

## Analisis Beton Precast L-Gutter Sebagai Dinding Penahan Tanah Dan Drainase Menggunakan Pre-Tension Method

\*Jaka Propika<sup>1</sup>, Risky Murinda<sup>2</sup>, Yanisfa Septiarsilia<sup>3</sup>, Heri Istiono<sup>4</sup>, Eka Susanti<sup>5</sup>, Dewi Pertiwi<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jalan Arief Rahman Hakim No. 100 Surabaya, 60117  
[\\*jakapropika@itats.ac.id](mailto:jakapropika@itats.ac.id)

### Abstract

Technological advancements have had a significant impact on society, including the field of construction. Innovations in construction are continuously pursued to achieve better outcomes in terms of quality, cost, and implementation time. For instance, in precast concrete, technological progress has greatly influenced the variety of construction components that are designed. The development of technology has had tremendous effects on the innovation of precast concrete, such as L-Gutter. This research discussed the design of retaining walls for drainage using precast L-Gutter concrete, having a tilt comparison of 1:1 and the pre-tension method for retaining large soil pressure. It was planned to use two types of soil data, i.e., type A (sand) and type B (clay), within the worst condition as the reference for the initial calculation. It involved the most soil pressure of land type A (sand). As a result, the thick dimensions of the base and wall sides were 1.00 m and 0.60 m, consecutively. The pile cap reinforcement was 0.30 x 0.30 min 19 m long. Meanwhile, the prestress of the base side obtained 3011.380 kN,  $e = 0$ , total seven-wire two strands of  $\varnothing 15.24$  mm; the prestress of the wall side gained 6022.759 kN,  $e = 0$ , total seven-wire 24 strands of  $\varnothing 15.24$  mm. Accordingly, the plan for reinforced iron on the base side consists of primary reinforcement 22D16 and split reinforcement 30 $\varnothing$ 10, whereas the plan for reinforced iron on the wall side comprises primary reinforcement 14D16 and split reinforcement 16 $\varnothing$ 10.

**Keywords:** Precast Concrete, L-Gutter, Pre-Tension

### Abstrak

Kemajuan teknologi sangat berpengaruh pada kehidupan bermasyarakat tidak terkecuali pada dunia konstruksi. Inovasi-inovasi pada dunia konstruksi terus dilakukan untuk mendapatkan keuntungan yang lebih baik dari segi mutu, biaya, dan waktu pelaksanaan. Seperti pada beton pracetak (*precast*), kemajuan teknologi telah memberi pengaruh besar terhadap beragamnya komponen konstruksi yang didesain. Berbagai pengembangan telah memberi pengaruh besar terhadap beragamnya inovasi pada beton precast, salah satu produk *precast* yang saat ini dikembangkan yakni *L-Gutter*. *L-Gutter* memiliki fungsi ganda, yakni sebagai drainase dan dinding penahan tanah. Pada penelitian ini dilakukan desain dinding penahan tanah untuk drainase menggunakan beton precast *L-Gutter* yang memiliki perbandingan kemiringan 1:1 dan menggunakan *pre-tension method* untuk menahan tekanan tanah yang besar. Direncanakan pada 2 jenis data tanah tipe A (pasir) dan tanah tipe B (lempung) dengan keadaan terburuk sebagai acuan perhitungan awal. Besar tekanan tanah yang digunakan adalah tekanan tanah terbesar yaitu tanah tipe A (pasir). Dimensi tebal pada sisi alas 1,00 m dan tebal pada sisi dinding 0,60 m dan terdapat perkuatan tiang pancang 0,30x0,30 m panjang 19 m. Gaya prategang pada sisi alas 3011,380 kN,  $e = 0$ , jumlah *seven wire strand* 12 buah  $\varnothing 15,24$  mm; gaya prategang pada sisi dinding 6022,759 kN,  $e = 0$ , *seven wire strand* 24 buah  $\varnothing 15,24$  mm. Perencanaan besi tulangan sisi alas, tulangan utama 22D16, tulangan bagi 30 $\varnothing$ 10; besi tulangan sisi dinding, tulangan utama 14D16, tulangan bagi 16 $\varnothing$ 10.

**Kata Kunci:** Beton Precast, L-Gutter, Pre-Tension

## LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi membawa dampak besar pada kehidupan masyarakat, termasuk dalam sektor konstruksi. Berbagai inovasi dalam konstruksi terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas, khususnya beton pracetak yang memiliki keuntungan dalam mengurangi biaya dan mempercepat waktu pelaksanaan (Adiasa dkk., 2015). Beton pracetak adalah beton yang diproduksi di lokasi berbeda dari lokasi penggunaannya. Kebalikan dari pracetak adalah beton cor di tempat (*cast-in-place*), yang diproduksi langsung di lokasi pemasangan elemen tersebut (Erviyanto, 2006). Salah satu produk beton precast adalah *L-Gutter* yang memiliki fungsi sebagai dinding penahan tanah untuk drainase. Terdapat 2 macam pilihan yang bisa digunakan yaitu *L-Gutter* dinding tegak dan *L-Gutter* dinding miring. Kelebihan beton precast *L-Gutter* dibandingkan dengan beton precast drainase lainnya seperti *box culvert* dan *U-Ditch* adalah bisa digunakan untuk *existing* saluran air yang lebar, sedangkan *box culvert*

dan *u-ditch* terbatas dengan ukuran dimensinya. Bila dibandingkan dengan beton konvensional (*cast-in place*) yang menggunakan batu kali, penampang akan lebih besar dan berat sedangkan penampang pada beton precast lebih ramping dan ringan. Selain itu, pengerjaan beton precast yang dilakukan secara pabrikasi dapat menjaga mutu kualitas lebih baik. Kelebihan lainnya antara lain pelaksanaan pekerjaan *L-Gutter* lebih mudah dan cepat hanya dengan pasang-tempel, dapat meminimalisir keterlambatan pengerjaan akibat faktor cuaca dan dapat meminimalisir anggaran biaya.

Salah satu perusahaan lokal yang memproduksi *L-Gutter* adalah PT. Tjakrindo Mas dengan dua pilihan yang bisa digunakan. Seiring berjalannya waktu juga mengembangkan *L-Gutter* dengan metode *prestress* dengan tambahan perkuatan tiang pancang, seperti yang sudah diaplikasikan di saluran air Kali Sono – Madiun dengan ketinggian *existing* tanah 4 meter. Prategang diterapkan untuk mengurangi dan mencegah retakan yang muncul akibat rendahnya kapasitas tarik pada beton bertulang.

Teknik ini melibatkan pemberian gaya tekan secara konsentris dan eksentris sepanjang arah longitudinal elemen struktural. Gaya longitudinal ini dikenal sebagai gaya prategang, yaitu gaya tekan yang diterapkan pada penampang di sepanjang bentang elemen struktural sebelum adanya beban mati dan beban hidup, baik yang bekerja secara transversal maupun horizontal sementara (Nawy dan Suryoatmono, 2001).

Berdasarkan kelebihan-kelebihan beton precast *L-Gutter* dan berkembangnya beton precast dengan metode *prestress* tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perencanaan beton *precast L-Gutter* dengan panjang sisi miring adalah 7 meter. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis beton *precast L-Gutter* dengan menggunakan *Pre-Tension Method* sebagai dinding penahan tanah untuk drainase berdasarkan data material tanah tekanan maksimum yang terjadi sehingga beton *precast L-Gutter* mampu menahan tekanan dari jenis tanah lainnya. Hasil dari perencanaan ini berupa dimensi beton *precast L-Gutter* dan tiang pancang, beban maksimum yang mampu ditahan, serta kebutuhan baja prategang dan tulangan besi.

## LITERATUR REVIEW

### Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) umumnya digunakan untuk menahan tekanan lateral dari tanah urug atau tanah asli yang tidak stabil. Kestabilannya terutama bergantung pada bobot struktur itu sendiri serta tanah di atas pelat pondasinya. Jika kondisi tanah terganggu oleh faktor-faktor tertentu seperti beban gempa, getaran dari mesin, ledakan, atau keberadaan air tanah yang dapat melemahkan sifat fisik dan mekanis tanah, struktur dinding bisa rusak dan mengancam keselamatan manusia (Dermawan dkk., 2022). Dinding penahan tanah adalah bagian penting dalam struktur bangunan, khususnya untuk jalan raya dan bangunan di area dengan permukaan tanah yang berbukit atau memiliki perbedaan elevasi. Secara sederhana, dinding ini dibangun untuk menahan massa tanah yang berada di atas atau di sekitar struktur yang dibuat. Salah satu jenisnya adalah konstruksi klasik, yang bergantung pada berat strukturnya sendiri untuk menahan gaya-gaya yang bekerja (Supit, 2019) dan (Kalalo, Ticoth and Mandagi, 2017). Struktur dinding ini terdiri dari beton bertulang tipis yang pada bagian dalamnya, pada jarak tertentu, diperkuat dengan pelat atau dinding vertikal yang disebut *counterfort* (dinding penguat). Area di atas pelat pondasi diisi dengan tanah timbunan. Jika tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu dihubungkan menggunakan *counterfort* (Gevient and S, 2019).

### Beton Precast L-Gutter

Definisi beton pracetak (*precast*) menurut (SNI-2847, 2019) adalah elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan. Elemen-elemen beton pracetak (*precast*) diproduksi secara massal dan berulang-ulang di pabrik lalu dibawa ke lokasi pembangunan proyek untuk disambung.

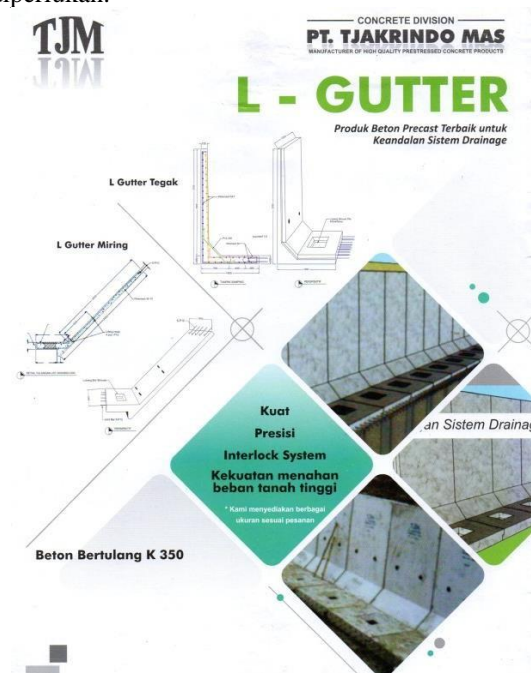
Adapun keuntungan dan kerugian beton *precast* adalah sebagai berikut (Kaligis, Ngangi and Talengkera, 2024):

Keuntungan beton precast :

1. Pengendalian mutu komponen produk menjadi lebih terjamin.
2. Beton yang digunakan umumnya memiliki mutu tinggi (di atas K350), sehingga dapat mengurangi dimensi dan beban struktur.
3. Proses produksi dapat dilakukan dalam skala besar di pabrik.
4. Proses penengangan dilakukan dengan presisi untuk memastikan gaya prategang sesuai kebutuhan.
5. Waktu pengerasan beton dapat dipercepat.
6. Biaya untuk cetakan atau bekisting dapat ditekan jika produksi dalam jumlah besar dengan bentuk yang seragam.
7. Biaya keseluruhan dapat dikurangi karena minimnya penggunaan alat bantu seperti scaffolding.
8. Tidak memerlukan area proyek yang luas, lebih tenang, bersih, dan ramah lingkungan.

Kerugian beton precast:

1. Tidak ekonomis jika diproduksi dalam jumlah sedikit.
2. Membutuhkan ketelitian tinggi untuk mencegah perbedaan yang signifikan antar elemen, yang dapat mempersulit pemasangan.
3. Dimensi dan bentuk elemen *precast* terbatas sesuai kapasitas peralatan angkut dan angkat.
4. Jika ukuran elemen berbeda, cetakan tambahan diperlukan.



Gambar 1. Katalog L-Gutter  
Sumber: PT Tjagrindo Mas (2024)

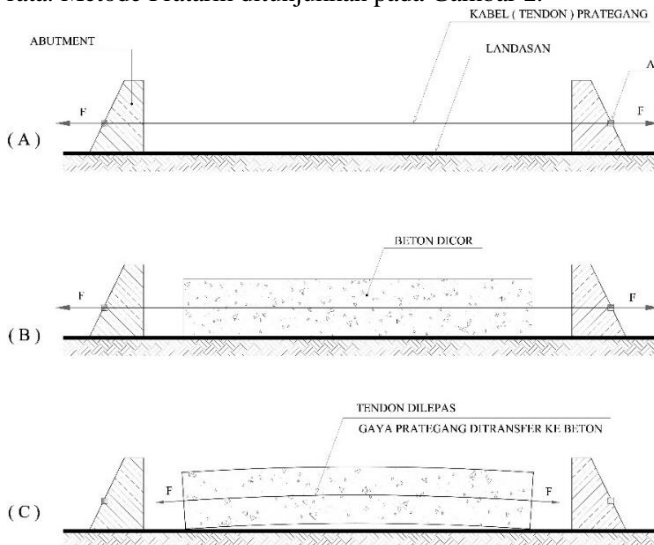
Dari berbagai macam elemen beton pracetak yang telah didesain, salah satu hasil produksi beton pracetak yaitu *L-Gutter*, yang memiliki bentuk menyerupai huruf L. Berfungsi sebagai dinding penahan tanah untuk keperluan drainase. Bagian-bagian pada *L-Gutter* terdiri dari bagian alas (*base slab*), dinding vertikal (*stem*) dan bagian penunjang tambahan seperti “sepatu” dan tiang

pancang. Pada bagian dinding vertikal didesain dengan dua tipe yaitu dinding vertikal yang didesain tegak lurus terhadap alas dan dinding vertikal yang didesain miring. Pada bagian dinding vertikal didesain dengan dua tipe yaitu dinding vertikal yang didesain tegak lurus terhadap alas dan dinding vertikal yang didesain miring. Gambar katalog L-Gutter dapat dilihat pada Gambar 1.

**Beton Prategang**

Beton prategang (*prestressed concrete*) adalah beton struktur dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (SNI-2847, 2019)(SNI 2847:2013).

Terdapat dua macam metode pemberian gaya prategang pada beton yaitu *pre-tension method* dan metode *post-tension method* (Soetoyo, 2019). Dalam penelitian ini, *L-Gutter* direncanakan dengan metode *pre-tension*. Pada metode ini baja prategang (tendon) ditarik yang kemudian diangker pada abutment tetap sebelum beton cor dituangkan kedalam cetakan (*formwork*). Setelah beton mengering dan cukup umur dan kuat untuk menerima gaya prategang dilakukan pemotongan tendon sehingga gaya prategang akan bekerja pada beton. Gaya prategang yang bekerja akan membuat beton tersebut melengkung ke atas dan ketika beban-beban yang ada bekerja maka beton tersebut akan rata. Metode Pratarik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode Beton Pratarik (*Pre-Tension Method*)  
(a) tendon diberi gaya prategang, (b) beton dicor dicetak,  
(c) balok dalam keadaan prategang  
Sumber: Soetoyo (2019)

**Kehilangan Gaya Prategang**

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Secara umum kehilangan gaya prategang dibedakan menjadi dua kategori yaitu secara langsung dan tidak langsung (Soetoyo, 2019).

Kehilangan gaya prategang pada *pre-tension method* adalah sebagai berikut :

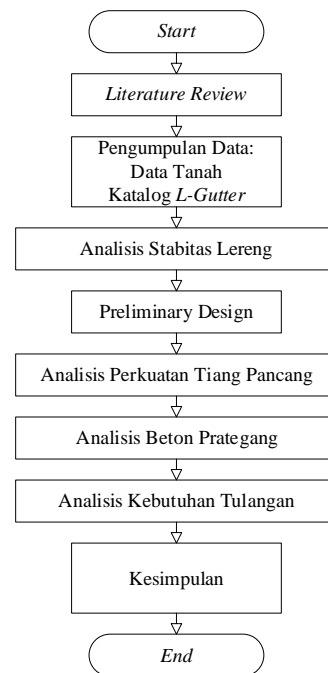
- a) Perpendekan elastis beton ( $\Delta fpES$ )  
Gaya prategang yang ditransfer ke beton, maka beton akan memendek (perpendekan elastis) dan diikuti

- dengan perpendekan baja prategang yang mengikuti perpendekan beton tersebut.
- b) Penyusutan beton ( $\Delta fpSH$ )  
Akibat dari penyusutan beton yang dipengaruhi oleh rasio antara volume beton dan luas permukaan beton; kelembapan relatif waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang.
- c) Rangkak / creep ( $\Delta fpCR$ )  
Akibat oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian.
- d) Relaksasi baja ( $\Delta fpR$ )  
Kehilangan gaya prategang yang diakibatkan dari perpanjangan konstan terhadap waktu dan rasio antara prategang awal dan kuat leleh baja prategang.

**METODE PENELLITIAN**

Dalam analisis pada penelitian ini, diperlukan data-data sebagai acuan perhitungan. Untuk dapat melakukan analisis yang baik, maka diperlukan data yang mencakup teori konsep dasar dan informasi yang berkaitan dengan objek yang akan dianalisis. Pada bab ini dijelaskan terkait tahapan penelitian, data penelitian, serta analisis yang digunakan.

**Tahapan Penelitian**



Gambar 2. Flow Chart  
Sumber: Penelitian (2024)

Dalam penelitian ini dilakukan desain drainase dan dinding penahan tanah dengan *L-Gutter* dengan bantuan program FEM 2D untuk analisis stabilitas lereng alami, serta program struktur 3D untuk analisis gaya dalam pada permodelan *L-Gutter*nya. Adapun diagram alir pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

**Data Eksisting**

Pada penelitian ini, dibutuhkan data tanah perencanaan, tekanan tanah lateral yang terjadi di belakang tanah haruslah diketahui lebih dahulu. Perencanaan Beton *Precast L-Gutter* ini diharapkan mampu menahan tekanan tanah lateral dari segala jenis tanah baik itu pasir maupun lempung. Oleh sebab itu perlu mengetahui data tanah untuk dapat menganalisis tekanan tanah lateral, data tanah ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Tanah Perencanaan

Parameter	Simbol	Type A	Type B
		<i>Sand Dense, Uniformly Graded</i>	<i>Clay Stiff</i>
Model material		<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>
Kondisi material		<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
Berat isi tanah di atas m.a.t(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_t$	18	16
Berat isi tanah dibawah m.a.t (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$	20	18
Permeabilitas arah horizontal(m/day)	$k_x$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-8}$
Permeabilitas arah vertikal(m/day)	$k_y$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-8}$
Modulus young (kN/m <sup>2</sup> )	$E$	$1 \times 10^4$	$4,5 \times 10^3$
Angka poisson	$u$	0,20	0,20
Model material		<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>
Sudut geser (°)	$\phi$	32	0
Sudut dilatasi (°)	$\psi$	2	0

Sumber: Look (2007)

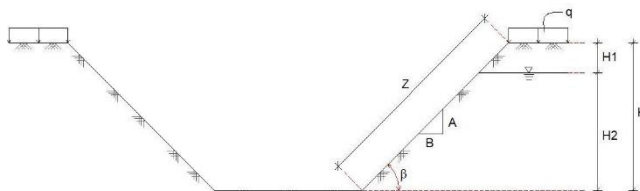
### Analisis Menggunakan Aplikasi FEM 2D dan 3D

Pada penelitian ini digunakan aplikasi/program bantu untuk menganalisis stabilitas tanah dan menghitung gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Program bantu FEM 2D digunakan untuk menghitung stabilitas tanah. Dengan bantuan aplikasi pemrograman 3D untuk mengetahui besar momen dan gaya lintang yang terjadi pada beton *precast L-Gutter*. Pada analisis beton prategang, beban-beban yang diinput ada dua tahap, yaitu tahap transfer dan tahap layan. Dalam setiap tahap pembebanan dibedakan menjadi dua bagian, dikarenakan terdapat dua perletakan baja prategang. Pembebanan pada bagian A adalah beban yang terjadi pada sisi dinding. Pembebanan pada bagian B adalah beban yang terjadi pada sisi alas.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perencanaan Geometri Penampang L-Gutter

Penampang saluran drainase rencana disesuaikan dengan kebutuhan, namun pada penelitian ini akan dilakukan tiga perbandingan ukuran dan kemiringan penampang untuk mengetahui stabilitasnya, sehingga didapatkan penampang *L-Gutter* yang paling efektif dan paling stabil yang akan dipilih. Adapun sketsa penampang drainase ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penampang Drainase  
Sumber: Penelitian (2024)

Dengan ketentuan perencanaan diawal yaitu panjang sisi miring beton *precast L-Gutter* (Z) adalah 7,00 meter dan kedalaman muka tanah air dari permukaan tanah (H1) adalah 1,00 meter. Pada permukaan tanah terdapat beban merata akibat beban lalu lintas yang mana nilai tersebut dengan kategori beban merata minimum pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan dan lahan/jalan untuk truk-truk. Beban merata (q) yang direncanakan adalah 11,97 kN/m<sup>2</sup>. Merencanakan kemiringan beton *precast L-Gutter* dengan tiga tipe perbandingan (A:B) diawal untuk mencari nilai *safety factor* stabilitas lereng alami terendah. Perbandingan yang direncanakan yaitu 1:1, 1:1,5, 1:2, sehingga dimensi beton *precast L-Gutter* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Penampang Drainase Untuk Perencanaan Awal

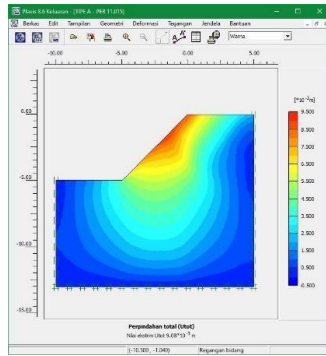
Parameter	Simbol	Perbandingan A : B		
		1:1	1:1,5	1:2
Sudut kemiringan	$\alpha$	45°	34°	27°
Panjang sisi miring <i>precast</i>	$Z$	7,00	7,00	7,00
Total tinggi tanah	$H$	4,95	3,91	3,18
Tinggi tanah tak jenuh	$H_1$	1,00	1,00	1,00
Tinggi tanah jenuh	$H_2$	3,95	2,91	2,18

Sumber: Penelitian (2024)

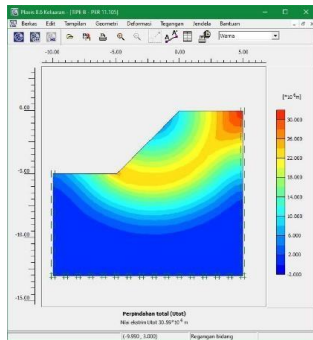
Pada ilustrasi penampang saluran tidak digambarkan tinggi air pada saluran atau saluran drainase dalam keadaan kosong yang mengakibatkan tidak adanya tekanan pasif akibat tekanan air yang ada di dalam saluran. Oleh karena itu untuk mendapatkan tekanan tanah lateral yang maksimum maka perlu merencanakan saluran drainase dalam keadaan kosong.

#### Analisis Stabilitas Lereng Alami Menggunakan Aplikasi FEM 2D

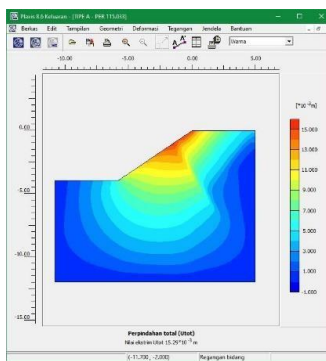
Analisis dilakukan pada lereng alami, pada analisis ini lereng yang bagian kanan yang akan dianalisis. Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai *safety factor* stabilitas lereng secara alami yang terjadi dengan menggunakan aplikasi *Finite Element Analysis 2D* Nilai *safety factor* yang terendah dari kedua jenis tipe tanah yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Nilai *safety factor* yang rendah atau lebih kecil dari persyaratan *safety factor* mengartikan bahwa keadaan lereng tersebut dalam keadaan tidak stabil dan perlu perkuatan dinding penahan tanah. Pada permodelan ini, lapisan dan struktur tanah dimodelkan sebagai *plane strain* dengan elemen segitiga 15 nodal. Nilai sudut dilatasi didapat dari apabila sudut geser ( $\phi$ ) > 30° maka sudut dilatasi,  $\psi = \phi - 30^\circ = 32^\circ - 30^\circ = 2^\circ$ . Adapun nilai *safety factor* dari analisis stabilitas lereng alami menggunakan program stabilitas tanah, hasil analisis pada masing-masing *safety factor* dapat dilihat Gambar 4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Nilai *safety factor* dan bidang gelincir lereng alami (a) perb. 1:1, tanah tipe A = 0,521, (b) perb. 1:1, tanah tipe B = 0,521, (c) perb. 1:1,5, tanah tipe B = 2,676  
Sumber: Penelitian (2024)

Dari hasil analisis menggunakan aplikasi Plaxis 2D di atas, perlu dilakukan rekapitulasi hasil untuk mempermudah mengetahui hasil dari nilai *safety factor* terendah. Berikut rekapitulasi hasil dari nilai *safety factor* alami yang terjadi pada setiap perbandingan dan jenis tipe tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Nilai *Safety Factor* dari Analisis Stabilitas Lereng Alami Menggunakan Program FEM 2D

Material	Nilai SF		
	1:1	1:1,5	1:2
Tanah Tipe A	0,521	0,855	1,198
Tanah Tipe B	2,137	2,676	3,185

Sumber: Penelitian (2024)

Didapatkan bahwa nilai *safety factor* lereng alami terendah terletak pada perbandingan 1:1. Maka, untuk perhitungan selanjutnya akan merencanakan kemiringan lereng dengan perbandingan 1:1.

### Preliminary Design L-Gutter

Permodelan Design Awal Beton *Precast L-Gutter*

Tebal pelat untuk bagian sisi miring

Bentang panjang ( $L_y$ ) = 7000 mm

Bentang Pendek ( $L_x$ ) = 1200 mm

Tebal pelat tertumpu sederhana

$$\frac{L_n}{20} = \frac{7000}{20} = 350 \text{ mm}$$

Tebal pelat untuk bagian sisi alas

Bentang panjang ( $L_y$ ) = 4000 mm

Bentang Pendek ( $L_x$ ) = 1200 mm

Tebal pelat tertumpu sederhana

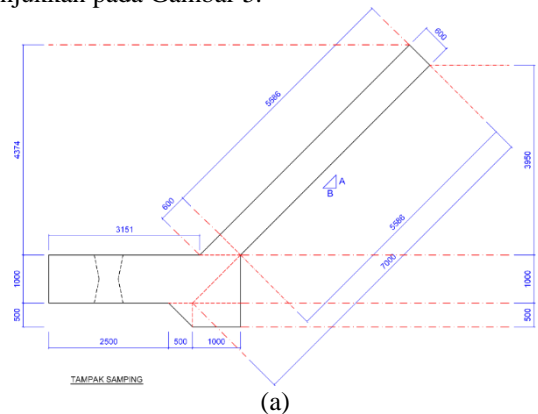
$$\frac{L_n}{20} = \frac{4000}{20} = 200 \text{ mm}$$

Dikarenakan tebal minimal pelat pada sisi miring dan alas tidak dapat memenuhi persyaratan, maka besar dari tebal pelat diperbesar sebagai berikut :

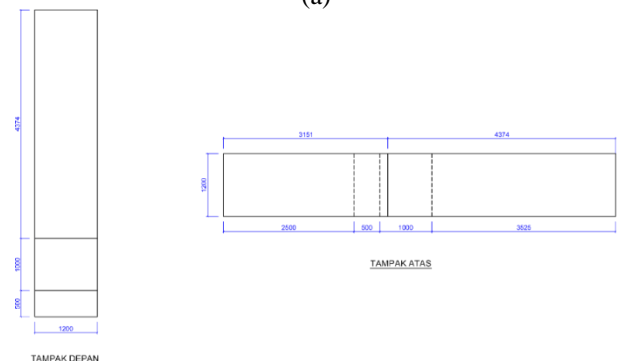
Tebal pelat sisi miring = 600 mm

Tebal pelat sisi alas = 1000 mm

Gambar perletakan dan desain beton *precast L-Gutter* ditunjukkan pada Gambar 5.

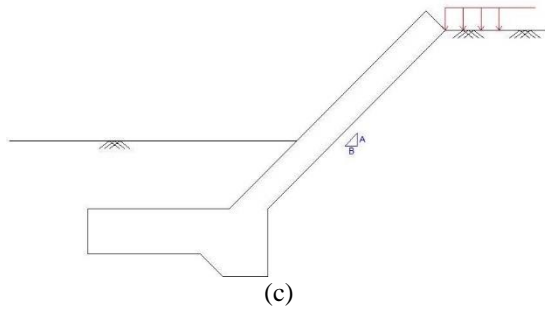


(a)



(b)





Gambar 5. Preliminary Design L-Gutter (a) Dimensi Penampang / Tampak Samping Beton Precast L- Gutter, (b) Dimensi Penampang / Tampak Depan dan Atas Beton Precast L-Gutter, (c) Perletakkan Beton Precast L-Gutter Pada Penampang Drainase  
Sumber: Penelitian (2024)

### Analisis Perkuatan Tiang Pancang

Dikarenakan hasil analisis stabilitas terhadap geser dan guling tidak aman, maka perlu ditambah perkuatan tiang pancang untuk mendapatkan keamanan beton precast L-Gutter dalam menahan gaya dorong tekanan tanah aktif. Panjang tiang pancang direncanakan sepanjang 19 meter dengan memperhatikan hasil bidang lincir lereng alami. Data- data yang digunakan untuk menghitung perkuatan tiang pancang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Tanah Untuk Perhitungan Perkuatan Tiang Pancang

Parameter	Simbol	Nilai
Berat isi tanah di bawah m.a.t, tanah yang ditinjau (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$	20
Kohesi tanah (kN/m <sup>3</sup> )	$c$	0
Sudut gesek dalam (°)	$\phi$	32
Sudut gesek antara tanah dan beton, 0,9 $\phi$ (°)	$\delta$	28,8
Koefisien tekanan tanah yang ditinjau (tabel 2.9) (kN/m <sup>3</sup> )	$K_d$	1
Dimensi tiang pancang (per 1 buah) (m)	$B \times H$	0,30 x 0,30

Sumber: Penelitian (2024)

Tahanan ujung tiang pancang

$$f_p = \sigma_v' \times N_q = ((20 - 10) \times 19) \times 29,5 = 5605 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \times f_p = (0,3 \times 0,3) \times 5605 = 504,450 \text{ kN}$$

Tahanan gesek selimut tiang pancang

$$f_s = K_d \times \sigma_v' \times \tan \delta = 1 \times ((20 - 10) \times 19) \times (\tan(28,8^\circ)) = 104,453 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = A_s \times f_s = (4 \times 0,30 \times 19) \times 104,453 = 2381,528 \text{ kN}$$

Beban tiang pancang

$$W_p = A_p \times L \times f_c' = (0,3 \times 0,3) \times 19 \times 24 = 41,040 \text{ kN}$$

Kapasitas dukung ultimit tiang pancang

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p = 504,450 + 2381,528 - 41,040 = 2844,938 \text{ kN}$$

Kapasitas Izin Tiang Pancang

$$Q_a = Q_u / SF = 2844,938 / 3 = 948,938 \text{ kN}$$

Kontrol kapasitas ijin tiang pancang terhadap beban vertikal

$$Q_a > 1,4W = 948,313 \text{ kN} > 1,4 \times 305,128 \text{ kN}$$

$948,313 \text{ kN} > 427,179 \text{ kN}$  ; memenuhi persyaratan yang diijinkan.

Kontrol kapasitas ijin cabut tiang pancang terhadap momen tekanan tanah aktif

Jarak ke titik guling,  $d = 1,250 \text{ m}$

$$Q_a \times d > 1,6 (MPa + MPaE)$$

$$992,304 \text{ kNm} > 1,6 (281,060 + 320,737)$$

$992,304 \text{ kNm} > 962,875 \text{ kNm}$  ; memenuhi persyaratan yang diijinkan.

Maka, didapatkan bahwa perkuatan tiang pancang yang aman untuk menahan besarnya tekanan tanah adalah menggunakan dimensi 0,30 x 0,30 m dan panjang tiang pancang 19 m.

### Analisis Beton Prategang

Pada penelitian ini struktur L-Gutter direncanakan dengan struktur beton prategang. Adapun analisis prategang direncanakan pada dua bagian, yakni Bagian A (Sisi Alas) dan Bagian B (Sisi Dinding). Gaya-gaya seperti momen, gaya geser, dan lainnya didapatkan dari analisis program *finite element* 3D.

#### A. Perhitungan Beton prategang bagian A

Data material dan tegangan izin :

Mutu Beton Rencana K500

$$f_c' = 0,083 \times 500$$

$$= 41,5 \text{ MPa}, f_{ci}$$

$$= 0,8 \times 41,5 = 33,2 \text{ MPa}$$

Tegangan Izin

Tahap layan

$$\text{Tegangan Tarik Izin} = 1/2 \sqrt{(f_c' \times c)} = 1/2 \sqrt{41,5} = 3221 \text{ kN/m}^2$$

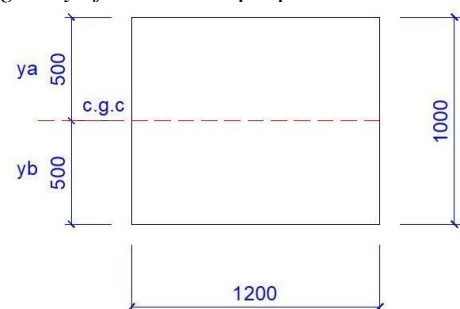
$$\text{Tegangan Tekan Izin} = 0,45 f_c' = 0,45 \times 41,5 = 18675 \text{ kN/m}^2$$

Tahap Transfer

$$\text{Tegangan Tarik Izin} = 1/2 \sqrt{(f_c' \times c)} = 1/2 \sqrt{41,5} = 3221 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan Tekan Izin} = 0,60 \times f_{ci} = 19920 \text{ kN/m}^2$$

Sketsa penampang terkait eksentrisitas penampang dan *central gravity of center* terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Eksentrisitas Penampang dan c.g.c  
Sumber: Penelitian (2024)

$e = 0$   
 $L = 1,20 \times 1,00 = 1,20 \text{ m}^2$   
 $I_o = 0,1 \text{ m}^4$   
 $I = 0,1 \text{ m}^4$   
 Besar Gaya Prategang Awal Tahap layan  
 Dari analisis yang dilakukan didapatkan :  
 $M_u = (-77,009) + 150,421 + 157,194 + (-7,027)$   
 $= 223,578 \text{ kNm}$   
 $M_n = (223,578)/(0,9) = 248,420 \text{ kNm}$   
 Nilai gaya prategang awal,  $F = 2375,63 \text{ kN}$   
 Tahap Transfer  
 $M_u = 89,844 \text{ kNm}$   
 $M_n = (89,844)/(0,9) = 99,827 \text{ kNm}$   
 Kebutuhan Seven Wire Strand  
 Sebelum kehilangan prategang  
 Dimensi *seven wire strand* : 15,24 mm  
 Gaya prategang rencana : 2375,630 kN = 2375630 N  
 Grade *seven wire strand* : 270  
 Tegangan tarik minimum,  $f_{pu}$  : 1860 MPa  
 Tegangan baja prategang maks,  $f_{pmaks}$  :  
 $f_{pu} \times 0,74 = 1860 \times 0,74 = 1376,4 \text{ MPa} = 1376,4 \text{ N/mm}^2$   
 Dimana :  
 $As \text{ perlu} = (\text{Gaya prategang rencana}) / (f_{p \text{ maks}})$   
 $= (2375630) / 1376,4$   
 $= 1752,974 \text{ mm}^2$   
 Sehingga *seven wire strand* yang diperlukan sebelum  
 kehilangan prategang adalah :  
 $(As \text{ perlu}) / As_p = (1752,974) / (1/4 \pi [15,24]^2)$   
 $= 9,476 \approx 10 \text{ batang}$   
 Maka kebutuhan tulangan prategang sejumlah 10 batang  
 untuk bagian *L Gutter A* (Sisi alas) pada saat sebelum  
 kehilangan prategang.  
 Kehilangan Prategang  
 a. Akibat perpindahan elastis beton  
 $f_c$  (pada level baja prategang) : -1,98 MPa  
 Modulus elastisitas baja prategang,  $E_s$  : 195000 MPa  
 Mutu beton rencana,  $f_c'$  : 41,5 MPa  
 Modulus elastisitas beton,  $E_c$  :  
 $4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{41,5} = 30277,632 \text{ MPa}$   
 Dimensi *seven wire strand* : 0,01524 m  
 Kebutuhan *seven wire strand* : 10 batang  
 sebelum kehilangan prategang  
 Luas penampang :  $1 \times \pi \times 0,01524^2 \times 104$   
 kebutuhan *seven wire strand* : 0,00182 m<sup>2</sup>  
 Gaya prategang : 1979,692 kN  
 Dimana :  
 $n = E_s/E_c = 195000/30277,632 = 6,440$   
 $\Delta f_{pES} = n \times f_c = 6,440 \times 1979,692$   
 $= 12,749 \text{ N/mm}^2$   
 $ES = \Delta f_{pES} / (F / (As \text{ pakai})) \times 100\%$   
 $= 12749,216 / (2375,63 / 0,00182) \times 100\%$   
 $= 0,977 \%$   
 b. Akibat penyusutan beton  
 Modulus elastisitas baja prategang,  $E_s$  : 195000 MPa  
 Volume,  $V$  :  $1,20 \times 1,00 \times 4,00 = 4,80 \text{ m}^3$   
 Luas permukaan,  $s$  :  
 Bagian 1 =  $(2 \times (1,20 + 1,00)) \times 4,00 = 17,60 \text{ m}^2$   
 Bagian 2 =  $(1,20 \times 1,00) \times 2 = 2,40 \text{ m}^2$   
 Total = 20,00 m<sup>2</sup>  
 Koefisien penyusutan,  $K_{sh}$  : 1

Kelembaban udara relatif, RH : 91,5% (Surabaya)  
 $f_{pu}$  : 1860 MPa  
 $f_{si} = f_{pmaks}$  : 1376,4 N/mm<sup>2</sup>  
 Dimana :  
 $\epsilon_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06 \times v/s) \times (100 - RH)$   
 $= 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06 \times 4,80/20,00) \times (100 - 91,5)$   
 $= 6,870 \times 10^{-5}$   
 $\Delta f_{pSH} = \epsilon_{SH} \times K_{SH} \times E_s$   
 $= (6,870 \times 10^{-5}) \times 1 \times 195000$   
 $= 13,397 \text{ N/mm}^2$   
 $SH = \Delta f_{pSH} / (f_{si}) \times 100\%$   
 $= 13,397 / 1376,4 \times 100\%$   
 $= 0,973 \%$

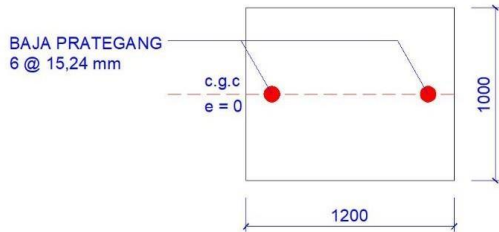
c. Akibat rangkai (*creep*)  
 $f_c$  (pada level baja prategang) = -1979,692 kN/m<sup>2</sup>  
 $= -1,98 \text{ MPa}$   
 Modulus elastisitas baja prategang,  $E_s$  : 195000 MPa  
 Mutu beton rencana,  $f_c'$  : 41,5 MPa  
 Modulus elastisitas beton,  $E_c$  : 4700 $\sqrt{f_c'}$   
 $= 4700\sqrt{41,5} = 30277,632 \text{ MPa}$   
 $K_{cr}$  pratarik : 2  
 Dimensi *seven wire strand* : 15,24 mm  
 $f_{pmaks}$  : 1376,4 N/mm<sup>2</sup>  
 Dimana :  
 $\Delta f_{vCR} = K_{cr} \times E_s / E_c \times f_c'$   
 $= 2 \times 195000 / 30277,632 \times 1,98$   
 $= 25,504 \text{ N/mm}^2$   
 $CR = (\Delta f_{pCR}) / f_{pmaks} \times 100\%$   
 $= 25,504 / 1376,4 \times 100\% = 1,853\%$   
 Akibat relaksasi baja  
 $\Delta f_{pSH}$  : 13,397 N/mm<sup>2</sup>  
 $\Delta f_{pCR}$  : 25,504 N/mm<sup>2</sup>  
 $\Delta f_{pES}$  : 12,749 N/mm<sup>2</sup>  
 $C = f_{si} / f_{pu} = (1376,4) / 1860 = 1,36$   
 $J = 0,15$   
 $K_{re} = 2000 \text{ Psi} = 138 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{pu}$  : 1860 MPa  
 $f_{p \text{ maks}}$  : 1386,4 N/mm<sup>2</sup>  
 Dimana :  
 $\Delta f_{pR} = C \times (K_{re} - J(\Delta f_{pSH} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pES}))$   
 $= 1,36 \times (138 - 0,15(13,397 + 25,504 + 12,749))$   
 $= 177,143 \text{ N/mm}^2$   
 Kebutuhan *Seven Wire Strand*  
 Setelah kehilangan prategang  
 Dimensi *seven wire strand* : 15,24 mm  
 Gaya prategang : 2375,630 kN = 2375630 N  
 Grade *seven wire strand* : 270  
 $f_{pu}$  : 1860 MPa  
 $f_{p \text{ maks}}$  : 1376,4 N/mm<sup>2</sup>  
 $ES$  : 0,977 %  
 $SH$  : 0,973 %  
 $CR$  : 1,853 %  
 $R$  : 12,870 %  
 Kehilangan prategang total (pratarik)  
 $= ES + SH + CR + R = 16,673 \%$   
 Gaya prategang awal =  $(1 + 0,167) \times 2375630$   
 $= 2772360,210 \text{ N}$   
 Dimana :  
 $As \text{ perlu} = (\text{Gaya prategang awal}) / (f_{p \text{ maks}})$   
 $= (2772360,21630) / 1376,4 = 2014,211 \text{ mm}^2$

Sehingga *seven wire strand* yang diperlukan setelah kehilangan prategang adalah :

$$\begin{aligned} (\text{Asp perlu}) / \text{Asp} &= (2014,211) / (1/4 \pi [15,24]^2) \\ &= 11,048 \approx 12 \text{ batang} = 2 \text{ tendon} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya prategang akhir} = \text{Asp pakai} \times f_p \text{ maks} = 1/4 \pi [15,24]^2 (12)(1376,4) = 3011379,577 \text{ N}$$

Maka, direncanakan Perencanaan penempatan tendon pada bagian A (sisi alas) ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi Perencanaan penempatan tendon pada bagian A (sisi alas)  
Sumber: Penelitian (2024)

### B. Perhitungan Beton prategang bagian B

Data material dan tegangan izin :

Mutu Beton Rencana K500

$$f'c = 0,083 \times 500 = 41,5 \text{ MPa,}$$

$$f'ci = 0,8 \times 41,5 = 33,2 \text{ MPa}$$

Tegangan Izin

Tahap layan

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Tarik Izin} &= 1/2 \sqrt{(f'c)} \\ &= 1/2 \sqrt{41,5} = 3221 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

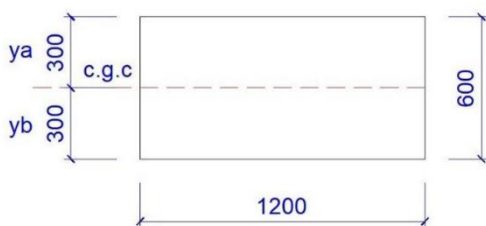
$$\begin{aligned} \text{Tegangan Tekan Izin} &= 0,45 f'c = 0,45 \times 41,5 \\ &= 18675 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tahap Transfer

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Tarik Izin} &= 1/2 \sqrt{(f'c)} \\ &= 1/2 \sqrt{41,5} = 3221 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan Tekan Izin} = 0,60 \times f'ci = 19920 \text{ kN/m}^2$$

Sketsa penampang *L-gutter* bagian B terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Penampang *L-Gutter* pada bagian B  
Sumber: Penelitian (2024)

$$e = 0$$

$$L = 1,20 \times 0,6 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$I_o = 0,022 \text{ m}^4$$

$$I = 0,022 \text{ m}^4$$

Besar Gaya Prategang Awal Tahap layan

Dari analisis yang dilakukan didapatkan :

$$\begin{aligned} M_u &= (-77,009) + 150,421 + 157,194 + (-7,027) \\ &= 223,578 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n = (223,578) / (0,9) = 248,420 \text{ kNm}$$

Nilai gaya prategang awal,  $F = 4750,572 \text{ kN}$

Tahap Transfer

$$M_u = 89,844 \text{ kNm}$$

$$M_n = (89,844) / (0,9) = 99,827 \text{ kNm}$$

Kebutuhan *Seven Wire Strand*

Sebelum kehilangan prategang

$$\text{Dimensi seven wire strand} = 15,24 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya prategang rencana} = 4750,572 \text{ kN}$$

$$= 4750572 \text{ N}$$

$$\text{Grade seven wire strand} = 270$$

$$\text{Tegangan tarik minimum, } f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Tegangan baja prategang maks,

$$f_{pmaks} = f_{pu} \times 0,74$$

$$= 1860 \times 0,74$$

$$= 1376,4 \text{ MPa}$$

$$= 1376,4 \text{ N/mm}^2$$

Dimana :

$$\text{As perlu} = (\text{Gaya prategang rencana}) / (f_p \text{ maks})$$

$$= (4750572) / 1376,4$$

$$= 3451,447 \text{ mm}^2$$

Sehingga *seven wire strand* yang diperlukan sebelum kehilangan prategang adalah :

$$\begin{aligned} (\text{Asp perlu}) / \text{Asp} &= (3451,447) / (1/4 \pi [15,24]^2) \\ &= 18,93 \approx 20 \text{ batang} \end{aligned}$$

Maka kebutuhan tulangan prategang sejumlah 20 batang untuk bagian *L Gutter* A (sisi alas) pada saat sebelum kehilangan prategang.

Kehilangan Prategang

a. Akibat perpendekan elastis beton

$$f_c \text{ (pada level baja prategang)} = -6,598 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja prategang, } E_s : 195000 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton rencana, } f'c : 41,5 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton, } E_c : 4700 \sqrt{f'c}$$

$$= 4700 \sqrt{41,5} = 30277,632 \text{ MPa}$$

$$\text{Dimensi seven wire strand} : 0,01524 \text{ m}$$

$$\text{Kebutuhan seven wire strand} : 20 \text{ batang}$$

sebelum kehilangan prategang

$$\text{Luas penampang} : 1 \times \pi \times 0,01524^2 \times 104$$

$$\text{kebutuhan seven wire strand} : 0,00365 \text{ m}^2$$

$$\text{Gaya prategang} : 4750,572 \text{ kN}$$

Dimana :

$$n = E_s / E_c = 195000 / 30277,632 = 6,440$$

$$\Delta f_{pES} = n \times f_c = 6,440 \times 6598,017$$

$$= 42,491 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = \Delta f_{pES} / (F / (\text{Asp pakai})) \times 100\%$$

$$= 42491,229 / (4750,572 / 0,00365) \times 100\%$$

$$= 3,265 \%$$

b. Akibat penyusutan beton

$$\text{Modulus elastisitas baja prategang, } E_s : 195000 \text{ MPa}$$

$$\text{Volume, } V : 1,20 \times 0,60 \times 7,00 = 5,04 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas permukaan, } s :$$

$$\text{Bagian 1} = (2 \times (1,20 + 0,60)) \times 7,00 = 25,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Bagian 2} = (1,20 \times 0,60) \times 2 = 1,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Total} = 26,64 \text{ m}^2$$

$$\text{Koefisien penyusutan, } K_{sh} : 1$$

$$\text{Kelembaban udara relative, RH} : 91,5\% \text{ (Surabaya)}$$

$$f_{pu} : 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{si} = f_{pmaks} : 1376,4 \text{ N/mm}^2$$

Dimana :

$$\epsilon_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06 \times v/s) \times (100 - RH)$$

$$= 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06 \times 5,04 / 26,64) \times (100 - 91,5)$$

$$= 6,891 \times 10^{-5}$$

$$\Delta f_{pSH} = \epsilon_{SH} \times K_{SH} \times E_s$$

$$= (6,891 \times 10^{-5}) \times 1 \times 195000$$

$$= 13,437 \text{ N/mm}^2$$

$$SH = \Delta f_{pSH} / (f_{si}) \times 100\%$$



$$= 13,437/1376,4 \times 100\% = 0,976 \%$$

c. Akibat rangkai (*creep*)

$$f_c \text{ (pada level baja prategang)} \\ f'_c = -6598,017 \text{ kN/m}^2 = -6,598 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja prategang,

$$E_s = 195000 \text{ MPa}$$

Mutu beton rencana

$$f'_c = 41,5 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 4700\sqrt{41,5}$$

$$= 30277,632 \text{ MPa}$$

$K_{cr}$  pratarik = 2

Dimensi seven wire strand

$$\phi = 15,24 \text{ mm}$$

$$f_{p\text{maks}} = 1376,4 \text{ N/mm}^2$$

Dimana :

$$\Delta f_{vCR} = K_{cr} \times E_s/E_c \times f'_c \\ = 2 \times 195000/30277,632 \times 6,598 \\ = 84,987 \text{ N/mm}^2$$

$$CR = (\Delta f_{pCR})/f_{p\text{maks}} \times 100\% = 84,987/1376,4 \times 100\% = 6,174 \%$$

d. Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pSH} = 13,437 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta f_{pCR} = 84,987 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta f_{pES} = 42,491 \text{ N/mm}^2$$

$$C = f_{si}/f_{pu} = (1376,4)/1860 = 1,36$$

$$J = 0,15$$

$$K_{re} = 2000 \text{ Psi} = 138 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p\text{maks}} = 1386,4 \text{ N/mm}^2$$

Dimana :

$$\Delta f_{pR} = C \times (K_{re} - J(\Delta f_{pSH} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pES})) \\ = 1,36 \times (138 - 0,15(13,437 + 84,987 + 42,491)) \\ = 158,933 \text{ N/mm}^2$$

$$R = \Delta f_{pR}/f_{pi} \times 100\% = (158,933)/1376,4 \times 100\% = 11,547\%$$

Kebutuhan Seven Wire Strand

Setelah kehilangan prategang

Dimensi seven wire strand = 15,24 mm

$$\text{Gaya prategang} = 2375,630 \text{ kN} = 2375630 \text{ N}$$

Grade seven wire strand = 270

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p\text{maks}} = 1376,4 \text{ N/mm}^2$$

$$ES = 3,265 \%$$

$$SH = 0,976 \%$$

$$CR = 6,174 \%$$

$$R = 11,547 \%$$

Kehilangan prategang total (pratarik)

$$= ES + SH + CR + R = 21,962 \%$$

Gaya prategang awal

$$= (1 + 0,220) \times 4750572 = 5795697,840 \text{ N}$$

Dimana :

$$\text{As perlu} = (\text{Gaya prategang awal})/(f_{p\text{maks}})$$

$$= (5795697,840)/1376,4$$

$$= 4210,766 \text{ mm}^2$$

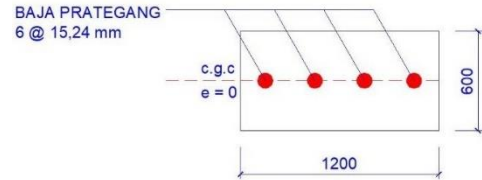
Sehingga seven wire strand yang diperlukan setelah kehilangan prategang adalah :

$$(\text{As perlu})/\text{As} = (4210,766)/(1/4 \pi [15,24]^2) \\ = 23,095 \approx 24 \text{ batang} = 4 \text{ tendon}$$

Gaya prategang akhir

$$= \text{As pakai} \times f_{p\text{maks}}/4 \pi ([15,24]^2)(24)(1376,4) \\ = 6022759,154 \text{ N}$$

Maka, direncanakan Perencanaan penempatan tendon pada bagian B (sisi dinding) ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi Perencanaan penempatan tendon pada bagian B (sisi dinding)

Sumber: Penelitian (2024)

### Analisis Kebutuhan Besi Tulangan

#### A. Perhitungan Beton prategang bagian A

Lebar,  $b$  : 1200 mm

Tinggi,  $h$  : 1000 mm

Jarak titik pusat,  $d$  :  $1000 - 75 - 16 = 917 \text{ mm}$

Besi tulangan ke sisi terluar

Panjang,  $l$  : 4000 mm

Mutu beton rencana,  $f'_c$  : 41,5 MPa

Mutu besi tul. rencana,  $f_y$  : 400 MPa

Diameter tul. utama : 16 mm

Diameter tul. susut : 10 mm

Dimana :

Kebutuhan tulangan utama

$$M_u = 77,009 \text{ kNm} = 77009000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = M_u/(b d^2) = 77009000/(1200 \times 917^2) = 0,24$$

$$\rho_{\text{perlu}} = (0,85 \times f'_c)/(f_y) [1 - \sqrt{1 - 2R_n/(0,85 \times f'_c)}] \\ = (0,85 \times 41,5)/400 [1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,24/(0,85 \times 41,5)}] \\ = 0,0006$$

Dikarenakan  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ , maka  $\rho_{\text{pakai}} = 0,004$

$$A_s \text{ pakai} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,004 \times 1200 \times 904 = 4339,20 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$n = (A_s \text{ pakai})/A_s$$

$$= 4339,2/(1/4 \pi 16^2) = 21,592 \approx 22 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$S = (b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D_{\text{sengkang}}) - (\text{Dutamaan})) / (\text{jumlah tulangan tiap baris} - 1)$$

$$S = (1200 - (2 \times 75) - (16)) / (11 - 1)$$

$$S = 103,4 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan dipasang 22D16

Kebutuhan tulangan susut dan suhu

$$A_s \text{ pakai} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,0030 \times 1200 \times 917$$

$$= 2200,80 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$n = (A_s \text{ pakai})/A_s$$

$$= 2200,80/(1/4 \pi 10^2) = 28,04 \approx 30 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$S = (b - (2 \times \text{selimut beton})) / (\text{jumlah tulangan tiap baris} - 1)$$

$$S = (4000 - (2 \times 75)) / (15 - 1)$$

$$S = 275 \text{ mm}$$

Sehingga, tulangan yang digunakan adalah 30Ø10.

#### B. Perhitungan Beton prategang bagian B

Lebar,  $b$  : 1200 mm

Tinggi,  $h$  : 600 mm  
 Jarak titik pusat,  $d$  :  $600 - 75 - 16 = 517 \text{ mm}$   
 Besi tulangan ke sisi terluar  
 Panjang,  $l$  : 7000 mm  
 Mutu beton rencana,  $f'c$  : 41,5 MPa  
 Mutu besi tul. rencana,  $f_y$  : 400 MPa  
 Diameter tul. utama : 16 mm  
 Diameter tul. susut : 10 mm

Dimana :

Kebutuhan tulangan utama

$$Mu = 77,009 \text{ kNm} = 77009000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = Mu / (b \cdot d^2) = 77009000 / (1200 \times 517^2) = 0,24$$

$$pperlu = (0,85 \times f'c) / (f_y) [1 - \sqrt{1 - 2 \times Rn / (0,85 \times f'c)}]$$

$$= (0,85 \times 41,5) / 400 [1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,24 / (0,85 \times 41,5)}]$$

$$= 0,0006$$

Dikarenakan  $pperlu < pmin$ , maka  $ppakai = 0,004$

$$As \text{ pakai} = ppakai \times b \times d$$

$$= 0,004 \times 1200 \times 517 = 2481,60 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$n = (As \text{ pakai}) / As$$

$$= (2481,60) / (1/4 \pi 16^2) = 12,35 \approx 14 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$S = (b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times \text{Dsengkang}) - (\text{Dutama})) / (\text{jumlah tulangan tiap baris} - 1)$$

$$S = (1200 - (2 \times 75) - (16)) / (7 - 1)$$

$$S = 172,23 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan dipasang 14D16

Kebutuhan tulangan susut dan suhu

$$As \text{ pakai} = ppakai \times b \times d$$

$$= 0,0020 \times 1200 \times 517$$

$$= 1240,80 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$N = (As \text{ pakai}) / As$$

$$= 1240,80 / (1/4 \pi 10^2) = 15,81 \approx 16 \text{ buah}$$

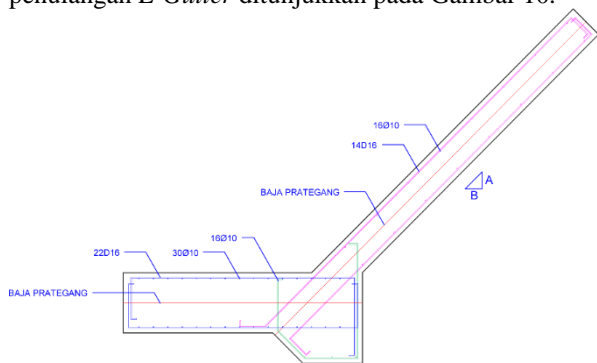
Jarak Tulangan

$$S = (b - (2 \times \text{selimut beton})) / (\text{jumlah tulangan tiap baris} - 1)$$

$$S = (7000 - (2 \times 75)) / (8 - 1)$$

$$S = 978,57 \text{ mm} \approx 950 \text{ mm}$$

Sehingga, tulangan yang digunakan adalah 16Ø10. Sketsa penulangan *L-Gutter* ditunjukkan pada Gambar 10.



RENCANA LETAK BAJA PRATEGANG DAN BESI TULANGAN

Gambar 10. Sketsa Penulangan *L-Gutter*

Sumber: Penelitian (2024)

## KESIMPULAN

Dari beberapa analisis data yang dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perletakan model dimensi beton *precast L-Gutter* sebagai dinding penahan tanah pada existing saluran menggunakan perbandingan kemiringan 1:1 dengan panjang sisi miring 7 meter, yang memiliki nilai *safety factor* stabilitas lereng alami terendah sebesar, 0,521.
2. Dimensi perkuatan tiang pancang adalah 0,30 x 0,30 m dan panjang tiang pancang adalah 19 m.
3. Spesifikasi baja prategang yang direncanakan menggunakan *seven wire strand* 15,24 mm pada bagian A (sisi alas) adalah 12 buah (2 tendon) dan pada bagian B (sisi dinding) adalah 24 buah (4 tendon). Dengan perletakan baja prategang, eksentrisitas = 0.
4. Besi tulangan pada bagian A (sisi alas) adalah tulangan utama 22D16 dan tulangan bagi 30Ø10. Pada bagian B (sisi dinding) adalah tulangan utama 14D16 dan tulangan bagi 16Ø10.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiasa, A. M. dkk. (2015) 'Evaluasi Penggunaan Beton Precast Di Proyek Konstruksi', Jurnal Karya Teknik Sipil, 4(1), pp. 126–134.
- Dermawan, A. dkk. (2022) 'Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Desa Mekarjaya, Kecamatan Ciomas, Kabupaten Bogor)', Rona Teknik Pertanian, 15(2), pp. 67–81. doi: 10.17969/rtp.v15i2.27778.
- Ervianto, W. I. (2006) Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi; Beton Pracetak dan Bekisting, Cv Andi Offset.
- Gevient, B. and S, G. S. (2019) 'Analisis Ulang Dinding Penahan Tanah Dengan Pendekatan Perhitungan Manual Yang Memperhitungkan Akibat Beban Gempa', JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 2(3), p. 43. doi: 10.24912/jmts.v2i3.5780.
- Kalalo, M., Ticoth, J. H. and Mandagi, A. T. (2017) 'Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Sekitar Areal Pt. Trakindo, Desa Maumbi, Kabupaten Minahasa Utara)', Jurnal Sipil Statik, 5(5), pp. 285–294.
- Kaligis, E. I., Ngangi, M. C. and Talengkera, Y. J. (2024) 'Efisiensi Konstruksi Beton Precast terhadap Beton Konvensional pada Pembangunan Sekretariat Himaju Teknik Sipil Polimdo'.
- Look, B.G. (2007) Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Chapter 5, Taylor & Francis Group, London, 55.
- Nawy, E. G., Hardani, W., & Suryoatmono, B., 2001, Beton prategang: suatu pendekatan mendasar. Erlangga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 2847:2019". Jakarta: BSN.
- Soetoyo (2019) Kontruksi Beton Pratekan Ir.Soetoyo.<http://ardi.staff.gunadarma.ac.id/Downlo ds/files/40144/Beton+Prategangz.pdf>
- Supit, D. D. (2019) 'Analisis Perhitungan Kestabilan Dinding Penahan Tanah Studi Kasus Proyek Interchange Manado', Jurnal Ilmiah Realtech, 15(2), pp. 114–120. doi: 10.52159/realtech.v15i2.93.