

PENGARUH PANJANG SEGMENT PELAT BETON BERTULANG DAN JARAK TUMPUAN TIANG TERHADAP PENULANGAN *PILE SLAB*

Mohamad Fatchul Arifi⁽¹⁾, Wisnumurti⁽²⁾, Achfas Zacoeb⁽²⁾

Abstrak

Desain konstruksi jalan raya menggunakan struktur *pile slab* telah umum penerapannya dan banyak diaplikasikan di negara Indonesia. Demikian pula, analisis yang digunakan juga sudah mengacu pada standar atau peraturan yang disepakati kegunaannya untuk mendesain setiap elemen strukturnya. Peraturan yang dimaksud untuk mendesain adalah peraturan pembebanan untuk jembatan RSNI T-02-2005, karena konstruksi jalan dengan struktur *pile slab* memiliki keidentikan dengan tipe konstruksi jembatan. Adapun perilaku struktur *pile slab* dianalisis menggunakan metode portal ekuivalen untuk penentuan gaya-gaya dalamnya. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan panjang segmen pelat pada struktur *pile slab* terhadap hasil perencanaan dimensi dan tulangan, maka dilakukan sejumlah model desain sebanyak 3 (tiga) level panjang segmen pelat berturut-turut 8 m, 10 m dan 12 m dengan kombinasi diameter pilar 0,5 m dan 0,6 m. Sebagai tahap akhir hasil desain, diperoleh jumlah kebutuhan tulangan yang paling efisien adalah segmen pelat 8 m dengan diameter pilar 0,5 m, yaitu tulangan D16 - 100 untuk arah memanjang dan D16 - 200 untuk tulangan arah melintang. Tulangan bagi yang diperlukan adalah D13 - 200 untuk masing-masing arah pelat.

Kata-kata kunci: panjang segmen, jarak tumpuan tiang, diameter tumpuan tiang, *pile slab*, jumlah tulangan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan Makbul adalah salah satu ruas jalur alternatif di Kabupaten Sampang yang menghubungkan daerah swatantra tingkat II antara Kabupaten Bangkalan dan Kabupaten Pamekasan. Secara geografis jalan dengan trase sepanjang ±1,764 km ini dilalui oleh batang hari Sungai Kemuning yang merupakan sungai terbesar di Kabupaten Sampang. Masalah utama yang sering terjadi di ruas Jalan Makbul adalah banjir akibat luapan air Sungai Kemuning. Luapan air ini bertambah luas apabila datangnya banjir bersamaan dengan terjadinya air laut pasang dari Selat Madura.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk menanggulangi kerusakan jalan akibat banjir adalah pembangunan konstruksi jalan raya dengan menggunakan sistem struktur *pile slab*. Konstruksi jalan raya dengan struktur *pile slab* secara sederhana dapat didefinisikan sebagai struktur pelat/*slab* yang ditumpu oleh sistem grup tiang pancang/*pile*. Sasaran pemilihan tipe struktur *pile slab* ini umumnya berdasarkan pada beberapa aspek

keuntungan dari segi kecepatan dan kemudahan pelaksanaan, kekuatan, biaya pemeliharaan yang minimum, dan biaya konstruksi yang dapat disimulasikan antara bobot dan penilaian kriteria yang ditetapkan, sehingga bisa dicapai taraf ekonomis (Sholakhuddin, 2010).

Untuk menentukan kelayakan suatu pekerjaan konstruksi baik dari aspek teknis maupun finansial, perlu dilakukan perencanaan beberapa alternatif model desain rekayasa dan analisis biaya konstruksi dari hasil perencanaan tersebut. Oleh karena itu, untuk memberikan masukan alternatif desain konstruksi jalan raya menggunakan struktur *pile slab* di Jalan Makbul yang ekonomis dan efisien, perlu dilakukan analisis beberapa alternatif model desain struktur *pile slab*. Metode analisis dan kriteria desain struktur *pile slab* ini mengacu pada peraturan perencanaan teknik jembatan BMS 1992, serta untuk menganalisis harga satuan konstruksi menggunakan spesifikasi umum edisi 2010 (revisi 3) dari Kementerian Pekerjaan Umum – Direktorat Jenderal Bina Marga dan Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi (HSPK) Kabupaten Sampang tahun 2014.

⁽¹⁾Mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya

⁽²⁾Dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya

1.2 Rumusan Masalah

Pertanyaan penelitian yang disusun sebagai rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur *pile slab* sebagai salah satu alternatif desain konstruksi jalan raya di Jalan Makbul.
2. Berapa biaya yang dibutuhkan masing-masing alternatif model desain untuk pekerjaan konstruksi jalan raya menggunakan struktur *pile slab* di Jalan Makbul.
3. Manakah alternatif desain struktur *pile slab* yang paling ekonomis dan efisien untuk solusi kerusakan konstruksi jalan raya akibat banjir di Jalan Makbul.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan permasalahan yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya didasarkan pada aspek perencanaan.
2. Data-data survei yang digunakan untuk perencanaan adalah data sekunder yang diperoleh dari konsultan perencana yang telah ditunjuk sebagai pemenang tender perencanaan teknis infrastruktur jalan di Jalan Makbul, Kabupaten Sampang-Madura tahun 2014.
3. Analisis dilakukan berdasarkan teori batas/*ultimate*.
4. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c$ 35 MPa.
5. Mutu baja yang digunakan adalah f_y 390 MPa.
6. Diameter tiang pancang yang digunakan adalah 500 mm dan 600 mm.
7. Variasi panjang bentang adalah 8.000 mm, 10.000 mm, dan 12.000 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana merencanakan struktur *pile slab* sebagai salah satu alternatif desain konstruksi jalan raya di Jalan Makbul.
2. Berapa biaya yang dibutuhkan masing-masing alternatif model desain untuk pekerjaan konstruksi jalan raya menggunakan struktur *pile slab* di Jalan Makbul.

3. Mengetahui alternatif desain struktur *pile slab* mana yang paling ekonomis dan efisien untuk solusi kerusakan konstruksi jalan raya akibat banjir di Jalan Makbul.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memiliki manfaat bagi banyak pihak, diantaranya adalah:

1. Menjadi referensi penelitian mengenai struktur *pile slab* bagi para akademisi dan praktisi teknik sipil khususnya bidang rekayasa konstruksi jalan raya.
2. Memberi alternatif desain bagi pihak *stakeholder* sebagai solusi untuk menghindari masalah kerusakan struktur di Jalan Makbul akibat banjir.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya tentang struktur *pile slab*.

2. METODOLOGI

2.1. Profil Umum Jalan Makbul

Jalan Makbul di Kabupaten Sampang adalah salah jalur alternatif penghubung antara Kabupaten Bangkalan dan Kabupaten Pamekasan. Dari hasil pengukuran menggunakan *walking measure*, jalur alternatif yang berada pada koordinat awal ruas $7^{\circ} 12' 21,75''$ LS - $113^{\circ} 34' 41,05''$ BT dan akhir ruas $7^{\circ} 12' 20,00''$ LS - $113^{\circ} 14' 15,03''$ BT ini memiliki panjang trase $\pm 1,764$ km. Gambaran umum kondisi Jalan Makbul dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

Tabel II.1. Tabulasi Gambaran Umum Jalan Makbul

Nama Ruas	Jalan Makbul/Jalan Haji Makbul
Batas Awal Ruas	Simpang Tiga: Jl. K.H. Agus Salim; Jl. Diponegoro; Jl. Makbul
Batas Akhir Ruas	Simpang Tiga: Jl. Rajawali; Jl. Makbul
Karakteristik Fisik	- Panjang trase $\pm 1,764$ km - Lebar perkerasan 6 sd 7,4 m - Lebar bahu jalan 1,2 sd 1,8 m - Perkerasan <i>existing</i> menggunakan perkerasan lentur
Tata Guna Lahan	- Permukiman di awal dan akhir ruas - Tambak garam - Sawah - Beberapa lahan kosong dan TPU
Keterangan Lainnya	- Saluran tepi pasangan batu ± 700 m di akhir ruas - Jembatan 2 (dua) buah dengan bentang 50 m dan 8 m

Sumber: CV. Dhiratama Cipta Persada (2014)

2.2. Data Lapangan (Jalan Makbul)

Data Jalan Makbul yang digunakan untuk membuat perencanaan konstruksi jalan raya dengan struktur *pile slab* ini adalah data survei yang diperoleh dari CV. Dhiratama Cipta Persada dari Kota Malang, yaitu konsultan perencana yang telah ditunjuk sebagai pemenang lelang pekerjaan perencanaan teknis infrastruktur Jalan Makbul di Kabupaten Sampang tahun 2014.

2.2.1. Data Geometri

kondisi geometris Jalan Makbul yang dapat diketahui dengan pengukuran secara manual menggunakan alat bantu meteran gulung adalah sebagai berikut:

- Panjang trase jalan : 1,764 km
- Lebar perkerasan : 6 s.d 7,4 m
- Lebar bahu jalan : 1,2 s.d 1,8 m

2.2.2. Data Topografi

Data topografi dibutuhkan sebagai dasar penggambaran peta situasi dan desain garis kontur ruas jalan yang direncanakan. Dari penggambaran peta situasi dan garis kontur tersebut diperoleh kondisi tata ruang *existing* jalan yang akan dijadikan acuan perencanaan elemen geometrik *pile slab*. Kondisi topografi Jalan Makbul adalah sebagai berikut:

- Koordinat awal ruas : 7° 12' 21,75" LS dan 113° 34' 41,05" BT
- Koordinat akhir ruas : 7° 12' 20,00" LS dan 113° 14' 15,03" BT
- Elevasi awal ruas : +10,2 mdpl
- Elevasi akhir ruas : +9,7 mdpl

2.3. Kriteria Desain Jembatan Menurut Direktorat Bina Teknik dalam Pasal Pokok-pokok Perencanaan

Jembatan direncanakan untuk mudah dilaksanakan serta memberikan manfaat bagi pengguna lalu lintas sesuai dengan pokok-pokok perencanaan:

1. Kekuatan dan Stabilitas Struktur
2. Kenyamanan dan Keamanan
3. Kemudahan (pelaksanaan dan pemeliharaan)
4. Ekonomis
5. Pertimbangan aspek lingkungan, sosial dan aspek keselamatan jalan
6. Keawetan dan kelayanan jangka panjang
7. Estetika

2.4. Perencanaan Sistem Pelat Dua Arah dengan Metode Portal Ekuivalen (*Equivalent Frame Method/EFM*)

Metode portal ekuivalen adalah metode desain pelat yang meliputi analisis elastis dari portal struktur yang terdiri dari sebaris kolom ekuivalen dan elemen-elemen pelat horizontal. Dalam perencanaan pelat dengan menggunakan metode portal ekuivalen terdapat beberapa tinjauan, diantaranya:

1. Asumsi pada Balok-Pelat

Asumsi ini berkenaan dengan anggapan rangka-rangka ekuivalen pada garis-garis kolom yang diambil dalam arah longitudinal dan transversal. Masing-masing rangka terdiri dari sebaris kolom atau tumpuan dan lajur pelat-balok, dibatasi dalam arah lateral oleh garis tengah panel pada masing-masing sisi dari sumbu kolom atau tumpuan. Nilai lebar jalur kolom (l_{jk}) dan lebar jalur tengah (l_{jp}) yang terbentuk dari asumsi tersebut, adalah nilai terkecil dari persamaan-persamaan,

$$(0,25L_{2kiri}) + (0,25L_{2kanan}) \dots\dots\dots(\text{II.1.a})$$

$$(0,25L_{2kiri}) + (0,25L_1) \dots\dots\dots(\text{II.1.b})$$

$$(0,25L_1) + (0,25L_{2kanan}) \dots\dots\dots(\text{II.1.c})$$

$$0,5L_1 \dots\dots\dots(\text{II.1.d})$$

Sedangkan lebar jalur tengah (l_{jp}) ditentukan dengan persamaan,

$$l_{jp} = 0,5L_{2kiri} + 0,5L_{2kanan} \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

Nilai L_2 adalah notasi-dimensi dari garis maya yang dibentuk untuk membatasi garis tengah panel rangka ekuivalen sebelah dalam yang akan dianalisis untuk masing-masing arah.

2. Asumsi pada Kolom Ekuivalen

Kolom dianggap menyatu dengan balok-pelat transversal terhadap bentang yang ditinjau melalui aksi torsi. Aksi torsi dari balok-pelat transversal akan mengurangi kekakuan lentur efektif dari kolom aktual. Efek ini diperhitungkan pada analisis dalam bentuk kolom ekuivalen yang memiliki kekakuan lentur lebih kecil dari kolom aktualnya.

3. Kekakuan Lentur K_{ek}

Besarnya nilai kekakuan lentur kolom ekuivalen K_{ek} dapat ditentukan melalui persamaan,

$$\frac{1}{K_{ek}} = \frac{1}{\Sigma K_k} + \frac{1}{K_t} \dots \dots \dots (II.3)$$

dengan,

K_{ek} = kekakuan lentur kolom ekuivalen

ΣK_k = jumlah kekakuan lentur kolom aktual dari kolom atas dan bawah pelat

K_t = kekakuan puntir dari penahan puntir (*torsion arm*)

4. Kekakuan Torsi K_t

Besarnya nilai kekakuan torsi K_t dapat ditentukan melalui persamaan,

$$K_t = \Sigma \frac{9E_{BP} C}{L_2(1-\frac{c_2}{L_2})^3} \dots \dots \dots (II.4)$$

dengan,

E_{BP} = modulus elastisitas balok-pelat

c_2 = ukuran kolom/kepala kolom dalam arah lateral

L_2 = lebar balok-pelat yang ditinjau

C = konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir

5. Konstanta C untuk Puntir

Konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir C dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$C = \Sigma \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} \dots \dots \dots (II.5)$$

dengan,

x = dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi suatu penampang (mm)

y = dimensi keseluruhan yang lebih panjang dari bagian persegi suatu penampang (mm)

6. Kuat Geser Pons (*Punch Shear*)

Besar kapasitas geser beton pada keruntuhan geser pons ditentukan berdasarkan persamaan,

$$f_{cv} = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_h}\right) \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (II.6)$$

dengan,

f'_c = kuat tekan beton

β_h = rasio dari diameter penampang kritis terhadap tebal pelat

2.5. Pembebanan Jembatan Menurut RSNI T-02-2005

Standar ini menetapkan ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan. Beban-beban, aksi-aksi dan metode penerapannya boleh dimodifikasi dalam kondisi tertentu, dengan seizin pejabat yang berwenang.

Aksi rencana digolongkan kedalam aksi tetap dan transien. Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan. Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal, yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor yang memadai. Seluruh pengaruh aksi rencana harus mengambil faktor beban yang sama, apakah itu biasa atau berkurang. Hal tersebut dilakukan untuk menentukan keadaan paling berbahaya yang harus diambil dalam menganalisis struktur jembatan.

2.6. Desain dan Perencanaan Struktur *Pile Slab*

Pada tahap desain dan analisis elemen pelat untuk variabel bebas dengan panjang bentang pelat berurut-urut 8.000 mm, 10.000 mm dan 12.000 mm, serta lebar pelat yang ditetapkan seragam sebesar 10.000 mm, pelat dianalisis secara semi elastis menggunakan metode portal ekuivalen. Desain dan analisis untuk tiap level dilakukan terhadap masing-masing diameter tiang pancang berturut-turut 500 dan 600 mm. Dari kombinasi ketiga level pada faktor panjang pelat terhadap diameter tiang pancang ini akan diperoleh jumlah kebutuhan tulangnya.

2.7. Analisis Mekanika Teknik

Proses analisis gaya-gaya dalam struktur *pile slab* ini akan dilakukan menggunakan program analisis struktur berbasis komputer dengan pemodelan struktur portal 2D (*2D frame*). Sebelum struktur dianalisis menggunakan program, parameter-parameter yang menentukan karakteristik portal ekuivalen seperti lebar jalur kolom (I_{jk}), lebar jalur panel (I_{jp}) dan kekakuan kolom ekuivalen (K_{ek}) harus dipenuhi.

2.8. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Prosedur yang harus dilakukan untuk mengetahui jumlah biaya konstruksi adalah dengan cara melakukan analisis anggaran biaya untuk setiap model desain, kemudian dibandingkan nilai keekonomisan dan tingkat efisiensinya. Analisis biaya konstruksi dalam penelitian ini mencakup

biaya bahan, upah buruh dan peralatan. Analisis tersebut mengacu pada ketentuan dan standar spesifikasi umum 2010 revisi 3, Analisis Harga Satuan (AHS) tahun 2014 yang telah dipublikasikan oleh Kementerian Pekerjaan Umum – Direktorat Jendral Bina Marga melalui Direktorat Bina Teknik dan Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi (HSPK) Kabupaten Sampang tahun 2014.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Lebar Jalur Kolom (l_{jk}) dan Lebar Panel (l_{jp})

Penentuan nilai lebar jalur kolom (l_{jk}) dan lebar panel (l_{jp}) ini meliputi kedua arah segmen pelat, yaitu longitudinal dan transversal, serta untuk semua segmen pelat dengan diameter pilar 0,5 m dan 0,6 m. Menggunakan persamaan II.1.a s.d II.1.d dan II.2, diperoleh nilai-nilai pada Tabel III.1 dan III.2.

Tabel III.1. Rekapitulasi Hasil Penentuan Lebar Jalur Kolom (l_{jk}) dan Lebar Panel (l_{jp})

Panjang Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar d (m)	Arah Potongan	Lebar Jalur Kolom l_{jk} (m)	Lebar Panel l_{jp} (m)
8	0,5	Transversal	1,25	3,00
		Longitudinal	1,25	2,50
	0,6	Transversal	1,25	3,00
		Longitudinal	1,25	2,50
10	0,5	Transversal	1,25	2,50
		Longitudinal	1,25	2,50
	0,6	Transversal	1,25	2,50
		Longitudinal	1,25	2,50
12	0,5	Transversal	1,20	2,40
		Longitudinal	1,20	2,50
	0,6	Transversal	1,20	2,40
		Longitudinal	1,20	2,50

3.2. Analisis Kekakuan Lentur Kolom Ekuivalen (K_{ek})

Sebagaimana proses penentuan nilai lebar jalur kolom (l_{jk}) dan lebar panel (l_{jp}) sebelumnya, analisis kekakuan lentur kolom ekuivalen (K_{ek}) ini juga meliputi kedua arah segmen pelat, yaitu longitudinal dan transversal, serta untuk semua segmen pelat berdiameter pilar 0,5 m dan 0,6 m. Dengan menggunakan parameter-parameter kekakuan torsi (K_t) dan jumlah kekakuan lentur kolom (ΣK_k), diperoleh nilai K_{ek} sebagai berikut:

Tabel III.2. Rekapitulasi Hasil Penentuan Kekakuan Lentur Kolom (K_{ek})

Panjang Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar d (m)	Arah Potongan	Kekakuan Lentur Kolom Ekuivalen (K_{ek})	Panjang Jepit* Kolom Ek. (L_{ek})
8	0,5	Transversal	32,555	5,232
		Longitudinal	32,555	5,232
	0,6	Transversal	62,459	5,344
		Longitudinal	62,459	5,344
10	0,5	Transversal	32,939	5,171
		Longitudinal	32,939	5,171
	0,6	Transversal	32,939	5,171
		Longitudinal	63,532	5,235
12	0,5	Transversal	33,015	5,159
		Longitudinal	33,015	5,159
	0,6	Transversal	33,015	5,159
		Longitudinal	63,746	5,236

*Panjang jepit kolom ekuivalen (L_{ek}) adalah panjang kolom ekuivalen yang akan digunakan untuk menganalisis portal secara komputasi menggunakan program analisis struktur.

3.3. Analisis Pembebanan

Beban-beban yang dianalisis pada portal ini adalah beban-beban kerja yang sesuai dengan standar peraturan pembebanan yang berlaku di Indonesia untuk jembatan beton bertulang menurut RSNI T-02-2005. Jenis-jenis beban kerja yang dimaksud adalah Berat Sendiri (M_S), Beban Mati Tambahan (M_A), Beban Truk "T" (T_T), serta Pengaruh Temperatur (E_T).

3.3.1. Analisis Pembebanan untuk Portal Arah Transversal

Beban-beban yang dianalisis pada portal arah transversal ini meliputi beban-beban kerja yang disebutkan pada pasal 3.3 dengan tambahan beban yang bekerja akibat adanya trotoar. Penambahan beban kerja akibat adanya trotoar pada portal sesi ini dikarenakan badan jalan secara melintang, yang dalam hal ini adalah sama dengan arah transversal portal, memuat bagian-bagian di mana trotoar berada.

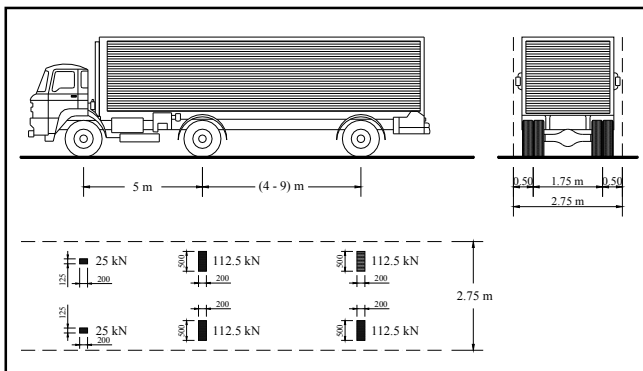
Model pembebanan truk pada portal sesi ini adalah letak beban roda "T" yang bekerja pada lantai jembatan yang difungsikan sebagai jalur lalu lintas dan dapat berpindah-pindah di sepanjang jalur lalu lintas dengan ketentuan,

- 1) lebar ruang bagi kendaraan 2,75 m

2) jarak antar as roda belakang 17,5 m

3.3.2. Analisis Pembebanan untuk Portal Arah Longitudinal

Beban-beban kerja yang dianalisis pada portal arah longitudinal ini tidak memuat beban akibat adanya trotoar di dalamnya. Hal ini karena pada potongan memanjang badan jalan tidak terdapat trotoar. Untuk model pembebanan truk, terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada gambar **RSNI T-02-2005** Pasal **6.4.1**.



Sumber: RSNI T-02-2005

Gambar III.1. Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 (dua) beban terpusat sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4 sampai 9 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Untuk mendapatkan nilai momen dan geser maksimum dapat dilakukan dengan meletakkan beban pada beberapa kondisi yang dianggap paling menentukan.

3.4. Hasil Analisis

Dari hasil-hasil yang telah diperoleh pada langkah analisis yang sebelumnya, proses analisis portal ekuivalen secara manual dapat dilanjutkan pada proses analisis menggunakan program bantu analisis struktur berbasis komputer. Berikut ini akan diberikan rekapitulasi hasil analisis berupa gaya-gaya dalam dari seluruh segmen pelat dan pilar melalui **Tabel III.3**.

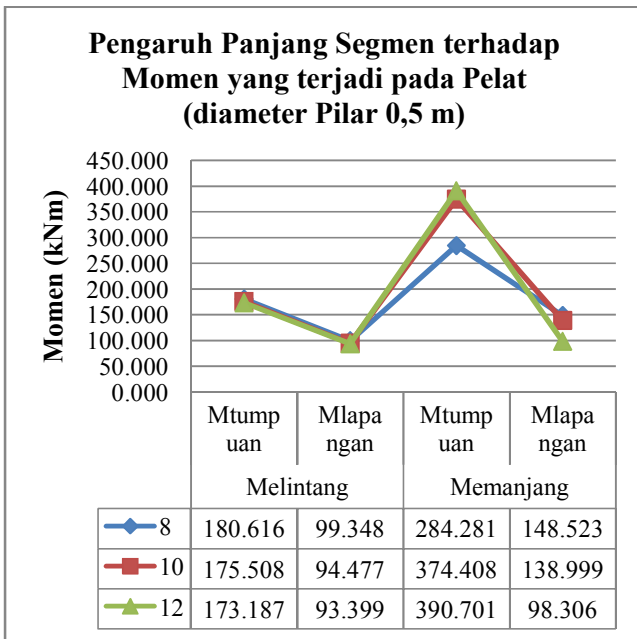
Tabel III.3. (a) Rekapitulasi Gaya-gaya Dalam Maksimum yang Bekerja pada Pelat dan Pilar dari Portal Arah Transversal

p. Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar (m)	Pelat		Pilar	
		$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)	F_x (kN)	$M_{ultimate}$ (kNm)
8	0,5	180,616	99,348	508,304	96,918
	0,6	214,842	90,478	543,046	158,144
10	0,5	175,508	94,477	492,776	95,702
	0,6	234,431	85,695	526,760	154,625
12	0,5	173,187	93,399	487,165	95,742
	0,6	231,648	84,634	520,952	154,204

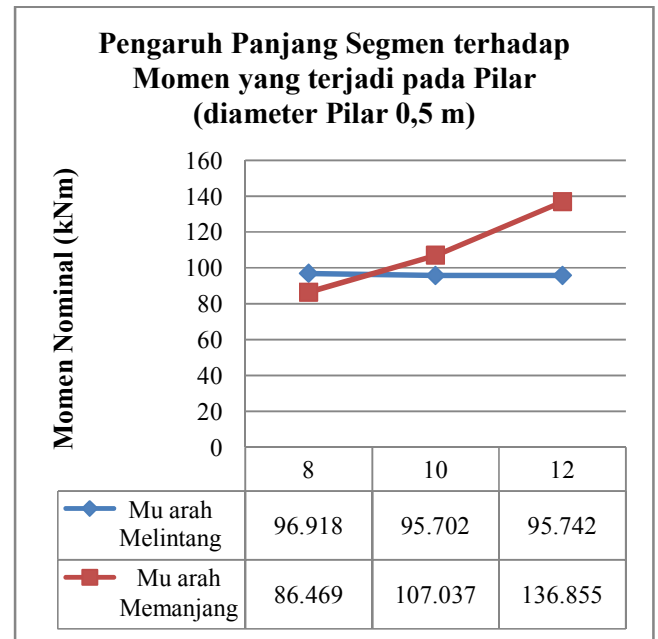
Tabel III.3. (b) Rekapitulasi Gaya-gaya Dalam Maksimum yang Bekerja pada Pelat dan Pilar dari Portal Arah Longitudinal

p. Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar (m)	Pelat		Pilar	
		$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)	F_x (kN)	$M_{ultimate}$ (kNm)
8	0,5	284,281	148,523	463,061	86,489
	0,6	288,176	127,775	471,014	137,137
10	0,5	374,408	138,999	528,049	107,037
	0,6	390,592	127,433	549,235	174,935
12	0,5	390,701	98,306	542,635	136,855
	0,6	429,295	87,180	580,595	225,856

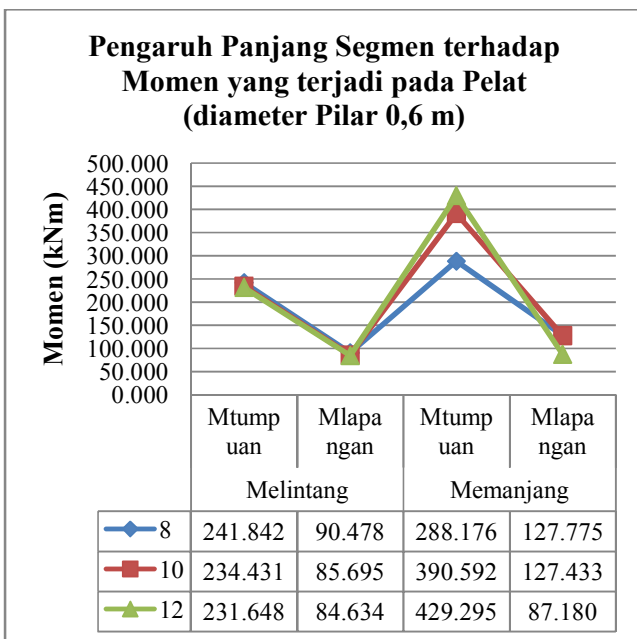
Dari rekapitulasi gaya-gaya dalam arah melintang dan memanjang pelat serta pilar yang telah ditabulasikan sebelumnya, berikut ditampilkan berbanding dalam bentuk grafik. Penyajian grafik hasil rekapitulasi gaya-gaya dalam bertujuan agar tren akibat pengaruh variasi panjang segmen dan diameter pilar dapat diamati.



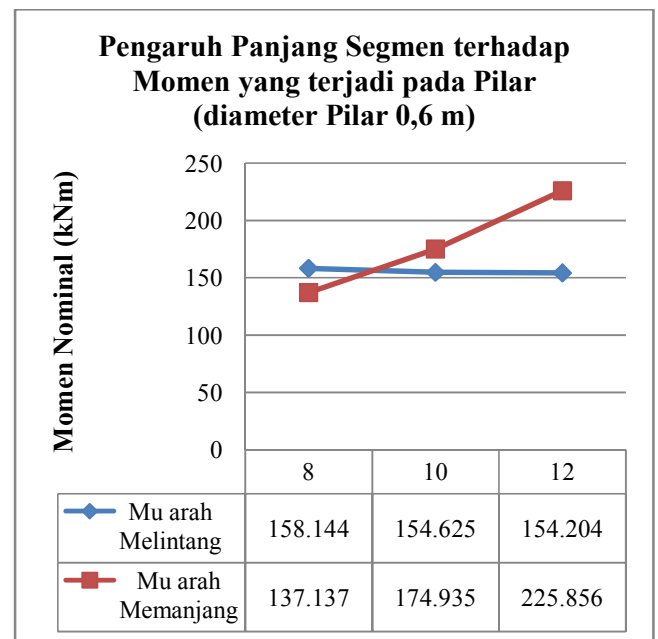
Gambar III.2. (a) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Momen yang terjadi pada Pelat dengan Diameter Pilar 0,5 m



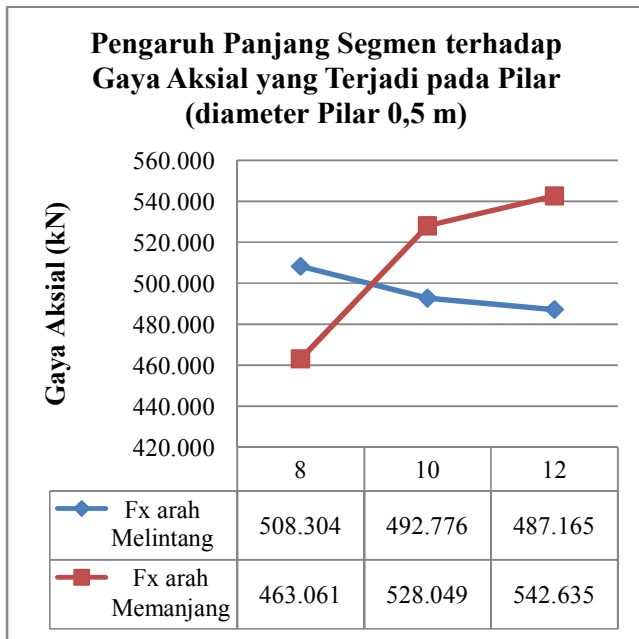
Gambar III.3. (a) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Momen yang terjadi pada Pilar dengan Diameter Pilar 0,5 m



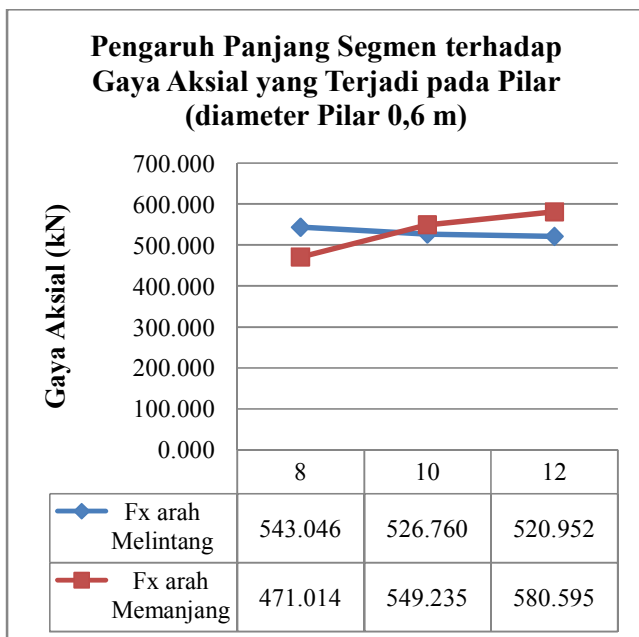
Gambar III.2. (b) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Momen yang terjadi pada Pelat dengan Diameter Pilar 0,6 m



Gambar III.3. (b) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Momen yang terjadi pada Pilar dengan Diameter Pilar 0,6 m



Gambar III.4. (a) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Gaya Aksial yang terjadi pada Pilar dengan Diameter Pilar 0,5 m



Gambar III.4. (b) Grafik Pengaruh Panjang Segmen terhadap Gaya Aksial yang terjadi pada Pilar dengan Diameter Pilar 0,6 m

3.5. Penulangan Pelat

Berikut ini diberikan rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan tulangan pelat dari seluruh segmen pelat untuk kedua diameter melalui **Tabel III.4.**

Tabel III.4. (a) Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pelat untuk Arah Transversal

Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar (m)	Jenis Tulangan					
		Tump.		Lap.		Bagi	
		dim (mm)	jarak (mm)	dim (mm)	jarak (mm)	dim (mm)	jarak (mm)
8	0,5	D16	200	D16	200	D13	200
	0,6	D16	100	D16	200	D13	200
10	0,5	D16	200	D16	200	D13	200
	0,6	D16	200	D16	200	D13	200
12	0,5	D16	200	D16	200	D13	200
	0,6	D16	150	D16	150	D13	200

Tabel III.4. (b) Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pelat untuk Arah Longitudinal

Segmen Pelat (m)	Dim. Pilar (m)	Jenis Tulangan					
		Tump.		Lap.		Bagi	
		dim (mm)	jarak (mm)	dim (mm)	jarak (mm)	dim (mm)	jarak (mm)
8	0,5	D16	100	D16	200	D13	200
	0,6	D16	100	D16	200	D13	200
10	0,5	D19	125	D19	250	D13	200
	0,6	D19	125	D19	250	D13	200
12	0,5	D19	100	D19	200	D13	200
	0,6	D19	100	D19	200	D13	200

3.6. Biaya Konstruksi

Hasil analisis besar biaya konstruksi untuk seluruh desain segmen pelat dengan masing-masing diameter pilar, akan diberikan dalam **Tabel III.5.** Besar biaya konstruksi yang dihitung adalah berdasarkan perkiraan kebutuhan bagian strukturnya saja (besi tulangan dan volume pekerjaan beton).

Tabel III.5. (a) Rekapitulasi Perkiraan Harga Pekerjaan Struktur untuk Segmen-segmen Pelat dengan Diameter Pilar 0,5 m

No. Divisi	Uraian	Segmen 8 m	Segmen 10 m	Segmen 12 m
		Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
7	Struktur	67.225.985,60	70.442.991,56	73.633.770,56
(A)	Jumlah Harga Pekerjaan (<i>termasuk biaya umum dan keuntungan</i>)	67.225.985,60	70.442.991,56	73.633.770,56
(B)	Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 10% x (A)	6.722.598,56	7.044.299,16	7.363.377,06
(C)	Jumlah Total Harga Pekerjaan = (A) + (B)	73.948.584,16	77.487.290,71	80.997.147,62
(D)	Jumlah Total Dibulatkan	73.948.000,00	77.487.000,00	80.997.000,00

Tabel III.5. (b) Rekapitulasi Perkiraan Harga Pekerjaan Struktur untuk Segmen-segmen Pelat dengan Diameter Pilar 0,6 m

No. Divisi	Uraian	Segmen 8 m	Segmen 10 m	Segmen 12 m
		Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
7	Struktur	77.428.802,58	80.819.280,27	85.022.566,51
(A)	Jumlah Harga Pekerjaan (<i>termasuk biaya umum dan keuntungan</i>)	77.428.802,58	80.819.280,27	85.022.566,51
(B)	Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 10% x (A)	7.742.880,26	8.081.928,03	8.502.256,65
(C)	Jumlah Total Harga Pekerjaan = (A) + (B)	85.171.682,84	88.901.208,30	93.524.823,16
(D)	Jumlah Total Dibulatkan	85.171.000,00	88.901.000,00	93.524.000,00

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berikut ini adalah beberapa poin sebagai simpulan hasil desain dan analisis:

- Dimensi lebar jalur panel (l_{jp}) sangat dipengaruhi oleh tata-letak atau jarak-jarak antar pilar. Selanjutnya lebar jalur panel ini menentukan nilai kekakuan dari balok-pelatnya.
- Selain mempengaruhi penentuan nilai kekakuan balok-pelat, lebar jalur panel juga memiliki pengaruh terhadap daya dukung terhadap rotasi dari ujung sebelah luar pelat melalui hubungan kekakuan lentur dari kolom-kolom (ΣK_k) yang terletak di sebelah luar dan kekakuan puntir dari lengan torsinya (K_t) dalam fungsi persamaan $\frac{1}{K_{ek}} = \frac{1}{\Sigma K_k} + \frac{1}{K_t}$
- Nilai kekakuan kolom (K_k) ditentukan oleh diameter pilar (d) yang digunakan. Semakin besar diameter kolom, maka semakin besar pula kekakuan kolomnya.
- Selain berpengaruh pada nilai kekakuan kolom (K_k), diameter pilar (d) juga menjadi faktor pengaruh besarnya nilai kekakuan

torsi (K_t) melalui fungsi persamaan $K_t = \Sigma \frac{9E_{BP} C}{L_2(1-\frac{c_2}{L_2})^3}$, dengan $c_2 = d$.

- Sehingga, dengan demikian perbedaan panjang segmen-segmen pelat, jarak tumpuan tiang serta diameter-diameter pilarnya mengindikasikan bahwa perbedaan parameter-parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap masing-masing hasil desain.
- Alternatif desain struktur *pile slab* yang paling ekonomis dan efisien adalah desain kombinasi segmen pelat 8 m dengan diameter pilar 0,5 m, dengan harga pekerjaan strukturnya adalah senilai Rp 73.948.000,00 per meternya.

5.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Untuk memperoleh hasil desain yang lebih variatif, maka perlu dilakukan pemodelan awal geometris yang lebih bervariasi pula.
- Agar proses belajar dapat berkelanjutan, maka perlu dilakukan penelitian-penelitian yang lebih lanjut untuk mendesain

konstruksi *pile slab* dengan menggunakan metode-metode lainnya yang sesuai dan aplikatif bagi desain pelat.

- Agar diperoleh hasil penelitian yang lebih luas cakupan pembahasannya, maka batasan-batasan masalah yang ada pada penelitian ini dapat dikembangkan sedemikian rupa apabila hendak dilakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2004). RSNI T-02-2005: Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan.
- CV. Dhiratama Cipta Persada. (2014). Laporan Hasil Survei: Pekerjaan Teknis Peningkatan Infrastruktur Jalan Makbul Kabupaten Sampang. Malang.
- Direktorat Bina Program Jalan. (1992). Sistem Manajemen Jembatan-BMS: Peraturan Perencanaan Jembatan: Bagian 2 Beban Jembatan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Bina Teknik. (2010). Perencanaan Teknik Jembatan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Merdana, I.N. (2013). Struktur Beton 2: Perencanaan Pelat Dua Arah Metode Portal Ekuivalen. Mataram: *unpublished*.
- Nawy, E.G. (1990). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. Terj. Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. ERESCO.
- Solakhuddin, D. (2010). Kajian Teknis Perbandingan Penerapan Tipe Konstruksi Cakar Ayam *Modified*, Konstruksi *Precast Road on Pile* dan Konstruksi *Pile Slab* pada Pembangunan Jalan Tol Simpang Susun Waru-Juanda Sidoarjo, Jawa Timur. Surabaya: *unpublished*.
- Tomlinson, M.J. (1994). *Pile Design and Construction Practice Fouth edition*. London: E & FN SPON.
- Vis, W.C., & Kusuma, G. (1993). Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang: Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, Seri Beton 1. Editor: Binsar Hariandja. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wang, C-K. (1987). *Intermediate Structural Analysis*. Terj. Kusuma Wirawan & Mulyadi Nataprawira. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wang, C-K., & Salmon, C.G. (1989). *Reinforced Concrete Design, Fourth edition*. Terj. Binsar Hariandja. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wight, K.W., & MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design, Sixth edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Winter, G., & Nilson, A.H. (1993). Perencanaan Struktur Beton Bertulang. Terj. Tim Editor & Penerjemah ITB. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.