiga kali pengukuran dengan mistar pengukur atau meteran, kemudian hasilnya dirata-rata.

5) Nilai rata-rata menunjukkan nilai slump dari campuran beton.

B. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada pengujian kuat tekan, bentuk benda uji adalah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, serta mengacu pada SNI 03-1974- 2011. Berikut langkah-langkah dalam pengujian kuat tekan beton:

- 1) Mengambil benda uji
- 2) Menimbang benda uji lalu mencatat berat masing-masing benda uji
- 3) Meletakkan benda uji ditengah mesin tekan
- 4) Catat beban maksimum pada dial setelah dilakukan pembebanan sampai benda uji hancur
- 5) Membersihkan sisa-sisa pecahan benda uji pada mesin tekan.

3.8. Variabel dan Parameter

Pada penelitian ini menggunakan tiga variable, terdiri dari variable bebas, variable terikat, dan variable terkendali. Adapun uraian mengenai 3 (tiga) variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menjadi penyebab atau pengaruh. Variabel bebas dalam penelitian ini batu zeolite (variasi: 0%, 15%, 25%, 35%).

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor faktor yang diamati selama penelitian dan diukur dalam rangka menentukan pengaruh adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kuat tekan beton.

3. Variabel terkendali

Selama penelitian adapun variabel-variabel yang dipertahankan (dikontrol) atau yang biasa disebut variabel terkendali. Pada penelitian ini ditetapkan variabel terkendali sebagai berikut:

- a. Tipe semen jenis I
- b. Kuat tekan rencana 14,5 MPa

c. Umur benda uji 28 hari

3.9. Analisis Hasil Penelitian

Analisis hasil penelitian dapat dilakukan setelah data-data diolah. Data-data yang didapat mulai dari awal penelitian, saat penelitian, sampai akhir penelitian. Hasil penelitian dibahas lebih rinci di bab IV.

3.10. Kesimpulan dan Saran Penelitian

Kesimpulan dan saran penelitian dibahas lebih jelas pada bab V. Pada bab V membahas hasil dari penelitian yang dilakukan serta saran untuk lebih dapat menyempurnakan hasil Tugas Akhir.

3.11. Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan dari penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada bagan alir dibawah ini.





Gambar 3.21 Bagan Alir Tahapan Penelitian

3.12. Jadwal Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) minggu di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.3 Jadwal Pelaksanaan

No	Kegiatan Penelitian	Juli				Agustus		
		1	2	3	4	1	2	3
1.	Tahap Persiapan Penelitian							
	a. Penyusunan dan pengajuan judul	■						
	b. Studi literatur	■						
	c. Pengajuan proposal		■					
	d. Perijinan penelitian		■					
2.	Tahap Pelaksanaan							
	a. Penyediaan alat dan bahan di laboratorium		■					
	b. Pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan zeolite		■					
	c. Penakaran komposisi campuran beton		■					
	d. Pembuatan benda uji		■					
	e. <i>Slump test</i>		■					
	f. <i>Curing</i> benda uji		■	■	■			
	g. Perhitungan berat volume benda uji						■	
	h. Pengujian kuat tekan benda uji						■	
	i. Analisis hasil dan pembahasan						■	
3.	Tahapan Penyusunan Laporan							
	a. Bimbingan dosen Pembimbing	■	■	■	■	■	■	
	b. Penyusunan laporan	■	■	■	■	■	■	
	c. Seminar laporan							■



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan Sifat-Sifat Teknis Agregat Beton

Pemeriksaan agregat dilakukan dengan beberapa pemeriksaan yang dilakukan dalam tahap pengujian bahan sehingga diperoleh hasil yang menggambarkan karakteristik dari agregat kasar maupun halus. Pemeriksaan agregat ini terdiri dari pengujian kadar air, pemeriksaan kadar lumpur dan analisa saringan. Pengujian limbah pecahan keramik terdiri dari analisa saringan dan kadar air. Data perhitungan dan pengujian sebagai berikut:

4.1.1. Agregat Halus

1. Pemeriksaan Kadar Air

Pada tahapan ini dilakukan pemeriksaan kadar air pada agregat halus yaitu pasir yang digunakan untuk komposisi pembuatan beton normal dengan data dan perhitungan sebagai berikut :

Berat cawan	= 45 gr
Berat cawan + agregat sebelum di oven	= 300 gr
Berat cawan + agregat sesudah di oven	= 290 gr
Berat agregat sebelum di oven (W_1)	= 300 – 45
	= 255 gr
Berat agregat setelah di oven (W_2)	= 290 – 45
	= 245 gr

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{255 \text{ gr} - 245 \text{ gr}}{245 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 4\% \end{aligned}$$

Pada pengujian kadar air agregat halus didapat nilai sebesar **4%**. Berdasarkan peraturan atau persyaratan yang terkandung dalam ASTM C70 kadar air yang digunakan untuk agregat halus (pasir) adalah 0,2 % sampai dengan 4,0 % sehingga untuk agregat halus boleh dipakai karena presentase yang diperoleh memenuhi standar.

2. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pada percobaan ini dilakukan pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus atau pasir dengan data dan perhitungan sebagai berikut:

$$V_1 = 270 \text{ ml}$$

$$V_2 = 0 \text{ ml}$$

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0}{270 + 0} \times 100\% = 0\%$$

Hasil yang didapatkan setelah melakukan percobaan I dan II, nilai kadar lumpur rata-rata yang didapat sebesar 0% dikarenakan tidak terdapat kandungan lumpur, Hasil ini menunjukkan bahwa nilai kadar lumpur agregat halus tersebut sudah sesuai dengan persyaratan kandungan maksimal kadar lumpur agregat halus yaitu 5%, maka dari itu agregat halus tersebut tidak perlu dicuci (Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1979).

3. Analisa Saringan

Analisa saringan terhadap agregat halus yang digunakan sebagai bahan campuran beton menggunakan metode yang telah dinyatakan pada bab sebelumnya. Hasil analisa saringan agregat halus disajikan dalam bentuk data – data yang tercantum pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Penyaringan Agregat Halus

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Agregat (gr)	Berat Agregat (gr)
1.	9,5	45	45	0
2.	4,75	45	60	15
3.	2,36	45	140	95
4.	2	45	115	70
5.	0,6	45	505	460
6.	0,15	45	325	280
7.	0,075	45	80	35
8.	Pan	45	45	0
Jumlah				955

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Tabel 4.1 Hasil Penyaringan Agregat Halus dihitung persentase masing-masing saringan sebagai berikut:

a. Persentase Agregat Tertinggal

$$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$$

- 1) Tertahan komulatif ϕ 9,5 = $\frac{0}{955} \times 100\%$ = 0%
- 2) Tertahan komulatif ϕ 4,75 = $\frac{15}{955} \times 100\%$ = 1,57%
- 3) Tertahan komulatif ϕ 2,36 = $\frac{95}{955} \times 100\%$ = 9,95%
- 4) Tertahan komulatif ϕ 2 = $\frac{70}{955} \times 100\%$ = 7,33%
- 5) Tertahan komulatif ϕ 0,6 = $\frac{460}{955} \times 100\%$ = 48,17%
- 6) Tertahan komulatif ϕ 0,15 = $\frac{280}{955} \times 100\%$ = 29,32%
- 7) Tertahan komulatif ϕ 0,075 = $\frac{35}{955} \times 100\%$ = 3,66%

b. Komulatif Agregat Tertinggal

- 1) Lolos Saringan ϕ 9,5 = (0 + 0) % = 0%
- 2) Lolos Saringan ϕ 4,75 = (0 + 1,57) % = 1,57%
- 3) Lolos Saringan ϕ 2,36 = (1,57 + 9,95) % = 11,52%
- 4) Lolos Saringan ϕ 2 = (11,52 + 7,33) % = 18,85%
- 5) Lolos Saringan ϕ 0,6 = (18,85 + 48,17) % = 67,02%
- 6) Lolos Saringan ϕ 0,15 = (67,02 + 29,32) % = 96,34%
- 7) Lolos Saringan ϕ 0,075 = (96,34 + 3,67) % = 100%

c. Present Finer (f)

$$100\% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

- 1) Saringan ϕ 9,5 = 100% - 0% = 100%
- 2) Saringan ϕ 4,75 = 100% - 1,57% = 98,43%
- 3) Saringan ϕ 2,36 = 100% - 11,52% = 88,48%
- 4) Saringan ϕ 2 = 100% - 18,85% = 81,15%
- 5) Saringan ϕ 0,6 = 100% - 67,02% = 32,98%
- 6) Saringan ϕ 0,15 = 100% - 96,34% = 3,66%
- 7) Saringan ϕ 0,075 = 100% - 100% = 0%

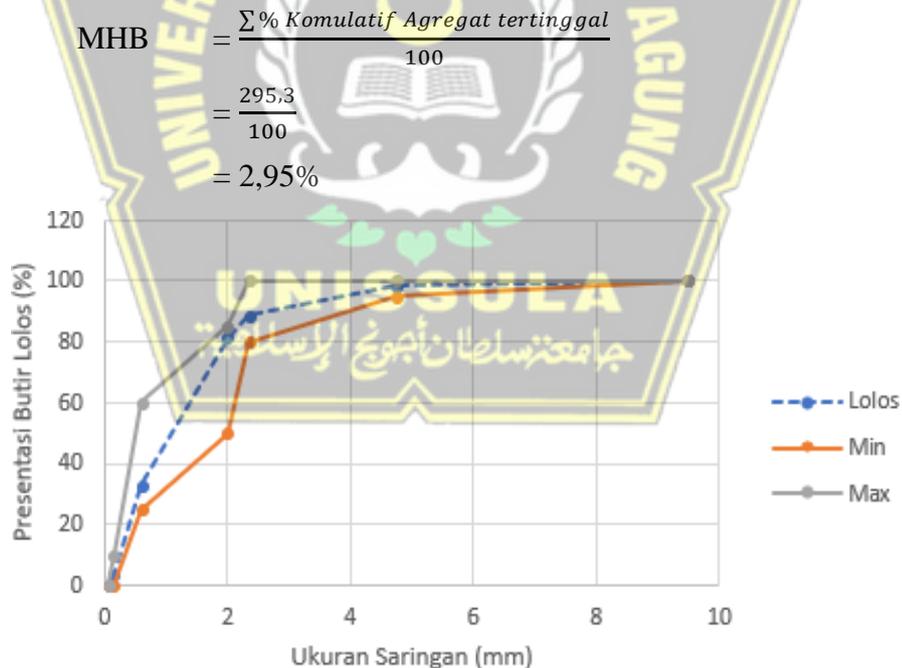
Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (g)	Prosentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif Agregat Tertinggal (%)	Present Finer (%)	Spesifikasi (ASTM C33)(%)	
						Min	Max
1.	9,5	0	0	0	100	100	100
2.	4,75	15	1,57	1,57	98,43	95	100
3.	2,36	95	9,95	11,52	88,48	80	100
4.	2	70	7,33	18,85	81,15	50	85
5.	0,6	460	48,15	67,02	32,98	25	60
6.	0,15	280	29,32	96,34	3,66	0	10
7.	0,075	35	3,66	100	0	-	-
Jumlah		955	99,98	295,3	404,7	-	-

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Tabel 4.2 dihitung nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus

(Sumber : Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Gambar 4.1. yang merupakan grafik analisa saringan agregat halus pasir Muntilan dengan persen lolos dari agregat halus tersebut sudah berada

diantara garis batas gradasi maksimal dan minimal sesuai dengan standar ASTM C33-2016, sehingga pasir Muntilan merupakan pasir yang ideal dan baik sebagai campuran untuk beton. Modulus kehalusan pasir muntilan diatas sebesar 2,95. Umumnya nilai MHB agregat halus sekitar 1,50 – 3,80, ini berarti MHB agregat halus yang digunakan pada penelitian ini tergolong standar (Mulyono, 2005).

4.1.2. Agregat Kasar

1. Pemeriksaan Kadar Air

Pada tahapan ini dilakukan pemeriksaan kadar air pada agregat halus yaitu pasir yang digunakan untuk komposisi pembuatan beton normal dengan data dan perhitungan sebagai berikut :

Berat cawan	= 25 gr
Berat cawan + agregat sebelum di oven	= 285 gr
Berat cawan + agregat sesudah di oven	= 285 gr
Berat agregat sebelum di oven (W_1)	= 285 – 25
	= 260 gr
Berat agregat setelah di oven (W_2)	= 285 – 25
	= 260 gr
Kadar Air	$= \frac{260\text{ gr} - 260\text{ gr}}{260\text{ gr}} \times 100\%$
	= 0%

Pada pengujian kadar air agregat halus didapat nilai sebesar 0%, sehingga tidak mengandung air sama sekali, tidak perlu melakukan penjemuran dan langsung digunakan untuk bahan penyusun campuran beton. Berdasarkan peraturan atau persyaratan yang terkandung dalam ASTM C70 kadar air yang digunakan untuk agregat kasar (kerikil) adalah 0,2 % sampai dengan 4,0 % sehingga untuk agregat kasar boleh dipakai karena presentase yang diperoleh memenuhi standar.

2. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pada percobaan ini dilakukan pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar atau kerikil dengan data dan perhitungan sebagai berikut:

Berat cawan (W_2)	= 45 g
-----------------------	--------

$$\begin{aligned}
\text{Berat cawan + agregat sebelum dicuci (W1)} &= 275 \text{ g} \\
\text{Berat cawan + agregat sesudah dicuci (W4)} &= 270 \text{ g} \\
\text{Berat agregat sebelum di cuci (W3)} &= W1 - W2 \\
&= 275 \text{ g} - 45 \text{ g} \\
&= 230 \text{ g} \\
\text{Berat agregat setelah dicuci (W5)} &= W4 - W2 \\
&= 270 \text{ g} - 45 \text{ g} \\
&= 225 \text{ g} \\
\text{Kadar Lumpur} &= ((W3 - W5)/(W3)) \times 100\% \\
&= ((230 - 225)/(230)) \times 100\% \\
&= 2\%
\end{aligned}$$

Nilai kadar lumpur yang didapat sebesar 2%. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai kadar lumpur agregat kasar tersebut belum memenuhi persyaratan kandungan maksimal kadar lumpur agregat kasar yaitu 1%, maka dari itu agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu (Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1979).

3. Analisa Saringan

Data – data analisa saringan pada agregat kasar yang digunakan sebagai bahan campuran beton normal, tercantum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Penyaringan Agregat Kasar

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Cawan (g)	Berat Cawan + Agregat (g)	Berat Agregat (g)
1.	25	45	55	10
2.	19	45	375	330
3.	12,5	45	450	405
Jumlah				745

(Sumber : Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Tabel 4.3 Hasil Penyaringan Agregat Kasar dihitung presentase masing- masing agregat sebagai berikut :

- a. Persentase Agregat Tertinggal

$$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$$

- 1) Tertahan komulatif ϕ 25 = $\frac{10}{755} \times 100\%$ = 1,34%
- 2) Tertahan komulatif ϕ 19 = $\frac{330}{745} \times 100\%$ = 44,30%
- 3) Tertahan komulatif ϕ 12,5 = $\frac{405}{745} \times 100\%$ = 54,36%

b. Komulatif Agregat Tertinggal

- 1) Lolos Saringan ϕ 25 = $(0 + 1,34) \%$ = 1,34%
- 2) Lolos Saringan ϕ 19 = $(1,34 + 44,30) \%$ = 45,64%
- 3) Lolos Saringan ϕ 12,5 = $(45,64 + 54,36) \%$ = 100%

c. Present Finer (f)

$$100\% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

- 1) Saringan ϕ 25 = $100\% - 1,34\%$ = 98,66%
- 2) Saringan ϕ 19 = $100\% - 45,64\%$ = 54,36%
- 3) Saringan ϕ 12,5 = $100\% - 100\%$ = 0%

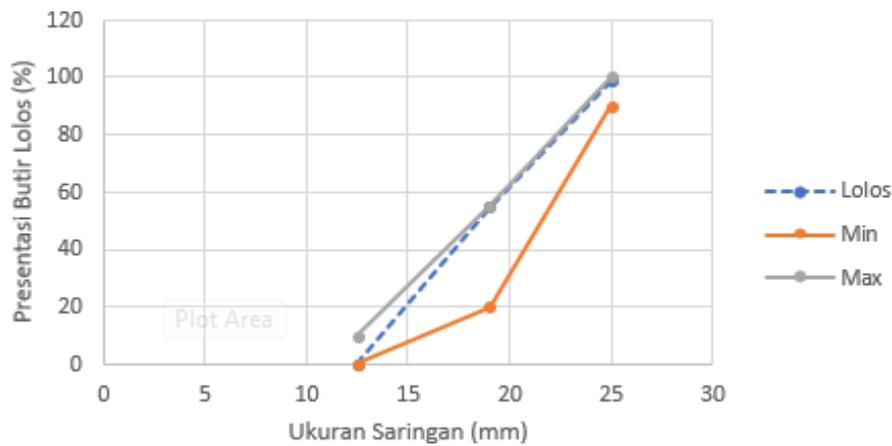
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (g)	Prosentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif Agregat Tertinggal (%)	Present Finer (%)	Spesifikasi (ASTM C33) (%)	
						Min	Max
1.	25	10	1,34	1,34	98,66	90	100
2.	19	330	44,30	45,30	54,36	20	55
3.	12,5	405	54,36	100	0	0	10
Jumlah		745	100	146,64	152,02	-	-

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Tabel 4.2 dihitung nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \% \text{Komulatif Agregat tertinggal}}{100} \\
 &= \frac{146,64}{100} \\
 &= 1,47\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Gambar 4.2 diatas diketahui bahwa grafik analisis saringan agregat kasar didapatkan hasil bahwa sebagian besar agregat kasar berada diantara batas atas dan batas bawah sesuai dengan standar ASTM C33-2016 sehingga secara keseluruhan agregat kasar layak untuk digunakan. Nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat kasar tersebut memiliki nilai 1,47 dan umumnya nilai MHB agregat kasar sekitar 5-8, ini berarti MHB agregat kasar yang digunakan sebagai bahan campuran beton normal pada penelitian ini tidak tergolong standar (Mulyono, 2005).

4.1.3. Batu Zeolite

1. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pada percobaan ini dilakukan pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar atau kerikil dengan data dan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat cawan (W2)} &= 45 \text{ g} \\
 \text{Berat cawan + agregat sebelum dicuci (W1)} &= 300 \text{ g} \\
 \text{Berat cawan + agregat sesudah dicuci (W4)} &= 300 \text{ g} \\
 \text{Berat agregat sebelum di cuci (W3)} &= W1 - W2 \\
 &= 300 \text{ g} - 45 \text{ g} \\
 &= 255 \text{ g} \\
 \text{Berat agregat setelah dicuci (W5)} &= W4 - W2 \\
 &= 300 \text{ g} - 45 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 255 \text{ g} \\
 \text{Kadar Lumpur} &= ((W3 - W5)/(W3)) \times 100\% \\
 &= ((255 - 255)/(255)) \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Nilai kadar lumpur yang didapat sebesar 0%, sehingga tidak mengandung lumpur sama sekali. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai kadar lumpur batu Zeolite memenuhi persyaratan kandungan maksimal kadar lumpur agregat kasar yaitu 1% (Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1979).

2. Analisa Saringan

Hasil penyaringan pada batu Zeolite, disajikan pada data-data yang terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Penyaringan Batu Zeolite

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Cawan(g)	Berat Cawan + Agregat(g)	Berat Agregat (g)
1.	25	45	55	10
2.	19	45	70	25
3.	12,5	45	90	45
Jumlah				80

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Mei 2022)

Berdasarkan Tabel 4.5. dihitung persentase baru Zeolite untuk masing-masing saringan sebagai berikut:

a. Persentase Agregat Tertinggal

$$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$$

$$1) \text{ Tertahan komulatif } \phi 25 = \frac{10}{80} \times 100\% = 12,5\%$$

$$2) \text{ Tertahan komulatif } \phi 19 = \frac{25}{80} \times 100\% = 31,25\%$$

$$3) \text{ Tertahan komulatif } \phi 12,5 = \frac{45}{80} \times 100\% = 56,25\%$$

b. Komulatif Agregat Tertinggal

$$1) \text{ Lolos Saringan } \phi 25 = (0 + 12,5) \% = 12,5\%$$

- 2) Lolos Saringan ϕ 19 = (12,5 + 31,25) % = 43,75%
 3) Lolos Saringan ϕ 12,5 = (43,75+ 56,25) % = 100%

c. Present Finer (f)

100% - Komulatif Agregat Tertinggal

- 1) Saringan ϕ 25 = 100% - 12,5% = 87,5%
 2) Saringan ϕ 19 = 100% - 43,75% = 56,25%
 3) Saringan ϕ 12,5 = 100% - 100% = 0%

Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 4.6. sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Batu Zeolite

No.	Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (g)	Prosentase Agregat Tertinggal (%)	Komulatif Agregat Tertinggal (%)	Present Finer (%)	Spesifikasi (ASTM C33) (%)	
						Min	Max
1.	25	10	12,5	12,5	87,5	90	100
2.	19	25	31,25	43,75	56,25	20	55
3.	12,5	45	56,25	100	0	0	10
Jumlah		80	100	156,25	143,75	-	-

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Tabel 4.6. dihitung nilai MHB (Modulus Halus Butir) agregat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\sum \% \text{Komulatif Agregat tertinggal}}{100} \\ &= \frac{156,25}{100} \\ &= 1,56\% \end{aligned}$$

Modulus Halus Butir (MHB) batu Zeolite tersebut memiliki nilai 1,56, nilai tersebut menunjukkan bahwa MHB batu Zeolite lebih kecil dari nilai MHB agregat kasar secara umum yaitu sekitar 5-8. Hal ini menunjukkan bahwa batu Zeolite yang digunakan sebagai bahan campuran beton uji pada penelitian ini tidak tergolong standar (Mulyono, 2005).



Gambar 4.3. Grafik Analisa Saringan Batu Zeolite

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas diketahui bahwa grafik analisis saringan limbah pecahan keramik didapatkan hasil bahwa persen lolos dari limbah pecahan keramik tersebut sudah berada diantara garis batas gradasi maksimal dan minimal sesuai dengan standar ASTM C33- 2016 sehingga secara keseluruhan limbah pecahan keramik layak untuk digunakan dan sudah memenuhi syarat batas yang ditentukan.

4.2. Komposisi Bahan Penyusun Beton

Beton normal yang digunakan sebagai parameter beton uji adalah beton K-175 dengan proporsi takaran bahan penyusun beton mengacu SNI-7394-2008 dengan Faktor Air Semen (FAS) adalah 0,66. Beton uji yang dibuat ada 4 macam, yaitu beton normal mutu K-175, beton + 15% Zeolite, beton + 25% Zeolite dan beton + 35% Zeolite. Alat cetak yang digunakan adalah cetakan silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm dengan volume cetakan 0,0053 m³.

Tabel 4.7 Kebutuhan Bahan 1 m³ beton mutu $f'_c = 14,5$ MPa (K-175)

Semen (kg)	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	Air (ltr)
326	1029	760	215

(Sumber: SNI 7394:2008)

Tabel 4.8 Komposisi Bahan Penyusun Benda Uji per 3 Cetakan Silinder

Jenis Benda Uji	Semen	Kerikil	Pasir	Air	Batu Zeolite
Beton Normal	5,18 kg	12,08 kg	16,36 kg	3.42 kg	0 kg
Zeolite 15%	5,18 kg	10,27 kg	16,36 kg	3.42 kg	1,81 kg
Zeolite 25%	5,18 kg	9,06 kg	16,36 kg	3.42 kg	3,02 kg
Zeolite 35%	5,18 kg	7.85 kg	16,36 kg	3.42 kg	4,23 kg

(Sumber : Hasil Perhitungan Bulan Juli 2022)

4.3. Pemeriksaan Uji Slump Beton

Nilai slump beton saling keterkaitan dengan kebutuhan air pada campuran beton, penentuan kebutuhan air pada campuran beton ditentukan melalui nilai slump rencana. Nilai slump rencana yang diambil dari Tabel 2.4 adalah 100-140 mm. Pemeriksaan slump beton pada benda uji ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Uji Slump Beton

No.	Nama	Nilai <i>Slump</i> Beton (mm)
1.	Beton Normal K-175	130
2.	Beton + 15% Zeolite	110
3.	Beton + 25% Zeolite	100
4.	Beton + 35% Zeolite	90

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Juli 2022)

Hasil dari uji slump tekan beton normal dan beton uji tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga beton uji tersebut yang nilai slumpnya paling mendekati beton normal K-175 adalah beton + Zeolite.

4.4. Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pemeriksaan berat volume beton dilakukan 2 (dua) kali, yaitu saat beton masih keadaan segar dan beton dalam keadaan keras. Beton dalam keadaan segar yang dimaksud adalah saat beton baru dituang ke dalam cetakan silinder sedangkan beton dalam keadaan keras yaitu ketika beton berumur 28 hari.

Hasil pemeriksaan berat benda uji beton disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil Pemeriksaan Berat Beton Segar

No.	Kode	Berat Cetakan (Mm) (kg)	Berat Cetakan + Benda Uji (Mc) (kg)	Berat Benda Uji $M_b = (M_c - M_m)$ (kg)
1.	Beton Normal			
	N1	10,08	24,82	14,74
	N2	10,16	22,96	12,80
	N3	10,46	23,20	12,74
2.	Komposisi 15%			
	Z1	10,46	22,42	11,96
	Z2	10,80	22,40	11,60
	Z3	10,08	22,14	12,06
3	Komposisi 25%			
	Z1	10,08	21,68	11,60
	Z2	10,16	21,78	11,62
	Z3	10,82	22,14	11,32
4	Komposisi 35%			
	Z1	10,08	21,98	11,90
	Z2	10,20	21,52	11,32
	Z3	10,56	22,10	11,54

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Agustus 2022)

Keterangan:

N : Beton normal

Z : Beton inovasi dengan penambahan batu zeolite

Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Berat Beton Keras (28 Hari)

No.	Kode	Berat Cetakan (Mm) (kg)	Berat Cetakan + Benda Uji (Mc) (kg)	Berat Benda Uji M ₂ (Mc – Mm) (kg)
1.	Normal			
	N1	10,08	22,46	12,38
	N2	10,16	22,26	12,10
	N3	10,46	23,06	12,60
2.	Komposisi 15%			
	Z1	10,46	22,68	12,22
	Z2	10,80	23,08	12,28
	Z3	10,08	22,34	12,26
3	Komposisi 25%			
	Z1	10,08	21,98	11,90
	Z2	10,16	21,78	11,62
	Z3	10,82	22,56	11,74
4	Komposisi 35%			
	Z1	10,08	21,66	11,58
	Z2	10,20	22,08	11,88
	Z3	10,56	22,50	11,94

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Agustus 2022)

Berdasarkan Tabel 4.9. dan 4.10. dapat dihitung nilai dan rata-rata berat volume beton segar maupun beton keras sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Cetakan Benda Uji Silinder (Vm)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

A. Berat Volume Beton Segar

$\frac{\text{Berat Benda Uji Segar (Mb1)}}{\text{Volume Cetakan Benda Uji (Vm)}}$

1) Beton Normal

- N1 = $\frac{14,74}{0,0053}$ = 2781,1 kg/m³
- N2 = $\frac{12,80}{0,0053}$ = 2415,1 kg/m³
- N3 = $\frac{12,74}{0,0053}$ = 2403,8 kg/m³

Berdasarkan perhitungan berat volume segar pada beton normal terdapat bahwa benda uji pertama memiliki nilai yang anomali sehingga tidak dihitung untuk rata-ratanya.

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{N2 + N3}{3} \\ &= \frac{2415,1 + 2403,8}{3} \\ &= \mathbf{2409,45 \text{ kg/m}^3}\end{aligned}$$

2) Beton + 15% Zeolite

- Z1 = $\frac{11,96}{0,0053}$ = 2256,6 kg/m³
- Z2 = $\frac{11,60}{0,0053}$ = 2188,7 kg/m³
- Z3 = $\frac{12,06}{0,0053}$ = 2275,5 kg/m³

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2256,6 + 2188,7 + 2275,5}{3} \\ &= \mathbf{2240,3 \text{ kg/m}^3}\end{aligned}$$

3) Beton + 25% Zeolite

- Z1 = $\frac{11,6}{0,0053}$ = 2188,7 kg/m³
- Z2 = $\frac{11,62}{0,0053}$ = 2192,4 kg/m³
- Z3 = $\frac{11,32}{0,0053}$ = 2135,9 kg/m³

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2188,7 + 2192,4 + 2135,9}{3} \\ &= \mathbf{2172,3 \text{ kg/m}^3}\end{aligned}$$

4) Beton + 35% Zeolite

- $Z1 = \frac{11,9}{0,0053} = 2245,3 \text{ kg/m}^3$
- $Z2 = \frac{11,32}{0,0053} = 2135,9 \text{ kg/m}^3$
- $Z3 = \frac{11,54}{0,0053} = 2177,4 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2245,3 + 2135,9 + 2177,4}{3} \\ &= \mathbf{2186,2 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

B. Berat Volume Beton Keras

$\frac{\text{Berat Benda Uji Keras (Mb2)}}{\text{Volume Cetakan Benda Uji (Vm)}}$

1) Beton Normal

- $N1 = \frac{12,38}{0,0053} = 2335,8 \text{ kg/m}^3$
- $N2 = \frac{12,10}{0,0053} = 2283 \text{ kg/m}^3$
- $N3 = \frac{12,60}{0,0053} = 2377,4 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{N1 + N2 + N3}{3} \\ &= \frac{2335,8 + 2283 + 2377,4}{3} \\ &= \mathbf{2332,1 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

2) Beton + 15% Zeolite

- $Z1 = \frac{12,22}{0,0053} = 2116,9 \text{ kg/m}^3$
- $Z2 = \frac{12,28}{0,0053} = 2316,9 \text{ kg/m}^3$
- $Z3 = \frac{12,26}{0,0053} = 2313,2 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2116,9 + 2316,9 + 2313,2}{3} \\ &= \mathbf{2249 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

3) Beton + 25% Zeolite

- $Z1 = \frac{11,9}{0,0053} = 2245,3 \text{ kg/m}^3$

- $Z2 = \frac{11,62}{0,0053} = 2192,5 \text{ kg/m}^3$

- $Z3 = \frac{11,7}{0,0053} = 2215,1 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2245,3 + 2192,5 + 2215,1}{3} \\ &= \mathbf{2217,6 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

4) Beton + 35% Zeolite

- $Z1 = \frac{11,58}{0,0053} = 2184,9 \text{ kg/m}^3$

- $Z2 = \frac{11,62}{0,0053} = 2192,5 \text{ kg/m}^3$

- $Z3 = \frac{11,94}{0,0053} = 2252,8 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata berat volume beton} &= \frac{Z1 + Z2 + Z3}{3} \\ &= \frac{2184,9 + 2192,5 + 2252,8}{3} \\ &= \mathbf{2210,1 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

Hasil dari pemeriksaan berat volume beton normal dan beton inovasi Zeolite menunjukkan bahwa pada keadaan beton segar nilai rata-rata beton dapat diurutkan dari yang tertinggi sampai yang terendah yaitu Beton Normal ($2533,3 \text{ kg/m}^3$); Beton +15% Zeolite ($2240,3 \text{ kg/m}^3$); Beton 35% Zeolite ($2186,2 \text{ kg/m}^3$); Beton 25% Zeolite ($2172,3 \text{ kg/m}^3$). Sedangkan pada keadaan beton keras nilai rata-rata beton dapat diurutkan dari yang tertinggi sampai yang terendah yaitu Beton Normal ($2332,1 \text{ kg/m}^3$); Beton +15% Zeolite (2249 kg/m^3); Beton 25% Zeolite ($2217,6 \text{ kg/m}^3$); Beton 35% Zeolite ($2210,1 \text{ kg/m}^3$).

4.5. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu didukung oleh silinder beton yang dilakukan saat beton berumur 28 hari. Dari pengujian yang dilakukan dengan alat *Concrete Compressive Strength* tipe CO-320 didapatkan beban maksimum / *Maximum Load* (P_{maks}). Salah satu perhitungan untuk mencari kuat tekan benda uji silinder beton adalah sebagai berikut:

$$P = 257 \text{ kN}$$

$$= 257000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 150^2 = 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{257000}{17671,46} = 14,543 \text{ Mpa}$$

Hasil pengujian kuat tekan beton selengkapnya disajikan dalam Table 4.11.

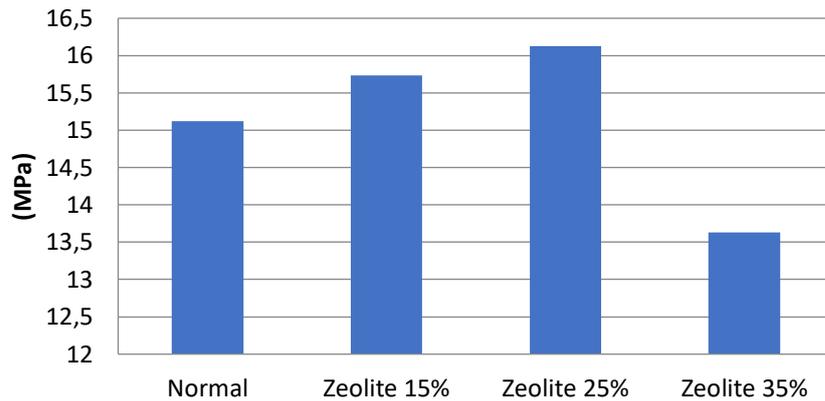
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Jenis Beton	Kode benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
Normal	N1	257	17671,46	14,543	15,124
	N2	321,024	17671,46	18,166	
	N3	223,780	17671,46	12,663	
+ Zeolite 15%	Z1-15%	159,234	17671,46	9,011	15,731
	Z2-15%	319,153	17671,46	18,061	
	Z3-15%	355,595	17671,46	20,123	
+ Zeolite 25%	Z1-15%	282,665	17671,46	15,996	16,126
	Z2-15%	312,037	17671,46	17,658	
	Z3-15%	260,221	17671,46	14,726	
+ Zeolite 35%	Z1-15%	186,332	17671,46	10,544	13,632
	Z2-15%	271,134	17671,46	15,343	
	Z3-15%	265,215	17671,46	15,008	

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Agustus 2022)

Berdasarkan nilai yang disajikan pada Tabel 4.11 di atas terlihat adanya variasi kuat tekan beton berkisar dari 10,544 MPa sampai dengan 20,123 MPa.

Kuat Tekan (28 hari)



Gambar 4.4 Grafik Kuat Tekan Benda Uji

(Sumber : Hasil Pengujian Bulan Agustus 2022)

Berdasarkan nilai yang disajikan pada Gambar 4.4 pada hasil nilai kuat tekan rata-rata didapatkan hasil kuat tekan tertinggi yaitu pada beton dengan penambahan batu Zeolite 25% yaitu 16,126 MPa. Terjadi kenaikan seiring bertambahnya kadar batu Zeolite yang ditambahkan dibuktikan dengan naiknya hasil kuat tekan dari beton normal, beton + 15% batu zeolite dan beton + 25% batu zeolit. Akan tetapi terjadi penurunan kuat tekan di beton + 35% batu Zeolite, dikarenakan batu zeolite yang melampaui batas maksimum maka terjadi kuat tekan beton yang jauh lebih kecil dari beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa pada percobaan ini didapatkan kadar optimum penggantian sebagian batu zeolit pada agregat kasar yaitu sebesar 25%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari penambahan batu Zeolite sebagai bahan pengganti sebagian pada beton normal terhadap sifat mekanik yang ditinjau dari workability dan kuat tekan adalah sebagai berikut:
 - a) Dari pengujian slump (Workability), menunjukkan bahwa campuran masih dapat dikerjakan dengan baik sampai proporsi batu Zeolite 35% karena memiliki kelecekan yang masih berada dalam batas slump yaitu antara 10 cm – 14 cm.
 - b) Dari hasil pengujian kuat tekan, menunjukkan adanya perubahan kuat tekan beton yang disebabkan oleh beberapa persentase batu Zeolite yang ditambahkan. Untuk persentase batu Zeolite 0% memiliki nilai sebesar 15,124 Mpa, dan pada 15%, 25% mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 15,731 Mpa, 16,126 Mpa, sedangkan pada 35% mengalami penurunan kuat tekan menjadi 13,632 Mpa.
2. Persentase optimum didapatkan pada 25% penggantian sebagian agregat kasar oleh batu Zeolite pada pengujian kuat tekan dengan nilai 16,126 Mpa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama pengujian ini, maka diberikan saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi besar persentase lebih detail yang mengacu dari hasil dari penelitian ini untuk memperoleh kualitas beton yang lebih baik dan sesuai dengan target kegunaanya.
2. Penelitian Penelitian tugas akhir ini bisa dijadikan literatur tambahan atau sebagai bahan evaluasi bagi penelitian tugas akhir selanjutnya, dengan harapan pada hasil evaluasi penelitian tugas akhir tersebut nantinya akan lebih baik dari penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amal, A. S., & Saleh, C. (2015). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik Marshall. *Media Teknik Sipil*, 13(2).
- Cormac, M. C., & Jack, C. (2004). Desain beton bertulang. *Erlangga, Jakarta*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SKSNI T-15-1991-03.
- Febrianto, I. (2011). Tinjauan Kuat Lentur dan Porositas Beton dengan Zeolit Sebagai Bahan Tambah Dibanding Zeolit Sebagai Pengganti Semen pada Campuran Beton.
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. *Jurnal Teknik Sipil*, VI(2), 165–172.
- Kementerian PUPR. (2017). Rancangan Campuran Beton. *Diklat Perkerasan Kaku*, 60.
- KURNIAWAN BORE, L. E. X. S. I. (2016). *PENGARUH PENGGUNAAN ZEOLIT SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON RINGAN DENGAN AGREGAT KASAR BATU APUNG* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Mulyono, T. (2005). Teknologi beton.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. (SNI 1969:2008). Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. (SNI 1970:2008). Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan. (SNI 1971:2011). Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008), Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI 7394: 2008), Dewan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. (SNI 03-2834-2000). Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. (2008). Cara Uji Slump Beton. (SNI1972:2008). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Silinder. (SNI 1974:2011). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Subarkah, S., Bale, H. A., & Nugraha, A. A. (2020). Pemanfaatan Batu Zeolite Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-60. *Teknisia*, 50-58.

Tjokrodimulyo, K. (1996). Pengetahuan Dasar Teknologi Beton dan Ilmu Teknik. *UGM. Yogyakarta*.

Weitkamp, J., & Puppe, L. (Eds.). (1999). *Catalysis and zeolites: fundamentals and applications*. Springer Science & Business Media.

