

BAB IX

TOPIK KHUSUS

JACKETING PADA BOX PEDESTRIAN

9.1 Latar Belakang

Pada *Box Pedestrian* Sta, 41+572 (Jembatan Basian) terjadi keretakan cukup lebar yang merupakan kerusakan struktural hingga mengakibatkan tulangan terlihat. Keretakan ini terjadi pada bagian ujung atas Top *Box Pedestrian* akibat konsolidasi *settlement* yang tidak merata di sisi barat dengan sisi timur yang tercatat hingga 70 mm.

Berdasarkan kondisi tersebut diperlukan rekomendasi perbaikan dan perkuatan pada struktur eksisting *Box Pedestrian* sebagai bentuk penanganan terhadap kerusakan yang terjadi agar *Box Pedestrian* dapat digunakan kembali sebagaimana mestinya dan memberikan jaminan keamanan serta kenyamanan bagi penggunaanya.

Keretakan pada BP Basian sebagaimana disebutkan sebelumnya terjadi akibat:

- a. Timbunan tanah yang berada di atas masing-masing *Box Pedestrian* merupakan tanah batuan yang membebani *Box Pedestrian*, dimana sebelumnya timbunan tanah tersebut direncanakan dengan dengan tanah urugan.
- b. Terdapat timbunan tanah batuan setinggi +4.2 pada area *Box Pedestrian* Basian, yang nanti nya akan di timbun hingga ketinggian +5m

Terjadi perbedaan besarnya *differential settlement* pada sisi timur dan sisi barat masing masing *Box Pedestrian*, dimana pada sisi barat penurunan tertahan oleh abutmen jembatan sedangkan pada sisi timur terjadi penurunan bebas. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya momen yang memuntir *Box Pedestrian* pada bagian ujung sehingga terbentuk keretakan

9.2 Tinjauan Pustaka

Salah satu metode perkuatan yang umum digunakan pada struktur beton yang mengalami kerus akan seperti pada *Box Pedestrian* STA 41+572 adalah metode *Jacketing*. *Jacketing* merupakan teknik rehabilitasi dan perkuatan dengan cara menambahkan lapisan baru yang membungkus elemen beton eksisting, baik menggunakan beton bertulang, baja, maupun komposit, sehingga terbentuk *composite action* antara struktur lama dan elemen perkuatannya.

Pada kasus *Box Pedestrian* yang mengalami keretakan akibat *differential settlement* dan momen puntir yang muncul di ujung struktur, *Jacketing* dapat diterapkan untuk memulihkan kapasitas struktur, memperbaiki kerusakan lokal seperti retak dan korosi tulangan, serta meningkatkan kekakuan dan ketahanan terhadap pembebanan lanjutan. Selain itu, metode ini dapat dilakukan tanpa membongkar seluruh elemen, sehingga cocok digunakan untuk penanganan struktur eksisting yang masih berfungsi di lapangan Pekerjaan *Jacketing*.

9.3 Lokasi

Berikut lokasi kasus keretakan pada *Box Pedestrian* Sta. 41+572 (Jembatan Basian):



Gambar 9.1 Lokasi Keretakan *Box Pedestrian*
 Sumber: Google Map (2025)

9.4 Kondisi Visual Eksisting

Kondisi visual pada *Box Pedestrian* Sta. 41+572 (Sebelah Jembatan Basian) dimana telah terjadi beberapa keretakan yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 9.2 Kondisi Keretakan Pada *Box Pedestrian* Basian
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)



Gambar 9.3 Keretakan *Box Pedestrian* Basian Pada Sisi Utara
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)



Gambar 9.4 Keretakan *Box Pedestrian* Basian Pada Sisi Selatan
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.5 Data Perencanaan dan Pembebanan

Data perencanaan dan pembebanan berikut digunakan sebagai acuan dalam analisis perkuatan struktur *Box Pedestrian*, mencakup spesifikasi material, parameter pembebanan, serta asumsi teknis yang diperlukan dalam proses perhitungan.

9.5.1 Data dan Spesifikasi Material

1. Elemen struktur beton K-250 untuk struktur *Box Pedestrian* eksisting
 Kuat Tekan = 250 kg/cm^2 atau $f_c = 20 \text{ Mpa}$
3. Elemen struktur beton K-350 untuk perkuatan *Jacketing* struktur *Box Pedestrian*
 Kuat Tekan = 350 kg/cm^2 atau $f_c = 20 \text{ Mpa}$
4. Tulangan tarik baja menggunakan mutu BJTS 420
 Tegangan leleh (f_y) = 420 Mpa

9.5.2 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

a. Beban Mati

Beban mati pada perencanaan ini adalah berat sendiri dari masing - masing elemen struktur. Besarnya beban-beban mati tersebut secara otomatis diperhitungkan oleh program bantu SAP2000 berdasarkan berat jenis material yang terdiridari:

1. Beton $= 2500 \text{ kg/m}^3$
2. Tulangan baja $= 7850 \text{ kg/m}^3$

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan merupakan komponen nonstruktural yang bersifat tetap dan permanen. Adapun beban mati tambahan yang diperhitungkan berupa urugan tanah berbatu, $\gamma_t = 2000 \text{ kg/m}^3$

c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dasar yang digunakan yaitu ID, dimana D adalah *dead load* (beban mati termasuk beban mati tambahan).

9.5.3 Permodelan Struktur

Bagian ini memuat masukan dan keluaran hasil analisa struktur *Box Pedestrian STA 41+572* (Jembatan Basian), yang dianalisis menggunakan program bantu SAP2000.

9.5.4 Data Masukan

1. Data Material

Pendetailan material yang digunakan dalam perencanaan berupa material elemen beton (Gambar 9.5) sebagai berikut:

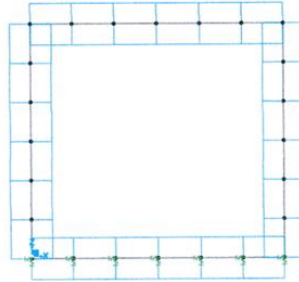
The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (FC 20), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' (fc 20), and 'Material Notes' (Modify/Show Notes...). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (2.452E-05) and 'Mass per Unit Volume' (2.500E-09). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (21019.039), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9.900E-06), and 'Shear Modulus, G' (8757.9329). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c' (20), 'Expected Concrete Compressive Strength' (20), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 9.5 Input elemen struktur beton K-250 pada SAP2000.

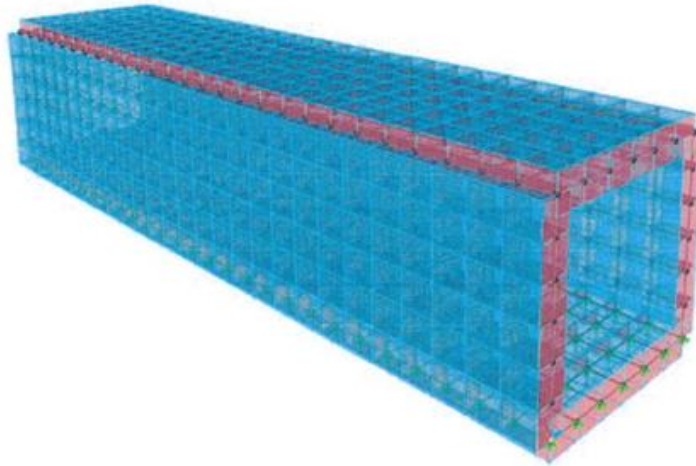
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

2. Permodelan Struktur

Analisa struktur pada program bantu SAP2000 dilakukan pada Box Pedestrian Sta. 41+512 (Jembatan Basian) Geometrik model *Box Pedestrian* dapat dilihat pada Gambar bawah ini:



Gambar 9.6 Analisa Struktur Tampak Depan
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

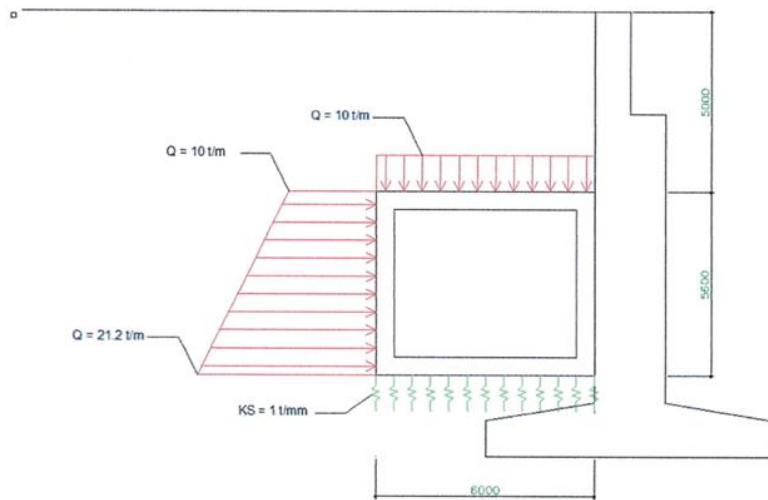


Gambar 9.7 Analisa Struktur Perspektif 3D
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

3. Boundary Condition

Kondisi batas yang diberikan pada model *Box Pedestrian*, yaitu:

Settlement yang terjadi pada sisi timur *Box Pedestrian* Basian sebesar -102 mm sedangkan pada sisi barat sebesar -32 mm (Gambar 1.2), sehingga elevasi sisi timur dan sisi barat struktur *Box Pedestrian* memiliki selisih 70 mm ditambah 15 mm sebagai prediksi penambahan konstruksi hingga pelat lantai, dan ditambah 15mm sebagai representasi penurunan lebih lanjut untuk faktor keamanan. Skema Pembebanan Pada Model *Box Pedestrian* Basian ditunjukkan pada tabel 9.6 berikut:

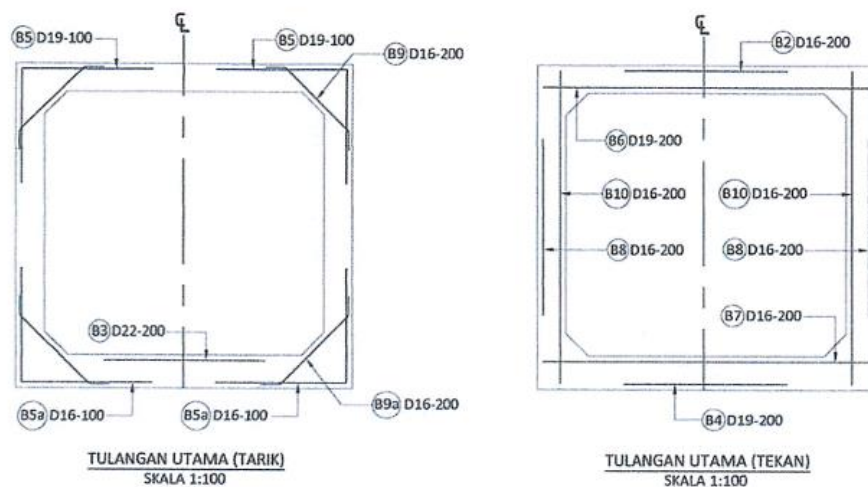


Gambar 9.8 Skema Pembebanan Pada Model *Box Pedestrian* Basian
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Pada gambar tersebut, struktur menerima tekanan tanah lateral dari timbunan di belakang dinding yang bekerja secara horizontal. Tekanan ini ditunjukkan dengan nilai $Q = 10 \text{ t/m}$ pada bagian atas dan meningkat hingga $Q = 21,2 \text{ t/m}$ pada bagian bawah dinding, dengan distribusi beban berbentuk segitiga. Di atas struktur juga bekerja beban merata (*surcharge*) sebesar $Q = 10 \text{ t/m}$, yang berasal dari timbunan atau beban lalu lintas di atasnya. Pada bagian bawah struktur terdapat reaksi tanah dasar yang bekerja ke atas dengan nilai $KS = 11 \text{ t/m}^2$ sebagai daya dukung tanah terhadap beban vertikal. Selain itu, struktur juga memikul berat sendiri, yaitu berat elemen beton, yang harus diperhitungkan dalam analisis kestabilan struktur.

9.6 Analisa Struktur Eksisting *Box Pedestrian* Basian

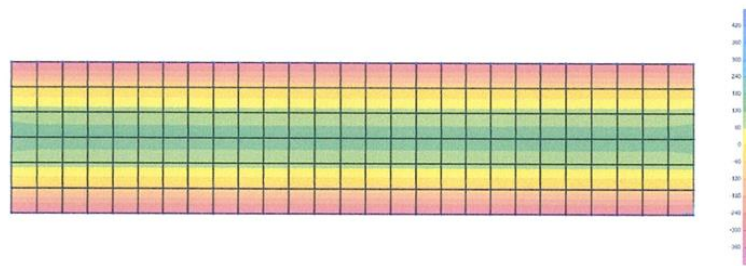
Pada bagian ini disajikan analisa kondisi eksisting struktur pada *Box Pedestrian* Sta. 41+572 (bersebelahan dengan Jembatan Basian) dengan menghitung kekuatan pada bagian pelat tutup, pelat dinding dan pelat lantai *Box Pedestrian*. Seperti ditunjukkan pada gambar 9.9 berikut:



Gambar 9.9 Gambar Penulangan Tekan dan Tarik *Box Pedestrian* Basian
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

1. Analisa Struktur Pelat Tutup Eksisting

Berikut disajikan analisis pelat tutup eksisting yang dapat dilihat pada gambar 9.10 di bawah ini:



Gambar 9.10 Diagram Momen M22 Pelat Tutup Eksisting Basian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Beban yang bekerja :

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tulangan Bawah:	156
Tulangan Atas:	360

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 26900 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 6000 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm
Tebal Pelindung beton	: d_c	= 100 mm
Diameter tulangan Tumpuan	: $d_{bar T}$	= 19 mm
Spasi tulangan Tumpuan	: s	= 100 mm
Diameter tulangan Lapangan	: $d_{bar L}$	= 16 mm
Spasi tulangan Lapangan	: s	= 200 mm
Kedalaman tulangan tekan efektif	: d'	= 119 mm
Kedalaman tulangan tarik efektif	: d	= 381 mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 20 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Atas

Momen ultimate	: M_u	= 360 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$ = 498.8199447 kNm

$$360 < 498.8199447$$
$$M_u < M_n \quad \text{OK}$$

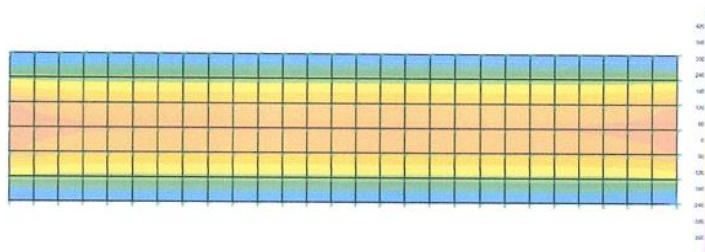
Desain Tulangan Bawah

Momen ultimate	: M_u	= 156 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$ = 192.9457152 kNm

$$156 < 192.9457152$$
$$M_u < M_n \quad \text{OK}$$

2. Analisa Struktur Pelat Lantai Eksisting Basian

Berikut disajikan analisis pelat lantai eksisting yang dapat dilihat pada gambar 9.11 di bawah ini:



Gambar 9.11 Diagram momen M22 pelat lantai eksisting Basian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Beban yang bekerja :

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tulangan Bawah:	425
Tulangan Atas:	184

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 26900 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 6000 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm

Tebal Pelindung beton	: d_c	= 100 mm
Diameter tulangan Tumpuan	: $d_{bar\ T}$	= 16 mm
Spasi tulangan Tumpuan	: s	= 100 mm
Diameter tulangan Lapangan	: $d_{bar\ L}$	= 22 mm
Spasi tulangan Lapangan	: s	= 200 mm
Kedalaman tulangan tekan efektif	: d'	= 116 mm
Kedalaman tulangan tarik efektif	: d	= 384 mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 20 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Atas

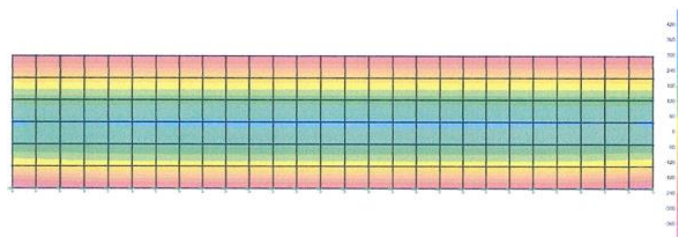
Momen ultimate	: M_u	= 184 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$
		= 367.6603392 kNm
	184	< 367.6603392
	M_u	< M_n OK

Desain Tulangan Bawah

Momen ultimate	: M_u	= 156 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$
		= 365.5191168 kNm
	156	< 365.5191168
	M_u	< M_n OK

3. Analisa Struktur Pelat Dinding Eksisting Basian

Berikut disajikan analisis pelat dinding eksisting yang dapat dilihat pada gambar 9.12 di bawah ini:



Gambar 9.12 Diagram Momen M22 Pelat Dinding Eksisting Basian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Beban yang bekerja :

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tulangan Dalam:	255
Tulangan Luar:	411

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 5600 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 26900 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm
Tebal Pelindung beton	: d_c	= 100 mm
Diameter tulangan Tumpuan	: $d_{bar\ T}$	= 16 mm
Spasi tulangan Tumpuan	: s	= 100 mm
Diameter tulangan Lapangan	: $d_{bar\ L}$	= 16 mm
Spasi tulangan Lapangan	: s	= 200 mm
Kedalaman tulangan tekan efektif	: d'	= 116 mm
Kedalaman tulangan tarik efektif	: d	= 384 mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 20 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Luar

Momen ultimate	: M_u	= 411 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$ = 356.5191168 kNm
	411	< 356.5191168
	M_u	< M_n NOT OK

Desain Tulangan Dalam

Momen ultimate	: M_u	= 255 kNm
Momen nominal	: M_n	= $n \times a_s \times f_y \times d_{eff}$ = 194.4649728 kNm
	255	< 194.4649728
	M_u	< M_n NOT OK

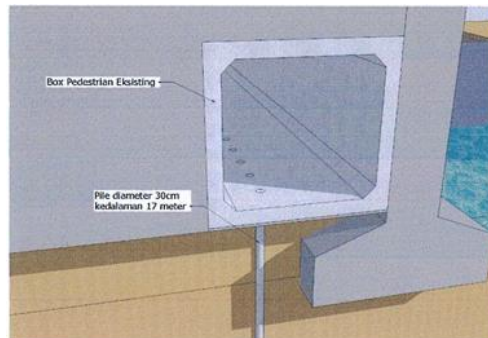
9.7 Rekomendasi Perbaikan dan Perkuatan

Rekomendasi perkuatan akan di bagi menjadi 2 tahap, tahap pertama adalah perkuatan pada tanah agar mencegah terjadi nya kembali *settlement*, dan tahap kedua adalah perkuatan terhadap *Box Pedestrian* yang telah mengalami keretakan.

9.7.1 Rekomendasi Perkuatan Tanah

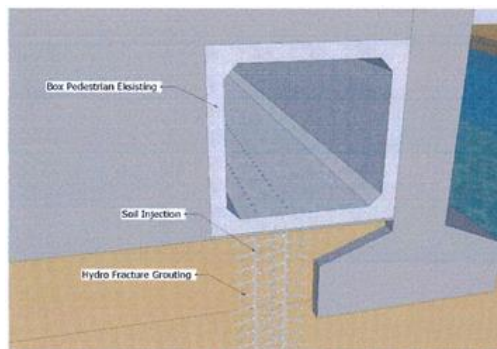
Adapun perkuatan tanah yang akan direkomendasikan untuk mengatasi penurunan tanah akibat beban lalan dan *settlement* terdapat *alternatif design* yaitu dengan menggunakan *micropile* atau dengan menggunakan metode soil injection. Perkuatan menggunakan *micro pile* dilakukan dengan menambahkan *micropile* hingga kedalaman tanah keras , tujuannya adalah agar micropile tersebut mampu menahan beban *Box Pedestrian* dan menumpu pada tanah keras. Sehingga penurunan pada *Box Pedestrian* tidak terjadi kembali.

Perkuatan menggunakan *soil injection* dilakukan dengan menginjeksi tanah dengan material cair dengan tujuan untuk mengurangi permeabilitas , meningkatkan kuat geser tanah. Mengurangi penurunan tanah dan mengurangi pergerakan tanah. Iustrasi Perkuatan Tanah dengan Micro Pile ditunjukkan pada gambar 9.13 berikut:



Gambar 9.13 Ilustasi Perkuatan Tanah dengan *Micro Pile* 30 cm
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Iustrasi Perkuatan Tanah dengan *Soil Injection* ditunjukkan pada gambar 9.14 berikut:

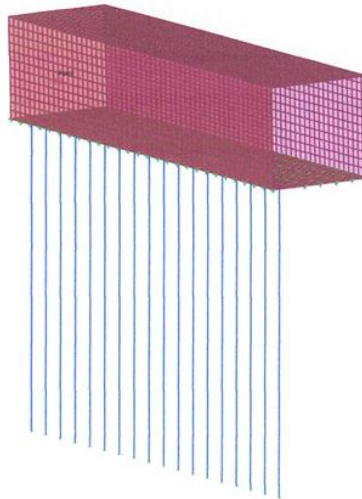


Gambar 9.14 Ilustasi perkuatan Tanah dengan *Soil Injection*
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.2 Hasil Analisa Perkuatan Tanah dengan *Micro pile* 30cm (Alternatif 1)

1. Permodelan *Micro Pile*

Berikut ini disajikan permodelan penambahan *micropile* pada tabel 9.15 terdapat ilustrasi perkuatan tanah dengan *micro pile* pada struktur *Box Pedestrian* dan hasil analisa SAP2000. Pada bagian berikutnya disajikan perhitungan daya dukung *micropile* serta kekuatan bahan *micropile* dalam menahan beban *Box Pedestrian* dan beban layan yang di rencanakan.

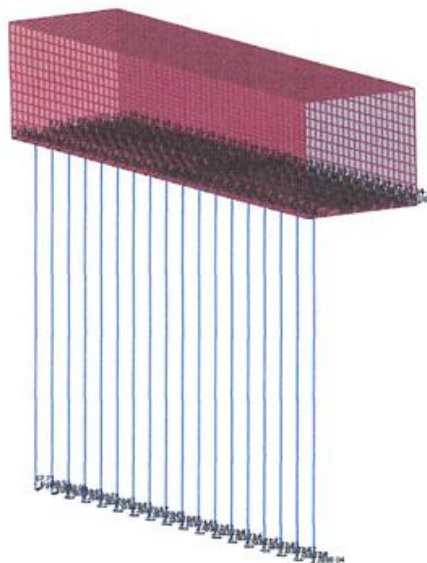


Gambar 9.15 Ilustrasi Perkuatan Tanah dengan *Micro Pile*
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Dari permodelan SAP 2000 diatas *micro pile* dimodel kan dengan menggunakan frame beton berdiameter 35 cm. *Micropile* dipasang dengan jarak pemasangan 1.5 m pada arah memanjang *Box Pedestrian* dan dengan kedalaman 17 m. Pada sisi dasar frame *micro pile* dibertkan perletakan berupa sendi untuk mengetahui beban reaksi yang di terima tiap masing masing *pile*. Beban reaksi tersebut yang nanti akan di bandingkan dengan daya dukung tanah yang ada.

2. Gaya Reaksi Perletakan *Micro Pile*

Pada gambar 9.16 akan ditampilkan output gaya reaksi perletakan *micro pile* pada struktur *Box Pedestrian* hasil SAP2000.



Gambar 9.16 Gaya Reaksi Peletakan Micro Pile
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Tabel 9.1 Hasil Gaya Reaksi Peletakan Micro Pile

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-r	Tonf-r	Tonf-r
1962	1D	Combination	0.0226	0.0003791	71.8977	0	0	0
2881	1D	Combination	0.0227	0.0003748	71.8719	0	0	0
2898	1D	Combination	0.0228	0.000337	71.8147	0	0	0
2915	1D	Combination	0.0228	0.0003101	71.7192	0	0	0
2932	1D	Combination	0.0229	0.0002926	71.5999	0	0	0
2949	1D	Combination	0.0229	0.0002785	71.466	0	0	0
2966	1D	Combination	0.0229	0.0002645	71.3181	0	0	0
2983	1D	Combination	0.0229	0.0002495	71.1564	0	0	0
3000	1D	Combination	0.0229	0.0002331	70.9778	0	0	0
3017	1D	Combination	0.0229	0.0002155	70.7816	0	0	0
3034	1D	Combination	0.0229	0.0001967	70.5652	0	0	0
3051	1D	Combination	0.0229	0.0001769	70.3281	0	0	0
3068	1D	Combination	0.0229	0.0001551	70.0672	0	0	0
3085	1D	Combination	0.0229	0.0001283	69.7798	0	0	0
3102	1D	Combination	0.0229	0.00008756	69.4534	0	0	0
3119	1D	Combination	0.0229	0.00001327	69.0589	0	0	0
3136	1D	Combination	0.0227	-0.0001285	68.5233	0	0	0
3153	1D	Combination	0.0225	-0.0003145	67.709	0	0	0

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Hasil dari gaya reaksi perletakan *micro pile* terbesar didapatkan sebesar 71.897 ton, gaya tersebut akan di bandingkan dengan daya dukung tanah pada kedalaman 17 m.

4. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Tabel 9. 2 Tabel Hasil Uji Sondir

Titik sondir Id	Kedalaman (m)	Perkiraan klasifikasi tanah	qc (kg/cm ²)	Konsistensi/ kepadatan relatif
S-4 Sta. 41+550	0.00 – 1.40	Urugan	-	-
	1.40 – 4.20	Lempung berlanau	2 - 27	Amat lunak s/d sedang
	4.20 – 4.60	Pasir berlanau	65 - 80	Amat padat
	4.60 – 10.00	Lempung berlanau	4 -30	Amat lunak s/d sedang
	10.00 – 17.00	Pasir berlanau	20 - 250	Lepas s/d cukup padat

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Tabel 9.3 Perhitungan Daya Dukung Tiang

Diameter Pile	D	=30	cm
Luas Pile	A	=706.858	cm ²
Kel. Pile	K	=94.2478	cm

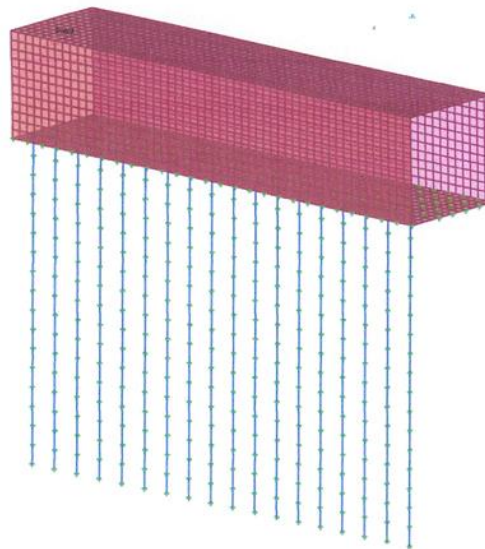
Depth (m)	Cn (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	A x Cn/3 (ton)	KxJHP/5 (ton)	P, bar (ton)
1	2	3	4	5	6=4+5
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	26.7	2.36	0.50	2.86
3	3	46.7	0.71	0.88	1.59
4	10	77.3	2.36	1.46	3.81
5	15	144	3.53	2.71	6.25
6	5	190.7	1.18	3.59	4.77
7	10	234.7	2.36	4.42	6.78
8	30	301.3	7.07	5.68	12.75
9	15	361.3	3.53	6.81	10.34
10	30	428	7.07	8.07	15.14
11	25	528	5.89	9.95	15.84
12	35	641.3	8.25	12.09	20.33
13	55	721.3	12.96	13.60	26.56
14	25	794.9	5.89	14.98	20.87
15	150	901.3	35.34	16.99	52.33
16	110	1108	25.92	20.89	46.80
17	250	1281.3	58.90	24.15	83.06

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Dari hasil data sondir pada kedalaman 17 m, didapatkan daya dukung tanah dengan *micro pile* berdiameter 30 cm adalah sebesar 83.06 ton. Dengan gaya reaksi yang terjadi pada *pile* sebesar 71.897 ton maka daya dukung tanah mampu menahan beban *Box Pedestrian* yang di salurkan pada *micro pile*.

5. Perhitungan Kekuatan Bahan *Mini Pile*

Berikut ini hasil permodelan dan output gaya dalam pada frame *micro pile* pada struktur *Box Pedestrian* hasil SAP2000.



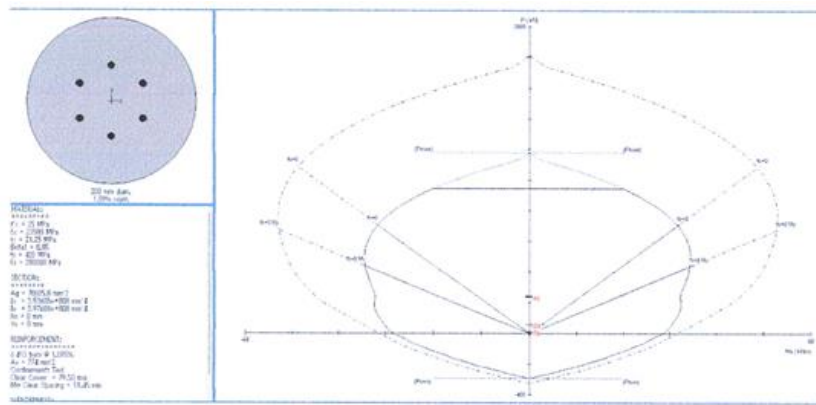
Gambar 9.17 Permodelan Spring pada Micro Pile 30cm
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Tabel 9.4 Permodelan *Spring* pada *Micro Pile* 30 cm

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
408	0 1D		Combination	-242.244	0.003992	-0.0002855	0	-0.0001108	0.0011
408	0.5 1D		Combination	-242.235	0.003992	-0.0002855	0	0.00003198	-0.0009153
408	1 1D		Combination	-242.226	0.003992	-0.0002855	0	0.0001747	-0.0029
391	0 1D		Combination	-242.223	0.003998	-0.0003589	0	-0.000137	0.0011
425	0 1D		Combination	-242.219	0.00399	-0.000213	0	-0.00008431	0.0011
391	0.5 1D		Combination	-242.214	0.003998	-0.0003589	0	0.00004249	-0.0009175
425	0.5 1D		Combination	-242.211	0.00399	-0.000213	0	0.00002219	-0.0009144
391	1 1D		Combination	-242.205	0.003998	-0.0003589	0	0.0002219	-0.0029
425	1 1D		Combination	-242.202	0.00399	-0.000213	0	0.0001287	-0.0029
442	0 1D		Combination	-242.153	0.003989	-0.0001391	-1.965E-18	-0.00005713	0.0011
442	0.5 1D		Combination	-242.145	0.003989	-0.0001391	-1.965E-18	0.00001242	-0.0009138
442	1 1D		Combination	-242.136	0.003989	-0.0001391	-1.965E-18	0.00008198	-0.0029
374	0 1D		Combination	-242.127	0.004014	-0.0004393	-4.928E-19	-0.0001641	0.0011
374	0.5 1D		Combination	-242.118	0.004014	-0.0004393	-4.928E-19	0.00005558	-0.0009231
374	1 1D		Combination	-242.11	0.004014	-0.0004393	-4.928E-19	0.0002752	-0.0029

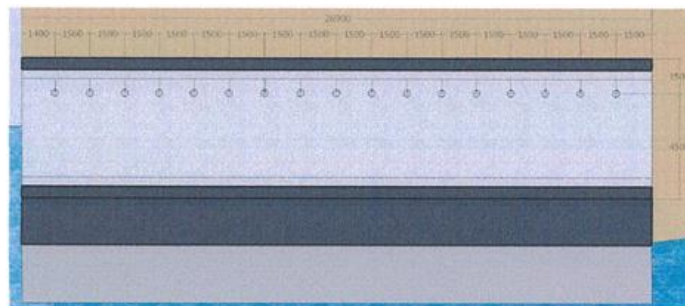
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Dari hasil output gaya dalam tersebut akan di perhitungkan terhadap kekuatan bahan *micro pile* berdiameter 30 cm dengan mutu beton 25 MPa. Hasil dari kekuatan bahan sebagai berikut:



Gambar 9.18 Diagram Interaksi *Micro Pile* 30 cm P.My
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Seluruh gaya dalam yang terjadi pada *micro pile* masih berada dalam batas diagram interaksi antara aksial dan momen, yang artinya secara kekuatan bahan *micro pile* tersebut masih mampu menahan beban yang ada. Pelaksanaan *micro pile* dikerjakan dengan diameter 300 mm dengan jarak antar *pile* ke sisi memanjang *Box Pedestrian* adalah 1500 mm ditunjukkan pada Skema gambar 9.1 berikut:

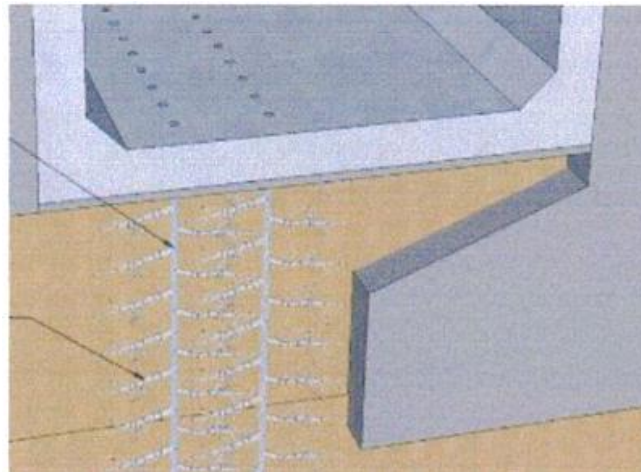


Gambar 9.19 Skema Pemasangan *Micro Pile* D-300 mm
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.3 Hasil Analisa Perkuatan Tanah dengan *Soil Injection* (Alternatif 2)

1. *Hydro Fracturing/compensation grouting*

Metode perkuatan menggunakan *hydro fracturing/compensation grouting* dilakukan dengan menginjeksi bahan *grouting* bertekanan tinggi hingga melebihi kekuatan tarik tanah. Tekanan ini menimbulkan retakan pada tanah sehingga *grout* dapat masuk dan mengisi celah tersebut. Metode ini efektif untuk tanah lempung maupun berpasir. Berikut Ilustrasi Perkuatan Tanah dengan *Hydro Fracturing* ditunjukkan pada gambar 9.20 berikut:



Gambar 9.20 Ilustrasi Perkuatan Tanah dengan *Hydro Facturing*
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

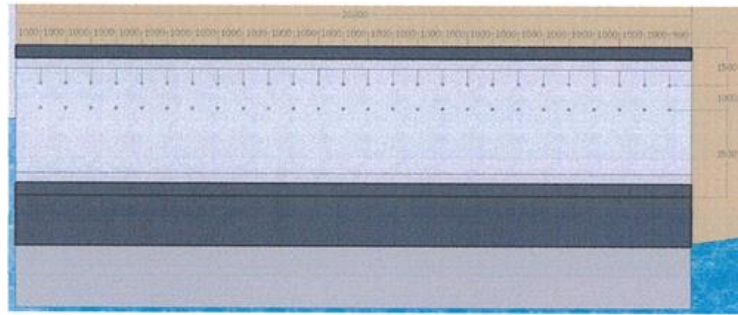
Soil injection ini dilakukan dengan cara melubangi pelat lantai *Box Pedestrian*, dari lubang tersebut dilakukan pengeboran tanah hingga kedalaman 17m (tanah keras). Pada saat pengeboran di gunakan juga proteksi *casing* guna mencegah tanah mengalami kelongsoran. Setelah itu pipa *inject* berdiameter 10 cm dimasukan kedalam lubang untuk memasukan bahan *grouting*. Bahan *grouting* terdiri dari material aditif yang bertujuan untuk mengikat butiran tanah dan meningkatkan kuat tekan tanah. Rekomendasi material *grouting* yang digunakan adalah CEBEX 100 Eks PT. Fosroc Indonesia. Material *soil injection* tersebut dapat meningkatkan tanah sebesar sebagai berikut:

Tabel 9. 5 Nilai Kuat Tekan Bebas berdasarkan Jenis Tanah

Soil Type	Soilcrete Unconfined Compressive Strength, kPa (psi)	
Clean Sands & Gravel	6,900 – 14,000	(1,000 – 2,000)
Silty Sand	4,000 – 10,000	(600 – 1,450)
Sandy Silts & Clayey Sands	2,400 – 6,900	(350 – 1,000)
Silts and Low Palsticity Clays	2,100 – 6,900	(300 – 1,000)

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

Dengan menggunakan perkuatan berupa *soil injection* diharapkan *settlement* pada *Box Pedestrian* dapat teratasi, sehingga tidak terdapat keretakan tambahan pada struktur *Box Pedestrian*. Adapun skema pelaksanaan *soil injection* dengan memasang titik - titik *soil injection* dengan diameter 100 mrm dengan jarak 1000 mm ke arah memanjang *Box Pedestrian* ditunjukkan pada gambar 9.21 berikut:



Gambar 9.21 Skema Pemasangan *Micro Pile* D-100 mm
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

2. Rekomendasi Perbaikan Keretakan

Berdasarkan hasil pengamatan visual dan perhitungan struktur untuk memperbaiki keretakan yang telah terjadi di lapangan maka direkomendasikan perbaikan berupa *injeksi* dan *grouting* beton. Perbaikan *injeksi* dan *grouting* dilakukan hanya untuk menutup celah keretakan beton yang berupa retak lentur dan *cover spalling*. Perbaikan ini direkomendasikan pada *Box Pedestrian* di lokasi Sta. 41+572 (bersebelahan dengan Jembatan Basian). Secara garis besar langkah yang direkomendasikan pada proses perbaikan dapat dilihat pada *flowchart* dibawah ini:

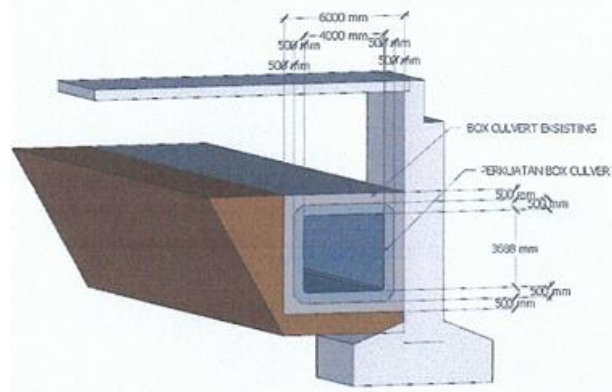


Gambar 9.22 *Flowchart* Langkah Perbaikan dengan Injeksi Epoksi yang Direkomendasikan
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

3. Rekomendasi Perkuatan

Adapun perkuatan yang direkomendasikan untuk mengatasi kerusakan akibat beban layan dan *settlement* yaitu *jacketing* dimana akan dibuat *Box Pedestrian* yang baru di dalam *Box Pedestrian* eksisisting. *Box Pedestrian* baru pada sisi atas, bawah dan samping terbuat dari pelat beton

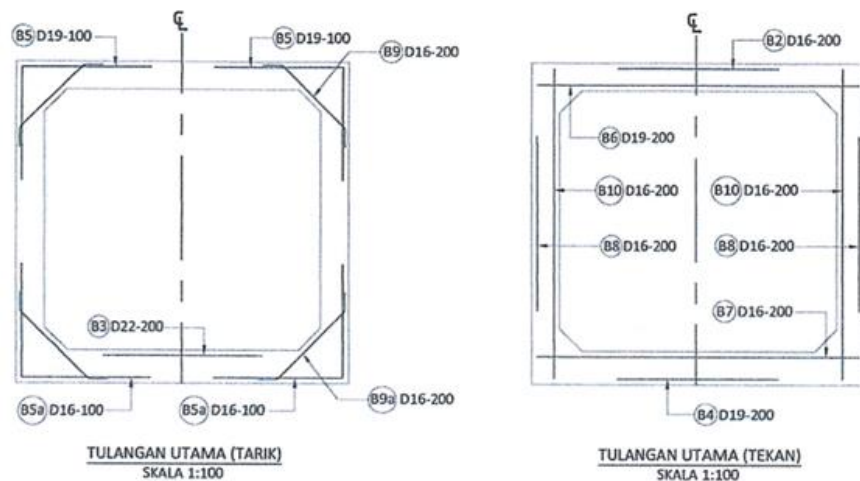
setebal 500 mm. Perkuatan direkomendasikan pada *Box Pedestrian* Sta. 41+572 (bersebelahan dengan Jembatan Basian). Analisa struktur dan hasil perencanaan pelat pada *Box Pedestrian* disajikan berikut ini. Ilustrasi perkuatan dengan *jacketing* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 9.23 Ilustrasi Perkuatan Box Pedestrian dengan Jacketing
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4 Hasil Analisa Struktur Pelat Jackating BP Basian

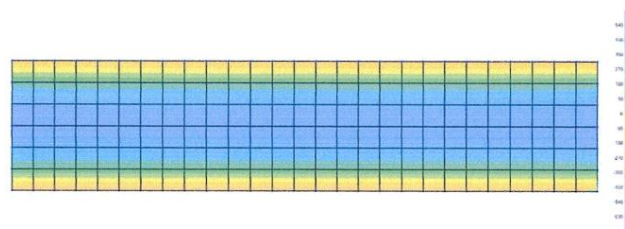
Penulangan Tekan dan tarik ditunjukkan pada gambar 9.24 berikut:



Gambar 9.24 Penulangan Tekan dan Tarik Box Pedestrian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.1 Analisa Pelat Tutup

Hasil analisa struktur pelat tutup ditunjukkan pada gambar 9.25 berikut:



Gambar 9.25 M22 Diagram hasil analisa struktur pelat tutup BP Basian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.2 Penulangan Plat Tutup

Beban yang bekerja

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tul. Bawah sumbu X-X	201
Tul. Atas sumbu X-X	376
Tul. Bawah sumbu Y-Y	201
Tul. Atas sumbu Y-Y	376

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 26900 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 6000 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm
Tebal Pelindung beton	: d_c	= 40 mm
Dia tul. rencana tulangan X bawah	: $d_{bar_X_bwh}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan X atas	: $d_{bar_X_ats}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan Y bawah	: $d_{bar_Y_bwh}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan Y atas	: $d_{bar_Y_ats}$	= 22 mm
Kedalaman tul. tekan efektif	: d'	= 64 mm
Kedalaman tul. tarik efektif	: d	= 436 mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 29 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Longitudinal

Momen yang bekerja pada poer pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan bawah

$$\text{Momen ultimate } M_u = 201 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times h \times d) \\ &= 201 / (0.8 \times 26900 \times 436) \\ &= 21.42 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{perlu} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 21.42 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.081 \\ A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.081 \times 26900 \times 436 \\ &= 1266667.2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420))\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0220 \\
 A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\
 &= 0.0220 \times 26900 \times 436 \\
 &= 258024.8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$1266667.2 < 258024.8$$

$A_{sflex} < A_{smax}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 0.0018 \\
 A_{smin} &= \rho_{min} \times h \times d \\
 &= 0.0018 \times 26900 \times 436 \\
 &= 21111,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\
 &= 21111,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}
 n &= 1 \\
 d_{bar} &= 16 \text{ mm} \\
 A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\
 &= 201 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= h \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\
 &= 26900 \times \frac{201}{21111,12} \\
 &= 256,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada poer pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 376 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 \\
 R_n &= M_u / (0.8 \times h \times d) \\
 &= 376 / (0.8 \times 26900 \times 436) \\
 &= 40,07 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{perlu} &= 0,85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\
 &= 0,85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 40,07 / (0.85 \times 29))) \\
 &= 0.018 \\
 A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times h \times d \\
 &= \frac{4}{3} \times 0.018 \times 26900 \times 436 \\
 &= 281481,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\ &= 0.0220 \times 26900 \times 436 \\ &= 258024,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{sflex} < A_{smax}, \text{ OK.}$$

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= 0.0018 \\ A_{smin} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 26900 \times 436 \\ &= 21111,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\ &= 21111,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}n &= 1 \\ d_{bar} &= 16 \text{ mm} \\ A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 201 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\ &= 26900 \times \frac{201}{21111,12} \\ &= 256.11 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} < S_{perlu}, \text{ OK. Jarak pemasangan memenuhi}$$

Momen yang bekerja pada poer pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan bawah

$$\text{Momen ultimate } M_u = 201 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\ &= 201 / (0.8 \times 6000 \times 436) \\ &= 96.04 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{perlu} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 96.04 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.007 \\ A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.007 \times 6000 \times 436\end{aligned}$$

$$= 24416 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\ &= 0.0220 \times 6000 \times 436 \\ &= 57552 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$24416 < 57552$$

$A_{sflex} < A_{smax}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= 0.0018 \\ A_{smin} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 6000 \times 436 \\ &= 4708.8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\ &= 24416 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}n &= 1 \\ d_{bar} &= 16 \text{ mm} \\ A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 201 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\ &= 6000 \times \frac{201}{24416} \\ &= 49,39 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada poer pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 376 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\ &= 376 / (0.8 \times 6000 \times 436) \\ &= 179.66 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{perlu} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 179.66 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.004\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times b \times d \\
 &= \frac{4}{3} \times 0.004 \times 6000 \times 436 \\
 &= 13952 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c/f_y) (600/ (600 + f_y)) \\
 &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29/420) (600/ (600 + 420)) \\
 &= 0.0220
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\
 &= 0.0220 \times 6000 \times 436 \\
 &= 57752 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$13952 < 57752$$

$A_{sflex} < A_{smax}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 0.0018 \\
 A_{smin} &= \rho_{min} \times b \times d \\
 &= 0.0018 \times 6000 \times 436 \\
 &= 4708,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sperlu} &= \max (A_{sflex}, A_{smin}) \\
 &= 4708,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D22)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}
 n &= 1 \\
 d_{bar} &= 22 \text{ mm} \\
 A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 380.13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\
 &= 6000 \times \frac{201}{4708,8} \\
 &= 256.11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Kontrol jarak bersih antar tulangan (ACI 7.6)

Reinforcing in x direction

$$\begin{aligned}
 S_{clear 1} &= 184 \text{ mm} \\
 S_{clear 2} &= 184 \text{ mm} \\
 S_{min} &= 25,4 \text{ mm} \\
 &\quad \text{ACI 7.6.1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= 450 \text{ mm} \\
 &\quad \text{ACI 7.6.1}
 \end{aligned}$$

Bar spacing – OK

Reinforcing in y direction

$$S_{\text{clear } 1} = 84 \text{ mm}$$

$$S_{\text{clear } 2} = 78 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25,4 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

Bar spacing – OK

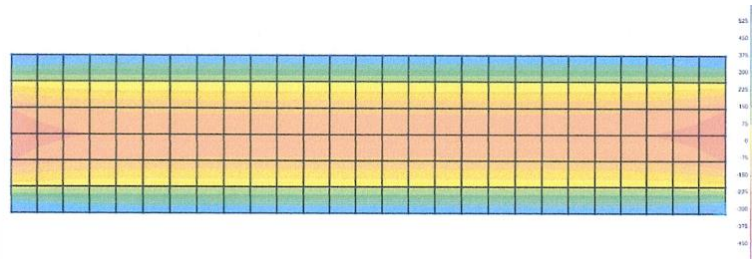
Tabel 9.6 Rekapitulasi Hasil desain Pelat Tutup

Lokasi Penulangan	Pemasangan tulangan
Tebal pelat	500
Penulangan bawah pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan atas pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan bawah pelat sumbu y-y	D16-100
Penulangan atas pelat sumbu y-y	D22-100

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.3 Analisa Pelat Lantai

Berikut ini disajikan diagram momen yang terjadi pada struktur pelat lantai rencana pada bagian bawah hasil keluaran SAP2000. Pada bagian berikutnya disajikan perhitungan penulangan pelat beton pada area Dinding struktur *Box pedestrian*.



Gambar 9.26 M22 Diagram hasil analisa struktur pelat lantai Box Pedestrian

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.4 Penulangan Pelat Lantai

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tul. Bawah sumbu X-X	515
Tul. Atas sumbu X-X	309
Tul. Bawah sumbu Y-Y	515
Tul. Atas sumbu Y-Y	309

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 26900 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 6000 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm
Tebal Pelindung beton	: d_c	= 40 mm
Dia tul. rencana tulangan X bawah	: $d_{\text{bar_X_bwh}}$	= 16 mm

Dia tul. rencana tulangan X atas	: $d_{\text{bar_X_ats}}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan Y bawah	: $d_{\text{bar_Y_bwh}}$	= 29 mm
Dia tul. rencana tulangan Y atas	: $d_{\text{bar_Y_ats}}$	= 22 mm
Kedalaman tul. tekan efektif	: d'	= 70,5 mm
Kedalaman tul. tarik efektif	: d	= 429,5mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 29 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Longitudinal

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan bawah

Momen ultimate M_u = 515 kNm

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times h \times d) \\ &= 515 / (0.8 \times 26900 \times 429.5) \\ &= 55.71 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{\text{perlu}} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 55.71 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.013 \\ A_{s\text{flex}} &= \frac{4}{3} \times \rho_{\text{perlu}} \times h \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.013 \times 26900 \times 429.5 \\ &= 200261.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220 \\ A_{s\text{max}} &= \rho_{\text{max}} \times h \times d \\ &= 0.0220 \times 26900 \times 429.5 \\ &= 254178.1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$200261.53 < 254178.1$$

$$A_{s\text{flex}} < A_{s\text{max}}, \text{OK.}$$

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &= 0.0018 \\ A_{s\text{min}} &= \rho_{\text{min}} \times h \times d \\ &= 0.0018 \times 26900 \times 429.5 \\ &= 20796.39 \text{ mm}^2 \\ A_{s\text{perlu}} &= \max(A_{s\text{flex}}, A_{s\text{min}}) \\ &= 20796.39 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis
n = 1

$$d_{\text{bar}} = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2$$

$$= 201 \text{ mm}^2$$

Jarak pemasangan tulangan

$$S_{\text{perlu}} = h \times \frac{A_s}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$= 26900 \times \frac{201}{20796.39}$$

$$= 259.99 \text{ mm}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 309 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\beta_1 = 0.85$$

$$R_n = M_u / (0.8 \times h \times d)$$

$$= 309 / (0.8 \times 26900 \times 429.5)$$

$$= 33.43 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c)))$$

$$= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 33.43 / (0.85 \times 29)))$$

$$= 0.021$$

$$A_{s \text{ flex}} = \frac{4}{3} \times \rho_{\text{perlu}} \times h \times d$$

$$= \frac{4}{3} \times 0.021 \times 26900 \times 429.5$$

$$= 323499.4 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan maximum

$$\rho_{\text{max}} = 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y))$$

$$= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420))$$

$$= 0.0220$$

$$A_{s \text{ max}} = \rho_{\text{max}} \times h \times d$$

$$= 0.0220 \times 26900 \times 429.5$$

$$= 254178.1 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ flex}} < A_{s \text{ max}}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\rho_{\text{min}} = 0.0018$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} \times h \times d$$

$$= 0.0018 \times 26900 \times 429.5$$

$$= 20796.39 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \max(A_{s \text{ flex}}, A_{s \text{ min}})$$

$$= 20796.39 \text{ mm}^2$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}
 n &= 1 \\
 d_{\text{bar}} &= 16 \text{ mm} \\
 A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\
 &= 201 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= b \times \frac{A_s}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= 26900 \times \frac{201}{20796.39} \\
 &= 259.99 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada Plat pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan bawah

$$\text{Momen ultimate } M_u = 514 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 \\
 R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\
 &= 514 / (0.8 \times 6000 \times 429.5) \\
 &= 249.32 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\
 &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 249.32 / (0.85 \times 29))) \\
 &= 0.002 \\
 A_{s \text{ flex}} &= \frac{4}{3} \times \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= \frac{4}{3} \times 0.002 \times 6000 \times 429.5 \\
 &= 6872 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\
 &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\
 &= 0.0220 \\
 A_{s \text{ max}} &= \rho_{\text{max}} \times b \times d \\
 &= 0.0220 \times 6000 \times 429.5 \\
 &= 56694 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$6872 < 56694$$

$A_{s \text{ flex}} < A_{s \text{ max}}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 0.0018 \\
 A_{s \text{ min}} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\
 &= 0.0018 \times 6000 \times 429.5 \\
 &= 4638.6 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ perlu}} &= \max(A_{s \text{ flex}}, A_{s \text{ min}}) \\
 &= 6872 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D29)

Jumlah lapis

$$n = 1$$

$$d_{\text{bar}} = 29 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 29^2 \\ &= 660.52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= b \times \frac{A_s}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= 6000 \times \frac{601.52}{6872} \\ &= 525.19 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 309 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\begin{aligned} R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\ &= 376 / (0.8 \times 6000 \times 429.5) \\ &= 182.38 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 182.38 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ flex}} &= \frac{4}{3} \times \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.003 \times 6000 \times 429.5 \\ &= 10308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max}} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ max}} &= \rho_{\text{max}} \times b \times d \\ &= 0.0220 \times 6000 \times 429.5 \\ &= 56694 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$10308 < 56694$$

$A_{s \text{ flex}} < A_{s \text{ max}}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\rho_{\text{min}} = 0.0018$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 6000 \times 429.5 \\ &= 4638.6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \max (A_{s\text{ flex}}, A_{s\text{ min}})$$

$$= 4638.6 \text{ mm}^2$$

Coba diameter tulangan (D22)

Jumlah lapis

$$n = 1$$

$$d_{\text{bar}} = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 379.94 \text{ mm}^2$$

Jarak pemasangan tulangan

$$S_{\text{perlu}} = b \times \frac{A_s}{A_{s\text{ perlu}}}$$

$$= 6000 \times \frac{379.94}{4638.6}$$

$$= 491.45 \text{ mm}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Kontrol jarak bersih antar tulangan (ACI 7.6)

Reinforcing in x direction

$$S_{\text{clear 1}} = 184 \text{ mm}$$

$$S_{\text{clear 2}} = 184 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25,4 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

Bar spacing – OK

Reinforcing in y direction

$$S_{\text{clear 1}} = 71 \text{ mm}$$

$$S_{\text{clear 2}} = 78 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25,4 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

Bar spacing – OK

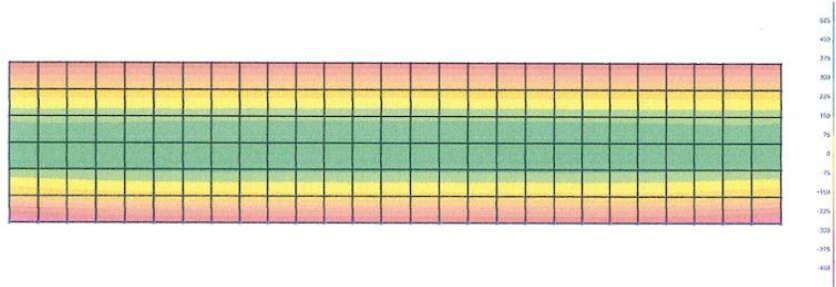
Tabel 9. 7 Rekapitulasi Hasil deasin Pelat Lantai

Lokasi Penulangan	Pemasangan tulangan
Tebal pelat	500
Penulangan bawah pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan atas pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan bawah pelat sumbu y-y	D29-100
Penulangan atas pelat sumbu y-y	D22-100

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.5 Analisa Pelat Sisi Samping (Dinding)

Berikut ini disajikan diagram momen yang terjadi pada struktur pelat Sisi Samping (Dinding) rencana pada sisi samping hasil keluaran SAP2000. Pada bagian berikutnya disajikan perhitungan penulangan pelat beton pada area Dinding *structur Box pedestrian*.



Gambar 9.27 M22 Diagram Hasil Analisa Struktur Plat Sisi Samping (Dinding)
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.7.4.6 Penulangan Pelat Sisi Dinding

Beban yang bekerja:

Lokasi Peninjauan	M_u (kNm)
Tul. Bawah sumbu X-X	220
Tul. Atas sumbu X-X	481
Tul. Bawah sumbu Y-Y	220
Tul. Atas sumbu Y-Y	481

Plate Details

Plate Dimensions

Dimensi Pelat pada sumbu x-x	: h	= 5600 mm
Dimensi Pelat pada sumbu y-y	: b	= 26900 mm
Tebal Pelat Keseluruhan	: t	= 500 mm
Tebal Pelindung beton	: d_c	= 40 mm
Dia tul. rencana tulangan X bawah	: $d_{bar_X_bwh}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan X atas	: $d_{bar_X_ats}$	= 16 mm
Dia tul. rencana tulangan Y bawah	: $d_{bar_Y_bwh}$	= 19 mm
Dia tul. rencana tulangan Y atas	: $d_{bar_Y_ats}$	= 25 mm
Kedalaman tulangan tekan efektif	: d'	= 65.6 mm
Kedalaman tulangan tarik efektif	: d	= 434.5 mm

Material Properties

Tegangan leleh tulangan	: f_y	= 420 N/mm ²
Kuat tekan beton	: f'_c	= 29 N/mm ²
Massa jenis beton	: ρ_c	= 25 kN/m ³

Desain Tulangan Longitudinal

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan bawah

Momen ultimate	M_u	= 220 kNm
----------------	-------	-----------

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}
\beta_1 &= 0.85 \\
R_n &= M_u / (0.8 \times h \times d) \\
&= 220 / (0.8 \times 5600 \times 434.5) \\
&= 113.01 \text{ N/mm}^2 \\
\rho_{perlu} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\
&= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 113.01 / (0.85 \times 29))) \\
&= 0.006 \\
A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times h \times d \\
&= \frac{4}{3} \times 0.006 \times 5600 \times 434.5 \\
&= 19465.6 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}
\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\
&= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\
&= 0.0220 \\
A_{smax} &= \rho_{max} \times h \times d \\
&= 0.0220 \times 5600 \times 434.5 \\
&= 53530.4 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$19465.6 < 53530.4$$

$$A_{sflex} < A_{smax}, \text{OK.}$$

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}
\rho_{min} &= 0.0018 \\
A_{smin} &= \rho_{min} \times h \times d \\
&= 0.0018 \times 5600 \times 434.5 \\
&= 4379.76 \text{ mm}^2 \\
A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\
&= 4379.76 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}
n &= 1 \\
d_{bar} &= 16 \text{ mm} \\
A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
&= 1 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 16^2 \\
&= 201 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}
S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\
&= 5600 \times \frac{201}{4379.76} \\
&= 257 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} < S_{perlu}, \text{OK. Jarak pemasangan memenuhi}$$

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu x-x untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 481 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times h \times d) \\ &= 481 / (0.8 \times 5600 \times 434.5) \\ &= 247.10 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{perlu} &= 0.85 \times F'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 247.10 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.002 \\ A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times h \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.002 \times 5600 \times 434.5 \\ &= 6488.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220 \\ A_{smax} &= \rho_{max} \times h \times d \\ &= 0.0220 \times 5600 \times 434.5 \\ &= 53530.4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$6488.53 < 53530.4$$

$$A_{sflex} < A_{smax}, \text{ OK.}$$

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= 0.0018 \\ A_{smin} &= \rho_{min} \times h \times d \\ &= 0.0018 \times 5600 \times 434.5 \\ &= 4379.76 \text{ mm}^2 \\ A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\ &= 4379.76 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D16)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}n &= 1 \\ d_{bar} &= 16 \text{ mm} \\ A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 16^2 \\ &= 201 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\ &= 5600 \times \frac{201}{4379.76} \\ &= 257 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada Plat pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan bawah

Momen ultimate $M_u = 220 \text{ kNm}$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 \\ R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\ &= 220 / (0.8 \times 26900 \times 434.5) \\ &= 23.52 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{perlu} &= 0.85 \times f'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 23.52 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.031 \\ A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.031 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 483106.06 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220 \\ A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\ &= 0.0220 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 257137.1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_{sflex} < A_{smax}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= 0.0018 \\ A_{smin} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 21038.49 \text{ mm}^2 \\ A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\ &= 21038.49 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D19)

Jumlah lapis

$$\begin{aligned}n &= 1 \\ d_{bar} &= 19 \text{ mm} \\ A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 19^2 \\ &= 283.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\ &= 26900 \times \frac{283.53}{21038.49} \\ &= 362.52 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Momen yang bekerja pada plat pada sumbu y-y untuk perhitungan tulangan atas

$$\text{Momen ultimate } M_u = 481 \text{ kNm}$$

Kebutuhan luas tulangan untuk menahan momen yang ada

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\begin{aligned} R_n &= M_u / (0.8 \times b \times d) \\ &= 481 / (0.8 \times 26900 \times 434.5) \\ &= 51.44 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= 0.85 \times f'_c / (f_y (1 - 2 \times R_n / (0.85 \times f'_c))) \\ &= 0.85 \times 29 / (420 (1 - 2 \times 51.44 / (0.85 \times 29))) \\ &= 0.014 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sflex} &= \frac{4}{3} \times \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.014 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 218176.93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maximum

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75(0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y)) \\ &= 0.75(0.85 \times 0.85 \times 29 / 420) (600 / (600 + 420)) \\ &= 0.0220 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smax} &= \rho_{max} \times b \times d \\ &= 0.0220 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 257137.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{sflex} < A_{smax}$, OK.

Rasio tulangan minimum untuk tulangan suhu dan susut

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= 0.0018 \\ A_{smin} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 26900 \times 434.5 \\ &= 21038.49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \max(A_{sflex}, A_{smin}) \\ &= 21038.49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba diameter tulangan (D25)

Jumlah lapis

$$n = 1$$

$$d_{bar} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \\ &= 490.62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan tulangan

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= b \times \frac{A_s}{A_{sperlu}} \\ &= 26900 \times \frac{490.62}{21038.49} \\ &= 627.31 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak pemasangan pakai

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

$S_{pakai} < S_{perlu}$, OK. Jarak pemasangan memenuhi

Kontrol jarak bersih antar tulangan (ACI 7.6)

Reinforcing in x direction

$$S_{clear\ 1} = 184 \text{ mm}$$

$$S_{clear\ 2} = 184 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 25,4 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

Bar spacing – OK

Reinforcing in y direction

$$S_{clear\ 1} = 81 \text{ mm}$$

$$S_{clear\ 2} = 75 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 25,4 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

ACI 7.6.1

Bar spacing – OK

Tabel 9.8 Rekapitulasi Hasil desain Pelat Dinding

Lokasi Penulangan	Pemasangan tulangan
Tebal pelat	500
Penulangan Dalam pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan Luar pelat sumbu x-x	D16-200
Penulangan Dalam pelat sumbu y-y	D19-100
Penulangan Luar pelat sumbu y-y	D25-100

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

9.8 Metode Pekerjaan *Jacketing* di Lapangan

1. Pemeriksaan & Pengukuran Kondisi Eksisting

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui kondisi awal *Box Pedestrian* sebelum diperkuat. Pemeriksaan dilakukan secara visual untuk mengidentifikasi kerusakan seperti retak, *spalling*, atau deformasi. Setelah itu dilakukan pengukuran dimensi struktur, termasuk ketebalan dinding, tinggi, dan lebar *box*. Hasil pemeriksaan dan pengukuran ini digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan perbaikan serta desain *jacketing* yang akan digunakan.



Gambar 9.28 Survey Kondisi Eksisting
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

2. Grouting dan Injeksi Beton

Langkah *grouting* dan injeksi beton dilakukan untuk memperbaiki kerusakan lokal pada struktur sebelum pemasangan *jacketing*. Injeksi digunakan untuk mengisi retak halus hingga sedang dengan bahan *epoxy* atau PU agar retakan tertutup dan struktur kembali monolit. Sementara itu, *grouting* dilakukan pada bagian yang berongga, *honeycomb*, atau memiliki celah yang cukup besar, menggunakan *mortar* atau *grout* bertekanan agar rongga terisi penuh dan kekuatan beton kembali. Tahap ini memastikan bahwa beton eksisting berada dalam kondisi stabil dan kuat sebelum proses perkuatan *jacketing* dilanjutkan.



Gambar 9.29 Grouting dan Injeksi Beton pada Box Pedestrian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

3. Penentuan Titik *Micro Pile*

Menentukan titik *micro pile* diawali dengan melakukan pengecekan kondisi aktual di lapangan untuk memastikan posisi pemasangan sesuai dengan desain dan kondisi tanah. Pengukuran dilakukan pada struktur eksisting, elevasi permukaan, serta batas-batas area kerja agar titik *micro pile* tidak berbenturan dengan utilitas, struktur lama, maupun ruang kerja alat. Titik-titik koordinat kemudian ditandai (*marking*) menggunakan patok atau cat lapangan sesuai hasil pengukuran aktual. Tahap ini memastikan bahwa posisi *micro pile* presisi, aman, dan dapat dipasang sesuai kebutuhan perkuatan struktur.



Gambar 9.30 Penentuan Titik *Micro Pile*
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

4. Pengecoran *Micro Pile*

Pengecoran *micro pile* dilakukan sebagai tahap perkuatan fondasi sebelum pekerjaan *jacketing* dimulai. Setelah pengeboran dan pemasangan tulangan *micro pile* selesai, lubang bor kemudian diisi beton menggunakan metode *tremie* atau cor langsung agar beton masuk secara merata tanpa terjadi segregasi. Proses pengecoran harus dilakukan secara kontinu untuk memastikan *micro pile* terbentuk dengan baik dan mencapai kapasitas dukung yang direncanakan. Setelah pengecoran selesai, *micro pile* dibiarkan mengeras hingga mencapai umur awal yang cukup sebelum dilakukan penyambungan kepala *pile* (*pile cap*) atau integrasinya dengan struktur *Box Pedestrian*. Tahap ini penting agar struktur memiliki dukungan fondasi yang stabil sebelum menerima beban tambahan dari pekerjaan *jacketing*.



Gambar 9.31 Pengecoran *Micro Pile*
 Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

5. *Test PIT Micro Pile*

Test pit dilakukan untuk memastikan kondisi dan posisi elemen struktur bawah tanah sebelum pekerjaan *jacketing* dilanjutkan. Pada tahap ini dilakukan penggalian secara terkontrol di sekitar lokasi perkuatan untuk memeriksa elevasi, ukuran, serta kondisi *micro pile*, *pile cap*, atau bagian struktur bawah lainnya. *Test pit* juga digunakan untuk memastikan tidak ada utilitas yang mengganggu pekerjaan, serta memastikan sambungan antara *micro pile* dan struktur existing dapat dilaksanakan dengan benar. Setelah pemeriksaan selesai dan data lapangan sesuai dengan perencanaan, lubang *test pit* dapat dipersiapkan untuk tahap pekerjaan berikutnya.

seperti perapian permukaan, pemasangan penghubung, atau penyiapan area untuk proses *jacketing*.

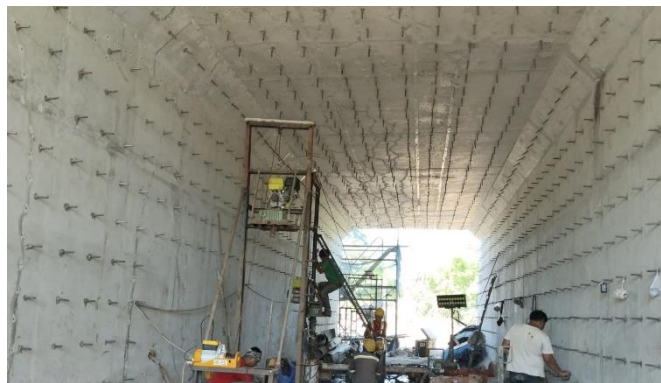


Gambar 9.32 Test PIT

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

6. Pemasangan Shear Connector D16

Pemasangan *shear connector* dilakukan sebelum pekerjaan *jacketing* untuk memastikan ikatan yang kuat antara beton lama dan beton baru. Proses dimulai dengan melakukan pengeboran pada permukaan beton eksisting sesuai jarak dan pola yang tercantum dalam desain. Setelah itu, batang baja D16 dimasukkan dan dipasang menggunakan *chemical anchor* atau *epoxy* khusus agar melekat kuat pada struktur lama. *Shear connector* ini berfungsi menahan gaya geser dan memastikan lapisan *jacketing* bekerja secara monolit dengan beton eksisting. Setelah seluruh *shear connector* terpasang dan kekuatannya terverifikasi, pekerjaan dapat dilanjutkan ke tahap pemasangan tulangan dan bekisting *jacketing*.



Gambar 9.33 Pemasangan Shear Connector

Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

7. Pembesian

Pembesian *jacketing* dilakukan setelah *shear connector* terpasang dan permukaan beton siap. Tulangan tambahan dipasang sesuai detail desain, meliputi tulangan longitudinal dan begel yang mengelilingi permukaan struktur eksisting. Seluruh tulangan diikat pada shear connector agar perkuatan bekerja monolit dengan beton lama. Jarak tulangan, ukuran, serta cover beton diperiksa untuk memastikan kesesuaian dengan gambar kerja dan standar pelaksanaan.



Gambar 9.34 Pembesian
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)

8. Pengecoran *Jacketing*

Setelah pembesian selesai dan bekisting terpasang rapat, dilakukan pengecoran menggunakan beton mutu sesuai desain. Beton dituangkan secara merata dan dipadatkan dengan vibrator untuk menghilangkan rongga serta menghindari *honeycomb*. Permukaan beton diratakan, lalu bekisting dibuka setelah beton mencapai kekuatan awal. Pekerjaan diakhiri dengan *curing* untuk menjaga kelembaban sehingga mutu beton tetap optimal.



Gambar 9.35 Pengecoran Jacketing
Sumber: PT Parama Karya Mandiri KSO (2025)