

**TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN CETAKAN SISTEM *KNOCK DOWN*  
UNTUK PANEL PAGAR BETON PRACETAK  
(*DESIGN OF KNOCK DOWN FORMWORK SYSTEM  
FOR CONCRETE FENCE PANEL*)  
(Studi Kasus PT. Powercon Jaya Utama)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



**Anjar Raharjo Juniarwoko  
10511044**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2017**

## TUGAS AKHIR

# PERANCANGAN CETAKAN SISTEM *KNOCK DOWN* UNTUK PANEL PAGAR BETON PRACETAK (*DESIGN OF KNOCK DOWN FORMWORK SYSTEM FOR CONCRETE FENCE PANEL*)

(Studi Kasus PT. Powercon Jaya Utama)

disusun oleh:

**Anjar Raharjo Juniarwoko**  
**10511044**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 14 Agustus 2017

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Pembimbing II

Penguji

  
(Albani Musyafa, ST., MT., Ph.D)

  
(Dr. Ir. Harsoyo, M.Sc)

  
(Dr. Ir. Tuti Sumarningsih, MT)

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
(Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D)

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 Agustus 2017



buat pernyataan,

Anjar Kanarjo Juniarwoko  
(10511044)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamiin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir yang berjudul *Perancangan Cetakan Sistem Knock Down untuk Panel Pagar Beton Pracetak (Studi Kasus PT. Powercon Jaya Utama)*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata satu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat kritik,saran,masukan,dan dukungan semangat dari berbagai pihak akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Albani Musyafa, ST, MT, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Dr. Ir. Harsoyo, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ibu Dr. Ir. Tuti Sumarningsih, MT, selaku Dosen Penguji.
5. Kedua Orang Tua penulis yaitu Bapak Tri Susilo Prawoko dan Ibu Juniarti yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Saudara Muhammad Utama yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data di PT. Powercon Jaya Utama.
7. Teman-teman dan Sahabat yang selalu memberi dukungan dan bantuan.

Akhir dari pengantar ini, kami berharap agar Tugas Akhir ini sesuai dengan tujuan dan manfaatnya. Kritik dan saran yang membangun selalu terbuka demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta,.....2017  
Penulis,

Anjar Raharjo Juniarwoko  
10511044

# DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	2
1.4. BATASAN PERANCANGAN	2
1.5. KEASLIAN PERANCANGAN	3
1.6. PLAGIAT	3
1.7. MANFAAT PERANCANGAN	3
BAB II STUDI PUSTAKA	4
2.1. TINJAUAN UMUM	4
2.2. BEKISTING PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT	5
2.3. BEKISTING SISTEM (PERI) DAN KONVENSIONAL	6
2.4. CETAKAN PANEL BETON <i>EXISTING</i>	7
2.5. PERBEDAAN DARI PENELITIAN TERDAHULU	8
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1. DEFINISI BEKISTING	9
3.2. FUNGSI BEKISTING	9
3.3. PERSYARATAN BEKISTING	10
3.4. JENIS-JENIS BEKISTING	10

3.4.1. Bekisting Tradisional (Konvensional)	10
3.4.2. Bekisting <i>Knock Down</i>	11
3.5. MATERIAL BEKISTING BETON	11
3.5.1. Material Besi/Baja	11
3.5.2. Material Kayu	12
3.5.3. Material <i>Plywood</i>	12
3.5.4. Material Aluminium	13
3.5.5. Material <i>Fiberglass</i>	13
3.5.6. Material Karton	13
3.5.7. Material PVC	14
3.6. BEBAN DAN PENGARUH KHUSUS PADA BEKISTING	14
3.6.1. Beban Vertikal	14
3.6.2. Tekanan Horizontal Mortar Beton	15
3.7. KEAMANAN STRUKTUR BEKISTING DENGAN METODE LRFD	20
3.7.1. Konsep Dasar LRFD	20
3.7.2. Sambungan Baut Metode LRFD	24
3.8. DEFINISI BETON PRACETAK	26
3.9. PAGAR PANEL BETON PRACETAK SISTEM <i>KNOCK DOWN</i>	29
3.10. KOMPONEN BEKISTING	29
3.11. KEPRESISIAN KOMPONEN BEKISTING	31
3.12. METODE PELAKSANAAN BEKISTING	31
3.12.1. Persiapan	31
3.12.2. Pemasangan (Perangkaian)	32
3.12.3. Pengecoran	32
3.12.4. Pembongkaran	33
3.12.5. Perawatan	33
3.13. PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA	34
3.13.1. Definisi RAB	34
3.13.2. Rumus Perhitungan RAB	34
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>36</b>
4.1. TINJAUAN UMUM	36

4.2. SUBJEK DAN OBJEK PERANCANGAN	36
4.3. DATA PERANCANGAN	36
4.3.1. Data Primer	37
4.3.2. Data Sekunder	37
4.4. TAHAPAN PERANCANGAN	37
4.5. LANGKAH PERANCANGAN	39
4.6. BAGAN ALIR PERANCANGAN	40
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	42
5.1. DATA PERANCANGAN BEKISTING	43
5.1.1. Dinding Pelat Baja Bekisting	44
5.1.2. Pengaku Bekisting	45
5.2. PEMBEBANAN PADA BEKISTING	46
5.2.1. Beban Beton	47
5.2.2. Beban Pekerja	47
5.2.3. Beban Gerobak Sorong	48
5.2.4. Beban Pemasangan	53
5.3. PEMODELAN STRUKTUR MENGGUNAKAN SAP 2000	58
5.3.1. Cek Model Bekisting <i>Existing</i>	59
5.3.2. Cek Model Bekisting Variasi	61
5.3.3. Bekisting Variasi 1	62
5.3.4. Bekisting Variasi 2	64
5.3.5. Bekisting Variasi 3	66
5.3.6. Bekisting Variasi 4	69
5.3.7. Bekisting Variasi 5	71
5.3.8. Bekisting Variasi 6	73
5.3.9. Cek Model Bekisting Variasi Optimal	75
5.3.10. Desain Sambungan baut	77
5.4. CEK KEPRESISIAN KOMPONEN BEKISTING	86
5.4.1. Ukuran Komponen Bekisting	86
5.4.2. Hubungan Antar Komponen Bekisting	90
5.5. METODE PELAKSANAAN BEKISTING	94
5.5.1. Persiapan Bekisting	94

5.5.2. Pemasangan Bekisting	94
5.5.3. Pengecoran Bekisting	97
5.5.4. Pembongkaran Bekisting	98
5.5.5. Perawatan Bekisting	100
5.6. RENCANA ANGGARAN BEKISTING	101
5.6.1. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting <i>Existing</i>	101
5.6.2. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting Variasi 2	106
5.6.3. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting Variasi 5	111
5.6.4. Perbandingan Biaya	115
5.7. PEMBAHASAN	117
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	120
6.1. SIMPULAN	120
6.2. SARAN	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN	124

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Faktor-faktor tekanan horizontal beton	16
Tabel 3.2	Batas lendutan maksimum	24
Tabel 5.1	Perhitungan tegangan horizontal gerobak sorong	49
Tabel 5.2	Perhitungan tegangan horizontal pemadatan	54
Tabel 5.3	Output data variasi tebal pelat variasi 2, 3, 4, 5, dan 6	76
Tabel 5.4	Variasi aman dan tebal pelat yang digunakan	101
Tabel 5.5	Hasil perhitungan volume pekerjaan bekisting	102
Tabel 5.6	Berat material (kg)	102
Tabel 5.7	Volume pekerjaan total bekisting PT. Powercon Jaya Utama	102
Tabel 5.8	Perhitungan harga satuan pekerjaan pengelasan	103
Tabel 5.9	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2 mm	104
Tabel 5.10	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil kanal UNP	104
Tabel 5.11	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil hollow	105
Tabel 5.12	Rencana anggaran biaya bekisting PT. Powercon Jaya Utama	105
Tabel 5.13	Hasil perhitungan volume pekerjaan bekisting variasi 2	107
Tabel 5.14	Berat material (kg)	107
Tabel 5.15	Volume pekerjaan total bekisting variasi 2	107
Tabel 5.16	Perhitungan harga satuan pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik	108
Tabel 5.17	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2,3 mm	108
Tabel 5.18	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil kanal unp	109
Tabel 5.19	Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil hollow	109
Tabel 5.20	Rencana anggaran biaya bekisting variasi 2	110
Tabel 5.21	Hasil perhitungan volume pekerjaan bekisting variasi 5	111

Tabel 5.22 Berat material (kg)	112
Tabel 5.23 Volume pekerjaan total bekisting variasi 5	112
Tabel 5.24 Perhitungan harga satuan pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik	113
Tabel 5.25 Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2 mm	113
Tabel 5.26 Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil kanal unp	114
Tabel 5.27 Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg besi profil hollow	114
Tabel 5.28 Rencana anggaran biaya bekisting variasi 5	115
Tabel 5.29 Perbandingan hasil analisis biaya bekisting baja <i>existing</i> , bekisting baja variasi 2, dan variasi 5	116
Tabel 5.30 Daftar variasi struktur bekisting redesain	118
Tabel 5.31 Ketebalan pelat pada tiap variasi bekisting redesain	118

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bekisting sistem (PERI)	6
Gambar 2.2	Bekisting konvensional	7
Gambar 3.1	Tekanan tanah (pada DPT) lateral akibat beban titik	19
Gambar 3.2	Bidang geser baut	25
Gambar 3.3	Pagar panel beton pracetak sistem <i>knock down</i>	29
Gambar 3.4	Bekisting kolom baja	30
Gambar 4.1	Bagan alir perancangan	41
Gambar 5.1	Bekisting baja <i>existing</i> untuk cetakan panel beton pracetak	42
Gambar 5.2	Dinding pelat baja bekisting	43
Gambar 5.3	Detail pelat baja bekisting	44
Gambar 5.4	Detail perletakan pengaku	46
Gambar 5.5	Pembebanan pada bekisting baja	46
Gambar 5.6	Tekanan tanah (pada DPT) lateral akibat beban titik	48
Gambar 5.7	Alat pemadatan untuk bekisting	53
Gambar 5.8	Pemodelan struktur bekisting pada SAP 2000 v14	59
Gambar 5.9	Pemodelan struktur bekisting <i>existing</i> pada 2000 v14	59
Gambar 5.10	Perubahan konsep tumpuan bekisting	61
Gambar 5.11	Pemodelan struktur bekisting variasi 1 pada SAP 2000	62
Gambar 5.12	Pemodelan struktur bekisting variasi 2 pada SAP 2000	64
Gambar 5.13	Pemodelan struktur bekisting variasi 3 pada SAP 2000	67
Gambar 5.14	Pemodelan struktur bekisting variasi 4 pada SAP 2000	69
Gambar 5.15	Pemodelan struktur bekisting variasi 5 pada SAP 2000	71
Gambar 5.16	Pemodelan struktur bekisting variasi 6 pada SAP 2000	73
Gambar 5.17	Profil kanal UNP	77
Gambar 5.18	Detail sambungan baut pada bekisting baja	82
Gambar 5.19	Detail sambungan baut terpasang pada bekisting baja	85
Gambar 5.20	Bekisting baja redesain	86
Gambar 5.21	Komponen bekisting redesain	87
Gambar 5.22	Detail ukuran bekisting luar	88
Gambar 5.23	Detail ukuran bekisting sekat	88

Gambar 5.24	Detail ukuran bekisting bawah	89
Gambar 5.25	Detail ukuran bekisting perangkai	89
Gambar 5.26	Detail ukuran beton penjepit	90
Gambar 5.27	Detail hubungan bekisting perangkai dengan bekisting bawah	91
Gambar 5.28	Detail hubungan bekisting perangkai dengan bekisting luar dan sekat	92
Gambar 5.29	Detail hubungan bekisting bawah dengan pelat pada bekisting luar dan sekat	93
Gambar 5.30	Bekisting bawah satu persatu diletakkan di permukaan lantai	95
Gambar 5.31	Bekisting luar ditegakkan dan diikat dengan bekisting perangkai	96
Gambar 5.32	Pemasangan bekisting sekat satu persatu	96
Gambar 5.33	Perataan beton (sisi dalam) dengan besi pemadatan	97
Gambar 5.34	Perataan permukaan bekisting dengan sekop	98
Gambar 5.35	Sendok Bekisting	98
Gambar 5.36	Pelepasan bekisting perangkai	99
Gambar 5.37	Pelepasan bekisting luar	99
Gambar 5.38	Pelepasan panel beton dan bekisting sekat satu persatu	100
Gambar 5.39	Minyak bekisting dengan menggunakan oli	100

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Brosur beton pracetak PT. Powercon Jaya Utama	125
Lampiran 2	Dimensi profil kanal UNP 5 RRT (14 kg) Toko Sekawan	126
Lampiran 3	Dimensi profil hollow 20 x 40 x 2 A Toko Sekawan	128
Lampiran 4	Daftar harga profil kanal UNP Toko Sekawan	130
Lampiran 5	Daftar harga profil hollow / stall Toko Sekawan	131
Lampiran 6	Daftar harga profil pelat baja Toko Sekawan	132
Lampiran 7	Toko baja Sekawan	133
Lampiran 8	Foto Penulis dan Sdr. Utama di Pabrik PT. Powercon Jaya Utama	134
Lampiran 9	Gambar bekisting PT. Powercon Jaya Utama	135
Lampiran 10	Gambar Bekisting Redesain Variasi 2	136
Lampiran 11	Gambar Bekisting Redesain Variasi 5	137

## ABSTRAK

Dunia konstruksi khususnya Indonesia telah mengenal istilah cetakan beton atau bekisting sudah sejak lama. Bekisting harus dirancang dengan kekuatan, kekakuan sehingga bentuk, ukuran, dan posisi saat pengecoran dapat dilaksanakan sesuai dengan persyaratan serta mendapatkan biaya (desain baja) yang optimal pula. Pada penelitian ini, rancangan sebuah bekisting baja sistem *knock down* (bongkar pasang) mengacu pada ukuran panel beton 240 x 40 x 5 cm yang digunakan untuk pagar beton. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan rancangan bekisting baja yang optimal untuk panel beton pagar pracetak berdasarkan dari segi biaya, kekakuan, dan kekuatan.

Penelitian dari segi struktur menggunakan 4 macam pembebanan yaitu beban beton, beban pekerja, beban gerobak sorong, dan beban pemadatan. Material struktur yang digunakan dalam perhitungan struktur bekisting menggunakan 3 macam profil yaitu profil kanal UNP, profil hollow, dan profil plat hitam. Struktur bekisting baja dimodelkan dan dihitung dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14. Struktur bekisting *existing* di cek terlebih dahulu keamanan strukturnya dari segi kekuatan dan kekakuannya. Apabila diketahui hasil output dari pemodelan bekisting *existing* mengalami kegagalan pada struktur, maka dilakukan tindakan redesain terhadap model *existing* tersebut agar tercapainya keamanan struktur.

Pemodelan bekisting *existing* didapatkan hasil struktur tidak aman terhadap defleksi plat dengan nilai 0,1467 m lebih besar dari defleksi izinnnya yaitu 0,00167 m. Selanjutnya dibuatlah pemodelan dengan 6 variasi yang masing variasi mempunyai jarak pengaku yang berbeda-beda. Variasi 2 yang menggunakan jarak antar pengaku melintang 1,2 m dan pengaku memanjang 0,4 m dengan tebal plat 0,0023 m dan variasi 5 yang menggunakan jarak antar pengaku melintang 0,4 m dan pengaku memanjang 0,4 m dengan tebal plat 0,002 m diambil untuk selanjutnya dibandingkan biaya dengan bekisting *existing* karena kedua variasi tersebut menunjukkan keoptimalan hasil struktur. Hasil perbandingan biaya antara bekisting *existing*, variasi 2, dan variasi 5 secara berturut-turut mempunyai perbandingan 100% : 108,6% : 123,6% dengan biaya pekerjaan bekisting *existing* sebesar Rp 14.557.902, biaya pekerjaan bekisting variasi 2 sebesar Rp 15.814.109, dan bekisting variasi 5 sebesar Rp 17.750.764.

Kata kunci: Bekisting Baja, Sistem *Knock Down*, Kekuatan, Kekakuan, Biaya.

## **ABSTRACT**

*In the construction world, formwork has been known since long time ago in the construction field, as the concrete mold. Formwork must be design based on the strength, stiffness became the shape, size, and position of casting that can be done in accordance with the requirements and get the optimal cost (steel design). In this study, the design of a knock down steel formwork system refers to the size of a concrete panel with 240 x 40 x 5 cm uses for concrete fencing. The purpose of this research is to get the optimal steel formwork design for precast concrete fence panel based on the cost, stiffness and strength.*

*The structural study uses four types of loads such as: concrete load, worker load, wheelbarrow load, and compaction load. The profiles uses in this research are 3 types, there are U-channel profile, hollow profile, and mild steel plate profile. The structure of steel formwork design and calculate by using SAP 2000 v14 application. The existing formwork structure design check the safety of its structure in terms of the strength and the stiffness. If the output of the existing formwork model is failed on the structure, then we should redesign the existing model to achieve the safety for the structure.*

*Based on the existing formwork modeling, get the result that the unsafe structure against the plate deflection with 0,1467 m value is bigger than deflection of permit which is 0,00167 m. Furthermore, modeling with 6 variations which has different stiffening distance' variation. Variation 2 which use 1.2 m across stiffeners and 0.4 m extend stiffener with 0,0023 m plate thickness and 5 variations that uses 0.4 m across stiffeners and 0.4 m longterm stiffener with 0,002 m plate thickness take to compare the next cost with the existing formwork because the two variations show the optimization of the result structure. The result of the cost comparison between existing formwork, variation 2, and variation 5 has a ratio of 100% : 108,6% : 123,6% with existing formwork cost Rp 14.557.902, the work cost of formation from variation 2 is Rp 15.814.109, and formwork from Variation 5 is Rp 17.750.764.*

*Keywords: Steel Formwork, Knock Down System, Strength, Stiffness, Cost*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Indonesia telah mengenal istilah bekisting sudah sejak lama. Kata yang diambil dari bahasa Belanda ini merupakan kata yang berarti cetakan. Dalam dunia konstruksi, istilah bekisting digunakan untuk menyebut istilah dari cetakan beton. Bekisting memiliki arti, yaitu cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Stephens, 1985).

Idealnya, bekisting harus dirancang dengan kekakuan (*stiffness*) dan kepresisian, sehingga bentuk, ukuran, posisi, dan penyelesaian dari pengecoran dapat dilaksanakan sesuai dengan toleransi yang diinginkan. Bekisting harus dibuat secara efisien, meminimalisasi waktu dan biaya dalam proses pelaksanaan demi keuntungan perusahaan (Uberlin, 2015).

Pada perusahaan beton pracetak, peranan bekisting menjadi sangat penting dalam menentukan kualitas produksi. Kualitas produksi beton dapat dikatakan baik (dari sisi bekistingnya), jika beton dicetak sesuai dengan bentuk yang direncanakan dan tidak memiliki kecacatan. Jika kualitas produksi beton tidak tercapai dengan baik, maka hal ini dapat mempengaruhi pengaplikasian dalam beton pracetak. Seperti pemasangan yang tidak pas dan rapi dalam penyusunan panel-panel beton pagar dengan sistem *knock down* (bongkar pasang) di lapangan.

Perancangan pembuatan cetakan beton (bekisting) ini harus diperhitungkan dengan sangat cermat. Mulai dari memperhitungkan kestabilan/kekuatan maupun kekakuan, agar bekisting kontak tidak melengkung atau mencembung, yang nantinya akan menghasilkan produk beton yang tidak baik. Kepresisian bekisting harus benar-benar dicermati dalam hal mendesain bekisting. Pada Tugas Akhir ini, rancangan sebuah bekisting baja mengacu pada ukuran panel beton 240 x 40 x 5 cm.

## **1.2. RUMUSAN MASALAH**

Jika dilihat pengaruh bekisting dari pemaparan sebelumnya, bekisting sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas produk beton. Kepresisian produk beton khususnya pada panel beton, akan memudahkan pada proses pemasangan pagar di lapangan.

Dalam merancang bekisting baja, idealnya suatu bekisting harus kuat, kaku, dan penggunaan material bajanya harus seoptimal mungkin agar tidak terjadi pemborosan. Rumusan masalah dari beberapa kebutuhan diatas adalah bagaimana rancangan bekisting baja yang optimal untuk panel beton pagar pracetak berdasarkan dari segi biaya, kekakuan, dan kekuatan.

## **1.3. TUJUAN**

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan rancangan bekisting baja yang optimal untuk panel beton pagar pracetak berdasarkan dari segi biaya, kekakuan, dan kekuatan.

## **1.4. BATASAN PERANCANGAN**

Agar Analisis kelayakan bekisting baja beton pagar pracetak sesuai dan terfokus dengan tujuannya maka digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Material bekisting yang nantinya akan dirancang adalah baja mutu bj37.
2. Bekisting baja yang akan dianalisis kekakuan dan kekuatannya adalah bekisting untuk panel pagar beton dengan lebar panel 240 cm (cetakan berdiri dengan tinggi 40 cm).
3. Bekisting baja yang akan ditinjau adalah bekisting baja panel beton pagar pracetak (bukan bekisting kolom pagar pracetak).
4. Perencanaan struktur bekisting menggunakan SAP versi 14
5. Perencanaan struktur bekisting baja pada SAP menggunakan metode AISC-LRFD
6. Analisis bekisting baja tidak memperhitungkan perencanaan sambungan las.

7. Studi kasus dilakukan di PT. Powercon Jaya Utama Jl. Raya Muntilan-Jogja km 23 Tegalsari, Jumoyo, Salam, Magelang, Jawa Tengah.

### **1.5. KEASLIAN PERANCANGAN**

Perancangan cetakan sistem *knock down* untuk panel pagar beton pracetak (studi kasus di PT. Powercon Jaya Utama) ini merupakan perancangan yang belum pernah dilakukan oleh pihak lain. Adapun perancangan bekisting yang pernah dilakukan ada persamaannya, namun objek perancangannya berbeda.

### **1.6. PLAGIAT**

Laporan tugas akhir ini bukan plagiat hasil karya penulis lain. Bentuk penyalinan berupa kalimat, paraphrase dan penggunaan pemikiran penulis lain yang ditulis dan telah disebutkan sumbernya seperti tercantum dalam daftar pustaka.

### **1.7. MANFAAT PERANCANGAN**

Manfaat yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu referensi bagi pembaca tentang bekisting baja dan bagaimana merancang bekisting baja khususnya untuk bekisting panel beton *precast*.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. TINJAUAN UMUM**

Cetakan beton atau dalam istilah umumnya bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Stephens, 1985). Bekisting yang baik adalah bekisting yang mempunyai banyak keuntungan dalam sistem bekistingnya, diantaranya seperti kecepatan pemasangan dan pembongkaran, meminimalisir biaya penggunaan kembali, serta biaya tenaga kerja yang rendah.

Di saat sekarang ini pemakaian bekisting tradisional atau bekisting yang terbuat dari kayu, triplek, ataupun papan menjadi sesuatu pilihan yang harus dikurangi. Hal ini disebabkan, pemakaian kayu dan triplek (plywood) atau papan untuk membuat bekisting tradisional secara terus menerus dapat merusak lingkungan yang sering tidak dapat dipertanggungjawabkan oleh pelaksana konstruksi dan menghasilkan limbah khususnya pada proses konstruksi. Bekisting baja akan menjadi salah satu pilihan dalam penggunaan bekisting karena sifatnya yang *reusable* atau dapat digunakan kembali yang menyebabkan bekisting baja dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Berbagai keuntungan utama dari sistem bekisting ini jika dibandingkan dengan bekisting kayu tradisional, adalah kecepatan konstruksi dan menurunkan biaya penggunaan kembali akibat dari frame baja yang hampir tidak bisa dihancurkan, sementara jika terbuat dari kayu, mungkin harus diganti setelah beberapa lusin penggunaan, tetapi jika penutup tersebut dibuat dengan baja, penggunaan dapat mencapai hingga dua ribu penggunaan tergantung pada perawatan dan aplikasi (Oktavianty, 2013).

Pagar beton diciptakan untuk mempermudah dalam pengamanan lingkungan, dapat digunakan untuk lingkungan dikawasan industri, perumahan umum, pabrik, dan lain-lain. Pagar beton precast terdiri dari panel beton dan tiang beton, ukuran panel beton 5 x 40 x 240 cm, sedangkan ukuran tiang beton 17 x 18 x 210 - 400 cm. Keuntungan menggunakan pagar beton *precast*, (1) memiliki daya tahan tinggi terhadap perubahan cuaca, (2) kuat dalam segala layanan dan tempat, (3) mudah dalam pemasangan, (4) permukaan halus dan rapih, (5) dapat

dipindahkan sesuai kebutuhan, (6) kokoh, kuat, praktis, dan ekonomis, (7) kualitas mutu terjamin, (8) efektif dari segi waktu dan biaya dibanding pagar lainnya. (PT. Cakracon Semesta, 2015)

BAB II ini akan memaparkan hasil penelitian-penelitian terdahulu mengenai bekisting sebagai acuan dan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan, dengan harapan penelitian yang akan dilakukan akan lebih baik serta dapat menyimpulkan hal baru yang mungkin belum pernah diungkapkan pada penelitian-penelitian sebelumnya dan sekaligus menghindari duplikasi.

## 2.2. BEKISTING PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

Penelitian yang dilakukan oleh Dharma (2010) dengan pokok bahasan yang diteliti yaitu tentang *formwork*/bekisting pada bangunan gedung bertingkat. Makalah tentang *formwork*/bekisting pada bangunan gedung bertingkat ini menjelaskan bahwa untuk mendapatkan bentuk struktur beton yang baik, perlu adanya pembuatan bekisting yang baik. Dalam hal ini akurasi, kekuatan dan juga struktur pendukung harus cukup kuat. Untuk memudahkan instalasi dan juga efisiensi waktu dalam pelaksanaan pembongkaran dan pemasangan membutuhkan konstruksi yang benar dan baik.

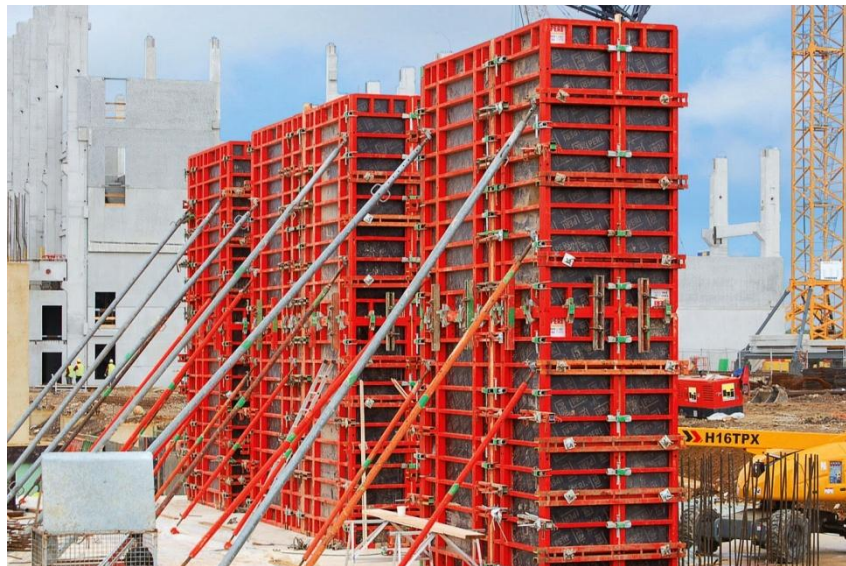
Dalam perhitungan bekisting, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan memperhitungkan beban untuk cetakan. Pembebanan cetakan beton untuk lantai dan balok diperhitungkan berat sendiri beton, kemungkinan tertumpuknya beton pada suatu tempat, beban hidup, peralatan, perlengkapan, dan lain-lain. Sedangkan pembebanan cetakan beton untuk kolom dan dinding diperhitungkan tinggi pengecoran, kecepatan dari pengecoran, dan waktu pengecoran. Setelah perhitungan pembebanan, kemudian masuk ke perhitungan cetakan yaitu mencari lendutan yang terjadi ( $\delta \leq 0,30$  cm) dan tegangan ( $\tau \leq \tau_{ijin \text{ material}}$ )

Hasil dari makalah didapat, dalam pembangunan gedung bertingkat, akan lebih efisien apabila bekisting menggunakan bahan yang kuat sehingga dapat dipakai beberapa kali. Untuk bangunan gedung 2 (dua) lantai dengan menggunakan plafond, dapat dipakai dengan menggunakan papan bekisting, apabila expose (tanpa plafond) maka papan bekisting dilapisi dengan tripleks dan plastik lembaran. Bekisting balok yang dirancang dengan sistem bongkar pasang, dimana balok tersebut dirancang khusus untuk segmen tertentu. Dengan cara sewa

dapat dilakukan untuk mengurangi limbah yang dapat mengganggu lingkungan. (Dharma, 2010)

### 2.3. BEKISTING SISTEM (PERI) DAN KONVENSIONAL

PERI merupakan sebuah perusahaan yang bergerak sebagai pemasok dan produsen bekisting sistem dan perancah terbesar didunia. Produk yang dibuat oleh perusahaan dari jerman ini meliputi bekisting dinding, bekisting kolom, bekisting lantai/*slab*, dan lain-lain. Bekisting sistem (PERI) adalah bekisting yang dirancang untuk suatu proyek yang ukurannya disesuaikan dengan bentuk beton yang diinginkan. Penggunaan dari bekisting sistem (PERI) ini disebabkan karena adanya kemungkinan untuk digunakan secara berulang-ulang. Setelah proses pengecoran selesai, komponen-komponen ini dapat disusun kembali menjadi sebuah bekisting sistem (PERI) untuk obyek yang lain.



Gambar 2.1. Bekisting sistem (PERI)

(Sumber: Setiawan, 2014)

Pengertian dari bekisting konvensional adalah bekisting kontak yang terdiri dari kayu papan dengan perkuatan kayu kaso. Bekisting konvensional adalah bekisting yang terdiri dari papan dan kayu balok yang dikerjakan di tempat. Bekisting jenis ini adalah bekisting yang setiap kali setelah dilepas dan dibongkar menjadi bagian-bagian dasar, dapat disusun kembali menjadi sebuah bentuk lain. Penggunaan material pada sistem ini hanya beberapa kali pengulangan dan untuk konstruksi yang rumit harus banyak diadakan

penggajian sehingga pelaksanaan jenis bekisting ini akan memakan waktu, bahan, dan ongkos kerja.



Gambar 2.2. Bekisting konvensional  
(Sumber: Syah, 2014)

Penelitian oleh Aditya, dkk (2013) dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya adalah membandingkan penggunaan metode bekisting yang berbeda yaitu metode sistem PERI dengan metode konvensional ditinjau dari dua aspek biaya dan waktu pada proyek Puncak Kertajaya Apartemen. Untuk kedua metode tersebut dilakukan studi literatur dan pengumpulan data kemudian perhitungan pada perkuatan bekisting, metode pelaksanaan pekerjaan bekisting, dan perhitungan kebutuhan material. Analisis produktivitas dan durasi pekerjaan serta analisis perhitungan biaya pekerjaan bekisting.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk bekisting sistem PERI memerlukan biaya Rp. 5.156.103.120,97 dan waktu 127 hari. Sedangkan bekisting konvensional memerlukan biaya Rp. 4.514.736.868,00 dan waktu 223 hari. Perbandingan antara 2 metode tersebut adalah dari segi biaya, bekisting konvensional lebih murah Rp. 641.366.252,97 (12,43%) dibandingkan dengan bekisting sistem PERI. Sedangkan dari segi waktu pengerjaan bekisting PERI lebih cepat 96 hari (Aditya dkk, 2013).

#### **2.4. CETAKAN PANEL BETON *EXISTING***

Idealnya bekisting harus dalam kondisi baik dan mudah ditangani dalam semua tahapan pengerjaan baik itu tahap persiapan, pemasangan, pengecoran, pembongkaran, maupun segi perawatan. Apabila dicermati bekisting *existing*

terdapat berbagai kekurangan baik yang bisa dilihat langsung, maupun keterangan dari pekerja tentang masalah bekisting.

Adapun beberapa kekurangan dari bekisting *existing* sebagai berikut:

1. Bekisting susah dalam pemasangan

Bekisting *existing* memiliki komponen-komponen bekisting yang terdiri dari beberapa bagian yang di sekat dan di dalam 1 Bekisting bisa mencetak 10 buah panel beton. Pemasangan bekisting sulit dikarenakan kondisi bekisting sekat yang kering.

2. Bekisting susah dalam pembongkaran

Setelah beton benar-benar mengering, angker dan baut dilonggarkan agar bekisting kontak bisa dikeluarkan. Akan tetapi, pada saat pembongkaran bekisting sekat susah untuk dikeluarkan akibat dari bekisting yang kurang licin.

3. Bekisting tidak menggunakan standar perencanaan

Bekisting tidak menggunakan standar perencanaan karena desain bekisting pada saat perencanaan tidak memperhitungkan kekuatan dan kekakuannya.

## **2.5. PERBEDAAN DARI PENELITIAN TERDAHULU**

Penelitian yang dilakukan oleh Budhi Dharma (2010) menjelaskan perhitungan bekisting untuk mencari lendutan dan tegangan yang terjadi antara berbagai material bekisting, seperti material kayu lapis/multiplex dan kaso/pipa. Sedangkan Penelitian yang dilakukan oleh Aditya, dkk (2013) adalah membandingkan penggunaan metode bekisting yang berbeda yaitu metode sistem (PERI) dengan metode konvensional ditinjau dari dua aspek biaya dan waktu. Sedangkan pada penelitian ini, penelitian yang dilakukan adalah meninjau kekuatan dan kekakuan bekisting dengan material baja. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan biaya bekisting antara bekisting yang dirancang dengan bekisting yang sudah ada.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. DEFINISI BEKISTING**

Bekisting (*formwork*) adalah suatu sarana pembantu struktur beton untuk mencetak beton sesuai ukuran, bentuk, rupa, ataupun posisi serta alinyemen yang dikehendaki. Dengan demikian *formwork* harus mampu berfungsi sebagai struktur sementara yang mampu memikul berat sendiri, beton basah, beban hidup dan beban peralatan kerja selama proses pengecoran.

Dalam proses cetakan perlu diperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Kualitas material cetakan yang digunakan harus mampu menghasilkan permukaan beton yang baik, ketepatan dimensi.
2. Keamanan dari cetakan harus diperhitungkan akibat beban tidak menentu dari pembebanan agregat beton.
3. Memperhatikan faktor ekonomis dari cetakan agar dapat mereduksi biaya (Wigbout, 1992).

#### **3.2. FUNGSI BEKISTING**

Pada pokoknya sebuah konstruksi bekisting menjalani tiga fungsi:

1. Bekisting menentukan bentuk dari konstruksi beton yang akan dibuat. Bentuk sederhana dari sebuah konstruksi beton menghendaki sebuah bekisting yang sederhana.
2. Bekisting harus dapat menyerap dengan aman beban yang ditimbulkan oleh mortar beton dan berbagai beban luar serta getaran. Dalam hal ini perubahan bentuk yang timbul dan geseran-geseran dapat diperkenankan asalkan tidak melampaui toleransi-toleransi tertentu.
3. Bekisting harus dapat dengan cara sederhana dipasang, dilepas dan dipindahkan (Wigbout, 1992).

### 3.3. PERSYARATAN BEKISTING

Cetakan merupakan unsur yang sangat penting dalam mekanisme pencoran beton. Biaya persyaratan yang harus dipenuhi adalah dimensi yang akurat guna menghasilkan beton yang tepat dimensi.

Persyaratan umum yang harus dipenuhi bagi suatu cetakan beton adalah:

1. Mempunyai volume stabil sehingga dapat dihasilkan dimensi beton yang akurat.
2. Dapat digunakan berulang kali.
3. Mudah dibongkar pasang serta dipindahkan.
4. Rapat air sehingga tidak memungkinkan air agregat keluar dari cetakan.
5. Mempunyai daya lekat rendah dengan beton dan mudah membersihkannya.

Perencanaan *formwork* harus dapat memenuhi aspek bisnis (biaya) dan aspek teknologi (*strength, workability*). Oleh karena itu harus memenuhi hal-hal berikut:

1. Ekonomis
2. Kuat dan kokoh
3. Tidak berubah bentuk
4. Memenuhi persyaratan permukaan (Ervianto, 2006).

### 3.4. JENIS-JENIS BEKISTING

Jenis-jenis bekisting jika ditinjau dari sistem bekisting yang dipakai diantaranya adalah bekisting tradisional, bekisting setengah sistem, dan bekisting sistem.

#### 3.4.1. Bekisting Tradisional (Konvensional)

Bekisting tradisional menggunakan keseluruhan material dimana kayu papan dan kayu balok dikerjakan ditempat. Penggunaannya terbatas sampai pada hanya beberapa kali penggunaan; untuk bentuk-bentuk yang rumit harus banyak diadakan penggantian. Dengan demikian bekisting-bekisting tradisional memerlukan banyak pengerjaan dan upah. Biaya investasinya dapat dikatakan rendah. Dikarenakan hilangan-hilangan yang cukup tinggi oleh penggantian dan

buangan, biaya penghapusan dapat meningkat cukup berarti. Seandainya bangunan bersangkutan memungkinkannya, papan-papan dapat diganti oleh panel-panel yang dibuat di pabrik. Panel-panel ini, asalkan saja digunakan secara benar, dapat memberikan suatu kemungkinan pengulangan yang lebih tinggi sehingga dapat menghemat tenaga kerja. Digunakannya panel-panel ini dapat mengarah pada bekisting tipe lain. Secara ringkas bekisting-bekisting tradisional dirancang untuk penggunaan satu kali atau penggunaan beberapa kali saja, dan bentuk-bentuk tidak beraturan atau bentuk-bentuk luar biasa (Wigbout, 1992).

### **3.4.2. Bekisting *Knock Down***

Dengan berbagai kekurangan metode bekisting konvensional tersebut maka direncanakanlah sistem bekisting knock down yang terbuat dari plat baja dan besi hollow. Untuk 1 unit bekisting knock down ini memang biayanya jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan bekisting kayu, namun bekisting ini lebih awet dan tahan lama, sehingga dapat digunakan seterusnya sampai pekerjaan selesai, jadi jika ditotal sampai selesai pelaksanaan, bekisting knock down ini menjadi jauh lebih murah (ilmutekniksipil.com, 2012).

## **3.5. MATERIAL BEKISTING BETON**

Material yang dapat digunakan untuk pembuatan bekisting adalah besi, kayu, *plywood*, aluminium, dan *fibre glass*.

### **3.5.1. Material Besi/Baja**

Material besi/baja merupakan bahan yang hampir memenuhi seluruh persyaratan umum cetakan diatas, hanya saja dari segi biaya relatif mahal. Material jenis ini biasanya diproduksi secara pabrikasi dalam bentuk dan desain khusus. Elemen struktur yang sering menggunakan cetakan besi/baja adalah plat lantai. Seringkali cetakan besi tidak diambil kembali setelah pencoran dan bahkan didisain untuk ikut memikul beban konstruksi. Karena kemampuan material besi/baja dalam memikul beban yang besar maka kadang-kadang sama sekali tidak memerlukan perancah pendukung (Erviyanto, 2006).

### 3.5.2. Material Kayu

Jenis kayu yang dapat dimanfaatkan untuk cetakan dapat dibedakan berdasarkan kekerasan kayu. Kayu lunak digunakan sebagai cetakan beton pada umumnya, sedangkan kayu keras dapat digunakan jika hasil pencoran beton diharapkan memenuhi standar tertentu, misalnya dalam pembuatan alur/celah dalam beton; diharapkan untuk mendapatkan sudut-sudut yang tajam dari hasil pencoran; dihasilkan permukaan yang halus sehingga persyaratan yang harus dipenuhi adalah bahwa kayu harus bebas dari mata kayu, cetakan harus mampu menahan goyangan, dihindarkan terjadinya puntir, dan lain sebagainya yang dapat menyebabkan cetakan menjadi rusak.

Kelembaban kayu yang digunakan untuk cetakan beton menjadi hal yang sangat penting. Pada musim kemarau kayu akan menjadi kering dan menjadi lembab pada musim hujan.

Penggunaan cetakan kayu terkadang tidak lebih mudah dibandingkan cetakan besi. Daya lekat antara kayu dengan beton cukup besar sehingga diperlukan material lain sebagai pelapis untuk menghambat daya lekat keduanya (biasanya plastik). Keuntungan penggunaan kayu adalah mudah dikerjakan.

Sampai saat ini material kayu paling sering dan paling banyak digunakan di Indonesia. Biasanya terdiri dari papan dengan tebal 2-3 cm yang dirangkai dan diperkuat dengan balok kayu. Penggunaan kayu sebagai cetakan harus memperhatikan berbagai macam persyaratan tegangan yang diizinkan, yaitu:

1. Tegangan izin lentur.
2. Tegangan izin tekan sejajar serat.
3. Tegangan izin tekan tegak lurus serat.
4. Tegangan izin tarik sejajar serat.
5. Tegangan izin tarik tegak lurus serat.
6. Tegangan izin geser sejajar serat (Ervianto, 2006).

### 3.5.3. Material Plywood

Cetakan ini digunakan karena tuntutan kualitas permukaan beton yang dihasilkan. Banyak digunakan untuk cetakan kolom, balok, dinding, dan plat. *Plywood* lebih kuat dan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan papan kayu (Ervianto, 2006).

#### **3.5.4. Material Aluminium**

Cetakan jenis ini merupakan pengembangan dari cetakan besi/baja. Kelebihan aluminium adalah ringan dan tidak berkarat. Cetakan aluminium dapat digunakan untuk berbagai bentuk dan ukuran beton. Pada umumnya penguat dan penyokong untuk cetakan ini adalah profil baja/aluminium. Cetakan jenis ini biasanya diproduksi secara pabrikasi berupa panel-panel berukuran tertentu dan dirangkai satu dengan yang lain dengan menggunakan baut (Ervianto, 2006).

#### **3.5.5. Material *Fiberglass***

Cetakan jenis ini sesuai untuk pelaksanaan beton arsitektural atau untuk beton pracetak, akan menghasilkan beton dengan permukaan halus. Pada umumnya ketebalan bahan yang digunakan antara 3mm s/d 15 mm.

Karena sifat material jenis cetakan ini, maka bentuk cetakan jenis ini mudah mengikuti bentuk yang diinginkan. Keunggulan cetakan *fiberglass* diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sangat fleksibel dengan desain yang diinginkan.
2. Dapat menghasilkan tekstur yang beraneka ragam.
3. Dapat dipakai berulang kali.
4. Ringan sehingga mudah diangkut.
5. Tidak berkarat.
6. Pemasangan dan pembongkaran di lapangan mudah dikerjakan (Ervianto, 2006).

#### **3.5.6. Material Karton**

Karton yang berbentuk tabung sudah banyak dipakai untuk menggulung kain dan kertas atau bahan tipis lainnya. Bahan dasar karton terbuat dari *krafliner board* yang seratnya memiliki kekuatan tarik yang cukup kuat sehingga kemudian dicoba sebagai alternatif untuk bahan cetakan untuk beton kolom bulat.

Cetakan jenis ini hanya dapat dimanfaatkan satu kali saja dan menghasilkan permukaan beton yang kasar. Saat ini ukuran yang diproduksi di Indonesia adalah dengan diameter 20 cm s/d 55 cm dengan panjang 10 meter dan ketebalan 3 mm s/d 5 mm. Untuk memanfaatkan cetakan ini diperlukan

klem/pengaku untuk tiap jarak 1 meter, untuk mengatur kelurusan vertikal dan memperkuatnya (Ervianto, 2006).

### **3.5.7. Material PVC**

Cetakan beton dengan menggunakan PVC khusus diaplikasikan pada kolom bulat. Biasanya digunakan pipa PVC tipis (untuk saluran air kotor yang tidak bertekanan) agar diperoleh harga yang murah. Dalam prakteknya pipa ini harus diperkuat dengan kayu dan ditopang di beberapa tempat. Cetakan jenis ini dapat digunakan berulang-ulang (Ervianto, 2006).

## **3.6. BEBAN DAN PENGARUH KHUSUS PADA BEKISTING**

Berbagai beban yang perlu kita perhatikan dalam merencanakan sebuah bekisting adalah tidak terlepas dari sejumlah faktor. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi perencanaan yang berlaku.

### **3.6.1. Beban Vertikal**

#### **1. Beban Oleh Bekisting**

Beban oleh bekisting dipengaruhi oleh berat kumulatif antara baja-baja profil dan pelat baja yang dirangkai kedalam satu kesatuan bekisting. Berat sendiri bekisting dipengaruhi oleh dimensi profil dan pelat itu sendiri, serta berat jenis baja yaitu sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

#### **2. Beban Oleh Mortar Beton**

Diperhitungkan untuk beton-kerikil normal, satuan-satuan rata-rata (massa volumik):

- a. Mortar beton tanpa tulangan  $\gamma = 2200 \text{ kg/m}^3$
- b. Mortar beton dengan tulangan  $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- c. Untuk beban diperhitungkan  $22 \text{ kN/m}^3$ ,  $24 \text{ kN/m}^3$

bila digunakan jenis-jenis beton lain (seperti misalnya beton ringan), kepadatan-kepadatan ini harus diteliti kembali.

### 3. Beban Kerja

Setelah bekisting selesai dikerjakan, dilaksanakannya berbagai pengerjaan akan terjadi pembebanan terhadap bekisting, seperti oleh:

- a. Pekerja : pemusatan di sekitar wadah-wadah mortar beton atau bekisting ke bekisting.
- b. Material beton : penempatan wadah-wadah mortar; pengangkutan mortar dengan menggunakan gerobak sorong, pipa-pipa pengangkut dari pompa beton, pengangkutan melalui '*monorail*' dan sebagainya.
- c. Pemadatan : pemusatan pada mortar beton oleh vibrator atau tulangan (Wigbout, 1992).

#### 3.6.2. Tekanan Horizontal Mortar Beton

Beban yang dilakukan oleh mortar-beton baru terhadap bekisting dinding atau bekisting kolom, lebih banyak merupakan sebuah tekanan yang mengarah horizontal. Besarnya tekanan-horizontal mortar beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor. Sejumlah peneliti telah berusaha mendapatkan sebuah gambaran dalam berbagai proses, yang berlangsung selama dan sesudah pencoran beton dalam bekisting yang dipasang vertikal.

Apabila mortar beton dalam waktu yang sangat singkat dicorkan hingga mencapai ketinggian penuh dalam sebuah bekisting, selama beberapa saat tekanan samping dapat dicatat sebagai sebuah tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik yang sama terjadi pula sewaktu mortar beton didapatkan dengan bantuan penggetar-penggetar bekisting (proses pemadatan).

Tidak lama setelah itu, tekanan samping akan menjadi berkurang dari laju tekanan hidrostatik. Ini disebabkan oleh pengaruh yang ditimbulkan gesekan di dalam, kohesi, pemadatan semen, laju tahanan air dan lain sebagainya (Wigbout, 1992).

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap besarnya tekanan horizontal mortar beton dapat dilihat pada tabel 3.1:

Tabel 3.1. Faktor-faktor tekanan horizontal beton

Faktor Tekanan Horizontal Mortar Beton	Detail Faktor
Mortar	Massa volumik dari mortar beton
	Susunan mortar beton
	Plastisitas dari mortar beton
	Masa ikat semen
Pengerjaan	Temperatur
	Kecepatan naik mortar beton dalam bekisting
	Metode pencoran beton
	Cara pemadatan
Bekisting	Tinggi bekisting
	Bentuk bekisting
	Kekakuan bekisting

Kecepatan naik adalah kecepatan naik rata-rata permukaan mortar beton dalam bekisting. Untuk sebagian besar, tekanan horizontal tergantung dari kecepatan naik; pada kecepatan naik yang lebih tinggi, tekanan samping akan meningkat hingga mencapai batas dari tekanan hidrostatik.

Ukuran cetakan beton yang tipis dapat mempengaruhi secara langsung dan tidak langsung tekanan mortar beton. Langsung, karena pada sebuah bekisting untuk sebuah dinding yang tipis akan terjadi suatu efek silo, yang dapat menghasilkan sebuah tekanan samping yang rendah (memadatnya mortar dapat menghilangkan untuk sebagian efek ini). Tidak langsung, karena pada suatu kiriman mortar, kecepatan naik dalam bagian-bagian yang kecil dapat meningkat lebih cepat dan dengan demikian tekanan mortar beton akan naik.

Kekakuan sebuah bekisting mempunyai pengaruh terhadap ketetapan ukuran dari bagian yang telah dicor. Hingga sejauh mana besarnya tekanan mortar dapat dipengaruhi oleh kekakuan sebuah bekisting (Wigbout, 1992).

Beban yang mempengaruhi tekanan horizontal mortar beton pada bekisting ini ada berbagai macam, yaitu beban horizontal yang dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik mortar, pekerja, pemadatan, dan beban yang dipengaruhi saat proses pengecoran berlangsung oleh gerobak sorong. Adapun rumus-rumus nya adalah sebagai berikut:

### 1. Tekanan horizontal akibat mortar

Tekanan horizontal beton (mortar) pada perhitungan ini merupakan beban hidrostatis beton yang disebabkan oleh beton bertulang yang mulai dari beton segar (mortar) sampai ke bentuk beton sudah jadi yang terdistribusi secara horizontal. Beban beton tersebut dinyatakan dalam kilogram persatuan meter (kg/m). Rumus perhitungan beban beton adalah sebagai berikut:

$$Bh_b = \frac{1}{2} \times b_{j_{\text{beton}}} \times b_b \times h_b \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana :

$Bh_b$  = Beban horizontal beton

$b_{j_{\text{beton}}}$  = berat jenis beton

$b_b$  = lebar beton

$h_b$  = tinggi beton

### 2. Tekanan horizontal akibat pekerja

Beban pekerja pada perhitungan ini merupakan beban merata yang disebabkan oleh 1 orang pekerja (asumsi 1 orang pekerja memiliki berat 100 kg) yang melakukan kegiatan mulai dari pengolesan oli sampai ke pengecoran beton di atas bekisting. Beban pekerja dibagi 2 distribusi, yaitu beban vertikal dan beban yang terdistribusi secara horizontal. Beban vertikal adalah beban pekerja pada saat pekerja membebani bekisting secara vertikal yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter persegi ( $\text{kg/m}^2$ ). Sedangkan beban yang terdistribusi secara horizontal adalah beban pekerja pada saat menginjak beton segar sehingga menjadi beban (horizontal) pada bekisting kontak yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter (kg/m). Rumus perhitungan beban pekerja adalah sebagai berikut:

$$Bv_p = \frac{\text{Berat Pekerja}}{1 \text{ m}^2} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$Bh_p = Bv_p \times h_b \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana :

$Bv_p$  = Beban vertikal pekerja

$Bh_p$  = Beban horizontal pekerja

$h_b$  = tinggi beton

### 3. Tekanan horizontal akibat gerobak sorong

Beban gerobak sorong (GS) merupakan beban titik yang disebabkan oleh gerobak sorong (kondisi berisi mortar) pada saat proses pengecoran berlangsung yang membebani bekisting. Sama halnya dengan beban pekerja, beban gerobak sorong juga dibagi menjadi 2 distribusi, yaitu beban vertikal dan beban yang terdistribusi secara horizontal. Beban vertikal adalah kondisi saat gerobak sorong membebani bekisting secara vertikal yang dinyatakan dalam kilogram. Sedangkan beban yang terdistribusi secara horizontal adalah kondisi saat gerobak sorong "menginjak" beton segar sehingga menjadi beban (horizontal) pada bekisting kontak yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter persegi ( $\text{kg/m}^2$ ). Rumus perhitungan beban gerobak sorong adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat Isi} = b_{j\text{beton}} \times \text{Vol. GS} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$B_{V\text{GS}} = \text{Berat Sendiri} + \text{Berat Isi} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana :

$b_{j\text{beton}}$  = Beban jenis beton

Vol. GS = Volume gerobak sorong

$B_{V\text{GS}}$  = Beban vertikal gerobak sorong

Beban titik lateral (horizontal) gerobak sorong didapatkan dengan menggunakan prinsip perhitungan distribusi tekanan lateral pada dinding penahan tanah (DPT) akibat beban titik (lihat gambar 5.6). Perhitungan tegangan lateral ( $\sigma_h$ ) didapatkan dari nilai terbesar yang terjadi pada beban lateral tersebut.

Maka rumus tekanan tanah lateral akibat beban titik dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_h = \frac{1,77 P \cdot m^2 \cdot n^2}{H^2 (m^2 + n^2)^3} \text{ untuk } m > 0,4 \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\sigma_h = \frac{0,28 P \cdot n^2}{H^2 (0,16 + n^2)^3} \text{ untuk } m \leq 0,4 \dots\dots\dots(3.7)$$

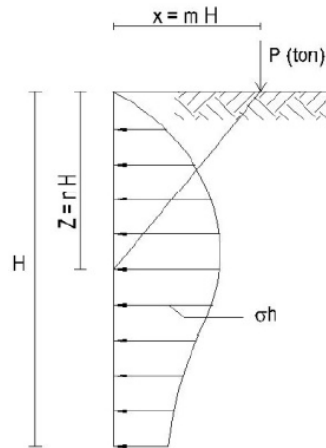
dimana:

$\sigma_h$  = Tekanan tanah lateral

P = Beban vertikal gerobak sorong ( $B_{V\text{GS}}$ )

H = Kedalaman timbunan (tinggi beton)

Dimana nilai m dan n adalah jarak permukaan dan kedalaman yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1. Tekanan tanah (pada DPT) lateral akibat beban titik  
(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

Tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ) terbesar dari prinsip tekanan tanah DPT sehingga dapat dihitung beban titik horizontal ( $B_{hGS}$ ). Bidang tegangan yang terbentuk pada gambar 3.1 adalah bidang segitiga, sehingga didapatkan rumus perhitungan beban gerobak sorong horizontal adalah sebagai berikut:

$$x = m \times h_b \dots\dots\dots(3.8)$$

$$z = n \times h_b \dots\dots\dots(3.9)$$

$$A = \frac{1}{2} \times Z \times X \dots\dots\dots(3.10)$$

$$B_{hGS} = \sigma_h \times A \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana:

x = jarak permukaan terhadap beban titik

z = jarak kedalaman terhadap beban titik

A = Bidang tegangan

$h_b$  = Kedalaman timbunan (tinggi beton)

$B_{hGS}$  = Beban horisontal gerobak sorong

#### 4. Tekanan akibat pemadatan

Pemadatan pada bekisting dilakukan dengan alat pemadatan material baja dengan ujung pipih setebal 5 mm. Pemadatan dilakukan tidak menggunakan vibrator dikarenakan beberapa faktor, salah satunya adalah dikarenakan jarak mortar sangat kecil yaitu 5 cm sedangkan diameter selang vibrator paling kecil sebesar 3,5cm. Diameter tersebut tidak cukup untuk dimasukkan kedalam mortar beton karena ditengah mortar dipasangkan tulangan. (Panca Jaya Machinery, 2011)

Beban pemadatan ini merupakan beban titik yang dinyatakan dalam satuan kilogram (Kg). Rumus perhitungan beban pemadatan adalah sebagai berikut:

$$B_{VPDT} = m_{alat} \times g \times h_{alat} \dots \dots \dots (3.12)$$

dimana:

$B_{VPDT}$  = Beban vertikal pemadatan

$m_{alat}$  = Berat sendiri alat pemadatan

$g$  = Gaya gravitasi

$h_{alat}$  = Tinggi jatuh alat pemadatan

Beban titik lateral (horizontal) pemadatan didapatkan dengan menggunakan prinsip perhitungan distribusi tekanan lateral pada dinding penahan tanah (DPT) seperti yang dijelaskan dengan rumus-rumus pada pembahasan beban horizontal gerobak sorong.

### 3.7. KEAMANAN STRUKTUR BEKISTING DENGAN METODE LRFD

Desain pada SAP direncanakan untuk mendapatkan hasil yang optimal dari segi kekuatan dan kekakuannya dan direncanakan dengan metode LRFD. Kekakuan diperlukan agar struktur tidak bergoyang berlebihan, dan kekuatan agar struktur tidak runtuh. (Dewi, 2007) Desain dengan Metode LRFD didapatkan hasil output yaitu momen, geser, axial, dan defleksi.

#### 3.7.1. Konsep Dasar LRFD

Dua filosofi yang sering digunakan dalam perencanaan struktur baja adalah perencanaan berdasarkan tegangan kerja/working stress design (Allowable Stress Design/ASD) dan perencanaan kondisi batas/limit states design (Load and

Resistance Factor Design/LRFD). Dalam perencanaan struktur baja metode ASD telah digunakan selama kurang lebih 100 tahun, dan dalam 20 tahun terakhir prinsip perencanaan struktur baja mulai beralih ke metode LRFD berdasarkan konsep probabilitas yang lebih rasional dan dapat mengantisipasi segala ketidakpastian dari material maupun beban. Metode LRFD untuk perencanaan struktur baja yang diatur dalam SNI 03-1729-2002 (Setiawan A. , 2008).

Metode LRFD memperhitungkan mengenai kekuatan nominal  $R_n$  penampang struktur yang dikalikan oleh faktor pengurangan kapasitas (*under-capacity*)  $\phi$ , yaitu bilangan yang lebih kecil dari 1,0 untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam besarnya daya tahan (*resistance uncertainties*). Selain itu diperhitungkan kekuatan ultimit (kuat perlu)  $R_u$  dengan kelebihan beban (*overload*)  $\gamma$  (bilangan yang lebih besar dari 1,0) untuk menghitung ketidakpastian dalam analisa struktur dalam menahan beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan lain-lain.

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots\dots\dots(3.13)$$

Struktur dan batang struktural harus selalu direncanakan memikul beban yang lebih besar daripada yang diperkirakan dalam pemakaian normal. Kapasitas cadangan ini disediakan terutama untuk memperhitungkan kemungkinan beban yang berlebihan. Selain itu, kapasitas cadangan juga ditujukan untuk memperhitungkan kemungkinan pengurangan kekuatan penampang struktur. Penyimpangan pada dimensi penampang walaupun masih dalam batas toleransi bisa mengurangi kekuatan. Terkadang penampang baja mempunyai kekuatan leleh sedikit di bawah harga minimum yang ditetapkan, sehingga juga mengurangi kekuatan.

Kelebihan beban dapat diakibatkan oleh perubahan pemakaian dari yang direncanakan untuk struktur, penaksiran pengaruh beban yang terlalu rendah dengan penyederhanaan perhitungan yang berlebihan, dan variasi dalam prosedur pemasangan. Biasanya perubahan pemakaian yang drastis tidak ditinjau secara eksplisit atau tidak dicakup oleh faktor keamanan, namun prosedur pemasangan yang diketahui menimbulkan kondisi tegangan tertentu harus diperhitungkan secara eksplisit. (Widyangga, 2013) Adapun yang didapatkan keamanan struktur bekisting baja dengan metode LRFD yaitu:

### 1. Aman Terhadap Momen Lentur

Untuk mencari keamanan struktur terhadap momen lentur adalah momen ultimate ( $M_u$ ) harus sama dengan atau lebih kecil dari momen nominal ( $M_n$ ) yang dikalikan oleh faktor pengurangan kapasitas ( $\phi$ ), atau ditulis dengan rumus:

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

$M_u$  = Momen ultimate

$\phi$  = Faktor pengurangan kapasitas (*under-capacity*)

$M_n$  = Momen Nominal

### 2. Aman Terhadap Tegangan Geser

Untuk mencari keamanan struktur terhadap tegangan geser adalah tegangan geser ultimate ( $V_u$ ) harus sama dengan atau lebih kecil dari tegangan geser nominal ( $V_n$ ) yang dikalikan oleh faktor pengurangan kapasitas ( $\phi$ ), atau ditulis dengan rumus:

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \dots\dots\dots(3.15)$$

dimana:

$V_u$  = Tegangan Geser ultimate

$\phi$  = Faktor pengurangan kapasitas (*under-capacity*)

$V_n$  = Tegangan Geser Nominal

### 3. Aman Terhadap Gaya Aksial

Untuk mencari keamanan struktur terhadap gaya axial adalah gaya axial ultimate ( $P_u$ ) harus sama dengan atau lebih kecil dari gaya axial nominal ( $P_n$ ) yang dikalikan oleh faktor pengurangan kapasitas ( $\phi$ ), atau ditulis dengan rumus:

$$P_u \leq \phi \cdot P_n \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana:

$P_u$  = Gaya Aksial Ultimate

$\phi$  = Faktor pengurangan kapasitas (*under-capacity*)

$P_n$  = Gaya Aksial Nominal

### 4. Aman Terhadap Defleksi/Lendutan

Defleksi atau perubahan bentuk (deformasi) pada batang (*frame*) atau pelat (*shell*) dalam arah  $x,y,z$  akibat adanya pembebanan pada arah sumbu lemahnya yang diberikan pada batang atau pelat. Deformasi sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

a. Kekakuan Batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.

b. Besarnya kecil gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadipun semakin kecil.

c. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

d. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja. (Hady, 2013)

Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebananm serta

elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam tabel 3.2 (SNI 03-1729-2002, 2002).

Tabel 3.2. Batas Lendutan Maksimum

Komponen Struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban Tetap	Beban Sementara
Balok pemikul dinding atau <i>finishing</i> yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

dimana:

$L$  = Panjang bentang

$h$  = Tinggi tingkat

Beban tetap = Beban mati dan beban hidup

Beban sementara= Beban gempa dan beban angin

Untuk mencari keamanan struktur terhadap defleksi adalah defleksi yang terjadi (x,y,z) harus sama dengan atau lebih kecil batas lendutan arah tersebut, atau ditulis dengan rumus:

$$\Delta \leq L/360 \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana:

$\Delta$ = Defleksi yang terjadi arah x/y/z

$L$  = Panjang bentang batang yang mengalami deformasi arah x/y/z

**3.7.2. Sambungan Baut Metode LRFD**

Bekisting baja ini didesain menggunakan baut untuk sambungannya. Kekuatan suatu penyambung didasarkan atas :

1. Kekuatan geser desain
2. Kekuatan tumpu desain

Pada perencanaan bekisting baja menggunakan sambungan baut. SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2. menyatakan, suatu baut yang memikul gaya terfaktor,  $R_u$  harus memenuhi syarat berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana :  $\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$R_n$  = kekuatan nominal satu penyambung

$R_u$  = beban terfaktor pada satu penyambung

Kekuatan satu penyambung didasarkan atas :

### 1. Kekuatan Geser Disain

Pada perencanaan ini digunakan baut berkekuatan tinggi yaitu A325 dengan ulir terpisah dari bidang geser. Kekuatan desain geser dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi R_n = \phi \cdot m \cdot r_1 \cdot F_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots(3.19)$$

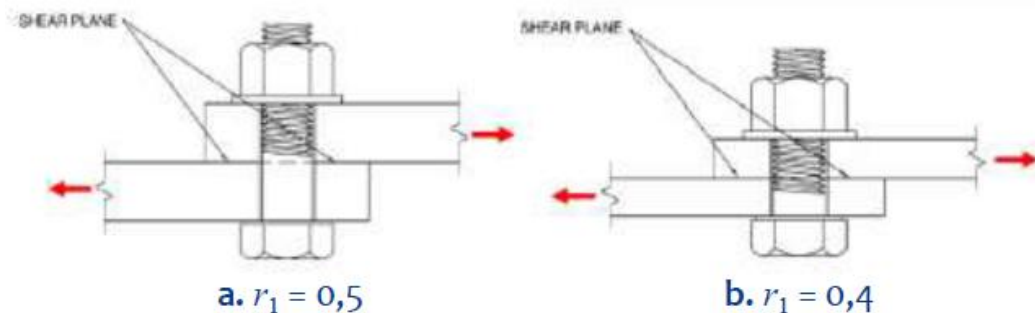
Dimana :  $\phi$  = faktor reduksi kekuatan = 0,75

$r_1$  = 0,40 untuk baut dengan ulir pada bidang geser  
(Setiawan A. , Sambungan Baut, 2008)

$m$  = banyaknya bidang geser yang terlibat = 2 bidang geser  
(lihat gambar 3.2)

$F_u^b$  = kekuatan tarik bahan baut

$A_b$  = luas penampang lintang pada arah melintang tangki tak berulir dari baut tersebut



Gambar 3.2. Bidang Geser Baut

(Sumber: Achfas Zacoeb, 2014)

### 2. Kekuatan Tumpu Desain

Kekuatan desain  $\phi R_n$  bergantung pada sambungan dari baut atau komponen plat yang disambung. Kuat tumpu desain tergantung kepada kondisi terlemah antara baut dan pelat/batang yang disambung, dihitung dengan cara sebagai berikut (Zacoeb, 2014):

$$\phi R_n = \phi \cdot n \cdot d_b \cdot t \cdot f_u \dots\dots\dots(3.20)$$

- Dimana :
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan = 0,75
  - $n$  = 2,4 berlaku untuk semua jenis lubang baut  
= 2,0 untuk lubang selot panjang tegak lurus arah kerja gaya
  - $d_b$  = diameter nominal baut
  - $t$  = tebal bagian yang disambung
  - $f_u$  = tegangan tarik putus baut/pelat/batang

### 3. Perhitungan Blok Geser (*Block Shear*)

Menurut LRFD ada dua kondisi dalam perencanaan kekuatan blok geser yang ditentukan sebagai berikut (Setiawan A. , Sambungan Baut, 2008):

- a. Jika  $F_u \cdot A_n \cdot t \geq 0,6 \cdot F_y \cdot A_g \cdot v$  terjadi pelelehan geser dan patah tarik, digunakan persamaan dibawah ini.

$$\phi R_n = \phi \cdot [(0,6 \cdot F_y \cdot A_g \cdot v) + (F_u \cdot A_n \cdot t)] \dots\dots\dots(21)$$

- b. Jika  $F_u \cdot A_n \cdot t < 0,6 \cdot F_y \cdot A_g \cdot v$  terjadi patah geser dan pelelehan tarik, digunakan persamaan dibawah ini.

$$\phi R_n = \phi \cdot [(0,6 \cdot F_u \cdot A_n \cdot v) + (F_y \cdot A_g \cdot t)] \dots\dots\dots(22)$$

- Dimana :
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan = 0,75
  - $A_{gv}$  = luas bruto akibat geser
  - $A_{gt}$  = luas bruto akibat tarik
  - $A_{nv}$  = luas netto akibat geser
  - $A_{nt}$  = luas netto akibat tarik
  - $F_u$  = kuat tarik baja
  - $F_y$  = kuat leleh baja

### 3.8. DEFINISI BETON PRACETAK

Pracetak dapat diartikan sebagai suatu proses produksi elemen struktur/arsitektural bangunan pada suatu tempat/lokasi yang berbeda dengan tempat/lokasi dimana elemen struktur/arsitektural tersebut akan digunakan. Teknologi pracetak ini dapat diterapkan pada berbagai jenis material, yang salah satunya adalah material beton. Beton pracetak sebenarnya tidak berbeda dengan

beton yang sering dijumpai dalam bangunan pada umumnya. Yang membedakan hanyalah proses produksinya. Beton pracetak dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi dimana elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast in place*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan di tempatkan (Ervianto, 2006).

Dibandingkan *cast in place*, teknologi beton pracetak mempunyai beberapa keunggulan, yaitu sebagai berikut:

- a. Kecepatan dalam pelaksanaan pembangunannya.
- b. Dicapainya tingkat fleksibilitas dalam proses perancangannya.
- c. Pekerjaan di lokasi proyek menjadi lebih sederhana.
- d. Pihak yang bertanggungjawab lebih sedikit.
- e. Mempunyai aspek positif terhadap skedul, terutama kemudahan di dalam melakukan pengawasan dan pengendalian biaya serta jadwal pekerjaan.
- f. Jumlah pekerja kantor proyek lebih sedikit. Demikian juga tenaga lapangan yang dibutuhkan untuk setiap unit komponen yang lebih kecil karena pekerjaan dapat dilaksanakan secara seri.
- g. Menggunakan tenaga buruh kasar sehingga upah relatif lebih murah.
- h. Waktu konstruksi yang relatif lebih singkat karena pekerja lapangan (di lokasi proyek) hanya mengerjakan *cast in-situ* dan kemudian menggabungkan dengan komponen-komponen beton pracetak.
- i. Aspek kualitas, dimana beton dengan mutu prima dapat lebih mudah dihasilkan di lingkungan pabrik.
- j. Produksinya hampir tidak terpengaruh oleh cuaca.
- k. Biaya yang dialokasikan untuk supervisi relatif lebih kecil. Hal ini disebabkan durasi proyek yang lebih singkat.
- l. Kontinuitas proses konstruksi dapat terjaga sehingga perencanaan kegiatan dapat lebih akurat.
- m. Mampu mereduksi biaya konstruksi.
- n. Dapat dihasilkan bangunan dengan akurasi dimendasi dan mutu yang lebih baik.

Dibandingkan dengan *cast in place*, teknologi beton pracetak mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut:

- a. Kerusakan yang mungkin timbul selama proses transportasi.
- b. Dibutuhkan peralatan lapangan dengan kapasitas angkat yang cukup untuk mengangkat komponen konstruksi dan menempatkannya pada posisi tertentu.
- c. Biaya tambahan yang dibutuhkan untuk proses transportasi.
- d. Munculnya permasalahan teknis dan biaya yang dibutuhkan untuk menyatukan komponen-komponen beton pracetak.
- e. Diperlukan gudang yang luas dan fasilitas *curing*.
- f. Diperlukan perencanaan yang detail pada bagian sambungan.
- g. Diperlukan lapangan yang luas untuk produksi dalam jumlah yang besar (Ervianto, 2006).

Dengan kondisi yang demikian maka tidak mudah untuk menentukan mana yang lebih ekonomis, menggunakan proses konstruksi tradisional atau menggunakan teknologi beton pracetak. Ditinjau dari pengalokasian dana dalam suatu proyek, distribusi biaya proyek sipil dan gedung dapat diperkirakan sebagai berikut: 6% - 8% untuk biaya kantor pusat; 65% - 70% biaya konstruksi; 10% - 15% biaya mekanikal; 10% - 15% biaya listrik; 10% - 15% biaya kontingensi (rombongan).

Berdasarkan alokasi biaya dapat ditunjukkan bahwa distribusi pemakaian biaya yang terbesar adalah anggaran untuk konstruksi bangunan. Oleh sebab itu, apabila ingin mereduksi biaya proyek maka harus dilakukan evaluasi pada bagian konstruksi. Salah satu metode yang mampu mereduksi pemakaian biaya konstruksi adalah dengan mengaplikasikan teknologi beton pracetak. Penghematan biaya dari penggunaan teknologi beton pracetak diperoleh dari hal-hal sebagai berikut:

- a. Upah tenaga pabrik yang relatif lebih murah dibanding upah tenaga lapangan (produktivitas di pabrik lebih konsisten).
- b. Pemakaian bekisting yang lebih hemat.
- c. Pemakaian bekisting yang relatif lebih sedikit.
- d. Waktu penyelesaian proyek yang lebih cepat.

- e. Produktivitas yang lebih besar dari pekerja karena sebagian besar bekerja di permukaan tanah.
- f. Tidak terpengaruh cuaca.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pemakaian beton pracetak akan mengurangi biaya pada pos konstruksi (Ervianto, 2006).

### **3.9. PAGAR PANEL BETON PRACETAK SISTEM *KNOCK DOWN***

Pagar panel beton pracetak dengan sistem *knock down* merupakan jenis elemen beton pracetak yang berupa pagar pracetak. Jenis elemen ini masing-masing diproduksi dengan berbagai bentuk dan ukuran yang disesuaikan dengan desain yang telah direncanakan. Sistem *knock down* (bongkar pasang) dapat dikerjakan dengan cepat walau kondisi lahan relatif sulit. Dengan pagar beton pracetak yang di desain dengan material parsial (kolom dan panel), produk ini menjadi relatif ringan, dan mudah dibawa ke area yang sulit. Dengan sistem yang sederhana, pagar panel beton bisa dipasang oleh siapapun, tanpa perlu keahlian khusus. Terlebih lagi, bila ada perubahan, material pagar beton ini bisa dilepas kembali, untuk kemudian dipasang lagi di tempat lain dengan hanya sedikit kerusakan di materialnya karena pemasangan di awal.



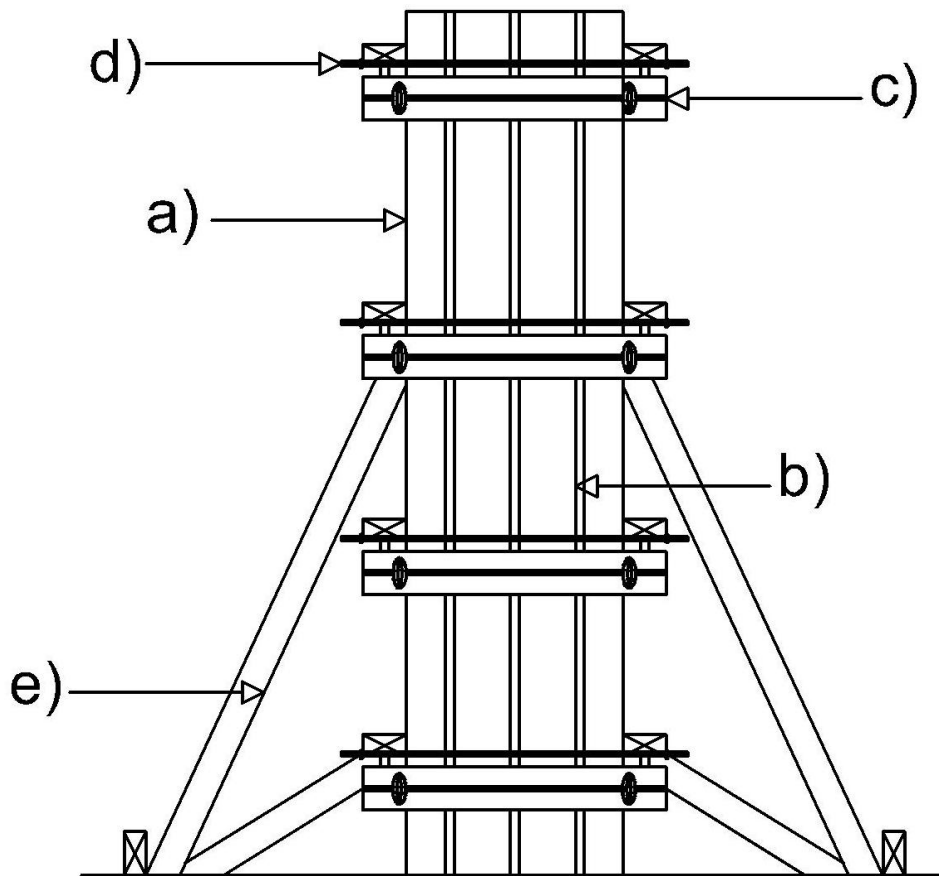
Gambar 3.3 Pagar Panel Beton Pracetak Sistem *Knock Down*

(Sumber: PT. Powercon Jaya Utama)

### **3.10. KOMPONEN BEKISTING**

Bekisting memiliki beberapa komponen yang menyusun sebuah bekisting agar dapat menahan beban mortar beton, beban kerja, dan beban-beban yang

mempengaruhi kinerja bekisting. Gambar 3.4 dapat dilihat contoh dari komponen bekisting kolom.



Gambar 3.4 Bekisting kolom baja

(Sumber: Maulina, 2008)

a. Bekisting kontak

Berfungsi menahan adukan beton cair sampai adukan beton tersebut mengeras. Umumnya terdiri dari bahan-bahan multiplek/plywood atau papan kayu. Pada umumnya tebal material kayu yang digunakan berkisar antara 9 hingga 21 mm (Maulina, 2008).

b. Balok tiang

Balok tiang dipasang pada jarak tertentu sesuai dengan perhitungan kekuatan. Fungsi dari balok tiang ini adalah menerima gaya beban dari bekisting kontak dan menyalurkannya pada balok perangkai. Balok tiang biasanya menggunakan balok-balok kayu ukuran 5/10, 6/12

hingga 8/15 ataupun dari material baja seperti kanal, pipa hollow, tergantung dari perhitungan dan pemilihan bahan (Maulina, 2008).

c. Balok perangkai (sabuk kolom)

Balok perangkai berfungsi mengikat bekisting kolom dan menyalurkan beban beban yang diterima dari balok-balok tiang (Maulina, 2008).

d. Pen pengikat

Pen pengikat berfungsi juga sebagaimana halnya sabuk kolom yaitu menahan beban yang diterima dari balok-balok tiang (Maulina, 2008).

e. Stoot penahan

Berfungsi selain sebagai penahan ketegakan dan kestabilan posisi bekisting, juga menyalurkan beban dari balok perangkai ke tanah atau lantai di bawahnya (Maulina, 2008).

### **3.11. KEPRESISIAN KOMPONEN BEKISTING**

Presisi merupakan suatu teknis yang terkait dengan sistem pengukuran. Didalam pengaplikasian atau penggabungan komponen bekisting menjadi satu kesatuan bekisting yang siap pakai dan apabila satu atau beberapa komponen tidak cocok maka komponen tersebut dapat dikatakan memiliki ukuran yang tidak presisi. Presisi lebih identik dengan penyimpangan dari sesuatu yang seharusnya cocok atau tepat dengan kata lain presisi adalah seberapa dekat suatu hasil pengukuran satu dengan yang lainnya. (Cisca, 2009)

Pengukuran tiap material yang digunakan untuk dijadikan komponen-komponen bekisting harus lah dilakukan dengan sangat teliti. Ketelitian tersebut harus dilakukan untuk mengontrol ketepatan ukuran-ukuran tiap-tiap komponen agar dapat dirangkai sebagai sebuah bekisting yang utuh nantinya.

### **3.12. METODE PELAKSANAAN BEKISTING**

#### **3.12.1. Persiapan**

Tahap persiapan terlebih dahulu bekisting harus diperiksa untuk mengontrol ketepatan ukuran-ukuran dan ketepatan pelaksanaan bekisting. sehingga akan terbentuk beton dengan permukaan yang telah ditentukan serta ukuran-ukuran yang benar dan selain itu agar pada saat pelaksanaannya keamanan dapat terjamin. Pengontrolan ini berkaitan dengan hal-hal berikut ini:

1. Permukaan kontak harus bersih.
2. Celah-celah harus serapat mungkin agar beton tidak merembes.
3. Diadakan pengontrolan terhadap sambungan-sambungan.
4. Kotoran pada bekisting harus dibersihkan.
5. Diadakan pemeriksaan agar tidak terjadi pergeseran (Maulina, 2008).

### **3.12.2. Pemasangan (Perangkaian)**

Sebelum melakukan pengecoran, terlebih dahulu bekisting dirangkai dengan tahap-tahapan yang telah ditentukan sebelumnya. Tahapan perangkaian dibuat untuk memudahkan dalam proses perangkaian bekisting. Setelah perangkaian selesai dilakukan, hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah melumasi bekisting dengan pelumas yang baik seperti oli agar proses pembongkaran tidak terhambat.

### **3.12.3. Pengecoran**

Selama berlangsungnya pengecoran beton, bekisting harus dikontrol secara teratur, agar jika terjadi suatu masalah, dapat secepatnya ditanggulangi. Konstruksi bekisting yang dirancang dan dilaksanakan sebagaimana mestinya akan dapat menahan dengan baik berbagai perkuatan yang timbul sewaktu berlangsungnya pengecoran dan pematatan beton.

Sewaktu berlangsungnya pengecoran beton, dapat terjadi hal-hal yang berdampak merugikan terhadap bekisting, segi keamanan, kerja-beton atau terhadap bagian yang sudah dicor. Akan lebih menguntungkan untuk menemukan dan memperbaiki sewaktu berlangsungnya pengecoran, dari pada setelah bekisting dilepas, tatkala mortar beton sudah mengeras.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan pada bekisting saat berlangsungnya pengecoran, antara lain:

1. Turunnya pijakan dari bekisting.
2. Pematatan beton jangan sampai mengganggu bekisting (Maulina, 2008).

#### **3.12.4. Pembongkaran**

Apabila bekisting dipakai berulang kali, demi baiknya perputaran hendaknya pelepasan bekisting dilaksanakan secepat mungkin. Selain itu, suatu kemungkinan perbaikan atas kulit beton pada beton yang masih segar memberikan sebuah kemungkinan yang lebih besar untuk berhasil ketimbang pada beton yang lebih tua.

Pada saat melepas bekisting, beban harus dipindahkan secara beraturan dan tanpa hentakan pada konstruksi beton bersangkutan. agar tidak menimbulkan kerusakan pada kulit beton. Suatu pilihan yang tepat dan pemasangan secara baik sebuah alat pelepas bekisting dapat mempertahankan bentuk dan ukuran-ukuran mereka semula dan bagian-bagian tepi harus tetap berada dalam kondisi baik. kompone-komponen bekisting yang dilepaskan secara bertahap tidak boleh kita jatuhkan, melainkan harus kita turunkan dengan perlahan untuk menghindari kerusakan komponen bekisting.

Untuk merencanakan membuka papan bekisting harus diperiksa dulu cara dan juga bagian mana yang harus dibuka lebih dulu. Proses perangkaian dan pembongkaran tidaklah sama tahapannya. Biasanya bagian-bagian yang dilepaskan terlebih dahulu setelah sabuk perangkai adalah bagian kompone bekisting paling luar dan dilakukan bertahap sampai ke komponen bekisting luar sisi yang lain. Pada perencanaan dan pelaksanaan dari bekisting, mula-mula harus dilihat cara yang mana dan urutan dari pembongkarannya, sebaiknya permulaan pembongkaran bekisting dimulai dari bagian bekisting yang tidak mendukung 2 beton pada waktu yang sama seperti bagian tengah dan bagian yang menopang 2 beton sekaligus (Maulina, 2008).

#### **3.12.5. Perawatan**

Setelah melepas bekisting, hal-hal yang harus diperhatikan untuk menjaga *life time* bekisting antara lain:

- a. Bersihkan panel bekisting dari sisa-sisa beton secepat mungkin.
- b. Lumasi komponen bekisting segera sebelum digunakan kembali.

Tempatkan panel bekisting yang telah dibongkar pada tempat yang telah ditentukan. Jangan menaruhnya secara sembarangan. (Maulina, 2008)

### 3.13. PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA BEKISTING

#### 3.13.1. Definisi RAB

Rencana Anggaran Biaya adalah suatu bangunan atau proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek. Anggaran biaya merupakan harga dari bahan bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja. Rumus Perhitungan RAB (Dessi, 2011).

#### 3.13.2. Rumus Perhitungan RAB

Dalam menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi, unsur-unsur yang menentukan adalah WBS (*Work Breakdown Schedule*), volume pekerjaan (*quantity*) dan harga satuan pekerjaan. Ketepatan WBS dan volume tergantung dari lengkapnya data gambar dan mortarfikasi.

##### 1. Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan merupakan jumlah dari harga satuan bahan, upah pekerja dan harga alat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tiap satuan pekerjaan berdasarkan perhitungan analisis. Perhitungan harga satuan pekerja dapat diperoleh dengan rumus:

$$HSP = HSB + HSU \dots\dots\dots (3.23)$$

dimana :

HSP = harga satuan pekerjaan

HSB = harga satuan bahan

HSU = harga satuan upah

##### 2. Harga Satuan Bahan dan Upah

Harga satuan bahan dan upah dapat diperoleh dari hasil perkalian antara koefisien bahan atau upah tenaga kerja dengan harga bahan atau upah tiap satuan. Harga satuan bahan dan upah dapat diperoleh dengan rumus :

$$HSB = KB \times HB \dots\dots\dots (3.24)$$

$$HSU = KU \times HU \dots\dots\dots (3.25)$$

dimana :

KB = jumlah bahan yang dibutuhkan tiap satuan pekerjaan

HB = harga bahan tiap satuan

KU = jumlah orang/hari untuk menyelesaikan tiap satuan pekerjaan

HU = upah tenaga kerja/hari

Adapun beberapa jenis pekerjaan yang diperhitungkan secara lumpsum (LS). Lumpsum atau langsung yaitu taksiran biaya yang tidak memiliki analisa, namun dihitung berdasarkan perkiraan umum.

### 3. Kebutuhan Bahan dan Tenaga Kerja

Kebutuhan bahan dan material yang dibutuhkan untuk melaksanakan tiap-tiap pekerjaan sesuai dengan jadwal yang ada dan juga kebutuhan akan tenaga yang akan mengerjakannya. Dalam perhitungan durasi pekerjaan terdapat produktifitas pekerja untuk menyelesaikan suatu volume pekerjaan, dari produktifitas tersebut dapat direncanakan kebutuhan tenaga kerja yang dibutuhkan. (Fathoni, 2015)

Sedangkan untuk menentukan kebutuhan akan bahan didapat dari hasil perkalian antara koefisien bahan yang terdapat dalam harga satuan pekerjaan dengan volume suatu pekerjaan yang bersangkutan. Dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kebutuhan Bahan} = \text{KB} \times \text{V} \dots\dots\dots (3.26)$$

dimana :

KB = jumlah bahan yang diperlukan tiap satuan pekerjaan

V = volume pekerjaan

### 4. Perhitungan RAB

Adapun cara perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) adalah jumlah dari masing-masing hasil perkalian antara volume pekerjaan dan harga satuan, dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{RAB} = \sum (\text{V} \times \text{HSP}) \dots\dots\dots (3.27)$$

dimana :

V = volume pekerjaan

HSP = harga satuan pekerjaan

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1. TINJAUAN UMUM**

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah dan rencana dari proses berpikir memecahkan masalah, mulai dari penelitian, pendahuluan, penemuan masalah, pengamatan, pengumpulan data baik dari observasi langsung dilapangan maupun referensi tertulis. Setelah itu dilanjutkan dengan pengolahan data yang diikuti dengan pembahasan sampai dengan penarikan kesimpulan atas desain yang direncanakan.

Dalam suatu perancangan bekisting ini dibutuhkan analisis struktur agar diperoleh kekuatan dan kekakuan yang diperhitungkan agar bekisting tersebut tidak mengalami kerusakan. Dalam pelaksanaan perencanaan bekisting ini langkah-langkah yang harus dilakukan adalah mencari data-data dengan metode wawancara dan observasi langsung dilapangan untuk mendapatkan beberapa data yang dibutuhkan, seperti gambar dan material yang digunakan. Kemudian setelah didapat data dari lapangan, dilanjutkan dengan menganalisis menggunakan metode yang telah ditentukan.

#### **4.2. SUBJEK DAN OBJEK PERANCANGAN**

Subjek perancangan ini adalah perancangan bekisting baja untuk panel beton pracetak yang optimal dan perbandingan terhadap biaya dan kekuatan bekisting baja, sedangkan objek yang akan diteliti adalah bekisting baja untuk panel beton pracetak yang ada di PT. Powercon Jaya Utama.

#### **4.3. DATA PERANCANGAN**

Menurut Ridwan (2003) data penelitian (perancangan) yaitu bahan mentah yang perlu diolah sehingga akan menghasilkan informasi dan keterangan, baik kualitatif maupun kuantitatif yang menunjukkan fakta. Data yang dikumpulkan ada dua macam, yaitu data primer dan data sekunder (Burhanudin, 2013).

#### 4.3.1. Data Primer

Data primer adalah pengambilan data yang dihimpun langsung oleh peneliti, yang artinya data tersebut diperoleh secara langsung tanpa melalui perantara orang lain. (Al-Jadoty, 2014) Data Primer adalah data yang diperoleh dari hasil observasi atau pengamatan langsung di lapangan (lokasi penelitian). Data primer pada penelitian ini diperoleh langsung dari perusahaan beton *precast* di PT. Powercon Jaya Utama Jl. Raya Muntilan-Jogja km 23 Tegalsari, Jumoyo, Salam, Magelang, Jawa Tengah yang berupa foto-foto bekisting baja, proses pembuatan beton pagar *precast*, dan jenis material.

#### 4.3.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bukan diusahakan sendiri oleh peneliti. Data yang diperoleh tidak secara langsung dari obyek penelitian tetapi dari pihak lain yang mempunyai informasi data yang diperlukan atau data literature yang berhubungan dengan obyek penelitian, misalnya dari majalah-majalah, keterangan-keterangan dan publikasi lainnya. Pada penelitian ini data sekunder diperoleh dari keterangan-keterangan yang diperoleh dari wawancara (*interview*), jurnal-jurnal penelitian, dan buku pedoman tentang bekisting (kotak cetak).

#### 4.4. TAHAPAN PERANCANGAN

Penelitian ini dilakukan terbagi dengan beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Pencarian referensi

Pencarian referensi bertujuan untuk memperoleh informasi berupa data, dasar teori, metode analisis yang didapat dari literatur-literatur, hasil penelitian, hingga media lainnya. Referensi dari penelitian ini diambil dari makalah, jurnal, tugas akhir dan *website* yang berkaitan dengan bekisting baja maupun beton *precast*.

2. Identifikasi Masalah

Masalah yang akan diteliti adalah tentang perancangan bekisting baja untuk panel beton pracetak yang optimal dan perbandingannya terhadap biaya dan kekuatan bekisting baja *existing*.

### 3. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini adalah di perusahaan beton *precast* PT. Powercon Jaya Utama Jl. Raya Muntilan-Jogja km 23 Tegalsari, Jumoyo, Salam, Magelang, Jawa Tengah dengan objek penelitian bekistingn baja.

### 4. Pengambilan data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara pengamatan (*observation*) dan wawancara (*interview*) langsung di lapangan. Wawancara (*interview*) yang dilakukan adalah dengan melakukan tanya jawab dengan narasumber yang dalam hal ini adalah pekerja, maupun pemilik perusahaan beton *precast* di PT. Powercon Jaya Utama. Sedangkan pengamatan (*observation*) dilakukan juga pada perusahaan beton *precast* di PT. Powercon Jaya Utama dengan melihat situasi dan kondisi di lapangan yaitu melihat proses pengerjaan beton *precast* dan melihat langsung kondisi bekisting *existing*. Adapun data-data lapangan yang diperlukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### a. Ukuran Bekisting

Ukuran detail bekisting diperlukan untuk dimasukkan data dalam SAP sehingga diketahui apakah ukuran bekisting yang digunakan aman atau tidak.

#### b. Beban yang terjadi

Beban yang terjadi pada bekisting dilihat juga dari proses awal bekisting terpasang sampai bekisting di bongkar. Proses itu yang dilihat berapa banyak jenis beban yang terjadi pada bekisting baja.

#### c. Metode pelaksanaan bekisting

Metode pelaksanaan bekisting di dapatkan dengan cara obsevasi di lapangan melihat proses awal mula pemasangan sampai ke perawatan bekisting baja.

#### d. Data-data tentang harga material bekisting.

Data tentang harga material ini dibutuhkan pada saat membandingkan harga bekisting *existing* dengan desain bekisting pada tugas akhir ini. Material bekisting menggunakan material baja, harga material baja

dalam bentuk pelat, besi hollow, dan lain-lain didapatkan dengan survey harga di Toko besi/baja wilayah Yogyakarta dan/atau dari SNI.

#### 5. Pengolahan data

Data yang telah berhasil dikumpulkan kemudian diolah untuk kemudian dapat didesain dan dicari perbandingan biaya bekisting antara bekisting baja di *existing* dengan Bekisting baja yang didesain dalam tugas akhir ini.

#### 6. Analisis data

Analisis data dari penelitian ini adalah bagaimana desain bekisting baja untuk pagar beton pracetak yang optimal dan perbandingannya terhadap biaya dan kekuatan bekisting baja *existing*.

#### 7. Kesimpulan

### 4.5. LANGKAH PERANCANGAN

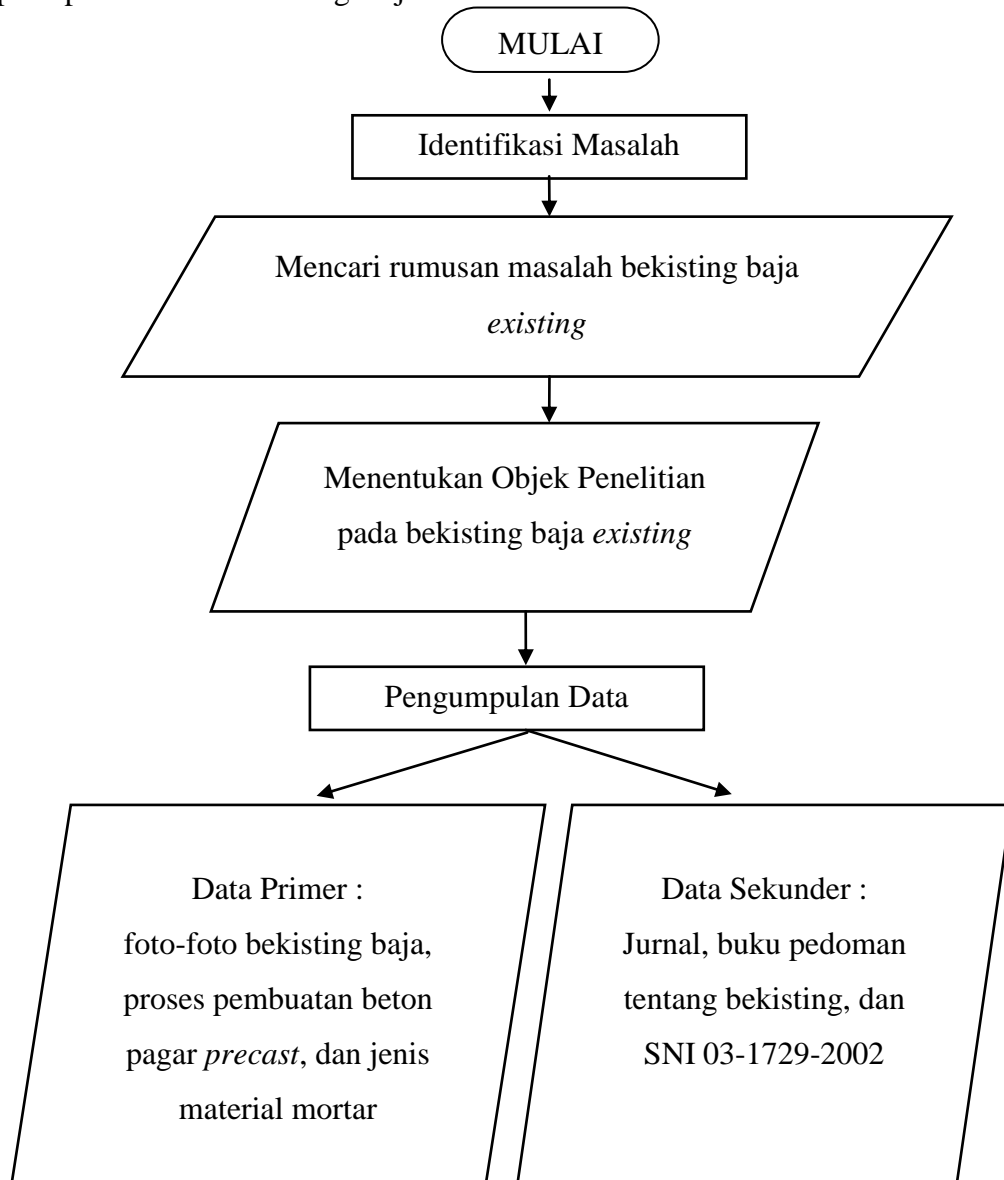
Adapun langkah-langkah analisis dijelaskan sebagai berikut :

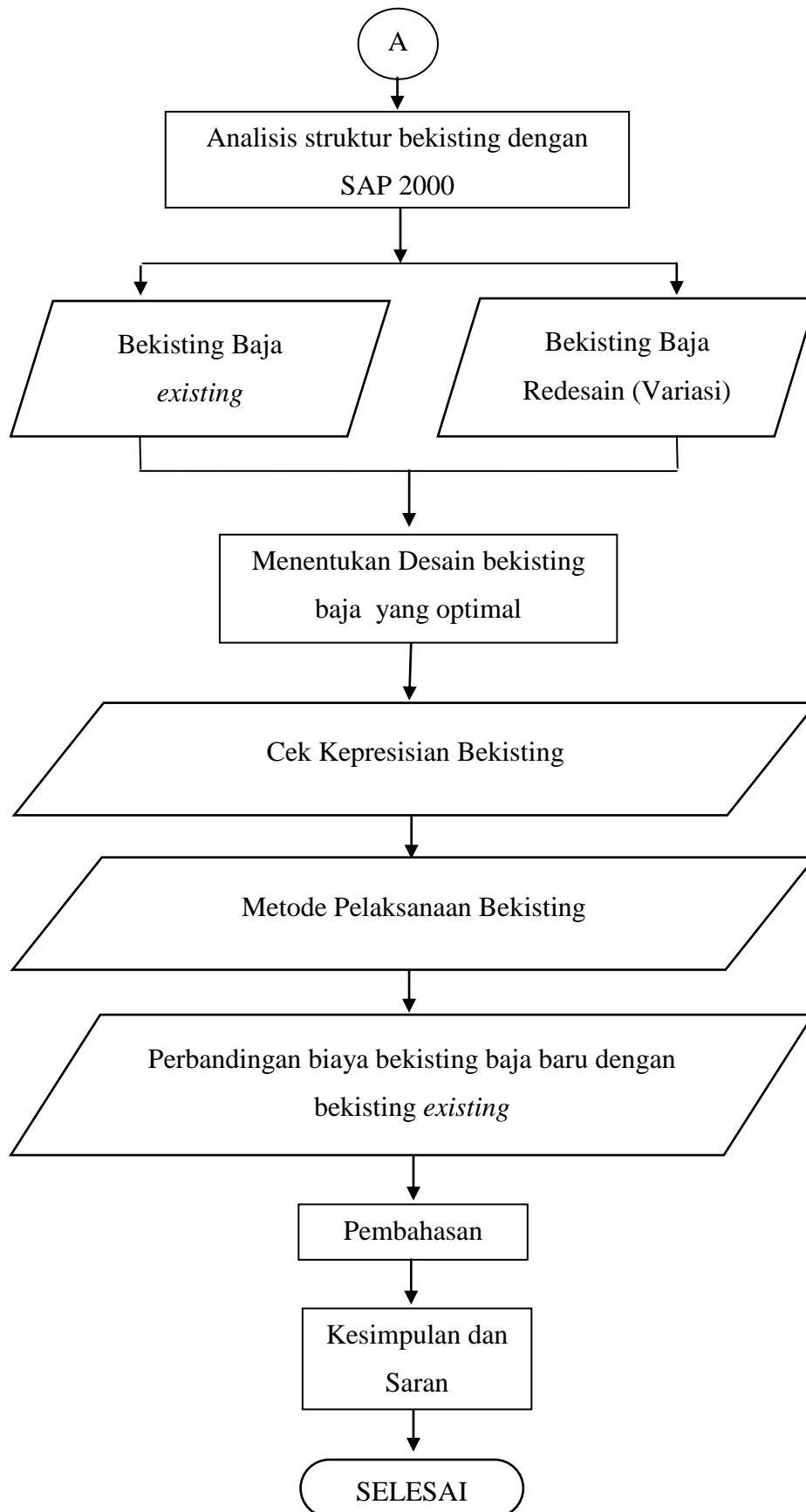
1. Dari data yang diperoleh dari lapangan, data tersebut diolah dengan rumus-rumus yang didapatkan dari jurnal, maupun referensi-referensi tentang perencanaan sebuah bekisting khususnya bekisting baja. Data-data pembebanan, jarak pengaku, tumpuan yang digunakan, dan harga material komponen bekisting. Sehingga didapatkan beban-beban yang terjadi pada bekisting dan harga material bajanya.
2. Kemudian melakukan desain bekisting baja *existing*. Desain ini meliputi perhitungan kekuatan dan kekakuan struktur baja. Bekisting baru dibuat dengan beberapa variasi akibat dari redesain bekisting sebelumnya dan didesain sedemikian rupa agar memiliki kekuatan dan kekakuan yang optimal.
3. Perhitungan kekuatan dan kekakuan ini harus tahan terhadap lendutan, momen lentur, geser, dan gaya axial sesuai dengan metode LRFD agar diperoleh struktur yang aman dan desain yang optimal. Perhitungan kekuatan dan kekakuan pada bekisting baja baru diambil desain yang paling optimal kekuatan dan kekakuan strukturnya dan efisien terhadap penggunaan materialnya.

4. Setelah desain bekisting baja baru sudah selesai, dilakukan perbandingan antara bekisting baru dengan bekisting *existing* dari segi biaya bekistingnya.
5. Hasil desain bekisting sebelumnya dan bekisting baru didapatkan kekuatan dan kekuatan strukturnya serta biayanya masing-masing, maka selanjutnya dapat diambil kesimpulan.

#### 4.6. BAGAN ALIR PERANCANGAN

Berikut ini adalah bagan alir dari metode perencanaan yang dilakukan pada perencanaan bekisting baja:





Gambar 4.1 Bagan Alir Perancangan

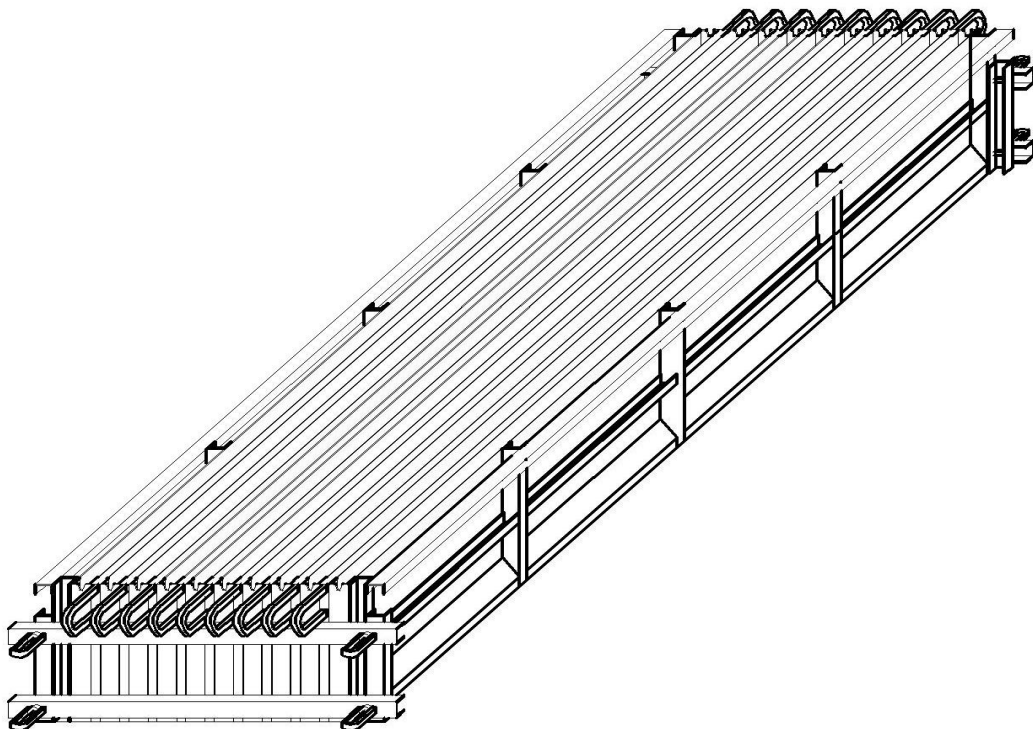
## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 DATA PERANCANGAN BEKISTING

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam perencanaan bekisting baja ini adalah mengumpulkan semua data yang diperlukan dalam perhitungan perencanaan bekisting pada umumnya. Data diperoleh melalui survey di lapangan dengan memperhatikan bentuk bekisting yang ada di lapangan seperti terlihat pada gambar 5.1. Data bekisting baja adalah sebagai berikut:

1. Material Bekisting: Baja
2. Jenis Pagar Beton: Beton pracetak/Beton bertulang
3. Panjang Beton Pagar Pracetak ( $L_b$ ) = 2,4 meter
4. Tinggi Beton Pagar Pracetak ( $H_b$ ) = 0,4 meter
5. Tebal Beton Pagar Pracetak ( $B_b$ ) = 0,05 meter



Gambar 5.1. Bekisting baja *existing* untuk cetakan panel pagar beton pracetak

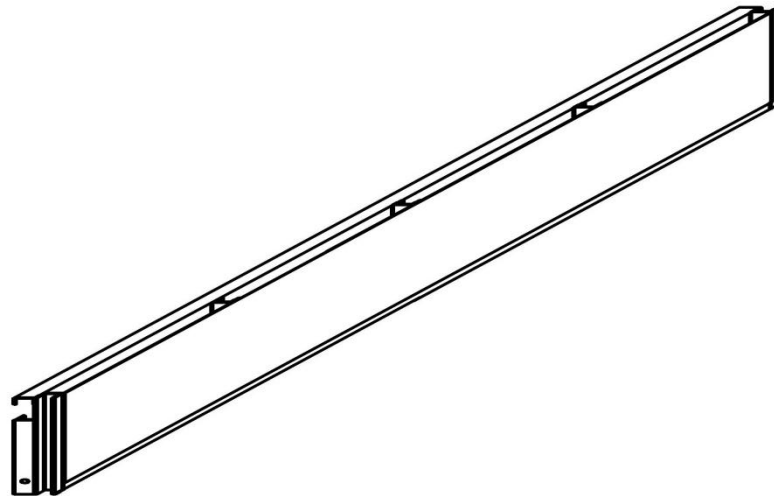
Data perancangan yang didapatkan menunjukkan mutu baja yang digunakan adalah baja dengan mutu BJ37, ketentuan pada baja BJ37 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh minimum (fy)} &= 240 \text{ Mpa} \\ &= 24,46 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan putus minimum (fu)} &= 370 \text{ Mpa} \\ &= 37,71 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

### 5.1.1. Dinding Pelat Baja Bekisting

Dinding pelat baja bekisting merupakan komponen penting dari bekisting baja yang berfungsi sebagai dinding penahan beton pagar pracetak pada saat kondisi beton basah (mortar beton) sampai beton siap diangkat. Dinding pelat yang berfungsi untuk menahan beton ini harus mampu menahan segala bentuk gaya/beban yang terjadi pada proses cetakan beton pagar pracetak berlangsung, baik itu beban beton, maupun beban pekerja. Bentuk dinding pelat yang terpasang dalam bekisting dapat dilihat secara perspektif dalam gambar 5.2 di bawah ini.



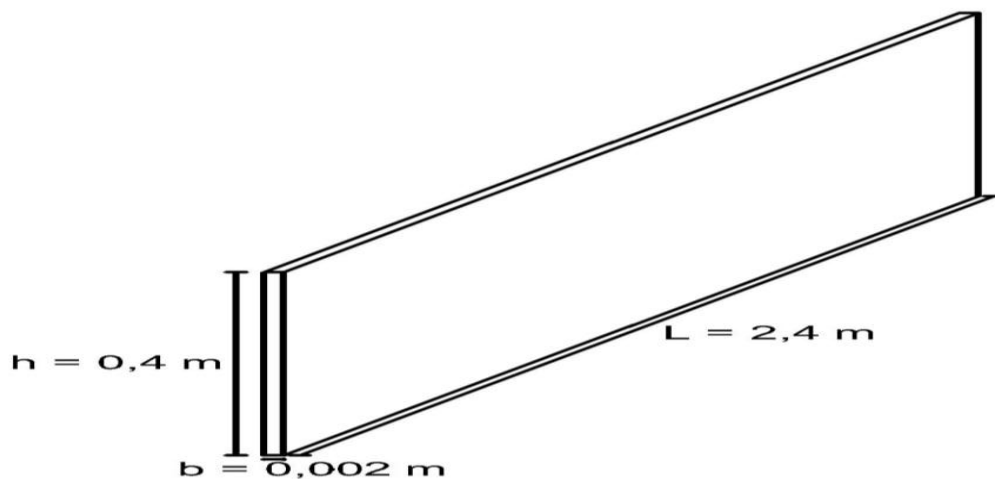
Gambar 5.2. Dinding Pelat Baja Bekisting.

Gambar 5.2. menunjukkan bagian yang berfungsi untuk menahan beton pracetak baik itu dalam keadaan masih segar (mortar beton) maupun sudah dalam keadaan beton sudah siap (kering). Bagian tersebut merupakan bekisting kontak dengan beberapa pengaku.

Data perancangan yang digunakan untuk menghitung dinding pelat pada bekisting baja (lihat juga gambar 5.3) adalah sebagai berikut :

$$\text{Panjang pelat dinding bekisting (l}_p\text{)} = 2,4 \text{ meter}$$

Tinggi pelat dinding bekisting ( $h_p$ )	= 0,4 meter
Tebal pelat dinding bekisting ( $b_p$ )	= 0,002 meter
Berat jenis baja ( $b_{j_{baja}}$ )	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
Panjang beton pagar pracetak ( $l_b$ )	= 2,4 meter
Tinggi beton pagar pracetak ( $h_b$ )	= 0,4 meter
Tebal beton pagar pracetak ( $b_b$ )	= 0,05 meter
Berat jenis beton bertulang ( $b_{j_{beton}}$ )	= 24 KN/m <sup>3</sup> $\approx$ 2400 kg/m <sup>3</sup>

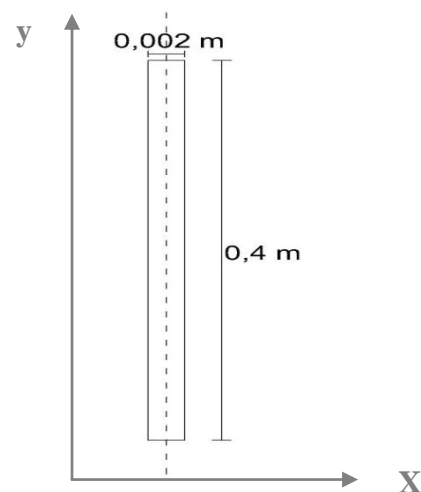


Gambar 5.3. Detail pelat baja bekisting

Inersia penampang ( $I$ ) dan *section modulus* ( $S$ ) dinding pelat bekisting baja dihitung untuk mengetahui tegangan dan lendutan yang terjadi pada pelat tersebut. Inersia penampang dan modulus penampang ini ditinjau dari sumbu  $y$  karena beban yang bekerja pada dinding pelat bekisting baja tegak lurus sumbu  $y$  atau beban bekerja secara horizontal. Perhitungan inersia penampang ( $I$ ) dan *section modulus* ( $S$ ) pada dinding pelat bekisting baja adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_p^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 0,4 \times 0,002^3 \\
 &= 2,67 \times 10^{-10} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{6} \times h_p \times b_p^2 \\
 &= \frac{1}{6} \times 0,4 \times 0,002^2 \\
 &= 2,67 \times 10^{-7} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



### 5.1.2. Pengaku Bekisting

Pengaku bekisting juga merupakan komponen yang tidak kalah penting dari dinding pelat baja bekisting. Pengaku bekisting berguna untuk memperkuat dinding pelat baja terhadap gaya-gaya/pembebanan yang terjadi pada bekisting baja ini. Gambar 5.4 adalah salah satu contoh pengaku yang dipasang pada bekisting. Profil yang dipasang pada bekisting ini ada 2 jenis, yaitu profil kanal UNP dan hollow. Di bawah ini adalah data properti dari masing-masing profil yang nantinya akan digunakan dalam pemodelan struktur bekisting pada SAP 2000 v 14, propertinya adalah sebagai berikut:

#### 1. Data perencanaan Kanal UNP 5 RRT

Mutu Baja = BJ37

E baja =  $2,1 \times 10^{10}$  Kg/m<sup>2</sup>

tf = 0,00345 m

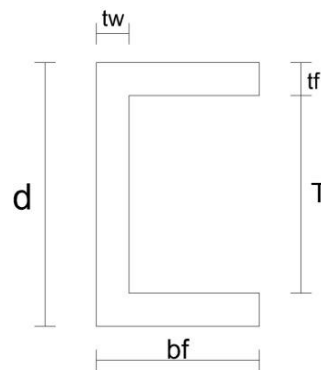
tw = 0,00435 m

T = 0,0431 m

d = 0,05 m

bf = 0,03 m

A =  $3,94 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>



#### 2. Data perencanaan Hollow 20 x 40 x 2 A

Mutu Baja = BJ37

E baja =  $2,1 \times 10^{10}$  Kg/m<sup>2</sup>

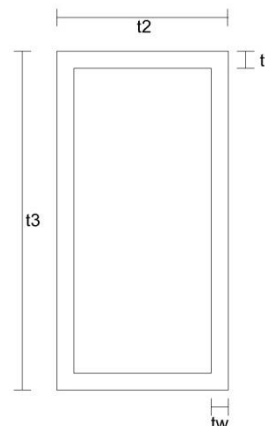
tf = 0,004 m

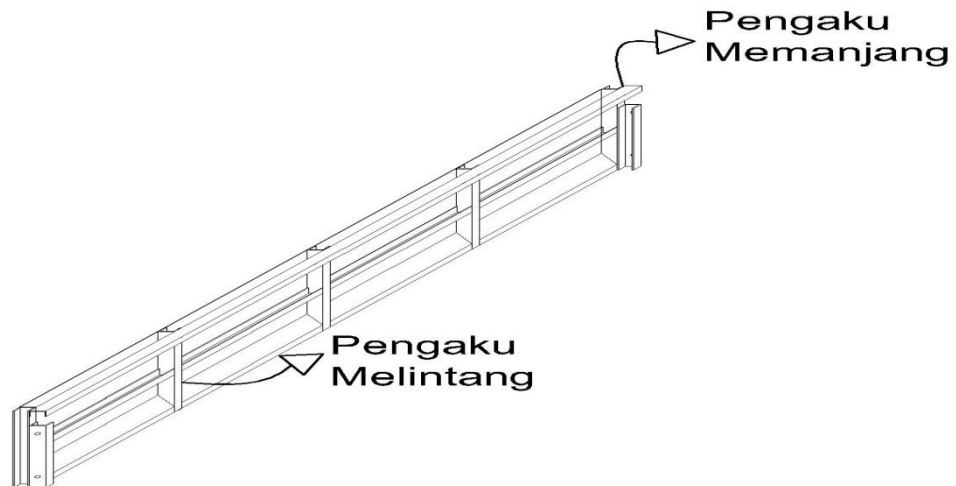
tw = 0,0028 m

t2 = 0,02 m

t3 = 0,04 m

A =  $3,39 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

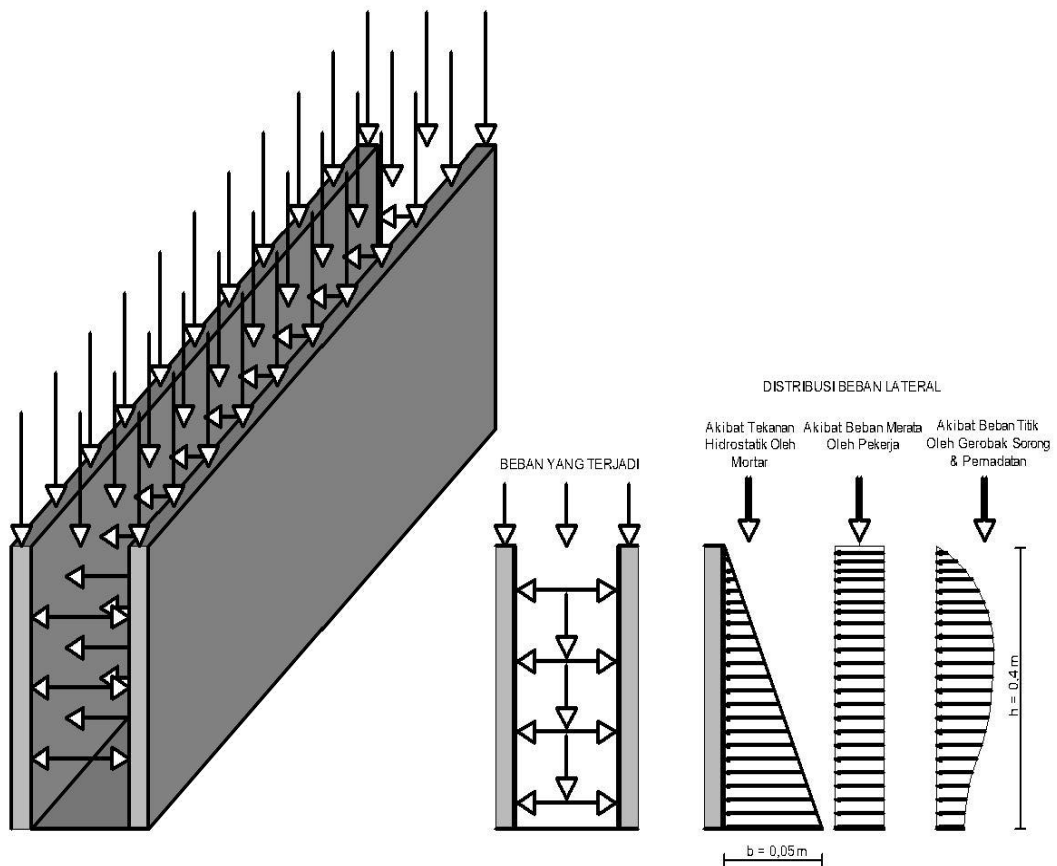




Gambar 5.4. Detail perletakan penguaku

## 5.2 PEMBEBANAN PADA BEKISTING

Pembebanan yang terjadi pada bekisting baja ini ada 4 yaitu: a) pembebanan oleh beton; b) pembebanan oleh pekerja; c) pembebanan oleh gerobak sorong; d) pembebanan oleh pematatan. Gambar 5.5 menunjukkan mekanisme pembebanan yang terjadi pada bekisting.

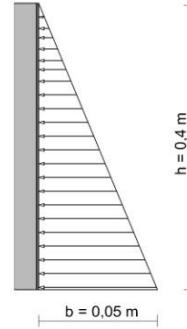


Gambar 5.5. Pembebanan pada bekisting baja

### 5.2.1. Beban Beton

Beban beton pada perhitungan ini merupakan beban hidrostatis beton yang disebabkan oleh beton bertulang yang mulai dari beton segar (mortar) sampai ke bentuk beton sudah jadi yang terdistribusi secara horizontal. Beban beton tersebut dinyatakan dalam kilogram persatuan meter (kg/m). Perhitungan beban beton adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Beban Beton Horizontal} &= \frac{1}{2} \times b_{j\text{beton}} \times b_b \times h_b \\ &= \frac{1}{2} \times 2400 \times 0,05 \times 0,4 \\ &= 24 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

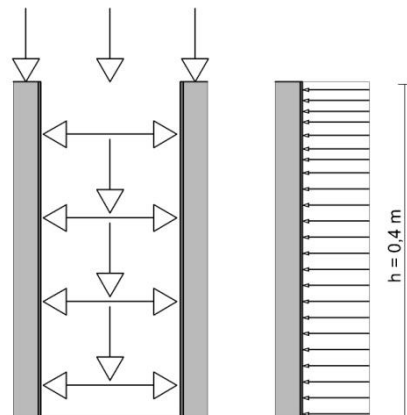


### 5.2.2. Beban Pekerja

Beban pekerja pada perhitungan ini merupakan beban merata yang disebabkan oleh 1 orang pekerja (asumsi 1 orang pekerja memiliki berat 100 kg) yang melakukan kegiatan mulai dari pengolesan oli sampai ke pengecoran beton di atas bekisting. Beban pekerja dibagi 2 distribusi, yaitu beban vertikal dan beban yang terdistribusi secara horizontal. Beban vertikal adalah beban pekerja pada saat pekerja membebani bekisting secara vertikal yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter persegi ( $\text{kg/m}^2$ ). Sedangkan beban yang terdistribusi secara horizontal adalah beban pekerja pada saat menginjak beton segar sehingga menjadi beban (horizontal) pada bekisting kontak yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter (kg/m). Perhitungan beban beton adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Beban Pekerja Vertikal} &= \frac{\text{Berat Pekerja}}{1 \text{ m}^2} \\ &= \frac{100 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^2} \\ &= 100 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

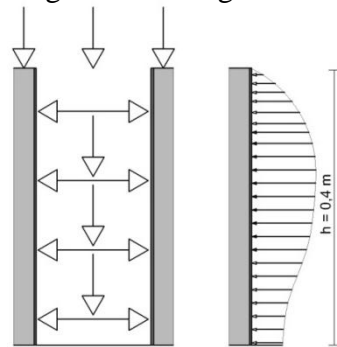
$$\begin{aligned} \text{Beban Pekerja Horizontal} &= \text{Beban Pek. Vert} \times h_b \\ &= 100 \times 0,4 \\ &= 40 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$



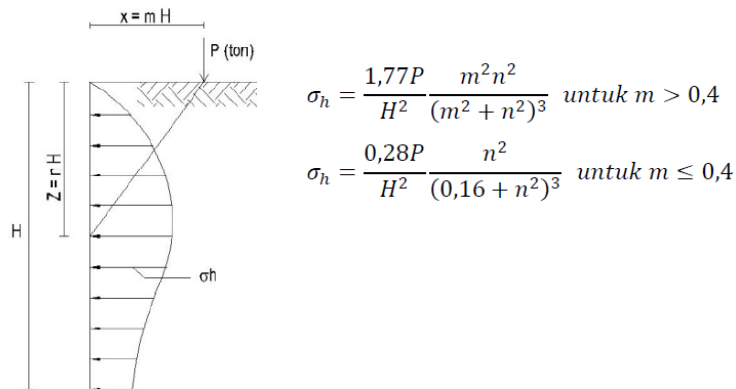
**5.2.3. Beban Gerobak Sorong**

Beban gerobak sorong (GS) pada perhitungan ini merupakan beban titik yang disebabkan oleh gerobak sorong (kondisi berisi mortar) pada saat proses pengecoran berlangsung yang membebani bekisting. Sama halnya dengan beban pekerja, beban gerobak sorong juga dibagi menjadi 2 distribusi, yaitu beban vertikal dan beban yang terdistribusi secara horizontal. Beban vertikal adalah kondisi saat gerobak sorong membebani bekisting secara vertikal yang dinyatakan dalam kilogram. Sedangkan beban yang terdistribusi secara horizontal adalah kondisi saat gerobak sorong "menginjak" beton segar sehingga menjadi beban (horizontal) pada bekisting kontak yang dinyatakan dalam kilogram persatuan meter persegi (kg/m<sup>2</sup>). Perhitungan beban gerobak sorong adalah sebagai berikut:

- Berat Sendiri GS = 15 Kg
- Volume Tampung GS = 0,065 m<sup>3</sup>
- Berat Isi GS =  $b_{j\text{beton}} \times \text{Vol. GS}$
- = 2400 x 0,065
- = 156 Kg
- Berat Total GS = Berat Sendiri + Berat Isi
- (Beban GS Vertikal) = 15 + 156
- = 171 Kg



Beban titik lateral (horizontal) gerobak sorong didapatkan dengan menggunakan prinsip perhitungan distribusi tekanan lateral pada dinding penahan tanah (DPT) akibat beban titik (lihat gambar 5.6). Perhitungan tegangan lateral ( $\sigma_h$ ) didapatkan dari nilai terbesar yang terjadi pada beban lateral tersebut. Perhitungan akan dijabarkan dengan menggunakan tabel 5.1.



Gambar 5.6. Tekanan tanah (pada DPT) lateral akibat beban titik

Tabel 5.1. Perhitungan tegangan horizontal gerobak sorong

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk $m \leq 4$	0,1	0,1	609,10
		0,2	1496,25
		0,3	1723,68
		0,4	1461,18
		0,5	1085,48
		0,6	766,17
		0,7	533,94
		0,8	374,06
		0,9	265,59
		1,0	191,72
	0,2	0,1	609,10
		0,2	1496,25
		0,3	1723,68
		0,4	1461,18
		0,5	1085,48
		0,6	766,17
		0,7	533,94
		0,8	374,06
		0,9	265,59
		1,0	191,72
	0,3	0,1	609,10
		0,2	1496,25
		0,3	1723,68
		0,4	1461,18
		0,5	1085,48
		0,6	766,17
		0,7	533,94
0,8		374,06	

Lanjutan Tabel 5.1. Perhitungan tegangan horizontal gerobak sorong

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk $m \leq 4$	0,3	0,9	265,59
		1,0	191,72
	0,4	0,1	609,10
		0,2	1496,25
		<b>0,3</b>	<b>1723,68</b>
		0,4	1461,18
		0,5	1085,48
		0,6	766,17
		0,7	533,94
		0,8	374,06
		0,9	265,59
		1,0	191,72
		Untuk $m > 4$	0,5
0,2	775,63		
0,3	1082,92		
0,4	1097,89		
0,5	945,84		
0,6	750,07		
0,7	571,86		
0,8	429,34		
0,9	321,63		
1,0	242,14		
0,6	0,1		134,45
	0,2		425,63
	0,3		672,60
	0,4		774,93
	0,5		750,07

Lanjutan Tabel 5.1. Perhitungan tegangan horizontal gerobak sorong

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk m > 4	0,6	0,6	656,84
		0,7	543,36
		0,8	435,84
		0,9	344,41
		1,0	270,73
	0,7	0,1	74,15
		0,2	249,05
		0,3	427,57
		0,4	540,04
		0,5	571,86
		0,6	543,36
		0,7	482,57
		0,8	411,14
		0,9	341,74
		1,0	280,21
	0,8	0,1	44,08
		0,2	154,01
		0,3	280,09
		0,4	378,34
		0,5	429,34
		0,6	435,84
		0,7	411,14
		0,8	369,47
		0,9	321,67
		1,0	274,47
	0,9	0,1	27,79
		0,2	99,80
		0,3	189,17

Lanjutan Tabel 5.1. Perhitungan tegangan horizontal gerobak sorong

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk m > 4	0,9	0,4	268,62
		0,5	321,63
		0,6	344,41
		0,7	341,74
		0,8	321,67
		0,9	291,93
		1,0	258,40
	1,0	0,1	18,36
		0,2	67,27
		0,3	131,47
		0,4	193,91
		0,5	242,14
		0,6	270,73
		0,7	280,21
		0,8	274,47
		0,9	258,40
		1,0	236,46

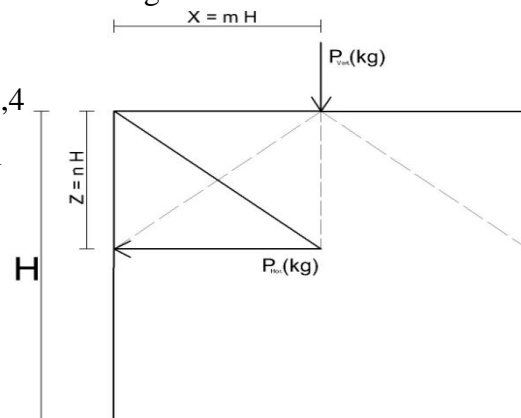
Tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ) terbesar pada tabel tersebut adalah 1723,28 Kg/m<sup>2</sup>, dari nilai tersebut maka dapat dihitung beban titik horizontal ( $P_{hor.}$ ).

Perhitungan beban titik horizontal ( $P_{hor.}$ ) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 x &= m \times h_b & z &= n \times h_b \\
 &= 0,4 \times 0,4 & &= 0,3 \times 0,4 \\
 &= 0,16 \text{ m} & &= 0,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka luas Bidang Tegangan,

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2} \times Z \times X \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,12 \times 0,16 = 0,01 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

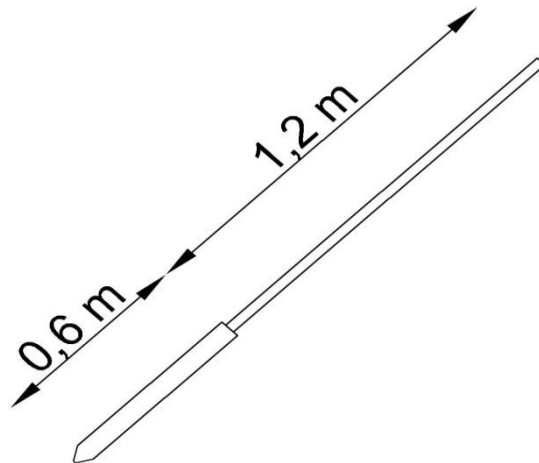


$$P_{\text{hor.}} = \sigma h \times$$

$$= 1723,28 \times 0,01 = \underline{\underline{16,55 \text{ Kg}}}$$

#### 5.2.4. Beban Pemasatan

Beban pemasatan ini merupakan beban titik yang disebabkan oleh besi pemasatan seperti yang terlihat pada gambar 5.7 yang membebani bekisting kontak saat prose pemasatan berlangsung yang dinyatakan dalam satuan kilogram (Kg).



Gambar 5.7. Alat Pemasatan untuk Bekisting

Pada bagian atas alat pemasatan digunakan pipa baja hollow diameter 1,25 inchi dengan tebal 3 mm dan bagian bawah merupakan potongan pelat baja memanjang dengan tebal 4 mm. Perhitungan tegangan pemasatan (horizontal) adalah sebagai berikut (lihat tabel 5.2):

Berat bagian atas alat pemasatan

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa baja} &= 1,25 \text{ inchi} \\ &= 0,03175 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal pipa baja} = 0,003 \text{ m}$$

$$\text{Luas pipa tanpa hollow} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang pipa baja} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis baja} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa baja} &= \text{Luas pipa} \times \text{Panjang pipa} \times \text{Berat jenis baja} \\ &= 2,7 \times 10^{-4} \times 1,2 \times 7850 \\ &= 2,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat bagian bawah alat pemadatan

Tebal pelat = 0,004 m

Lebar pelat = 0,06 m

Panjang pelat = 0,6 m

Berat pelat = Tebal x Lebar x Panjang x Berat Jenis  
 = 0,004 x 0,06 x 0,6 x 7850  
 = 1,13 kg

Berat Alat Pemadatan ( $m_{pdt}$ ) = Berat pipa baja + Berat pelat  
 = 2,55 + 1,13  
 = 3,68 kg

Tinggi jatuh alat ( $h_{pdt}$ ) = 0,4 m

Beban Pemadatan =  $m_{pdt} \times g \times h_{pdt}$ .

(Vertikal) = 1,58 x 9,81 x 0,4  
 = 14,45 N  
 = 1,47 Kg

Tabel 5.2. Perhitungan tegangan horizontal pemadatan

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk $m \leq 4$	0,1	0,1	5,25
		0,2	12,89
		0,3	14,84
		0,4	12,58
		0,5	9,35
		0,6	6,60
		0,7	4,60
		0,8	3,22
		0,9	2,29
		1,0	1,65
	0,2	0,1	5,25
		0,2	12,89
		0,3	14,84

Lanjutan Tabel 5.2. Perhitungan tegangan horizontal pemadatan

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk $m \leq 4$	0,2	0,4	12,58
		0,5	9,35
		0,6	6,60
		0,7	4,60
		0,8	3,22
		0,9	2,29
		1,0	1,65
	0,3	0,1	5,25
		0,2	12,89
		0,3	14,84
		0,4	12,58
		0,5	9,35
		0,6	6,60
		0,7	4,60
		0,8	3,22
		0,9	2,29
		1,0	1,65
	0,4	0,1	5,25
		0,2	12,89
		<b>0,3</b>	14,84
		0,4	12,58
		0,5	9,35
		0,6	6,60
		0,7	4,60
		0,8	3,22
		0,9	2,29
		1,0	1,65

Lanjutan Tabel 5.2. Perhitungan tegangan horizontal pemadatan

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk m > 4	0,5	0,1	2,32
		0,2	6,68
		0,3	9,33
		0,4	9,45
		0,5	8,15
		0,6	6,46
		0,7	4,92
		0,8	3,70
		0,9	2,77
		1,0	2,09
	0,6	0,1	1,16
		0,2	3,67
		0,3	5,79
		0,4	6,67
		0,5	6,46
		0,6	5,66
		0,7	4,68
		0,8	3,75
		0,9	2,97
		1,0	2,33
	0,7	0,1	0,64
		0,2	2,14
		0,3	3,68
		0,4	4,65
		0,5	4,92
		0,6	4,68
		0,7	4,16
0,8		3,54	

Lanjutan Tabel 5.2. Perhitungan tegangan horizontal pemadatan

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk m > 4	0,7	0,9	2,94
		1,0	2,41
	0,8	0,1	0,38
		0,2	1,33
		0,3	2,41
		0,4	3,26
		0,5	3,70
		0,6	3,75
		0,7	3,54
		0,8	3,18
		0,9	2,77
		1,0	2,36
		0,9	0,1
	0,2		0,86
	0,3		1,63
	0,4		2,31
	0,5		2,77
	0,6		2,97
	0,7		2,94
	0,8		2,77
	0,9		2,51
	1,0		2,23
	1,0	0,1	0,16
		0,2	0,58
		0,3	1,13
		0,4	1,67
		0,5	2,09
		0,6	2,33

Lanjutan Tabel 5.2. Perhitungan tegangan horizontal pemadatan

Keterangan	m	n	$\sigma_h$ (Kg/m <sup>2</sup> )
Untuk m > 4	1,0	0,7	2,41
		0,8	2,36
		0,9	2,23
		1,0	2,04

Tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ) terbesar pada tabel tersebut adalah 14,84 Kg/m<sup>2</sup>, dari nilai tersebut maka dapat dihitung beban titik horizontal ( $P_{hor.}$ ).

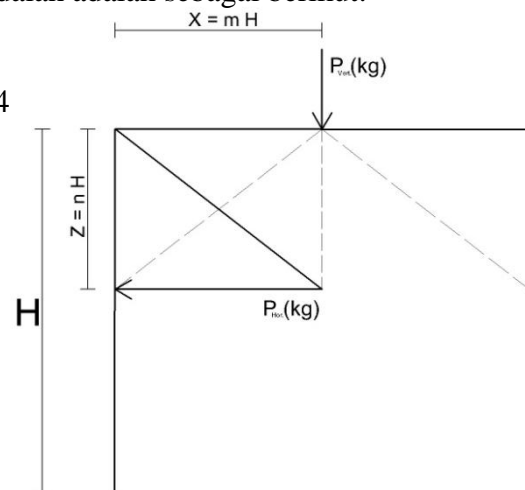
Perhitungan beban titik horizontal ( $P_{hor.}$ ) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x &= m \times h_b & z &= n \times h_b \\ &= 0,4 \times 0,4 & &= 0,3 \times 0,4 \\ &= 0,16 \text{ m} & &= 0,12 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka luas Bidang Tegangan,

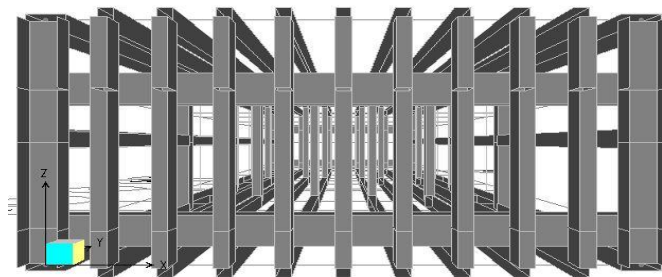
$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \times Z \times X \\ &= \frac{1}{2} \times 0,12 \times 0,16 = 0,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{hor.} &= \sigma_h \times A \\ &= 14,84 \times 0,01 = \mathbf{0,14 \text{ kg}} \end{aligned}$$



### 5.3 PEMODELAN STRUKTUR MENGGUNAKAN SAP 2000

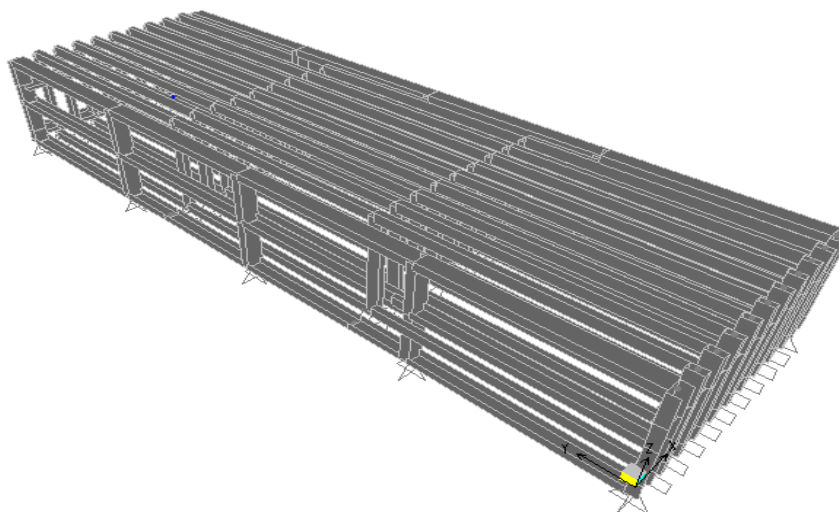
Struktur bekisting baja dimodelkan dan dihitung dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14. Beban-beban yang telah dihitung kemudian diinput ke dalam model untuk selanjutnya dihitung oleh aplikasi tersebut. Pemodelan struktur bekisting dilakukan secara 3D dengan menggambar seluruh elemen struktur bekisting seperti pengaku horizontal, pengaku vertikal, bekisting kontak, dan pengaku pengikat. Beban yang dimasukkan pada pemodelan berupa beban kombinasi sederhana (pembebanan gravitasi) yaitu  $1,4 D$  dan  $1,2 D + 1,6 L$ . Pemodelan struktur seperti yang terlihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.8. Pemodelan Struktur Bekisting pada SAP 2000 v14

### 5.3.1. Cek Model Bekisting *Existing*

Data perencanaan dan pembebanan yang didapatkan pada pembahasan sebelumnya, selanjutnya dihitung dengan program SAP 2000. Program SAP 2000 akan menunjukkan apakah desain bekisting *existing* sudah aman dari segi kekuatan dan kekakuannya. Gambar 5.9. menunjukkan pemodelan bekisting *existing* di SAP 2000.



Gambar 5.9. Pemodelan Struktur Bekisting *Existing* pada SAP 2000 v14

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 72,885 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi M_n) = 150,615 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

## 2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 22,586 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2874,376 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

## 3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 10,724 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 6618,108 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

## 4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

## a. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,00001 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_x) = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,2}{360} = 0,000555556 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

## b. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 4,75 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_y) = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{izin}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{izin}$ , maka **Aman**

## c. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,000971 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_z) = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{izin}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{0,6}{360} = 0,0016667 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{izin}$ , maka **Aman**

### 5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,14672 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat } (L_x) = 0,6 \text{ m}$$

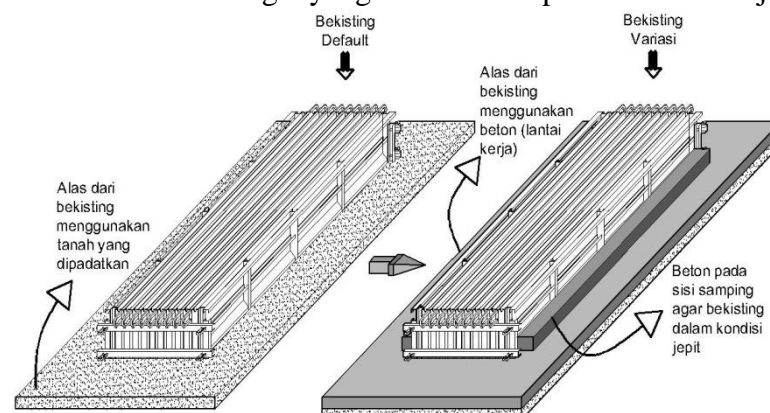
$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,6}{360} = 0,0016667 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \geq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Tidak Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa ada 1 komponen output tidak aman, yaitu defleksi pelat arah x, sehingga langkah yang harus dilakukan adalah redesain dengan beberapa variasi untuk mencapai keamanan struktur.

#### 5.3.2. Cek Model Bekisting Variasi

Setelah diketahui hasil output dari pemodelan bekisting *existing* mengalami kegagalan pada defleksi, maka dilakukan tindakan redesain terhadap model *existing* tersebut agar tercapainya keamanan struktur. Redesain dilakukan untuk mendapatkan desain yang optimal terhadap kekuatan dan kekakuan struktur bekisting. Variasi yang dibuat menggunakan jarak yang tipikal antara bekisting luar dan bekisting sekat. Variasi ini dibuat beragam jarak pengaku dengan tujuan mendapatkan struktur yang aman dan desain yang optimal. Variasi yang dibuat mengikuti solusi atas perubahan dari bekisting yang telah ada. Salah satunya adalah perubahan konsep desain tumpuan struktur bekisting. Gambar 5.10 menunjukkan model bekisting yang semula tumpuan sendi menjadi tumpuan jepit.

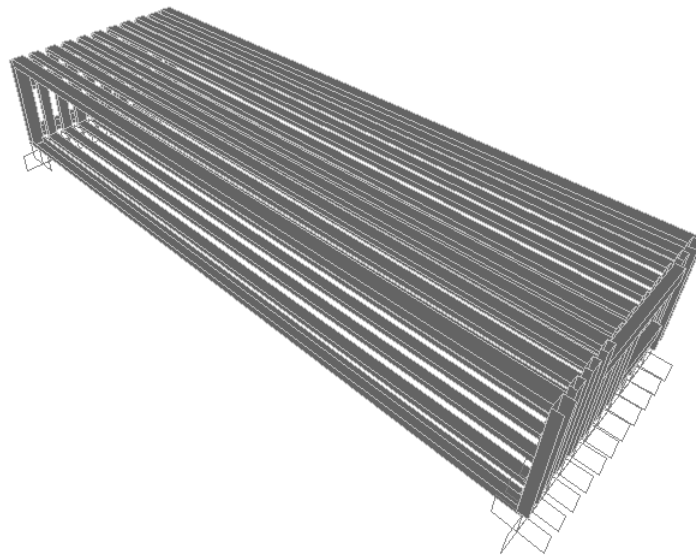


Gambar 5.10. Perubahan Konsep Tumpuan Bekisting

Gambar 5.10 diatas juga menunjukkan perubahan rantai kerja yang digunakan bekisting menjadi beton yang semula berupa tanah yang dipadatkan. Profil baja bekisting baik itu profil kanal UNP dan hollow menggunakan dimensi yang sama karena mempertimbangkan bahwa pada bekisting *existing*, batang tidak mengalami kegagalan struktur.

### 5.3.3. Bekisting Variasi 1

Variasi 1 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 240 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 1 dapat dilihat pada gambar 5.11.



Gambar 5.11. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 1 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 20,476 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi\text{Mn}) = 51,565 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $\text{Mu} \leq \Phi\text{Mn}$ , maka **Aman**

## 2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 136,8 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2114,483 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

## 3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 384,4 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 511,599 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

## 4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

## d. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000128 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_x) = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

## e. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,276 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_y) = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{izin}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{izin}$ , maka **Aman**

## f. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,007248 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_z) = 2,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{izin}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{2,4}{360} = 0,0066667 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \geq \Delta z_{izin}$ , maka **Tidak Aman**

#### 5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,007839 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat } (L_x) = 2,4 \text{ m}$$

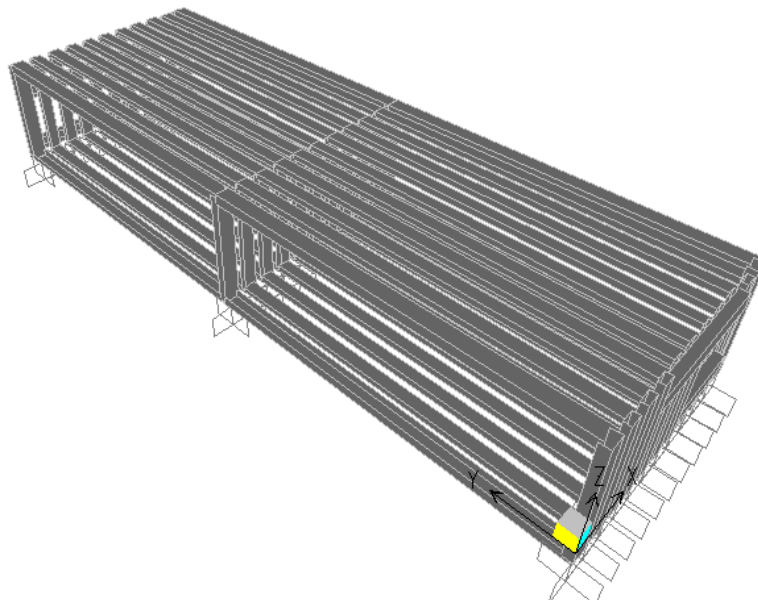
$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{2,4}{360} = 0,0066667 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \geq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Tidak Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa ada 2 komponen output tidak aman, yaitu defleksi batang arah z dan defleksi pelat arah x, sehingga struktur bekisting variasi 1 tidak aman.

#### 5.3.4. Bekisting Variasi 2

Variasi 2 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 120 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 2 dapat dilihat pada gambar 5.12.



Gambar 5.12. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 2 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser,

axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

6. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 26,146 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi M_n) = 95,011 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

7. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 86,399 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2960,277 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

8. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 184,924 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 5383,984 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

9. Cek Terhadap Defleksi Batang:

g. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000087 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_x) = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

h. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,274 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_y) = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{izin}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{izin}$ , maka **Aman**

i. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,00047 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_z) = 1,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{\text{izin}}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{1,2}{360} = 0,003333 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

10. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,001611 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat } (L_x) = 1,2 \text{ m}$$

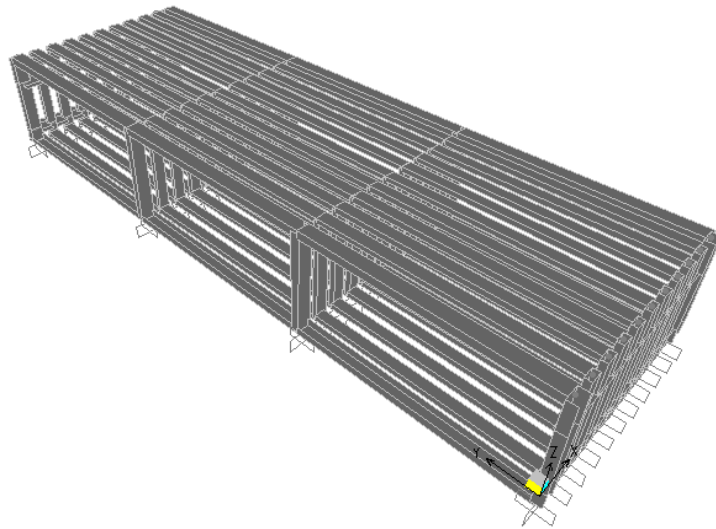
$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{1,2}{360} = 0,003333 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa struktur aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi, sehingga struktur bekisting variasi 2 aman.

### 5.3.5. Bekisting Variasi 3

Variasi 3 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 80 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 3 dapat dilihat pada gambar 5.13.



Gambar 5.13. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 3 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 18,143 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi M_n) = 95,011 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 63,683 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2960,277 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 183,267 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 5528,269 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

a. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000051 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Lx)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

b. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,27 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Ly)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{\text{izin}}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

c. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,000121 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Lz)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{\text{izin}}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{0,8}{360} = 0,002222 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,0011 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat (Lx)} = 0,8 \text{ m}$$

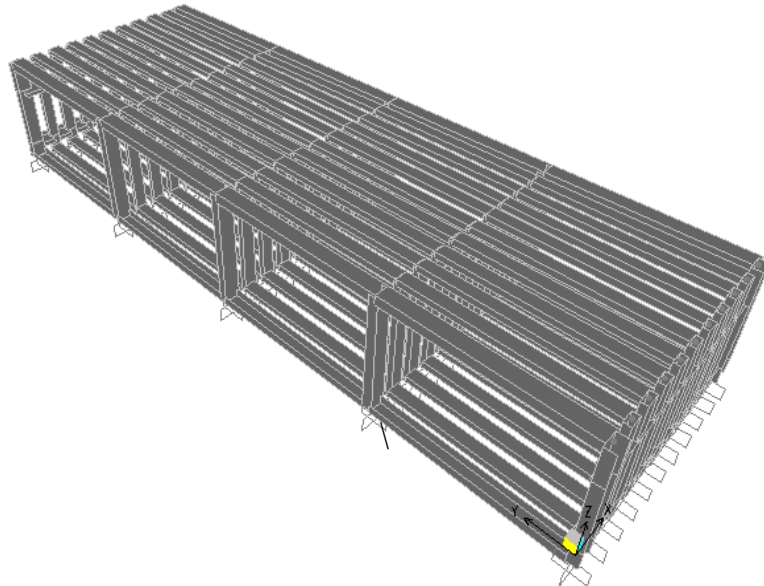
$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,8}{360} = 0,0022222 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa struktur aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi, sehingga struktur bekisting variasi 3 aman.

### 5.3.6. Bekisting Variasi 4

Variasi 4 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 60 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 4 dapat dilihat pada gambar 5.14.



Gambar 5.14. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 4 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 15,285 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi M_n) = 95,011 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 55,55 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2960,277 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

## 3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 181,659 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 5605,104 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

## 4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

## a. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000042 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Lx)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

## b. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,271 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Ly)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{\text{izin}}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

## c. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,000049 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang (Lz)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{\text{izin}}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{0,6}{360} = 0,00166667 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{\text{izin}}$ , maka **Aman**

## 5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000757 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat (Lx)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{\text{izin}}) = \frac{L_x}{360}$$

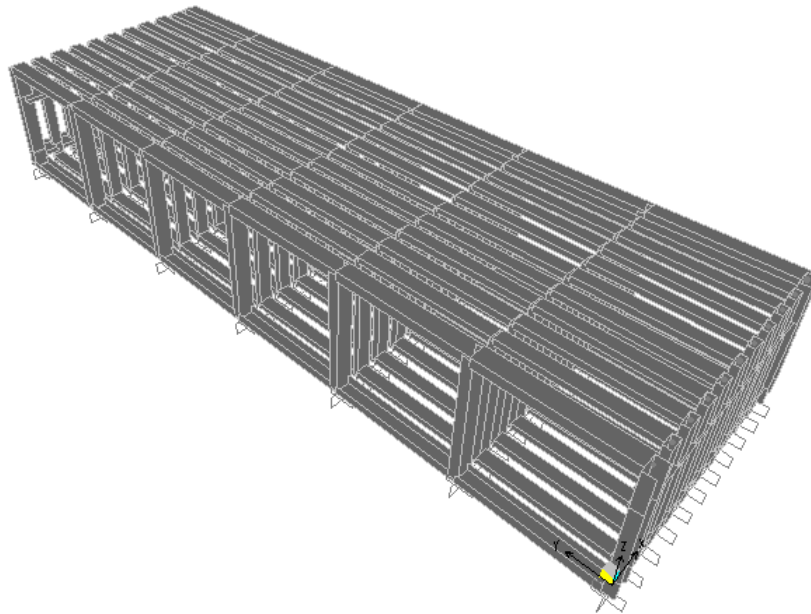
$$= \frac{0,6}{360} = 0,00166667 \text{ m}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa struktur aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi, sehingga struktur bekisting variasi 4 aman.

### 5.3.7. Bekisting Variasi 5

Variasi 5 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 40 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 5 dapat dilihat pada gambar 5.15.



Gambar 5.15. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 5 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 12,281 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi Mn) = 95,011 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 46,469 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2960,277 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 147,047 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 5684,419 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

a. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,00003 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_x) = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

b. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,263 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_y) = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{izin}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{izin}$ , maka **Aman**

c. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 0,000013 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_z) = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{izin}) &= \frac{L_z}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,0011111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{izin}$ , maka **Aman**

#### 5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,000409 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat } (L_x) = 0,4 \text{ m}$$

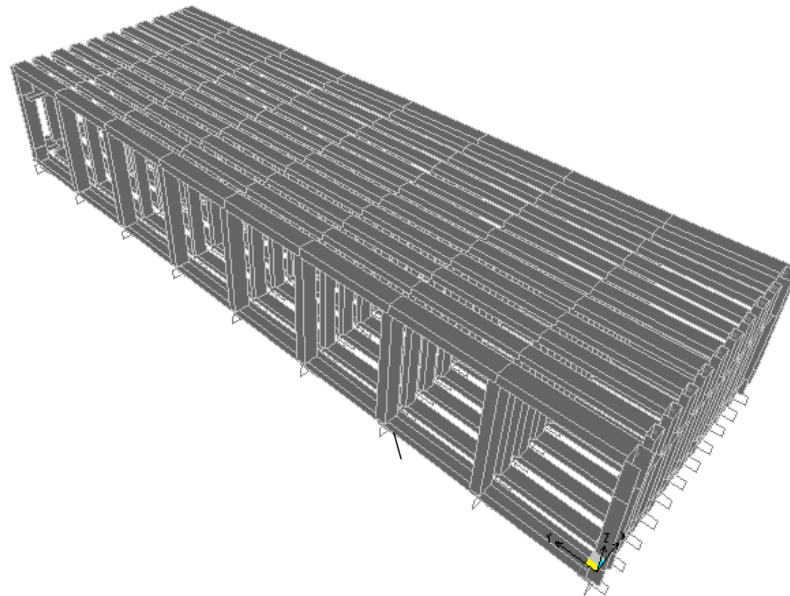
$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,0011111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa struktur aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi, sehingga struktur bekisting variasi 5 aman.

#### 5.3.8. Bekisting Variasi 6

Variasi 6 ini menggunakan jarak antara pengaku melintang 30 cm dan pengaku memanjang 40 cm dan diterapkan pada bekisting luar dan bekisting dalam. Kerangka bekisting luar menggunakan kanal UNP, sedangkan kerangka bekisting sekat menggunakan hollow. Tebal pelat yang digunakan pada bekisting kontak ini adalah 3mm. Pemodelan bekisting variasi 6 dapat dilihat pada gambar 5.16.



Gambar 5.16. Pemodelan Struktur Bekisting Variasi 6 pada SAP 2000

Setelah pemodelan dilakukan, output struktur didapatkan, sehingga diketahui apakah desain bekisting tersebut sudah aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Data output yang akan dicek keamanannya dari program SAP 2000 adalah sebagai berikut ini:

1. Cek Terhadap Momen:

$$\text{Momen Ultimate (Mu)} = 10,686 \text{ Kgm}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi M_n) = 95,011 \text{ Kgm}$$

Didapatkan bahwa  $M_u \leq \Phi M_n$ , maka **Aman**

2. Cek Terhadap Gaya Geser:

$$\text{Momen Ultimate (Vu)} = 43,643 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi V_n) = 2960,277 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka **Aman**

3. Cek Terhadap Gaya Axial:

$$\text{Momen Ultimate (Pu)} = 162,457 \text{ Kg}$$

$$\text{Momen Rencana } (\Phi P_n) = 5724,736 \text{ Kg}$$

Didapatkan bahwa  $P_u \leq \Phi P_n$ , maka **Aman**

4. Cek Terhadap Defleksi Batang:

a. Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,00000422 \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_x) = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{L_x}{360} \\ &= \frac{0,4}{360} = 0,001111 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

b. Cek defleksi arah y

$$\text{Defleksi arah y } (\Delta y) = 1,469 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (L_y) = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah y } (\Delta y_{izin}) &= \frac{L_y}{360} \\ &= \frac{0,05}{360} = 0,000138889 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta y \leq \Delta y_{izin}$ , maka **Aman**

c. Cek defleksi arah z

$$\text{Defleksi arah z } (\Delta z) = 9,25 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{Bentang batang } (Lz) = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah z } (\Delta z_{izin}) &= \frac{Lz}{360} \\ &= \frac{0,3}{360} = 0,00083333 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta z \leq \Delta z_{izin}$ , maka **Aman**

5. Cek Terhadap Defleksi Pelat:

Cek defleksi arah x

$$\text{Defleksi arah x } (\Delta x) = 0,00039 \text{ m}$$

$$\text{Bentang pelat } (Lx) = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi izin arah x } (\Delta x_{izin}) &= \frac{Lx}{360} \\ &= \frac{0,3}{360} = 0,00083333 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\Delta x \leq \Delta x_{izin}$ , maka **Aman**

Data output diatas menunjukkan bahwa struktur aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi, sehingga struktur bekisting variasi 6 aman.

### 5.3.9. Cek Model Bekisting Variasi Optimal

Setelah dihitung desain bekisting dengan 6 variasi dalam pembahasan sebelumnya, bahwa 5 variasi yaitu variasi 2, 3, 4, 5, dan 6 adalah variasi yang aman terhadap momen, geser, axial, dan defleksi. Sebelum memastikan bahwa 5 variasi adalah variasi yang dicari, maka dilakukanlah penurunan ketebalan plat terhadap 5 variasi sampai pada batas tidak aman struktur (dengan tebal pelat sesuai yang tersedia dipasaran). Variasi perhitungan terhadap tebal pelat pada 5 variasi dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3. Output data variasi tebal pelat variasi 2, 3, 4, 5, dan 6.

Variasi	Variasi Tebal Plat (m)	Defleksi Plat Arah x (m)	Jarak Antar Pengaku (m)	Defleksi Izin (m)	Keterangan
2	0,003	0,001611	1,2	0,003333	AMAN
	0,0028	0,001837			AMAN
	0,0025	0,002278			AMAN
	0,0023	0,002663			AMAN
	0,002	0,00344			TIDAK AMAN
3	0,003	0,0011	0,8	0,002222	AMAN
	0,0028	0,001256			AMAN
	0,0025	0,001562			AMAN
	0,0023	0,001834			AMAN
	0,002	0,002407			TIDAK AMAN
4	0,003	0,000757	0,6	0,001667	AMAN
	0,0028	0,000869			AMAN
	0,0025	0,001097			AMAN
	0,0023	0,001307			AMAN
	0,002	0,001769			TIDAK AMAN
5	0,003	0,000409	0,4	0,001111	AMAN
	0,0028	0,000454			AMAN
	0,0025	0,000553			AMAN
	0,0023	0,000649			AMAN
	0,002	0,000876			AMAN
	0,0017	0,001291			TIDAK AMAN
6	0,003	0,000319	0,3	0,000833	AMAN
	0,0028	0,000335			AMAN
	0,0025	0,000385			AMAN
	0,0023	0,000461			AMAN
	0,002	0,000643			AMAN
	0,0017	0,000975			TIDAK AMAN

Tabel 5.3. menunjukkan variasi yang paling optimal dari ke 5 variasi di atas adalah variasi 2 dengan tebal plat 0,0023 m dan variasi 5 dengan tebal plat 0,002 m.

### 5.3.10. Desain Sambungan Baut

Setelah didapatkan variasi yang optimal, selanjutnya menghitung sambungan baut yang dipasang untuk menyatukan bekisting perangkai dengan tiap-tiap bekisting (bekisting luar dan bekisting dalam) untuk model struktur variasi 2 dengan tebal plat baja 2,3 mm. Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

#### 1. Mencari diameter baut pakai

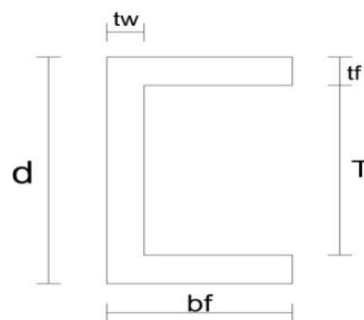
Mencari diameter baut pakai didapatkan dari hubungan antara gaya aksial tarik bekisting, geser baut rencana dan kuat tumpu rencana. Tahapan perhitungan untuk mendapatkan diameter baut yang dipakai adalah sebagai berikut:

##### a. Gaya Aksial Kanal UNP

Gaya aksial yang digunakan adalah gaya aksial bentang profil kanal UNP. Gaya aksial tarik diambil nilai paling besar pada semua bentang pada bekisting perangkai sehingga akan ditentukan jumlah baut yang sama. Berikut ini gaya aksial tarik ( $P$  tarik) yang didapatkan dari output SAP 2000 variasi 2:

$$\text{Gaya Aksial Tarik (P Tarik)} = 68,19 \text{ Kg}$$

$P$  tarik dapat disebut sebagai beban tarik terfaktor ( $R_u$ ). Pemasangan sambungan baut dilakukan pada badan profil kanal UNP. Nilai gaya aksial bentang tersebut dikalikan dengan koefisien luasan sambungan ( $A_w$ ) terhadap luasan total profil ( $A_g$ ). Gambar 5.17 menunjukkan profil kanal UNP lengkap dengan notasinya.



Gambar 5.1 Profil Kanal UNP

$$\text{Tinggi badan Kanal UNP (d)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Tebal badan Kanal UNP (tw)} = 0,00435 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lebar sayap Kanal UNP (bf)} &= 0,03 \text{ m} \\
\text{Tebal sayap Kanal UNP (tf)} &= 0,00345 \text{ m} \\
\text{Luas profil Kanal UNP (Ag)} &= 3,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
\text{Luasan sambungan (Aw)} &= Ag \\
&= 3,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
\text{Kuat tarik kanal (P kanal)} &= \frac{Aw}{Ag} \cdot P \text{ Tarik} \\
&= \frac{3,94 \times 10^{-4}}{3,94 \times 10^{-4}} \cdot 68,19 \\
&= 68,19 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

b. Mencari diameter baut minimal terhadap kuat geser

Baut yang digunakan dalam mendesain sambungan bekisting baja ini adalah baut baja mutu bj37. Berikut ini adalah analisis perhitungan diameter baut:

$$\begin{aligned}
\text{Tegangan leleh baut (fyb)} &= 240 \text{ Mpa} \\
&= 24,46 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \\
\text{Tegangan putus baut (fub)} &= 370 \text{ Mpa} \\
&= 37,71 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \\
\text{Jumlah bidang geser (m)} &= 1 \\
\text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi_f) &= 0,75 \\
&\quad (\text{SNI 03-1729-2002 Hal.18}) \\
r1 \text{ untuk baut ulir bidang geser} &= 0,4
\end{aligned}$$

Mencari diameter baut:

$$\begin{aligned}
R_u &\leq \phi R_n \\
&\leq \phi m \cdot r1 \cdot fub \cdot A_b \\
&\leq \phi m \cdot r1 \cdot fub \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
d^2 &\geq \frac{R_u \cdot 4}{\phi \cdot m \cdot r1 \cdot \pi \cdot fub} \\
d_{\text{geser}} &\geq \sqrt{\frac{R_u \cdot 4}{\phi \cdot m \cdot r1 \cdot \pi \cdot fub}} \\
d_{\text{geser}} &\geq \sqrt{\frac{68,19 \cdot 4}{0,75 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot \pi \cdot 37,71 \times 10^6}} \\
d_{\text{geser}} &\geq 2,77 \times 10^{-3} \text{ m}
\end{aligned}$$

c. Mencari diameter baut minimal terhadap kuat tumpu

Setelah dihitung diameter baut terhadap kuat geser, selanjutnya adalah menghitung diameter baut terhadap kuat tumpu. Pada perhitungan kuat tumpu baut ini, ketebalan badan kanal UNP juga menjadi faktor kekuatan. Berikut ini adalah analisis perhitungan diameter baut:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan putus kanal (fuk)} &= 370 \text{ Mpa} \\ &= 37,71 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal badan kanal (tw)} &= 4,35 \text{ mm} \\ &= 0,00435 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi_f) = 0,75$$

Mencari diameter baut:

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n \\ &\leq \phi 2,4 \cdot tw \cdot fuk \cdot d \\ d_{\text{tumpu}} &\geq \frac{R_u}{\phi \cdot 2,4 \cdot tw \cdot fuk} \\ d_{\text{tumpu}} &\geq \frac{16,96}{0,75 \cdot 2,4 \cdot 0,00435 \cdot 37,71 \times 10^6} \\ d_{\text{tumpu}} &\geq 5,02 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

d. Diameter baut pakai

Diameter baut minimal yang diambil adalah diameter terbesar diantara nilai diameter yang didapatkan pada perhitungan diameter terhadap kuat geser kuat tumpu.

$$d_{\text{geser}} = 2,77 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{\text{tumpu}} = 5,02 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Nilai terbesar yang diambil adalah:

$$\text{diameter baut terbesar} = 2,77 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Menentukan diameter baut yang dipakai adalah dengan cara mengambil baut terkecil yang tersedia pada tabel daftar harga satuan dasar tenaga kerja, bahan dan alat didalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/PRT/M/2016 yaitu baut dengan diameter 10 mm.

Diameter baut yang dipakai adalah:

$$\begin{aligned} \text{diameter baut (db)} &= 10 \text{ mm} \\ &= 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

diameter baut (db) > diameter baut terbesar

$$0,01 \text{ m} > 1,96 \times 10^{-3} \text{ m} \longrightarrow \text{Aman nilai minimal diameter baut}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter lubang (dl)} &= db + \frac{1}{8} \\ &= 0,01 \text{ m} + \frac{1}{8} \text{ inchi} \\ &= 0,0132 \text{ m} \end{aligned}$$

## 2. Hitung Kuat Geser Baut

Setelah mendapatkan diameter baut yang dipakai, selanjutnya adalah menghitung kembali nilai kuat geser baut dengan adanya nilai diameter baut pakai. Berikut ini adalah analisis perhitungan kuat geser baut:

$$\text{Diameter baut (db)} = 0,01 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baut (fyb)} &= 240 \text{ Mpa} \\ &= 24,46 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan putus baut (fub)} &= 370 \text{ Mpa} \\ &= 37,71 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 baut (Ab)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,01^2 \\ &= 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi_f) = 0,75$$

$$\text{Jumlah bidang geser (m)} = 1$$

$$r_1 \text{ untuk baut ulir bidang geser} = 0,4$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser rencana 1 baut (Vd)} &= \phi_f \cdot m \cdot r_1 \cdot fub \cdot Ab \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 37,71 \times 10^6 \cdot 7,85 \times 10^{-5} \\ &= 888,01 \text{ Kg/baut} \end{aligned}$$

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$68,19 \text{ Kg} \leq 888,01 \text{ Kg} \longrightarrow \text{Aman terhadap geser baut}$$

### 3. Hitung Kuat Tumpu Baut

Perhitungan pada kuat tumpu baut ini, ketebalan badan kanal UNP juga menjadi faktor kekuatan. Tegangan runtuh yang dipilih adalah tegangan yang terkecil antara baut dengan kanal UNP. Berikut ini adalah analisis perhitungan kuat tumpu baut:

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter baut (db)} &= 0,01 \text{ m} \\
 \text{Tebal badan kanal (tw)} &= 4,35 \text{ mm} \\
 &= 0,00435 \text{ m} \\
 \text{Tegangan putus (fu)} &= 370 \text{ Mpa} \\
 &= 37,71 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \\
 \text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi_f) &= 0,75 \\
 \text{Kuat tumpu rencana 1 baut (Rd)} &= \phi_f \cdot 2,4 \cdot tw \cdot fu \cdot d \\
 &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 0,00435 \cdot 37,71 \times 10^6 \cdot 0,01 \\
 &= 3936,66 \text{ Kg/baut}
 \end{aligned}$$

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$68,19 \text{ Kg} \leq 3936,66 \text{ Kg} \longrightarrow \text{Aman terhadap tumpu baut}$$

### 4. Jumlah Baut Pakai

#### a. Kuat rencana baut

Analisis perhitungan jumlah baut pada sambungan memerlukan nilai kekuatan pada sambungan yang sudah dihitung sebelumnya. Kuat sambungan yang digunakan adalah kekuatan minimum diantara nilai kuat geser rencana dan kuat tumpu rencana baut.

$$\text{Kuat geser rencana baut (Vd)} = 888,01 \text{ Kg/baut}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut (Rd)} = 3936,66 \text{ Kg/baut}$$

Maka nilai kekuatan sambungan yang digunakan adalah:

$$\text{Kuat rencana baut (P baut)} = 888,01 \text{ Kg/baut}$$

#### b. Jumlah baut

Jumlah baut badan kanal UNP (N baut badan) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N \text{ baut badan} &= \frac{P_{\text{badan}}}{P_{\text{baut}}} \\
 &= \frac{68,19}{888,01} \\
 &= 0,077 \text{ baut}
 \end{aligned}$$

Nilai jumlah baut diatas kemudian dibulatkan keatas menjadi;

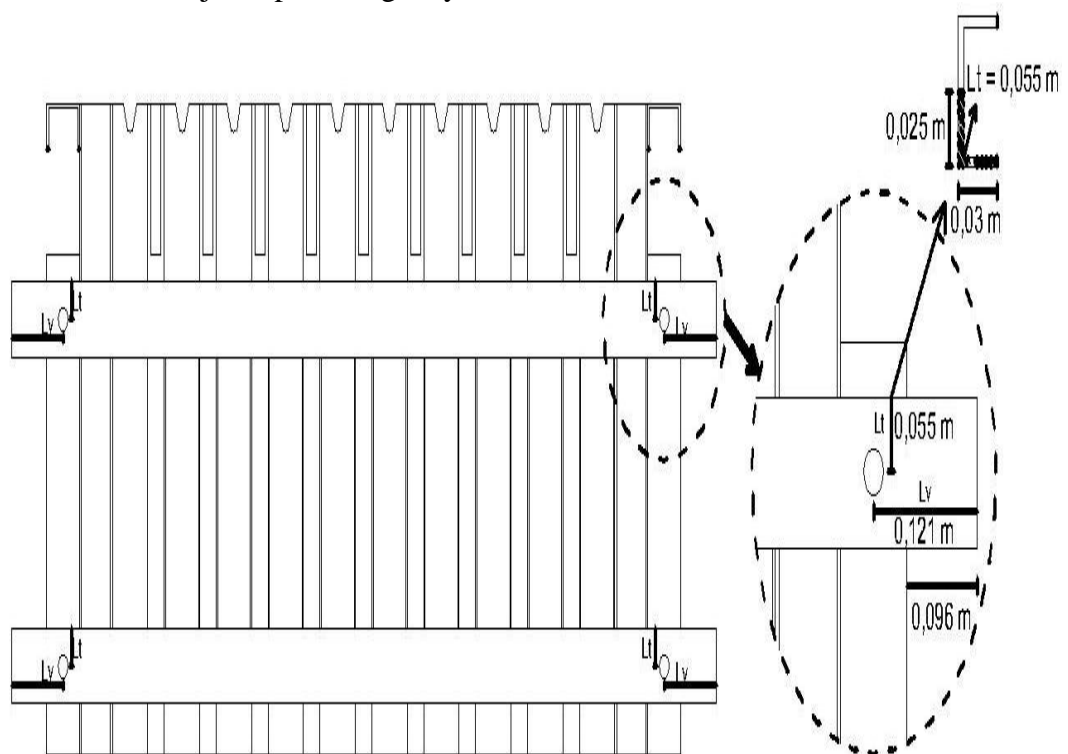
$$N \text{ baut badan} = 1 \text{ baut}$$

$$N \text{ lubang} = 1 \text{ lubang}$$

Maka didapatkan jumlah baut 1 buah dengan masing-masing ukuran baut  $\emptyset$  0,01 m dengan ukuran lubang  $\emptyset$  0,0132 m.

#### 5. Cek *Block Shear*

Pengecekan keamanan sambungan terhadap geser dan tarik pada pelat (dalam hal ini badan kanal) sambungannya (*block shear*) diperlukan untuk menghindari terjadinya gagal geser pada badan kanal terhadap baut. Adapun gambar 5.18 adalah gambar detail salah satu sambungan pada bekisting baja dan berikut disajikan perhitungannya:



Gambar 5.18 Detail sambungan baut pada bekisting baja

## a. Data Perencanaan

$$\text{Tinggi badan Kanal UNP (d)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Tebal badan Kanal UNP (tw)} = 0,00435 \text{ m}$$

$$\text{Lebar sayap Kanal UNP (bf)} = 0,03 \text{ m}$$

$$\text{Tebal sayap Kanal UNP (tf)} = 0,00345 \text{ m}$$

$$\text{Panjang lebihan Kanal UNP (l<sub>k</sub>)} = 0,096 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang baut geser/shear (L<sub>v</sub>)} &= l_k + \frac{d}{2} \\ &= 0,096 + \frac{0,05}{2} = 0,121 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang baut tarik/tension (L<sub>t</sub>)} &= \frac{d}{2} + \text{bf} \\ &= \frac{0,05}{2} + 0,03 = 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter lubang baut (dl)} = 0,0132 \text{ m}$$

## b. Mencari luas bruto sambungan

Luas bruto sambungan bentang geser/shear (A<sub>g v</sub>)

$$\begin{aligned} A_{g v} &= L_v \cdot t_w \\ &= 0,121 \cdot 0,00435 \\ &= 5,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas bruto sambungan bentang tarik/tension (A<sub>g t</sub>)

$$\begin{aligned} A_{g t} &= \left(\frac{d}{2} \cdot t_w\right) + (\text{bf} \cdot t_f) \\ &= \left(\frac{0,05}{2} \cdot 0,00435\right) + (0,03 \cdot 0,00345) \\ &= 2,12 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## c. Mencari luas netto sambungan

Sebelum dapat menghitung luas netto sambungan, terlebih dahulu menghitung panjang netto sambungan pada geser dan tarik (L<sub>n v</sub> dan L<sub>n t</sub>)

$$\begin{aligned} L_{n v} &= L_v - \left(\frac{1}{2} \cdot dl\right) \\ &= 0,121 - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,0132\right) \\ &= 0,1144 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_n t &= 0,055 - \left(\frac{1}{2} \cdot dl\right) \\
 &= 0,055 - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,0132\right) \\
 &= 0,0484 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung luas netto sambungan:

Luas netto sambungan bentang geser/*shear* ( $A_n v$ )

$$\begin{aligned}
 A_n v &= L_n v \cdot t_w \\
 &= 0,1144 \cdot 0,00435 \\
 &= 4,98 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Luas netto sambungan bentang tarik/*tension* ( $A_n t$ )

$$\begin{aligned}
 A_n t &= \left(\left(\frac{d}{2} - \left(\frac{1}{2} \cdot dl\right)\right) \cdot t_w\right) + (b_f \cdot t_f) \\
 &= \left(\left(\frac{0,05}{2} - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,0132\right)\right) \cdot 0,00435\right) + (0,03 \cdot 0,00345) \\
 &= 1,84 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

d. Mencari kekuatan *block shear* ( $R_n$ )

Nilai kekuatan patahan *block shear* ( $R_n$ ) dapat dicari menggunakan rumus apabila:

1)  $F_{u_k} \cdot A_n t \geq 0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v$ , maka nilai  $R_n$  adalah:

$$\phi R_n = \phi \cdot [(0,6 \cdot F_{y_k} \cdot A_g v) + (F_{u_k} \cdot A_n t)]$$

2)  $F_{u_k} \cdot A_n t < 0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v$ , maka nilai  $R_n$  adalah:

$$\phi R_n = \phi \cdot [(0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v) + (F_{y_k} \cdot A_g t)]$$

$$\begin{aligned}
 F_{u_k} \cdot A_n t &= 37,71 \times 10^6 \cdot 1,84 \times 10^{-4} \\
 &= 6922,87 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v &= 0,6 \cdot 37,71 \times 10^6 \cdot 4,98 \times 10^{-4} \\
 &= 11260,07 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 F_{u_k} \cdot A_n t &< 0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v \\
 6922,87 \text{ Kg} &< 11260,07 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \cdot [(0,6 \cdot F_{u_k} \cdot A_n v) + (F_{y_k} \cdot A_g t)] \\
 &= 0,75 \cdot [(0,6 \cdot 37,71 \times 10^6 \cdot 4,9 \times 10^{-4}) + (24,46 \times 10^6 \cdot 2,1 \times 10^{-4})] \\
 &= 12338,59 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Suatu sambungan dikatakan aman terhadap gagal geser apabila:

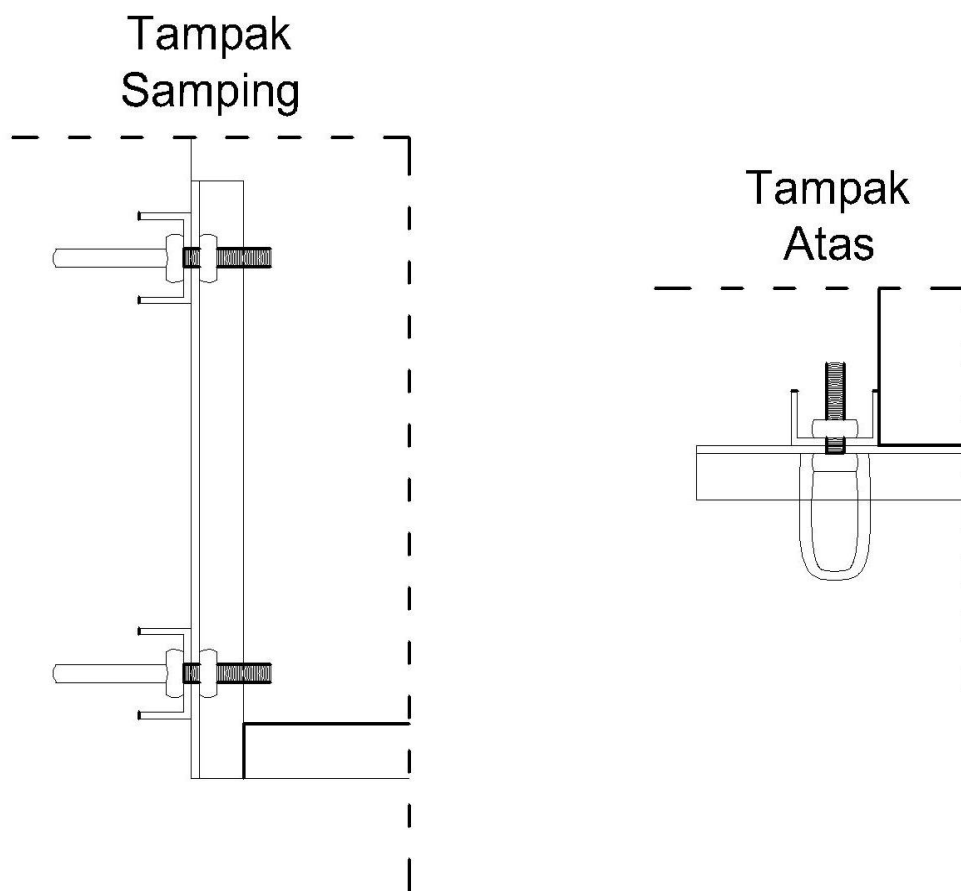
Kekuatan *block shear*  $> \frac{1}{4}$  Gaya aksial tarik batang

$\phi R_n > \frac{1}{4} P$  Tarik

12338,59 Kg  $> \frac{1}{4} 68,19 \text{ Kg}$

12338,59 Kg  $> 17,05 \text{ Kg} \longrightarrow \underline{\text{Aman}}$

Maka didapatkan desain sambungan baut untuk variasi 2 dengan jumlah baut 1 buah dengan ukuran baut  $\phi 0,01 \text{ m}$  dan ukuran lubang  $\phi 0,0132 \text{ m}$ . Gambar 5.19 menunjukkan detail sambungan baut terpasang pada bekisting perangkai dilihat tampak samping dan tampak atas bekisting.

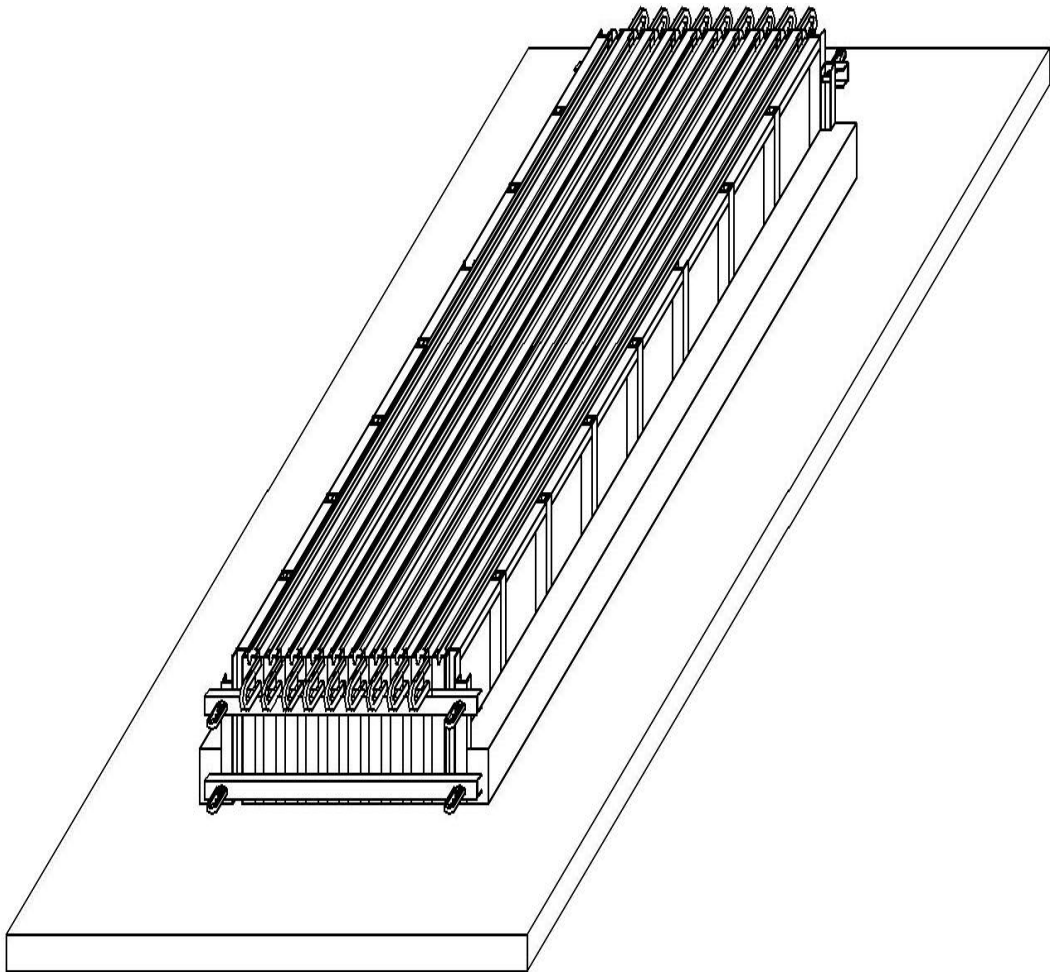


Gambar 5.19 Detail sambungan baut terpasang pada bekisting baja

## 5.4 CEK KEPRESISIAN KOMPONEN BEKISTING

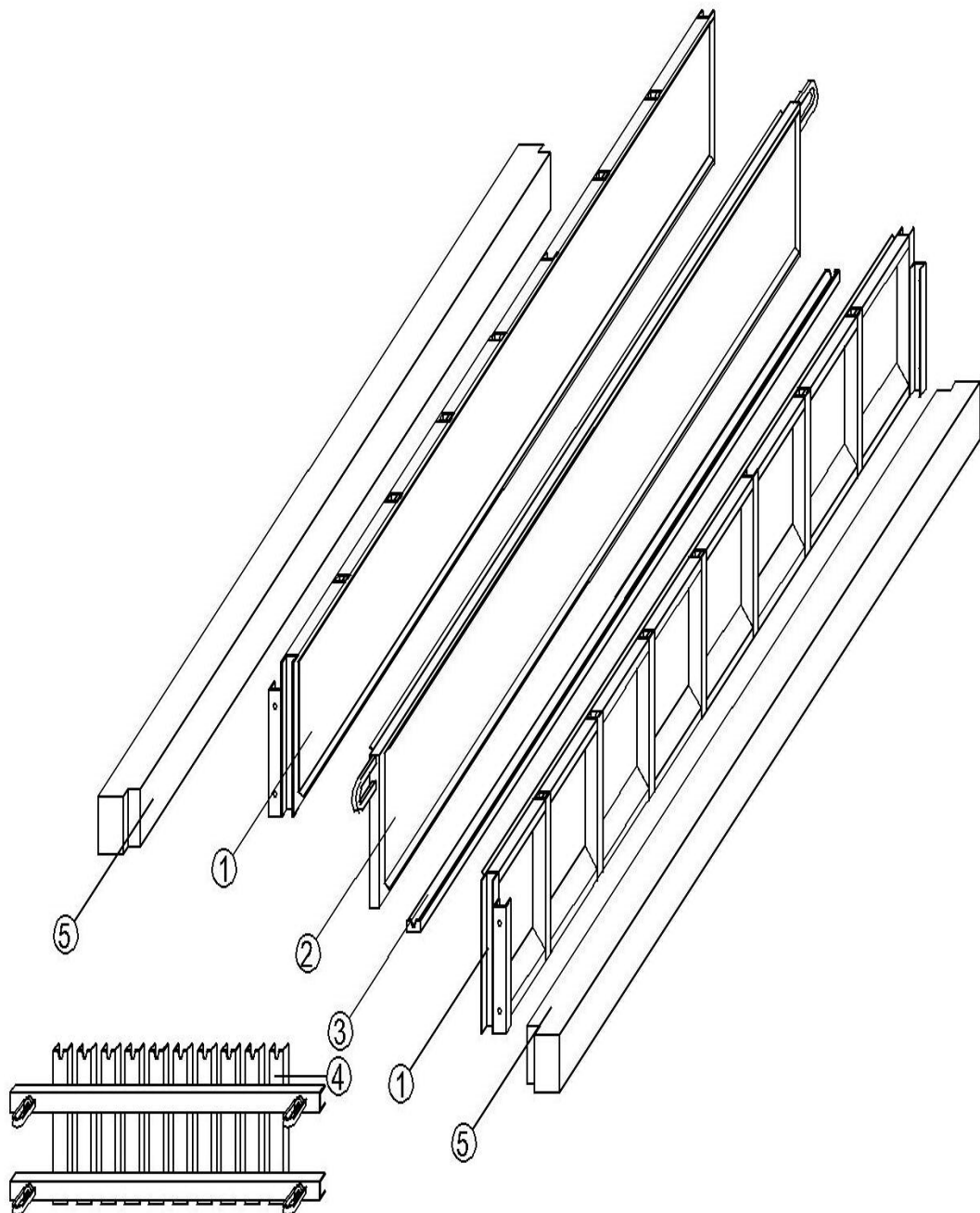
### 5.4.1. Ukuran Komponen Bekisting

Pengukuran tiap material yang digunakan untuk dijadikan komponen-komponen bekisting haruslah dilakukan dengan teliti. Ketelitian tersebut harus dilakukan untuk mengontrol ketepatan ukuran-ukuran tiap-tiap komponen agar dapat dirangkai sebagai sebuah bekisting yang utuh (dapat dilihat pada gambar 5.20). Adapun ukuran detail tiap-tiap komponen bekisting adalah sebagai berikut:



Gambar 5.20 Bekisting baja redesain

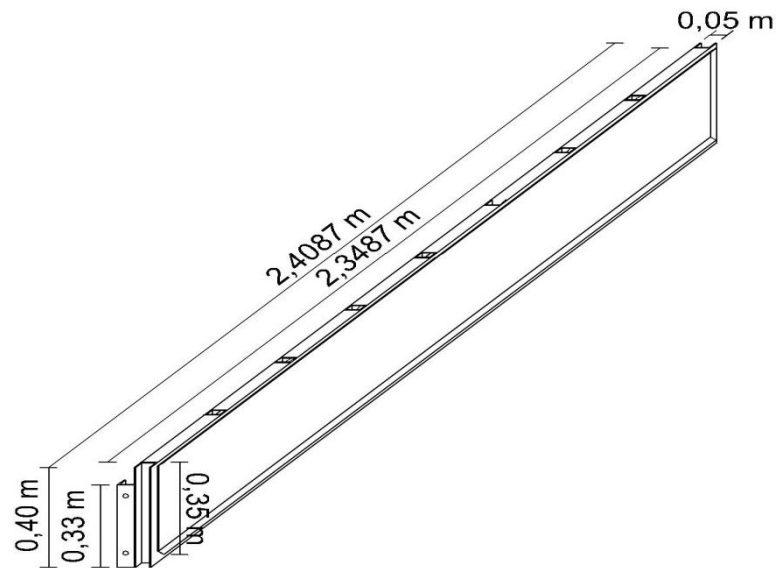
Komponen penyusun bekisting pagar *precast* pada gambar diatas komposisinya adalah sebagai berikut:



Gambar 5.21 Komponen bekisting redesain

#### 1. Bekisting Luar

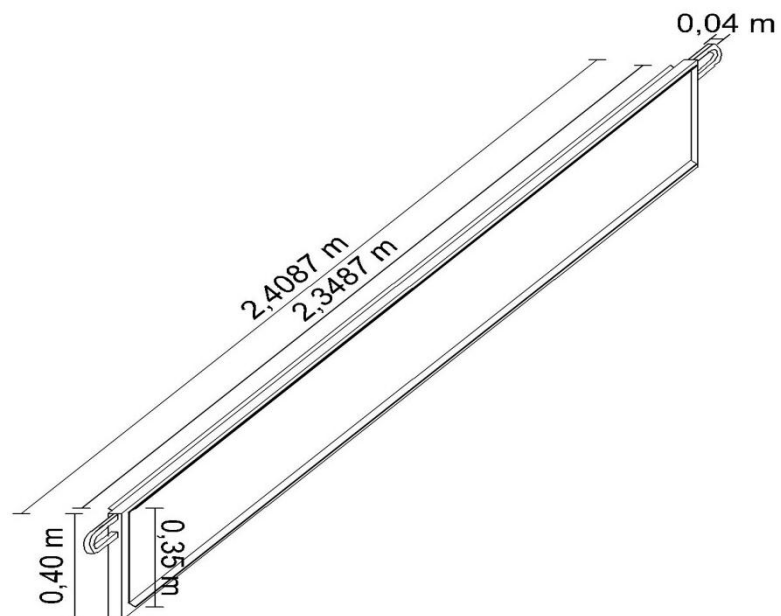
Bekisting luar adalah bagian dari bekisting yang berhubungan langsung dengan beton dan terletak pada sisi luar bekisting. Material yang digunakan adalah profil kanal UNP sebagai pengakunya dan pelat baja sebagai cetaknya. Berikut ukuran dari bekisting luar:



Gambar 5.22 Detail Ukuran Bekisting Luar

## 2. Bekisting Sekat

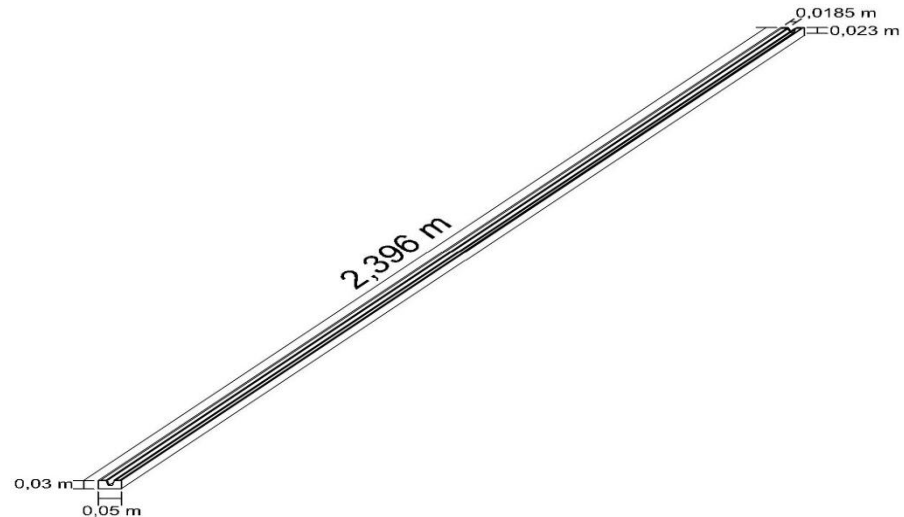
Bekisting sekat adalah bagian dari bekisting yang berhubungan langsung dengan beton dan terletak diantara 2 beton pada sisi dalam bekisting. Material yang digunakan adalah profil hollow sebagai pengakunya dan pelat baja sebagai cetakannya. Berikut ukuran dari bekisting sekat:



Gambar 5.23 Detail Ukuran Bekisting Sekat

### 3. Bekisting bawah

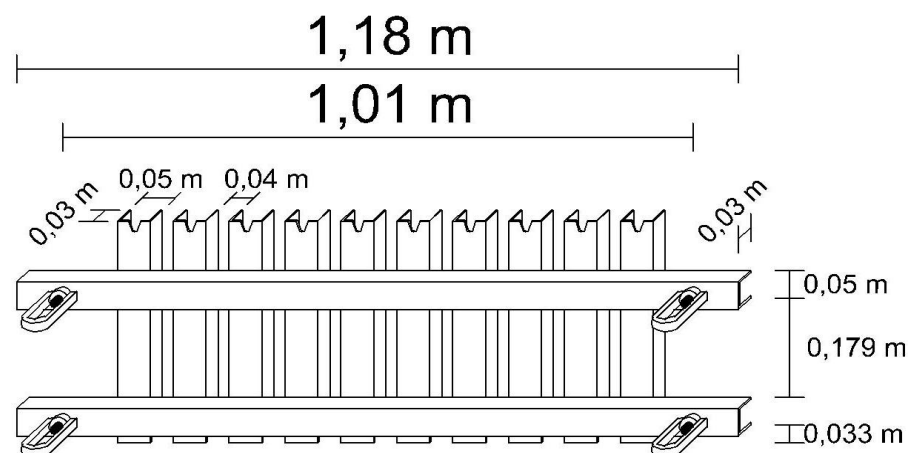
Bekisting bawah merupakan bekisting kontak yang ada pada arah vertikal dan terletak pada bawah cetakan beton. Material yang digunakan adalah profil Kanal UNP sebagai pengakunya dan pelat baja yang ditekuk sebagai cetakannya. Berikut ukuran dari bekisting bawah:



Gambar 5.24 Detail Ukuran Bekisting Bawah

### 4. Bekisting perangkai (pengikat)

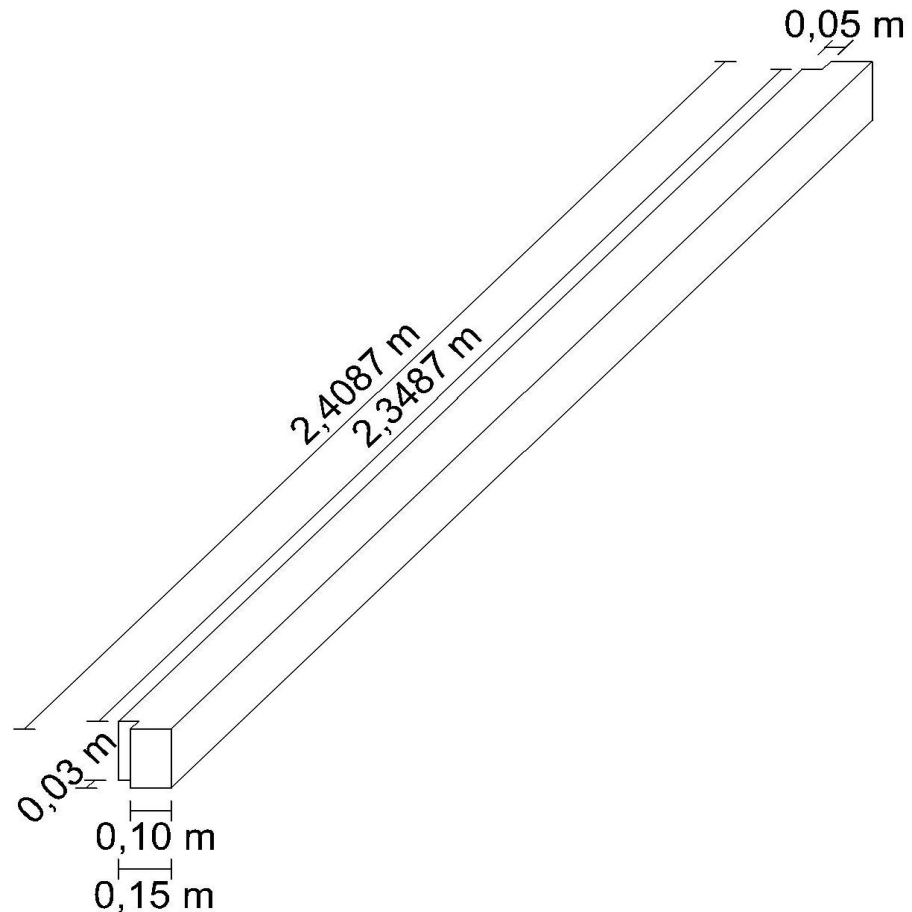
Bekisting perangkai (pengikat) merupakan komponen bekisting yang berfungsi menyatukan keseluruhan bagian bekisting agar tidak terjadi pergeseran atau perubahan posisi yang ditahan juga dengan adanya baut-baut. komponen bekisting ini juga berhubungan langsung dengan beton dan pemberi bentukan pada beton. Berikut ukuran dari bekisting perangkai (pengikat):



Gambar 5.25 Detail Ukuran Bekisting Perangkai

#### 5. Beton penjepit

Beton penjepit merupakan beton yang dibuat untuk menjadikan struktur bekisting lebih kaku dengan membuat tumpuan bekisting yang semula tumpuan sendi menjadi tumpuan jepit. Jenis beton yang dipakai pada beton penjepit adalah beton tidak bertulang. Berikut ukuran dari beton penjepit:



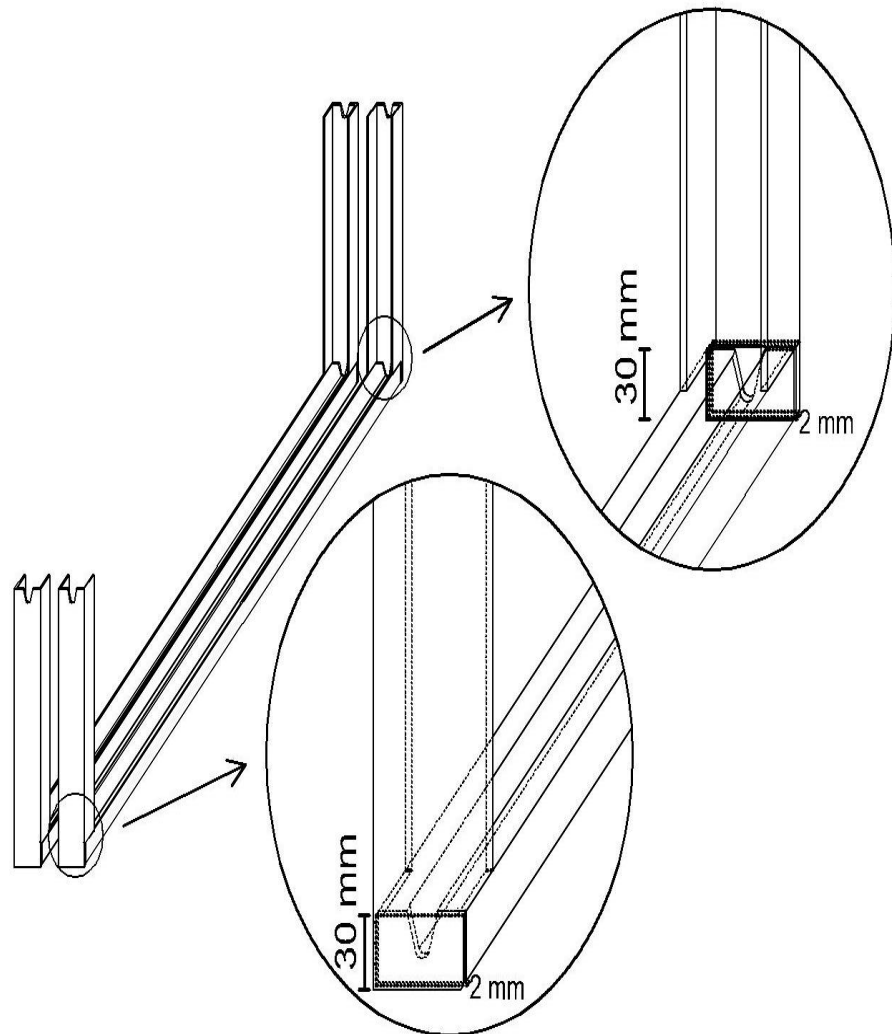
Gambar 5.26 Detail Ukuran Beton Penjepit

#### 5.4.2. Hubungan Antar Komponen Bekisting

Hubungan antar komponen bekisting memang sangat penting untuk diperhatikan. Setelah menentukan kepresisian komponen dalam rangka menjaga agar dalam perangkaian semua komponen dapat terpasang dengan pas. Dalam sub bab ini akan dibahas detail dari hubungan antar komponen bekisting yang juga dapat mempermudah dalam aplikasi bekisting dan menjadi penentuan bentuk beton nantinya. Berikut akan dijabarkan hubungan antar komponen bekisting:

### 1. Bekisting Perangkai dengan Bekisting Bawah

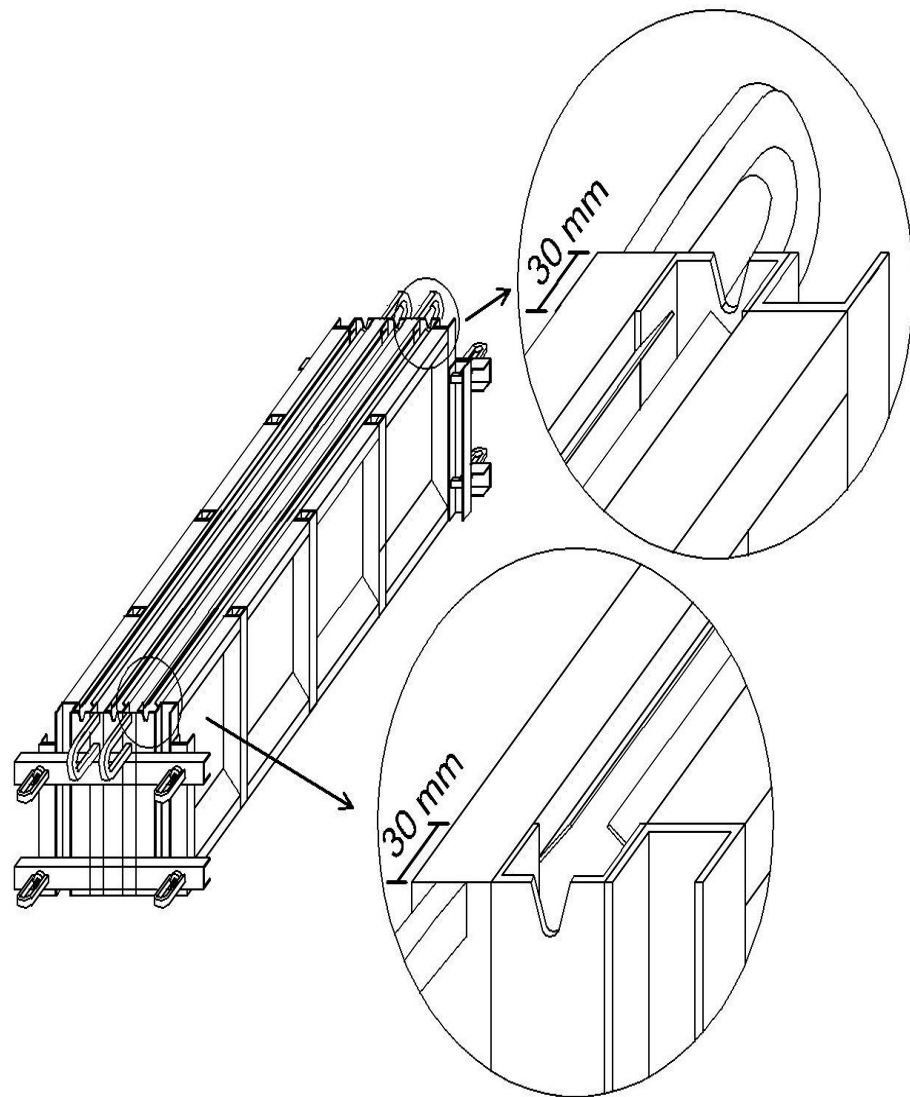
Pada bekisting perangkai, bagian bawah sayap kanal dipotong sepanjang 3 cm untuk celah masuknya bekisting bawah agar dapat menyatu. Bekisting perangkai dan bekisting bawah dipasang menyisakan celah pada bagian bawah untuk mengeluarkan kelebihan air pada beton setelah selesai pengecoran sepanjang 2 mm pada ujung-ujung bekisting bawah. Gambar 5.27 dapat dilihat hubungannya serta ukuran detailnya.



Gambar 5.27 Detail Hubungan Bekisting Perangkai dengan Bekisting Bawah

## 2. Bekisting Perangkai dengan Bekisting Luar dan Sekat

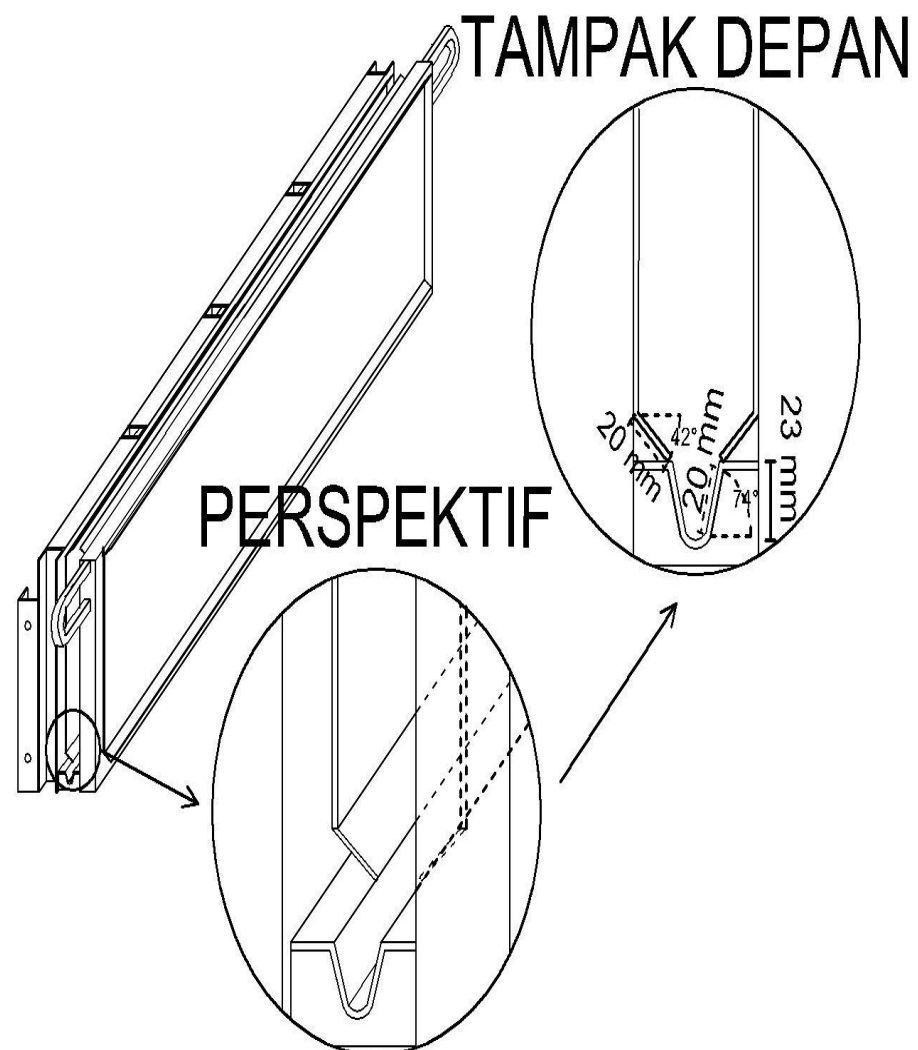
Bekisting perangkai dengan bekisting luar dan sekat dipasang dengan tidak ada celah dengan menghubungkan kanal UNP pada bekisting perangkai dengan kanal UNP pada bekisting luar, sedangkan bekisting dalam yang dihubungkan adalah batas antara hollow dan pelat dengan jarak 3cm dengan kanal UNP pada bekisting perangkai. Gambar 5.28 dapat dilihat hubungannya serta ukuran detailnya.



Gambar 5.28 Detail Hubungan Bekisting Perangkai dengan Bekisting Luar dan Sekat

### 3. Bekisting Bawah dengan Pelat pada Bekisting Luar dan Sekat

Hubungan bekisting bawah dengan bekisting luar dan bekisting sekat adalah pertemuan antara pelat baja pada bekisting luar dan sekat dengan pelat baja pada bekisting bawah. Bekisting bawah juga mempunyai pelat baja yang ditekuk sebagai pembentuk bagian bawah beton panel, ditekuk dengan sudut  $74^\circ$  sepanjang 2cm. Pelat pada bekisting luar dan sekat ditekuk bagian atas dan bawah nya, ditekuk dengan sudut  $42^\circ$  sepanjang 2 cm. Gambar 5.29 dapat dilihat hubungannya serta ukuran detailnya.



Gambar 5.29 Detail Hubungan Bekisting Bawah dengan Pelat pada Bekisting Luar dan Sekat

## **5.5 METODE PELAKSANAAN BEKISTING**

Menentukan metode pelaksanaan bekisting sangat penting dilakukan untuk memberikan kemudahan pada ranah pengplikasian saat proses pemasangan, pembongkaran, dan perawatan. Setiap langkah perlu dipertimbangkan dengan baik agar didapatkan kemudahan dan kecepatan dalam pelaksanaan bekisting.

### **5.5.1. Persiapan Bekisting**

Metode dalam pemasangan bekisting adalah sebagai berikut:

1. Selalu membersihkan komponen bekisting sebelum dipasang, pembersihan terhadap kotoran-kotoran (pasir, debu, tetesan beton, dll) pada sela-sela dan permukaan dinding bekisting. Kotoran pada dinding bekisting yang tidak dibersihkan dapat menimbulkan hasil beton tidak rapi, retak, bahkan kegagalan struktur.
2. Pembersihan lokasi kerja dari alat, material, dan sisa-sisa pengecoran beton.
3. Alat-alat yang digunakan: linggis, palu, sekop, besi untuk pemadatan, sendok bekisting.
4. Tenaga kerja yang digunakan minimal 3 orang (1 orang tukang, 2 orang pekerja)

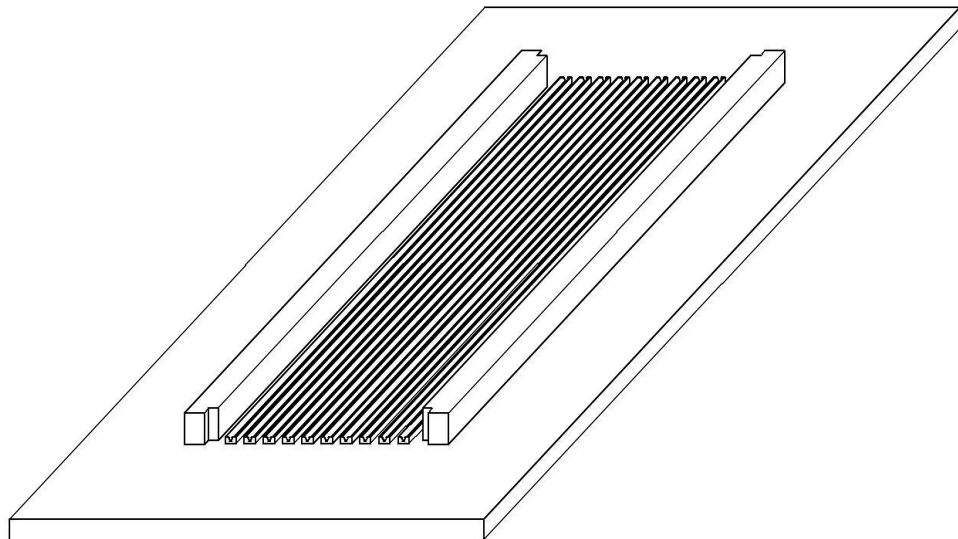
### **5.5.2. Pemasangan Bekisting**

Metode dalam pemasangan bekisting adalah sebagai berikut:

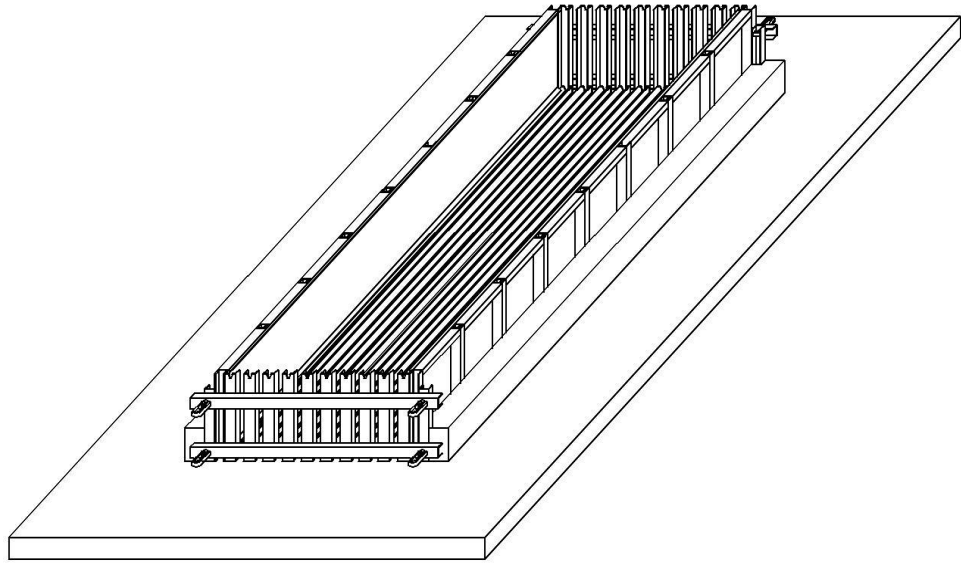
1. Selalu membersihkan bekisting sebelum dipasang, pembersihan terhadap kotoran-kotoran (pasir, debu, dll) pada sela-sela dan permukaan dinding bekisting. Kotoran pada dinding bekisting yang tidak dibersihkan dapat menimbulkan hasil beton tidak rapi, retak, bahkan kegagalan beton.
2. Bekisting bawah satu persatu diletakkan di permukaan lantai kerja dan disejajarkan diantara beton penjepit (lihat gambar).
3. Bekisting luar ditegakkan disamping beton penjepit kemudian diikat dengan beton perangkai pada ujung-ujungnya (lihat gambar)
4. Bekisting sekat selanjutnya dipasang satu persatu dari sisi ujung sampai ke sisi yang lainnya, pemasangan menyesuaikan garis (marka ukur)

yang telah dibuat sesuai dengan komponen-komponen yang berhubungan (lihat gambar).

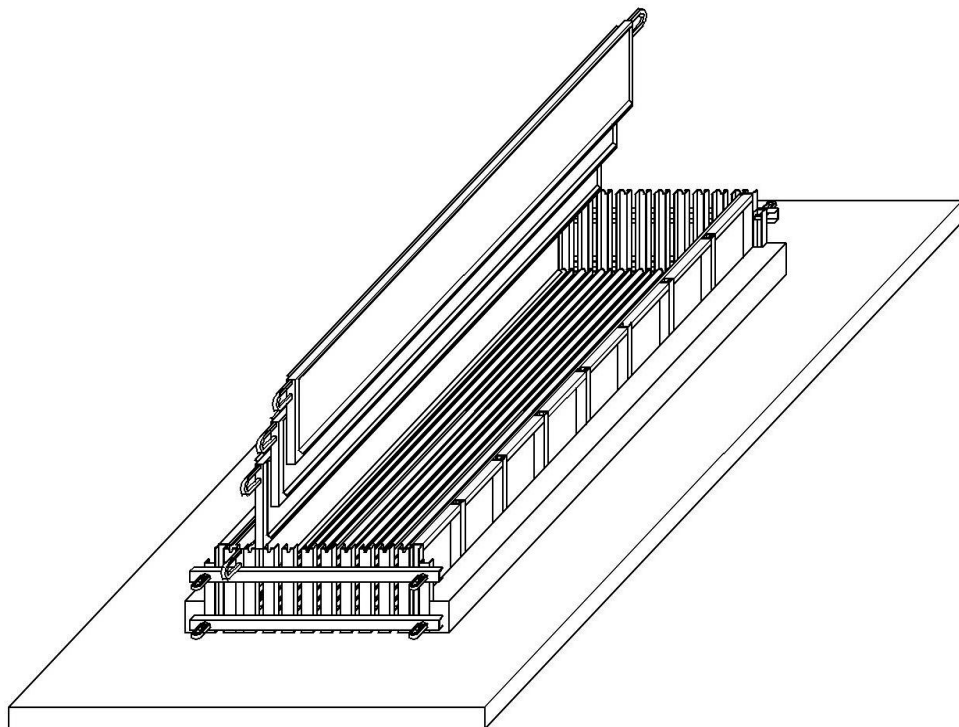
5. Cek posisi, ketegakan, dan kedataran, pastikan pada bagian bawah (bekisting bawah) disisakan rongga sebesar 2mm pada ujung-ujungnya untuk mempermudah keluarnya kelebihan air pada beton saat proses pengecoran selesai.
6. Kencangkan baut pada bekisting perangkai agar tidak terjadi geser antar komponen bekisting
7. Periksa kerapatan antar komponen bekisting yang sudah terpasang pada sisi samping sehingga tidak bocor pada saat pelaksanaan.
8. Sebelum pengecoran dilakukan, sisi dalam bekisting diminyaki dengan oli agar memudahkan proses pelepasan panel beton yang melekat pada bekisting.



Gambar 5.30 Bekisting bawah satu persatu diletakkan di permukaan lantai



Gambar 5.31 Bekisting luar ditegakkan dan diikat dengan bekisting perangkai



Gambar 5.32 Pemasangan bekisting sekat satu persatu

### 5.5.3. Pengecoran Bekisting

Metode dalam pemasangan bekisting adalah sebagai berikut:

1. Sebelum masuk pelaksanaan pengecoran pada bekisting, periksa apakah pembesian yang sudah dirakit sudah dipasang didalam bekisting
2. Pemasangan papan-papan untuk jalur masuk gerobak sorong;
3. Penuangan mortar beton ke bekisting
4. Pemadatan dilakukan oleh besi pemadatan agar adonan beton merata kesemua sisi bekisting
5. Pada saat penuangan mortar, tukang melakukan perataan beton guna menghindari terjadi kelebihan mortar dengan besi pemadatan dan kerataan permukaan bekisting dengan sekop.
6. Setelah permukaan beton rata, selanjutnya seluruh permukaan beton di buat bentuk v secara melintang untuk sambungan panel dengan menggunakan sendok bekisting (lihat gambar)



Gambar 5.33 Perataan beton (sisi dalam) dengan besi pemadatan



Gambar 5.34 Perataan permukaan bekisting dengan sekop



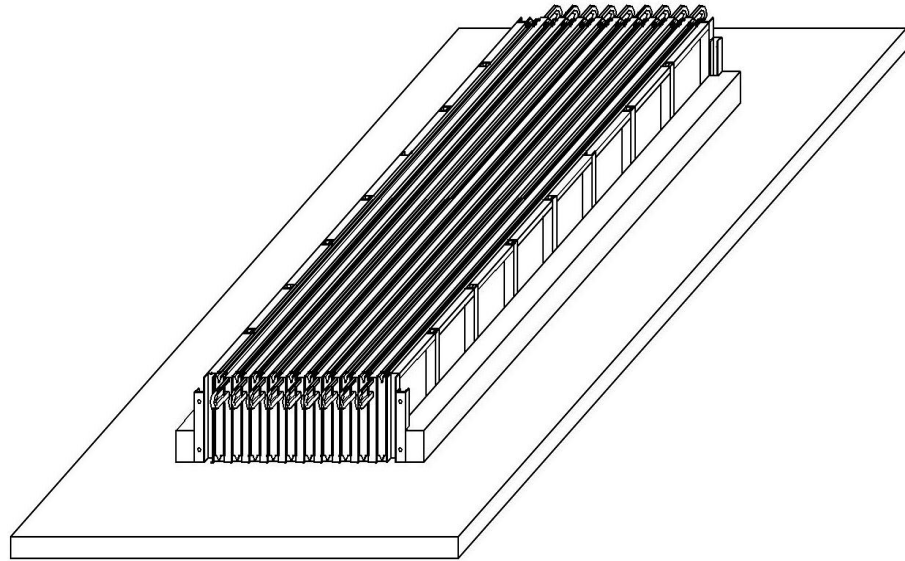
Gambar 5.35 Sendok Bekisting

#### 5.5.4. Pembongkaran Bekisting

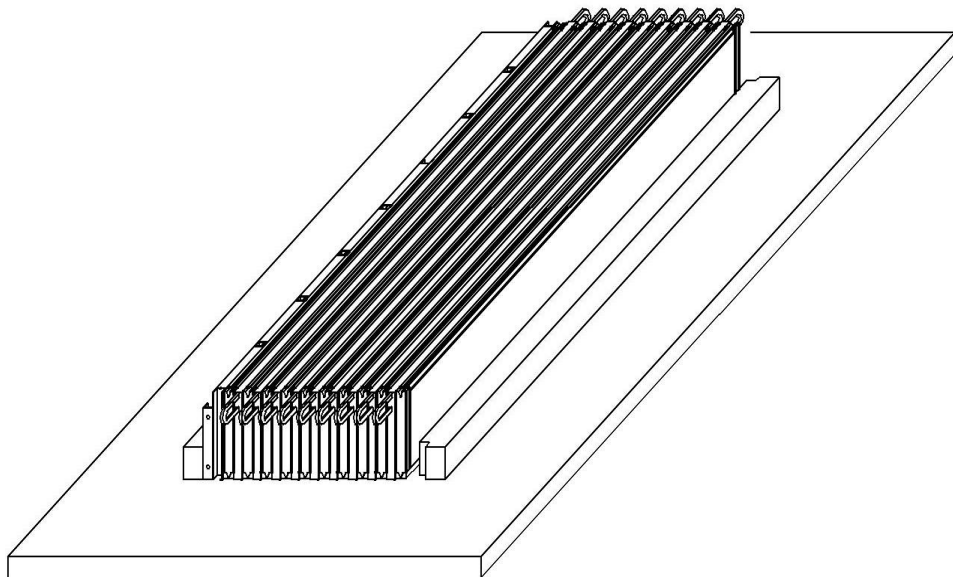
Metode dalam pemasangan bekisting adalah sebagai berikut:

1. Cek waktu pembongkaran bekisting disesuaikan dengan kondisi beton siap angkat.
2. Baut pada bekisting perangkai dilepaskan, kemudian bekisting perangkai dilepas satu persatu dari mulai ujung depan sampai ujung yang lain (lihat gambar).
3. Bekisting luar pada salah satu ujung dilepaskan (lihat gambar).
4. Setelah satu panel beton lepas, lanjutkan untuk sisi berikutnya dengan terlebih dahulu melepaskan satu bekisting sekat (lihat gambar).

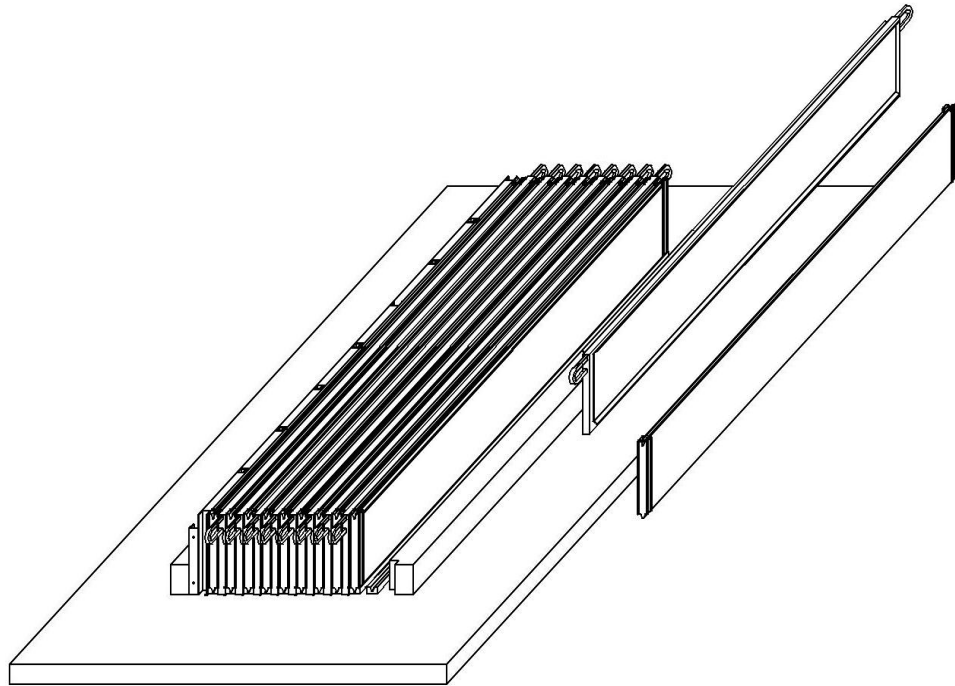
5. Pelepasan bekisting sekat dan panel beton diangkat satu persatu (seperti tahap 4) dengan hati-hati guna menghindari kerusakan pada permukaan beton.
6. Jika mengalami kesusahan dalam pelepasan beton pada bekisting sekat, batas antara beton dan bekisting sekat dicungkil secara perlahan sampai terbuka dan terlepas dari bekisting.
7. Penumpukkan beton dilakukan secara rapi pada tempat yang telah disediakan.



Gambar 5.36 Pelepasan bekisting perangkai



Gambar 5.37 Pelepasan bekisting luar



Gambar 5.38 Pelepasan panel beton dan bekisting sekat satu persatu

#### 5.5.5. Perawatan Bekisting

Metode dalam pemasangan bekisting adalah sebagai berikut:

1. Sebelum komponen-komponen bekisting ditumpuk, harus dibersihkan dahulu dari sisa-sisa pengecoran sebelum mengeras, setelah bersih langsung diminyaki dengan minyak bekisting atau oli (lihat gambar), baru ditumpuk.
2. Pada saat pemindahan semua komponen bekisting tidak boleh dijatuhkan atau dibanting
3. Bila ada komponen bekisting yang perlu tindakan *repair*, jangan ditunda, langsung harus dilakukan tindakan.



Gambar 5.39 Minyak bekisting dengan menggunakan oli

## 5.6 RENCANA ANGGARAN BEKISTING

Rencana anggaran bekisting yang dibahas adalah rencana anggaran bekisting *existing* dan bekisting variasi. Anggaran bekisting variasi yang ditampilkan adalah variasi yang paling optimal dari sisi struktur dan memenuhi persyaratan keamanan struktur metode LRFD. Pada tabel 5.4 dapat dilihat variasi aman dengan tebal pelat yang digunakan.

Tabel 5.4 Variasi aman dan tebal pelat yang digunakan

Variasi Aman	Jarak Antar Pengaku Melintang (m)	Jarak Antar Pengaku Memanjang (m)	Tebal Pelat (m)
<b>Variasi 2</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,0023</b>
Variasi 3	0,8	0,4	0,0023
Variasi 4	0,6	0,4	0,0023
<b>Variasi 5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,002</b>
Variasi 6	0,3	0,4	0,002

Variasi 2 dan variasi 5 diambil karena dalam perhitungan anggaran bekisting terdapat 2 variabel yang berpengaruh terhadap tingginya biaya yaitu; 1) jarak pengaku, dan 2) ketebalan pelat. Dilihat dari variabel jarak pengaku, bekisting variasi 2 adalah yang paling optimal karena semakin jauh jarak pengaku maka material yang digunakan semakin sedikit, dan jika dilihat dari variabel ketebalan pelat maka variasi 5 adalah yang paling optimal karena semakin tipis tebal pelat maka biaya yang dikeluarkan untuk material semakin sedikit (walaupun variasi 6 juga memiliki tebal yang sama, namun variasi 5 unggul di jarak pengaku). Maka dari itu, variasi 2 dan variasi 5 diasumsikan sebagai bekisting yang paling optimal dari segi struktur untuk selanjutnya dijabarkan perhitungan rencana anggaran bekisting.

### 5.6.1. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting *Existing*

Biaya pelaksanaan bekisting merupakan total dari biaya pekerjaan-pekerjaan dalam pelaksanaan pembuatan satu set bekisting. Pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan pada pelaksanaan bekisting adalah pekerjaan bekisting luar, pekerjaan bekisting sekat, pekerjaan bekisting perangkai, pekerjaan bekisting bawah, dan landasan. Berikut tahapan perhitungan biaya pelaksanaan bekisting *existing*:

## 1. Perhitungan volume pekerjaan

Desain bekisting yang ada di PT. Powercon Jaya Utama menggunakan komponen utama yaitu: profil kanal UNP, hollow, dan pelat hitam. Bekisting pada gambar 5.9 dapat dihitung volume dari tiap item pekerjaan. Berikut ini hasil perhitungan volume dari tiap-tiap pekerjaan bekisting dan dirangkum dalam tabel 5.5, tabel 5.6, dan tabel 5.7 secara berturut-turut sebagai berikut:

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting

Pekerjaan	Material	Volume	Sat.	Jumlah Bekisting	Total Volume	Sat.
Bekisting Luar	Kanal UNP	9,58	m	2	19,16	m
	Plat Hitam	0,91	m <sup>2</sup>		1,82	m <sup>2</sup>
	Las	198	cm		396	cm
Bekisting Sekat	Hollow	6,09	m	9	54,83	m
	Plat Hitam	1,82	m <sup>2</sup>		16,38	m <sup>2</sup>
	Handle	0,50	m		4,50	m
	Las	82	cm		738	cm
Bekisting Perangkai	Kanal UNP	6,15	m	2	12,31	m
	Baut	4	buah		8	buah
	Las	120	cm		240	cm
Bekisting Bawah	Kanal UNP	2,40	m	10	23,96	m
	Plat Hitam	0,21	m <sup>2</sup>		2,10	m <sup>2</sup>
	Las	18	cm		180	cm
Landasan	Kanal UNP	8,54	m	1	8,54	m
	Las	48	cm		48	cm

Tabel 5.6 Berat Material (Kg)

Material	Panjang/btg/lmbr (m)	Lebar/lmbr (m)	Berat/btg/lmbr (kg)
Kanal UNP	6	-	14
Hollow	6	-	15,98
Plat Hitam 2mm	2,4	1,2	46,70
Besi Beton Ø 10 mm	12	-	7,40

Tabel 5.7 Volume Pekerjaan Total Bekisting Existing

NO	PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
I	PEKERJAAN BEKISTING LUAR		
1	Pekerjaan Kanal UNP	44,70	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	29,52	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	396	cm
II	PEKERJAAN BEKISTING SEKAT		
1	Pekerjaan Hollow	145,99	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	265,68	kg
3	Pekerjaan Handle Bekisting	2,78	kg
4	Pekerjaan Pengelasan	738	cm

Lanjutan Tabel 5.7 Volume Pekerjaan Total Bekisting *Existing*

NO	PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
III	PEKERJAAN BEKISTING PERANGKAI		
1	Pekerjaan Kanal UNP	28,72	kg
2	Pekerjaan Baut	8	buah
3	Pekerjaan Pengelasan	240	Cm
IV	PEKERJAAN BEKISTING BAWAH		
1	Pekerjaan Kanal UNP	55,91	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	34,07	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	180	Cm
V	PEKERJAAN LANDASAN		
1	Pekerjaan Kanal UNP	19,93	kg
2	Pekerjaan Pengelasan	48	cm

## 2. Perhitungan harga satuan pekerjaan

Perhitungan harga satuan pekerjaan diambil dari data sekunder yaitu mengacu pada Standar Nasional Indonesia, Satuan Harga Barang dan Jasa Daerah Yogyakarta tahun 2015, dan pihak lain untuk mendapatkan indeks dan biaya tenaga kerja, upah, dan alat. Berikut merupakan harga satuan dari pekerjaan bekisting *existing*.

- a. Mengerjakan 10 cm pengelasan dengan las listrik. Perhitungan harga pengelasan dengan las listrik dapat dilihat pada tabel 5.8 dibawah ini:

Tabel 5.8 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan pengelasan

10 cm pengelasan dengan las listrik					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,04	Rp 52.100	Rp 2.084
	Tukang Besi	OH	0,02	Rp 61.000	Rp 1.220
	Kepala Tukang	OH	0,002	Rp 63.000	Rp 126
	Mandor	OH	0,002	Rp 65.000	Rp 130
B	Bahan				
	Kawat Las	Kg	0,4	Rp 16.000	Rp 6400
	Solar	Liter	0,3	Rp 5.150	Rp 1.545
	Minyak Pelumas	Liter	0,04	Rp 10.000	Rp 400
C	Alat				
	Sewa Alat	Jam	0,17	Rp 75.000	Rp 12.750
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 24.655
					Rp 2.466/cm

- b. Memasang 1 kg besi profil plat hitam. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk plat hitam 2 mm dapat dilihat pada tabel 5.9 dibawah ini:

Tabel 5.9 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2 mm

1 kg besi profil plat hitam 2 mm					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 9.797	Rp 11.266
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 18.751

- c. Memasang 1 kg besi profil kanal UNP. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk kanal UNP dapat dilihat pada tabel 5.10 dibawah ini:

Tabel 5.10 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil kanal UNP

1 kg besi profil kanal UNP					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 7.143	Rp 8.214
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 15.699

- a. Memasang 1 kg besi profil hollow. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk hollow dapat dilihat pada tabel 5.11 berikut ini:

Tabel 5.11 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil hollow

1 kg besi profil hollow					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 5.945	Rp 6.837
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 14.322

### 3. Rencana anggaran bekisting *existing*

Volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan diperoleh jumlah harga untuk setiap item pekerjaan. Anggaran biaya pekerjaan bekisting didapat dari hasil total harga setiap pekerjaan. Berikut ini rencana anggaran biaya bekisting *existing* pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rencana Anggaran Biaya Bekisting *Existing*

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan		Jumlah Harga
			Sat	Harga Sat.	
I	Pekerjaan Bekisting Luar				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	396	cm	Rp 2.466	Rp 976.338
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	44,70	kg	Rp 15.699	Rp 701.716
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	29,52	kg	Rp 18.751	Rp 553.528
Sub Total					Rp 2.231.583
II	Pekerjaan Bekisting Sekat				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	738	cm	Rp 2.466	Rp 1.819.539
	Pemasangan besi profil (hollow)	145,99	kg	Rp 14.322	Rp 2.090.844
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	265,68	kg	Rp 18.751	Rp 4.981.756
	Pemasangan pegangan bekisting	2,78	kg	Rp 8.784	Rp 24.375
Sub Total					Rp 8.892.139

Lanjutan Tabel 5.12 Rencana Anggaran Biaya Bekisting *Existing*

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan		Jumlah Harga
			Sat	Harga Sat.	
III	Pekerjaan Bekisting Perangkai				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	240	cm	Rp 2.466	Rp 591.720
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	28,72	kg	Rp 15.699	Rp 450.892
	Pemasangan baut	8	bh	Rp 4.500	Rp 36.000
Sub Total					Rp 1.042.612
IV	Pekerjaan Bekisting Bawah				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	180	cm	Rp 2.466	Rp 443.790
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	55,91	kg	Rp 15.699	Rp 877.695
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	34,07	kg	Rp 18.751	Rp 638.905
Sub Total					Rp 1.960.390
V	Pekerjaan Landasan				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	48	cm	Rp 2.466	Rp 118.344
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	19,93	kg	Rp 15.699	Rp 312.834
Sub Total					Rp 431.178
Total Biaya					<b>Rp 14.557.902</b>

### 5.6.2. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting Variasi 2

Biaya pelaksanaan bekisting merupakan total dari biaya pekerjaan-pekerjaan dalam pelaksanaan pembuatan satu set bekisting. Pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan pada pelaksanaan bekisting adalah pekerjaan bekisting luar, pekerjaan bekisting sekat, pekerjaan bekisting perangkai, pekerjaan bekisting bawah, dan lantai kerja. Berikut tahapan perhitungan biaya pelaksanaan bekisting redesain:

#### 1. Perhitungan volume pekerjaan

Desain bekisting redesain menggunakan komponen utama yaitu: profil kanal UNP, hollow, dan pelat hitam. Bekisting pada gambar 5.12 dapat dihitung volume dari tiap item pekerjaan. Berikut ini hasil perhitungan volume dari tiap-tiap pekerjaan bekisting dan dirangkum dalam tabel 5.13, tabel 5.14, dan tabel 5.15 secara berturut-turut sebagai berikut:

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Variasi 2

Pekerjaan	Material	Volume	Sat.	Jumlah Bekisting	Total Volume	Sat.
Bekisting Luar	Kanal UNP	6,492	m	2	12,98	m
	Plat Hitam	0,91	m <sup>2</sup>		1,82	m <sup>2</sup>
	Las	120	cm		240	cm
Bekisting Sekat	Hollow	6,612	m	9	59,51	m
	Plat Hitam	1,82	m <sup>2</sup>		16,38	m <sup>2</sup>
	Handle	0,5	m		4,50	m
	Las	112	cm		1008	cm
Bekisting Perangkai	Kanal UNP	6,504	m	2	13,01	m
	Baut	4	buah		8	buah
	Las	120	cm		240	cm
Bekisting Bawah	Kanal UNP	2,396	m	10	23,96	m
	Plat Hitam	0,210	m <sup>2</sup>		2,10	m <sup>2</sup>
	Las	18	cm		180	cm
Lantai	Beton	0,923	m <sup>3</sup>	1	0,923	m <sup>3</sup>

Tabel 5.14 Berat Material (Kg)

Material	Panjang/btg/lmbr (m)	Lebar/lmbr (m)	Berat/btg/lmbr (kg)
Kanal UNP	6	-	14
Hollow	6	-	15,98
Plat Hitam 2,3 mm	2,4	1,2	54
Besi Beton Ø 10 mm	12	-	7,40

Tabel 5.15 Volume Pekerjaan Total Bekisting Variasi 2

NO	PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
<b>I</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING LUAR</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	30,30	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	34,13	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	240	cm
<b>II</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING SEKAT</b>		
1	Pekerjaan Hollow	158,45	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	307,21	kg
3	Pekerjaan Handle Bekisting	2,78	kg
4	Pekerjaan Pengelasan	1008	cm
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING PERANGKAI</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	30,35	kg
2	Pekerjaan Baut	8	buah
3	Pekerjaan Pengelasan	240	cm
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING BAWAH</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	55,91	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	39,40	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	180	cm
<b>V</b>	<b>PEKERJAAN LANTAI KERJA</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	0,923	m <sup>3</sup>

## 2. Perhitungan harga satuan pekerjaan

Perhitungan harga satuan pekerjaan diambil dari data sekunder yaitu mengacu pada Standar Nasional Indonesia, Satuan Harga Barang dan Jasa Daerah Yogyakarta tahun 2015, dan pihak lain untuk mendapatkan indeks dan biaya tenaga kerja, upah, dan alat. Berikut merupakan harga satuan dari pekerjaan bekisting variasi 2.

- a. Mengerjakan 10 cm pengelasan dengan las listrik. Perhitungan harga satuan pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik dapat dilihat pada tabel 5.16 dibawah ini:

Tabel 5.16 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik

<b>10 cm pengelasan dengan las listrik</b>					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,04	Rp 52.100	Rp 2.084
	Tukang Besi	OH	0,02	Rp 61.000	Rp 1.220
	Kepala Tukang	OH	0,002	Rp 63.000	Rp 126
	Mandor	OH	0,002	Rp 65.000	Rp 130
B	Bahan				
	Kawat Las	Kg	0,4	Rp 16.000	Rp 6400
	Solar	Liter	0,3	Rp 5.150	Rp 1.545
	Minyak Pelumas	Liter	0,04	Rp 10.000	Rp 400
C	Alat				
	Rp 12.750	Jam	0,17	Rp 75.000	Rp 12.750
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 24.655
					Rp 2.466/cm

- b. Memasang 1 kg besi profil plat hitam. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk plat hitam 2,3 mm dapat dilihat pada tabel 5.17 dibawah ini:

Tabel 5.17 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2,3 mm

<b>1 kg besi profil plat hitam 2,3 mm</b>					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780

Lanjutan Tabel 5.17 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2,3 mm

1 kg besi profil plat hitam 2,3 mm					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 9.583	Rp 11.021
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 18.506

- c. Memasang 1 kg besi profil kanal UNP. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk kanal UNP dapat dilihat pada tabel 5.18 dibawah ini:

Tabel 5.18 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil kanal UNP

1 kg besi profil kanal UNP					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Rp 8.214	Kg	1,15	Rp 7.143	Rp 8.214
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 15.699

- b. Memasang 1 kg besi profil hollow. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk hollow dapat dilihat pada tabel 5.19 dibawah ini:

Tabel 5.19 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil hollow

1 kg besi profil hollow					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195

Lanjutan Tabel 5.19 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil hollow

1 kg besi profil hollow					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
B	Bahan				
	Rp 6.837	Kg	1,15	Rp 5.945	Rp 6.837
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 14.322

### 3.Rencana anggaran bekisting variasi 2

Volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan diperoleh jumlah harga untuk setiap item pekerjaan. Anggaran biaya pekerjaan bekisting didapat dari hasil total harga setiap pekerjaan. Berikut ini rencana anggaran biaya bekisting variasi 2 pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Rencana Anggaran Biaya Bekisting Variasi 2

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan		Jumlah Harga
			Sat	Harga Sat.	
I	Pekerjaan Bekisting Luar				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	240	cm	Rp 2.466	Rp 591.720
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	30,30	kg	Rp 15.699	Rp 475.626
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2,3mm)	34,13	kg	Rp 18.506	Rp 631.684
Sub Total					Rp 1.699.029
II	Pekerjaan Bekisting Sekat				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	1008	cm	Rp 2.466	Rp 2.485.224
	Pemasangan besi profil (hollow)	158,45	kg	Rp 14.322	Rp 2.269.314
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2,3mm)	307,21	kg	Rp 18.506	Rp 5.685.153
	Pemasangan pegangan bekisting	2,78	kg	Rp 8.784	Rp 24.375
Sub Total					Rp 10.439.691
III	Pekerjaan Bekisting Perangkai				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	240	cm	Rp 2.466	Rp 591.720
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	30,35	kg	Rp 15.699	Rp 476.505
	Pemasangan baut	8	kg	Rp 4.500	Rp 36.000
Sub Total					Rp 1.068.225

Lanjutan Tabel 5.20 Rencana Anggaran Biaya Bekisting Variasi 2

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan		Jumlah Harga
			Sat	Harga Sat.	
IV	Pekerjaan Bekisting Bawah				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	180	cm	Rp 2.466	Rp 443.790
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	55,91	kg	Rp 15.699	Rp 877.695
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2,3mm)	39,40	kg	Rp 18.506	Rp 729.115
Sub Total					Rp 2.050.600
V	Pekerjaan Lantai Kerja				
	Pengerjaan beton K100 lantai kerja	0,92	m <sup>3</sup>	Rp 602.754	Rp 556.565
Sub Total					Rp 556.565.00
Total Biaya					<b>Rp15.814.109</b>

### 5.6.3. Analisis Biaya Pekerjaan Bekisting Variasi 5

Biaya pelaksanaan bekisting merupakan total dari biaya pekerjaan-pekerjaan dalam pelaksanaan pembuatan satu set bekisting. Pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan pada pelaksanaan bekisting adalah pekerjaan bekisting luar, pekerjaan bekisting sekat, pekerjaan bekisting perangkai, pekerjaan bekisting bawah, dan lantai kerja. Berikut tahapan perhitungan biaya pelaksanaan bekisting redesain:

#### 1. Perhitungan volume pekerjaan

Desain bekisting redesain menggunakan komponen utama yaitu: profil kanal UNP, hollow, dan pelat hitam. Bekisting pada gambar 5.15 dapat dihitung volume dari tiap item pekerjaan. Berikut ini hasil perhitungan volume dari tiap-tiap pekerjaan bekisting dan dirangkum dalam tabel 5.21, tabel 5.22, dan tabel 5.23 secara berturut-turut sebagai berikut:

Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Variasi 5

Pekerjaan	Material	Volume	Sat.	Jumlah Bekisting	Total Volume	Sat.
Bekisting Luar	Kanal UNP	7,792	m	2	15,58	m
	Plat Hitam	0,91	m <sup>2</sup>		1,82	m <sup>2</sup>
	Las	192	cm		384	cm
Bekisting Sekat	Hollow	8,052	m	9	72,47	m
	Plat Hitam	1,82	m <sup>2</sup>		16,38	m <sup>2</sup>
	Handle	0,5	m		4,50	m

Lanjutan Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting  
Variasi 5

Pekerjaan	Material	Volume	Sat.	Jumlah Bekisting	Total Volume	Sat.
	Las	196	cm		1764	cm
Bekisting Perangkai	Kanal UNP	6,504	m	2	13,01	m
	Baut	4	buah		8	buah
	Las	120	cm		240	cm
Bekisting Bawah	Kanal UNP	2,396	m	10	23,96	m
	Plat Hitam	0,21	m <sup>2</sup>		2,10	m <sup>2</sup>
	Las	18	cm		180	cm
Lantai	Beton	0,923	m <sup>3</sup>	1	0,923	m <sup>3</sup>

Tabel 5.22 Berat Material (Kg)

Material	Panjang/btg/lmbr (m)	Lebar/lmbr (m)	Berat/btg/lmbr (kg)
Kanal UNP	6	-	14
Hollow	6	-	15,98
Plat Hitam 2 mm	2,4	1,2	46,70
Besi Beton Ø 10 mm	12	-	7,40

Tabel 5.23 Volume Pekerjaan Total Bekisting Variasi 5

NO	PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
<b>I</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING LUAR</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	36,36	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	29,52	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	384	cm
<b>II</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING SEKAT</b>		
1	Pekerjaan Hollow	192,96	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	265,68	kg
3	Pekerjaan Handle Bekisting	2,78	kg
4	Pekerjaan Pengelasan	1764	cm
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING PERANGKAI</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	30,35	kg
2	Pekerjaan Baut	8	buah
3	Pekerjaan Pengelasan	240	cm
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING BAWAH</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	55,91	kg
2	Pekerjaan Plat Hitam	34,07	kg
3	Pekerjaan Pengelasan	180	cm
<b>V</b>	<b>PEKERJAAN LANTAI KERJA</b>		
1	Pekerjaan Kanal UNP	0,923	m <sup>3</sup>

## 2. Perhitungan harga satuan pekerjaan

Perhitungan harga satuan pekerjaan diambil dari data sekunder yaitu mengacu pada Standar Nasional Indonesia, Satuan Harga Barang dan

Jasa Daerah Yogyakarta tahun 2015, dan pihak lain untuk mendapatkan indeks dan biaya tenaga kerja, upah, dan alat. Berikut merupakan harga satuan dari pekerjaan bekisting variasi 5.

- a. Mengerjakan 10 cm pengelasan dengan las listrik. Perhitungan harga satuan pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik dapat dilihat pada tabel 5.24 dibawah ini:

Tabel 5.24 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan 10 cm pengelasan dengan las listrik

10 cm pengelasan dengan las listrik					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,04	Rp 52.100	Rp 2.084
	Tukang Besi	OH	0,02	Rp 61.000	Rp 1.220
	Kepala Tukang	OH	0,002	Rp 63.000	Rp 126
	Mandor	OH	0,002	Rp 65.000	Rp 130
B	Bahan				
	Kawat Las	Kg	0,4	Rp 16.000	Rp 6400
	Solar	Liter	0,3	Rp 5.150	Rp 1.545
	Minyak Pelumas	Liter	0,04	Rp 10.000	Rp 400
C	Alat				
	Sewa Alat	Jam	0,17	Rp 75.000	Rp 12.750
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 24.655
					Rp 2.466/cm

- b. Memasang 1 kg besi profil plat hitam. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk plat hitam 2 mm dapat dilihat pada tabel 5.25 dibawah ini:

Tabel 5.25 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil plat hitam 2 mm

1 kg besi profil plat hitam 2 mm					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 9.797	Rp 11.266
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 18.751

- c. Memasang 1 kg besi profil kanal UNP. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk kanal UNP dapat dilihat pada tabel 5.26 dibawah ini:

Tabel 5.26 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil kanal UNP

1 kg besi profil kanal UNP					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 7.143	Rp 8.214
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 15.699

- c. Memasang 1 kg besi profil hollow. Perhitungan harga satuan pekerjaan pemasangan 1 kg profil untuk hollow dapat dilihat pada tabel 5.27 berikut ini:

Tabel 5.27 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan 1 kg besi profil hollow

1 kg besi profil hollow					
no	uraian	sat.	indeks	harga satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,06	Rp 52.100	Rp 3.126
	Tukang Las	OH	0,06	Rp 63.000	Rp 3.780
	Kepala Tukang	OH	0,006	Rp 64.000	Rp 384
	Mandor	OH	0,003	Rp 65.000	Rp 195
B	Bahan				
	Besi Profil	Kg	1,15	Rp 5.945	Rp 6.837
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp 14.322

### 3. Rencana anggaran bekisting variasi 5

Volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan diperoleh jumlah harga untuk setiap item pekerjaan. Anggaran biaya pekerjaan bekisting didapat dari hasil total harga setiap pekerjaan. Berikut ini rencana anggaran biaya bekisting variasi 5 pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Rencana Anggaran Biaya Bekisting Variasi 5

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan		Jumlah Harga
			Sat	Harga Sat.	
I	Pekerjaan Bekisting Luar				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	384	cm	Rp 2.466	Rp 946.752
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	36,36	kg	Rp 15.699	Rp 570.868
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	29,52	kg	Rp 18.751	Rp 553.528
Sub Total					Rp 2.071.148
II	Pekerjaan Bekisting Sekat				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	1764	cm	Rp 2.466	Rp 4.349.142
	Pemasangan besi profil (hollow)	192,96	kg	Rp 14.322	Rp 2.763.538
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	265,68	kg	Rp 18.751	Rp 4.981.756
	Pemasangan pegangan bekisting	2,78	kg	Rp 8.784	Rp 24.375
Sub Total					Rp 12.094.436
III	Pekerjaan Bekisting Perangkai				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	240	cm	Rp 2.466	Rp 591.720
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	30,35	kg	Rp 15.699	Rp 476.505
	Pemasangan baut	8	kg	Rp 4.500	Rp 36.000
	Sub Total				
IV	Pekerjaan Bekisting Bawah				
	Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	180	cm	Rp 2.466	Rp 443.790
	Pemasangan besi profil (kanal UNP)	55,91	kg	Rp 15.699	Rp 877.695
	Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	34,07	kg	Rp 18.751	Rp 638.905
Sub Total					Rp 1.960.390
V	Pekerjaan Lantai Kerja				
	Pengerjaan beton K100 lantai kerja	0,92	m <sup>3</sup>	Rp 602.754	Rp 556.565
	Sub Total				
Total Biaya					<b>Rp 17.750.764</b>

#### 5.6.4. Perbandingan Biaya

Hasil analisis pada rencana anggaran biaya bekisting pada tabel 5.12, 5.20, 5.28, selanjutnya dirangkum dalam tabel 5.29 untuk dibandingkan biaya antara rencana anggaran biaya bekisting *existing*, bekisting variasi 2, dan bekisting

variasi 5. Hasil perbandingan biaya bekisting baja *existing*, bekisting baja variasi 2 dan bekisting baja variasi 5 dapat dilihat pada tabel 5.29 berikut ini:

Tabel 5.29 Perbandingan Hasil Analisis Biaya Bekisting Baja *Existing*, Variasi 2, dan Variasi 5

	<b>Bekisting Baja</b>		
	<i>Existing</i>	Variasi 2	Variasi 5
<b>Pekerjaan Bekisting Luar</b>			
Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	Rp 976.338	Rp 591.720	Rp 946.752
Pemasangan besi profil (kanal UNP)	Rp 701.716	Rp 475.626	Rp 570.868
Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	Rp 553.528	Rp 631.684	Rp 553.528
Jumlah biaya bekisting luar	Rp 2.231.583	Rp 1.699.029	Rp 2.071.148
Selisih biaya bekisting luar	-	Rp (532.553)	Rp (160.434)
<b>Pekerjaan Bekisting Sekat</b>			
Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	Rp 1.819.539	Rp 2.485.224	Rp 4.349.142
Pemasangan besi profil (hollow)	Rp 2.090.844	Rp 2.269.314	Rp 2.763.538
Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	Rp 4.981.756	Rp 5.685.153	Rp 4.981.756
Pemasangan pegangan bekisting	Rp 24.375	Rp 24.375	Rp 24.375
Jumlah biaya bekisting sekat	Rp 8.892.139	Rp 10.439.691	Rp 12.094.436
Selisih biaya bekisting sekat	-	Rp 1.547.552	Rp 3.202.297
<b>Pekerjaan Bekisting Perangkai</b>			
Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	Rp 591.720	Rp 591.720	Rp 591.720
Pemasangan besi profil (kanal UNP)	Rp 450.892	Rp 476.505	Rp 476.505
Pemasangan baut	Rp 36.000	Rp 36.000	Rp 36.000
Jumlah biaya bekisting perangkai	Rp 1.042.612	Rp 1.068.225	Rp 1.068.225
Selisih biaya bekisting perangkai	-	Rp 25.613	Rp 25.613
<b>Pekerjaan Bekisting Bawah</b>			
Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	Rp 443.790	Rp 443.790	Rp 443.790
Pemasangan besi profil (kanal UNP)	Rp 877.695	Rp 877.695	Rp 877.695
Pemasangan besi profil (plat hitam 2mm)	Rp 638.905	Rp 729.115	Rp 638.905

Lanjutan Tabel 5.29 Perbandingan Hasil Analisis Biaya Bekisting Baja *Existing*,  
Variasi 2 dan Variasi 5

	<b>Bekisting Baja</b>		
	<i>Existing</i>	Variasi 2	Variasi 5
Jumlah biaya bekisting bawah	Rp 1.960.390	Rp 2.050.600	Rp 1.960.390
Selisih biaya bekisting bawah	-	Rp 90.210	-
<b>Pekerjaan Landasan</b>			
Pengerjaan pengelasan dengan las listrik	Rp 118.344	-	-
Pemasangan besi profil (kanal UNP)	Rp 312.834	-	-
Jumlah biaya bekisting bawah	Rp 431.178	-	-
Selisih biaya bekisting bawah	Rp 431.178	-	-
<b>Pekerjaan Lantai Kerja</b>			
Pengerjaan beton K100 lantai kerja	-	Rp 556.565	Rp 556.565
Jumlah biaya lantai kerja	-	Rp 556.565	Rp 556.565
Selisih biaya lantai kerja	-	Rp 556.565	Rp 556.565
<b>Total Biaya</b>	<b>Rp 14.557.902</b>	<b>Rp 15.814.109</b>	<b>Rp 17.750.764</b>
<b>Selisih Biaya Total</b>	<b>-</b>	<b>Rp 1.256.207</b>	<b>Rp 3.192.862</b>
<b>Perbandingan</b>	<b>100%</b>	<b>108,6%</b>	<b>123,6%</b>

## 5.7 PEMBAHASAN

Hasil dari analisis akan dibahas deskriptif serta melihat bagaimana hasil penelitian terhadap tujuan penelitian. Penelitian dari segi struktur menggunakan 4 macam pembebanan yaitu beban beton, beban pekerja, beban gerobak sorong, dan beban pemadatan. Material struktur yang digunakan dalam perhitungan struktur bekisting menggunakan 3 macam profil yaitu profil kanal UNP, profil hollow, dan profil plat hitam. Pemodelan bekisting *existing* didapatkan hasil struktur tidak aman terhadap defleksi plat dengan nilai 0,1467 m lebih besar dari defleksi izinnnya yaitu 0,00167 m. Selanjutnya dibuatlah pemodelan dengan 6 variasi yang masing variasi mempunyai jarak pengaku yang berbeda-beda. Keenam variasi tersebut dapat dilihat pada tabel 5.30 beserta status keamanan struktur dari masing-masing variasi tersebut.

Tabel 5.30 Daftar Variasi Struktur Bekisting Redesain

Variasi	Jarak Antar Pengaku Melintang (m)	Jarak Antar Pengaku Memanjang (m)	Status Keamanan Struktur
Variasi 1	2,4	0,4	Tidak Aman
Variasi 2	1,2	0,4	Aman
Variasi 3	0,8	0,4	Aman
Variasi 4	0,6	0,4	Aman
Variasi 5	0,4	0,4	Aman
Variasi 6	0,3	0,4	Aman

Status aman didapatkan dalam perhitungan variasi 2, variasi 3, variasi 4, variasi 5, dan variasi 6. Selanjutnya dihitung kembali kelima variasi aman terhadap tebal plat yang diperkecil, sampai seberapa kecil tebal plat yang mampu membuat kelima struktur variasi diatas menuju batas tidak aman. Tabel 5.31 dapat dilihat batas aman struktur bekisting variasi terhadap pengecilan ketebalan struktur.

Tabel 5.31 Ketebalan Pelat pada Tiap Variasi Bekisting Redesain

Variasi Aman	Tebal Pelat (m)
Variasi 2	0,0023
Variasi 3	0,0023
Variasi 4	0,0023
Variasi 5	0,002
Variasi 6	0,002

Variasi 2 dan variasi 5 diambil untuk selanjutnya dibandingkan biaya dengan bekisting *existing* karena kedua variasi tersebut menunjukkan keoptimalan hasil struktur. Hasil perbandingan biaya antara bekisting *existing*, variasi 2, dan variasi 5 secara berturut-turut mempunyai perbandingan 100% : 108,6% : 123,6% dengan biaya pekerjaan bekisting *existing* sebesar Rp 14.557.902, biaya pekerjaan bekisting variasi 2 sebesar Rp 15.814.109, dan bekisting variasi 5 sebesar Rp 17.750.764. Selisih antara masing-masing variasi tersebut dengan bekisting *existing* adalah sebesar Rp 1.256.207 untuk bekisting variasi 2 dan Rp 3.192.862 untuk bekisting variasi 5. Desain bekisting redesain menunjukkan kelebihan yaitu produk bekisting lebih terjamin kualitasnya dari segi kekuatan dan kekakuan struktur daripada desain bekisting *existing* karena tidak memenuhi persyaratan perencanaan struktur baja.

Pada perhitungan harga satuan didasarkan pada Analisa Harga Satuan yang dibuat oleh BSN (Badan Standarisasi Nasional) maupun dari survey harga di lapangan. Pada pekerjaan bekisting *existing* dengan bekisting redesain, analisis harga satuan pekerjaan yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia 7393:2008 tentang *Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan besi dan aluminium untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan* dan Standar Nasional Indonesia 7394:2008 tentang *Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*.

## **BAB VI**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 SIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa desain bekisting variasi 2 yang menggunakan jarak antar pengaku melintang 1,2 m dan pengaku memanjang 0,4 m dengan tebal plat 0,0023 m adalah desain yang paling optimal dari segi kekuatan, kekakuan, dan biaya. Biaya pekerjaan bekisting baja redesain lebih besar daripada pekerjaan bekisting *existing* yaitu sebesar Rp 15.814.109 untuk bekisting variasi 2, Rp 17.750.764 untuk bekisting variasi 5, dan Rp 14.557.902 untuk bekisting *existing*. Meskipun biaya pada pekerjaan bekisting baja redesain lebih mahal daripada bekisting *existing*, akan tetapi variasi 2 adalah desain yang optimal karena desain bekisting *existing* tidak memenuhi standar dalam perencanaan struktur baja metode LRFD dan (dari segi biaya) keoptimalan biaya tidak berarti harus mendapatkan biaya yang minimal.

#### **6.2 SARAN**

Beberapa saran yang perlu disampaikan peneliti sebagai berikut ini:

1. Berdasarkan hasil simpulan di atas, pihak PT. Powercon Jaya Utama atau Produsen pagar panel beton pracetak mengikuti desain ini untuk mendapatkan bekisting yang optimal dari segi kekuatan, kekakuan, dan biaya.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan bentuk-bentuk bekisting baja lain yang berbeda penggunaan dan/atau metode pelaksanaan bekistingnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jadoty, S. (2014, September 4). *Metode Penelitian*. Dipetik Juli 2, 2015, dari <http://suhaibijaya.blogspot.com>:  
<http://suhaibijaya.blogspot.com/2014/09/bab-iii-metode-penelitian-a.html>
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan besi dan Aluminium untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan. *Standar Nasional Indonesia* (hal. 3-4). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan . *Standar Nasional Indonesia* (hal. 3). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Burhanudin, A. (2013, Mei 21). *Metodologi Penelitian Data dan Variabel Penelitian*. Dipetik Juli 2, 2015, dari [afidburhanuddin.wordpress.com](http://afidburhanuddin.wordpress.com):  
<https://afidburhanuddin.wordpress.com/2013/05/21/data-dan-variabel-penelitian/>
- Cisca. (2009, Maret ). *Akurasi dan Presisi*. Dipetik Mei 16, 2017, dari Simple Sistem Quality Management System Journal:  
<https://simpleqs.wordpress.com/2009/03/24/akurasi-dan-presisi/2/>
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung . *Standar Nasional Indonesia* (hal. 10-11, 99-101). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dessi, F. (2011, November 2). *Pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB)*. Dipetik Mei 13, 2017, dari Finda's Blog:  
<http://findadessi.blogspot.co.id/2011/11/pengertian-rencana-anggaran-biaya-rab.html>
- Dewi, S. M. (2007, September 12). *Prof Sri Murni Dewi: Perpaduan kekakuan, kekuatan, dan daktilitas*. Dipetik Mei 18, 2017, dari Prasetya Online:  
<https://prasetya.ub.ac.id/berita/Prof-Sri-Murni-Dewi-Perpaduan-Kekakuan-Kekuatan-dan-Daktilitas-7928-id.html>
- Dharma, B. (2010). Form Work / Bekisting Pada Bangunan Gedung Bertingkat. *GEMA TEKNOLOGI Vol. 16* , Vol. 16 No. 1.

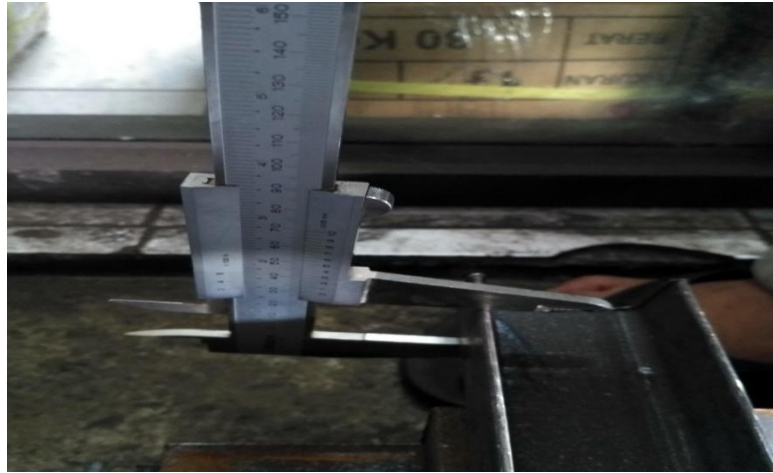
- Ervianto, W. I. (2006). Cetakan Beton. Dalam W. I. Ervianto, *Eksplorasi Teknologi Dalam Proyek Konstruksi Beton Pracetak dan Bekisting* (hal. 125-131). Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Fathoni, I. (2015). *Korelasi Bahan dan Upah Tenaga Kerja Terhadap RAB pada Proyek Rumah Tipe 45 di Komplek Perumahan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Febrian, A., Rahmawati, F., & Eka, Y. (2013). *Analisa Biaya dan Waktu Bekisting Metode Konvensional dengan Sistem PERI pada Proyek Puncak Kertajaya Apartemen*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hady, M. (2013, Februari 1). *Defleksi/Lendutan*. Dipetik Mei 18, 2017, dari Dunia Teknik Sipil: <http://munirulhady.blogspot.co.id/2013/02/defleksilendutan.html>
- Hardiyatmo, H. C. (2003). Tekanan Tanah Lateral. Dalam H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II* (hal. 184-205). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- ilmutekniksipil.com. (2012, November 16). *Jenis-jenis bekisting*. Dipetik Mei 9, 2017, dari [ilmutekniksipil.com](http://www.ilmutekniksipil.com): <http://www.ilmutekniksipil.com/bekisting/jenis-jenis-bekisting>
- Maulina, I. (2008). Skripsi. *Kajian Perbandingan Rumah Tinggal Sederhana Dengan Menggunakan Bekisting Baja Terhadap Metode Konvensional Dari Sisi Metode Konstruksi dan Kekuatan Struktur*, 17-35.
- Oktaviany, R. (2013, September 14). *Sipil*. Dipetik Juni 3, 2015, dari Scribd: <https://www.scribd.com/doc/168141403/sipil>
- Panca Jaya Machinery. (2011, September 2011). *Mesin Konstruksi*. Dipetik Mei 13, 2017, dari Panca Jaya Machinery : <http://pancajaya.blogspot.co.id/2011/09/agricultural-machinery.html>
- PT. Cakracon Semesta. (2015, Mei 22). *Pagar Panel Beton*. Dipetik Juli 23, 2015, dari PT. Cakracon Semesta: <http://materialpagarbeton.com/uncategorized/pagar-beton-panel-2/>

- Setiawan, A. (2008). Konsep Dasar LRFD. Dalam A. Setiawan, *Perencanaann Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua* (hal. 5-6). Semarang: Erlangga.
- Setiawan, A. (2008). Sambungan Baut. Dalam A. Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)* (hal. 3). Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, I. (2014, Februari 12). *PERI Bekisting Formwor and Scaffolding*. Dipetik Agustus 2, 2015, dari <http://peribeksiting.blogspot.com/http://3.bp.blogspot.com/-1mBN50ybsH0/Uvrpt7GOe2I/AAAAAAAAAIw/7CQeERjIJqk/s1600/Papierfabrik-Palm-PERI-03.jpg>
- SNI 03-1729-2002. (2002). Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. *Standar Nasional Indonesia* (hal. 15 ). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Syah, I. (2014, Agustus 8). *Pekerjaan Bekisting* . Dipetik Agustus 2, 2015, dari [sukamabar.blogspot.com: http://sukamabar.blogspot.com/2014/08/pekerjaan-bekisting.html](http://sukamabar.blogspot.com/http://sukamabar.blogspot.com/2014/08/pekerjaan-bekisting.html)
- Uberlin. (2015, 5 4). *PPPPTK VEDC Malang*. Dipetik 7 9, 2015, dari [www.vedcmalang.com: http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/departemen-bangunan-30/1498-ubr](http://www.vedcmalang.com/http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/departemen-bangunan-30/1498-ubr)
- Widiyanga, M. A. (2013, Februari 24). *Metode Perencanaan ASD, Plastis, dan LRFD*. Dipetik Mei 18, 2017, dari [amriwidiyanga.blogspot: http://amriwidiyanga.blogspot.co.id/2013/02/metode-perencanaan-asd-plastis-dan-lrfd.html](http://amriwidiyanga.blogspot.co.id/2013/02/metode-perencanaan-asd-plastis-dan-lrfd.html)
- Wigbout, F. (1992). Perencanaan. Dalam F. W. Ing., *Buku Pedoman Tentang Bekisting (Kotak Cetak)* (hal. 105-128). Jakarta: Erlangga.
- Zacoeb, A. (2014, Mei 2014). *Sambungan Baut (Bolt Connection)*. Dipetik Mei 12, 2017, dari [zacoeb.lecture.ub.ac.id: zacoeb.lecture.ub.ac.id/files/2014/10/9-Baut.pdf](http://zacoeb.lecture.ub.ac.id/zacoeb.lecture.ub.ac.id/files/2014/10/9-Baut.pdf)

# LAMPIRAN

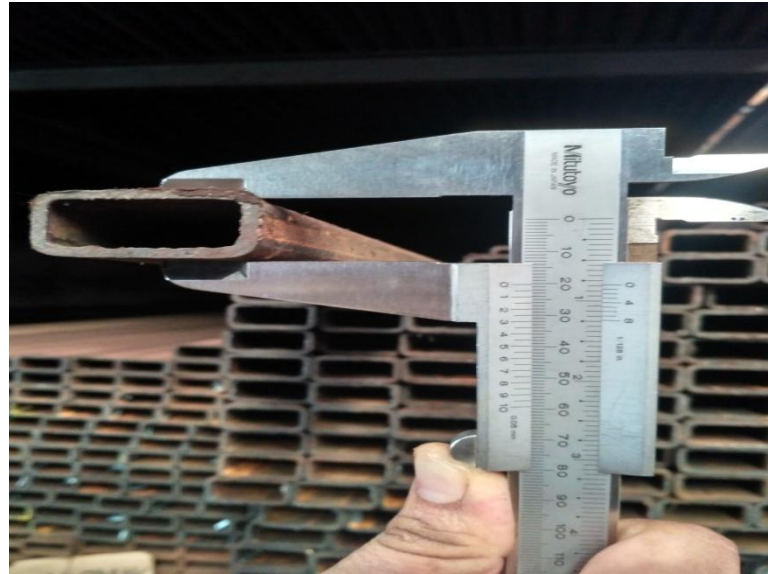


Lampiran 2 Dimensi profil Kanal UNP 5 RRT (14 kg) Toko Sekawan





Lampiran 3 Dimensi profil Hollow 20 x 40 x 2 A Toko Sekawan





Lampiran 4 Daftar harga profil Kanal UNP Toko Sekawan

<b>CANAL UNP ( Panjang 6 mtr )</b>	
5 RRT ( 14 kg )	=Rp. 100.000,-
5 RRT ( 15 kg )	=Rp. 107.500,-
6,5 ( 21 kg )	=Rp. 150.000,-
6,5 ( 23 kg ) A	=Rp. 165.000,-
8 ( 25 kg )	=Rp. 172.500,-
8 ( 27 kg ) A	=Rp. 185.000,-
10 ( 35 kg )	=Rp. 210.000,-
10 SNI	=Rp. 335.000,-
12	=Rp. 345.000,-
15 MS	=Rp. 642.500,-
20	=Rp. 1.240.000,-
25 x 12 mtr KS	=Rp. 5.000.000,-
<b>INP ( Panjang 6 mtr )</b>	

## Lampiran 5 Daftar harga profil Hollow / Stall Toko Sekawan

STALL ( Panjang 6 mtr )		
5/8 x 1,2 MAK	=Rp	
3/4 x 1,2	=Rp	
3/4 x 1,2 MAK	=Rp	55.000,-
3/4 x 1,4 MAK	=Rp	65.000,-
15 x 15 x 1,2	=Rp	
15 x 15 x 1,4	=Rp	35.000,-
15 x 30 x 1,2	=Rp	
15 x 30 x 1,2 MAK	=Rp	57.500,-
15 x 30 x 1,4 MAK	=Rp	65.000,-
20 x 20 x 0,6 A	=Rp	
20 x 20 x 1,2 A	=Rp	
20 x 20 x 1,4 A	=Rp	45.000,-
20 x 20 x 1,6 A	=Rp	49.000,-
20 x 20 x 2 B	=Rp	
20 x 20 x 2 A	=Rp	62.500,-
20 x 20 x 2,3	=Rp	72.500,-
20 x 40 x 1,2 RB B	=Rp	
20 x 40 x 1,2 RB A	=Rp	57.500,-
20 x 40 x 1,4 B	=Rp	
20 x 40 x 1,4 A	=Rp	66.000,-
20 x 40 x 1,6 B	=Rp	
20 x 40 x 1,6 A	=Rp	75.000,-
20 x 40 x 2 B	=Rp	
20 x 40 x 2 A	=Rp	95.000,-
20 x 40 x 2 MAK	=Rp	115.000,-
20 x 40 x 2,3 MAK	=Rp	
25 x 25 x 1	=Rp	42.500,-
25 x 25 x 1,2 A	=Rp	
25 x 25 x 1,4 A	=Rp	53.500,-
25 x 25 x 2 A	=Rp	80.000,-
25 x 25 x 2,3 A	=Rp	100.000,-
30 x 30 x 0,6 A	=Rp	37.500,-
30 x 30 x 1,2 B	=Rp	41.500,-
30 x 30 x 1,2 A	=Rp	
30 x 30 x 1,4 A	=Rp	64.500,-
30 x 30 x 1,6 A	=Rp	73.500,-
30 x 30 x 2 B	=Rp	
30 x 30 x 2 A	=Rp	93.000,-
30 x 30 x 2 MAK	=Rp	115.000,-
30 x 40 x 2,2	=Rp	140.000,-
30 x 60 x 1,4	=Rp	100.000,-
30 x 60 x 1,6	=Rp	110.000,-
30 x 60 x 1,8	=Rp	
30 x 60 x 2	=Rp	155.000,-
30 x 60 x 2,3	=Rp	192.500,-
30 x 60 x 2,3 MAK	=Rp	215.000,-
30 x 60 x 2,8	=Rp	242.500,-
40 x 40 x 1 RB B	=Rp	
40 x 40 x 1,2 A	=Rp	46.000,-
40 x 40 x 1,4 A	=Rp	58.000,-
40 x 40 x 1,6 A	=Rp	97.500,-
40 x 40 x 2 B	=Rp	
40 x 40 x 2 A	=Rp	127.500,-
40 x 40 x 2,3	=Rp	165.000,-
40 x 40 x 2,8	=Rp	195.000,-
40 x 40 x 3	=Rp	217.100,-
40 x 40 x 3,2	=Rp	
40 x 60 x 1,6	=Rp	120.000,-
40 x 60 x 1,8	=Rp	
40 x 60 x 2	=Rp	166.000,-
40 x 60 x 2,3	=Rp	200.000,-
40 x 60 x 2,8	=Rp	250.000,-
40 x 60 x 3	=Rp	270.000,-
40 x 60 x 3,2	=Rp	305.000,-
40 x 60 x 3,5	=Rp	325.000,-
40 x 80 x 2	=Rp	210.000,-
40 x 80 x 2,8	=Rp	325.000,-
40 x 80 x 3	=Rp	352.500,-
40 x 80 x 3,2	=Rp	380.000,-
40 x 80 x 3,5	=Rp	425.000,-
45 x 75 x 2	=Rp	250.000,-
50 x 50 x 1,2 B	=Rp	
50 x 50 x 2 B	=Rp	
50 x 50 x 2 A	=Rp	167.500,-
50 x 50 x 2,8	=Rp	250.000,-
50 x 50 x 3	=Rp	280.000,-
50 x 100 x 1,8	=Rp	230.000,-
50 x 100 x 2	=Rp	265.000,-
50 x 100 x 2,3	=Rp	325.000,-
50 x 100 x 3	=Rp	450.000,-
60 x 60 x 2	=Rp	215.000,-
60 x 60 x 2,8	=Rp	325.000,-
60 x 60 x 3	=Rp	355.000,-
75 x 75 x 2	=Rp	265.000,-
75 x 75 x 2,3	=Rp	325.000,-
75 x 75 x 3	=Rp	450.000,-
100 x 100 x 2	=Rp	400.000,-
100 x 100 x 2,3	=Rp	445.000,-
100 x 100 x 3	=Rp	570.000,-
150 x 150 x 4,5	=Rp	4.000.000,-

UKURAN ADA TOLERANSI  
HARGA TIDAK TERIKAT

## Lampiran 6 Daftar harga profil pelat baja Toko Sekawan

PLATESER ( Uk. 120 x 240 )		BORDES ( Uk. 120 x 240 )	
<b>Putih</b>		2,1 mm KS	=Rp. 557.500,-
0,6 mm (14)	=Rp. 185.000,-	2,3 mm (59) KS	=Rp. 590.000,-
0,7 mm (16,3)	=Rp. 215.000,-	2,5 mm (66) KS	=Rp. 662.500,-
0,8 mm (18,7)	=Rp. 232.500,-	3 mm (75) KS	=Rp. 777.500,-
0,9 mm (21)	=Rp. 280.000,-	3,2 mm	=Rp. 850.000,-
<b>Hitam</b>		3,8 mm	=Rp. 1.050.000,-
1 mm (23,33)	=Rp. 280.000,-	4 mm KS	=Rp. 1.170.000,-
1,2 mm (28)	=Rp. 300.000,-	4,4 mm	=Rp. 1.225.000,-
1,4 mm (32,7)	=Rp. 330.000,-	4,8 mm (115) KS	=Rp. 1.590.000,-
1,6mm (37,3)	=Rp. 385.000,-	6 mm (150) KS	=Rp. 3.340.000,-
1,7 mm (39,7)	=Rp. 415.000,-	8 mm (200) KS	
2 mm (46,7)	=Rp. 457.500,-		
2,3 mm (53,66)	=Rp. 517.500,-	<b>PLAT KAPAL</b>	
2,5 mm (58,32)	=Rp. 575.000,-	6 mm x 6 x 20 (525)	=Rp. 5.115.000,-
2,8 mm (65,3)	=Rp. 645.000,-	8 mm x 6 x 20 (700)	=Rp. 6.860.000,-
3 mm (70)	=Rp. 700.000,-	10 mm x 6 x 20 (875)	=Rp. 8.595.000,-
3,2 mm (74,7)	=Rp. 750.000,-	12 mm x 6 x 20 (1050)	=Rp. 10.290.000,-
3,5 mm (81,7)	=Rp. 820.000,-		
3,8 mm (88,7)	=Rp. 875.000,-		
4,5mm (105)	=Rp. 1.025.000,-		
4,8 mm (111,98)	=Rp. 1.092.500,-		
5,8 mm (135,32)	=Rp. 1.320.000,-		
8 mm (187) KS	=Rp. 1.685.000,-		
9 mm (210) KS	=Rp. 1.890.000,-		
10 mm (233) KS	=Rp. 2.097.000,-		
12 mm (280) KS	=Rp. 2.520.000,-		
15 mm (350)	=Rp. 3.185.000,-		
16 mm (373)	=Rp. 3.395.000,-		
19 mm (443)	=Rp. 4.032.500,-		
22 mm (513)	=Rp. 4.670.000,-		
25 mm (583)	=Rp. 5.305.000,-		
30 mm (700)	=Rp. 6.510.000,-		
32 mm (747)	=Rp. 6.950.000,-		
38 mm (887)	=Rp. 8.250.000,-		
50 mm (1167)	=Rp. 11.090.000,-		

04/01/2017

UKURAN ADA TOLERANSI  
HARGA TIDAK TERIKAT

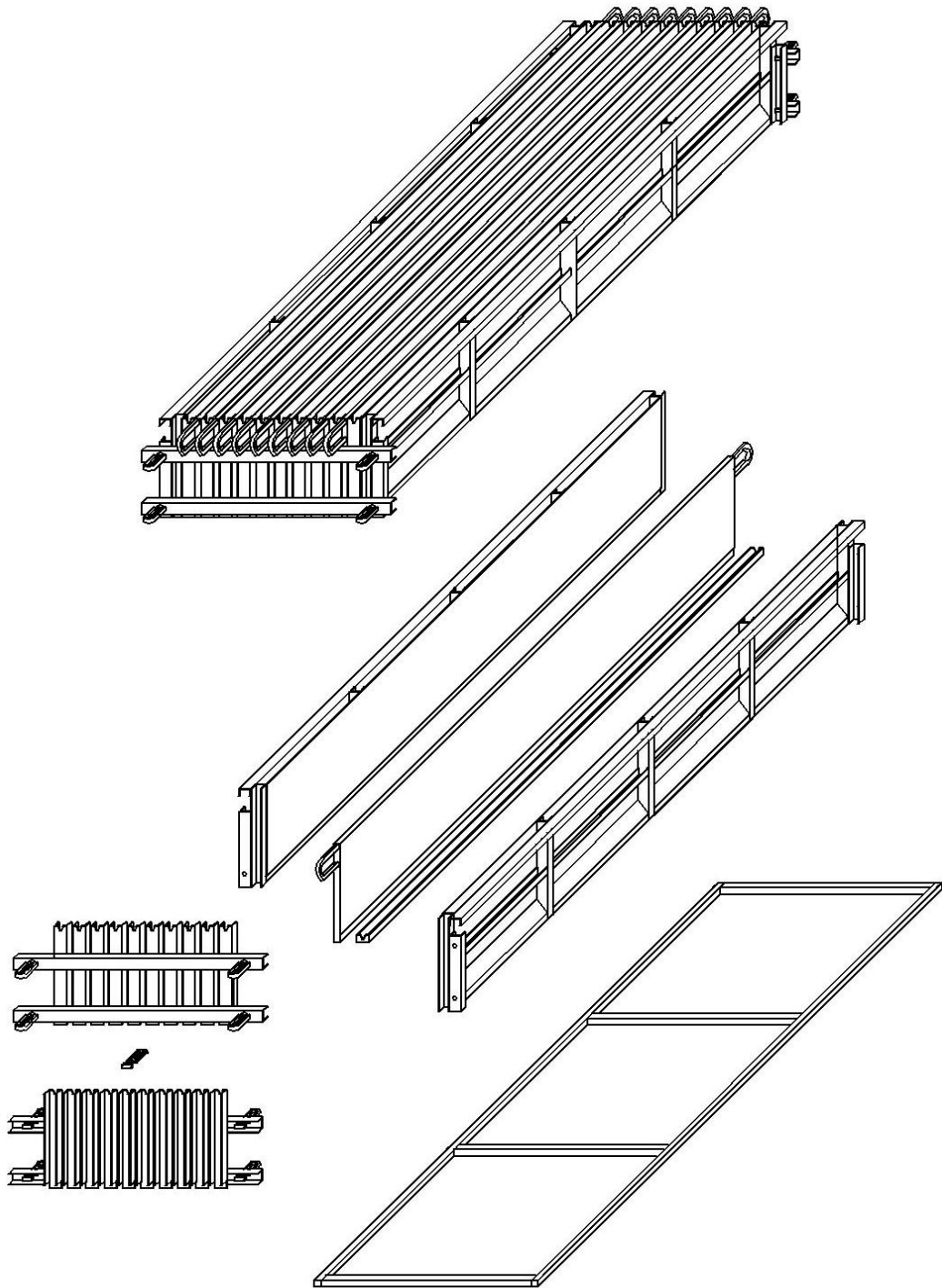
Lampiran 7 Toko Baja Sekawan



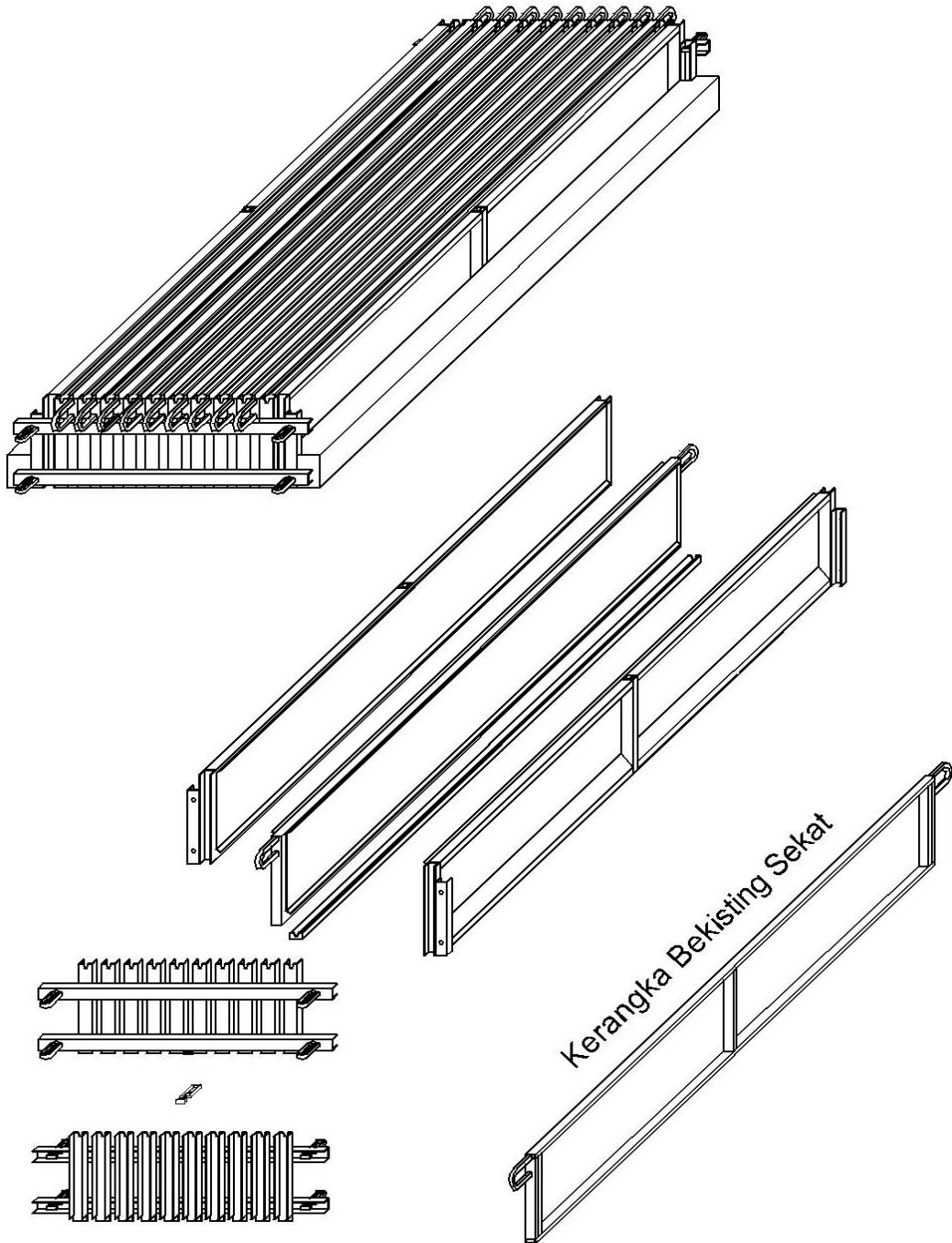
Lampiran 8 Foto Penulis dan Sdr. Utama di Pabrik PT. Powercon Jaya Utama



Lampiran 9 Gambar Bekisting PT. Powercon Jaya Utama



Lampiran 10 Gambar Bekisting Redesain Variasi 2



Lampiran 11 Gambar Bekisting Redesain Variasi 5

