

BAB 7

STRUKTUR RANGKA GEDUNG TINGGI

7.1 TINJAUAN PUSTAKA

7.1.1 Struktur Gedung Tinggi

Gedung pencakar langit atau bangunan tinggi merujuk pada struktur bangunan yang menjulang tinggi, dengan ketinggian minimal 23 meter hingga maksimal 150 meter. Pembangunan jenis bangunan ini umumnya dilakukan di daerah perkotaan sebagai solusi atas keterbatasan lahan yang semakin sempit.

Karakteristik Struktur High Rise Building antara lain:

1. Memiliki ketinggian minimal 23 meter.
2. Memiliki luas lantai 750 - 1.500 m².
3. Memiliki sistem aerodinamika, sehingga bangunan tetap kokoh meskipun mendapatkan beban dari angin dan gempa bumi.
4. Solusi dari keterbatasan lahan.
5. Memiliki bentuk bangunan lurus ke atas.
6. Memiliki kebutuhan energi yang besar.
7. Memiliki nilai arsitektur tinggi.

7.1.2 Struktur Vertikal

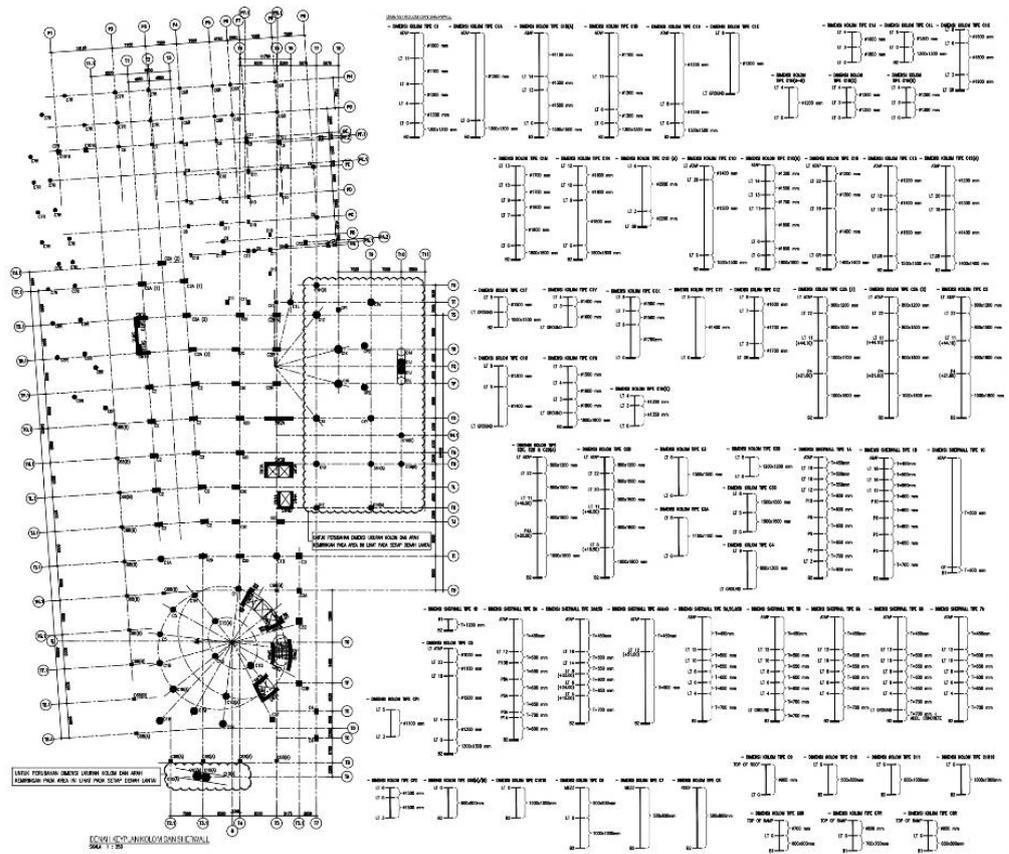
Adapun struktur vertikal yang digunakan dalam Proyek Pembangunan EKA HOSPITAL BSD :

a. Kolom

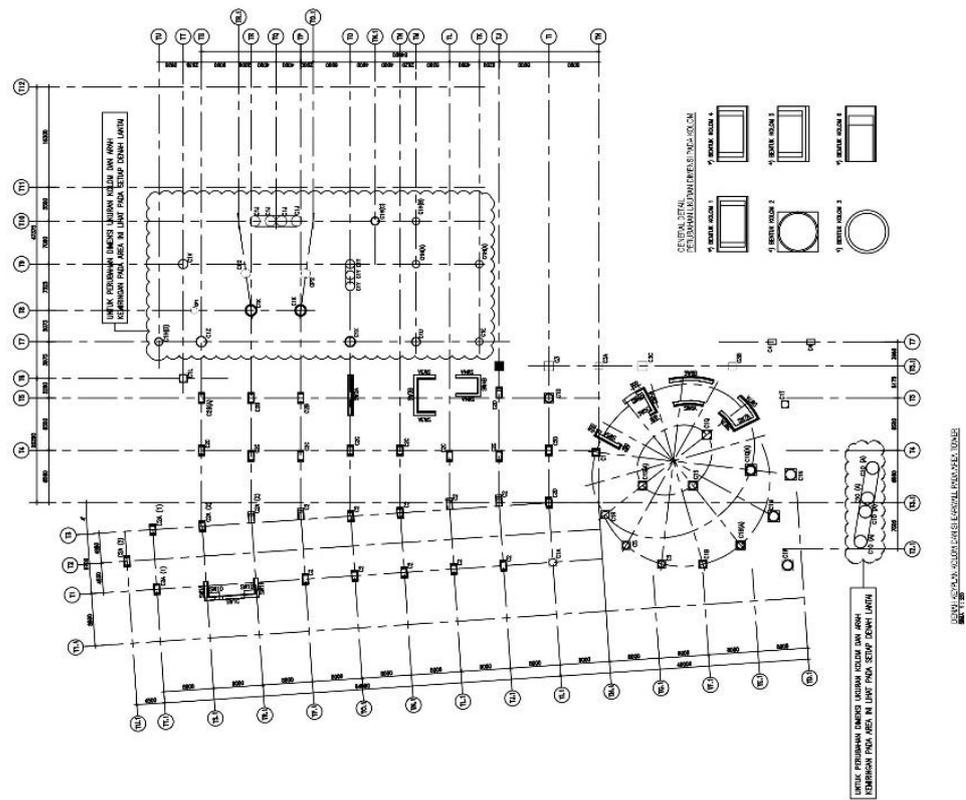
Kolom berfungsi sebagai komponen penyangga beban vertikal pada suatu bangunan. Bagian kolom yang tidak ditopang harus memiliki tinggi minimal tiga kali ukuran sisi terpendeknya. Denah *keyplan* kolom dapat diamati pada gambar gambar 7.1 dan gambar 7.2.

b. *Shearwall*

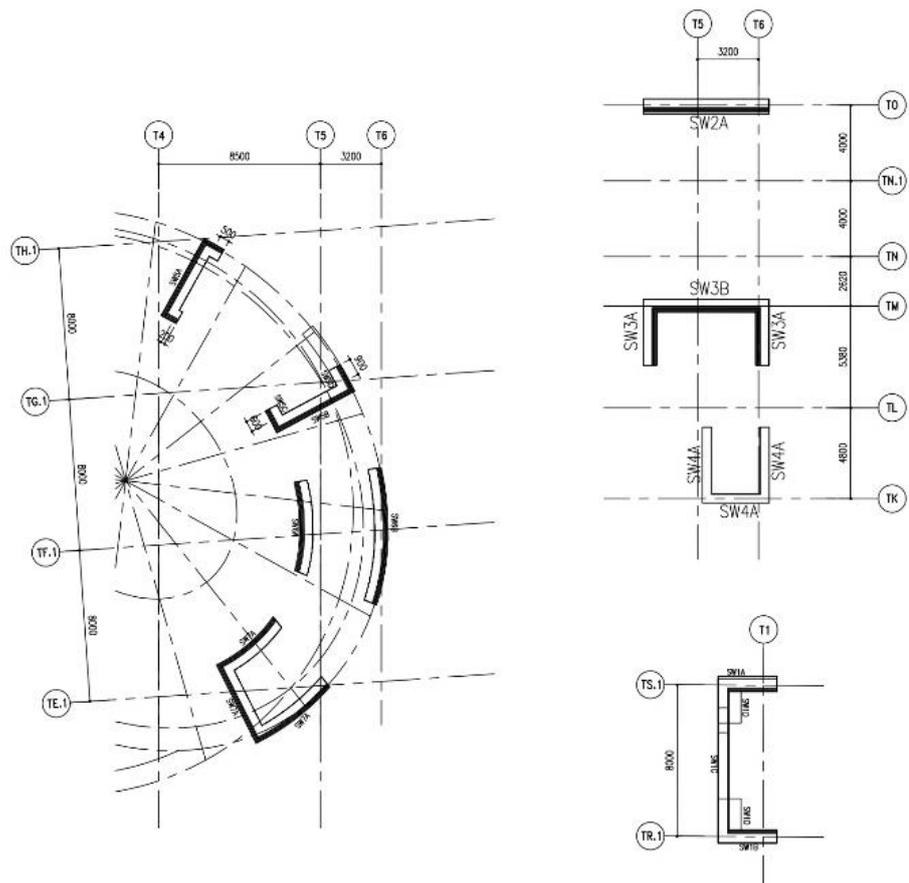
Shearwall atau dinding geser merupakan dinding struktural yang memiliki kekakuan tinggi. Elemen ini banyak diterapkan pada bangunan tinggi untuk menahan gaya geser yang timbul akibat beban lateral seperti angin atau gempa bumi. Denah *keyplan shearwall* diamati pada gambar 7.1, gambar 7.2 dan gambar 7.3.



Gambar 7. 1 Keyplan kolom dan shearwall 1



Gambar 7. 2 Keyplan kolom dan shearwall 2



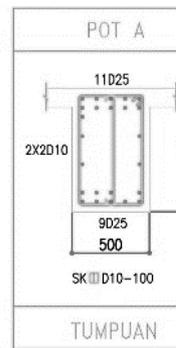
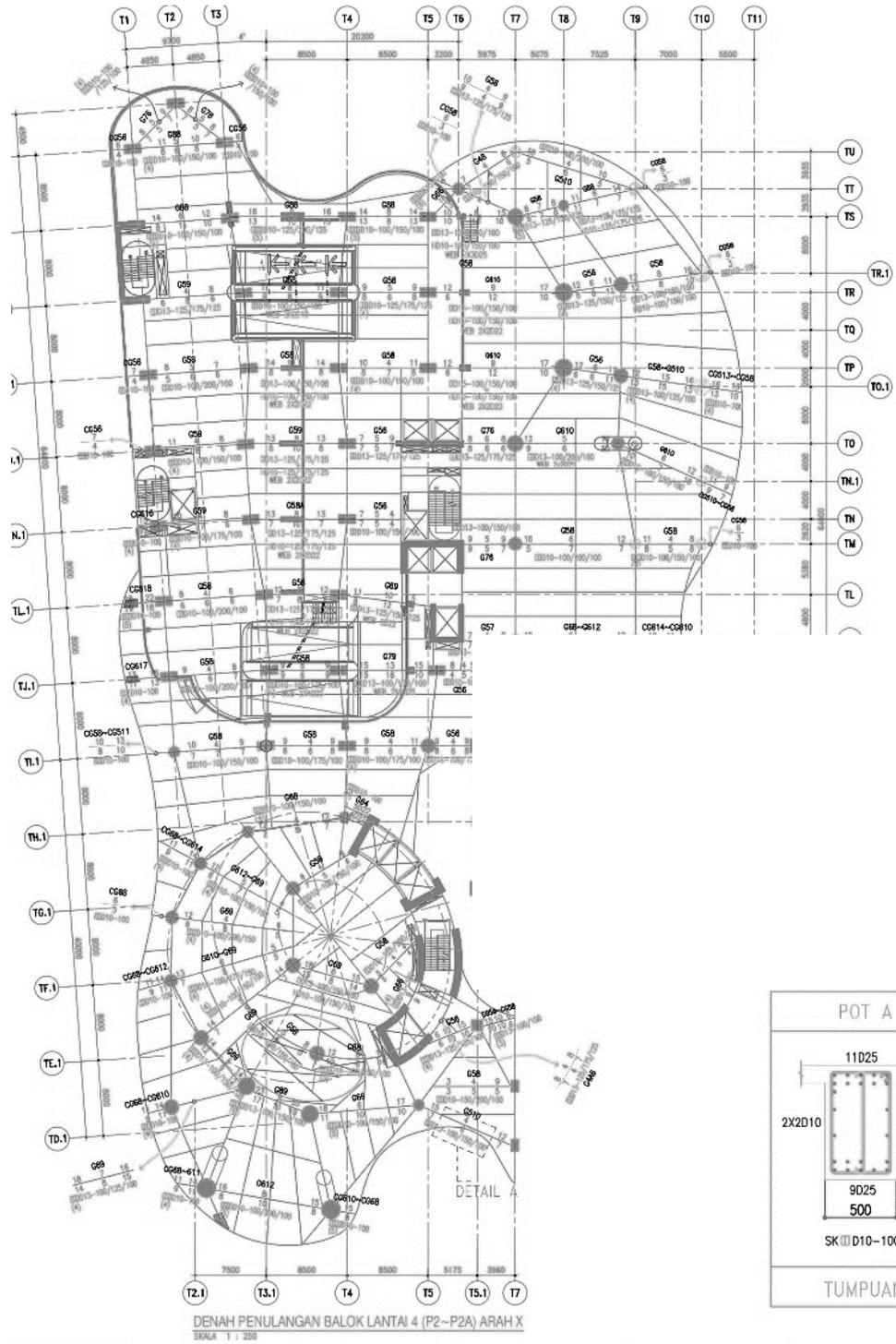
Gambar 7. 3 Keyplan shearwall

7.1.3 Struktur Horizontal

Adapun struktur horizontal yang digunakan dalam Proyek Pembangunan EKA HOSPITAL BSD antara lain:

a. Balok

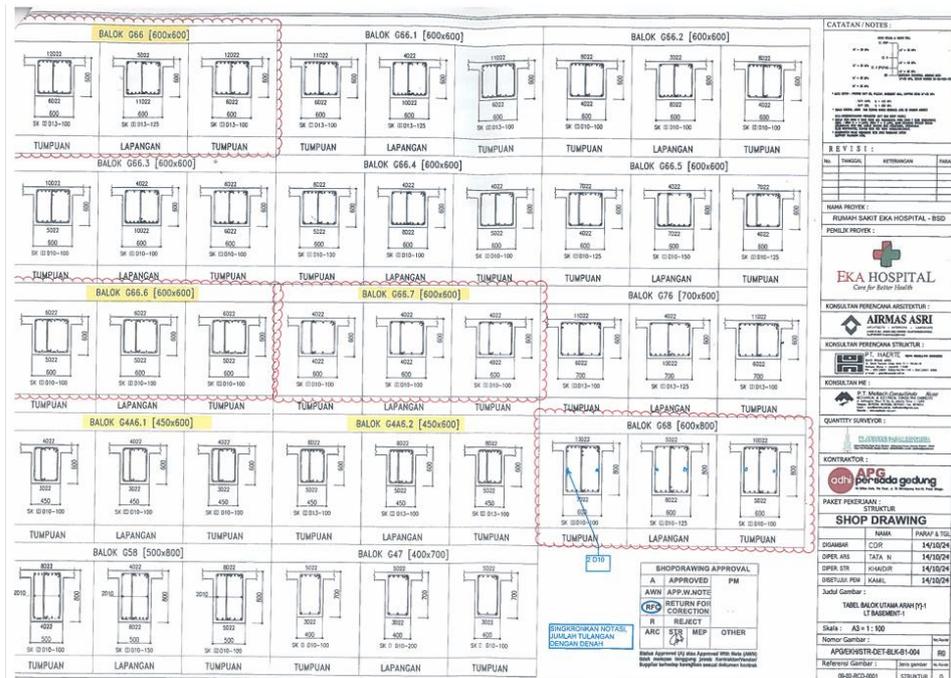
Pekerjaan balok merupakan pekerjaan beton bertulang yang direncanakan untuk menahan tegangan tekan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh beban lentur. Balok merupakan bagian struktur bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Selain itu balok juga berfungsi untuk mengikat antar kolom supaya kuat dari gaya horizontal. Denah balok lantai 4 EKA HOSPITAL BSD dapat dilihat di gambar 7.4.



DETAIL PEMBIAN BALOK
 SKALA 1 : 50

POT A	POT B	POT C
TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN

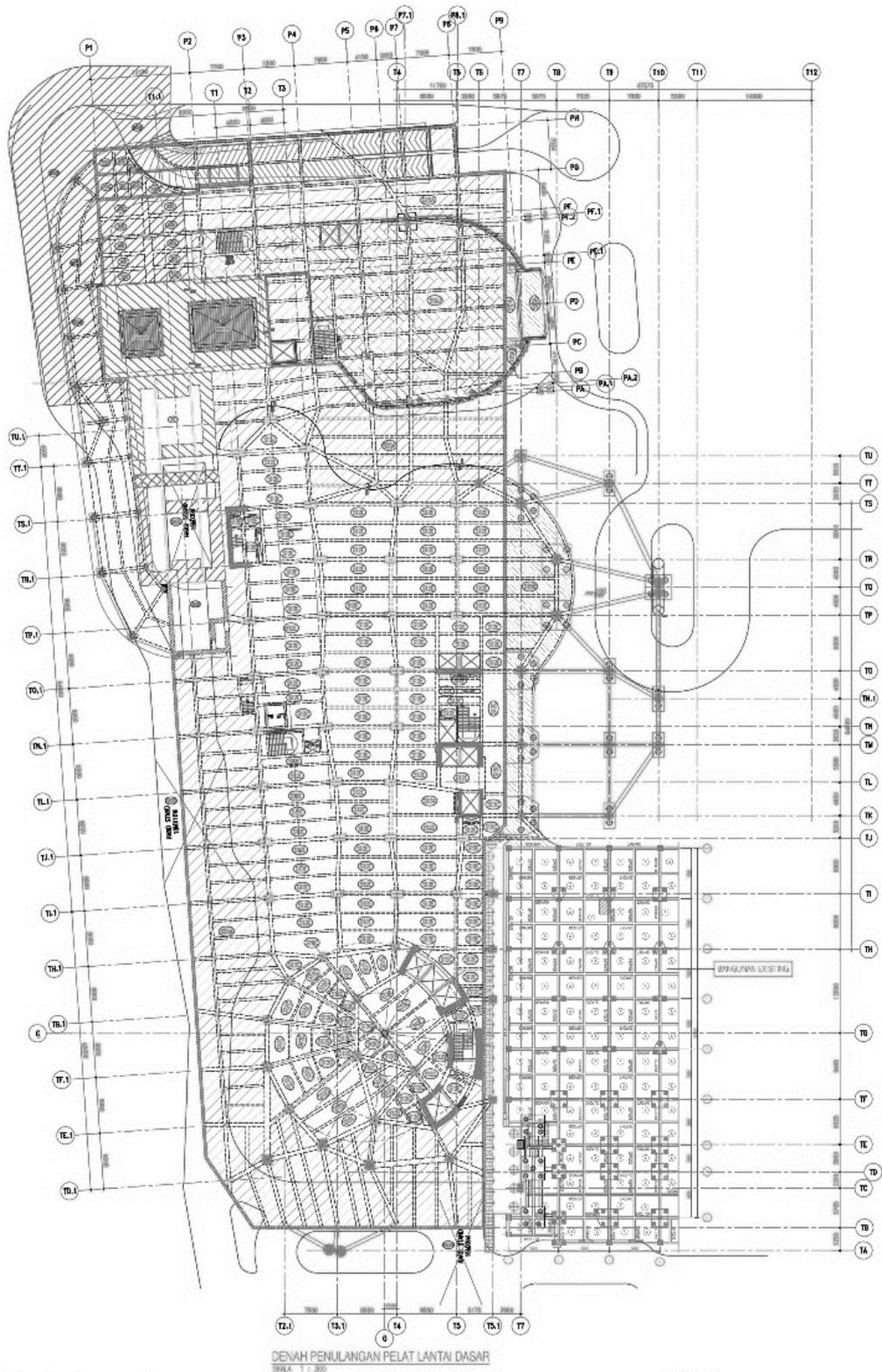
Gambar 7. 4 Denah balok lantai 4



Gambar 7. 5 Detail Penulangan Balok Basement 1

b. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan komponen bangunan datar yang terletak di antara lantai-lantai. Selain berfungsi sebagai pembatas ruang, pelat lantai juga mendistribusikan beban ke elemen struktur di bawahnya, yaitu kolom dan balok.

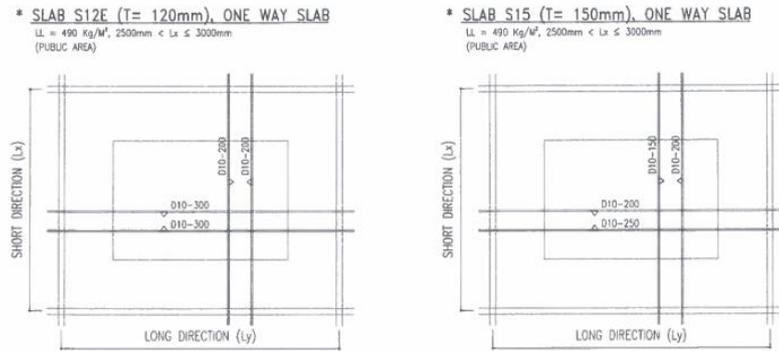


Gambar 7. 6 Denah penulangan pelat lantai dasar EKA HOSPITAL BSD

1) Plat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang panjangnya duakali atau lebih besar dari pada lebarnya, maka hampir semua beban lantai menuju ke balok-balok dan sebagian kecil

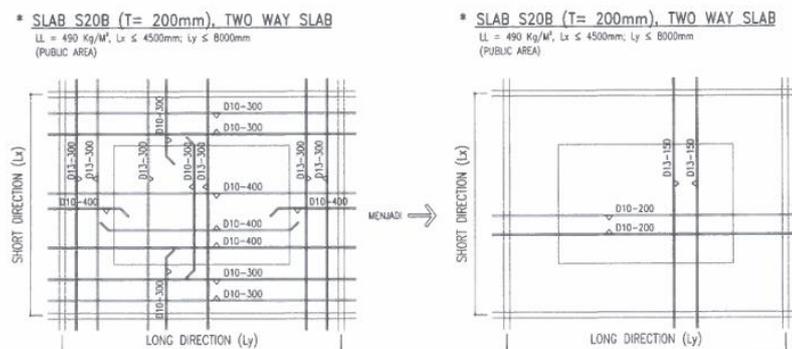
saja yang akan menyakur secaralangsung ke gelagar. Kondisi pelat ini dapat direncanakan sebagai pelat satu arah dengan tulangan utama sejajar dengan gelagar atau sisi pendek dan tulangan susut atau suhu sejajar dengan balok-balok atau sisi panjangnya. Permukaan yang melendut dari sistem pelat satu arah mempunyai kelengkungan tunggal. Sistem pelat satu arah dapat terjadi pada pelat tunggal maupun menerus, asal perbandingan panjang bentang kedua sisi memenuhi.



Gambar 7. 7 Penulangan Pelat Satu Arah

2) Plat Dua Arah

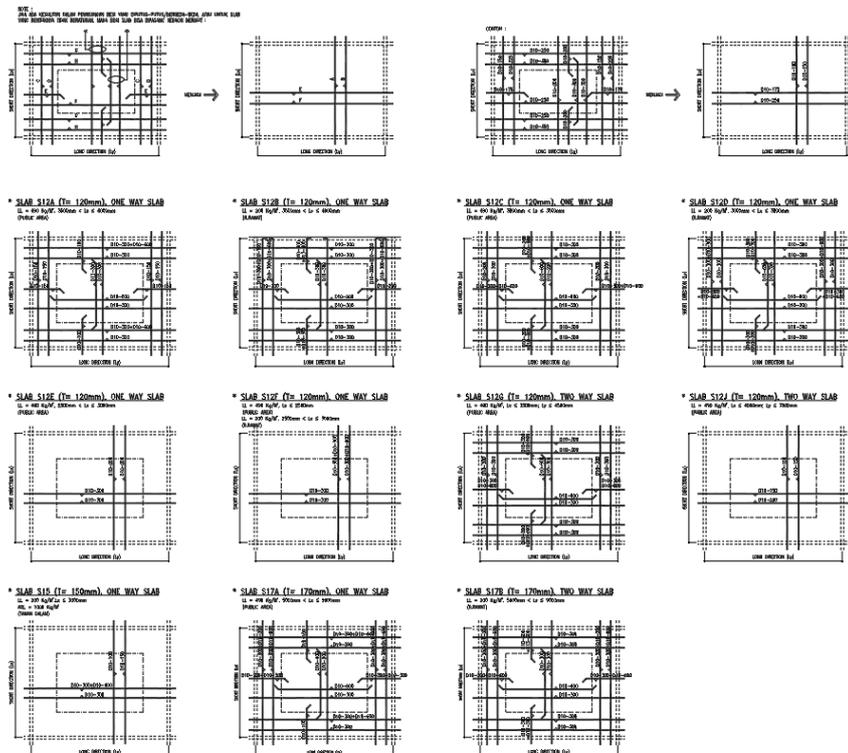
Sistem pelat dua arah dapat terjadi pada pelat tunggal maupun menerus, asal perbandingan panjang bentang kedua sisi memenuhi. Persyaratan jenis pelat lantai dua arah jika perbandingan dari bentang panjang terhadap bentang pendek kurang dari dua beban pelat lantai pada jenis ini disalurkan keempat sisi pelat atau ke empat balok pendukung, akibatnya tulangan utama pelat diperlukan pada kedua arah sisi pelat. Permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Perencanaan pelat dua arah umumnya didasarkan pada koefisien momen empiris, di mana meskipun koefisien ini tidak memprediksi variasi tegangan secara akurat, namun menghasilkan pelat dengan keseluruhan faktor keamanan yang memadai.



Gambar 7. 8 Penulangan Pelat Dua Arah

3) Atap

Atap pada Pembangunan Proyek EKA HOSPITAL BSD menggunakan atap dak atau atap beton. Atap dak merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi sebagai penutup bagian atas bangunan. Berbeda dengan atap konvensional yang umumnya miring, atap dak bisa dibuat datar atau dengan sedikit kemiringan. Ketebalan dan kekuatan beton yang digunakan pada atap dak bervariasi tergantung pada beban yang harus ditanggung dan fungsi bangunan.



Gambar 7. 9 Penulangan Atap Beton

7.2 PEMBAHASAN

7.2.1 Struktur Gedung Tinggi

Pada proyek pembangunan EKA HOSPITAL BSD terdapat beberapa persyaratan yang harus diperhatikan antara lain:

a. Mutu Beton

Mutu beton yang digunakan untuk pekerjaan struktural yaitu sebagai berikut:

- $f_c' 55 \text{ Mpa}$: Shearwall pada lantai B2 sampai dengan lantai 3.
- $f_c' 40 \text{ Mpa}$: Kolom dan *shearwall* pada lantai B2 sampai dengan lantai 3.
- $f_c' 35 \text{ Mpa}$: pondasi raft, pilecap, *basement wall*, capping beam, kolom dan *shearwall* pada lantai 9 sampai dengan lantai 25.
- $f_c' 25$: tangga dan parapet.

b. Mutu Baja Tulangan

Baja yang digunakan untuk tulangan pokok baja ulir yang mempunyai tegangan tarik leleh minimum sebesar 420 MPa (BJTS 420B) sesuai SNI 2052 : 2017 untuk besi D10 s/d D32, dengan ketentuan minimal sebagai berikut :

- Kuat leleh aktual berdasar uji di laboratorium, tidak melampaui kuat leleh yang ditentukan sebesar lebih dari 120 Mpa.
- Ratio kuat tarik aktual terhadap kuat leleh aktual tidak kurang dari 1.25.
- Minimum *elongation* 14% untuk besi D10 sampai dengan D19, minimum *elongation* 12% untuk besi diameter D22 sampai dengan D36.

7.2.2 Struktur Vertikal

Tahapan metode pelaksanaan struktur vertikal dapat diuraikan sebagai berikut:

7.2.2.1 Pembesian Struktur Vertikal

Tahap pembesian pada struktur vertikal dibagi menjadi dua tahapan, antara lain:

7.2.2.1.1 Pekerjaan Fabrikasi

1. Melakukan pemotongan besi tulangan sesuai dengan *shopdrawing*, bentuk dan panjang besi tulangan disesuaikan dengan BBS (*Bar Bending Schedule*).
2. Melakukan pembengkokan besi tulangan menggunakan *roller*.
3. Memasang kawat bendrat dan memastikan jumlah pertemuan besi tulangan beton sesuai.
4. Besi tulangan harus diletakkan pada tempat yang terhindar dari tanah dan hujan.

7.2.2.1.2 Instalasi Pembesian

a. Kolom

1. Persiapan gambar detail kolom berdasarkan shop drawing yang telah di setujui oleh Project Manager dan Owner
2. Penyesuaian detail pembesian kolom yang meliputi mutu besi tulangan, diameter besi tulangan, panjang hook, panjang besi tulangan, overlap dan jarak antar tulangan. Pembesian harus lurus dan rapi dan harus terikat utuh. Pada Proyek Rumah Sakit EKA HOSPITAL BSD City, digunakan besi tulangan kolom dengan diameter D32, D29, D25, D22 untuk tulangan longitudinal atau tulangan utama, D16 untuk tulangan transversal atau tulangan sengkang, dan D13, D10 untuk tulangan ties.

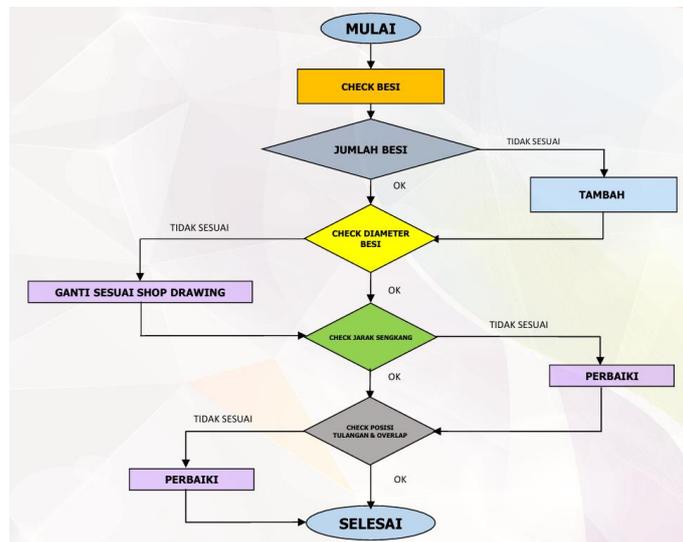
3. Pemasangan besi tulangan dilakukan dengan 2 cara. Cara pertama yaitu pemasangan onsite, starterbar kolom, sengkang dan ties dipasang secara langsung di lapangan. Sedangkan cara yang kedua dilakukan pada area fabrikasi. Besi tuangan dikaitkan menggunakan kawat bendrat agar tidak mengalami pergeseran ketika pengecoran.
 4. Pemasangan sambungan kolom, pembesian *pre-fabrikasi* kolom di angkat dan dipindahkan menggunakan alat *Tower Crane*, kemudian di sambungkan ke kolom yang sesuai dengan lokasi kolom pada gambar.
 5. Pemasangan antar overlapping sambungan kolom utama dengan starterbar kolom menggunakan kawat bendrat dan diikat dengan tulangan stek perkuatan.
- b. Dinding dan Shear Wall
1. Pekerjaan persiapan yang dilakukan adalah persiapan lahan meliputi pembersihan lokasi, pendatangan material dan perancah, serta peralatan kerja. Memastikan lokasi kerja sudah bersih itu penting agar tidak mengganggu pada saat pemasangan perancah ketika pekerjaan akan dimulai.
 2. Pasangan besi dinding dilakukan sesuai dengan shop drawing yang telah disetujui. pastikan jarak tulangan dan besi tulangan yang dipakai sesuai dengan shop drawing yang ada. Pasang juga beton decking atau yang kerap disebut pekerja lapangan dengan 'tahu' agar jarak selimut beton seragam.
 3. Penyesuaian detail pembesian dinding yang meliputi mutu besi tulangan, diameter besi tulangan, panjang hook, panjang besi tulangan, overlap dan jarak antar tulangan. Pembesian harus lurus dan rapi dan harus terikat utuh.

Pekerjaan pembesian tulangan vertikal di lapangan dapat ditunjukkan pada gambar 7.6 berikut:



Gambar 7. 10 Pemasangan Pembesian Kolom

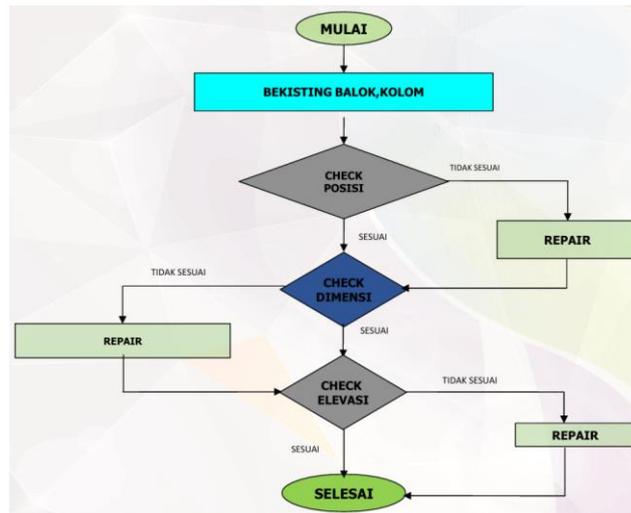
Untuk pengendalian pekerjaan pembesian dapat dilihat pada flowchart dibawah ini:



Gambar 7. 11 *Flowchart* Pengendalian Pekerjaan Pembesian

7.2.2.2 Pemasangan Bekisting Vertikal

Pengendalian pemasangan bekisting terdapat pada gambar berikut:



Gambar 7. 12 Flowchart Pengendalian Pekerjaan Bekisting

7.2.2.2.1 Bekisting Kolom

- a. Tenaga Kerja
 - Tenaga Tukang yang berpengalaman = 2 orang
 - Tenaga pembantu = 1 orang
 - Supervisi 1 orang = 3 Orang
- b. Peralatan Kerja
 - Gergaji Mesin (*circular saw*) 1 unit
 - Mesin Bor 1 Unit
 - *Screw driver* 1 Unit
 - Palu
- c. Alat dan Bahan
 - Alat:

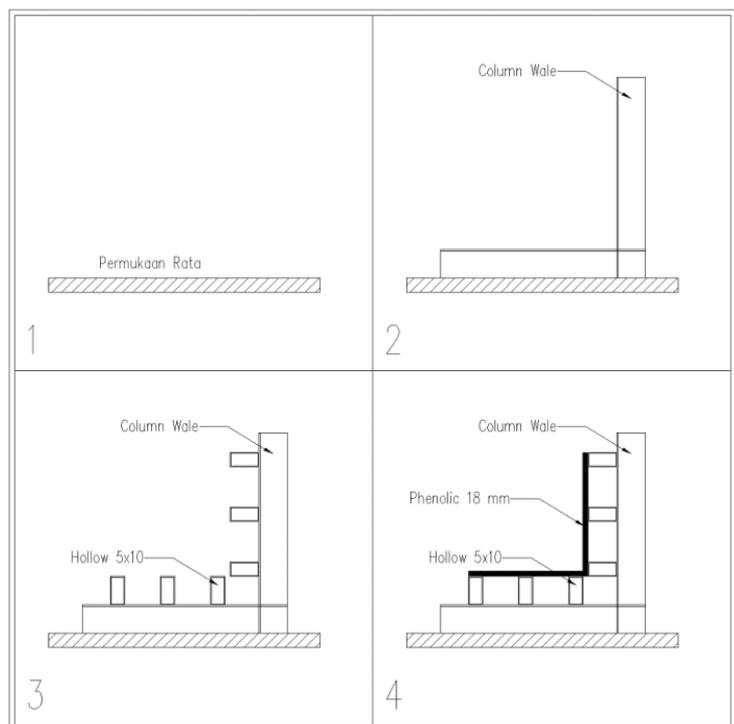
	Column Wale
	Push – Pull Prop RSS II
	Kicker Brace AV I
	Wedge Head Piece
	Tie Rod & Wing Nut

Gambar 7. 13 Alat Pembuatan Bekisting Kolom

- Bahan:
 - Polyfilm 18 mm
 - Paku
 - Screw

d. Pabrikasi

- 1) Siapkan area kerja yang rata
- 2) Posisikan *column wale* sesuai jarak yang ditentukan
- 3) Tempatkan hollo 5x10 diatas *column wale* sesuai jarak yang ditentukan
- 4) Potong Polyfilm 18 mm sesuai ukuran
- 5) Pasang Polyfilm 18 mm di atas hollow dengan menggunakan screw
- 6) Check ukuran column yang sudah dipabrikasi dan kesikuannya (90°)



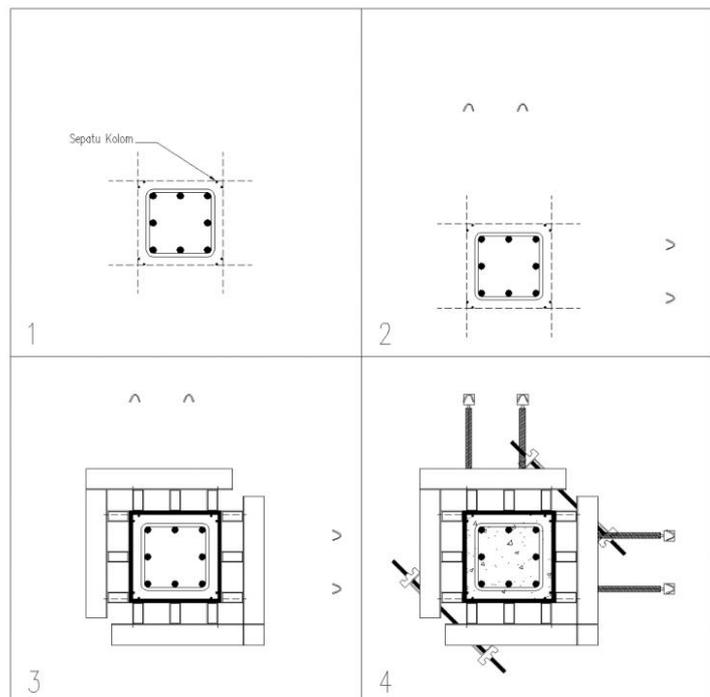
Gambar 7. 14 Fabrikasi bekisting Kolom

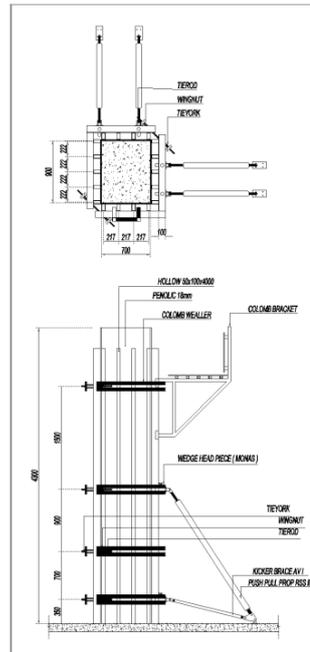


Gambar 7. 15 Fabrikasi bekisting proyek EKA HOSPITAL BSD

e. Pemasangan Bekisting

- 1) Pasang sepatu kolom sesuai *marking*.
- 2) Pasang stek besi
- 3) Bersihkan lokasi kolom yang akan dipasang
- 4) Pasang bekisting kolom
- 5) Pasang *Push pull prop* dan *Kicker brace*
- 6) Pasang unting-unting
- 7) Check *Verticality* bekisting





Gambar 7. 16 Tahapan Perakitan Bekisting kolom



Gambar 7. 17 Pemasangan Bekisting Kolom.

7.2.2.2.2 Bekisting dinding

a. Tenaga Kerja

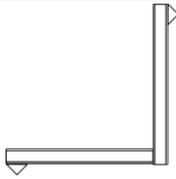
- Tenaga Tukang yang berpengalaman = 4 orang
- Tenaga pembantu = 2 orang
- Tenaga pembantu 1 orang
- Supervisi 1 orang = 3 Orang

b. Peralatan Kerja

- Gergaji Mesin (circular saw) 1 unit
- Mesin Bor 1 Unit
- *Screw driver* 1 Unit
- Palu

c. Alat dan Bahan

- Alat:

	Column Wale
	Push - Pull Prop RSS II
	Kicker Brace AV I
	Wedge Head Piece
	Tie Rod & Wing Nut

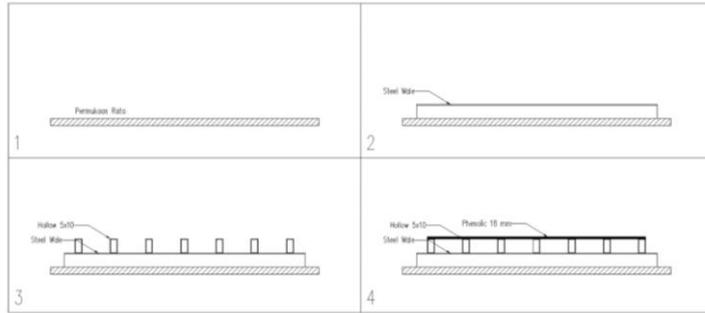
Gambar 7. 18 Alat Pembuat Bekisting dinding

- Bahan:

- Polyfilm 18 mm
- Paku
- Screw

d. Pabrikasi Besi

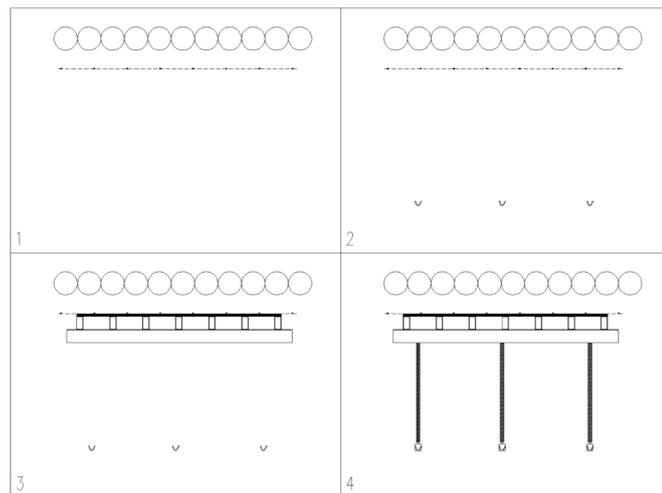
- 1) Siapkan area kerja yang rata
- 2) Posisikan steel wale sesuai jarak yang ditentukan
- 3) Tempatkan hollo 5x10 diatas steel wale sesuai jarak yang ditentukan
- 4) Potong Polyfilm 18 mm sesuai ukuran
- 5) Pasang Polyfilm 18 mm di atas hollow dengan menggunakan screw
- 6) Check ukuran dinding yang sudah dipabrikasi dan diagonalnya.



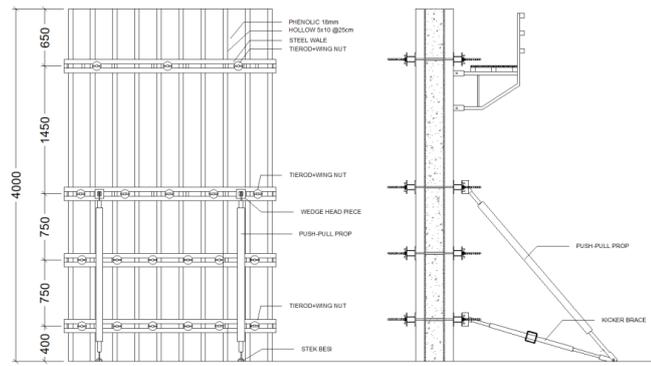
Gambar 7. 19 Tahapan Fabrikasi Bekisting Dinding

e. Pemasangan Bekisting

- 1) Pasang Sepatu dinding sesuai marking
- 2) Pasang stek besi
- 3) Bersihkan lokasi dinding yang akan dipasang
- 4) Pasang bekisting dinding
- 5) Pasang Push pull prop dan Kicker brace
- 6) Pasang tie rod dan wingnut
- 7) Pasang unting-unting
- 8) Check Verticality bekisting



Gambar 7. 20 Tahapan 1 Pemasangan Bekisting Dinding



Gambar 7. 21 Tahapan Pemasangan Bekisting Dinding



Gambar 7. 22 Pemasangan Bekisting Dinding

7.2.2.2.3 Bekisting Shear Wall

a. Tenaga Kerja

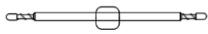
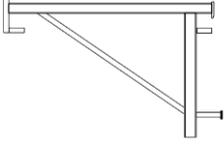
- Tenaga Tukang yang berpengalaman = 4 orang
- Tenaga pembantu = 2 orang
- Tenaga pembantu 1 orang
- Supervisi 1 orang = 3 Orang

b. Peralatan Kerja

- Gergaji Mesin (*circular saw*) 1 unit
- Mesin Bor 1 Unit
- Screw driver 1 Unit
- Palu

c. Alat dan Bahan

- Alat:

	Steal Wale
	Push – Pull Prop RSS II
	Kicker Brace AV I
	Climbing Bracket
	WGS
	Wedge Head Piece Tierod & Wingnut

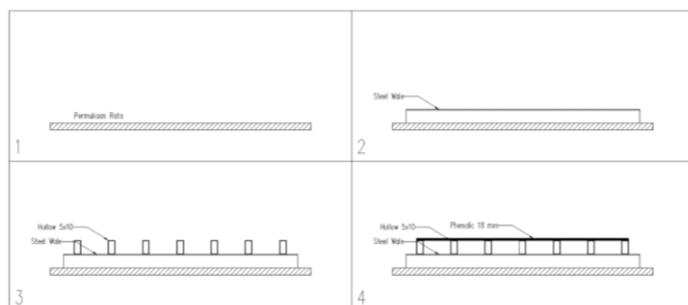
Gambar 7. 23 Alat Bekisting Core Wall

- Bahan:

- Polyfilm 18 mm
- Paku
- Screw

d. Pabrikasi Besi

- 1) Siapkan area kerja yang rata
- 2) Posisikan *steel wale* sesuai jarak yang ditentukan
- 3) Tempatkan hollow 5x10 diatas *steel wale* sesuai jarak yang ditentukan
- 4) Potong Polyfilm 18 mm sesuai ukuran
- 5) Pasang Polyfilm 18 mm di atas hollow dengan menggunakan screw
- 6) Check ukuran dinding yang sudah dipabrikasi dan diagonalnya



Gambar 7. 24 Tahapan Fabrikasi Bekisting Core Wall

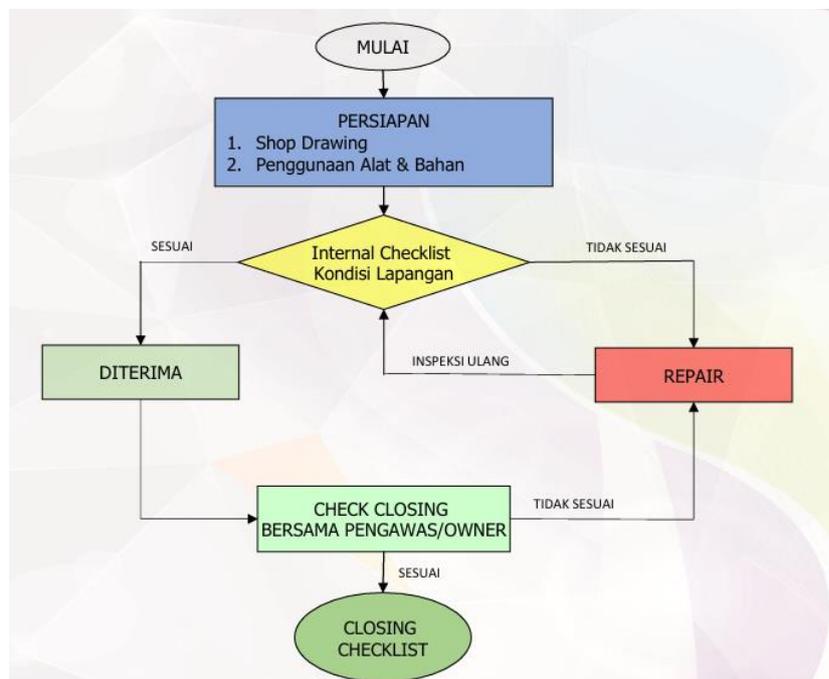
e. Pemasangan Bekisting

- 1) Pasang WGS pada dinding
- 2) Pasang *Climbing Bracket* pada WGS
- 3) Pasang Platform dalam core
- 4) Pasang Bekisting dinding *core wall*
- 5) Pasang *Push pull prop* dan *Kicker brace*
- 6) Pasang *Bekisting core wall* bagian luar
- 7) Pasang *Push pull prop* dan *kicker brace*
- 8) Pasang *Tie Rod* dan *Wing Nut*
- 9) Pasang unting-unting
- 10) Check *verticality* bekisting

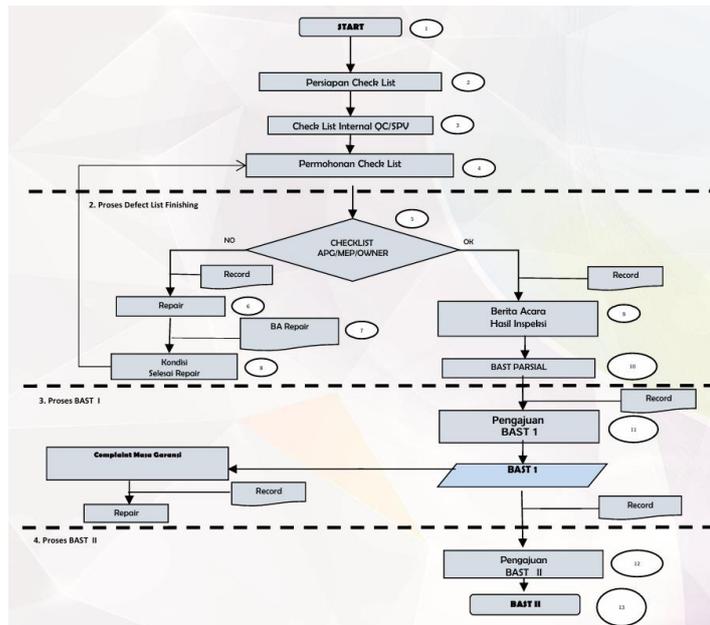
7.2.2.3 Pengecoran Struktur Vertikal

Metode kerja pelaksanaan pengecoran struktur vertikal meliputi:

1. Sebelum dilakukan pengecoran dilakukannya *checklist* untuk memastikan bahwa area siap di cor.



Gambar 7. 25 Flowchart Checklist Pekerjaan



Gambar 7. 26 Flowchart Inspeksi Pekerjaan Finishing Sampai Dengan Bast

2. Melakukan pemeriksaan kelayakan peralatan sebelum dipakai, seperti kalibrasi alat survei.
3. Mesin-mesin ditempatkan pada posisi yang tepat untuk penunjang berjalannya pengecoran, seperti *bucket cor*, *ready mix*, dan juga proses pengecoran agar berjalan secara berurutan untuk menghindari *cold joint*.
4. Area pengecoran yang sebelumnya harus sudah mendapatkan ijin pengecoran dan pengecekan kelayakan bekisting dan pembesian dari *owner*. Pemeriksaan meliputi pemeriksaan bekisting dari sisi dimensi, as, dan kekuatan. Pemeriksaan pembesian dari sisi dimensi besi, jumlah, jarak tulangan serta selimut beton (beton *decking*).
5. Area yang akan dicor diperiksa terlebih dahulu apakah terdapat hubungan dengan pekerjaan MEP (*sparingan*, *sleeve*, *block out*), untuk menghindari pekerjaan bobokan beton.
6. Sebelum melakukan pemesanan *ready mix*, terlebih dahulu menghitung volume beton dan mutu beton yang dibutuhkan berdasarkan *shop drawing* sehingga tidak ada *waste* dari total kebutuhan. Selain itu dipersiapkan juga area buangan beton dan atau rencana pemanfaatan dari sisa kelebihan beton (misal untuk kerb, *car stopper*, kolom praktis, opening-an pintu jendela, beton *decking*).

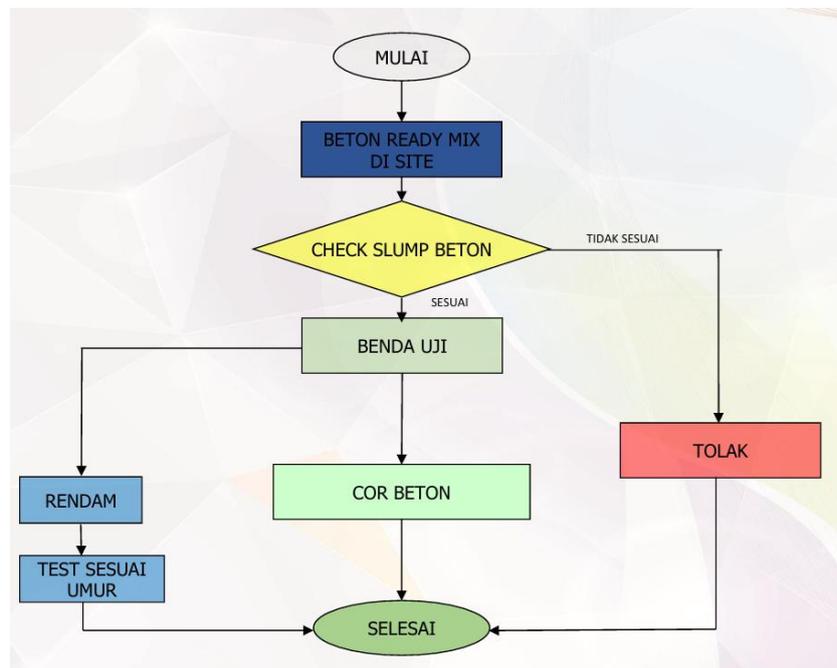
7. Setiap *truck mixer* yang telah datang diperiksa surat jalannya, apakah sudah sesuai dengan pemesanan, mutu beton dan jam keberangkatannya. Waktu tunggu beton dari *loading* sampai dengan pengecoran maksimal 3 jam, kemudian diadakan pengukuran slump (*slump test*), apakah sudah sesuai dengan yang disyaratkan. Nilai slump test adalah 12 ± 2 cm. Dan untuk pemeriksaan mutu beton dilaksanakan dengan pengambilan 4 sampel beton di lapangan dan dibentuk menjadi silinder beton berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm sesuai dengan ACI 304-73.
8. Untuk menghindari *cold joint* penuangan satu mobil mixer berkapasitas 7 m³ menggunakan *bucket cor* dan *tower crane* waktu pengecoran harus berkisar 1-2 jam.
9. Sebelum berjalannya proses pengecoran, area pengecoran harus dipastikan terbebas dari material yang mengganggu seperti sampah, tanah, maupun genangan air. Selama pengecoran dilarang menambahkan air ke dalam beton baik ke mobil *mixer*, *bucket cor*, maupun adukan beton pada area pengecoran.

Pekerjaan pengecoran vertikal di lapangan dapat ditunjukkan pada gambar 7.8 berikut:



Gambar 7. 27 Pengecoran Basement Wall

Berikut merupakan flowchart pengendalian mutu beton:



Gambar 7. 28 Flowchart Pengendalian Mutu Beton

7.2.2.1 Pembongkaran Bekisting Vertikal

Tahapan pembongkaran bekisting vertikal:

- 1) Pada permukaan beton yang harus diperbaiki atau jika akan diberi finishing lebih awal, bekisting harus segera dilepas sesudah beton dianggap cukup keras sehingga tidak rusak pada saat pembongkarannya.
- 2) Bagian atas bekisting beton yang miring dapat dilepas segera setelah beton mempunyai kekakuan yang cukup kaku dan tidak akan melendut. Jika diperlukan perbaikan atau perlakuan khusus pada permukaan beton tersebut harus segera dilakukan dan diikuti dengan perawatan beton sesuai yang disyaratkan dalam spesifikasi ini.
- 3) Bekisting kayu untuk bukaan dinding harus segera dilepas sesudah beton dianggap cukup keras sehingga tidak rusak pada saat pembongkarannya.

- 4) Bekisting kolom, dinding, sisi balok dan bagian lain yang tidak menahan berat sendiri beton dapat segera dilepas sesudah beton dianggap cukup keras sehingga tidak rusak pada saat pembongkaran bekistingnya.
- 5) Bekisting dan perancah yang digunakan untuk memikul berat beton balok, pelat dan bagian struktur lainnya baru boleh dilepas setelah beton mencapai kekuatan minimum 75% dari kekuatan beton yang dipersyaratkan.
- 6) Pembongkaran bekisting harus mengikuti ketentuan yang tercantum dalam PBI 1971 N.I-2 pasal 5.8, tetapi tidak boleh kurang dari :

Sisi balok, dinding dan kolom (unloaded)	= 24 jam
Pelat (prop left in place)	= 3 hari
Sisi bawah balok (prop left in place)	= 7 hari
Penyangga pelat antara balok	= 7 hari
Penyangga balok	= 14 hari
Penyangga kantilever	= 28 hari
- 7) Jika perancah dan penyokong vertikal lainnya dapat diatur sedemikian sehingga bagian bekisting permukaan yang tidak memikul beban dapat dilepas tanpa mengganggu sistem perancahnya, bekisting tersebut dapat dilepas lebih awal dengan persetujuan Direksi Pengawas. Pada saat bekisting dilepas, tidak boleh terjadi atau distorsi yang berlebihan dan tidak menimbulkan kerusakan pada beton, baik karena pembongkaran perancah maupun karena proses pelepasan bekistingnya.

7.2.2.2 Curing Beton Struktur Vertikal

Tahapan *curing* struktur vertikal:

- a. *Curing* menggunakan produk bahan kimia *curing compound*. Perawatan beton dimulai segera setelah pengecoran beton selesai dilaksanakan dan harus berlangsung terus menerus.
- b. Dalam jangka waktu tersebut cetakan beton harus tetap dalam keadaan basah. Pembasahan dapat dilakukan dengan menggunakan kuas roll.



Gambar 7. 29 Material *curing compound*

7.2.3 Struktur Horizontal

Tahapan metode pelaksanaan struktur horizontal dapat diuraikan sebagai berikut:

7.2.3.1 Pemasangan Bekisting Struktur Horizontal

a. Tenaga Kerja

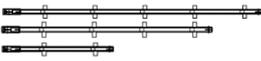
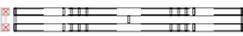
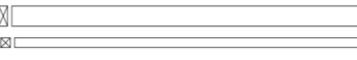
- Tenaga Tukang yang berpengalaman = 2 orang
- Tenaga pembantu = 2 orang
- Supervisi 1 orang = 1 orang

b. Peralatan Kerja

- Gergaji 2 pcs
- Palu 2 pcs
- Linggis 1 pcs Mesin Bor 1 unit

c. Alat dan Bahan

- Alat

	Vertikal Standart
	Horizontal Ledger
	Steel Cannal
	Hollow 5x10 Hollow 5x5
	Wingnut & Tierod Beamclamp
	U Head Jack Base
	Kwikshore

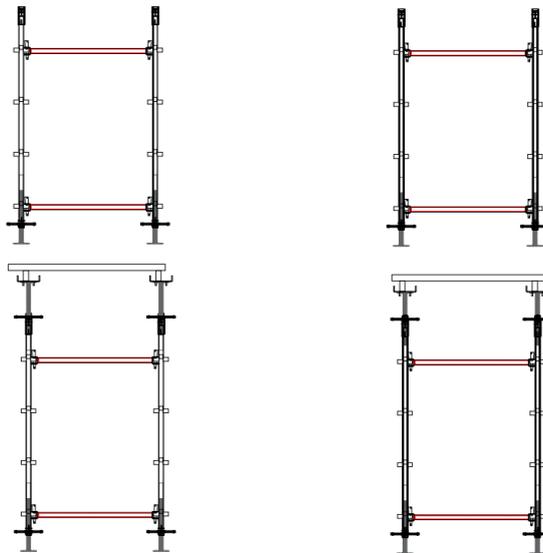
Gambar 7. 30 Alat Bekisting PCH

- Bahan

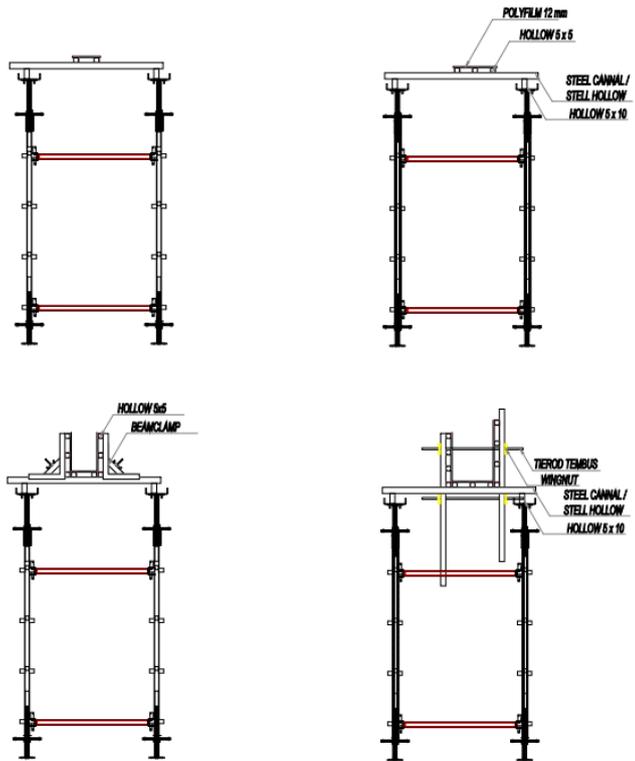
- Polyfilm 12 mm
- Paku
- Screw

d. Pemasangan Bekisting

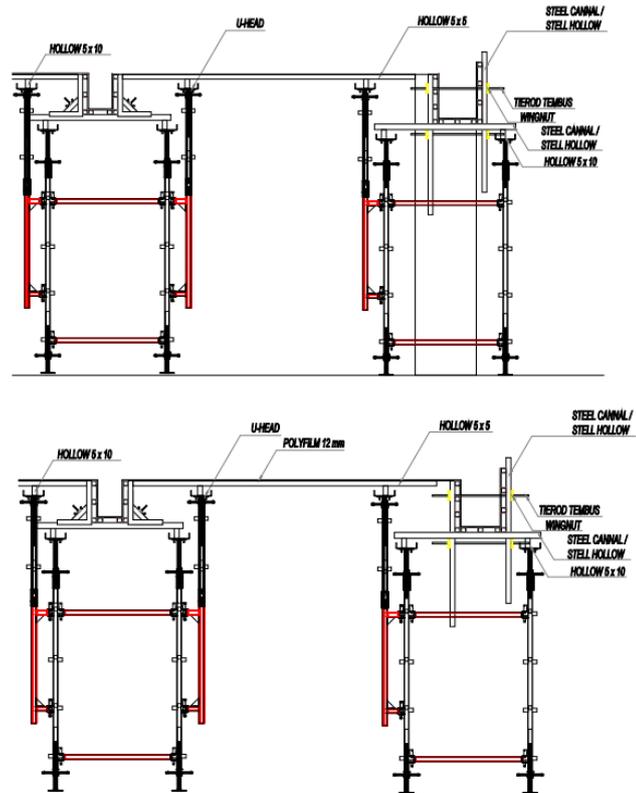
- 1) Pasang Jack Base, vertikal standar, horizontal ledger sesuai dengan ketinggian balok dan lantai
- 2) Pasang *U Head*, *hollow 5x10* dan *steel cannal*
- 3) Pasang bottom form balok
- 4) Pasang *side form* / dinding balok
- 5) Pasang *tierod* dan wingnut (khusus dinding balok tinggi > 80 cm dan dinding bebas)
- 6) Pasang *Beamclamp* (tinggi dinding balok maks. 70 cm)
- 7) Pasang Kwikshore dan hollow 5x5 untuk perancah lantai
- 8) Pasang polyfilm 12 mm untuk bekisting lantai
- 9) Rapihkan dan bersihkan area yang akan di cor



Gambar 7. 31 Tahap 1 Pemasangan Bekisting PCH



Gambar 7. 32 Tahap 2 Pemasangan Bekisting PCH



Gambar 7. 33 Tahap 2 Pemasangan Bekisting PCH



Gambar 7. 34 Pemasangan Bekisting Horizontal

7.2.3.2 Pembesian Struktur Horizontal

Tahapan pembesian struktur horizontal:

1. Menyiapkan *Bar Bending Schedule* dan *shop-drawing*.
2. Memastikan besi tulangan terbebas dari karat dan material lain yang dapat menghambat lekatan antara beton dengan besi.
3. Memastikan diameter dan jumlah besi tulangan sudah sesuai.
4. Melakukan pemasangan besi tulangan pada lapisan bawah, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan besi tulangan lapisan atas.
5. Melakukan pemasangan beton decking dengan jarak 1 meter antara satu dengan lainnya.
6. Memastikan jarak besi tulangan pada lapisan bawah terpasang kaki ayam agar kedua lapisan besi tulangan terpisah.
7. Memastikan kawat bendrat tidak bergeser jika diketok.
8. Memeriksa besi tulangan sesuai *shop-drawing*.

Pekerjaan pembesian struktur horizontal di lapangan dapat ditunjukkan pada gambar 7.24 berikut:



Gambar 7. 35 Pembesian Horizontal



Gambar 7. 36 Pembesian Balok

7.2.3.3 Pengecoran Struktur Horizontal

Metode pelaksanaan pekerjaan pengecoran beton struktur horizontal meliputi struktur balok, pelat lantai, dan atap dak beton. Mutu beton struktur horizontal menggunakan mutu beton $f'c$ 35. Adapun lingkup kerja pelaksanaan pengecoran beton struktural meliputi:

- 1) Pengajuan rencana campuran beton (*Mix design*).
- 2) Pengajuan uji coba sampel beton (*Trial Mix design*).
- 3) Pelaksanaan pekerjaan pengecoran.
- 4) Pekerjaan perawatan beton (*Curing*).

Tahapan pelaksanaan pengecoran struktur horizontal adalah:

- 1) Melakukan pemeriksaan terhadap kelayakan alat sebelum dipakai, seperti kalibrasi alat survei.
- 2) Mesin-mesin ditempatkan pada posisi yang tepat untuk menunjang berjalannya pengecoran, seperti pipa cor, *ready mix*, dan juga proses pengecoran agar berjalan secara berurutan untuk menghindari *cold joint*.
- 3) Area pengecoran yang sebelumnya harus sudah mendapatkan ijin pengecoran dan pemeriksaan kelayakan bekisting dan pembesian tulangan dari Manajemen Konsultan (MK). Pemeriksaan meliputi pemeriksaan bekisting dari sisi dimensi, as, dan kekuatan. Pemeriksaan pembesian tulangan dari sisi dimensi besi tulangan, jumlah, jarak tulangan serta selimut beton (beton decking).
- 4) Area yang akan dicor diperiksa terlebih dahulu apakah terdapat hubungan dengan pekerjaan MEP (*sparingan, sleeve, block out*), untuk menghindari pekerjaan bobokan beton.
- 5) Sebelum melakukan pemesanan *ready mix*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan volume beton dan mutu beton yang dibutuhkan berdasarkan shop drawing sehingga tidak ada waste dari total kebutuhan. Selain itu dipersiapkan

juga area buangan beton dan atau rencana pemanfaatan dari sisa kelebihan beton (misal untuk kerb, *car stopper*, kolom praktis, opening-an pintu jendela, beton decking).

- 6) Setiap *truck mixer* yang telah datang akan diperiksa surat jalannya, apakah sudah sesuai dengan pemesanan, mutu beton dan jam keberangkatannya. Waktu tunggu beton dari loading sampai dengan pengecoran maksimal 3 jam, kemudian diadakan pengukuran slump 68 (slump test), apakah sudah sesuai dengan yang disyaratkan. Nilai slump test adalah 12 ± 2 cm. Pemeriksaan mutu beton dilaksanakan dengan pengambilan 4 sampel beton di lapangan dan dibentuk menjadi silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm sesuai dengan ACI 304-73.
- 7) Untuk menghindari *cold joint* penuangan satu mobil mixer berkapasitas 7 m^3 menggunakan *concrete pump* harus berkisar 15-30 menit dan disambung mobil *mixer* berikutnya secara kontinu. Sebelum berjalannya proses pengecoran, area pengecoran harus dipastikan terbebas dari material yang mengganggu seperti sampah, tanah, maupun genangan air. Selama pengecoran dilarang menambahkan air ke dalam beton baik ke mobil *mixer*, *concrete pump*, maupun adukan beton pada area pengecoran.



Gambar 7. 37 Pengecoran Slab

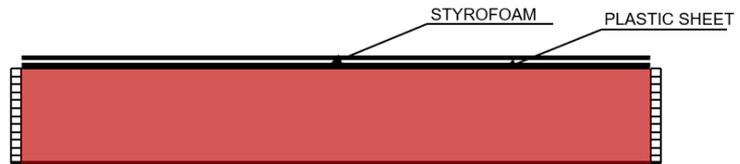
7.2.3.4 Curing Beton Struktur Horizontal

a. Raft Foundation

Curing dilakukan setelah proses pengecoran Raft Foundation selesai, untuk mencegah terjadinya penguapan pengeringan secara drastis yang dapat menyebabkan keretakan.

- Tahapan – tahapan pekerjaannya adalah sebagai berikut:
 1. Segera menutup lapisan atas concrete dengan plastic sheet.
 2. Area beton plat raft curing sterofoam dan area didalam kolom menggunakan pasir.

3. Lapisan styrofoam 1.6 cm diletakkan diatas plastic sheet dan penggunaan pasir dalam stek kolom.
 4. Plastic sheet dan styrofoam bisa dilepas setelah perbedaan suhu luar dengan beton ≤ 20 derajat.
- Alat – alat yang digunakan:
 - Plastic sheet tebal 0.2 mm
 - Styrofoam tebal 1.6 cm



Gambar 7. 38 Sistem Curing



Gambar 7. 39 Proses *Curing*

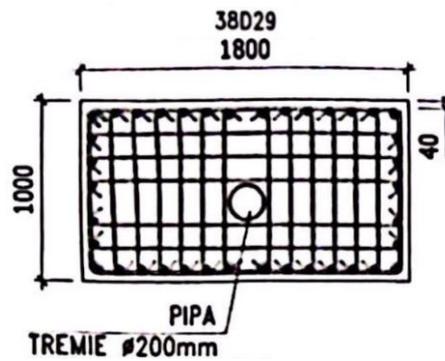
7.2.3.5 Pembongkaran Bekisting Horizontal

Bekisting dapat dibongkar setelah beton sudah cukup kuat, biasanya antara 7-14 hari tergantung pada campuran beton apa yang digunakan. Setelah bekisting dibongkar, segera cek apakah ada beton yang retak atau keropos. Bila ada beton yang mengalami cacat, segera lakukan perbaikan.

7.2.4 Perhitungan Hubungan Kolom dan Balok

- 1) Data perencanaan (Kolom Tipe C2D & Balok G58)
 - Mutu Beton = 35 Mpa
 - F_y (Ulir) = 420 Mpa

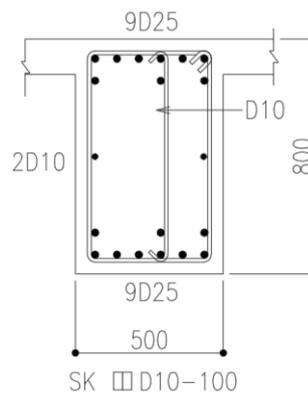
- Data Kolom C2D :



Gambar 7. 40 Kolom Tipe C2D

- Dimensi Kolom = 1800 mm X 1000 mm
- Diameter Tulangan utama = 32 mm (Ulir)
- Diamater Sengkang Tumpuan = 16 mm (Ulir)
- Diamater Sengkang Lapangan = 16 mm (Ulir)

- Data Balok G58 :



Gambar 7. 41 Balok G58

- Dimensi Balok = 500 mm X 800 mm
- Diameter Tulangan atas bawah = 25 mm (Ulir)
- Diameter Tulangan Badan = 25 mm (Ulir)
- Diameter Sengkang = 10 mm (Ulir)
- Selimut Beton = 40 mm
- Tulangan tarik tumpuan balok 9D25 mm , $A_s = 8 \times \frac{1}{4} \mu \times 25^2 = 3926.99 \text{ mm}^2$
- Tulangan tekan tumpuan balok 9D25 mm, $A_s = 9 \times \frac{1}{4} \mu \times 25^2 = 4417.86 \text{ mm}^2$

2) Perhitungan Gaya Geser HBK

$$V_{x-x} = T1 + T2 - V_h$$

- Gaya tarik pada baja tulangan akibat momen negative

$$\begin{aligned}
T1 &= A_s \text{ atas} \times 1.25 f_y \\
&= 4417.86 \times 1.25 \times 420 \\
&= 2319376.5 \text{ N}
\end{aligned}$$

- Gaya tarik pada baja tulangan akibat momen positif

$$\begin{aligned}
T2 &= A_s \text{ bawah} \times 1.25 f_y \\
&= 4417.86 \times 1.25 \times 420 \\
&= 2319376.5 \text{ N}
\end{aligned}$$

3) Menghitung Gaya Geser Kolom (Vh)

Diketahui nilai M_{Pr+} dan M_{Pr-} dari perhitungan balok induk yaitu :

$$\begin{aligned}
a &= \frac{T1}{0.85 \times f'c \times b \text{ balok}} \\
&= \frac{2319376.5}{0.85 \times 35 \times 500} \\
&= 155.92 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d &= \text{tinggi balok-tebal selimut-diameter sengkang-} \frac{1}{2} \text{ diameter tul. Utama} \\
&= 800 - 10 - \frac{1}{2} 25 \\
&= 777.5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{pr+} &= T2 \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\
&= 2319376.5 \left(777.5 - \left(\frac{155.92}{2} \right) \right) \\
&= 1622496636.81 \text{ Nmm} \\
&= 1622.5 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{pr-} &= T1 \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\
&= 2319376.5 \left(777.5 - \left(\frac{155.92}{2} \right) \right) \\
&= 1622496636.81 \text{ Nmm} \\
&= 1622.5 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Besarnya V_h dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
L_n &= \text{bentang balok} - (2 \times 0,5 \times \text{lebar balok}) \\
&= 8500 - (2 \times 0,5 \times 500)
\end{aligned}$$

$$= 8000$$

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{MP_r^+ + MP_r^-}{Ln} \\ &= \frac{1622496636.81 + 1622496636.81}{8000} \\ &= 405624.16 \text{ N} \\ &= 405.62 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Menghitung V_{x-x}

$$\begin{aligned} V_{x-x} &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 1622.5 + 1622.5 - 405.62 \\ &= 2839.38 \text{ kN} \end{aligned}$$

5) Kontrol Tulangan Geser HBK

Besarnya V_{x-x} tersebut harus dibandingkan dengan kuat geser nominal HBK yang diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1:

λ : 0,75 untuk beton ringan dan 1 untuk beton normal

$$\begin{aligned} V_n &= 1.7 \times \lambda \sqrt{f'c} A_j \\ &= 1.7 \times 1 \sqrt{35} \times 800 \times 500 \\ &= 4022930 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_n > V_{x-x}$$

$$4022930 \text{ kN} > 2839.38 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

λ : 0,75 untuk beton ringan dan 1 untuk beton normal

Hubungan balok kolom cukup kuat. Maka, penulangan geser di daerah HBK tidak perlu dihitung, tetapi tulangan sengkang pada daerah sendi plastis diteruskan pada Hubungan Balok Kolom tersebut.

6) Panjang Penyaluran (L_{dh})

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.8.5.1 nilai L_{dh} dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L_{dh} &= \frac{f_y \times db}{5.4 \sqrt{f'c}} \\ &= \frac{420 \times 25}{5.4 \sqrt{35}} \\ &= 328.67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat Panjang Penyaluran:

- $8db = 8 \times 25 = 200$
- 150 mm
- $Ldh = 328,7$ mm (OK)

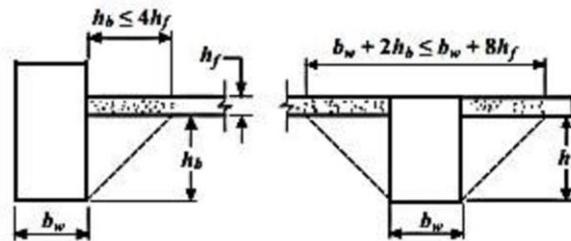
7) Persyaratan Strong Column Weak Beam (SCWB)

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2

mensyaratkan bahwa: $\sum Mnc \geq 1,2 \sum Mnb$

Nilai : $\sum Mnb$ adalah jumlah $Mnb+$ + $Mnb-$ balok yang menyatu dengan kolom.

Balok dianalisa sebagai tulangan balok T ($L = 8500$ mm)



Gambar 7. 42 Contoh Pertemuan Dengan Balok

- $B_{eff1} = b_w + \frac{1}{4} L$
 $= 500 + \frac{1}{4} \times 8500$
 $= 2625$ mm
- $B_{eff2} = b_w + 8 t_p$
 $= 500 + (8 \times 200)$
 $= 2100$ mm
- As tulangan tarik = $n \times \frac{1}{4} \mu \times db^2 = 9 \times \frac{1}{4} \mu \times 25^2 = 4417.86$ mm²
- As tulangan tekan = $n \times \frac{1}{4} \mu \times db^2 = 9 \times \frac{1}{4} \mu \times 25^2 = 4417.86$ mm²
- Titik berat tulangan atas terhadap sisi atas:
Tulangan lapis tunggal maka, $d = h - y_1$
 d bawah = $800 - (40 - 10 - 25/2)$
 $= 782,5$ mm

a) Kekuatan lentur nominal balok+ ($Mnb+$)

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0.8 \times f'_c \times b_{eff}} \\
 &= \frac{4417.86 \times 420}{0.8 \times 35 \times 2100} \\
 &= 31.56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb}^+ &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 0.8 \\
&= 4417.86 \times 420 \times \left(782.5 - \frac{31.56}{2} \right) \times 0.8 \\
&= 1138119904.05 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

b) Kekuatan lentur nominal balok (M_{nb}⁻)

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \times f_y}{0.8 \times f'_c \times b \times e_{\text{eff}}} \\
&= \frac{4417.86 \times 420}{0.8 \times 35 \times 2100} \\
&= 31.56 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb}^- &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 0.8 \\
&= 4417.86 \times 420 \times \left(782.5 - \frac{31.56}{2} \right) \times 0.8 \\
&= 1138119904.05 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

c) Maka nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned}
\sum M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\
&= 1138119904.05 + 1138119904.05 \\
&= 2276239808.1 \text{ Nm} \\
&= 2276.24 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Nilai jumlah kekuatan lentur nominal kolom ($\sum M_{nc}$) diperoleh dengan bantuan diagram interaksi kolom (SPColumn):

$$\sum M_{nc} = \frac{4092.08}{0.9} + \frac{7418.14}{0.9} = 12789,13 \text{ kNm}$$

Syarat *Strong Column Weak Beam*

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$$

$$12789,13 > 2731,49 \text{ (OK)}$$

Control Points				
About	Point	P	X-Moment	Y-Moment
		kN	kNm	kNm
X	@ Max compression	47336.3	0.00	0.00
X	@ Allowable comp.	40235.8	2985.41	0.00
X	@ $f_s = 0.0$	33559.3	5105.12	0.00
X	@ $f_s = 0.5 f_y$	23952.4	6881.00	0.00
X	@ Balanced point	17478.6	7500.29	0.00
X	@ Tension control	12078.7	7937.01	0.00
X	@ Pure bending	0.0	4092.08	0.00
X	@ Max tension	-9264.8	0.00	0.00
Y	@ Max compression	47336.3	0.00	0.00
Y	@ Allowable comp.	40235.8	0.00	5172.32
Y	@ $f_s = 0.0$	34909.6	0.00	8214.94
Y	@ $f_s = 0.5 f_y$	25133.0	0.00	11478.84
Y	@ Balanced point	18574.5	0.00	12445.19
Y	@ Tension control	11687.2	0.00	13286.51
Y	@ Pure bending	0.0	0.00	7418.14

Gambar 7. 43 Hasil SP Column