

TESIS

**MODEL *RIGID PAVEMENT* DAERAH PESISIR PANTURA
(STUDI KASUS: JALUR PANTURA KALIGAWA SEMARANG
– DEMAK)**

**DISUSUN DALAM RANGKA MEMENUHI SALAH SATU
PERSYARATAN GUNA MENCAPAI GELAR MAGISTER TEKNIK (MT)**



Disusun Oleh :

ISNAH KUMIYATI

NIM : 20201900025

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
TAHUN 2023**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**MODEL *RIGID PAVEMENT* DAERAH PESISIR PANTURA
(STUDI KASUS: JALUR PANTURA KALIGAWA SEMARANG
– DEMAK)**

Disusun Oleh :

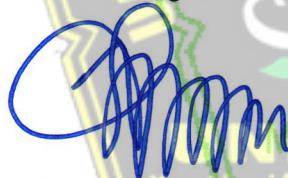
ISNAH KUMIYATI
NIM : 20201900025

Telah disetujui oleh :

Tanggal, 30 Agustus 2023

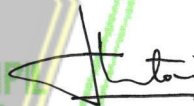
Tanggal, 30 Agustus 2023

Pembimbing I,



Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D.
NIK. 210293018

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**MODEL RIGID PAVEMENT DAERAH PESISIR PANTURA
(STUDI KASUS: JALUR PANTURA KALIGAWA SEMARANG
– DEMAK)**

Disusun oleh :

ISNAH KUMIYATI

NIM : 20201900025

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
30 Agustus 2023

Tim Penguji:

1. Ketua



(Prof. Dr. Ir. Antonius, MT)

2. Anggota



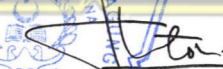
(Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si)

3. Anggota



(Ir. H. Prabowo Setiawan, MT., Ph.D)

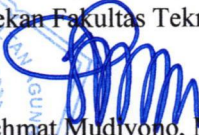
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)
Semarang, (pada saat acc dosen penguji)
Mengetahui,
Ketua Program Studi



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NIK. 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



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

NIK. 210293018

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﴾

Terjemahan :

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (QS. Ali Imron : 110)

وَلَا تَهِنُوا وَلَا تَحْزَنُوا وَأَنْتُمْ الْأَعْلَوْنَ إِنْ كُنْتُمْ مُؤْمِنِينَ

Terjemahan :

“Janganlah kamu bersikap lemah, dan janganlah (pula) kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang-orang yang beriman.” (QS. Ali ‘Imran : 139)

وَعَسَى أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَى أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا
وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ

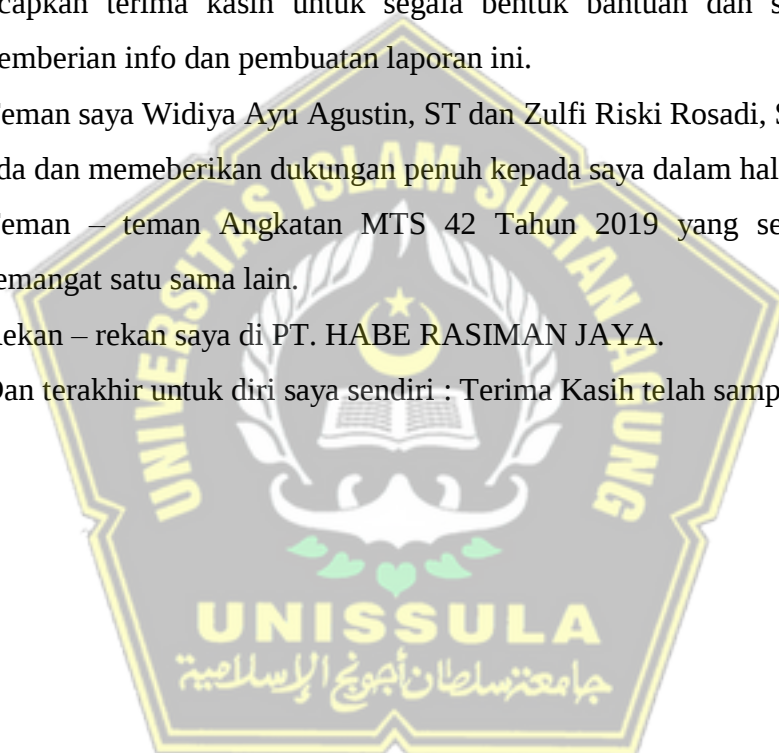
Terjemahan :

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui.” (QS. Al-Baqarah : 216)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan :

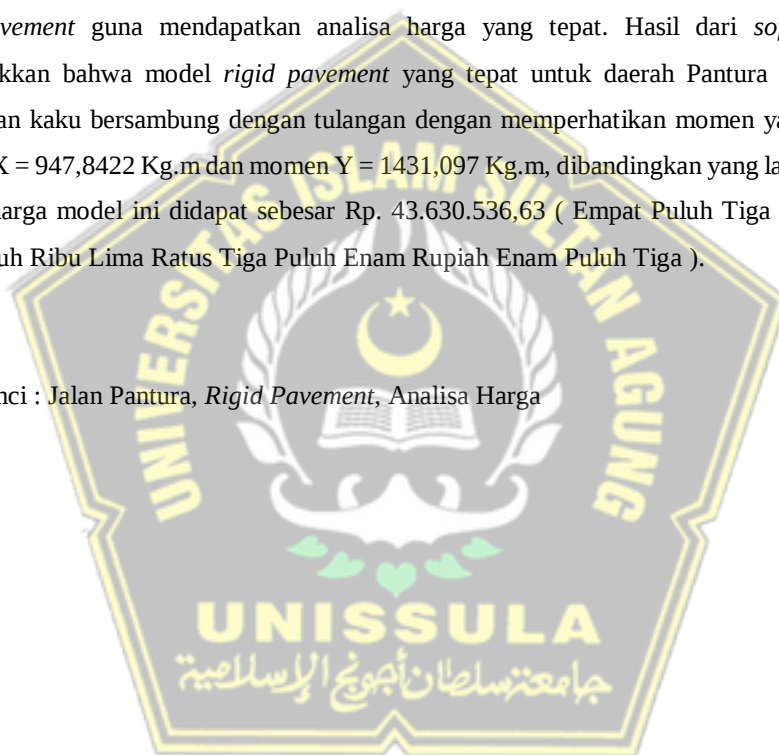
1. Kedua orang tua saya, Bapak Iskandar Priyo Sudarmo dan Ibu Rusmalinah.
2. Adik kandung saya, Dina Pitalokha dan Muhammad Fahrozi Sudarmo.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. selaku Dosen Pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan dan menunggu saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Para Dosen serta Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UNISSULA saya ucapkan terima kasih untuk segala bentuk bantuan dan support dalam pemberian info dan pembuatan laporan ini.
5. Teman saya Widiya Ayu Agustin, ST dan Zulfi Riski Rosadi, ST yang selalu ada dan memberikan dukungan penuh kepada saya dalam hal apapun.
6. Teman – teman Angkatan MTS 42 Tahun 2019 yang selalu memberi semangat satu sama lain.
7. Rekan – rekan saya di PT. HABE RASIMAN JAYA.
8. Dan terakhir untuk diri saya sendiri : Terima Kasih telah sampai dititik ini.



ABSTRAK

Pantura atau lebih dikenal dengan sebutan Jalur Pantai Utara Pulau Jawa merupakan jalan utama Nasional Rute 1, melewati 5 provinsi sepanjang 1.316 km di sepanjang pesisir pantai utara Jawa, yaitu Banten, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Penelitian kali ini membahas tentang Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura yang berada di Jalan Pantura Kaligawe (Semarang – Demak), dimana daerah ini merupakan jalan yang banyak dilewati kendaraan tidak hanya roda dua namun dilewati roda delapan dengan kapasitas muatan yang mempunyai beban tinggi. Maka dari itu penelitian bertujuan mencari model *rigid pavement* yang kuat untuk jalur Pantura Kaligawe tersebut dengan menggunakan *software* SAP2000 bertujuan untuk mendapatkan permodelan yang kuat. Selain itu penelitian ini juga membahas analisa harga pekerjaan dari model *rigid pavement* guna mendapatkan analisa harga yang tepat. Hasil dari *software* SAP2000 menunjukkan bahwa model *rigid pavement* yang tepat untuk daerah Pantura Kaligawe adalah perkerasan kaku bersambung dengan tulangan dengan memperhatikan momen yang didapat yaitu momen $X = 947,8422 \text{ Kg.m}$ dan momen $Y = 1431,097 \text{ Kg.m}$, dibandingkan yang lainnya serta untuk analisa harga model ini didapat sebesar Rp. 43.630.536,63 (Empat Puluh Tiga Juta Enam Ratus Tiga Puluh Ribu Lima Ratus Tiga Puluh Enam Rupiah Enam Puluh Tiga).

Kata Kunci : Jalan Pantura, *Rigid Pavement*, Analisa Harga



ABSTRACT

Pantura or better known as the North Coast Line of Java Island is the main road of National Route 1, passing through 5 provinces along 1,316 km along the north coast of Java, namely Banten, Jakarta, West Java, Central Java and East Java. This research discusses the Rigid Pavement Model of the Pantura Coastal Area located on the Kaligawe Pantura Road (Semarang - Demak), where this area is a road that is heavily traveled by vehicles not only two-wheeled but eight-wheeled vehicles with a high load capacity. Therefore, the research aims to find a strong rigid pavement model for the Kaligawe Pantura line using SAP2000 software to obtain strong modeling. In addition, this research also discusses the price analysis of the work of the rigid pavement model in order to get the right price analysis. The results of the SAP2000 software show that the right rigid pavement model for the kaligawe pantura area is a rigid pavement connected with reinforcement by noting the moments, namely moment $X = 947,8422 \text{ Kg.m}$ and moment $Y = 1431,097 \text{ Kg.m}$ = while the others and for the price analysis of this model are obtained in the amount of Rp. 43.630.536,63 (Forty Three Million Six Hundred Thirty Thousand Five Hundred Thirty Six Rupiah Sixty Three).

Keywords: Pantura Road, Rigid Pavement, Price Analysis



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ISNAH KUMIYATI

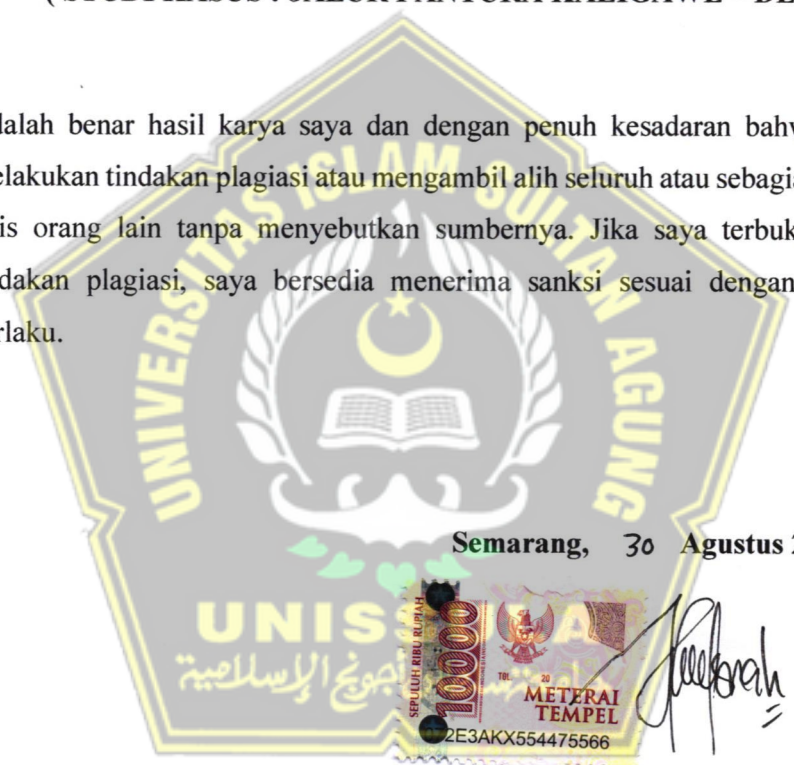
NIM : 20201900025

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul :

MODEL *RIGID PAVEMENT* DAERAH PESISIR PANTURA (STUDI KASUS : JALUR PANTURA KALIGAWA – DEMAK)

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 30 Agustus 2023



ISNAH KUMIYATI

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT kami ucapkan, karena hanya dengan rahmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tesis ini dengan judul “Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura (Studi Kasus : Jalur Pantura Kaligawe Semarang – Demak) ”. Tesis ini merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar kesarjanaan Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

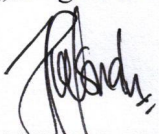
Selama mengerjakan Tesis ini, penulis telah mendapat banyak bantuan bimbingan serta pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, perkenankanlah penulis untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar - besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta seluruh keluarga dari penulis yang selalu memberikan doa dan memberikan perhatiannya atas dukungan moral, spiritual dan finansial selama ini.
2. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I Penelitian Tesis, yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing II Penelitian Tesis, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Yth. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA atas segala bantuan dan dukungan yang sudah diberikan.
5. Yth. Ir. M. Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pasca Sarjana.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan – kekurangan dari segi kualitas dan kuantitas maupun dari ilmu pengetahuan yang penyusun kuasai. Oleh karena itu, penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan tugas kedepannya dan semoga bermanfaat bagi institusi pendidikan untuk kedepannya.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 30 Agustus 2023


ISNAH KUMIYATI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Struktur Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>).....	5
2.2 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan	7
2.2.1 Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	8
2.2.2 Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	9
2.2.3 Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan	11
2.2.4 Perkerasan Kaku Pracetak	11
2.3 Sambungan	12

2.4	Perencanaan Tebal Pelat Beton	14
2.5	Kelas Jalan dan Beban Sumbu.....	14
2.6	Beban Lalu Lintas.....	16
2.7	Analisa Metode SAP 2000	17
2.8	Prosedur dan Pengoperasian SAP 2000.....	17
2.9	Penelitian Terdahulu.....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 30

3.1	Tinjauan Umum.....	30
3.2	Lokasi Penelitian	30
3.3	Metode Pengumpulan Data	31
3.4	Metode Pengolahan Data.....	32
3.4.1	Analisis Struktur Perkerasan dengan SAP 2000.....	32
3.5	Bagan Alur Penelitian.....	34

BAB IV HASIL ANALISIS & PEMBAHASAN 36

4.1	Data Kondisi Jalan Kaligawe Semarang.....	36
4.2	<i>Preliminary Design</i>	36
4.2.1	Perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan.....	36
4.2.2	Perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan	38
4.2.3	Perencanaan Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan	39
4.3	Data Pembebanan	40
4.3.1	Beban Tetap (mati).....	41
4.3.2	Beban Hidup.....	42
4.4	Permodelan Perkerasan Kaku dengan SAP2000.....	46
4.4.1	Data Dimensi Struktur Perkerasan	46
4.4.2	Permodelan Pembebanan	47
4.4.3	Data Property Material Struktur Perkerasan Beton Bertulang	49
4.5	Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	53
4.6	Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan.....	56
4.7	Perkerasan Kaku Bersambung Memanjang Dengan Tulangan.....	60
4.8	Momen Arah X dan Y Jenis Perkerasan Kaku.....	62

4.9	Analisa Ekonomi Jenis Perkerasan Kaku.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN.....		69



DAFTAR TABEL

2.1 Diameter Ruji (Dowel)	13
2.2 Kelas Jalan dan MST yang Diizinkan	15
2.3 Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan	16
2.4 Studi Terdahulu	22
4.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas	36
4.2 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	55
4.3 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah Y	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	56
4.4 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	58
4.5 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah Y	
Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	59
4.6 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan	61
4.7 Hasil <i>Running</i> untuk Momen Arah Y.....	62
4.8 Hasil Momen Arah X dan Y Jenis Perkerasan Kaku	62
4.9 Perhitungan Biaya Perkerasan	
Kaku Bersambung tanpa Tulangan	63
4.10 Perhitungan Biaya Perkerasan	
Kaku Bersambung dengan Tulangan.....	64
4.11 Perhitungan Biaya Perkerasan	
Kaku Menerus dengan Tulangan.....	64

DAFTAR GAMBAR

2.1 Susunan Lapisan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	6
2.2 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen	6
2.3 Skema Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	9
2.4 Ruji dan Batang Pengikat pada Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	9
2.5 Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan.....	10
2.6 Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan	11
2.7 Skema Perkerasan Kaku Pracetak Pratekan	12
2.8 Spesifikasi Material Beton (<i>Concrete</i>).....	18
2.9 Jenis Beban.....	19
2.10 Kombinasi Pembebanan.....	20
3.1 Lokasi Jalan Pantura Kaligawe Semarang – Demak.....	30
3.2 Template Model	32
3.3 Permodelan Grafis Struktur Perkerasan	33
3.4 Program SAP 2000 Berhasil	34
3.5 Diagram Alur Penelitian	35
4.1 Denah Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	37
4.2 Detail A Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	37
4.3 Detail B Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.....	37
4.4 Denah Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	38
4.5 Detail A Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	39
4.6 Detail B Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan	39
4.7 Denah Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan.....	39
4.8 Detail A Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan	40
4.9 Beban Dua Arah Berdekatan Jarak 100 cm	43
4.10 Penyebaran Dua Arah Berdekatan Jarak 100 cm.....	43
4.11 Model Perkerasan Kaku SAP2000.....	46
4.12 Perspektif Pelat Perkerasan Kaku	47
4.13 Beban Gambar Truk.....	48
4.14 Pembebanan Pada Tiap Pelat	48

4.15 Pembebanan Beban Mati Beton Tanpa Tulangan	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	49
4.16 Pembebanan Beban Truk Perkerasan Kaku	
Bersambung Tanpa Tuangan.....	49
4.17 Pembebanan Beban Rem Kendaraan	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	50
4.18 Pembebanan Beban Mati Beton Dengan Tulangan	
Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan.....	50
4.19 Pembebanan Beban Truk Perkerasan Kaku	
Bersambung Dengan Tulangan	51
4.20 Pembebanan Beban Rem Kendaraan	
Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan.....	51
4.21 Pembebanan Beban Mati Beton Dengan Tulangan	
Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan.....	52
4.22 Pembebanan Beban Truk Perkerasan Kaku	
Menerus dengan Tulangan	52
4.23 Pembebanan Beban Rem Kendaraan	
Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan.....	53
4.24 Input Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	53
4.25 Diagram Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	54
4.26 Diagram Momen Arah Y	
Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan	55
4.27 Pengaturan Tulangan pada Model Perkerasan	
Kaku Bersambung Dengan Tulangan	57
4.28 Pendefinisian <i>Constraint</i> pada SAP2000	
Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan.....	57
4.29 Diagram Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan.....	58
4.30 Diagram Momen Arah Y	

Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan	59
4.31 Pemodelan <i>Constraint</i>	60
4.32 Diagram Momen Arah X	
Perkerasan Kaku Bersambung Memanjang dengan Tulangan.....	60
4.33 Diagram Momen Arah Y	
Perkerasan Kaku Bersambung Memanjang dengan Tulangan.....	61
4.34 Tebal Lapis Rencana Perkerasan Kaku.....	63



DAFTAR SINGKATAN

A_s	= Luas tulangan tarik non-prategangan (mm^2)
A_1	= Luas penampang pada daerah pelat (mm^2)
A_2	= Luas penampang pada daerah balok (mm^2)
b	= Lebar bagian flens efektif penampang balok T (mm)
b_e	= Lebar mamfaat penampang balok T (mm) b_w = Lebar badan balok (mm)
D	= Diameter baja tulangan ulir (mm)
DL	= Beban mati merata (ton/m)
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
dx	= Tebal Efektif x
dy	= Tebal efektif y
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_{cb}	= Modulus elastisitas balok beton (MPa)
E_{cs}	= Modulus elastisitas pelat beton (MPa)
E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
f'_c	= Kuat tekan beton atau mutu beton (MPa)
f_y	= Tegangan luluh baja tulangan yang diisyaratkan (MPa)
h	= Tebal atau tinggi total balok (mm)
h_f	= Tebal efektif pelat (mm)
h_{maks}	= Tebal efektif pelat maksimum (mm)
h_{min}	= Tebal efektif pelat minimum (mm)
I	= Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor (mm^4)
I_b	= Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok (mm^4)
I_s	= Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat (mm^4)
L	= Panjang bentang balok atau pelat dari as ke as tumpuan (mm)
LL	= Beban hidup merata (ton/m)
L_y	= Panjang bentang balok atau pelat terpanjang dari as ke as tumpuan (mm)
L_x	= Panjang bentang balok atau pelat terpendek dari as ke as tumpuan (mm)

l	= Panjang bentang balok atau pelat searah dengan penulangan yang ditinjau, proyeksi bersih struktur kantilever (mm)
l_n	= Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negative, atau panjang bentang bersih dalam arah momen yang dihitung diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
M_U	= Momen ultimate (ton.m)
M_x	= Momen arah X
M_y	= Momen arah Y
P	= Penutup beton atau selimut beton (mm)
P_w	= Beban terpusat angin
P_t	= Beban terpusat
Q	= Beban merata dalam bentuk segitiga atau trapezium (ton/m)
q	= Beban merata dalam bentuk persegi (ton/m)
S	= Spasi tulangan geser atau torsi kearah parallel dengan tulangan longitudinal (mm)
U	= Kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau momen dan gaya yang berhubungan dengannya.
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan beton.
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang.
w	= Beban angin, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya (ton/m ²)
W_u	= Beban ultimate (ton/m ²)
W	= Berat sendiri (ton)
W_D	= Beban mati ((ton/m ²)
W_L	= Beban hidup (ton/m ²)
X	= Jarak titik pusat berat arah x (mm)
Y	= Jarak titik pusat berat arah y (mm)
α	= rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan pelat, dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu panel yang bersebelahan (bila ada) pada setiap sisi balok, atau sudut antara sengkang miring dan

sumbu longitudinal komponen struktur.

α_m = Nilai rata-rata α untuk semua balok pada sisi tepi suatu panel.

β = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah melebar pelat dua arah

$\emptyset$ = Diameter baja tulangan Polos

ρ = Rasio penulangan tarik non-prategangan.

ρ_{anl} = Rasio penulangan analisa tarik non-prategangan.

ρ_b = Rasio penulangan pada keadaan seimbang regangan.

ρ_{min} = Rasio penulangan maksimum tarik non-prategangan.

ρ_{min} = Rasio penulangan minimum tarik non-prategangan.

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

σ_c = Tegangan beton

σ_s = Tegangan baja

γ_c = Berat Jenis Beton Bertulang

γ_w = Berat Jenis Air Hujan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Bidang sosial, ekonomi, budaya, dan perbankan (integritas nasional), merupakan peran yang strategi untuk jalan. Terbukti bahwa 80-90% dari semua transportasi barang dan penumpang terjadi di jalan raya. Untuk kelancaran Pengguna jalan berharap bahwa jalan yang mereka lalui terus-menerus menawarkan kenyamanan dan keamanan.

Jalur Pantai Utara Pulau Jawa atau lebih dikenal akrab dengan sebutan (PANTURA), adalah jalan nasional utama Rute 1 membentang sepanjang 1.316 km di sepanjang pantai utara Pulau Jawa, melewati Banten, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Rute ini menghubungkan Merak di ujung barat Jawa dan Ketapang di ujung timur Jawa, dua pelabuhan penyeberangan. (Pemerintah Indonesia, 2019).

Tepatnya pada ruas Jalan Pantura Kaligawe terdapat fasilitas seperti : Rumah Sakit, Perguruan Tinggi dan puluhan perusahaan besar beroperasi, untuk mendukung investasi di kota Semarang khususnya. Di samping itu, Kaligawe merupakan jalan yang sangat vital karena menghubungkan Semarang dengan kota-kota di sepanjang Pantura ke arah Jawa Timur. Sehingga Jalan Kaligawe merupakan jalan yang banyak dilewati oleh kendaraan, baik kendaraan roda dua, hingga roda delapan yang memiliki kapasitas beban yang tinggi (Husaini & Junoasmono, 2017).

Jalan Kaligawe di Semarang sering mengalami kerusakan sebelum umur rencana yang ditentukan. Kerusakan jalan yang terjadi di awal (kerusakan dini) dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti pengaruh kendaraan yang kelebihan beban (*over loading*), variabel terkait cuaca seperti suhu serta air, dan konstruksi yang memiliki kekurangan dalam persyaratan teknis. (Nahyo et al., 2019).

Mengingat jenis kendaraan yang lewat pada jalan Kaligawe – Semarang, dari kendaraan beban ringan hingga berat maka Jalan Kaligawe menggunakan jenis konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis perkerasan kaku atau *rigid pavement* merupakan alternatif perkerasan di Indonesia yang banyak digunakan

dikarenakan cukup kuat dan lebih efisien dalam penyebaran beban. Proses bagaimana distribusi beban disalurkan ke *subgrade* menjadi keunggulan dari perkerasan kaku dibanding perkerasan lentur (*asphalt*). Perkerasan kaku memiliki kekakuan dan *stiffnes*, akan mendistribusikan beban pada daerah yang relatif luas untuk *subgrade*, beton sendiri bagian utama yang menanggung beban struktural. Sedangkan pada perkerasan lentur karena terbuat dari material yang kurang kaku, maka penyebaran beban yang dilakukan tidak sebaik seperti beton sehingga memerlukan ketebalan yang lebih besar (Masherni et al., 2020).

Perencanaan perkerasan adalah hal yang harus direncanakan dengan baik agar konstruksi jalan dapat melayani arus lalu lintas sesuai umur rencana jalan. Untuk itu penting dilakukan penelitian **Model Rigid Pavement Daerah Pesisir Pantura guna mendapatkan permodelan yang kuat dan tahan lama di Jalur Pantura Kaligawe Semarang – Demak** yang tepat agar meminimalisir kerusakan yang sering terjadi pada ruas Jalan Kaligawe – Semarang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini dari penjabaran latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model perkerasan kaku yang tepat ditinjau dari sisi kekuatan terhadap beban yang melewati Jalur Pantura Kaligawe ?
2. Bagaimana perbandingan harga dari beberapa model perkerasan kaku pada Jalan Pantura Kaligawe – Semarang ?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian **Model Rigid Pavement Daerah Pesisir Pantura** ini hanya berfokus terhadap permodelan *rigid pavement* dengan menggunakan Software SAP 2000 dan untuk mengetahui kekuatannya dan mengetahui perbandingan biaya untuk permodelan *rigid pavement* ini.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura adalah:

1. Menganalisis jenis permodelan perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang cocok diantara 3 jenis perkerasan kaku sesuai dengan kondisi Jalur Pantura Kaligawe – Demak
2. Untuk mendapatkan perbandingan harga sesuai dengan permodelan perkerasan kaku (*rigid pavement*)

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura adalah:

1. Memberikan gambaran untuk pemilihan jenis perkerasan kaku yang tepat, ditinjau dari segi kekuatan dan ketahanan terhadap beban di Jalur Pantura Kaligawe menuju Demak
2. Memberi gambaran perbandingan harga sesuai dengan tipe perkerasan kaku. Termasuk pengaruh kekuatan dan biaya pelaksanaan pada ruas Jalan Pantura Kaligawe – Semarang.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, maksud, tujuan, batasan masalah dan manfaat serta sistematika penyusunan laporan pada penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang landasan teori yang dipakai sebagai acuan dalam penelitian baik itu rumus empiris, literatur ataupun hasil yang dilakukan oleh para ahli yang berkompeten di bidangnya.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian (runtutan penelitian) yang digunakan sehingga mempermudah dalam melaksanakan penelitian yang dilakukan. Bab ini berisikan skema penelitian yang dimulai dari pengumpulan data – data baik data primer maupun data sekunder hingga analisis dan hasil.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan data penelitian yang dihasilkan pada proses pengumpulan data maupun beberapa sumber dari penelitian terdahulu untuk lebih memudahkan menjelaskan, beserta analisis perhitungan dan hasilnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis yang dilakukan dan juga saran dari penelitian yang dilakukan yang nantinya dapat diperbaiki maupun disempurnakan di kemudian hari.



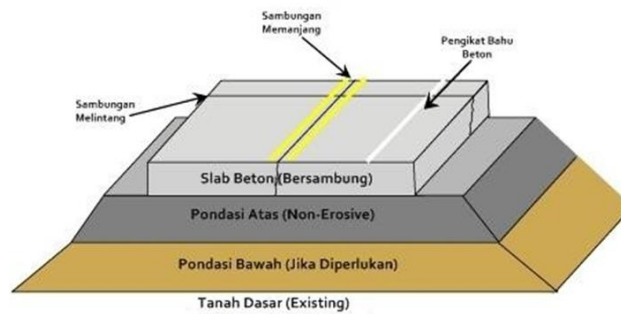
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Susunan lapisan dasar tanah, yang membentuk lapisan pondasi perkerasan kaku, biasanya tidak cukup kuat untuk mendukung beban roda berulang tanpa adanya deformasi parah. Karena itu, harus ada lapisan antara tanah dan roda, atau lapisan atas badan jalan. Lapisan keras / perkerasan / *pavement* adalah zat yang dipilih secara khusus yang dapat digunakan untuk membuat lapisan tambahan ini. Untuk mendukung beban lalu lintas, perkerasan jalan adalah campuran bahan agregat dan pengikat yang dipadatkan ke dasar tanah. Tujuan dasar dari struktur perkerasan jalan adalah untuk menurunkan tegangan atau tekanan terkait beban roda sampai pada nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menanggung beban. (Guminto et al., 2020).

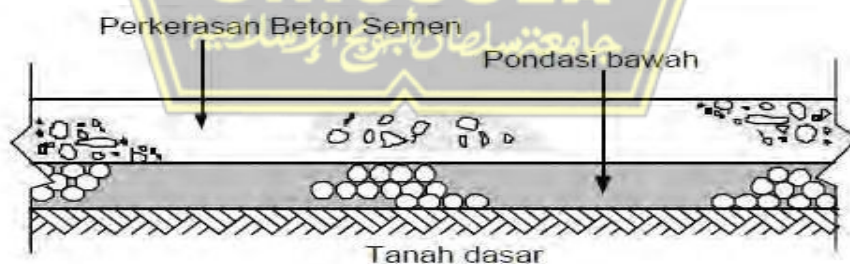
Konstruksi perkerasan pada umumnya dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu perkerasan lentur (aspal) dan perkerasan kaku (beton semen). Alasan dinamakan perkerasan kaku karena struktur perkerasan mengalami lendutan (*deflection*) akibat beban yang relatif kecil (Maharani & Wasono, 2018). Keadaan ini terjadi karena lapis permukaan mempunyai Modulus Elastisitas (E) yang sangat besar dibandingkan lapisan di bawahnya. Perkerasan kaku umumnya terdiri dari lapis beton semen (*Portland Cement Concrete/PCC*) yang dihamparkan di atas tanah dasar (*subgrade*) atau lapis pondasi (*base course*). Wiryanto (2010) mengatakan bahwa perkerasan jalan beton dilaksanakan dalam beberapa tahap, mulai dari pekerjaan tanah (urugan dan galian), pembuatan lapis pondasi dan lapisan di atasnya (berupa beton) (BOBIE, 2018). Susunan lapis perkerasan untuk jalan beton ditunjukkan dalam Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Susunan Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
(Sumber: *Pavement Design Guide*, 1992)

Susunan lapisan perkerasan jalan beton tersebut terdiri dari dua lapis, yaitulapisan beton dan lapisan pondasi di bawahnya. Lapisan perkerasan beton dikerjakan secara per segmen dan diberi sekat untuk mengantisipasi resiko kerusakan akibat faktor kembang susut (*shrinkage*). Lapis beton tersebut berada diatas lapisan pondasi yang bisa berupa material berbutir dengan tebal minimal 15 cm atau campuran beton kurus (*lean-mix concrete*) dengan tebal minimum 10 cm.

Perkerasan beton ini terdiri dari struktur yang terbuat dari lempengan beton semen yang berjarak terus menerus (atau tidak terus menerus), baik tanpa tulangan maupun dengan tulangan, terletak pada lapisan dasar tanah atau pondasi, tanpa atau dengan lapisan permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen
(Sumber: *Bina Marga* 2003)

Perkerasan beton semen terdapat daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung perkerasan terutama didapat dari pelat beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan (*Pd T- 14-2003*).

Keuntungan dari perkerasan kaku adalah:

1. Mempunyai ketahanan yang baik terhadap keausan roda lalu lintas.
2. Mampu mendukung beban kendaraan yang tinggi.
3. Memiliki ketahanan yang baik terhadap banjir dan genangan air serta ketahanan terhadap kerusakan terkait cuaca.
4. Karena tidak perlu dirawat sesering jalan aspal, biaya perawatannya akan lebih rendah.
5. Tanpa terlebih dahulu memperbaiki struktur tanah, diterapkan pada formasi tanah yang buruk.

Kerugiannya antara lain:

1. Biaya lebih tinggi untuk rute dengan sedikit lalu lintas
2. Rentan pecah jika dibangun di atas tanah dasar lunak
3. Tingkat kenyamanannya dalam berkendara kurang

2.2 Jenis Konstruksi Perkerasan Kaku

Struktur dan jenis perkerasan beton semen dibedakan kedalam 4 jenis:

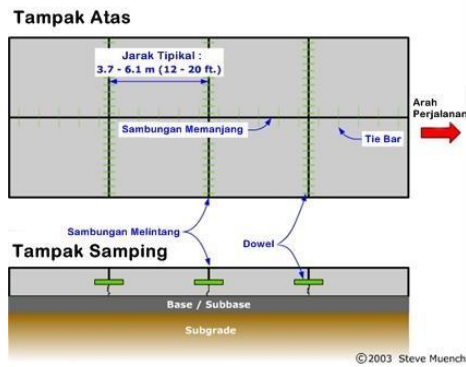
1. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau *Jointed Unreinforced Plain Concrete Pavement* (JUPCP)
2. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan Atau *Jointed Reinforced Concrete Pavement* (JRCP)
3. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau *Continuously Reinforced Concrete Pavement* (CRCP)
4. Perkerasan beton semen 'prategang' atau *Prestressed Concrete Pavement*
5. Perkerasan beton semen pracetak atau (dengan dan tanpa prategang)

2.2.1 Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan (*Joint Plain Concrete Pavement – JPCP*)

Perkerasan tipe ini hanya menggunakan sambungan susut (*contraction joint*) untuk mengontrol retak pada beton. Tipe perkerasan ini menghasilkan jarak antar sambungan tidak lebih dari 6,1 meter. Ruji (*dowel*) digunakan pada sambungan transversal sebagai sistem transfer beban. Batang pengikat (*tie bar*) pada sambungan memanjang digunakan untuk mengikat pelat agar tidak bergerak secara horisontal. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (JPCP) ditunjukkan dalam Gambar 2.3 di bawah ini.

Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan adalah jenis yang paling umum digunakan karena biaya yang relatif murah dalam pelaksanaannya dibanding jenis lainnya. Survei yang dilakukan oleh *American Concrete Pavement Association* (ACPA) pada tahun 1999, di Amerika Serikat 70% dari Badan Pengelola Jalan Negara (*State Highway Agencies*) menggunakan perkerasan bersambung tanpa tulangan. Di daerah dimana korosi terhadap tulangan akan menjadi masalah, ketidakberadaan tulangan akan meniadakan masalah korosi tersebut, walaupun besi ruji masih akan kena pengaruh korosi. Sambungan susut umumnya dibuat setiap 3,6 m – 6 m (di Indonesia umumnya antara 4,5 dan 5 m).

Sambungan ini mempunyai jarak yang relatif dekat sehingga retak tidak akan terbentuk di dalam pelat sampai akhir umur layan dari perkerasan tersebut. Karena itu pada Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan, pemuaian dan penyusutan perkerasan diatasi melalui sambungan seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 2.3 Skema Perkerasan Kaku bersambungan tanpa tulangan).



Gambar 2.3 Skema Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

Pada Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan, tidak ada tulangan pada pelat, kecuali ruji yang diletakkan pada sambungan susut tersebut dan batang pengikat (*tie bar*) yang terletak pada sambungan memanjang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ruji dan Batang pengikat pada Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan.



Gambar 2.4 Ruji dan Batang pengikat pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan.

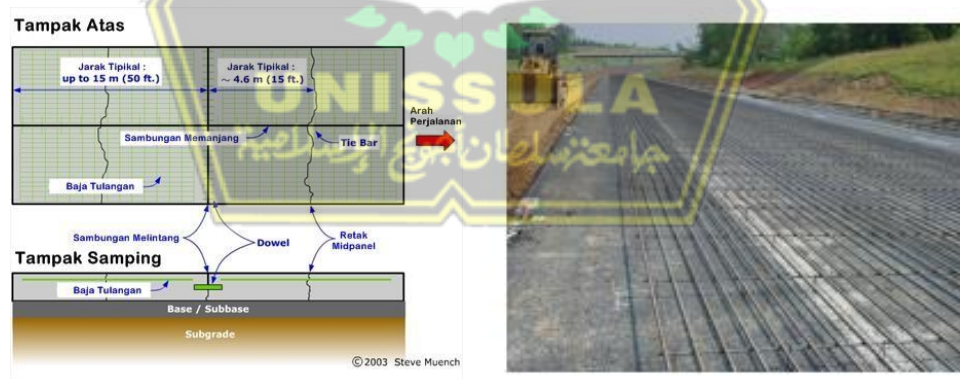
2.2.2 Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement- JRCP*)

Perkerasan tipe ini menggunakan sambungan susut memanjang maupun melintang dan baja tulangan untuk mengontrol retak pada beton. Sambungan transversal tipe perkerasan ini dapat dibuat lebih panjang dibandingkan perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan. Jarak sambungan tipikal antara 7,6 meter sampai 15,2 meter. Dowel yang digunakan pada sambungan transversal bermaksud sebagai sistem penyalur beban, sehingga pelat yang saling

berdampingan dapat bekerja bersama-sama tanpa terjadi perbedaan penurunan yang berarti. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (JRCP) ditunjukkan dalam Gambar 2.5 di bawah ini.

Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan atau JRCP serupa dengan Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan (JPCP) kecuali ukuran pelat lebih panjang dan ada tambahan tulangan pada pelatnya. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m dan 12 m, meskipun ada juga yang jarak sambungannya sebesar 30 m. Hasil survei oleh (ACPA) pada tahun 1999, sekitar 20% dari pengelola jalan negara (*State Highway Agency*) di Amerika Serikat menggunakan perkerasan kaku bersambung dengan Tulangan (JRCP).

Pada pelat dan jarak sambungan yang lebih panjang, ruji sangat disarankan karena sambungan akan menjadi lebih lebar dan agregat interlocking akan menjadi tidak efektif sebagai penyalur beban pada sambungan. Persentase tulangan yang digunakan dalam arah memanjang umumnya antara 0,1% dan 0,2 % dari luas penampang melintang beton, sedangkan penulangan dalam arah melintang lebih kecil. Penulangan pada Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan bukan dimaksudkan untuk memikul beban secara struktural, tetapi untuk “memegang” retak agar tetap rapat, guna menjaga geser sepanjang bidang retakan sebagai penyalur beban tetap berfungsi.



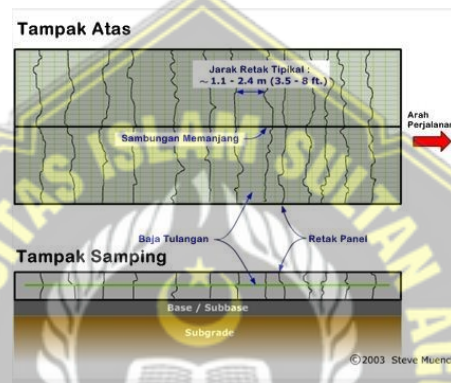
Gambar 2.5 Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

Keuntungan dari Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan adalah jumlah sambungan yang lebih sedikit, tetapi biayanya lebih mahal karena adanya penggunaan tulangan serta kinerja sambungan yang kurang baik dan adanya retak pada pelat. Karena jarak antar sambungan yang lebih besar dari

Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan, maka bukaan dan penutupan sambungan menjadi lebih lebar, serta ruji sebagai penyalur beban menjadi lebih rentan ketika sambungan terbuka lebih lebar.

2.2.3 Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan (*Continuous Reinforced Concrete Pavement - CRCP*).

Perkerasan tipe ini tidak memerlukan adanya sambungan muai. Retak melintang diperbolehkan untuk terjadi akan tetapi diikat kuat oleh baja tulangan menerus. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (CRCP) ditunjukkan dalam Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan (CRCP)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi respon struktural dari perkerasan beton, seperti jarak antara sambungan, ketebalan slab beton, sifat beton, perangkat transfer pembebanan, lebar sambungan, ketebalan dan sifat *subbase*, karakteristik *subgrade*, besarnya dan lokasi beban kendaraan di atas perkerasan.

2.2.4 Perkerasan Kaku Pracetak.

Perkerasan Kaku Pracetak dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

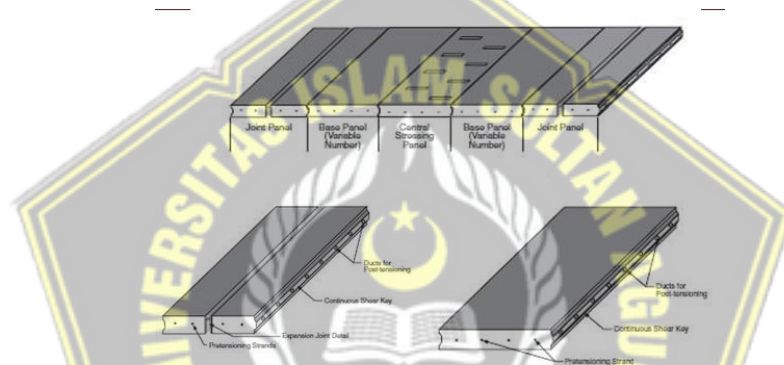
- Perkerasan Kaku Pracetak Tanpa Prategang
- Perkerasan Kaku Pracetak Dengan Prategang

Pada tahun 2005 Perkerasan kaku pracetak prategang sudah dibuat di negara bagian Missouri dan Indiana, Amerika Serikat. Perkerasan ini tersusun dari individual panel yang sudah dicetak dahulu dan diberikan pratekan dengan tebal 20 cm lalu dicetak selebar perkerasan jalan. Perkerasan kaku pracetak ini kurang

lebih memiliki kapasitas untuk menerima beban lalu lintas yang setara dengan perkerasan kaku konvensional setebal 35,5 cm.

Perkerasan Kaku Pracetak Prategang terdiri dari tiga tipe jenis pelat yang digunakan, yaitu :

- a. *Joint panel*, berada pada ujung-ujung di masing-masing bagian rangkaian pelat pratekan dan mempunyai ruji pada sambungannya berfungsi mengakomodir pergerakan horisontal pelat.
- b. *Central panel*, berada ditengah-tengah dari rangkaian pelat dan terdapat lubang (*pocket*) untuk penempatan ujung-ujung *postensional strandbase panel*, pelat-pelat yang dominan membentuk suatu sistem perkerasan, yang diletakkan diantara *joint panel* dan *central panel*.



Gambar 2.7 Skema Perkerasan Kaku Pracetak Pratekan

2.3 Sambungan

Sambungan atau *joint* adalah alat yang digunakan pada perkerasan kaku untuk menghubungkan tiap segmen pada perkerasan kaku. Berfungsi untuk mendistribusikan atau menyalurkan beban yang diterima pelat atau segmen satu ke segmen lain sehingga tidak terjadi pergeseran pada segmen akibat beban dari kendaraan (Subagyo & Nurokhman, 2021). Sambungan pada perkerasan jalan beton terdiri dari sambungan arah melintang dan sambungan arah memanjang.

1. Sambungan Memanjang Dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm.

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h(3.11) \dots\dots\dots (1)$$

$$I = (38,3 \times \emptyset) + 75 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

- A_t : Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2),
- b : Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengantepe perkerasan (m),
- h : Tebal pelat (m),
- I : Panjang batang pengikat (mm), dan
- $\emptyset$: Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

2. Sambungan Susut Melintang Dengan Ruji (*Dowel*)

Untuk menguatkan konstruksi badan jalan sehingga tidak mudah rusak atau amblas saat menerima beban dari kendaraan yang lewat, kemudian dowel yang menyambung antar segmen berfungsi sebagai penghambat terjadinya retakan di salah satu segmen agar tidak menjalar pada segmen lainnya. Sambungan Susut Melintang Dengan Ruji (*dowel*) kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen.

Jarak Sambungan Susut Melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1 berikut ini

Tabel 2.1 Diameter Ruji (*Dowel*)

No	Tebal Pelat Beton, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

(Sumber: Departemen Permukiman dan Perencanaan Wilayah, 2003)

2.4 Perencanaan Tebal Pelat Beton

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan pada dua model kerusakan, yaitu retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat dan erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan. Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikkan dan proses perencanaan diulangi. Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100% (Jaya, 2016).

2.5 Kelas Jalan dan Beban Sumbu

Kelas Jalan diatur dalam Undang – Undang No. 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Penetapan kelas jalan di setiap ruas jalan dinyatakan dengan rambu lalu lintas yang diatur oleh Pemerintah. Terdapat beberapa kelas jalan yang berlaku di Indonesia yaitu, Kelas Jalan I, II, dan III yang memiliki beban lalu lintas yang berbeda beda atau biasa disebut Muatan Sumbu Terberat (MST) (Gunawan, 2020).

Muatan Sumbu merupakan jumlah tekanan roda dari satu sumbu kendaraan terhadap jalan. Selanjutnya beban didistribusikan ke pondasi jalan, dan jika daya dukung jalan tidak mampu menahan muatan, maka jalan akan mengalami kerusakan. Untuk pengendalian beban berlebih diperlukan pengaturan melalui pembatasan beban lalu lintas dengan konsep Muatan Sumbu

Terberat (MST). Muatan sumbu terberat (MST) merupakan beban gandar maksimum yang diizinkan pada jalan raya. Muatan sumbu terberat yang diterapkan di Indonesia yaitu MST 8 Ton dan MST 10 ton seperti yang tercantum dalam UU No. 22 Tahun 2009 Pasal 19 Ayat 2. Kelas Jalan dan MST yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

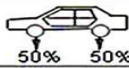
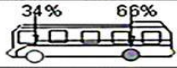
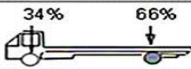
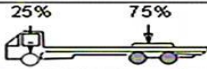
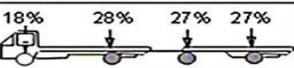
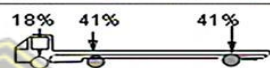
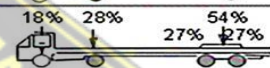
Tabel 2.2 Kelas Jalan dan MST yang Diizinkan

KELAS JALAN	FUNGSI JALAN	Dimensi Maksimum dan Muatan Sumbu Terberat (MST) Kendaraan bermotor yang harus mampu ditampung			
		Lebar (mm)	Panjang (mm)	MST (Ton)	Tinggi (mm)
UU 14/1992, ps 7, dan PP 43/1993, ps.11 ayat (1) UU LLAJ 22/2009 ps.19 ayat (1) s.d. (4)				UU 22/2009 ps.19 ayat (2) huruf a	
Khusus		≥ 2500	≥ 18000	≥ 10	Ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) mm
I	Arteri dan kolektor	2500	18000	≤ 10	
II	Arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan	2500	12000	≤ 8	
III	Arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan	2100	9000	≤ 8	Ukuran paling tinggi 3.500 (tiga ribu lima ratus) mm
Catatan :		Dalam keadaan tertentu daya dukung jalan (MST) kelas III dapat ditetapkan lebih rendah dari 8 ton Panjang maksimum kendaraan penarik 12000, jika ditambah gandengan atau tempelan maka panjang maksimum tidak boleh lebih dari 18000mm.			

(Sumber : PP 43/1993, PP 44/1993, RUULLAJ/2006)

Setiap kendaraan memiliki beban masing – masing, dimana setiap kendaraan memiliki sumbu yang berbeda beda. Untuk konfigurasi beban sumbu kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.3 Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan.

Tabel 2.3 Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

(Sumber : Winni Feronika, 2015)

2.6 Beban Lalu Lintas

Penurunan perkerasan tidak dipengaruhi oleh kendaraan ringan. Oleh karena itu, hanya kendaraan berat yang dianggap dalam proses perencanaan perkerasan atau dalam analisis struktural. Departemen Permukiman dan Perencanaan Wilayah (2003) menyatakan bahwa kendaraan berat dengan berat minimum 5 ton menjadi jenis kendaraan yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan perkerasan beton.

Beban lalu lintas adalah berupa beban repetisi atau pengulangan. Struktur perkerasan jalan dalam menjalankan fungsinya berkurang sebanding dengan bertambahnya umur perkerasan dan bertambahnya beban lalu lintas yang dipikul dari kondisi awal desain perkerasan tersebut. Dari beban kendaraan, respon struktural perkerasan beton dipengaruhi oleh pemilihan konfigurasi gandar dan luasan beban roda yang diterapkan (Hadijah & Harizalsyah, 2017). Rincian dan informasi menyeluruh tentang konfigurasi beban kendaraan dan besaran konfigurasi diperlukan untuk mengembangkan sebuah pemodelan beban yang akurat untuk analisis perkerasan sehingga diperoleh respon yang lebih akurat.

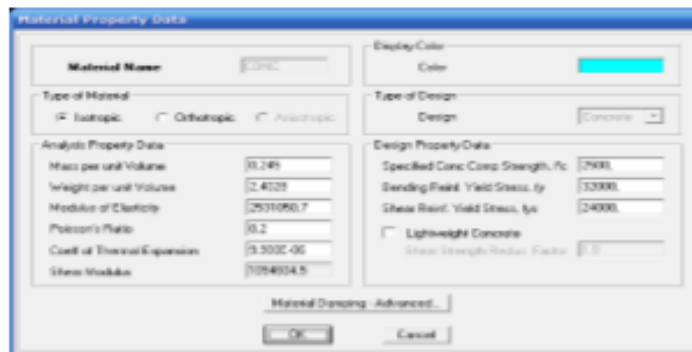
2.7 Analisa Metode SAP 2000

Sejarah SAP 2000 adalah singkatan dari *Structural Analysis Programs* (Program Analisis Struktur) atau dalam istilah lama disebut Program Mekanika Teknik, yaitu suatu analisis gaya-gaya yang bekerja dalam struktur untuk bidang teknik. SAP berdasarkan Metode Elemen Hingga yang pada awalnya ditokohi oleh A Hernnikoff (1941) yang memberikan dasar-dasar analisis struktur untuk gabungan antara konstruksi rangka (*frame atau truss*) dengan plat tipis (*shell*). Pada awalnya program dibuat menggunakan Bahasa Fortran memanfaatkan komputer yang mampu menghitung matriks yang jumlahnya sangat besar (1950an). Program SAP yang pertama kali muncul pada Tahun 1960an. Pada Tahun 1980 muncul SAP 80 dan disempurnakan dengan SAP 90. Pada tahun 1996 muncul program SAP 2000 Versi beta, yang diluncurkan untuk kalangan terbatas. SAP 2000 yang banyak beredar di masyarakat saat ini adalah SAP 2000 versi 7.40, versi 7.42, versi 8.00 dan yang terakhir adalah versi 9.0 yang sudah ditambahkan *template* (macam pola jenis konstruksi) untuk konstruksi rangka bidang, portal bidang, gedung, *shell* (pelat), jembatan *box girder*, menara transmisi ruang, pipa dan sebagainya. Pemakaian SAP 2000 V.8 atau versi 9 memerlukan dukungan *hardware* dengan kecepatan yang tinggi misalnya menggunakan Komputer Pentium IV , agar tidak ada kesan lamban waktu program dijalankan, utamanya pada saat dilakukan proses perhitungan otomatis.

2.8 Prosedur dan Pengoperasian SAP 2000

Langkah Pertama:

1. Menggambar Geometris Struktur Pertama-tama memilih pola jenis struktur lewat *template* yang sudah disajikan oleh Program SAP 2000.
2. Tentukan jumlah tingkat, jumlah bentang arah X dan Y, tinggi kolom lantai ke lantai, panjang bentang baik arah X dan Y, sehingga pola struktur yang disajikan oleh Program SAP 2000 sesuai dengan yang kita kehendaki.
3. Untuk selanjutnya pola yang sudah tampak di layar dapat dimodifikasi agar bentuk geometris betul-betul sesuai dengan ketentuan yang dibutuhkan.
4. Selanjutnya ditentukan jenis material, masukkan kualitas bahan. Apabila kualitas bahan dalam satuan MPa, ubah dahulu kotak satuan dengan N-mm.



Gambar 2.8 Menentukan spesifikasi material beton (*concrete*)

Perlu diingat $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ Selanjutnya untuk menggambarkan geometris struktur kotak dialog kita ganti dengan satuan Ton-m apabila kita menggunakan satuan metrik. Menggambar struktur dapat juga menggunakan editor milik SAP seperti disampaikan seperti langkah di atas, atau dapat pula menggunakan program pengolah gambar yang lain misalnya Autocad yang selanjutnya dapat ditransfer ke Program SAP.

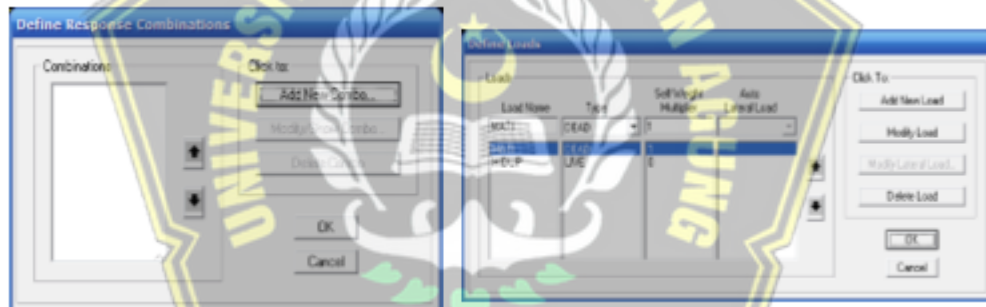
Hal ini sangat menguntungkan sehingga dimungkinkan kerja sama antara Konstruktor dengan *drafter* yang selanjutnya menggambar detail konstruksi berdasarkan konsep yang diberikan oleh Konstruktor. Karena menggunakan metode elemen hingga, dimana elemen dapat diasumsikan sebagai elemen garis (*frame*), elemen lempeng (*shelf*) atau elemen-elemen lain yang dikenal oleh program SAP. Metode Elemen Hingga merupakan metode analisis struktur tercanggih saat ini, hal ini berbeda dengan Metode Kekakuan yang hanya mengenal elemen garis (*frame*), yang banyak dibahas dalam buku teks untuk memperkenalkan metode analisis struktur berdasarkan Metode Matrik. Untuk penomoran baik untuk nama *joint* (buhul) maupun nama elemen (batang) akan dilakukan secara otomatis oleh SAP 2000. Hal ini membedakan dengan SAP 90 atau sebelumnya yang masih dalam sistem DOS, dimana Pemakai SAP dipusingkan dengan penggambaran geometris dimana harus didahului dengan terlebih dahulu harus menentukan penomoran *joint* dan elemen, baru melihat hasil gambar, apabila gambar tidak sesuai dengan yang dihendaki maka Pemakai harus mencari letak kesalahan data *joint* dan elemen yang mungkin cukup sulit untuk

mencari letak kesalahan, yang pasti menyita waktu cukup banyak.

Gambar elemen balok, kolom, umumnya diasumsikan sebagai elemen garis (*frame*). Sedangkan plat lantai dan plat atap diasumsikan sebagai elemen lempeng (*shell*). Dalam era DOS dengan SAP 90 biasanya dalam mengidealisasikan struktur juga sudah dilakukan sebagai konstruksi ruang. Jadi dengan menggunakan SAP 2000 kalau masih menggunakan konstruksi bidang ada kesan pemakai masih tingkat pemula, belum profesional. Jadi SAP 2000 merupakan program canggih tetapi memakainya tidak canggih.

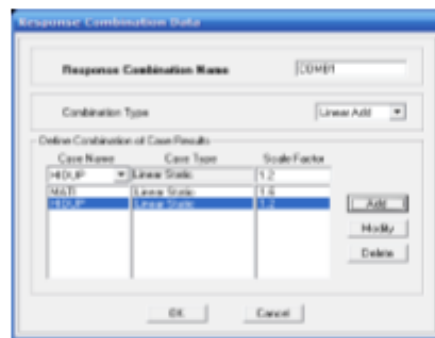
Langkah Kedua:

1. Memasukkan Beban Pada Elemen Struktur Beban mati dengan menggunakan SAP akan dihitung secara otomatis oleh SAP asalkan pemakai mendefinisikan faktor berat sendiri ditetapkan dengan nilai satu.
2. Selanjutnya pemakai hanya memasukkan beban yang bukan berat sendiri.



Gambar 2.9 Memilih jenis beban

Untuk pendekatan struktur ruang beban elemen garis misalnya untuk elemen balok, kita tidak perlu memasukkan beban plat, tetapi cukup beban tembok misalnya diambil 0,8 ton/m'. Langkah berikutnya adalah menentukan kombinasi pembebanan misalnya akibat gravitasi diambil $U = 1.2 D + 1.6 L$, akibat gravitasi dan gempa diambil $U = 1,05 (D+L+E)$.



Gambar 2.10 Kombinasi pembebanan

Langkah Ketiga:

1. Klik Analysis Tombol Analysis adalah perintah Program SAP 2000 untuk menghitung analisis struktur dengan Metode Elemen Hingga.
2. Setelah proses analisis selesai kita dapat melihat gaya-gaya yang terjadi baik momen, gaya geser, maupun gaya aksial, reaksi tumpuan, deformasi, tegangan dan besaran gaya-gaya yang terjadi.
3. Program dapat menampilkan hasil analisis dalam bentuk grafik maupun tabel. Untuk melihat nilai maksimum bisa dilakukan dengan klik kanan pada salah satu elemen.

2.9 Penelitian Terdahulu

Keaslian penelitian ini diperlukan sebagai bukti pernyataan bahwa penelitian mengenai Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura dengan Studi Kasus Jalan Pantura Kaligawe Semarang – Demak belum pernah dilakukan sebelumnya.

Keaslian penelitian ini dapat dibedakan pada:

1. Tujuan Penelitian
2. Lokasi Penelitian
3. Tahapan Penelitian
4. Metode Analisis Data Penelitian

Pada penelitian terdahulu yang memiliki persamaan dengan penelitian ini sebelumnya yaitu : beberapa penelitian terdahulu yang bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Penelitian terdahulu yang digunakan untuk perbandingan dan acuan penelitian ini adalah berikut:

Penelitian pertama berjudul Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) pada Ruas Jalan Tol Karanganyar-Solo menggunakan Data Primer menggunakan Metode Survei Plat Nomor survei plat nomor kendaraan dan survei data beban kendaraan yang dilakukan pencatatannya pada jembatan timbang terdekat. Data Sekunder menggunakan data kependudukan Provinsi Jawa Tengah dan CBR lapangan.

Penelitian kedua berjudul Studi Alternatif Jalan Akses ke Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya menggunakan Pengumpulan Data, Analisis Pemilihan Trase (Metode AHP), Analisis Lalu Lintas Teluk Lamong.

Penelitian ketiga Perencanaan Jalan Soekarno Hatta Pasuruan dengan Sistem Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) dan Rencana Anggaran Biaya dengan metodologi Identifikasi masalah, Pengumpulan Data, Data Sekunder dan Perhitungan Metode AASHTO 1993.

Penelitian keempat berjudul Penentuan Kriteria dalam Pemilihan Jenis Perkerasan pada Dataran Tinggi di Kabupaten Trenggalek dengan Metode dengan pengumpulan data dan analisis penelitian.

Penelitian kelima Analisis Desain Struktur *Rigid Pavement* Dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Pemodelan Dengan *Software Kenpave-Kenslabs* (Studi Kasus : Jalan Tol Semarang Solo Seksi III Bawen Salatiga).

Untuk lebih detail tentang penelitian sebelumnya dapat dilihat di Tabel 2 Studi Terdahulu :

Tabel 2.4 Studi Terdahulu

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
1	Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Pada Ruas Jalan Tol Karanganyar-solo	1. Achmad Miraj Ridwansyah 2. Yonandika Pandu Putranto 3. Ludfi Djakfar 4. Rahayu K. (2016)	Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah; Data primer, seperti data volume lalu lintas dari survei penghitungan lalu lintas, survei asal-tujuan menggunakan metodologi survei plat nomor kendaraan, dan survei data beban kendaraan yang dikumpulkan di jembatan timbang terdekat, adalah apa yang diperlukan sebagai data pendukung untuk analisis. Data sekunder berupa data kependudukan Provinsi Jawa Tengah dan CBR lapangan sebesar 5,2%.	Perkerasan beton semen terus menerus tanpa tulangan digunakan dalam perencanaan perkerasan yang kaku. Struktur perkerasan beton direncanakan dengan ketebalan 300 mm (30,0 cm), yang disesuaikan dengan metode manual menghitung ketebalan perkerasan. Desain Perkerasan Jalan 2013 dan lapisan pondasi agregat kelas A dengan ketebalan 15 cm digunakan untuk pondasi bawah. Digunakan desain perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, dengan rincian sebagai berikut : • Lebar pelat = 2 x 3,6 m • Panjang pelat = 5 m • Sambungan susut dipasang setiap jarak 5m. • Ruji digunakan dengan diameter 36 mm, panjang 45 cm, jarak 30 cm. • Batang pengikat digunakan baja ulir ϕ 16 mm, panjang 70 cm, jarak 75 cm. Berdasarkan metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2013, tebal

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				perkerasan untuk jalan tol Karanganyar – Solo menggunakan desain struktur perkerasan R4 dengan tebal perkerasan beton 300 mm atau 30,0 cm yang berdasarkan analisa fatik dan erosi pada Pd T- 14-2003
2	Studi Alternatif Jalan Akses Ke Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya	1. T.D, Mokhamad Afila 2. M. Syaiful Rachman 3. Ludfi Djakfar 4. M. Ruslin Anwar (2015)	Metodologi: Langkah - langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1. Pengumpulan data 2. Analisis Pemilihan Trase (Metode AHP) 3. Analisis Lalu Lintas Teluk Lamong	Hasil : Alternatif Jalan Akses Ke Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya bisa dilakukan dikarenakan: 1. Potensi pada rute alternatif menuju Pelabuhan Teluk Lamong masih memungkinkan untuk dilaksanakan , hal ini dikarenakan pada rute atau trase rencana terletak pada pemukiman, persawahan, tambak dan beberapa gudang yang bisa dibebaskan untuk pembangunan rute tersebut. 2. Pemilihan rute atau trase jalan ke Pelabuhan Teluk Lamong dilakukan menggunakan metode AHP (<i>Analitycal Hierarchy Process</i>). Dari hasil analisa diperoleh alternatif 1 dengan skor 1,133, alternatif 2 dengan skor 1,039 dan alternatif 3 dengan skor 0,997. Maka

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				alternatif 1 menjadi alternatif terpilih dengan nilai kinerja terbaik 3. Perencanaan struktur perkerasan yang digunakan adalah perkerasan kaku. Dengan volume 2200 LHR 1825 kend/hari. Maka akan didapatkan nilai beban gandar standar kumulatif sebesar 50.900.000. dengan demikian diperoleh tebal lapisan perkerasan 31 cm. LMC 15 cm, lapisan pondasi bawah agregat kelas A 15 cm serta lapis penopang (<i>capping layer</i>) 180 cm.
3	Perencanaan Jalan Soekarno Hatta Pasuruan Dengan Sistem Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Dan Rencana Anggaran Biaya	1. Ikhwanul 2. Kirom , 3. Siswoyo (2020)	Metodologi: • Identifikasi masalah • Pengumpulan Data • Data Sekunder • (Data LHR, Data CBR, Curah Hujan, HSPK) • Perhitungan Metode AASHTO 1993	Hasil : 1. Dari hasil perhitungan menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan tebal perkerasan kaku yang dibutuhkan untuk jalan Soekarno Hatta Pasuruan dengan umur rencana perkerasan 20 tahun sebesar 300 mm. Ukuran segmen pelat beton yang digunakan yaitu panjang pelat 4,5 meter dan lebar pelat 3,5 meter. 2. Perencanaan perkerasan kaku (<i>rigid pavement</i>) menggunakan jenis perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan. Dowel D38 – 30 – 45 , Tiebar

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				D12 – 70 – 60. Tulangan memanjang : D8 – 300 ,Tulangan melintan : D8 – 300 3. Total Rencana Anggaran Biaya untuk perencanaan ulang jalan Soekarno Hatta – Pasuruan sebesar Rp 235.691.408.811,- (dua ratus tiga puluh lima milyar enam ratus sembilan puluh satu juta empat ratus delapan ribu).
4	Penentuan Kriteria Dalam Pemilihan Jenis Perkerasan Pada Dataran Tinggi Di Kabupaten Trenggalek	1. Anang Prayog a 2. Hitapriya 3. Suprayitno 4. Herry Budianto (2018)	*Metodologi: 1. Pengumpulan Data 2. Analisis Penelitian • Kondisi Umum Infrastruktur Jalan Kabupaten Trenggalek • Alternatif Tipe Perkerasan • Karakteristik Jalan Pada Dataran Tinggi di Kabupaten Trenggalek	*Hasil : Kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah: 1. Usulan 6 kriteria adalah; keselamatan Penguna jalan, kenyamanan Pengguna jalan, biaya konstruksi, kemudahan pelaksanaan konstruksi jalan, perawatan setelah masa pemeliharaan jalan habis, ketersediaan material. 2. Hasil wawancara ada 9 kriteria tambahan yaitu; situasi dan kondisi lokasi pekerjaan, daya dukung tanah, umur rencana, curah hujan, topografi, LHR, ketahanan terhadap gerusan air, akses menuju lokasi pekerjaan, permintaan pemerintah setempat (desa). 3. Hasil sintesa didapatkan 7 jenis yang dianggap penting yaitu; keselamatan

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				Pengguna jalan, kenyamanan pengguna jalan, biaya konstruksi, situasi dan kondisi lokasi pekerjaan, perawatan setelah masa pemeliharaan jalan habis, ketahanan terhadap gerusan air.
5	Analisis Desain Struktur <i>Rigid Pavement</i> Dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Pemodelan Dengan <i>Software</i> Kenpave-Kenslabs (Studi Kasus : Jalan Tol Semarang Solo Seksi III Bawen Salatiga)	1. Ilpandari 2. Edy Purwanto 3. Bachnas (2018)	*Metodologi : 1. Metode Penelitian Kuantitatif yaitu deduktif komparatif digunakan untuk analisis karakteristik <i>subgrade</i>, hubungan nilai CBR <i>subgrade</i> dengan , analisis desain, evaluasi <i>rigid pavement</i> dan perbandingan RAB. 2. Metode Eksperimental digunakan untuk analisis pemodelan yaitu pengaruh variasi mutu beton dan tebal pelat beton terhadap respon sensitivitas <i>rigid pavement</i> dengan <i>Software</i> KENPAVE - KENSLAB.	*Hasil : • Hasil Analisis karakteristik <i>subgrade</i> termasuk dalam kelompok CH berdasarkan klasifikasi USCS yang merupakan jenis tanah lempung tak organik dengan plasisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>), dan 6 berdasarkan klasifikasi AASHTO termasuk pada kelompok jenis A-7-merupakan jenis tanah lempung sedang sampai buruk. Sedangkan hasil analisis nilai CBR <i>subgrade</i> rencana sebesar 6,5%, maka didapat jenis <i>base</i> menggunakan <i>lean-mis concrete</i> LMC mutu beton K125 dengan ketebalan 10 cm. • Hasil analisis desain <i>rigid pavement</i> dengan metode empirik sebagai berikut : Tebal pelat beton menggunakan Metode Departemen Kimpraswil (Pd. T-14-2003)

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				didapat 26 cm, untuk tipe perkerasan BBTT/JPCP, sedangkan tipe perkerasan BBDT/JRCP maka ditambahkan tulangan melintang dan memanjang diameter 12 mm dengan jarak tulangan 35 cm. • Tebal pelat beton menggunakan Metode AASHTO (1993) didapat 30 cm, sedangkan tipe perkerasan BBDT/JRCP maka ditambahkan tulangan melintang dan memanjang diameter 12 mm dengan jarak tulangan 35 cm. Dari kedua metode empirik tersebut terdapat selisih hasil perhitungan tebal sebesar 4 cm, dikarenakan perbedaan parameter dalam konsep dasar perencanaan pada masing – masing metode. • Hasil analisis evaluasi dan pemodelan <i>rigid pavement</i> dengan metode mekanistik-empirik menggunakan <i>Software</i> KENPAVE-KENSLABS sebagai berikut : Hasil analisis evaluasi <i>rigid pavement</i> menggunakan <i>Software</i> KENPAVEKENSLABS untuk nilai maksimum <i>stress</i> dan maksimum <i>deflection</i> yang terjadi pada konfigurasi

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				<i>single axle</i> serta <i>tandem axle</i> lebih besar dari metode Departemen Kimpraswil (Pd. T-14-2003) dan metode AASHTO (1993). Hasil analisis Pemodelan <i>rigid pavement</i> dengan pengaruh variasi mutu beton K350, K400, dan K450 dan tebal pelat beton 20 cm, 21 cm, 22 cm, 23 cm dan 24 cm. Dengan menaikkan mutu beton maka semakin besar nilai maksimum <i>stress</i>, sedangkan menaikkan tebal pelat beton maka semakin kecil nilai maksimum <i>stress</i>. • Hasil Analisis perbandingan Rencana Anggaran Biaya (RAB) hasil desain <i>rigid pavement</i> masing – masing metode sepanjang 1000 meter sebagai berikut: maka tipe Perkerasan BBTT/JPCP pada metode Departemen Kimpraswil (Pd. T-142003) lebih besar 15,53% dan metode AASHTO (1993) lebih besar 21,93% dari hasil <i>running Software</i> KENPAVE KENSLABS. • Sedangkan tipe Perkerasan BBDT/JRCP pada metode Departemen Kimpraswil (Pd. T-142003) lebih besar 13,50% dan

No	Judul	Penulis	Metodologi	Hasil
				metode AASHTO (1993) lebih besar 19,19% dari hasil <i>running Software</i> KENPAVE KENSLABS.

Perbandingan dari kelima penelitian sebelumnya dengan penelitian yang saat ini sedang dikerjakan adalah penelitian ini menganalisa perkerasan kaku untuk mendapatkan model perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang sesuai dengan kekuatan dan ketahanan guna mengatasi daerah Jalur Pantura Kaligawe Semarang-Demak.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dibahas tentang metode penelitian yang digunakan oleh Penulis. Secara umum, penelitian dimulai dengan mengumpulkan data yang bertujuan mengetahui Model *Rigid Pavement* Daerah Pesisir Pantura untuk mendapatkan perkerasan kaku yang paling tepat dari segi ketahanan, kekuatan serta harga yang ekonomis. Jenis perkerasan yang dimaksud diantaranya : perkerasan bersambung tanpa tulangan, perkerasan bersambung dengan tulangan, dan perkerasan menerus dengan tulangan. Tahap pemodelan berguna untuk mengetahui perbandingan dari beberapa permodelan sehingga dapat ditarik kesimpulan dari permodelan tersebut.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian berada di Ruas Jalan Pantura Kaligawe Semarang- Demak, Jawa Tengah. Untuk contoh kebutuhan penelitian diambil mulai dari bawah Jalan Tol Kaligawe sampai dengan Depan Polsek Genuksari dikarenakan daerah ini sering terjadi kemacetan.



Gambar 3.1 Lokasi Jalan Pantura Kaligawe Semarang-Demak, Jawa Tengah

3.3 Metode Pengumpulan Data

1. Data Primer

Dari data-data yang sudah didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis agar mendapat *output* yang dicari yaitu besaran lendutan/perpindahan, tegangan dan gaya-gaya dalam struktur perkerasan. Analisa ini menggunakan program SAP 2000 dengan urutan sebagai berikut:

1. Data Primer

Data utama yang dibutuhkan untuk melakukan analisa, terdiri dari :

a. Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

Data ini didapatkan melalui Lalu Lintas Harian Rata – Rata Provinsi Jateng.

b. Data Parameter Beban Kendaraan

Data ini didapatkan dari Konfigurasi Sumbu dan Roda Kendaraan serta Pengelompokan Kendaraan IRMS – Bina Marga dimana dalam penelitian ini menggunakan Beban Rem 2500 kg dan Beban Roda 4000 kg.

a. Geometri, yaitu memasukkan dimensi (ukuran) struktur perkerasan kaku.

b. *Input Data*

Memasukkan data properti dan mengatur parameter (beban rem dan beban kendaraan truk) yang dibutuhkan sesuai program analisa.

c. Melakukan perhitungan

Setelah dimasukkannya seluruh data maka otomatis program tersebut akan melakukan perhitungan dari data-data yang telah dimasukkan agar tersusunnya jaring elemen dan model elemen hingga lengkap.

d. Hasil keluaran

Setelah melakukan semua urutan dari geometri, membuat masukan dan melakukan perhitungan, hasil keluaran akan muncul dan dapat melakukan evaluasi dalam program *output*. Dalam hasil keluaran tersebut terlihat perpindahan-perpindahan dan tegangan-tegangan yang terjadi di seluruh geometri atau di potongan-potongan tertentu, serta gaya-gaya dalam seperti gaya aksial, gaya geser dan gaya momen.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari instansi-instansi yang memiliki data yang relevan seperti Dinas Perhubungan Kota Semarang atau dari data yang sudah ada di penelitian sebelumnya

3.4 Metode Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis struktur perkerasan kaku untuk mengetahui besaran momen, tegangan, lendutan dan stabilitas struktur perkerasan berdasarkan tingkat keamanan terhadap deformasi tegangan yang terjadi.

Analisis data ini meliputi :

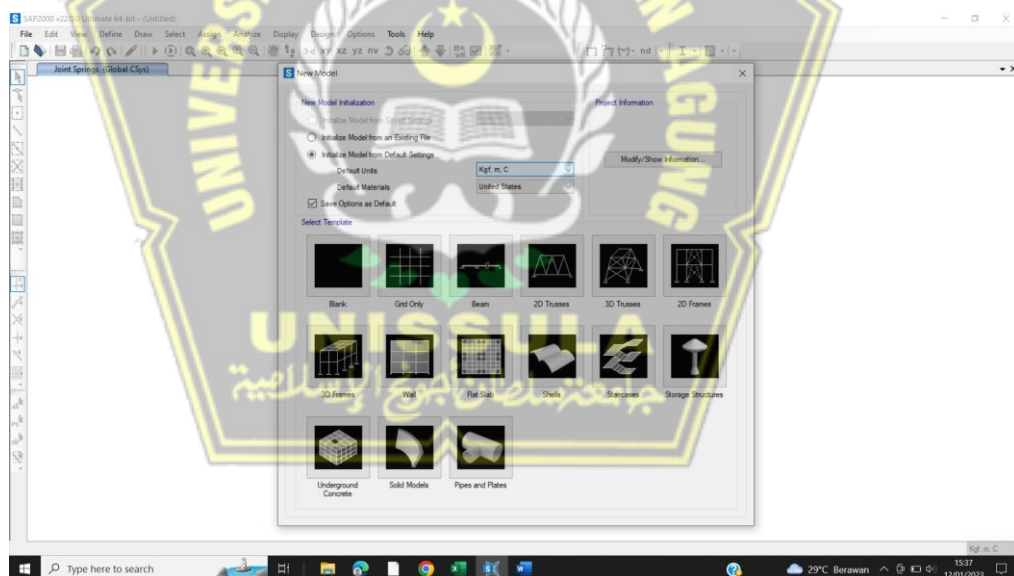
3.4.1 Analisis Struktur Perkerasan dengan SAP 2000 :

Tahapan – tahapan analisis dengan menggunakan SAP 2000 dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Pemodelan Struktur Perkerasan

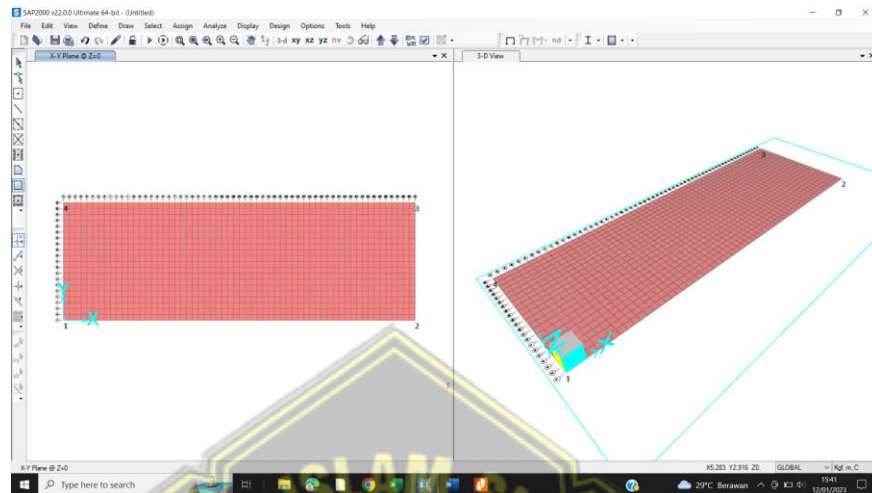
Pada tahap ini SAP 2000 dimulai dengan memodelkan struktur perkerasan secara grafis yang terdiri dari titik nodal, garis elemen, *frame*, *shell* dan spring (untuk tumpuan struktur perkerasan di atas tanah). Pemodelan diawali dengan langkah :

Klik menu *File > New Model* sehingga akan muncul pilihan *template* yang akan dipakai untuk menggambar model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 Pilihan Template Model, seperti dibawah ini:



Gambar 3.2 *Template Model*

2. Klik pilihan *Grid Only* sehingga bisa membuat model perkerasan sesuai yang diinginkan seperti terlihat pada Gambar 3.3 Permodelan Grafis Struktur Perkerasan.



Gambar 3.3 Permodelan Grafis Struktur Perkerasan

3. Input Data pada SAP-2000

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah:

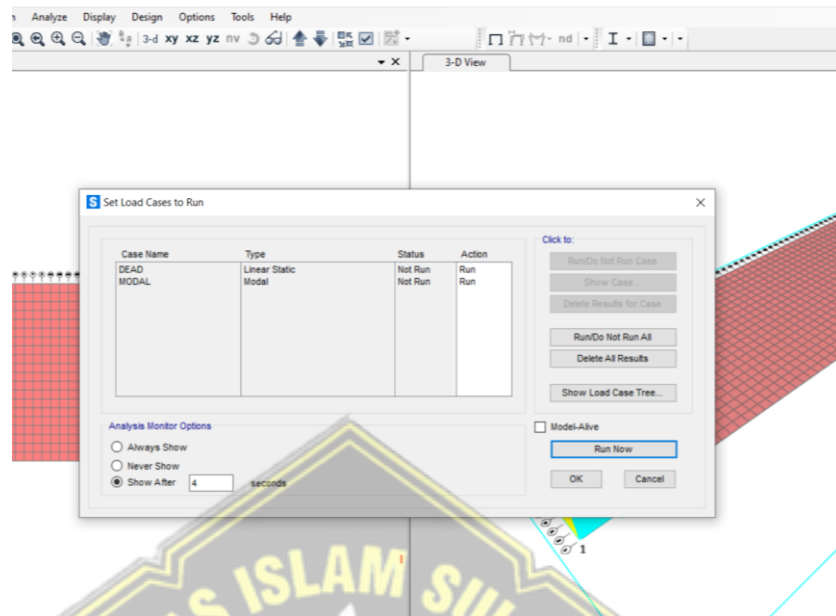
- Pendefinisian Material dan Penampang struktur perkerasan
- Pendefinisian tumpuan pegas di dasar struktur perkerasan
- Menginput pembebanan yang bekerja pada struktur perkerasan

4. Menjalankan Analisis Program SAP-2000

Setelah semua input pada data SAP-2000 lengkap dan benar, langkah selanjutnya adalah menjalankan analisis program SAP-2000 dengan cara sebagai berikut:

- Klik menu *analyze>set options*, sehingga akan muncul pilihan *Analysis option*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 Pilihan Opsi Analisis SAP 2000.
- Pada pilihan *Analysis option* lalu klik *Fast DOFs* berupa *Plane Grid*.
- Setelah itu ulangi klik menu *analyze > Run*.

Proses analisis dari program SAP-2000 yang sukses akan terlihat seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Program SAP 2000 berhasil

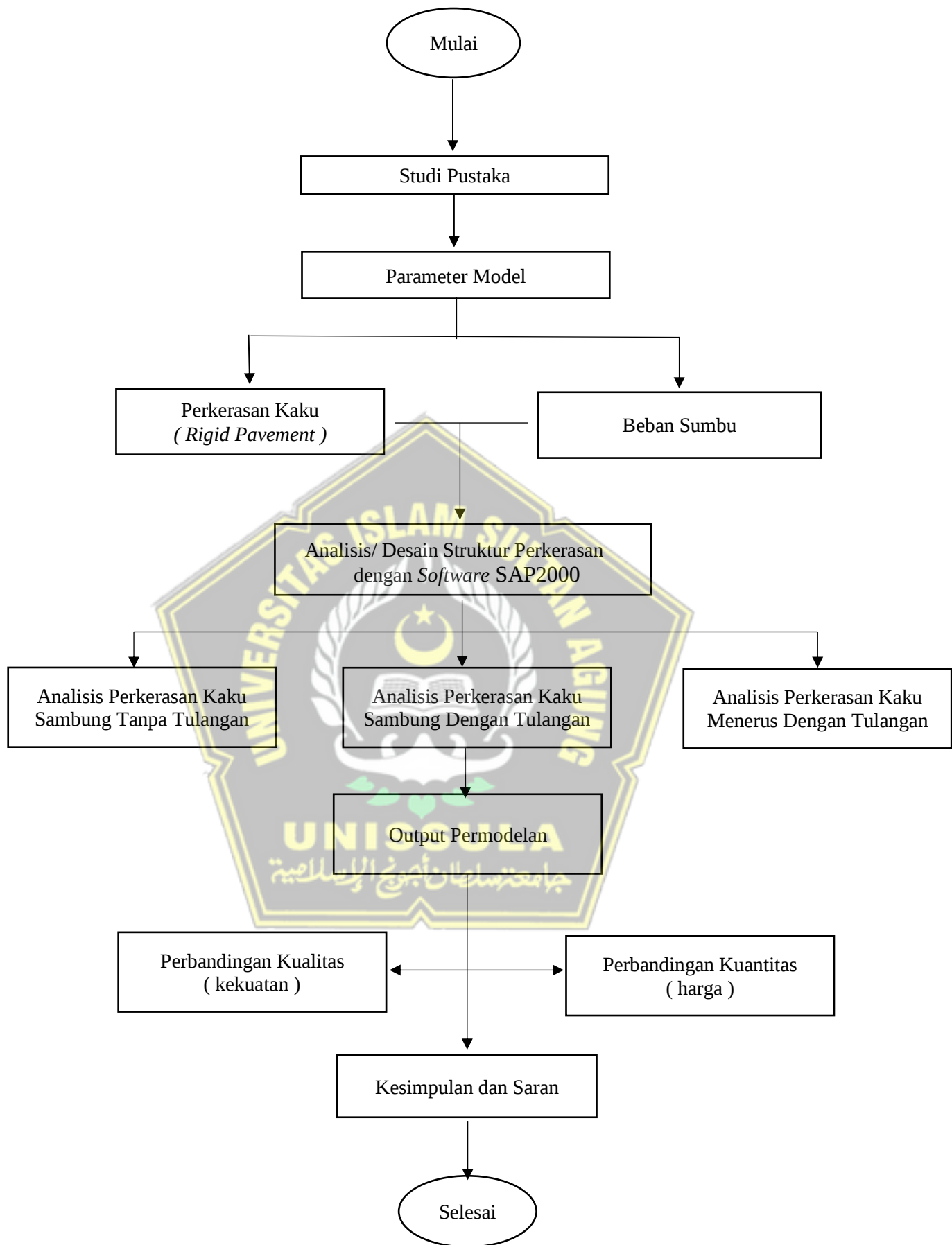
3. **Output keluaran SAP-2000**

Setelah proses analisis berjalan dengan sukses bisa diketahui hasil *output* berupa besaran momen, tegangan dan lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan yang dianalisis.

3.5 **Bagan Alur Penelitian**

Dari beberapa tahap yang akan dilaksanakan di dalam penelitian ini diharapkan akan dapat menghasilkan hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan dan diinginkan. Pengumpulan data yang dibutuhkan dimana data tersebut nantinya akan menjadi sumber data yang akan diolah dengan metode maupun *software* yang digunakan termasuk dalam penelitian yang akan dilaksanakan dan hal yang akan dilakukan.

Tahapan dalam penelitian ini dilaksanakan dengan memperhatikan kaidah – kaidah yang telah ditentukan dengan tujuan agar penelitian ini mendapatkan hasil, kesimpulan serta dapat memberikan saran bagi pengembangan penelitian selanjutnya. Secara ringkas tahapan penelitian dapat dilihat pada Bagan alur berikut:



Gambar 3.5 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kondisi Jalan Kaligawe Semarang

Perencanaan ketebalan dan perhitungan perkerasan kaku dilakukan dengan menggunakan Metode Binamarga 2013. Jalan yang akan dilakukan penelitian adalah Jalan Kaligawe Semarang pada saat ini sedang dalam tahap pelaksanaan. Lalu lintas yang digunakan dalam perhitungan adalah Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) jalan Semarang – Demak tahun 2022 dengan laju pertumbuhan lalu lintas per tahun berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Bina Marga untuk jalan arteri adalah 4,8% per tahun.

Tabel 4.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Fungsi Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber : MDP 02/M/BM/2017)

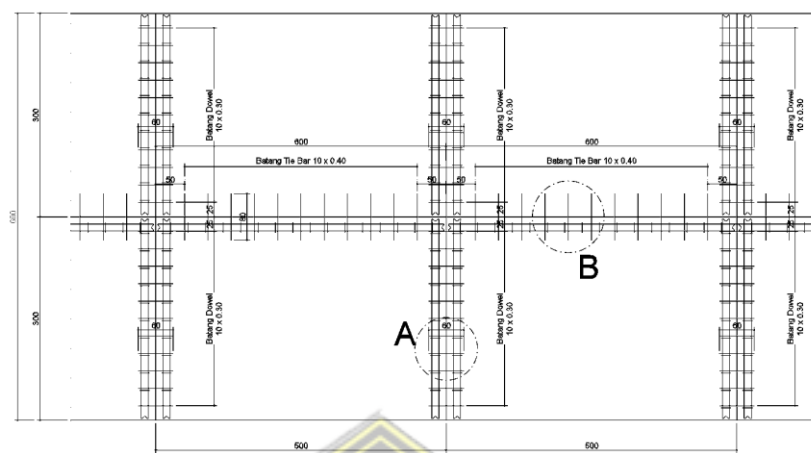
4.2 Preliminary Design

Preliminary design dilakukan untuk memperkirakan dimensi berdasarkan referensi yang diperlukan sesuai dengan parameter yang telah ada. Konfigurasi beban sumbu kendaraan, beban rem, jumlah lajur, panjang segmen dan lebar masing – masing jalan yang direncanakan. Melakukan permodelan pada 3 (tiga) jenis perkerasan kaku untuk mendapatkan jenis perkerasan kaku yang sesuai dengan kondisi jalan Kaligawe Semarang. Jika dalam analisa selanjutnya ternyata kemampuan struktur tidak memenuhi syarat, maka parameter-parameter yang telah ditentukan dapat diubah seperlunya.

4.2.1 Perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

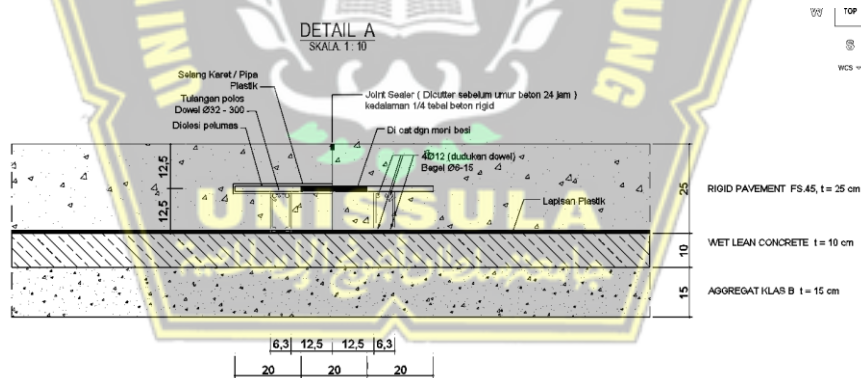
Gambar berikut merupakan gambar perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan untuk permodelan menggunakan SAP 2000, Perkerasan kaku

bersambung tanpa tulangan ini tetap dipasang dowel untuk menjaga perilaku gesek antar pelat dengan ukuran masing – masing petak 3 x 5 m dengan tebal 25 cm.

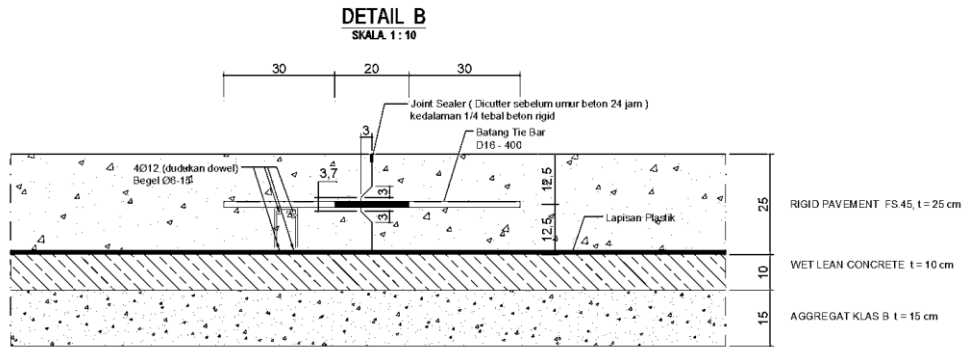


Gambar 4.1 Denah Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan

Pada Gambar 4.1 diatas merupakan Denah Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan dengan ukuran panjang 5m x 3m per segmen. Kemudian untuk pemasangan detail dowel ditunjukkan pada Gambar 4.2 dibawah ini, sedangkan untuk pemasangan detail *tiebar* ditunjukkan pada Gambar 4.3 dibawah ini.



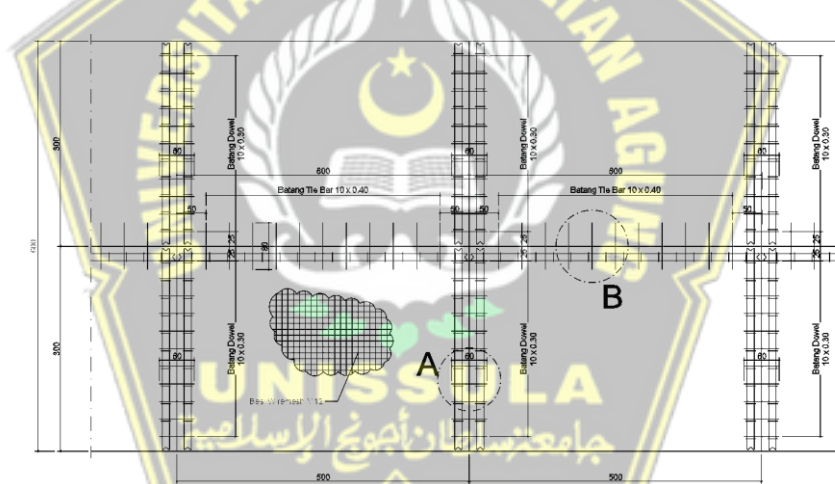
Gambar 4.2 Detail A Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan



Gambar 4.3 Detail B Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan

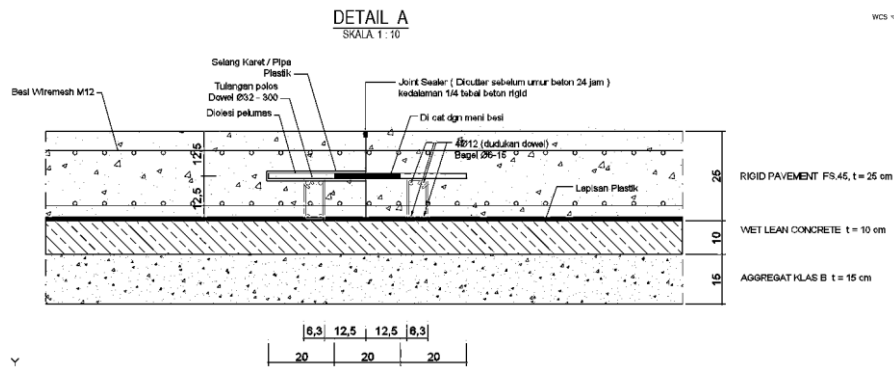
4.2.2 Perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

Gambar berikut merupakan gambar perencanaan Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan untuk permodelan menggunakan SAP2000. Tujuan penulangan pada perkerasan kaku kontinu dengan tulangan bukan untuk membawa beban secara struktural melainkan untuk "menahan" retakan dengan erat sehingga pengumpan beban dapat terus beroperasi sementara *slide* tetap berada di sepanjang bidang retakan.

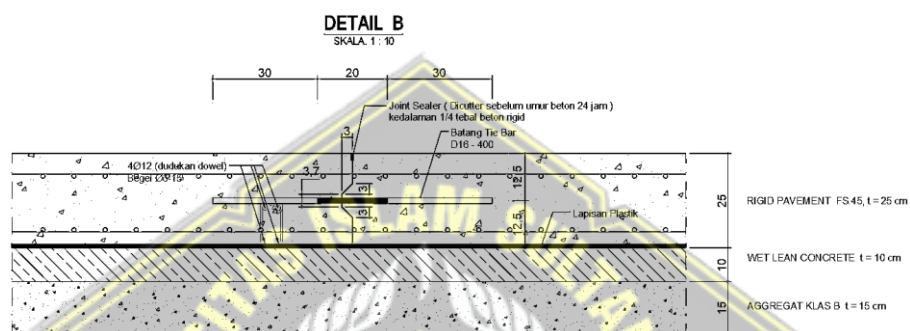


Gambar 4.4 Denah Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

Pada Gambar 4.4 diatas merupakan Denah Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan dengan ukuran panjang 5m x 3m per segmen. Pada jenis ini menggunakan besi *wiremesh* sebagai tulangan. Kemudian untuk pemasangan detail *dowel* ditunjukkan pada Gambar 4.5 dibawah ini, sedangkan untuk pemasangan detail *tiebar* ditunjukkan pada Gambar 4.6 dibawah ini.



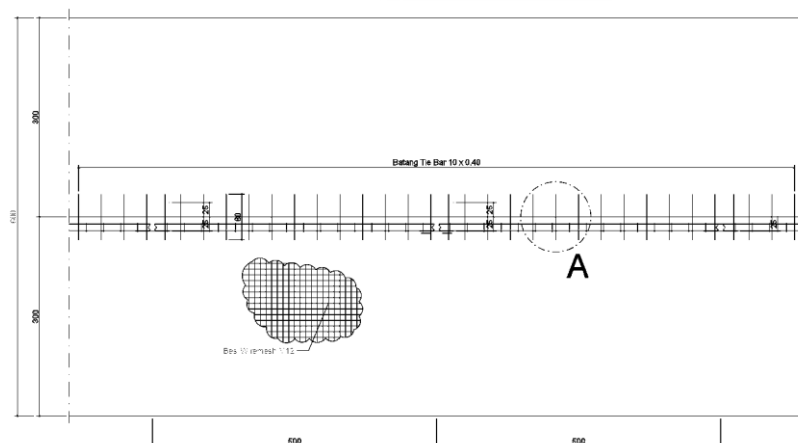
Gambar 4.5 Detail A Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan



Gambar 4.6 Detail B Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

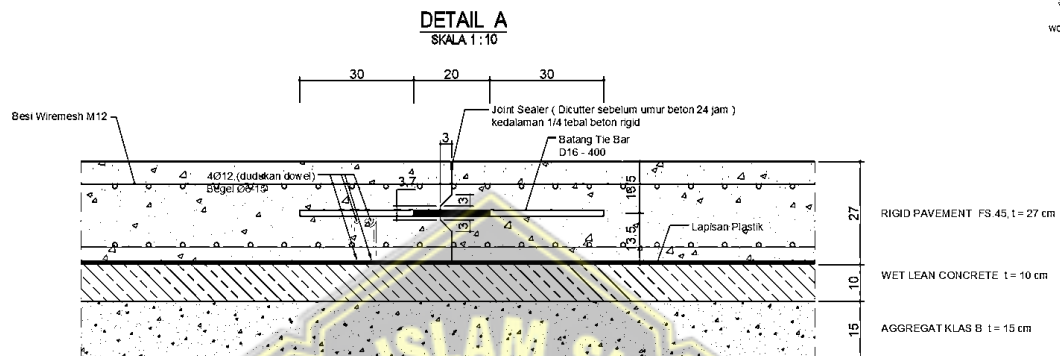
4.2.3 Perencanaan Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan

Gambar berikut merupakan gambar perencanaan Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan untuk permodelan menggunakan SAP2000, diikat kuat dengan baja tulangan menerus jadi ketika retak melintang terjadi tetap kuat.



Gambar 4.7 Denah Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan

Pada Gambar 4.7 diatas merupakan Denah Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan dengan ukuran panjang 5m x 3m per segmen. Pada jenis ini menggunakan besi *wiremesh* sebagai tulangan namun dipasangkan secara menerus tanpa menggunakan *dowel* sebagai pengikatnya. Kemudian untuk pemasangan detail *dowel* ditunjukkan pada Gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.8 Detail A Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan

4.3 Data Pembebanan

No	Item Pekerjaan	:	Spesifikasi
1	Tebal Perkerasan (h)	:	25 cm
2	Mutu Bahan Beton (f_c')	:	K – 350
3	Panjang Segmen (l)	:	12 m
4	Lebar Segmen	:	5
5	Berat Janis Beton Bertulang (γ_c)	:	2500 kg/ m ²
6	Berat Jenis Beton	:	2400 kg/m ²
7	D tulangan Utama	:	Ø 12
8	D Begel	:	Ø 6 – 150 mm
9	D Dowel	:	Ø 32 – 300 mm
10	D Tie Bar	:	D 16 – 400 mm
11	Aggregat kelas A	:	100 mm
12	Aggregat Kelas B	:	150 mm
13	Beban Kendaraan	:	10.000 kg
14	Beban Rem	:	2500 kg

4.3.1 Beban Tetap (Mati)

1. Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan dan Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan

$$\begin{aligned} - \text{ Berat sendiri Beton} &= 0,25 \times 1 \times 2500 = 600 \text{ Kg/m} \\ - \text{ Berat air hujan} &= 0,05 \times 1 \times 1000 = 50 \text{ Kg/m} \quad + \\ \hline \text{WD} &= 650 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{UD} &= 1,2 \times W_D \\ &= 1,2 \times 650 \text{ Kg/m} \\ &= 780 \text{ Kg/m} = 0,780 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{xmt} &= \frac{1}{10} \times q_{dl} \times l_x^2 \\ &= \frac{1}{10} \times 0,780 \times 3^2 \\ &= 0,702 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{xmi} &= \frac{1}{14} \times q_{dl} \times l_x^2 \\ &= \frac{1}{14} \times 0,780 \times 3^2 \\ &= 0,5014 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{xmi} &= \frac{1}{3} \times M_{xm} \\ &= \frac{1}{3} \times 0,702 \\ &= 0,234 \text{ tm} \end{aligned}$$

2. Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan

$$\text{Berat sendiri Beton} = 0,25 \times 1 \times 2400 = 600 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned} W_{UD} &= 1,2 \times W_D \\ &= 1,2 \times 600 \text{ Kg/m} \\ &= 720 \text{ Kg/m} = 0,720 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{xmt} &= \frac{1}{10} \times q_{dl} \times l_x^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 0,720 \times 1,65^2 \\
 &= 0,19602 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{xml} &= \frac{1}{14} \times q_{dl} \times l_x^2 \\
 &= \frac{1}{14} \times 0,720 \times 1,65^2 \\
 &= 0,140014 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

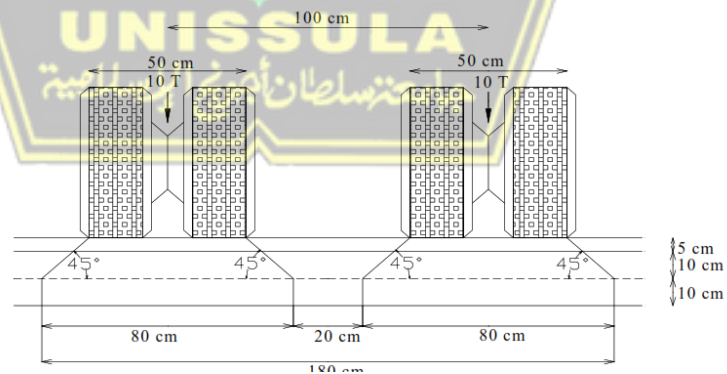
$$\begin{aligned}
 M_{xml} &= \frac{1}{3} \times M_{xm} \\
 &= \frac{1}{3} \times 0,19602 \\
 &= 0,06534 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

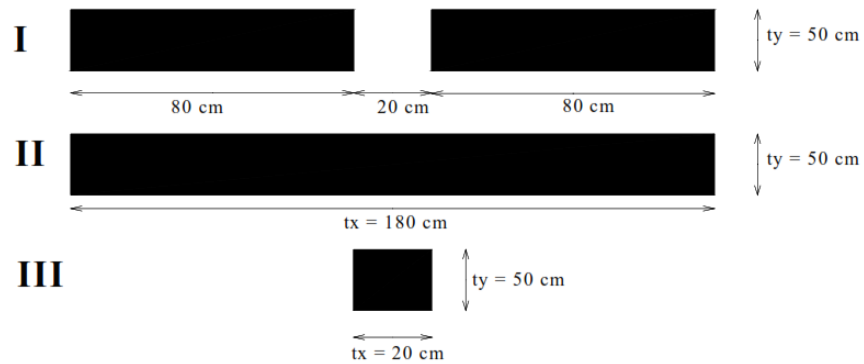
4.3.2 Beban Hidup

Akibat beban muatan T pada beton:

Distribusi beban pada pelat beton akibat beban roda kendaraan, T = 10 Ton (PPPJJR 1987). Karena lebar pelat $\geq 5,5 \text{ m}$:

- Kondisi 2 roda berdekatan jarak 100 cm di tengah pelat :





4.9 Beban 2 roda Berdekatan Jarak 100 cm di Tengah Plat



4.10 Penyebaran Beban 2 roda Berdekatan Jarak 100 cm di Tengah Pelat

Untuk menghitung momen yang terjadi pada keadaan I, maka ditinjau keadaan II dan III.

Penyebaran beban roda :

Beban roda $T = 10\text{ T}$

Bidang kontak = $80 \cdot 50\text{ cm}$

$$T = \frac{T}{b_x \cdot b_y}$$

$$T = \frac{10}{0,8 \cdot 0,5} = 25\text{ T/m}$$

$$T' = T \cdot K = \left(1 + \frac{20}{50 + L}\right)$$

$$T' = 25 \times \left(1 + \frac{20}{50 + 30}\right) = 31,25$$

$$L_x = 1,80 \text{ m} = 180 \text{ cm}$$

$L_y = L_x$, karena dafragma tidak menerima beban dari luar

Tinjau Keadaan II :

$$\frac{tx}{Lx} = \frac{180}{180} = 100$$

$$\frac{ty}{Lx} = \frac{50}{180} = 100$$

Koefisien perhitungan menggunakan Tabel Bitner, didapat:

$$f_{xm} = 0,0919$$

$$f_{ym} = 0,0613$$

Momen Arah X:

$$M_{xh} = f_{xm} \times T'x \times t_x \times t_y$$

$$M_{xh} = 0,0919 \times 31,25 \times 1,8 \times 0,5 = 2,5847 \text{ tm}$$

Momen Arah Y:

$$M_{ym} = f_{ym} \times T'x \times t_x \times t_y$$

$$M_{ym} = 0,0613 \times 31,25 \times 1,8 \times 0,5 = 1,7241 \text{ tm}$$

Tinjau Keadaan III:

$$\frac{tx}{Lx} = \frac{20}{165} = 0,121$$

$$\frac{ty}{Lx} = \frac{50}{165} = 0,303$$

Koefisien perhitungan menggunakan Tabel Bitner, didapat:

$$f_{xm} = 0,2296$$

$$f_{ym} = 0,1162$$

Momen Arah X:

$$M_{xh} = f_{xm} \times T' \times t_x \times t_y$$

$$M_{xh} = 0,2296 \times 31,25 \times 0,2 \times 0,5 = 0,7175 \text{ tm}$$

Momen Arah Y:

$$M_{yh} = f_{ym} \times T' \times t_x \times t_y$$

$$M_{yh} = 0,1162 \times 31,25 \times 0,2 \times 0,5 = 0,3631 \text{ tm}$$

Dari hasil diatas, maka diperoleh momen pada kondisi I adalah :

$$\begin{aligned} M_{xh} &= M_{xh} \text{ II} - M_{xh} \text{ III} \\ &= 2,5847 - 0,7175 = 1,8672 \text{ Tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{yh} &= M_{yh} \text{ II} - M_{yh} \text{ III} \\ &= 1,7241 - 0,3631 = 1,361 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Momen Total Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan dan Menerus dengan Tulangan

Momen arah X tumpuan :

$$M_x = 0,702 + 1,8672 = 2.5692 \text{ Tm} = 2569,2 \text{ Kg/m}$$

Momen arah X lapangan :

$$M_x = 0,5014 + 1,8672 = 2.3686 \text{ Tm} = 2368,6 \text{ Kg/m}$$

Momen arah Y lapangan :

$$M_y = 0,234 + 1,361 = 2.1012 \text{ Tm} = 2101,2 \text{ Kg/m}$$

Momen Total Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan

Momen arah X tumpuan :

$$M_x = 0,19602 + 1,8672 = 2,063 \text{ Tm} = 2063 \text{ Kg/m}$$

Momen arah X lapangan :

$$M_x = 0,140014 + 1,8672 = 2,007 \text{ Tm} = 2007 \text{ Kg/m}$$

Momen arah Y lapangan :

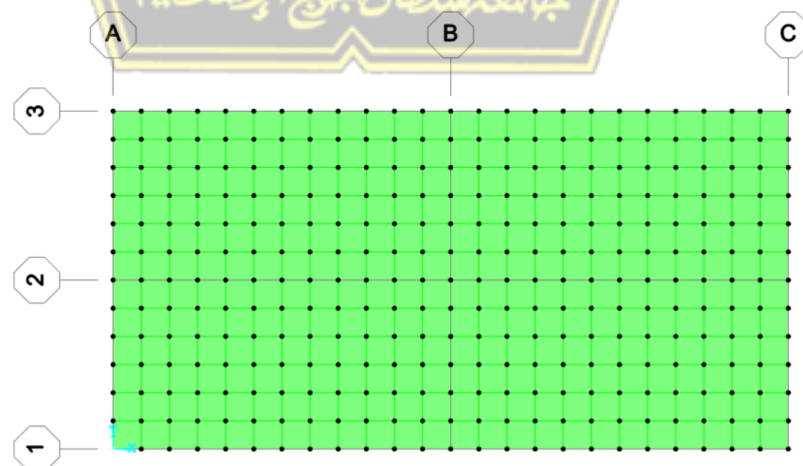
$$M_y = 0,06534 + 1,361 = 1,426 \text{ Tm} = 1426 \text{ Kg/m}$$

4.4 Permodelan Perkerasan Kaku dengan SAP 2000

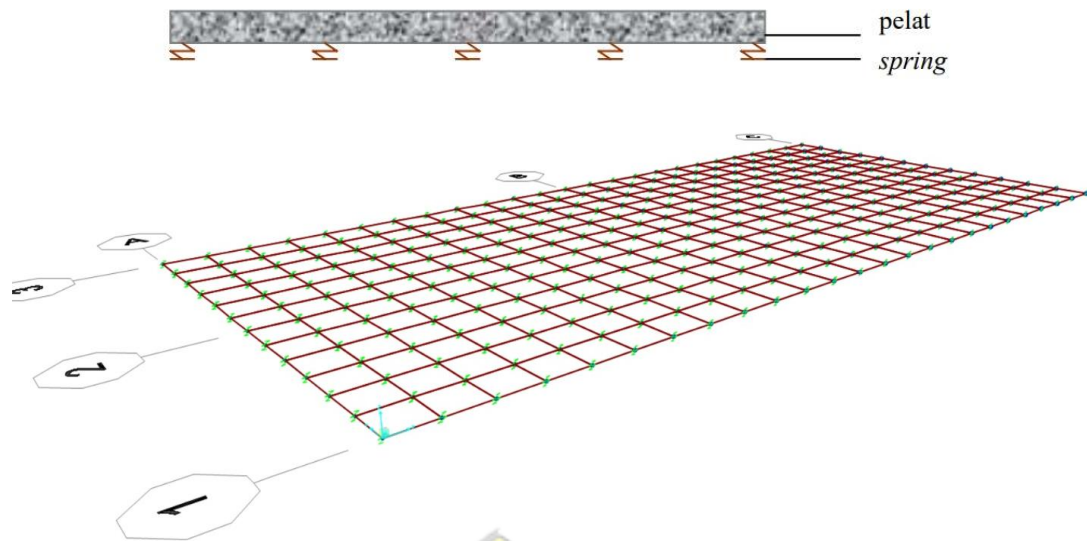
4.4.1 Data Dimensi Struktur Perkerasan

Ketiga Jenis Perkerasan Kaku dimodelkan dengan *Element Shell*. Yang terdiri dari 4 petak pelat dengan ukuran masing – masing petak 3 x 5 m dengan tebal 25 cm, yang didukung oleh *spring*. Setiap *Spring* diasumsikan mempunyai konstanta yang sama. Penggunaan *Spring* dimodelkan berdasarkan nilai k_v pada setiap lapis. Nilai k_v diasumsikan sebesar 215 kg/m³.

Untuk pembebanan diasumsikan beban diberikan kepada masing – masing petak pelat. Beban yang digunakan yaitu Beban Truk sebesar 4.000 kg, dan Beban Rem sebesar 2.500 kg.



Gambar 4.11 Model Struktur Perkerasan Kaku



Gambar 4.12 Perspektif Pelat Perkerasan Kaku

Pada perkerasan kaku berukuran 3 m dan 5 m didiskritisasi tiap 87,5 cm x 100 cm untuk mempermudah dalam memodelkan pembebanan empat beban truk T = 10 ton

Tumpuan struktur pelat perkerasan kaku berupa *spring* dengan nilai modulus reaksi tanah dasar sebesar $K_{sv} = 110 \text{ kPa/mm} = 11 \text{ kg/cm}^3$. Besar konstanta pegas (K_v) untuk tiap *joint* berbeda – beda sesuai dengan luasan pelat yang ditumpu yaitu:

$$K_v \text{ tengah} = (11 \text{ kg/cm}^3) * (87,5 \text{ cm} * 100 \text{ cm}) = 96.250,0 \text{ Kg/cm}$$

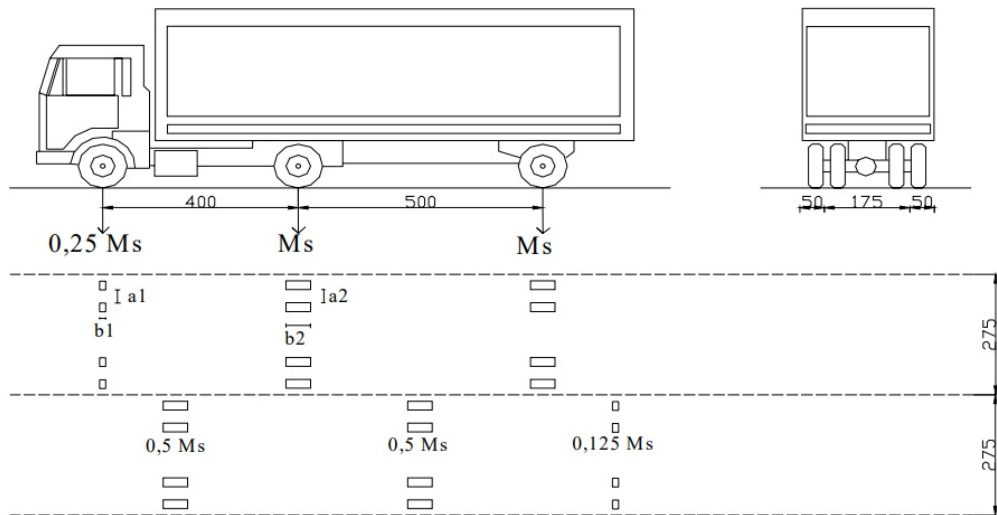
$$K_v \text{ pinggir} = 0,05 * 24.062,500 \text{ Kg/cm} = 48.125,0 \text{ Kg/cm}$$

$$K_v \text{ ujung} = 0,25 * 24.062,500 \text{ Kg/cm} = 24.062,5 \text{ Kg/cm}$$

4.4.2 Permodelan Pembebanan

Dalam analisis perhitungan pembebanan pada rigid pavement digunakan 2 permodelan pembebanan yaitu:

- Konfigurasi empat beban truk T = 10 ton
- Satu beban truk T = 10 ton di tengah pelat



$$A1 = a2 = 30,00 \text{ cm}$$

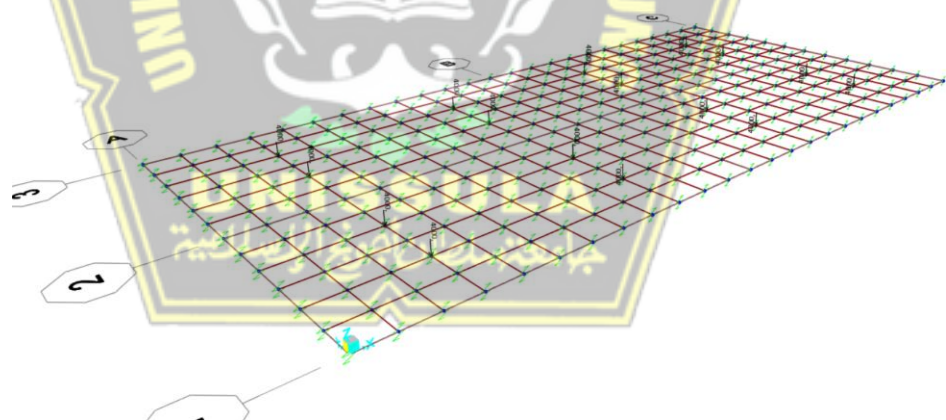
$$B1 = 12,5 \text{ cm}$$

$$B2 = 50,00 \text{ cm}$$

$$Ms = \text{Muatan Rencana sumbu} = 20 \text{ ton}$$

$$T = 0,5 Ms = 10 \text{ cm}$$

Gambar 4.13 Beban Truk



Gambar 4.14 Pembebanan Pada Tiap Petak

Analisa perhitungan Gaya Rem PPJJR: Besar gaya rem = 5% x Beban D, titik tangkap berada 1,8 m diatas lantai permukaan jalan.

$$qL = 5,014 \text{ T/m, PL} = 1.241,128$$

$$P_{\text{REM}} = 5\% \times (2,218 \times 80 + 1.241,128)$$

$$= 11.011,29 \text{ Ton}$$

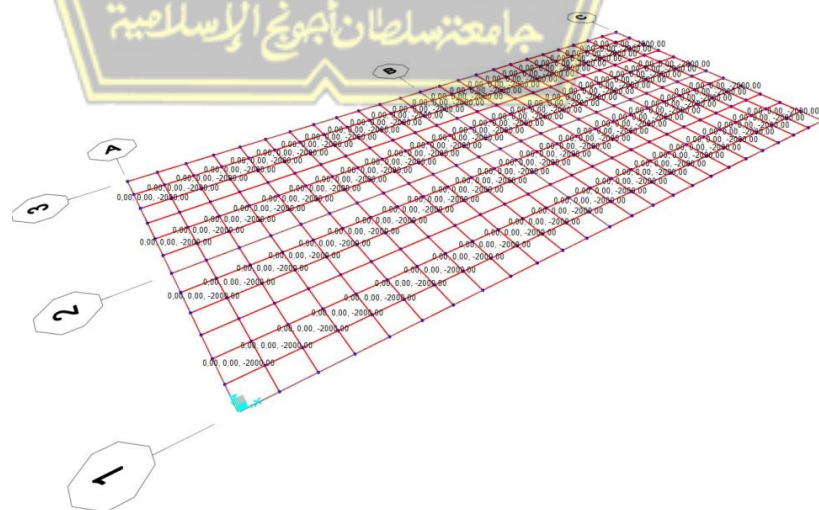
4.4.3 Data *property* material struktur perkerasan beton bertulang

- Berat jenis = $2,4 \times 10^{-3}$
- Massa jenis = $2,448 \times 10^{-6}$
- Modulus Elastisitas = $4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 2,35 \cdot 10^4$ Mpa
= $23,5 \cdot 10^4$ Kg/cm²
- Angka Poison = 0,2
- Modulus Geser = $126409,87$ kg/cm²
- Koefisien Thermal Expansion = $9,9 \times 10^{-6}$
- Mutu Beton = $K350 \approx f'_c = 31,2$ Mpa

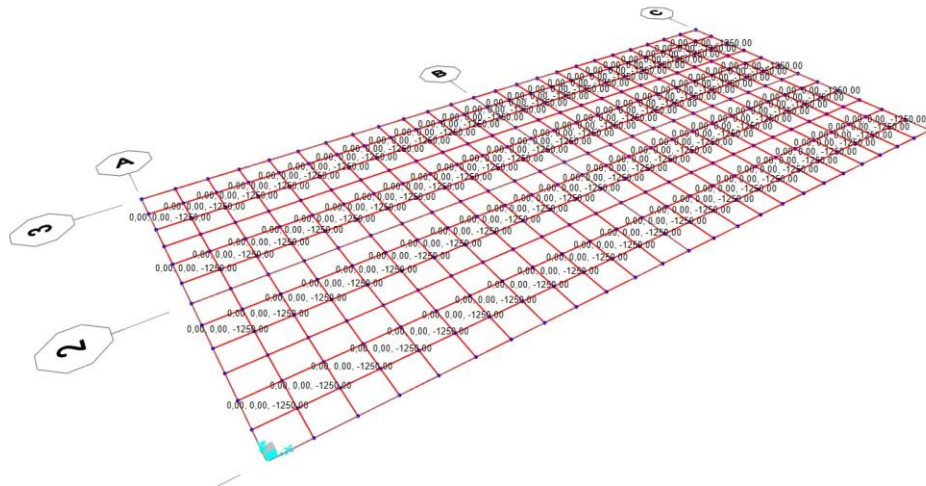
1. Pembebanan Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan



Gambar 4.15 Beban Mata Beton tanpa Tulangan



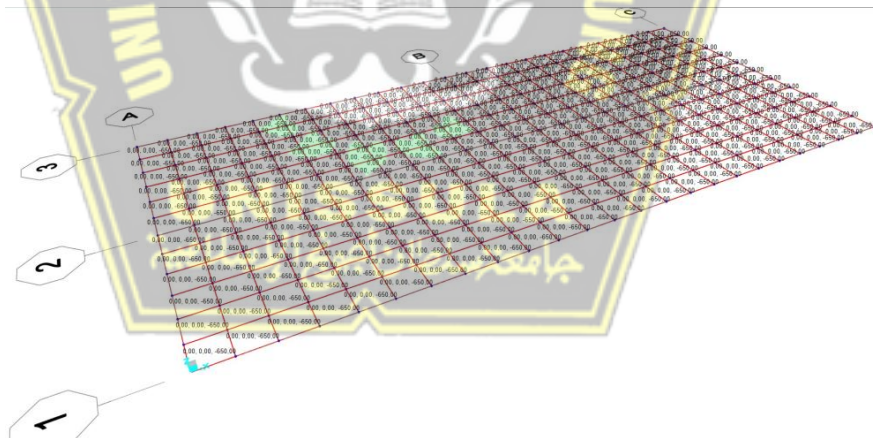
Gambar 4.16 Pembebanan Beban Truk



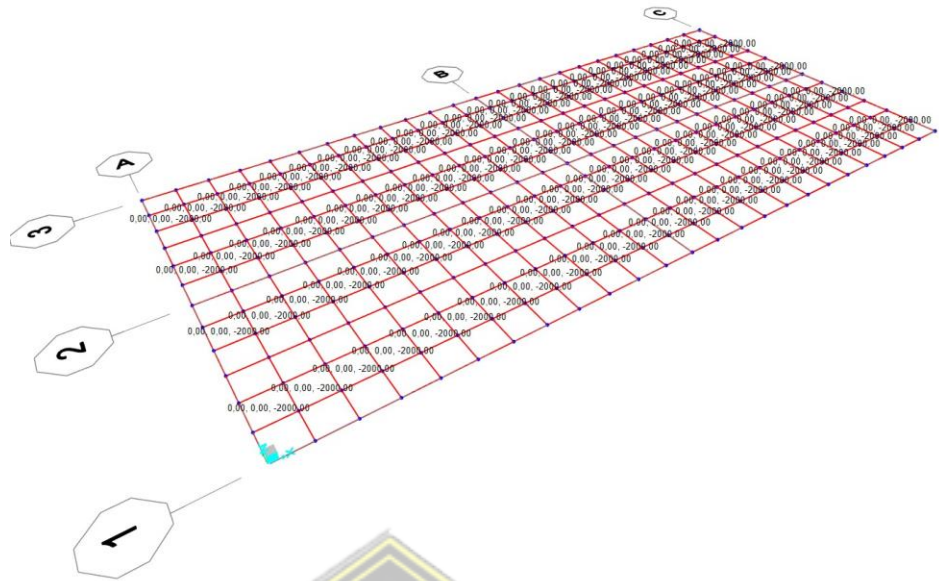
Gambar 4.17 Pembebanan Beban Rem

Berdasarkan Gambar 4.15, Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 merupakan skema untuk beban mati beton tanpa tulangan sebesar 2400 kg/m^2 , untuk Beban Truk yang digunakan sebesar 10.000 kg dan untuk Beban Rem kendaraan sebesar 2.400 kg . Beban Truk dan beban rem merupakan beban hidup atau beban berjalan.

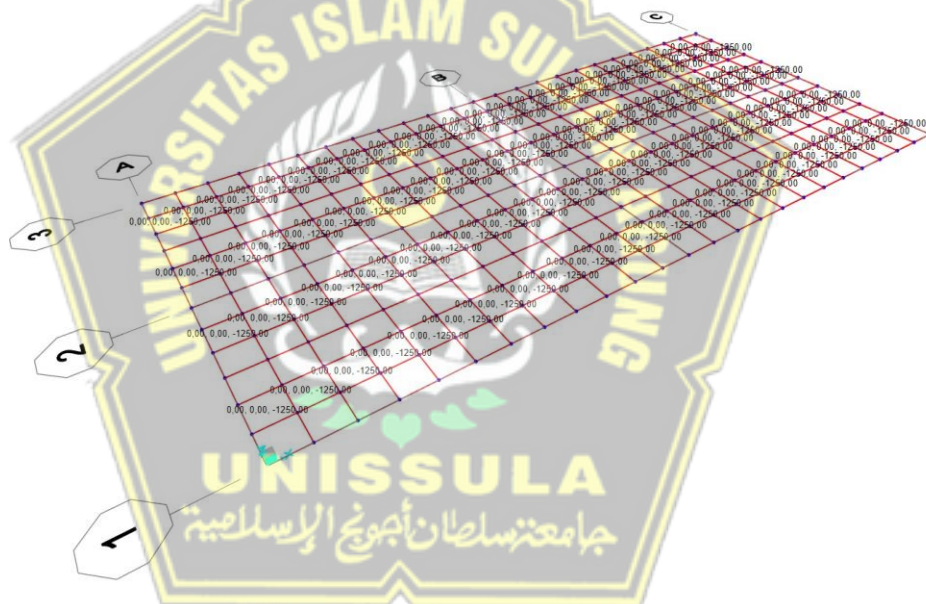
2. Pembebanan Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan



Gambar 4.18 Pembebanan Beban Mati Beton dengan Tulangan



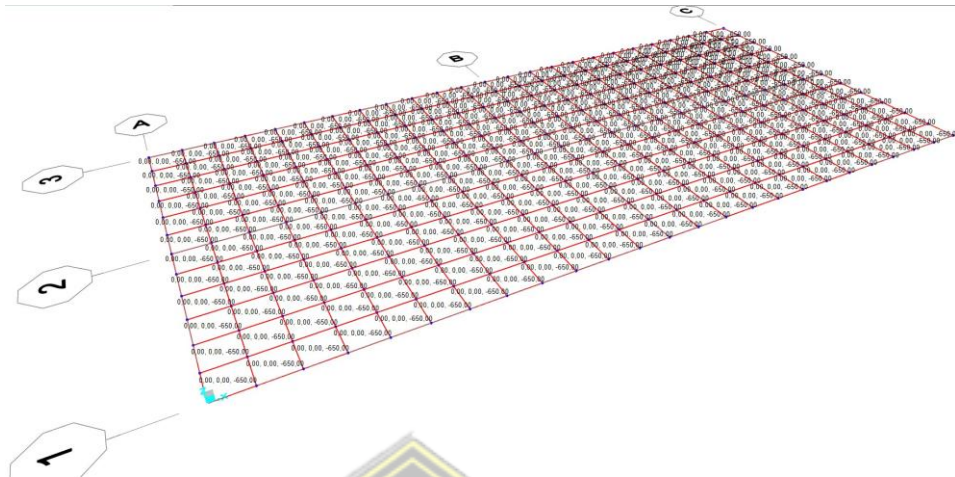
Gambar 4.19 Pembebanan Beban Truk



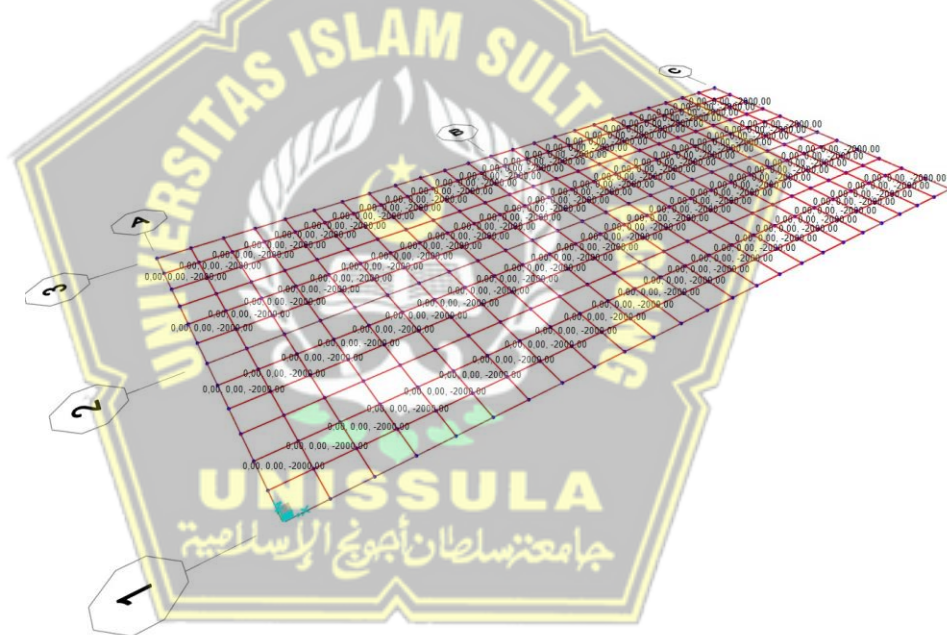
Gambar 4.20 Pembebanan Beban Rem

Berdasarkan Gambar 4.18, Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 merupakan skema untuk beban mati beton dengan tulangan sebesar 2500 kg/m^2 , untuk Beban Truk yang digunakan sebesar 10.000 kg dan untuk Beban Rem kendaraan sebesar 2.400 kg . Beban Truk dan beban rem merupakan beban hidup atau beban berjalan.

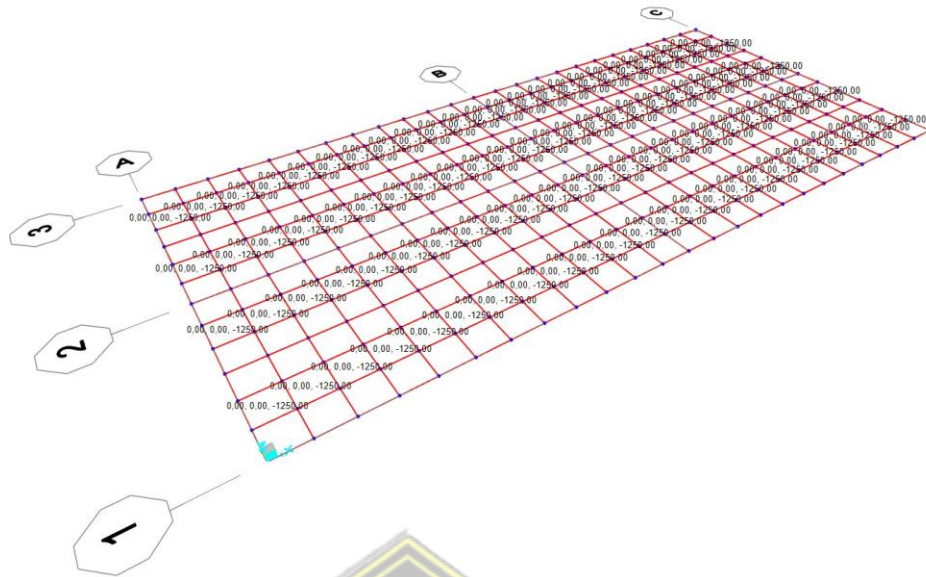
3. Pembebanan Perkerasan Kaku Menerus Dengan Tulangan



Gambar 4.21 Pembebanan Beban Mati Beton dengan Tulangan



Gambar 4.22 Pembebanan Beban Truk

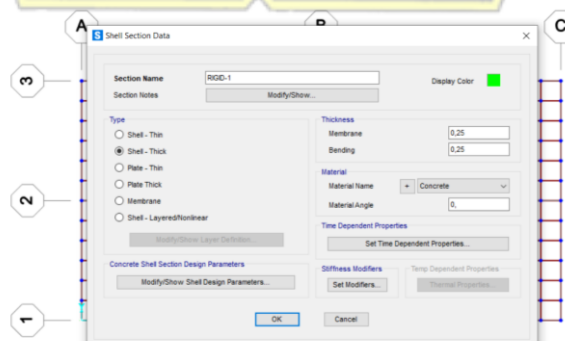


Gambar 4.23 Pembebanan Beban Rem

Berdasarkan Gambar 4.21, Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 merupakan skema untuk beban mati beton dengan tulangan sebesar 2500 kg/m^2 , untuk Beban Truk yang digunakan sebesar 10.000 kg dan untuk Beban Rem kendaraan sebesar 2.400 kg . Beban truck dan beban rem merupakan beban hidup atau beban berjalan.

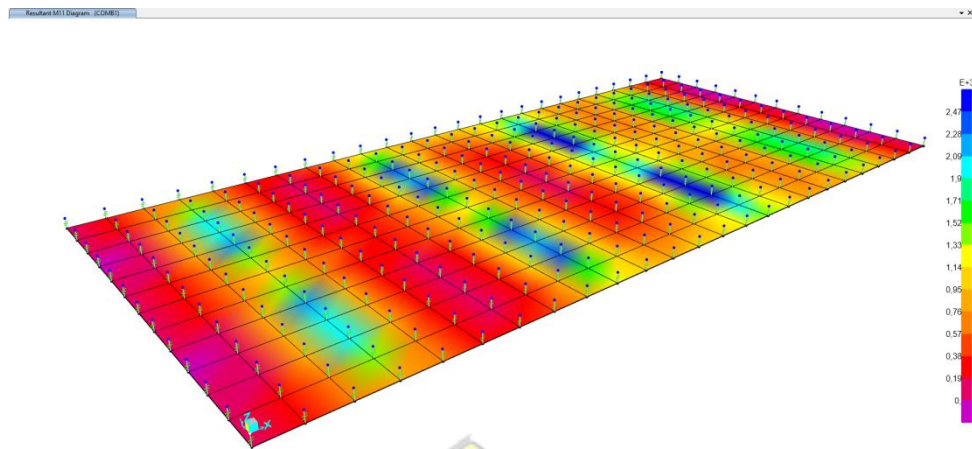
4.5 Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan dimodelkan dengan *Element Shell* pada SAP2000. Input yang dimasukkan untuk mendefinisikan Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan, hanya ketebalan dan Jenis Material. Tulangan *Dowel* dan *Tiebar* didefinisikan menggunakan perintah *Constraint*.



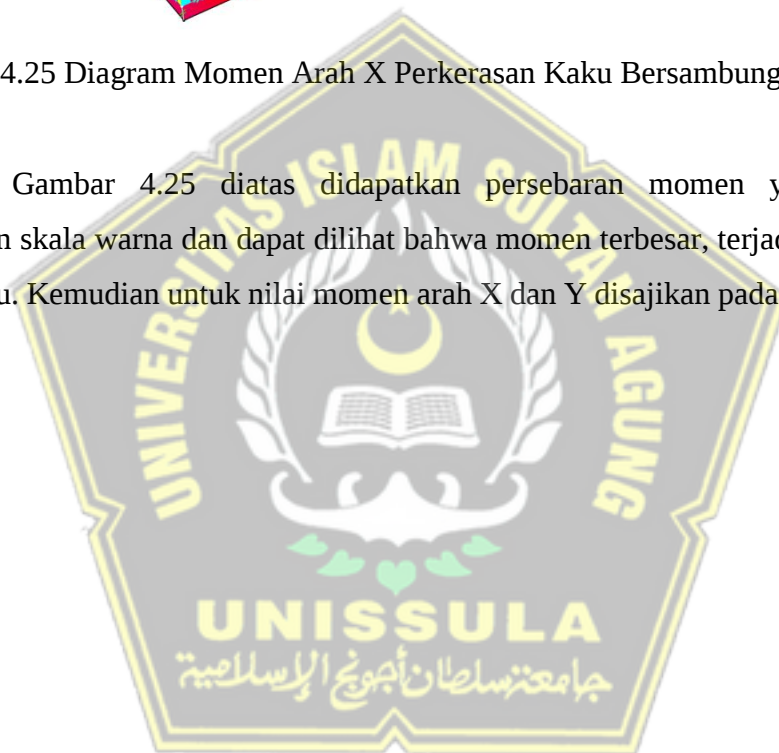
Gambar 4.24 Input Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

Output SAP2000 Model Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan berupa momen arah X dan arah Y, disajikan pada Diagram Momen dibawah ini.



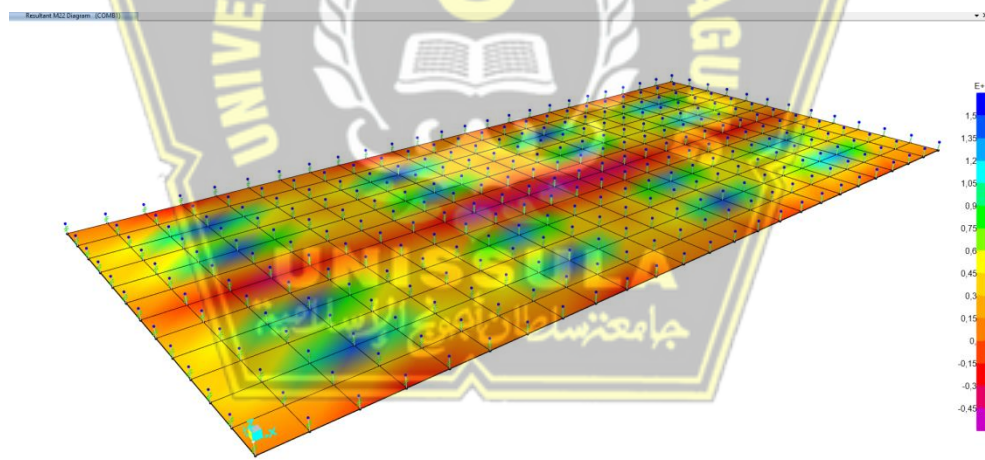
Gambar 4.25 Diagram Momen Arah X Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

Berdasarkan Gambar 4.25 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar, terjadi pada lokasi yang berwarna biru. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.2 dibawah ini :



Tabel 4.2 Hasil Run untuk Momen Arah X

TABLE: Element Forces - Area Shells							
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf-m/m	Kgf-m/m
13	13	Shell-Thick	15	COMB1	Combination	109,7050329	405,2004839
14	14	Shell-Thick	15	COMB1	Combination	112,2157273	413,2057663
14	14	Shell-Thick	25	COMB1	Combination	818,0977254	664,3465398
14	14	Shell-Thick	26	COMB1	Combination	783,6586925	793,9156345
14	14	Shell-Thick	17	COMB1	Combination	79,40337835	540,2136713
15	15	Shell-Thick	17	COMB1	Combination	128,3352959	533,6972729
15	15	Shell-Thick	26	COMB1	Combination	722,9693237	741,6447774
15	15	Shell-Thick	27	COMB1	Combination	767,3041288	440,3586632
15	15	Shell-Thick	19	COMB1	Combination	172,558752	235,9490484
19	19	Shell-Thick	25	COMB1	Combination	702,3454744	330,3131773
20	20	Shell-Thick	25	COMB1	Combination	707,0157446	358,5736446
20	20	Shell-Thick	32	COMB1	Combination	1995,77071	629,8647159
20	20	Shell-Thick	33	COMB1	Combination	2108,141577	1363,394036
20	20	Shell-Thick	26	COMB1	Combination	814,8655056	1083,713496
21	21	Shell-Thick	26	COMB1	Combination	906,9225736	1169,523638
21	21	Shell-Thick	33	COMB1	Combination	2071,318538	1553,754036
21	21	Shell-Thick	34	COMB1	Combination	1595,973993	359,4670249
21	21	Shell-Thick	27	COMB1	Combination	439,4088787	-16,30859734
22	22	Shell-Thick	27	COMB1	Combination	892,3261456	410,1205972
22	22	Shell-Thick	34	COMB1	Combination	1217,123648	303,3724373
22	22	Shell-Thick	35	COMB1	Combination	912,1165732	-161,1677902
22	22	Shell-Thick	28	COMB1	Combination	590,0124999	-54,86918877
23	23	Shell-Thick	29	COMB1	Combination	987,4922502	-317,9978168



Gambar 4.26 Diagram Momen Arah Y Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan

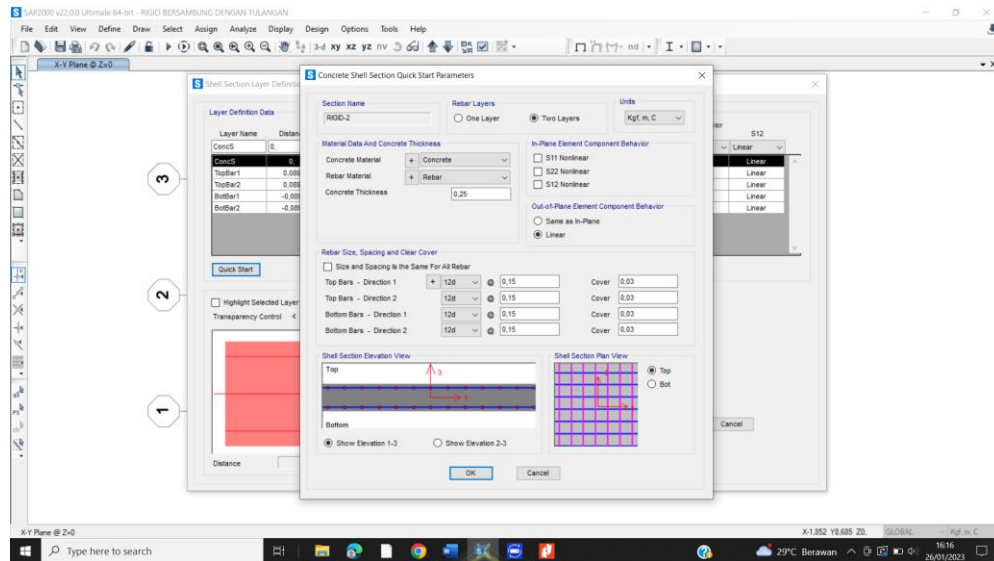
Berdasarkan Gambar 4.26 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar terjadi pada lokasi yang berwarna biru. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Run untuk Momen Arah Y

TABLE: Element Forces - Area Shells							
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf-m/m	Kgf-m/m
84	84	Shell-Thick	105	COMB1	Combination	1218,896906	179,6754394
84	84	Shell-Thick	106	COMB1	Combination	1206,620488	594,0394314
84	84	Shell-Thick	99	COMB1	Combination	501,6088871	352,6327811
85	85	Shell-Thick	99	COMB1	Combination	478,6673783	370,8091383
85	85	Shell-Thick	106	COMB1	Combination	1238,572209	620,9141355
85	85	Shell-Thick	107	COMB1	Combination	1299,133167	599,3502311
85	85	Shell-Thick	100	COMB1	Combination	537,7496523	352,1271101
86	86	Shell-Thick	100	COMB1	Combination	547,2042563	296,0833776
86	86	Shell-Thick	107	COMB1	Combination	1270,382889	558,915594
86	86	Shell-Thick	108	COMB1	Combination	1335,741958	795,5951795
86	86	Shell-Thick	101	COMB1	Combination	616,00797	528,8770731
87	87	Shell-Thick	101	COMB1	Combination	673,1123553	435,2570767
87	87	Shell-Thick	108	COMB1	Combination	1237,080291	681,4287659
92	92	Shell-Thick	115	COMB1	Combination	2647,746767	1378,009231
92	92	Shell-Thick	108	COMB1	Combination	1339,840053	1064,979535
93	93	Shell-Thick	108	COMB1	Combination	1443,108806	1135,42365
93	93	Shell-Thick	115	COMB1	Combination	2587,690652	1523,628308
93	93	Shell-Thick	116	COMB1	Combination	2149,172365	383,5541945
93	93	Shell-Thick	109	COMB1	Combination	1014,560581	2,051269605
94	94	Shell-Thick	109	COMB1	Combination	1474,152193	397,4704788

4.6 Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan

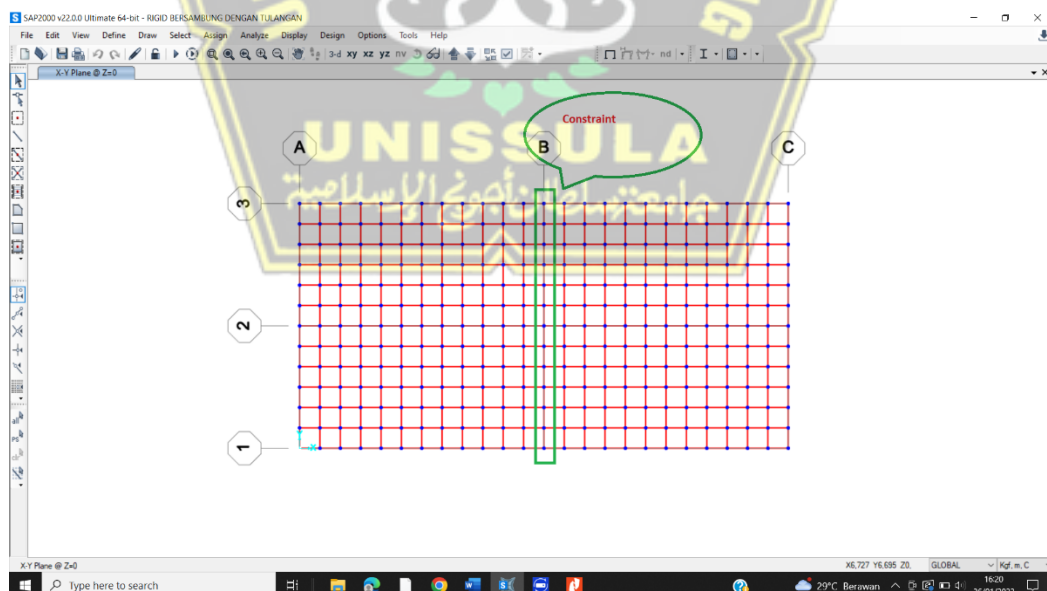
Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan dimodelkan dengan *Element Shell*. Berbeda dengan Model Perkerasan Kaku bersambung tanpa tulangan, *Element Shell* didefinisikan menggunakan tulangan. Dengan cara Klik *Define > Section Properties > Area Section*. Pilih *Modify/Show Section > Shell-Layered/Non Liner*. Pilih *Quick Start*, maka akan muncul tampilan seperti dibawah ini :



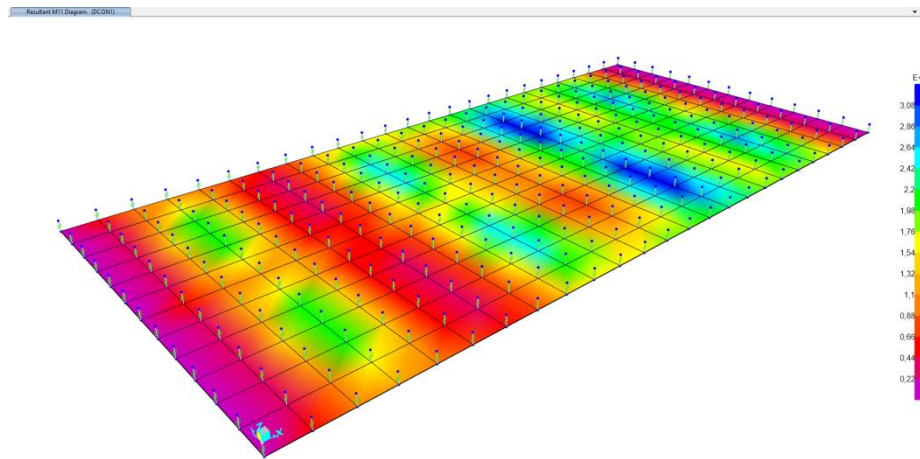
Gambar 4.27 Pengaturan Tulangan Pada Model Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

Pengaturan Tulangan Pada Model Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan. *Element Shell* didefinisikan mempunyai ketebalan 25 cm, dan diameter tulangan sebesar 12 mm dengan jarak antar tulangan 15 cm.

Agar Model Perkerasan Kaku sesuai dengan Perilaku Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan, digunakan Fungsi *Constraint* pada SAP 2000.



Gambar 4.28 Pendefinisian *Constraint* Pada SAP 2000 (Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan)

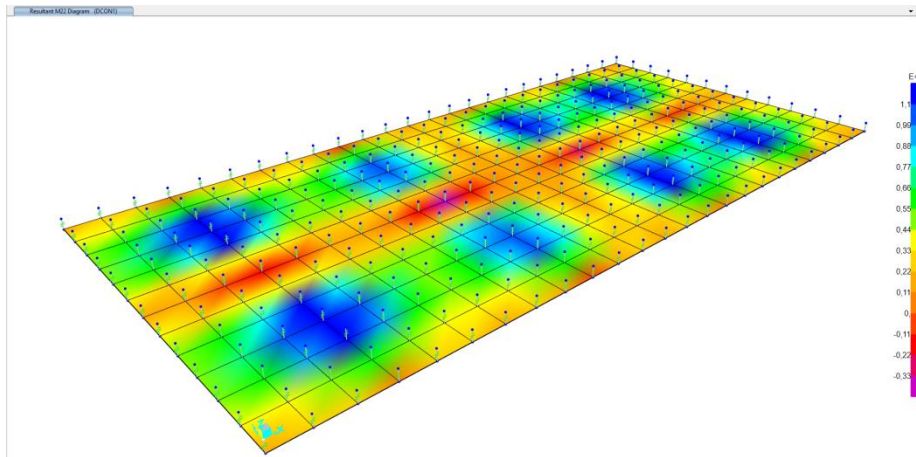


Gambar 4.29 Diagram Momen Arah X Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

Berdasarkan Gambar 4.29 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar terjadi pada lokasi yang berwarna biru. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Hasil *Running* untuk Momen Arah X

F11	F22	F12	FMax	FMin	FAngle	FVM	M11	M22
Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Degrees	Kgf/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
-2,56997E-13	-2,37367E-14	3,25667E-14	-1,92752E-14	-2,61458E-13	82,19931862	2,52373E-13	837,5307124	99,02320586
-2,46766E-13	1,92414E-14	6,79417E-16	1,92431E-14	-2,46767E-13	89,85366033	2,5693E-13	817,5088067	32,6193003
-2,55457E-13	-4,96468E-14	2,92718E-14	-4,55645E-14	-2,59539E-13	82,06068634	2,40023E-13	844,1785884	175,4069116
-3,26785E-13	-5,86461E-14	5,68862E-14	-4,70768E-14	-3,38354E-13	78,50415576	3,17445E-13	992,0233616	203,0212669
-3,18093E-13	1,02421E-14	2,82938E-14	1,26624E-14	-3,20514E-13	85,11066356	3,27029E-13	965,3535799	60,23365564
-3,53029E-13	-2,66652E-13	2,8031E-14	-2,58352E-13	-3,61328E-13	73,50742963	3,22419E-13	1196,073345	878,5222107
-3,44763E-13	-2,01143E-13	5,86058E-14	-1,80263E-13	-3,65643E-13	70,39075589	3,16666E-13	1170,711758	742,738559
-4,21037E-13	-2,10766E-13	3,2346E-14	-2,05903E-13	-4,259E-13	81,44948743	3,68908E-13	1328,806937	772,2674788
-4,29302E-13	-2,76275E-13	1,7712E-15	-2,76254E-13	-4,29322E-13	89,33695181	3,76871E-13	1354,168524	908,0511305
-4,28625E-13	-2,70909E-13	1,73715E-15	-2,7089E-13	-4,28644E-13	89,36902293	3,75502E-13	1401,893861	932,3745185
-4,27965E-13	-2,65678E-13	3,96873E-15	-2,65581E-13	-4,28062E-13	88,59994519	3,7428E-13	1399,868626	921,5315932
-4,33532E-13	-2,6638E-13	1,87177E-15	-2,6636E-13	-4,33553E-13	89,35850711	3,78728E-13	1411,407659	923,6868466
-4,34192E-13	-2,71612E-13	-3,59818E-16	-2,71611E-13	-4,34193E-13	-89,87319544	3,79953E-13	1413,432894	934,5297719
-4,34895E-13	-2,77187E-13	-7,33969E-16	-2,77184E-13	-4,34899E-13	-89,73335467	3,81341E-13	1413,732344	947,8421621
-4,33331E-13	-2,6479E-13	-4,62708E-15	-2,64663E-13	-4,33458E-13	-88,42859808	3,78434E-13	1408,932689	922,1452446
-4,23619E-13	-2,63564E-13	-9,59673E-15	-2,62991E-13	-4,24193E-13	-86,58092948	3,7087E-13	1388,802273	918,3852978
-4,25184E-13	-2,75962E-13	-5,70361E-15	-2,75744E-13	-4,25401E-13	-87,81426496	3,73763E-13	1393,601927	944,0822154
-4,2471E-13	-2,72209E-13	-3,95656E-15	-2,72106E-13	-4,24813E-13	-88,51482269	3,72711E-13	1337,816489	902,298998
-4,18388E-13	-2,22105E-13	-3,65157E-14	-2,15532E-13	-4,24962E-13	-79,79562283	3,6804E-13	1318,418941	798,4462756
-3,37165E-13	-2,11857E-13	-5,66002E-14	-1,90077E-13	-3,58945E-13	-68,95299982	3,11036E-13	1150,063207	767,0008957
-3,43486E-13	-2,61961E-13	-2,40411E-14	-2,554E-13	-3,50048E-13	-74,73431762	3,13625E-13	1169,460755	870,8536181
-3,07066E-13	2,67046E-14	-2,04291E-14	2,79504E-14	-3,08312E-13	-86,51046335	3,23195E-13	930,9538361	13,69421252
-3,17356E-13	-5,48514E-14	-4,74374E-14	-4,6542E-14	-3,25665E-13	-80,06452154	3,05069E-13	962,5279453	182,7391512
-2,4998E-13	-4,63507E-14	-1,4745E-14	-4,52885E-14	-2,51042E-13	-85,8797867	2,31741E-13	822,8739662	156,6546674
-2,3969E-13	3,52054E-14	1,22633E-14	3,57513E-14	-2,40236E-13	87,45073628	2,59962E-13	791,299857	-12,39027135
-1,77022E-13	-3,97508E-14	4,40102E-14	-2,68528E-14	-1,8992E-13	73,66573526	1,7802E-13	549,0565409	174,2495019
-1,81235E-13	-7,31394E-14	3,06417E-14	-6,50577E-14	-1,89317E-13	75,22474214	1,66604E-13	561,9828166	243,4556186



Gambar 4.30 Diagram Momen Arah Y Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

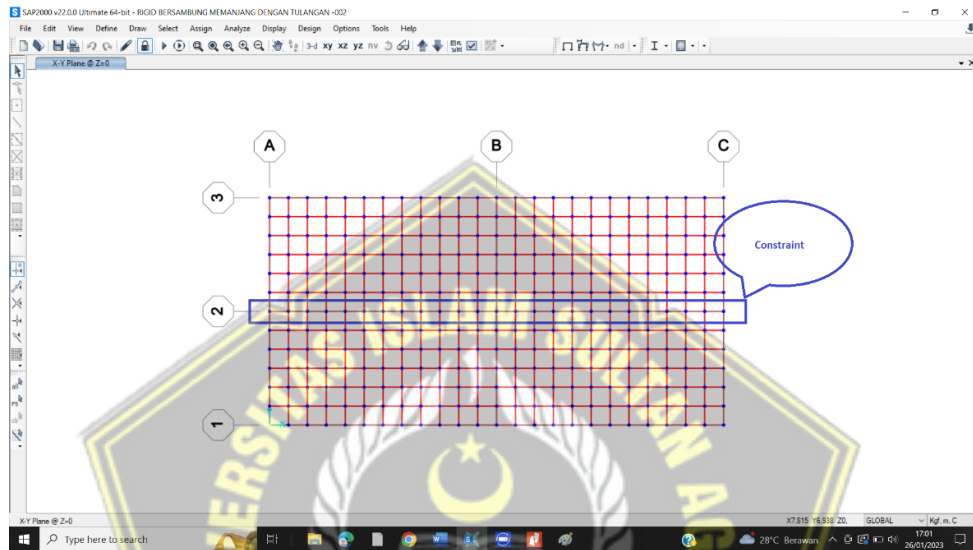
Berdasarkan Gambar 4.30 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar terjadi pada lokasi yang berwarna biru. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.5 dibawah ini :

Tabel 4.5 Hasil *Running* untuk Momen Arah Y

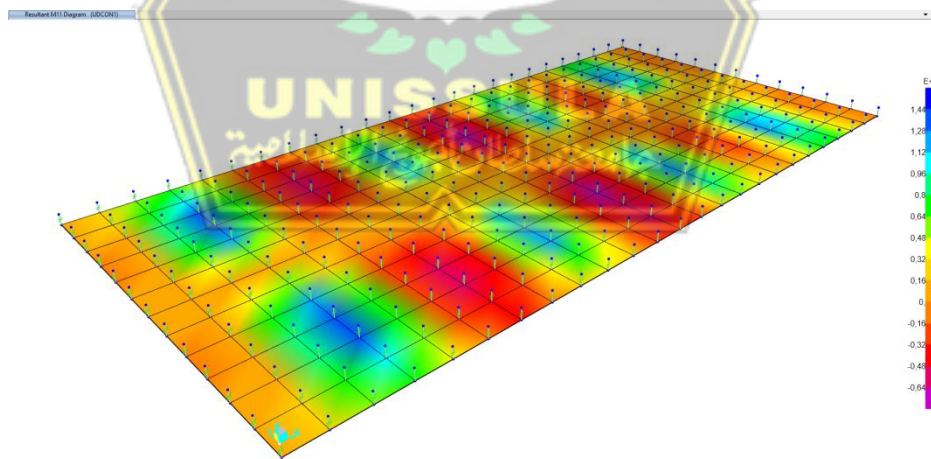
F11	F22	F12	FMax	FMin	FAngle	FVM	M11	M22
Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Degrees	Kgf/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
-2,30106E-13	-3,7971E-14	-1,9207E-15	-3,79518E-14	-2,30126E-13	-89,42731239	2,13692E-13	771,223237	133,8384597
-2,38463E-13	4,49317E-14	1,36596E-14	4,55885E-14	-2,39119E-13	87,24685451	2,64873E-13	787,6539896	-50,29822497
-2,46958E-13	-2,23986E-14	4,32772E-14	-1,43468E-14	-2,55009E-13	79,46062592	2,48147E-13	813,7206368	89,26025852
-3,20843E-13	-3,17206E-14	7,02671E-14	-1,55478E-14	-3,37016E-13	77,03847519	3,29517E-13	966,8667009	117,8647857
-3,12348E-13	3,56097E-14	4,06494E-14	4,02954E-14	-3,17034E-13	83,42450052	3,38983E-13	940,8000537	-21,69369779
-3,44672E-13	-2,20588E-13	4,33234E-14	-2,06958E-13	-3,58301E-13	72,53692878	3,11542E-13	1161,143965	738,5450907
-3,37915E-13	-1,67035E-13	7,32274E-14	-1,39948E-13	-3,65002E-13	69,70073165	3,18952E-13	1140,411228	627,5438834
-4,12516E-13	-1,76447E-13	5,17604E-14	-1,65597E-13	-4,23366E-13	78,16079471	3,69531E-13	1295,038255	656,4250239
-4,19272E-13	-2,3E-13	2,18564E-14	-2,27509E-13	-4,21763E-13	83,49774163	3,65636E-13	1315,770991	767,4262312
-4,17681E-13	-2,17387E-13	1,3707E-14	-2,16453E-13	-4,18615E-13	86,10322357	3,62601E-13	1367,064152	749,4370635
-4,13548E-13	-1,84628E-13	2,5324E-14	-1,81861E-13	-4,16316E-13	83,76220194	3,61498E-13	1354,381915	681,5375079
-4,42528E-13	-1,88285E-13	1,21925E-14	-1,87702E-13	-4,43111E-13	87,26069044	3,85236E-13	1414,450771	692,7571317
-4,46661E-13	-2,21043E-13	5,75552E-16	-2,21042E-13	-4,46663E-13	89,85383975	3,86828E-13	1427,133008	760,6566872
-4,46137E-13	-2,16887E-13	-6,36648E-15	-2,1671E-13	-4,46313E-13	-88,41047541	3,86573E-13	1431,09733	741,7438017
-4,40341E-13	-1,7095E-13	-1,2288E-14	-1,70391E-13	-4,409E-13	-87,39373033	3,85098E-13	1413,312995	646,5280748
-4,25569E-13	-1,69086E-13	-3,07022E-14	-1,65462E-13	-4,29193E-13	-83,26813344	3,74925E-13	1382,694302	640,8091342
-4,31365E-13	-2,15023E-13	-2,47807E-14	-2,12221E-13	-4,34167E-13	-83,54841813	3,76031E-13	1400,478636	736,0248611
-4,33594E-13	-2,32689E-13	-3,38725E-14	-2,27132E-13	-4,39151E-13	-80,68294479	3,80391E-13	1346,360275	761,1571073
-4,23317E-13	-1,51234E-13	-7,2632E-14	-1,33059E-13	-4,41492E-13	-75,95117774	3,92269E-13	1314,825424	592,3223506
-3,26625E-13	-1,39035E-13	-1,05284E-13	-9,18258E-14	-3,73834E-13	-65,84859972	3,37426E-13	1114,408802	554,8886579
-3,36902E-13	-2,2049E-13	-6,65243E-14	-1,90302E-13	-3,6709E-13	-65,59238266	3,17981E-13	1145,943653	723,7234145
-3,06151E-13	2,32449E-14	-7,14423E-14	3,80725E-14	-3,20978E-13	-78,27492316	3,4161E-13	915,4290689	12,9040667
-3,1429E-13	-4,12693E-14	-1,06944E-13	-4,36667E-15	-3,51193E-13	-70,96221507	3,4903E-13	940,405512	146,6256951
-2,25726E-13	-3,00954E-14	-8,10829E-14	-8,58462E-16	-2,54963E-13	-70,17169242	2,54535E-13	756,83463	112,3384392
-2,17587E-13	3,44189E-14	-4,55813E-14	4,241E-14	-2,25578E-13	-80,05624468	2,49501E-13	731,858187	-21,38318914
-1,66511E-13	-1,22488E-14	3,40716E-14	-5,05857E-15	-1,73701E-13	78,08360158	1,71228E-13	500,056019	128,6613529
-1,81447E-13	-1,30627E-13	6,55661E-15	-1,29795E-13	-1,82279E-13	82,76566144	1,62522E-13	545,8856763	374,0292132
-1,12806E-13	-1,21967E-13	5,40094E-14	-6,31832E-14	-1,7159E-13	42,57633985	1,50312E-13	403,6116717	347,4553626

4.7 Perkerasan Kaku Bersambung Memanjang dengan Tulangan

Untuk Perkerasan Bersambung Kaku Memanjang Dengan Tulangan, pemodelan *Element Shell* nya sama dengan Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan. Yang membedakan adalah pemberian *constraint* pada SAP2000. Pemodelannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.31 Pemodelan *Constraint*

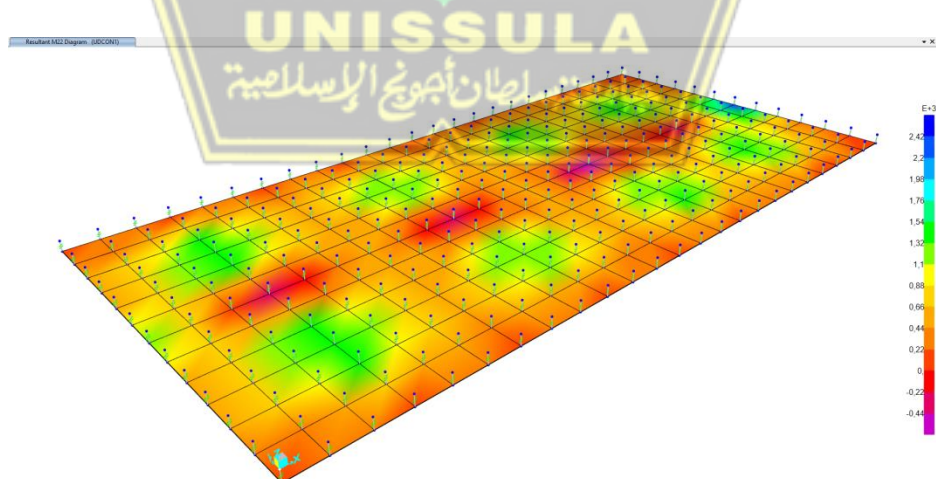


Gambar 4.32 Diagram Momen Arah X Perkerasan Kaku Memanjang dengan Tulangan

Berdasarkan Gambar 4.32 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar terjadi pada lokasi yang berwarna biru. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Hasil Running untuk Momen Arah X

Joint	OutputCase	CaseType	F11	FAngle	FVM	M11	M22	M12
Text	Text	Text	Kgf/m	Degrees	Kgf/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
170	UDCON1	Combination	5,178E-15	21,1035929	1,6808E-13	34,2369539	438,777614	173,742589
171	UDCON1	Combination	-3,031E-14	17,8683839	1,3668E-13	107,790447	452,51589	123,937815
164	UDCON1	Combination	-3,776E-14	8,20556475	1,8064E-13	130,66863	575,003626	94,0302052
164	COMB1	Combination	-1,52E-14	13,469044	4,0603E-14	65,6803157	137,973807	25,649918
171	COMB1	Combination	-1,41E-14	27,2817913	3,9998E-14	62,3179697	119,972109	41,485865
172	COMB1	Combination	-3,289E-14	39,178624	4,0532E-14	101,264219	127,246465	34,1661894
165	COMB1	Combination	-3,399E-14	15,9154106	4,2018E-14	104,626565	145,248163	18,3302425
164	UDCON1	Combination	-2,127E-14	13,469044	5,6844E-14	91,9524419	193,163329	35,9098852
171	UDCON1	Combination	-1,974E-14	27,2817913	5,5998E-14	87,2451576	167,960953	58,080211
172	UDCON1	Combination	-4,605E-14	39,178624	5,6745E-14	141,769906	178,145051	47,8326652
165	UDCON1	Combination	-4,758E-14	15,9154106	5,8825E-14	146,477191	203,347428	25,6623394
166	COMB1	Combination	-1,071E-14	5,31477039	3,7866E-13	123,390831	1285,22884	147,981179
2	COMB1	Combination	-3,202E-14	3,70037624	5,3586E-13	188,762224	1635,2214	145,747161
173	COMB1	Combination	-2,937E-14	10,665356	5,6163E-13	183,267977	1634,19519	288,057736
167	COMB1	Combination	-8,064E-15	14,4416171	4,1458E-13	117,896584	1284,20263	290,291754
166	UDCON1	Combination	-1,5E-14	5,31477039	5,3013E-13	172,747164	1799,32038	207,173651
2	UDCON1	Combination	-4,483E-14	3,70037624	7,502E-13	264,267114	2289,30996	204,046026
173	UDCON1	Combination	-4,112E-14	10,665356	7,8629E-13	256,575168	2287,87326	403,280831
167	UDCON1	Combination	-1,129E-14	14,4416171	5,8041E-13	165,055218	1797,88369	406,408455
167	COMB1	Combination	1,037E-14	24,3454207	3,3769E-13	13,9397244	735,849041	446,876635
173	COMB1	Combination	8,78E-15	23,7028536	3,4596E-13	18,8247719	762,003145	446,657654
174	COMB1	Combination	9,039E-15	24,2023946	3,5215E-13	18,2862182	761,902554	457,292182
168	COMB1	Combination	1,063E-14	24,8412381	3,4403E-13	13,4011708	735,74845	457,511163
167	UDCON1	Combination	1,452E-14	24,3454207	4,7277E-13	19,5156142	1030,18866	625,627289



Gambar 4.33 Diagram Momen Arah Y Perkerasan Kaku Memanjang dengan Tulangan

Berdasarkan Gambar 4.33 diatas didapatkan persebaran momen yang digambarkan menggunakan skala warna dan dapat dilihat bahwa momen terbesar terjadi pada lokasi yang berwarna hijau. Kemudian untuk nilai momen arah X dan Y disajikan pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil Running untuk Momen Arah Y

Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	F11	FAngle	FVM	M11	M22
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf/m	Degrees	Kgf/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
159	159	Shell-Layered	195	COMB1	Combination	-1,566E-13	85,7952953	1,6468E-13	531,733201	36,7043315
159	159	Shell-Layered	196	COMB1	Combination	-2,206E-13	-85,8757192	2,2466E-13	664,369949	61,4781414
159	159	Shell-Layered	190	COMB1	Combination	-2,296E-13	-76,3253095	2,1699E-13	692,207682	210,518859
159	159	Shell-Layered	189	UDCON1	Combination	-2,319E-13	-83,0583904	2,06E-13	783,399307	260,043069
159	159	Shell-Layered	195	UDCON1	Combination	-2,192E-13	85,7952953	2,3055E-13	744,426481	51,3860641
159	159	Shell-Layered	196	UDCON1	Combination	-3,088E-13	-85,8757192	3,1452E-13	930,117929	86,0693979
159	159	Shell-Layered	190	UDCON1	Combination	-3,215E-13	-76,3253095	3,0379E-13	969,090755	294,726403
160	160	Shell-Layered	190	COMB1	Combination	-2,467E-13	-58,9101846	2,3909E-13	862,594839	735,920893
160	160	Shell-Layered	196	COMB1	Combination	-2,569E-13	-21,7245022	2,722E-13	894,067278	904,4215
160	160	Shell-Layered	197	COMB1	Combination	-3,299E-13	66,4387045	3,1493E-13	1045,264	932,66193
160	160	Shell-Layered	191	COMB1	Combination	-3,196E-13	-85,0928107	2,8207E-13	1013,79156	764,161323
160	160	Shell-Layered	190	UDCON1	Combination	-3,453E-13	-58,9101846	3,3473E-13	1207,63277	1030,28925
160	160	Shell-Layered	196	UDCON1	Combination	-3,597E-13	-21,7245022	3,8109E-13	1251,69419	1266,1901
160	160	Shell-Layered	197	UDCON1	Combination	-4,618E-13	66,4387045	4,409E-13	1463,3696	1305,7267
160	160	Shell-Layered	191	UDCON1	Combination	-4,475E-13	-85,0928107	3,949E-13	1419,30818	1069,82585
161	161	Shell-Layered	191	COMB1	Combination	-3,282E-13	65,5547038	3,1058E-13	1075,14285	945,728883
161	161	Shell-Layered	197	COMB1	Combination	-3,294E-13	67,9397095	3,1315E-13	1078,9063	965,87808
161	161	Shell-Layered	198	COMB1	Combination	-3,085E-13	57,5027239	3,0093E-13	1035,49603	957,769937
161	161	Shell-Layered	192	COMB1	Combination	-3,073E-13	57,7476878	2,9841E-13	1031,73258	937,62074
161	161	Shell-Layered	191	UDCON1	Combination	-4,595E-13	65,5547038	4,3481E-13	1505,19999	1324,02044
161	161	Shell-Layered	197	UDCON1	Combination	-4,612E-13	67,9397095	4,3841E-13	1510,46882	1352,22931
161	161	Shell-Layered	198	UDCON1	Combination	-4,319E-13	57,5027239	4,213E-13	1449,69445	1340,87791
161	161	Shell-Layered	192	UDCON1	Combination	-4,302E-13	57,7476878	4,1777E-13	1444,42561	1312,66904
162	162	Shell-Layered	192	COMB1	Combination	-3,08E-13	53,2987893	3,0511E-13	1003,86756	958,352107
162	162	Shell-Layered	198	COMB1	Combination	-3,112E-13	46,6276912	3,1308E-13	1013,69069	1010,94426
162	162	Shell-Layered	199	COMB1	Combination	-2,72E-13	33,475855	2,9579E-13	932,426582	995,765804
162	162	Shell-Layered	193	COMB1	Combination	-2,688E-13	42,5286142	2,8811E-13	922,603452	943,173648
162	162	Shell-Layered	192	UDCON1	Combination	-4,312E-13	53,2987893	4,2715E-13	1405,41458	1341,69295

4.8 Momen Arah X dan Arah Y Jenis Perkerasan Kaku

Terdapat momen Arah X dan Y dari hasil pembebanan yang menggunakan beban rem 2.500 kg dan beban truk 4.000 kg diambil dari beban kendaraan paling tinggi yang melintas di Jalan Pantura Kaligawe.

Tabel 4.8 Hasil Momen Arah X dan Y Jenis Perkerasan Kaku

NO	Jenis Perkerasan Kaku	Hasil SAP2000		Manual	
		Momen X (kg/m)	Momen Y (kg/m)	Momen X (kg/m)	Momen Y (kg/m)
1	Rigid Bersambung Tanpa Tulangan	1553,754	2647,747	2.007	1426
2	Rigid Bersambung Dengan Tulangan	947,8422	1431,097	2.569	2.101
3	Rigid Bersambung Memanjang Dengan Tulangan	2289,31	1510,469	2.569	2.101

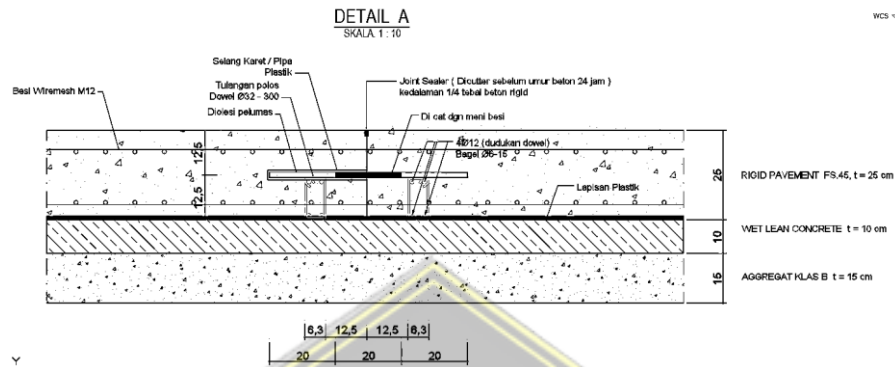
Hasil perbandingan perhitungan permodelan dari SAP2000 dan perhitungan manual untuk perkerasan kaku.

4.9 Analisa Ekonomi Jenis Perkerasan Kaku

Data Teknis Rencana Jalan

Panjang segmen = 12 m

Lebar jalan = 5 m



Gambar 4.34 Tebal Lapis Rencana Perkerasan Kaku

Agar mengetahui harga satuan bahan dilakukan suatu perbandingan terhadap jenis konstruksi perkerasan kaku dilakukan dengan terlebih dahulu yaitu perkiraan harga dari masing-masing material yang digunakan dalam setiap pekerjaan pembuatan konstruksi lapisan perkerasan jalan tersebut, baik itu lapisan perkerasan lentur maupun lapisan perkerasan kaku. Dengan mengetahui harga satuan bahan selanjutnya dapat dihitung perkiraan biaya konstruksi. Namun dalam hal ini data yang Penulis lampirkan dipersingkat seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.9 Perhitungan Biaya Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan

No Analisa	Uraian Pekerjaan	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah harga
Bahan	- Plastik Cor	m2	15.00	17,000.00	255,000.00
A.4.1.1.22	- Pek. Bekisting	m2	8.00	480,100.50	3,840,804.00
DIVISI 5. PERKERASAN BERBUTIR					
5.1.(1)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas A	M3	6.00	439,204.49	2,635,226.96
5.1.(2)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas B	M3	9.00	350,627.34	3,155,646.03
5.3.(1a)	- Perkerasan Beton Semen	M3	15.00	1,689,602.99	25,344,044.92
JUMLAH					35,230,721.91

Tabel 4.10 Perhitungan Biaya Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan

No Analisa	Uraian Pekerjaan	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah harga
2.2.6.1.b (c)	- Pek. Pembesian Tulangan Ø12	kg	603.84	13,508.00	8,156,670.72
2.2.6.1.b (c)	- Pek. Tulangan Dowel	kg	10.80	13,508.00	
2.2.6.1.b (c)	- Pek. Tulangan Tie bar	kg	18.00	13,508.00	243,144.00
Bahan	- Plastik Cor	m2	15.00	17,000.00	255,000.00
A.4.1.1.22	- Pek. Bekisting	m2	8.00	480,100.50	3,840,804.00
DIVISI 5. PERKERASAN BERBUTIR					
5.1.(1)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas A	M3	6.00	439,204.49	2,635,226.96
5.1.(2)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas B	M3	9.00	350,627.34	3,155,646.03
5.3.(1a)	- Perkerasan Beton Semen	M3	15.00	1,689,602.99	25,344,044.92
JUMLAH					
					43,630,536.63

Tabel 4.11 Perhitungan Biaya Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan

No Analisa	Uraian Pekerjaan	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah harga
2.2.6.1.b (c)	- Pek. Pembesian Tulangan Ø12	kg	603.84	13,508.00	8,156,670.72
Bahan	- Plastik Cor	m2	12.00	17,000.00	204,000.00
Bahan	- Pek. Bekisting	m2	8.00	480,100.50	3,840,804.00
DIVISI 5. PERKERASAN BERBUTIR					
5.1.(1)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas A	M3	6.00	439,204.49	2,635,226.96
5.1.(2)	- Lapis Pondasi Agregat Kelas B	M3	9.00	350,627.34	3,155,646.03
5.3.(1a)	- Perkerasan Beton Semen	M3	12.00	1,689,602.99	20,275,235.94
JUMLAH					
					38,267,583.65

Berdasarkan tabel diatas hasil yang di peroleh dari analisa perhitungan perbandingan harga jenis perkerasan kaku didapatkan, perkerasan kaku bersambung dengan tulangan memerlukan biaya yang lebih besar, yaitu Rp.43,630,536.63 (*Empat Puluh Tiga Juta Enam Ratus Tiga Puluh Ribu Lima Ratus Tiga Puluh Enam Rupiah*), analisa perhitungan perbandingan ini merupakan harga per blok dengan ukuran 10 m x 5 m dengan tebal 25 cm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan permodelan perkerasan kaku di Jalan Pantura Kaligawe yang telah didapatkan sebagai berikut :

1. Dari hasil permodelan pada tiga jenis perkerasan kaku dengan menggunakan Aplikasi SAP2000 didapatkan jenis perkerasan kaku yang cocok untuk Jalan Kaligawe Semarang adalah Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement- JRCP*). Dengan didapatkan hasil spesifikasi teknis Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement- JRCP*) adalah dengan Panjang = 10 m, Lebar = 5 m, Tebal Pelat beton = 25 cm, *Subgrade* = 10 cm, dan *subbase* = 15 cm.
2. Untuk hasil perbandingan harga yang didapat dari analisa ekonomi jenis perkerasan kaku tersebut adalah :
 - a. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan didapatkan hasil analisa harga Rp.35,230,721.91 (*Tiga Puluh Lima Juta Dua Ratus Tiga Puluh Ribu Tujuh Ratus Dua Puluh Satu*).
 - b. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan didapatkan hasil analisa harga Rp.43,630,536.63 (*Empat Puluh Tiga Juta Enam Ratus Tiga Puluh Ribu Lima Ratus Tiga Puluh Enam Rupiah*), dan
 - c. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan didapatkan hasil analisa harga Rp.38,267,583.65 (*Tiga Puluh Delapan Juta Dua Ratus Enam Puluh Tujuh Ribu Lima Ratus Delapan Puluh Tiga Rupiah*).

Berdasarkan hasil dari perbandingan ini untuk Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan biaya yang didapat lebih besar dari dua jenis perkerasan kaku lainnya, dikarenakan adanya penambahan item pekerjaan tulangan, kinerja sambungan yang kurang baik serta adanya retak pada pelat.

5.2 SARAN

Saran yang dihasilkan dari penelitian ini adalah, sebelum dilakukannya pelaksanaan di lapangan, harus dilakukannya perencanaan dengan data yang lengkap serta teliti dan matang. Sehingga mampu menghasilkan kualitas yang baik dnegan harga ekonomis. Pemilihan jenis material, dimensi tulangan, ketebalan perkerasan, dan waktu

pelaksanaan pekerjaan menjadi poin – poin penentu dalam terpenuhinya kekuatan dan harga yang sesuai dengan kebutuhan. Sehingga diharapkan mampu menghasilkan struktur perkerasan jalan yang sesuai dengan jenis jalan, kekuatan tanah serta kepadatan lalu lintas yang melewati jalan tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Afila, M., Rachman, M. S., Djakfar, L., & M. Ruslin Anwar. (2015). *Studi Alternatif Jalan Akses Ke Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- BOBIE, B. (2018). Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan Posong Kabupaten Murung Raya. *Buletin Profesi Insinyur*, 1(2), 56–61. <https://doi.org/10.20527/bpi.v1i2.20>
- Guminto, Nusa Sebayang, & Maranatha Wijayaningtyas. (2020). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Terhadap Berkurangnya Umur Rencana Konstruksi Jalan Hotmix Di Kabupaten Tulungagung. *Infomanpro*, 9(2), 17–27. <https://doi.org/10.36040/infomanpro.v9i2.3177>
- Gunawan, F. (2020). Penegakan Hukum terhadap Pelanggaran Kendaraan Angkutan Barang di Kota Pekanbaru Berdasarkan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. *Mizan: Journal of Islamic Law*, 4(2), 215–224. <https://doi.org/10.32507/mizan.v4i2.819>
- Hadijah, I., & Harizalsyah, M. (2017). Perencanaan Jalan Dengan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Analisa Komponen Bina Marga (Studi Kasus: Kabupaten Lampung *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)* ..., 6(2), 140–146. <http://ojs.umm metro.ac.id/index.php/tapak/article/view/422>
- Husaini, H. W., & Junoasmono, T. (2017). Peran Infrastruktur Jalan Pantura Jawa Dalam Rangka Mendukung Peningkatan Ekonomi Nasional. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.26593/jh.v3i1.2435.%25p>
- Ilpandari. (2018). *Analisis Desain Struktur Rigid Pavement Dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Pemodelan Dengan Software Kenpave-Kenslabs (Studi Kasus : Jalan Tol Semarang Solo Seksi III Bawen Salatiga)*. Master's thesis, Universitas Islam Indonesia.
- Jaya, F. H. (2016). Analisis Rancangan Perbandingan Metode (Bina Marga Dan Aashto 1993) Konstruksi Perkerasan Jalan Beton Dengan Lapis Tambahan Pada Kondisi Existing (Studi Kasus Ruas Jalan Marga Punduh Kabupaten Pesawaran). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 5(2), 140–153. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/tapak.v5i2.133>

- Kirom, I. (2020). Perencanaan Jalan Soekarno Hatta Pasuruan Dengan Sistem Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dan Rencana Anggaran Biaya. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(1), 69–78.
- Maharani, A., & Wasono, S. B. (2018). Perbandingan Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur” (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung). *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 89–94. <https://doi.org/10.25139/jprs.v1i2.1202>
- Masherni, M., Surandono, A., & ... (2020). ANALISIS PERENCANAAN PELAKSANAAN PEKERJAAN PERKERASAN KAKU/RIGID PAVEMENT RUAS PADANG RATUKALIREJO (LINK. 032) Sta. 0+ 000 s/d 0+ *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 9(2), 140–146. <https://www.ojs.ummetro.ac.id/index.php/tapak/article/view/1197>
- Nahyo, N., Sudarno, S., & Setiadji, B. H. (2019). Durabilitas Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (Hrs-Wc) Akibat Rendaman Menerus Dan Berkala Air Rob. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(2), 141–154. <https://doi.org/10.30601/jtsu.v1i2.14>
- Pemerintah Indonesia. (2019). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor KP.2072/AJ.001/DRJD.2019 tentang Penomoran Rute Jalan di Pulau Jawa*. Kementerian Perhubungan: Direktorat Jendral Perhubungan Darat.
- Ridwansyah, A. M., Putranto, Y. P., Djakfar, L., & Rahayu. (2016). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan Tol Karanganyar-solo. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2).
- Subagyo, S., & Nurokhman, N. (2021). Pengendalian Pekerjaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo. *CivETech*, 3(2), 66–81. <https://doi.org/10.47200/civetech.v3i2.1059>