**SKRIPSI**

# PERENCANAAN DAN PENGOPTIMASIAN PERHITUNGAN *WASTE* BESI DAN *WASTE COST* BETON BERTULANG METODE *BAR BENDING SCHEDULE* MENGGUNAKAN *CUTTING OPTIMIZATION PRO* PADA BASEMENT 1

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)**

DISUSUN OLEH:

**[MUH KHALIF AL FATAH CHAIRUL]**
**NIM : [202021089]**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR DAN KEWILAYAHAN**
**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**
**JAKARTA 2025**

# PERENCANAAN DAN PENGOPTIMASIAN PERHITUNGAN *WASTE* BESI DAN *WASTE COST* BETON BERTULANG METODE *BAR BENDING SCHEDULE* MENGGUNAKAN *CUTTING OPTIMIZATION PRO* PADA BASEMENT 1
## (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Sarjana

Disusun Oleh:

**[MUH KHALIF AL FATAH CHAIRUL]**
**NIM : [202021089]**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR DAN KEWILAYAHAN**
**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**
**JAKARTA 2025**

# PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Muh Khalif Al Fatah Chairul |
| NIM | : | 202021089 |
| Program Studi | : | S1 Teknik Sipil |
| Fakultas | : | Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan |
| Judul Skripsi | : | Perencanaan dan Pengoptimasian Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Beton Bertulang Metode *Bar Bending Schedule* Menggunakan *Cutting Optimization Pro* pada Basement 1 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat) |

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Sarjana baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedian memikul segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 3 Maret 2025

Tanda tangan

*Diatas materai 6000*

(Muh Khalif Al Fatah Chairul)

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**SKRIPSI**

# PERENCANAAN DAN PENGOPTIMASIAN PERHITUNGAN *WASTE* BESI DAN *WASTE COST* BETON BERTULANG METODE *BAR BENDING SCHEDULE* MENGGUNAKAN *CUTTING OPTIMIZATION PRO* PADA BASEMENT 1

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)**

Disusun Oleh

**[MUH KHALIF AL FATAH CHAIRUL]**
**NIM : [202021089]**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR DAN KEWILAYAHAN**
**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**

**Jakarta, 3 Maret 2025**

| Mengetahui, | Disetujui, |
|---|---|
| Kepala Program Studi | Dosen Pembimbing |
| Ir. Abdul Rokhman, S.T., M.Eng, IPM | Dr. Ir. Kemala Hayati, S.T., M.T. |
| NIDN. 0311087201 | NIDN : 0125018203 |

## LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

**SKRIPSI**

# PERENCANAAN DAN PENGOPTIMASIAN PERHITUNGAN *WASTE* BESI DAN *WASTE COST* BETON BERTULANG METODE *BAR BENDING SCHEDULE* MENGGUNAKAN *CUTTING OPTIMIZATION PRO* PADA BASEMENT 1

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)**

Disusun Oleh

**[MUH KHALIF AL FATAH CHAIRUL]**
**NIM : [202021089]**

Telah disidangkan dan dinyatakan **LULUS** pada sidang Skripsi
Pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan
Institut Teknologi PLN pada 3 Maret 2025

TIM PENGUJI

| Nama | Jabatan | Tanda Tangan |
|---|---|---|
| 1. Ir. Irma Wirantina Kustanrika, S.T., M.T | Ketua Penguji | |
| 2. Pratiwi Setyaning Putri, S.T., M.T | Sekretaris Penguji | |
| 3. Dr. Ir. Iskandar Purba, S.T., M.T | Penguji | |

Mengetahui, Kepala Program Studi
S1 Teknik Sipil

**Ir. Abdul Rokhman, S.T., M.Eng. IPM**
NIDN. 0311087201

# UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

**Dr. Ir. Kemala Hayati, S.T., M.T Selaku Dosen Pembimbing**

Yang telah memberikan petunjuk, saran-saran serta bimbingannya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan.

Terima kasih yang sama, saya sampaikan kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya serta izin-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
2. Keluarga, terutama untuk kedua orang tua penulis Bapak Chairul Anwar dan Ibu Fitriani Baning, serta Kakak, Annisa Chairul Umari dan Adik, Muh Zaky Ar Razak yang saya sayangi, yang telah mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini
3. Wirahmayanti Marzuki yang telah menemani, mendukung dan memberikan solusi setiap proses pengerjaan Skripsi ini hingga selesai.
4. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2020.
5. *Last but not least, i wanna thank me, i wanna thank me for believing in me, i wanna thank me for doing all this hard work, i wanna thank me for having no days off, i wanna thank me for never quitting, i wanna thank me for always being a giver and trying give more than i receive, i wanna thank me for trying ti do more right than wrong, i wanna thank me for just being me at all times*

Jakarta, 3 Maret 2025

**Muh Khalif Al Fatah Chairul**

**NIM: 202021089**

# HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi – PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama | : Muh Khalif Al Fatah Chairul |
| NIM | : 202021089 |
| Program Studi | : S1 Teknik Sipil |
| Fakultas | : Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan |
| Jenis Karya | : Skripsi |

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi – PLN. **Hak Bebas Royalti Non Ekslusif *(Non-exclusive Rotalty Free Right)*** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perencanaan Dan Pengoptimasian Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Beton Bertulang Metode *Bar Bending Schedule* Menggunakan *Cutting Optimization Pro* pada Basement 1**

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 3 Maret 2025

Yang menyatakan,

(Muh Khalif Al Fatah Chairul)

# PERENCANAAN DAN PENGOPTIMASIAN PERHITUNGAN *WASTE* BESI DAN *WASTE COST* BETON BERTULANG METODE *BAR BENDING SCHEDULE* MENGGUNAKAN *CUTTING OPTIMIZATION PRO* PADA BASEMENT 1

## (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Jakarta Barat)

Muh Khalif Al Fatah Chairul, 202021089

dibawah bimbingan Dr. Ir. Kemala Hayati, S.T., M.T

## ABSTRAK

Dalam pengerjaan pembangunan konstruksi gedung tentunya memerlukan sumber daya seperti, sumber daya manusia, material, alat alat, metode, dan biaya. Material dalam pengerjaan proyek konstruksi gedung ini memiliki peran yang cukup besar untuk mencapai dan menjaga kekuatan struktur yang telah dirancang, namun seringkali material tersebut menimbulkan sisa material dalam pengerjaannya, disebabkan karena pemotongan material besi yang tidak efisien saat pelaksanaan di lapangan yang nantinya akan terjadi penumpukan sisa material. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan potongan besi yang sebelumnya telah direncanakan dengan metode bar bending schedule dengan perhitungan konvesional manual dengan menggunakan *software cutting optimization pro.* Metode *bar bending schedule* (BBS) merupakan perencanaan yang mencatat informasi mengenai pengelolaan dan pemotongan besi tulangan, yang mencakup tentang jenis, ukuran besi tulangan, dan jumlah besi tulangan. *Software cutting optimization pr*o merupakan suatu perangkat lunak yang dapat mengasilkan pola potongan besi yang efisien dan dapat mengurangi sisa besi, dengan menggunakan data awal BBS yang telah didapatkan dari hasil perhitungan konvensional, sehingga menjadi solusi dalam mengoptimalkan sisa material besi tulangan. Hasil dari penelitian ini diperoleh perhitungan konvensional *waste* besi sebesar 16.141.68 Kg jika dipersenkan 5%, *waste cost* sebesar Rp245.893.700, jika dipersenkan 5%. Kemudian setelah dilakukan optimasi dengan *software cutting optimization pro* diperoleh hasil *waste* besi sebesar 10.911,77 Kg, jika dipersenkan 2% *waste cost* diperoleh sebesar Rp130.047.418, jika dipersenkan sebesar 2%

**Kata Kunci:** *Perencanaan, BBS, Optimasi, Cutting Optimization Pro*

# *PLANNING AND OPTIMIZATION OF IRON WASTE AND REINFORCED CONCRETE WASTE COST CALCULATION BAR BENDING SCHEDULE METHOD USING CUTTING OPTIMIZATION PRO IN BASEMENT 1*

## (Case Study: Dipo Center Building Construction Project – West Jakarta)

Muh Khalif Al Fatah Chairul, 202021089

Under the Guidance of Dr. Ir. Kemala Hayati, S.T., M.T

***ABSTRACT***

*Building construction work certainly requires resources such as human resources, materials, tools, methods and costs. Materials in building construction projects have an important role in achieving and maintaining the strength of the structure that has been designed, but often these materials cause material waste in the process, due to inefficient cutting of bar material during implementation in the field which will result in a buildup of waste material. This research aims to optimize bar cuts that have previously been planned to use the bar bending schedule method with conventional calculations using cutting optimization pro software. Bar bending schedule (BBS) method is a plan that records information regarding the management and cutting of reinforcing steel, which includes the type, size of reinforcing steel and quantity of reinforcing steel. Cutting optimization pro is a software that can produce efficient bar cutting patterns and can reduce bar waste, by using BBS data obtained from conventional calculations, so that it becomes a solution in optimizing remaining reinforcing bar material. The results of this study obtained conventional calculations of iron waste 16.141,68 Kg, in percent was 5% waste cost obtained at Rp245.893.700, in percent was 5% Then after optimization with cutting optimization pro software, the result of iron waste was obtained at 10.911,77 Kg, in percent is 2% waste cost obtained at Rp130.047.418, in percent is 2%*

***Keywords*****:** *Planning, BBS, Optimization, Cutting Optimization Pro*

# DAFTAR ISI

**HALAMAN SAMPUL** ..... **i**
**HALAMAN JUDUL** ..... **ii**
**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI** ..... **iii**
**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING** ..... **iv**
**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI** ..... **v**
**UCAPAN TERIMA KASIH** ..... **vi**
**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI** ..... **vii**
**ABSTRAK** ..... **viii**
***ABSTRACT*** ..... **ix**
**DAFTAR ISI** ..... **x**
**DAFTAR TABEL** ..... **xiii**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **xiv**
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xv**
**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1. Latar Belakang ..... 1
1.2. Rumusan Masalah ..... 2
1.3. Tujuan ..... 2
1.4. Manfaat ..... 3
1.5. Ruang Lingkup Masalah ..... 3
1.6. Sistematika Penulisan ..... 4
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **6**
2.1. Penelitian yang Relevan ..... 6
2.2. Landasan Teori ..... 8
2.2.1. Proyek ..... 8
2.2.2. Proyek Konstruksi Gedung ..... 8
2.2.3. Manajemen Proyek Konstruksi ..... 9
2.2.4. Material Konstruksi ..... 10
2.2.5. Besi Tulangan ..... 11

*2.2.5.1. Klasifikasi Baja Tulangan Beton* ..... *11*
*2.2.5.2. Tulangan Sengkang* ..... *12*
2.2.6. Bar Bending Schedule (BBS) ..... 13
2.2.7. *Waste* Material Konstruksi ..... 13
*2.2.7.1. Klasifikasi Waste Konstruksi* ..... *14*
2.2.8. Perhitungan Konvesional *Waste* Tulangan Pekerjaan Kolom ..... 16
2.2.9. *Software Cutting Optimization Pro* ..... 16
**BAB III METODE PENELITIAN ..... 17**
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian ..... 17
3.2. Desain Penelitian ..... 18
3.3. Metode Pengumpulan Data ..... 21
3.3.1. Studi Lapangan ..... 21
3.3.2. Studi Literatur ..... 21
3.4. Metode Analisis Data ..... 22
**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 27**
4.1. Data Teknis Perencanaan ..... 27
4.2. Data Penelitian ..... 27
4.3. Hasil ..... 27
4.3.1. Data Hasil Perhitungan *Bar Bending Schedule* Kolom Dengan Metode Konvensional ..... 27
4.3.2. Proses Input Data Perhitungan *Waste* Besi Dengan *Software Cutting Optimization Pro* ..... 41
4.3.3. Hasil *Waste* Tulangan Besi Tulangan Setelah dilakukan Optimasi Dengan *Software Cutting Optimization Pro* ..... 43
4.3.4. Hasil *Waste* Besi dan *Waste Cost* Sebelum Optimasi dan Setelah Optimasi Dengan *Software Cutting Optimization Pro* ..... 46
*4.4. Pembahasan* ..... *50*
**BAB V PENUTUP ..... 54**
5.1. Kesimpulan ..... 54
5.2. Saran ..... 54
**DAFTAR PUSTAKA ..... 55**

**LAMPIRAN – LAMPIRAN.....57**

# DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-1 ..... 32
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-2A ..... 32
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-2B..... 33
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-3 ..... 33
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1A ..... 34
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1B..... 34
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1C..... 35
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1D ..... 35
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1E..... 36
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2A ..... 36
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2B..... 37
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2C..... 37
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-3A ..... 38
Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-4A ..... 38
Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-5 ..... 39
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-6 ..... 39
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-7 ..... 40
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-8 ..... 40
Tabel 4. 19 Harga Besi Permeter..... 46
Tabel 4. 20 *Waste* Besi Dan *Waste Cost* Sebelum Optimasi ..... 48
Tabel 4. 21. Hasil *Waste* Besi dan *Waste Cost* Setelah Optimasi..... 50

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja Tulangan Beton Polos (BjTP) ..... 11
Gambar 2.2 Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)..... 12
Gambar 3.1 Peta Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center ..... 17
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian. ..... 18
Gambar 3.3 Pengaturan Sisa Minimum Persediaan ..... 24
Gambar 3.4 Input Kebutuhan Besi yang digunakan..... 25
Gambar 3.5 Input Kebutuhan Besi yang Tersedia ..... 25
Gambar 3.6 *Output* Data *Cutting Optimization Pro* ..... 26
Gambar 4. 1 Mengatur Sisa Minimum Persediaan..... 41
Gambar 4. 2 Input Data BBS pada *Software* ..... 42
Gambar 4. 3 Hasil Pola Potongan Besi Tulagan yang Telah Dioptimasikan..... 45
Gambar 4. 4 Diagram Perbandingan Hasil Perhitungan Konvensional dan Optimasi ..... 52

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup ..... 58
Lampiran 2. *Shop Drawing* Posisi Sambungan Tulangan ..... 59
Lampiran 3. *Typical Details* ..... 61
Lampiran 4. *Shop Drawing* Detail Tulangan Kolom ..... 63
Lampiran 5. Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Konvensional ..... 66
Lampiran 6. Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Setelah Optimasi ..... 67

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pembangunan konstruksi gedung saat ini sangat berkembang dengan cukup cepat, serta pemerataan kota pada seluruh daerah di Indonesia yang akhirnya berdampak pada peningkatan kebutuhan sarana dan prasarana untuk mendukung kebutuhan kehidupan masyarakat. Pelaksanaan proyek konstruksi gedung memiliki beberapa tahap pekerjaan struktur, yaitu sturktur bawah, dan struktur atas. pada struktur atas memiliki berbagai macam item pekerjaan salah satunya adalah pekerjaan kolom. Kolom merupakan komponen struktur yang berfungsi untuk menyangga beban aksial tekan vertikal dan meneruskan ke pondasi. Menurut Sudarmoko, 1996 dalam jurnal (Putri, 2021).

Pada saat pelaksanaan pekerjaan kolom terdapat material konstruksi yang berperan penting untuk meningkatkan daya dukung struktur kolom yaitu besi tulangan yang digunakan dalam struktur beton bertulang. Besi tulangan ini seringkali menimbulkan *waste* material pada pelaksanaan proyek di lapangan. Salah satu faktor timbulnya *waste* material dalam pekerjaan kolom, yaitu metode pemotongan material besi yang tidak efisien saat pelaksanaan di lapangan. *Waste* material didefinisikan sebagai hasil dari sisa bahan – bahan konstruksi yang tidak dapat digunakan kembali, dan harus dibuang sehingga terjadi penumpukan sisa material yang dapat menimbulkan dampak negatif di lokasi proyek.

Pada penelitian ini peneliti mengamati material besi tulangan pada pekerjaan kolom Gedung Dipo Center yang berlokasi di Slipi, Jakarta Barat yang dikerjakan oleh PT. Nusa Raya Cipta sebagai kontraktor utamanya. Pada saat melakukan penelitian di proyek pembangunan Gedung Dipo Center, peneliti mendapatkan beberapa sisa-sisa material besi tulangan yang dihasilkan dari pekerjaan kolom, hal ini mengakibatkan ketidakefisien penggunaan bahan material khususnya pada besi tulangan. Permasalahan yang terjadi pada proyek harus diselesaikan agar tidak berdampak buruk terhadap kebutuhan sisa besi.

Metode *Bar Bending Schedule* (BBS) dapat didefinisikan sebagai metode perencanaan yang mencatat informasi mengenai pengelolaan dan pemotongan besi tulangan, BBS ini mencakup informasi mengenai, jenis dan ukuran besi tulangan, jumlah besi tulangan, panjang potongan besi tulangan, bentuk penulangan, dan berat total besi tulangan. Dengan menerapkan metode BBS kita dapat menghitung jumlah kebutuhan besi, serta mendapatkan hasil *waste* besi tulangan, namun jika hanya mengandalkan metode BBS dengan perhitungan konvensional maka hasil *waste* besi tulangan akan kurang maksimal.

Untuk merespon masalah tersebut sebaiknya suatu proyek menerapkan *software* pengoptimasian *waste* besi. *Software Cutting Optimization Pro* merupakan suatu perangkat lunak yang dapat menghasilkan pola potongan besi yang efisien, dan mengurangi *waste* material, dengan menggunakan data BBS yang telah didapatkan dari hasil perhitungan konvensional, sehingga penggunaan *software* ini dapat menjadi solusi dalam meminimalisir sisa material besi tulangan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan penulis bahas yaitu :

1. Berapa nilai *waste* besi dan *waste cost* tulangan pekerjaan kolom dengan menggunakan *software cutting Optimization pro* pada pekerjaan kolom basement 1?
2. Berapa besar selisih nilai *waste* besi dan nilai *waste cost* tulangan yang dihasilkan pada pekerjaan kolom basement 1 dengan menggunakan perhitungan konvensional dan *cutting Optimization pro*?
3. Metode perhitungan manakah yang lebih efisien antara perhitungan konvensional dan *cutting Optimization pro*?

## 1.3. Tujuan

Beberapa tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui berapa nilai *waste* besi dan *waste cost* tulangan pekerjaan kolom dengan menggunakan *software cutting Optimization pro* pada pekerjaan kolom basement 1.

2. Mengetahui besar selisih nilai *waste* besi dan nilai *waste cost* besi tulangan yang dihasilkan pada pekerjaan kolom basement 1 dengan menggunakan perhitungan konvensional dan *cutting Optimization pro*.
3. Mengetahui metode manakah yang lebih efisien antara perhitungan konvensional dan *cutting Optimization pro*.

## 1.4. Manfaat

Beberapa manfaat yang didapat dari penelitian antaralain:

1. Memberikan pemahaman mengenai penggunaan *software cutting Optimization pro* dalam pengoptimalan potongan besi tulangan.
2. Menyediakan informasi mengenai pengembangan solusi yang lebih efektif dalam mewujudkan terciptanya inovasi dalam bidang metode konstruksi.
3. Sebagai referensi tentang perbandingan perhitungan konvensional dan metode *software cutting Optimization pro* mengenai *waste* besi tulangan.
4. Mewujudkan terciptanya lingkungan proyek yang bersih dan bebas dari pencemaran limbah material konstruksi.

## 1.5. Ruang Lingkup Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas penulis antara lain:

1. Proyek yang ditinjau adalah Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center – Slipi.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada perhitungan *waste* besi tulangan pada pekerjaan kolom.
3. Peneliti tidak menghitung kekuatan dari struktur gedung.
4. Peneliti hanya meneliti pada basement 1 ke lantai 1.
5. Peneliti tidak membahas lebih dalam mengenai komponen dan fitur lainnya yang ada di *software cutting Optimization pro*.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir:

1. BAB I PENDAHULUAN

   Pada bab ini membahas mengenai latar belakang yang menjadi dasar dilakukannya penelitian, perumusan masalah yang dihadapi, tujuan penelitian yang ingin dicapai, manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian, ruang lingkup penelitian yang menjadi batasan studi, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam menyusun laporan. Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center dengan berfokus pada perhitungan kebutuhan material besi tulangan pada pekerjaan struktur kolom dari basement 1 ke lantai 1.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

   Bab ini berisi uraian literatur dan referensi yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan laporan tugas akhir. Tinjauan pustaka ini meliputi definisi dari material konstruksi, *bar bending schedule*, *waste* material, serta *software cutting Optimization pro.* Pada bab ini juga terdapat rangkuman dari penelitian terdahulu yang relevan dari penelitian ini, sumber dan informasi yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, buku, dan referensi terpercaya lainnya.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

   Pada bab ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian, mencakup teknik pengumpulan data dan tahapan penyelesaian masalah. Metode pengumpulan data yang digunakan yaitu data sekunder yang dimana data tersebut berasal dari dokumen pendukung seperti *shop drawing*, dan spesifikasi teknis proyek. Penjabaran langkah penyelesaian masalah diuraikan secara sistematis untuk memberikan gambaran peleksanaan penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

   Pada bab ini menyajikan hasil dari penelitian yang telah dikerjakan dan pembahasan secara mendalam. Analisis data yang dikumpulkan akan dijelaskan dan memberikan evaluasi dari dampak penelitian dari hasil yang diperoleh untuk menjawab tujuan dan rumusan masalah yang telah ditetapkan.

5. BAB V PENUTUP

   Pada bab terakhir berisi kesimpulan dan saran dari hasil yang telah diperoleh berdasarkan data dan analisis yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, serta terdapat juga saran yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya atau masukan bagi pihak terkait untuk meningkatkan efektivitas dalam manajemen material besi tulangan pada proyek konstruksi.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1. Penelitian yang Relevan

Adapun beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian terkait dengan topik perhitungan *waste* besi tulangan. Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan untuk pengembangan penelitian ini, yaitu:

a. (Silaban, 2023) Analisis *Waste* Material Menggunakan *Fault Tree Analysis* Pada Pekerjaan *Concrete Barrier*. Penelitian ini meneliti pada proyek pembangunan *concrete barrier* pada Proyek Pelebaran Jalan Tol Cikande Serang Timur berpotensi menghasilkan *waste* material yang signifikan. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu mengidentifikasi jenis material apa saja yang berkontribusi besar atas kerugian biaya, dan mencari hasil identifikasi *waste* material. Metode penulisan yang digunakan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). Dari hasil penelitian didapatkan besi tulangan dengan D16 menghasilkan sisa material sebesar 2,65% dengan total biaya sejumlah Rp 3.528.835.20, -. Dari hasil analisa didapatkan bahwa penyebab sisa material dalam pekerjaan tersebut adalah pengukuran, tenaga kerja, dan pelaksanaan.

b. (Felixius and Waty, 2021) Analisis Sisa Material dan Penyebab Utamanya Pada Proyek Bangunan Rumah Tinggal. Objek penelitian ini yaitu proyek berskala kecil seperti pembangunan rumah tinggal dengan topik untuk mencari sisa material pada pembangunan tersebut. Tujuannya untuk mengetahui sisa material yang paling berpengaruh dengan menggunakan metode *Relative Importance Index* (RII). Dengan taraf signifikansi sebesar 5% dari SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sisa material yang paling berpengaruh yaitu, beton *ready mix* (10%), baja tulangan (9,87%), dan keramik (9,5%). Penyebabnya disebabkan karena informasi gambar yang kurang detail, dan kesalahan akibat tenaga kerja.

c. (I Gusti Ngurah Eka Pratama et al., 2018) Analisis Besi Tulangan Menggunakan *Software Cutting Optimize Pro* Pada Konstruksi Gedung. Dilakukan penelitian pada Proyek Pembangunan Villa Stilo pada pekerjaan struktur beton, terdapat sisa material besi yang cukup banyak, serta kurangnya perencanaan dalam menghhitung kebutuhan dan sisa material. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan dan biaya total pada material besi tulangan, dengan menggunakan Metode *Bar Bending Schedule*. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa persentase *waste* dengan perhitungan manual 9,43% dengan biaya sisa Rp 19.937.700, dan persentase sisa dengan *software cutting optimize pro* sebesar 4,36% dengan biaya sisa Rp 9.693.760.

d. (Qatrannada, 2022) Manajemen Baja Tulangan Dengan Metode *Just In Time* dengan kombinasi *Bar Bending Schedule* Proyek Gedung X Provinsi Jawa Barat. Penelitian ini menggabungkan dua metode sesuai dengan judul, dengan permasalahan jika adanya kesalahan dalam perencanaan kebutuhan baja tulangan akan berdampak buruk terhadap pelaksanaan proyek konstruksi. Tujuan dari peneleitian ini untuk menganalisa baja tulangan. Dengan hasil penelitian menggunakan metode *Just In Time* dengan kombinasi *Bar Bending Schedule* terbukti mampu meningkatkan efektivitas manajemen baja tulangan.

e. (Usmul H et al., 2020) Analisis Limbah Konstruksi Pada Pembangunan *Sport Hall* Dengan Metode *Lean Construction*, penelitian ini mengidentifikasi bahwa sisa material konstruksi bernilai buruk terhadap keberlangsungan proyek yang bersangkutan, sehingga peneliti melakukan penelitian mengevaluasi jenis limbah material yang dihasilkan, mengidentifikasi apa penyebab dan cara penanganan *waste* material, dan mengetahui level limbah tertinggi dan terendah. Peneliti menggunakan metode *Lean Construction* dan Analisis Pareto. Hasil dari penelitian tersebut disimpulan bahwa terdapat empat jenis material yang memliki potensi untuk menghasilkan *waste*, antara lain : Baja WF 600 x 300 mm dengan nilai persentase sebesar 2,74%, Spandek *Zincalume* dengan nilai persentase sebesar 0,08%, *Ready Mix* Pelat Lantai dengan nilai persentase sebesar 0,09% dan Baja 200 x 200 mm dengan nilai persentasenya 0,03%.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Proyek

Proyek yaitu suatu kegiatan yang dilakukan secara teratur untuk mencapai hasil akhir dan diselesaikan dalam durasi tertentu dengan menggunakan sumber daya terbatas (Wijaya and Sulistio, 2019). Proyek dapat didefinisikan sebagai kegiatan yang memiliki waktu awal dan waktu akhir dengan durasi tertentu, tidak berulang, dengan penggunaan sumber daya yang terbatas/tertentu dimaksudkan untuk mencapai tujuan yang telah disepakati, pengertian proyek dalam pembahasan ini dibatasi dalam arti proyek yang berkaitan dengan bidang konstruksi (Yuliana, 2018). Adapun ciri pokok proyek dari penjelasan diatas sebagai berikut:

a. Bertujuan untuk menghasilkan produk, layanan atau sistem yang bermacam, tidak selalu berupa struktur fisik.
b. Durasi terbatas, proyek memiliki durasi yang terbatas seperti waktu mulai dan waktu berakhir sesuai dengan kesepakatan industrinya.
c. Sumber daya yang terintegrasi, proyek memiliki sumber daya seperti sumber daya manusia, teknologi, material, dan modal sesuai kebutuhan spesifik proyek.
d. Fokus terhadap biaya, kualitas, dan waktu, artinya proyek harus selesai berdasarkan anggaran, standar yang ditentukan, dan jadwal.
e. Unik dan tidak berulang, setiap proyek mempunyai tujuan dan proses unik, hanya dilakukan sekali tanpa berulang.

### 2.2.2. Proyek Konstruksi Gedung

Proyek konstruksi gedung merupakan rangkaian kegiatan yang saling berkaitan dalam mencapai suatu tujuan dengan skala yang besar (Kerzner and Wiley, 2019). Proyek konstruksi gedung meliputi sekolah, perkantoran, rumah sakit, apartement, dan sebagainya. Umumnya perencanaan proyek konstruksi gedung harus lebih lengkap dan detail, serta diselesaikan dalam waktu yang telah ditentukan sesuai dengan kesepakatan yang telah dibuat. Dari pengertian diatas dapat dilihat beberapa ciri proyek konstruksi gedung yaitu:

a. Hasil yang spesifik, artinya proyek konstruksi gedung menghasilkan struktur fisik yang bersifat unik sesuai dengan desain yang direncanakan, seperti gedung perkantoran, atau fasilitas publik.
b. Durasi yang terbatas, yaitu proyek konstruksi mempunyai batasan durasi pengerjaan yang jelas, mulai dari tahap perencanaan hingga tahapan *finishing* konstruksi.
c. Penggunaan sumber daya yang terintegrasi, memanfaatkan berbagai jenis sumber daya contohnya: tenaga kerja, material serta peralatan dengan pengelolaan secara terorganisasi.
d. Kolaborasi multi-disiplin, artinya proyek konstruksi gedung melibatkan beberapa pihak antaralain, owner, kontraktor, dan konsultan untuk menciptakan tujuan yang telah dirancang.
e. Tuntutan pada biaya, mutu, dan waktu, agar terciptanya konstruksi yang sesuai dengan anggaran, memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan, serta selesai dalam waktu yang telah direncanakan.
f. Tahapan yang jelas dan terstruktur, yang berarti proyek konstruksi gedung terdiri pada tahapan yang jelas, mengenai perencanaan, desain, pelaksanaan, dan *finishing*.
g. Terkait dengan regulasi dan lingkungan, proyek konstruksi gedung sangat bergantung terhadap perizinan, standar bangunan, dan kondisi lingkungan seperta Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL).

### 2.2.3. Manajemen Proyek Konstruksi

Manajemen dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang biasa disebut (POAC) yaitu perencanaan (*Planning*), pengorganisasian (*Organizing*), pengarahan (*Actuating*) dan pengawasan (*Controlling*) dari para pelaku organisasi agar mencapai tujuan organisasi yang telah ditetapkan (Yuliana, 2018). Fungsi dari penjelasan manajemen proyek Menurut G.r. Terry ("*Principles of* Management") adalah sebagai berikut:

a. Perencanaan (*Planning*)

Perencanaan berfungsi untuk pengolahan informasi serta data – data yang nantinya dijadikan sebagai perencanaan jangka pendek dan jangka panjang yang akan digunakan dalam pengambilan keputusan.

b. Pengorganisasian (*Organizing*)

Berfungsi sebagai pengalokasian dan penggabungan sumber daya dalam sebuah organisasi yang kemudian dilakukan pertemuan yang berkaitan dengan lingkup pembahasan.

c. Pengarahan (*Actuating*)

Berfungsi dalam pelaksanaan suatu rencana dan keputusan yang telah dirancang pada proses perencanaan, pada proses ini dilakukan pengupayaan dalam menggerakkan pelaku organisasi agar melakukan pekerjaan secara sistematis dan terstruktur dalam mencapai tujuan yang telah direncanakan.

d. Pengawasan (*Controlling*)

Proses ini berfungsi dalam menganalisis, mengukur dan memberikan evaluasi kualitas pada saat dilakukan proses *actuating*.

Adapun unsur dalam manajemen proyek konstruksi biasanya dinyatakan dalam 6M yaitu: *Men* (Manusia), *Materials* (Bahan/material), *Machines* (Mesin/peralatan), *Money* (Uang), *Methods* (Metode/pendekatan/cara), dan *Markets* (Pasar). Untuk mencapai tujuan secara optimal, maka ke-enam unsur dalam manajemen proyek konstruksi tersebut harus dimanfaatkan dan dijalankan secara efisien dan efektif.

### 2.2.4. Material Konstruksi

Menurut (Asnudin, 2010), material konstruksi merupakan bahan yang digunakan dalam pembangunan proyek, yang berasal dari sumber sekitar lokasi proyek atau material alami, dan ada juga yang diperoleh dari luar area proyek seperti hasil pabrik/industri. Material merupakan salah satu bagian yang memegang peranan penting dalam menunjang keberhasilan sebuah proyek konstruksi.

Menurut Gavylan dan Bernold, 1994 dalam jurnal (Silaban, 2023), material yang digunakan dalam proyek konstruksi dibagi menjadi dua jenis yaitu, material yang menjadi bagian utama (*Consumable material*), dan material yang bukan menjadi bagian utama dalam bangunan konstruksi dan bisa digunakan berulang – ulang (*Uncosumable material*).

### 2.2.5. Besi Tulangan

Besi tulangan merupakan material baja atau logam yang terbuat dari paduan besi dan karbon, seperti dijelaskan dalam SNI 2052:2024, besi tulangan diproduksi dalam bentuk batang panjang dengan permukaan berulir atau polos. Dalam struktur beton bertulang, besi tulangan ini ditanam didalam beton dengan ukuran dan jarak tertentu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), fungsinya untuk memperkuat beton agar mampu menahan beban tarik.

#### *2.2.5.1. Klasifikasi Baja Tulangan Beton*

Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton terbagi menjadi dua jenis :

a. Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

Baja tulangan beton polos yaitu baja tulangan beton yang berpenampang bundar dengan ciri permukaan yang tidak bersirip atau rata.

Gambar 2.1 Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

Sumber: (Nugroho 2014)

Secara umum, baja tulangan polos berbentuk bundar dengan permukaan halus dan licin tanpa motif, sedangkan baja tulangan beton sirip memiliki permukaan berpola sirip atau motif melingkar untuk meningkatkan daya lekat pada struktur betonnya.

b. Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)

Baja tulangan beton sirip/ulir yaitu baja tulangan beton yang ciri permukaannya memiliki sirip/ulir melintang dan memanjang yang bertujuan meningkatkan gaya gesekan pada beton (RSNI3 2052:2024 2024).

Gambar 2.2 Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)

Sumber : (nessteel.co.id)

Perhitungan yang dapat digunakan untuk mencari berat besi menggunakan rumus sederhana yaitu (Ailing and Qarinur, 2024):

$$w = 0{,}006165 \text{ x } l \text{ x } db^{2} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Dimana:

$w$ = Berat (kg)

$l$ = Panjang per batang (m)

$db$ = Diameter tulangan (m)

*2.2.5.2. Tulangan Sengkang*

Tulangan sengkang atau sering disebut juga sebagai tulangan geser, merupakan elemen baja yang dipasang melintang atau melingkar di sekitar tulangan utama

dalam struktur beton bertulang. Fungsi dari tulangan sengkang ini untuk menahan gaya geser yang berada pada elemen struktural seperti kolom atau balok.

Adapun syarat untuk penulangan sengkang dan kait pengikat bergantung terhadap diameter tulangan yang digunakan seperti pada Tabel 25.3.2 SNI-2847-2019 yaitu:

a. Untuk bengkokan 90°, diameter 10 sampai diameter 16, digunakan perpanjangan pada ujung bebas batang tulangan terbesar dari 6 db dan 75mm.
b. Untuk bengkokang 90°, diameter 19 sampai diameter 25, digunakan perpanjangan pada ujung bebas batang tulangan sebesar 12 db.
c. Untuk bengkokan 135°, diameter 10 sampai diameter 25, digunakan perpanjangan pada ujung bebas batang tulangan terbesar dari 6 db dan 75 mm.
d. Untuk bengkokan 180°, diameter 10 sampai diameter 25, digunakan perpanjangan pada ujung bebas batang tulangan terbesar dari 4 db dan 65 mm.

### 2.2.6. Bar Bending Schedule (BBS)

*Bar Bending Schedule* merupakan metode yang digunakan dalam melakukan perhitungan terhadap kebutuhan besi tulangan dalam suatu proyek bangunan meliputi perhitungan jumlah besi yang dibutuhkan, bentuk besi, hingga potongan besi (Arifin et al., 2020). Dalam membuat *bar bending schedule* dibutuhkan beberapa data seperti, jumlah tulangan serta ukurannya, gambar detail dari *shop drawing* kontraktor, dan data bengkokan yang sesuai dengan dimensi diameter batang. Pembuatan *bar bending schedule* menggunakan beberapa standar yang tersedia dalam SNI – 2847 – 2019 mengenai Struktural untuk Bangunan Gedung.

### 2.2.7. *Waste* Material Konstruksi

*Waste material* dapat diartikan sebagai sisa bahan konstruksi yang berlebihan disebabkan jumlahnya yang terlalu banyak atau rusak, dan tidak memenuhi syarat

sehingga tidak dapat digunakan kembali (Pratama et al., 2023). Beberapa faktor terjadinya *waste* material yaitu:

a. Perubahan rancangan desain.
b. Kurangnya koordinasi antara staf kontraktor dengan tim pelaksana lapangan.
c. Penyimpanan material yang tidak aman.
d. Pemotongan material yang tidak efektif.
e. Buruknya kondisi alat-alat dan bahan.

Salah satu item pekerjaan yang dapat menyebabkan *waste* material yaitu pekerjaan struktur beton bertulang pada pekerjaan kolom, meliputi pemasangan bekisting, pembesian, dan pengecoran.

*2.2.7.1. Klasifikasi Waste Konstruksi*

*Waste* konstruksi dapat digolongkan kedalam dua kategori berdasarkan tipenya yaitu (Hadut, 2018):

1. *Direct Waste*

   *Direct waste* merupakan sisa material dalam proyek disebabkan oleh material yang rusak dan tidak dapat digunakan kembali, yang terdiri dari:

   *a. Site Storage Waste*

   *Waste* yang timbul akibat penumpukan atau penyimpanan bahan konstruksi pada tempat yang tidak efisien, seperti semen yang disimpan dalam kondisi lembab dan langsung bersentuhan dengan tanah, batu yang pecah akibat penumpukan material yang berlebihan.

   *b. Transport and Delivery Waste*

   Terjadinya *waste* akibat proses transportasi material di lapangan, seperti pecahnya material akibat pemindahan keramik, semen, dan batu bata.

   *c. Conversion Waste*

   Sisa material yang terjadi akibat perubahan bentuk material, seperti besi, kaca, keramik, dan sebagainya.

   *d. Fixing Waste*

   Terjadi akibat tercecernya material, rusak dan terbuang pada saat pelaksanaan di lapangan seperti, semen, pasir, dan sebagainya.

e. *Cutting Waste*

*Waste* yang dihasilkan karena pemotongan material besi, keramik, bata, dan sebagainya karena mengacu pada *shop drawing*.

f. *Criminal Waste*

Terjadi akibat pencurian atau perusakan material di lapangan.

g. *Wrong Use Waste*

Kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak, sehingga terjadinya pergantian material yang nantinya material sebelumnya akan menjadi *waste*.

2. *Indirect Waste*

*Indirect waste* merupakan sisa yang dihasilkan dalam bentuk kehilangan biaya (*Moneter Loss*) tidak berwujud secara fisik di lapangan, sisa ini disebabkan karena pemakaian volume bahan yang berlebihan. *Indirect waste* ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu (Kurnia, 2013):

a. *Negligence Waste*

Sisa material ini terjadi karena berlebihannya material yang digunakan oleh pihak kontraktor disebabkan oleh kelalaian tim pelaksana di lapangan seperti penggalian tanah pada pekerjaan galian pondasi yang berlebihan sehingga mengakibatkan pemakaian volume beton yang lebih besar yang berdampak pada pembengkakan biaya dan waktu pengerjaan.

b. *Substitution Waste*

Sisa material disebabkan penggunaannya yang menyimpang dari tujuan awal, sehingga terjadinya kehilangan biaya, seperti material tulangan dirangkai sebagai dudukan atau pijakan bagi pekerja lapangan.

c. *Production Waste*

Sisa material ini terjadi akibat pemakaian material yang *over* akibat kurang telitinya pekerja di lapangan, seperti retaknya kolom atau balok, sehingga diperlukan pengecoran ulang yang menambah volume material.

### 2.2.8. Perhitungan Konvesional *Waste* Tulangan Pekerjaan Kolom

*Waste* besi tulangan menjadi salah satu potensi pembengkakan biaya pada pekerjaan proyek konstruksi, maka diperlukan perhitungan pembesian agar mengurangi resiko terjadinya *waste* besi tulangan. Cara menghitung pembesian metode *bar bending schedule* dengan perhitungan konvensional bergantung pada ukuran diameter besi tulangan, sambungan lewatan, bengkokan, dan pemotongan. Berikut mengenai perhitungan konvensional *waste* besi tulangan perbatang untuk yang digunakan dalam penelitian ini (Ailing and Qarinur, 2024).

$$\textit{Waste}\ \text{Perbatang} = (l_1) - (l_2) \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

Dimana:

$l_1$ = Panjang besi perbatang (m)

$l_2$ = Panjang Kebutuhan potongan perbatang (m)

Dalam mencari *waste* tulangan utama, kita harus mengetahui lebih awal mengenai data-data pendukung yang digunakan untuk mencari *waste* perbatang yaitu: panjang potongan, ukuran tulangan, jarak tumpuan dan jarak lapangan.

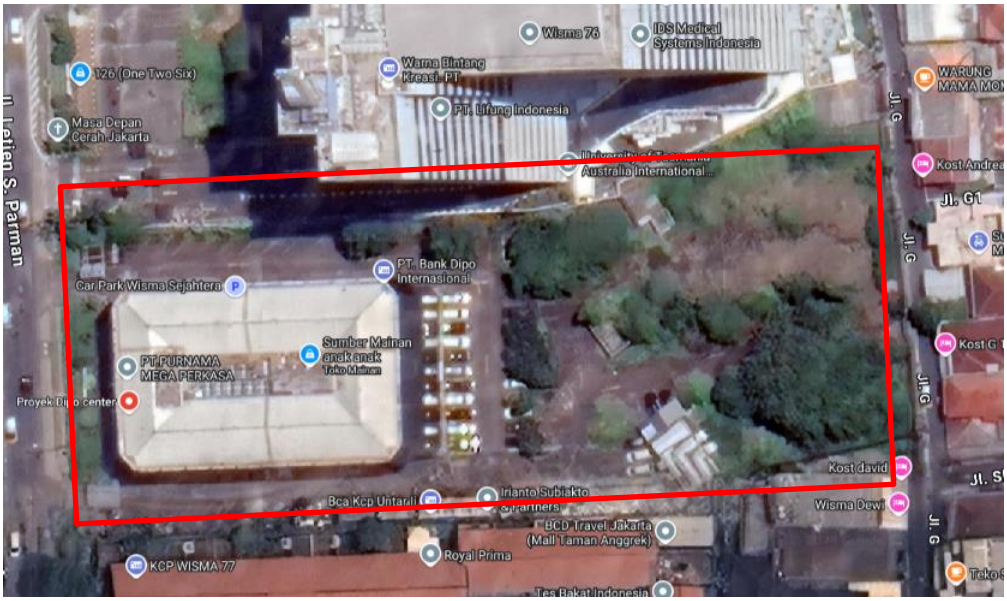
### 2.2.9. *Software Cutting Optimization Pro*

*Software cutting Optimization pro* merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan dalam memudahkan pekerjaan perusahaan konstruksi untuk melakukan pemotongan besi tulangan, *software* ini dapat melakukan pola potongan besi tulangan yang merupakan salah satu material baku dalam proyek konstruksi secara optimal. *Software cutting Optimization pro* ini bertujuan untuk mempermudah dan mengoptimalisasikan material yang kita butuhkan berdasarkan ukuran yang tersedia pada logistik proyek. Pengoperasian *software cutting Optimization pro* diperlukan data mengenai kebutuhan besi tulangan, panjang besi, diameter besi tulangan, panjang potongan besi tulangan, serta stock besi, yang bisa kita dapatkan dari dokumen *shopdrawing*. Terdapat beberapa penginputan data yakni ukuran, jenis material, serta label material dengan hasil (*output*) berupa grafis 1D optimasi pemotongan material, nilai kebutuhan besi yang dibutuhkan dan sisa besi yang terbuang.

# BAB III
# METODE PENELITIAN

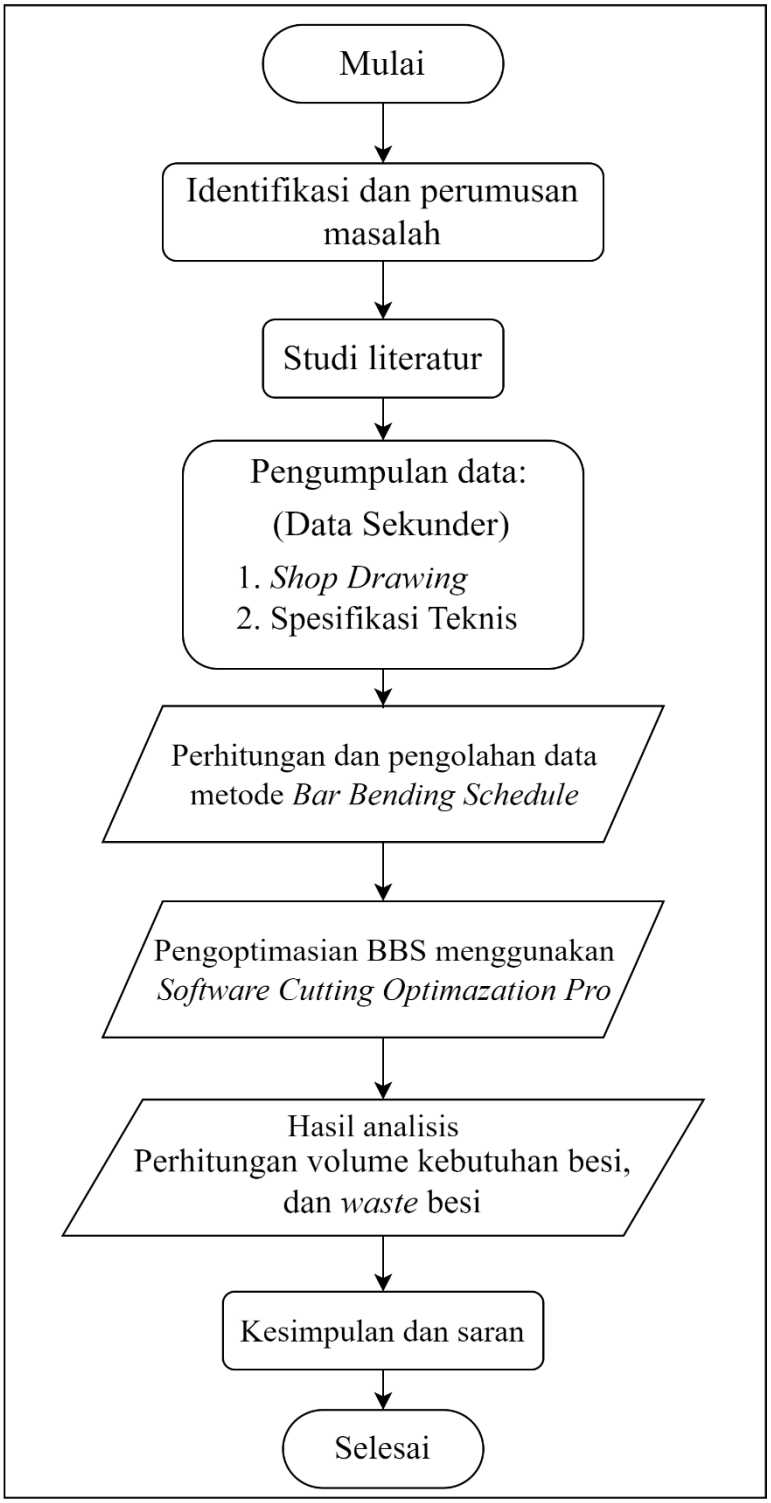
## 3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Laporan tugas akhir ini mengambil objek penelitian pada Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center yang berlokasi di Jl. Letjend S Parman, Kav.75, Kec. Slipi, Jakarta Barat yang dikerjakan oleh PT. Nusa Raya Cipta sebagai kontraktor utamanya. Dibangun pada lahan seluas ± 48.000 $m^2$ dan direncanakan memiliki 2 tower yaitu, tower kantor dan tower hotel. Direncanakan tinggi masing-masing tower ini yaitu ± 66 m dengan 13 lantai + 3 basement, tinggi basement ± 8,9 m. Penelitian dilakukan dengan mulai dari tanggal 2 September 2024 sampai dengan 2 Desember 2024.




Gambar 3.1 Peta Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center
Sumber: (Google Maps)

## 3.2. Desain Penelitian




Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.

Adapun penjelasan dari diagram alir penelitian pada gambar 3.2 diatas adalah sebagai berikut :

a. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Proses identifikasi masalah dalam penulisan ini dilakukan setelah menentukan topik penulisan dan dibantu dengan menggunakan latar belakang maka permasalahan lebih mudah untuk dikelola. Permasalahan yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah banyaknya ditemukan *waste* besi tulangan di lokasi proyek. Peneliti tertarik untuk melakukan pengoptimasian terhadap *waste* besi tulangan tersebut dengan menggunakan *software cutting Optimization pro.*

b. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari berbagai sumber bacaan yang dapat membantu isu-isu terkait penulisan berupa buku ajar, dan jurnal. Berbagai sumber ilmiah yang membahas isu-isu tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam penyelesaian pembahasan dari penelitian ini.

c. Pengumpulan Data

Data yang diolah pada penelitian kali ini yaitu data sekunder. Data sekunder diperoleh dari tempat pelaksanaan proyek terkait dengan *Shop Drawing*, dan spesifikasi teknis pekerjaan. Dengan adanya data sekunder ini, peneliti dapat menghasilkan pemahaman yang komprehensif dan informasi yang lebih akurat terkait topik yang diteliti.

d. Perhitungan dan Pengolahan Data Metode *Bar Bending Schedule*

Pada tahap ini peneliti melakukan perhitungan dan pengolahan data yang telah dikumpulkan. Data tersebut kemudian dikaji secara kuantitatif dengan menggunakan metode BBS (*Bar Bending Schedule*) di lantai basement 1 yang nantinya akan menghasilkan volume kebutuhan besi, dan *waste* material. Perhitungan dan pengolahan data ini dilakukan secara konvensional dengan mengacu pada *shop drawing*, dan spesifikasi teknis yang telah diperoleh. Pertama yaitu penentuan diameter besi tulangan, dan menentukan jumlah besi

tulangan utama yang digunakan sesuai dengan gambar kerja, lalu menentukan panjang potongan perbatang dengan cara dilakukan penjumlahan *overlapping* dengan jarak tumpuan dan jarak lapangan sesuai dengan penempatan posisi tulangan dengan mengacu pada *shop drawing*, kemudian menghitung *cut* perbatang dengan cara membagi panjang besi perbatang utuh (12 m) dengan panjang potongan perbatang, lalu mencari total batang yang dibutuhkan dengan cara membagi jumlah besi tulangan dengan *cut* perbatang kemudian dikalikan dengan total kolom dengan tipe yang sama, kemudian menghitung *waste* perbatang dengan cara mengurangi panjang besi perbatang utuh dengan panjang potongan perbatang kemudian dikalikan dengan *cut* perbatang, lalu mencari berat total *waste* pada jumlah kolom dengan tipe yang sama dengan cara mengalikan total batang yang dibutuhkan dengan *waste* perbatang dan berat besi perbatang. Selanjutnya mencari total *waste* sengkang dan ties, pertama yaitu menentukan diameter sengkang dan ties dengan mengacu pada *shop drawing*, kemudian mencari panjang potongan sengkang dengan cara mengurangi dimensi kolom dengan selimut beton ditambah jumlah *overlapping* di kedua ujung batang sengkang, lalu menentukan panjang ties dengan mengacu pada dokumen *shop drawing*, kemudian dilakukan perhitungan *waste* perbatang sengkang dengan cara mengurangi panjang perbatang utuh dengan panjang potongan sengkang lalu dikalikan dengan cut perbatang, kemudian menghitung total *waste* sengkang dan ties pada jumlah tipe kolom yang sama dengan perhitungan yang sama pada perhitungan kolom selanjutnya hasilnya dikonversi kedalam perhitungan biaya besi per Kg.

e. Pengoptimasian Menggunakan *Software Cutting Optimization Pro*

Hal pertama yaitu mengatur jarak minimum sisa material yang nantinya akan dijadikan sisa yang terbuang, kemudian menginput data-data BBS yang telah didapatkan dari perhitungan konvensional berupa panjang besi tulangan, jumlah besi tulangan, diameter besi tulangan. Dilakukan pengimputan ke dalam tabel “PARTS” atau kebutuhan besi yang digunakan, dan tabel “GUDANG” atau material yang tersedia pada *stock* besi, kemudian hasilnya akan dikonversi kedalam perhitungan biaya besi per Kg.

f. Hasil Analisis

Setelah melakukan pengolahan data dari data-data yang telah dikumpulkan, selanjutnya disajikan dalam bentuk hasil analisis. Tujuan dari hasil pengelolaan data tersebut untuk mengetahui hasil pengoptimasian *waste* besi dari perhitungan BBS secara konvensional dengan *cutting Optimization pro*.

g. Kesimpulan dan Saran

Pada bab kesimpulan dan saran ini berisi mengenai hasil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti, dan saran kepada para pelaku instansi proyek kedepannya. Tujuan dari saran ini untuk memberikan masukan yang bersifat membangun kepada peneliti selanjutnya sehingga penelitian yang berkaitan dengan topik ini dapat dikembangkan dengan lebih baik.

## 3.3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

### 3.3.1. Studi Lapangan

Pada studi lapangan, peneliti mengumpulkan data yang bersifat data sekunder berupa *shop drawing*, dan spesifikasi teknis yang didapatkan dari dokumen *softcopy* proyek.

### 3.3.2. Studi Literatur

Pada studi literatur ini, penulis dapat mengetahui perhitungan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini. Sumber-sumber literatur atau reverensi ini berupa buku ajar dan jurnal. Studi literatur dari penelitian ini antara lain:

a. Jurnal mengenai kebutuhan besi tulangan.
b. Jurnal mengenai perhitungan kebutuhan besi menggunakan *software cutting Optimization pro.*
c. Jurnal mengenai analisis kebutuhan besi tulangan.

Studi literatur ini dilakukan bertujuan untuk membantu menyelesaikan dan memberikan acuan yang berkaitan dengan masalah yang diteliti.

## 3.4. Metode Analisis Data

Setelah dilakukan pengumpulan data, selanjutnya peneliti akan mengelola data untuk mendapatkan nilai *waste* besi tulangan di basement 1 dengan menggunakan cara konvensional, kemudian dioptimalkan menggunakan *software cutting Optimization pro* dengan cara sebagai berikut:

a. Perhitungan Metode Konvensional

Berikut mengenai perhitungan konvensional *waste* besi tulangan perbatang untuk tulangan utama yang digunakan dalam penelitian ini.

1. *Tulangan Utama Kolom*

*Waste* Perbatang = (panjang besi) – (panjang potongan perbatang) x (cut perbatang)

Adapun cara untuk mencari *waste* tulangan utama, kita harus mengetahui lebih awal mengenai data-data pendukung yang digunakan untuk mencari *waste* perbatang yaitu: panjang potongan, ukuran tulangan, jarak tumpuan dan jarak lapangan.

- Ukuran Jarak Tulangan B1

  Tinggi *floor to floor* (B1 – Lantai 1) = ..... m

  Jarak tumpuan = (tinggi *floor to floor* x $\frac{1}{4}$ )

- Ukuran jarak tulangan lantai 1

  Tinggi *floor to floor* (lantai 1 – lantai 2) = .....m

  Jarak tumpuan = (tinggi *floor o floor* x $\frac{1}{4}$ )

  Jarak lapangan = (tinggi *floor to floor*) – (jarak tumpuan) x 2

- *Waste* Perbatang = (panjang besi) – (panjang potongan perbatang) x (cut perbatang)

Panjang potongan perbatang = (*overlapping* + jarak tumpuan B1 + jarak tumpuan lantai 1 + jarak lapangan lantai 1)

*Cut* perbatang = $\frac{\text{panjang besi}}{\text{panjang potongan perbatang}}$

Dengan menggunakan persamaan – persamaan diatas maka akan didapatkan hasil *waste* perbatang. Kemudian dari hasil tersebut akan dicari total batang yang dibutuhkan pada kolom tersebut (tipe kolom K0-1), dengan menggunakan perhitungan yaitu:

- Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{\text{jumlah tulangan}}{cut \text{ perbatang}}$ ) x total kolom

Setelah didapatkan total batang yang dibutuhkan pada kolom K0-1, selanjutnya menentukan *waste* pada jumlah kolom K0-1 yang terdapat pada B1 – Lantai 1.

Total *Waste* pada Jumlah Kolom = total batang yang dibutuhkan x *waste* perbatang x berat besi perbatang

2. *Tulangan Sengkang dan Ties*

Untuk mencari ukuran sengkang dan ties kita perlu mengacu pada *shopdrawing* dari proyek yang terdapat pada gambar 2.8, kemudian dihitung dengan persamaan berikut.

Panjang potongan sengkang = (dimensi kolom – selimut beton) + (*overlapping* x 2)

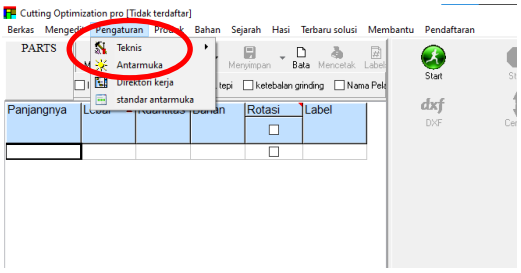
Ukuran ties = panjang ties + (*overlapping* x 2)

- *Waste* Perbatang Sengkang = (panjang besi) – (panjang potongan sengkang) x (cut perbatang)

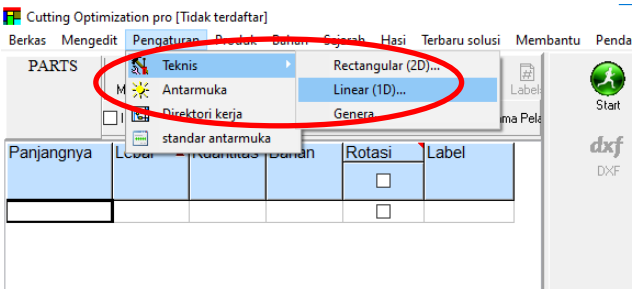
Untuk mencari total *waste* sengkang dan ties pada jumlah kolom dilakukan perhitungan yang sama seperti pada perhitungan total *waste* pada jumlah kolom.

b. Pengoperasian *Software Cutting Optimization Pro*.

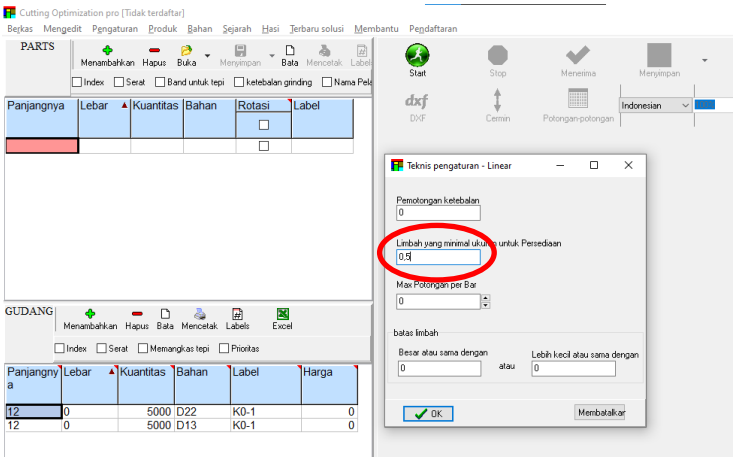
Cara penggunaan *software* ini, pertama kita akan mengatur ukuran minimum sisa material yang nantinya akan menjadi sisa yang terbuang, penginputan data dilakukan sesuai dengan kebutuhan tipe besi tulangan di lapangan seperti pada Gambar 3.3 (a), (b), dan (c).




(a)




(b)

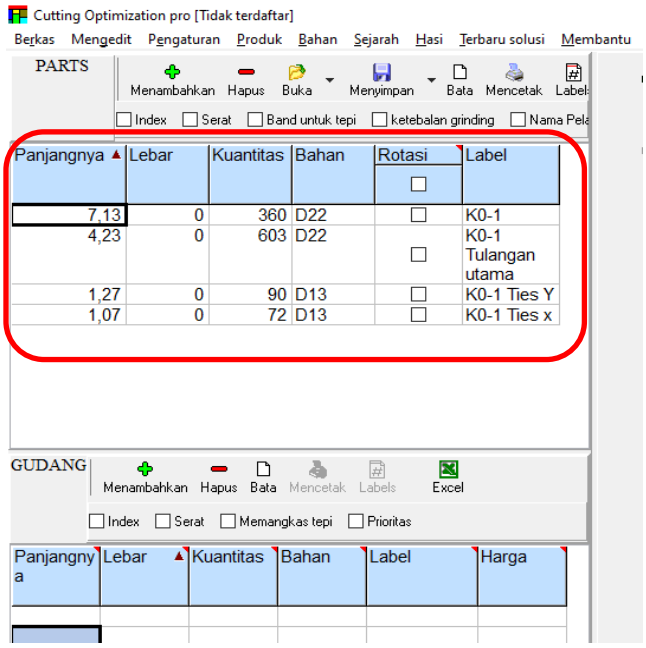



(c)

Gambar 3.3 Pengaturan Sisa Minimum Persediaan (a, b, c)

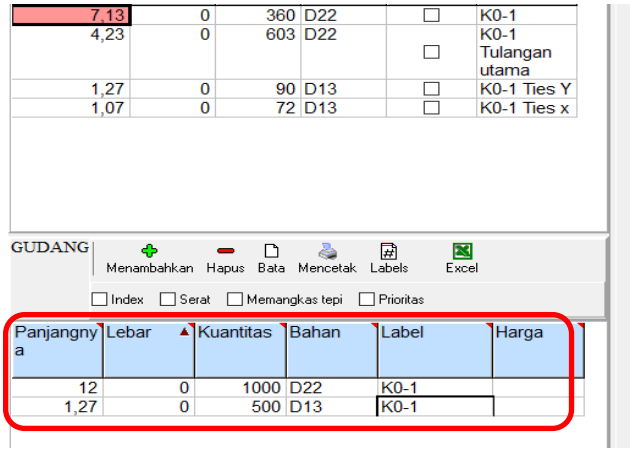
Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2024)

Kemudian input data kebutuhan dan material yang tersedia seperti panjang potongan perbatang, jumlah besi, diameter besi yang akan digunakan, dan data kebutuhan besi yang tersedia.




Gambar 3.4 Input Kebutuhan Besi yang digunakan: Panjang Potongan, Jumlah Besi Tulangan, dan Diameter Besi Tulangan

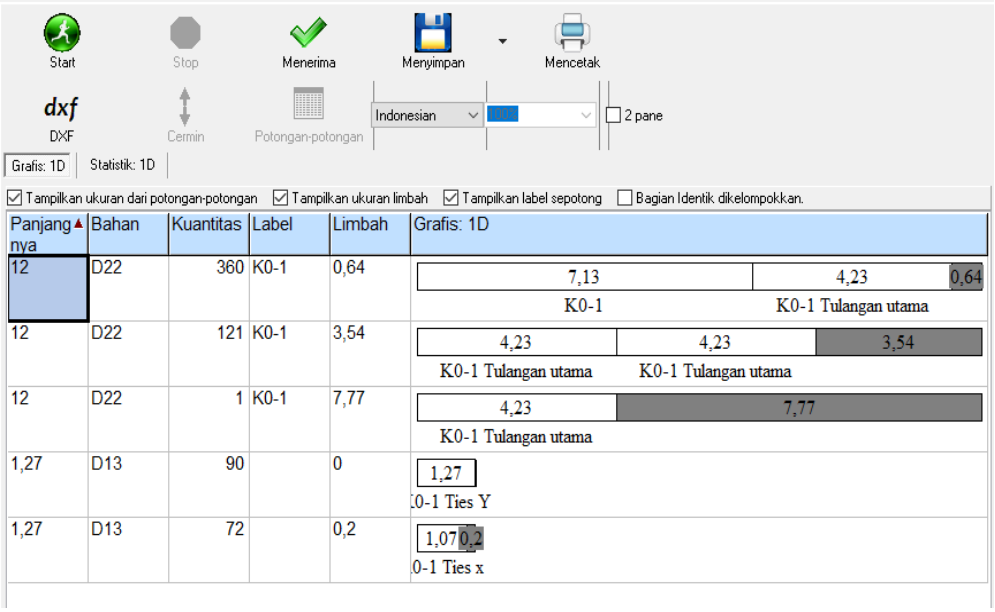
Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2024)




Gambar 3.5 Input Kebutuhan Besi yang Tersedia: Panjang Besi, Jumlah Besi, dan Diameter Besi

Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2024)

Setelah dilakukan penginputan data - data yang dibutuhkan, *software* ini akan langsung megoptimasi kebutuhan besi yang akan digunakan, dalam bentuk grafis 1D, antara lain optimasi pemotongan material, nilai kebutuhan besi yang dibutuhkan dan sisa besi yang terbuang.




Gambar 3.6 *Output* Data *Cutting Optimization Pro*

Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2024)

# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai analisis hasil dari pengolahan dan pengumpulan data yang telah diperoleh sebagai dasar penelitian. Beberapa data teknis perencanaan dan data pendukung lainnya yang didapatkan dari data proyek. Berikut merupakan rincian data-data tersebut:

## 4.1. Data Teknis Perencanaan

| | |
|---|---|
| Nama Proyek | : Proyek Pembangunan Gedung Dipo Center |
| Lokasi Penelitian | : Jl. Letjend S Parman, Kav.75, Kec. Slipi, Jakarta Barat |
| Jenis Struktur | : Gedung Bertingkat |
| Tinggi Gedung | : 66 meter |

## 4.2. Data Penelitian

Data Penelitian yang digunakan merupakan *shop drawing*, spesifikasi teknis pekerjaan, dan *bar bending schedule* pada pekerjaan struktur kolom. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam mengaplikasikan *software cutting Optimization pro*.

## 4.3. Hasil

### 4.3.1. Data Hasil Perhitungan *Bar Bending Schedule* Kolom Dengan Metode Konvensional

Data nilai *waste besi* tulangan pada basement 1 didapatkan dengan melakukan proses perhitungan. Sebagai contoh dengan mengambil perhitungan tipe kolom (K0-1) berikut:

*1. Tulangan Utama Kolom*

a. Ukuran jarak tulangan B1

Tinggi *floor to floor* (B1 – Lantai 1) = 3,5 m

Jarak tumpuan = (tinggi *floor o floor* x $\frac{1}{4}$ )

= (3,5 m x $\frac{1}{4}$ )

= 0,875 m

b. Ukuran jarak tulangan lantai 1

Tinggi *floor to floor* (lantai 1 – lantai 2) = 7,2 m

Jarak tumpuan = (tinggi *floor o floor* x $\frac{1}{4}$ )

= (7,2 m x $\frac{1}{4}$ )

= (1,8)

Jarak lapangan = (tinggi *floor to floor*) – (jarak tumpuan x 2)

= (7,2) – (1,8 x 2)

= 3,6 m

- Panjang potongan perbatang = (*overlapping* + jarak tumpuan B1 + jarak tumpuan lantai 1 + jarak lapangan lantai 1)

  Panjang potongan perbatang = (0,88 x 4 m + 0,875 m + 1,8 m +3,6 m +0,2)

  = 10 m

- *Cut* perbatang = $\frac{\text{panjang besi}}{\text{panjang potongan perbatang}}$

  *Cut* perbatang = $\frac{12 \text{ m}}{10 \text{ m}}$

  = 1 potongan

- *Waste* Perbatang = (panjang besi) – (panjang potongan perbatang x cut perbatang)

  *Waste* Perbatang = (12 m) – (10 m x 1)

  = 2 m

Setelah mendapatkan nilai *waste* perbatang, kemudian dihitung tootal batang yang dibutukan pada kolom dengan tipe tersebut, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

- Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{\text{jumlah tulangan}}{\textit{cut}\text{ perbatang}}$ ) x total kolom

  Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{\text{40 batang}}{\text{1}}$ ) x 9 kolom

  = 360 batang

  Selanjutnya menentukan berat total *waste* kolom tipe K0-1 yang terdapat pada B1 – Lantai 1.

- Total *Waste* pada Jumlah Kolom = total batang yang dibutuhkan x *waste* perbatang x berat besi perbatang

  Total *Waste* pada Jumlah Kolom = 360 x 2 m x 2,98 kg

  = 2.153,85 kg

2. *Tulangan Sengkang dan Ties*

Diketahui:

Dimensi kolom = 1 m x 1,200 m

Panjang pengikat sengkang = 0,08 m

Tebal selimut beton = 400 mm (di kedua sisi jadi 800 mm)

= 0,08 m

- Panjang potongan sengkang + = (dimensi kolom – selimut beton + 1,65) (*overlapping* x 2)

  = 5,88 m

- *Cut* perbatang = $\frac{\text{panjang besi}}{\text{panjang potongan sengkang}}$

  *Cut* perbatang = $\frac{\text{12 m}}{\text{5,88 m}}$

  = 2 potongan

- *Waste* Perbatang Sengkang = (panjang besi) – (panjang potongan sengkang) x (cut perbatang)
- *Waste* Perbatang Sengkang = (12) – (5,88 x 2)

  = 0,24 m
- Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{\text{jumlah tulangan}}{\textit{cut}\text{ perbatang}}$ ) x total kolom

  Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{67\text{ batang}}{2}$ ) x 9 kolom

  = 420 batang
- Total *Waste* pada Jumlah Kolom = total batang yang dibutuhkan x *waste* perbatang x berat besi perbatang

  Total *Waste* pada Jumlah Kolom = 420 x 0,24 m x 1,04 kg

  = 105,11 kg
- Ukuran Ties Y = panjang ties + (*overlapping* x 2)

  = 1,12 m + (0,08 m x 2)

  = 1,27 m
- *Cut* perbatang = $\frac{\text{panjang besi}}{\text{panjang potongan ties y}}$

  *Cut* perbatang = $\frac{12\text{ m}}{1{,}27\text{ m}}$

  = 9 potongan
- *Waste* Perbatang Ties Y = (panjang besi) – (panjang potongan ties y) x (cut perbatang)
- *Waste* Perbatang Ties Y = (12) – (1,27 x 9)

  = 0,57 m
- Total Batang yang Dibutuhkan = ( $\frac{\text{jumlah tulangan}}{\textit{cut}\text{ perbatang}}$ ) x total kolom

Total Batang yang Dibutuhkan $= \left(\frac{10 \text{ batang}}{9}\right)$ x 9 kolom

= 11 batang

- Total *Waste* pada Jumlah Kolom = total batang yang dibutuhkan x *waste* perbatang x berat besi perbatang

Total *Waste* pada Jumlah Kolom = 11 x 0,57 m x 1,04 kg

= 6,53 kg

- Ukuran Ties X = panjang ties + (*overlapping* x 2)

= 0,92 m + (0,08 m x 2)

= 1,07 m

- *Cut* perbatang $= \frac{\text{panjang besi}}{\text{panjang potongan ties x}}$

*Cut* perbatang $= \frac{12 \text{ m}}{1{,}07 \text{ m}}$

= 11 potongan

- *Waste* Perbatang Ties X = (panjang besi) – (panjang potongan ties x) x (cut perbatang)

- *Waste* Perbatang Ties X = (12) – (1,07 x 11)

= 0,23 m

- Total Batang yang Dibutuhkan $= \left(\frac{\text{jumlah tulangan}}{\textit{cut} \text{ perbatang}}\right)$ x total kolom

Total Batang yang Dibutuhkan $= \left(\frac{8}{11}\right)$ x 9 kolom

= 7 batang

- Total *Waste* pada Jumlah Kolom = total batang yang dibutuhkan x *waste* perbatang x berat besi perbatang

Total *Waste* pada Jumlah Kolom = 7 x 0,2 m x 1,04 kg

= 1,68 kg

Kemudian lakukan perhitungan seperti diatas menyesuaikan dengan kebutuhan besinya masing-masing untuk tipe kolom lainnya yang ada pada B1-lantai 1. Setelah itu akan didapatkan hasil perhitungan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-1

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K0-1 | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 360 | 9 | 2.153,85 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5.88 | 0,24 | 420 | 9 | 105,11 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 11 | 9 | 6,53 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 7 | 9 | 1,68 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **2.267,17** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom K0-1 sebesar 2.267,17 Kg

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-2A

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K0-2A | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 104 | 2 | 620,67 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 67 | 2 | 16,76 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,57 | 1,01 | 2 | 2 | 2,10 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 0,88 | 0,56 | 2 | 2 | 1,17 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | 640,70 |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom K0-2A sebesar 640,70 Kg.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-2B

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K0-2B | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 80 | 2 | 477,44 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 67 | 2 | 16,76 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,57 | 1,01 | 95 | 2 | 99,98 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 0,88 | 0,56 | 113 | 2 | 65,94 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | 660,113 |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom K0-2B sebesar 660,113 Kg.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom K0-3

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K0-3 | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 308 | 7 | 838,14 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 234 | 7 | 58,52 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 518 | 7 | 431,56 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,17 | 0,30 | 467 | 7 | 95,8 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **1.474,20** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom K0-3 sebesar 1.474,20 Kg.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1A

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-1A | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 264 | 6 | 675,55 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 280 | 6 | 70,00 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 355 | 6 | 160,97 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 363 | 6 | 87,00 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **1.063,49** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-1A sebesar 1.063,49 Kg.

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1B

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-1B | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 160 | 4 | 954,88 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 187 | 4 | 46,71 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 237 | 4 | 197,19 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 242 | 4 | 81,39 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **1.280,17** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-1B sebesar 1.280,17 Kg.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1C

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-1C | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 120 | 3 | 716,16 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 140 | 3 | 35,04 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 178 | 3 | 147,89 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 182 | 3 | 61,04 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **960,13** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-1C sebesar 960,13 Kg.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-1D

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-1D | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 56 | 1 | 334,21 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 47 | 1 | 11,68 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 83 | 1 | 49,30 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 85 | 1 | 20,35 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **415,53** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-1D sebesar 415,53 Kg.

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Waste Besi Tipe Kolom KH-1E

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-1E | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 112 | 2 | 669,42 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 93 | 2 | 23,36 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,27 | 0,57 | 166 | 2 | 98,59 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 170 | 2 | 40,69 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **831,06** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-1E sebesar 831,06 Kg.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2A

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-2A | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 24 | 1 | 143,23 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 47 | 1 | 11,68 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 39 | 1 | 14,59 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 39 | 1 | 14,59 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **184,10** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-2A sebesar 184,10 Kg.

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2B

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-2B | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 40 | 1 | 238,72 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 47 | 1 | 11,68 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 39 | 1 | 14,59 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 39 | 1 | 14,59 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **279,58** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-2B sebesar 279,58 Kg.

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-2C

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-2C | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 28 | 1 | 167,10 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 47 | 1 | 11,68 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 28 | 1 | 14,59 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 0,97 | 0,36 | 28 | 1 | 14,59 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **207,97** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-2C sebesar 207,97 Kg.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-3A

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-3A | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 92 | 1 | 549,06 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 45 | 1 | 11,13 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,77 | 1,38 | 112 | 1 | 213,11 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,77 | 1,38 | 112 | 1 | 213,11 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | 986,40 |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-3A sebesar 986,40 Kg.

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-4A

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-4A | Tulangan Utama | 32 | 6,31 | 10 | 2 | 88 | 1 | 611,09 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 18 | 1 | 4,38 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,77 | 1,38 | 58 | 1 | 83,98 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,77 | 1,38 | 58 | 1 | 83,98 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **783,42** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-4A sebesar 783,42 Kg.

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-5

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-5 | Tulangan Utama | 32 | 6,31 | 10 | 2 | 96 | 3 | 712,10 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 53 | 3 | 13,13 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 48 | 3 | 11,50 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 48 | 3 | 11,50 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **748,23** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-5 sebesar 748,23 Kg.

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-6

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-6 | Tulangan Utama | 22 | 2,98 | 10 | 2 | 32 | 1 | 190,98 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 18 | 1 | 4,38 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 22 | 1 | 5,34 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,07 | 0,23 | 22 | 1 | 5,34 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **206,04** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-6 sebesar 206,04 Kg.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-7

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-7 | Tulangan Utama | 32 | 6,31 | 10 | 2 | 208 | 2 | 640,21 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 35 | 2 | 8,75 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,87 | 0,78 | 128 | 2 | 101,36 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,87 | 0,78 | 128 | 2 | 101,36 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **843,58** |

Sumber: Pengolahan Data

Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-7 sebesar 843,58 Kg.

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan *Waste* Besi Tipe Kolom KH-8

| Tipe Kolom | Jenis Tulangan | Diameter | Berat Besi (Kg) | Panjang Tulangan (m) | *Waste* Perbatang (m) | Batang yang Dibutuhkan (pcs) | Jumlah Kolom (pcs) | Total *Waste* (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KH-8 | Tulangan Utama | 32 | 6,31 | 10 | 2 | 88 | 2 | 702,17 |
| | Tulangan Sengkang | 13 | 1,04 | 5,88 | 0,24 | 35 | 2 | 8,75 |
| | Ties Y | 13 | 1,04 | 1,87 | 0,78 | 117 | 2 | 94,93 |
| | Ties X | 13 | 1,04 | 1,87 | 0,78 | 117 | 2 | 94,93 |
| **Total (Kg)** | | | | | | | | **809,70** |

Sumber: Pengolahan Data

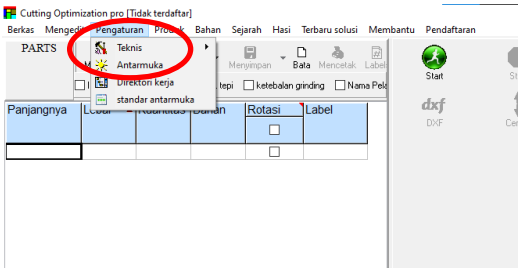
Didapatkan total *waste* pada tipe kolom KH-8 sebesar 809,70 Kg.

Dengan mengacu pada data diatas dilakukan rekapitulasi *waste* besi, nilai rekapitulasi *wastei* besi didapatkan dari menjumlahkan total *waste* tiap tipe kolom pada basement – lantai 1, maka akan didapatkan nilai sebesar 16,141,68 Kg.

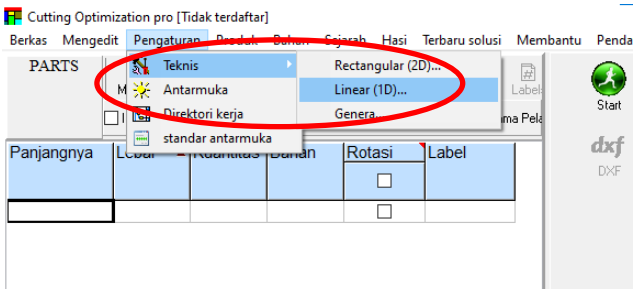
### 4.3.2. Proses Input Data Perhitungan *Waste* Besi Dengan *Software Cutting Optimization Pro*

Pengoptimasian dilakukan dengan menggunakan *software cutting optimization pro* sesuai dengan data BBS yang telah direncanakan. Berikut merupakan proses pengoptimasian *waste* besi tulangan.

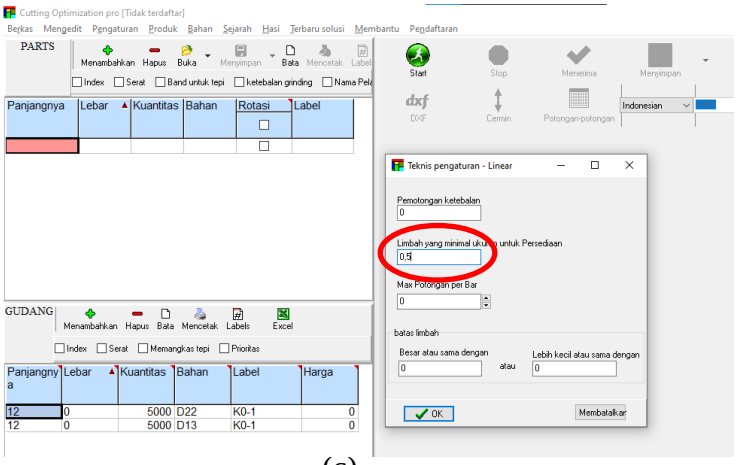
a. Mengatur *waste* minimum persediaan yang dimaksudkan nantinya akan menjadi sisa yang benar benar tidak digunakan lagi atau dibuang.




(a)




(b)

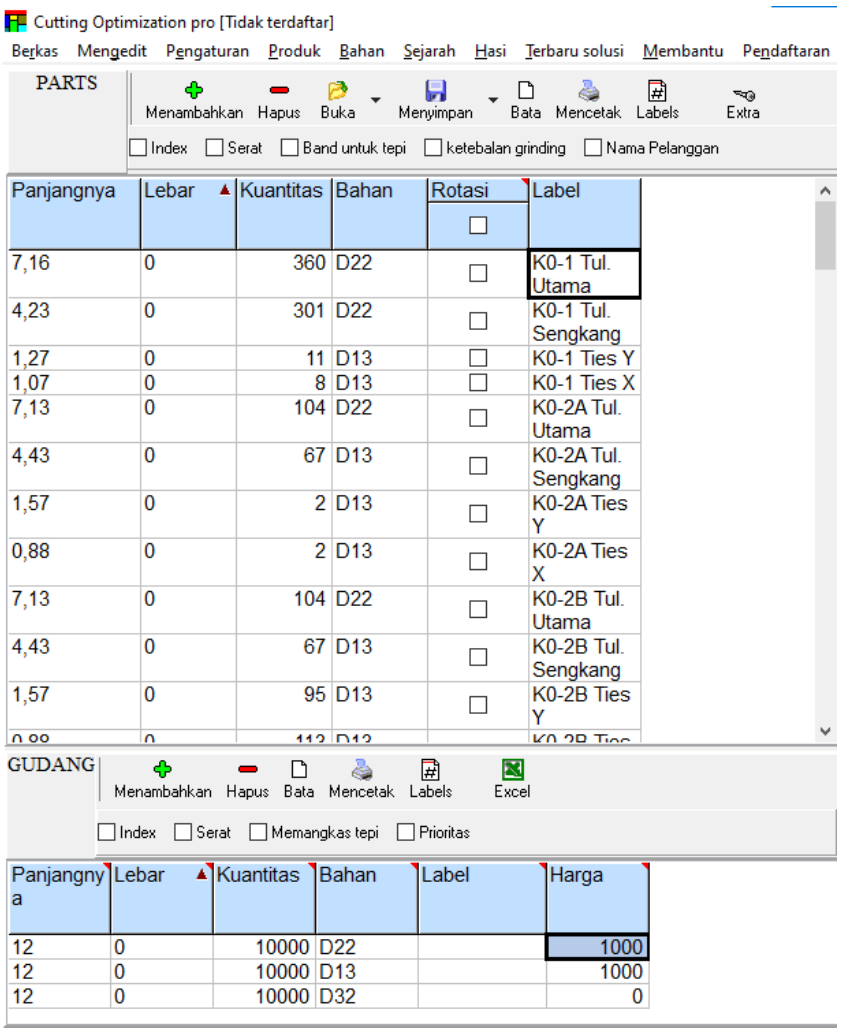



(c)

Gambar 4. 1 Mengatur Sisa Minimum Persediaan (a, b, c)

Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2025)

b. Kemudian input data kebutuhan dan material yang akan digunakan data material yang tersedia.

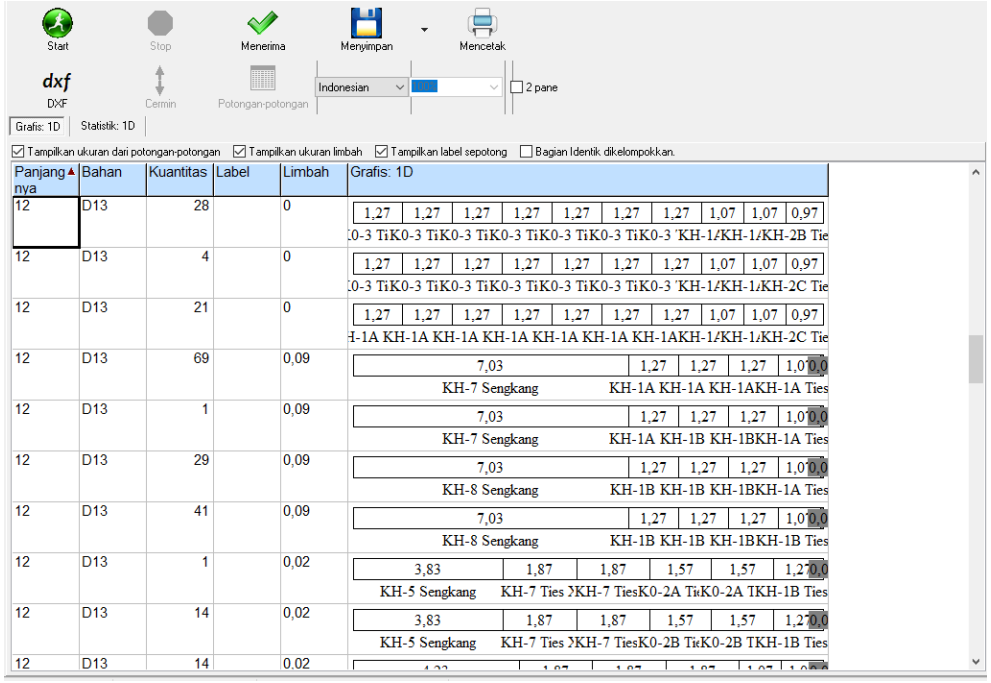


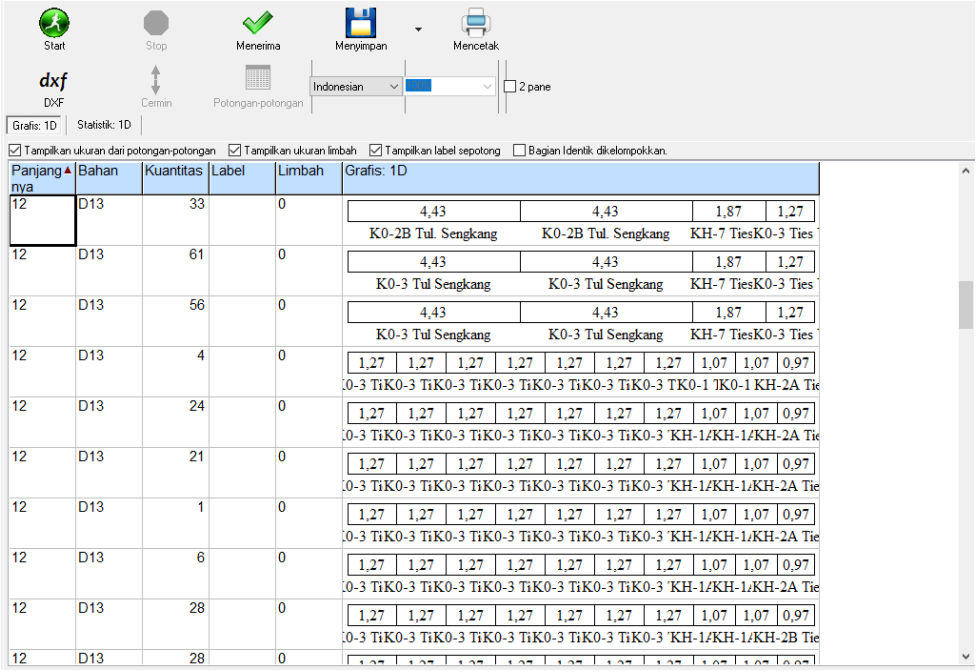

Gambar 4. 2 Input Data BBS pada *Software*

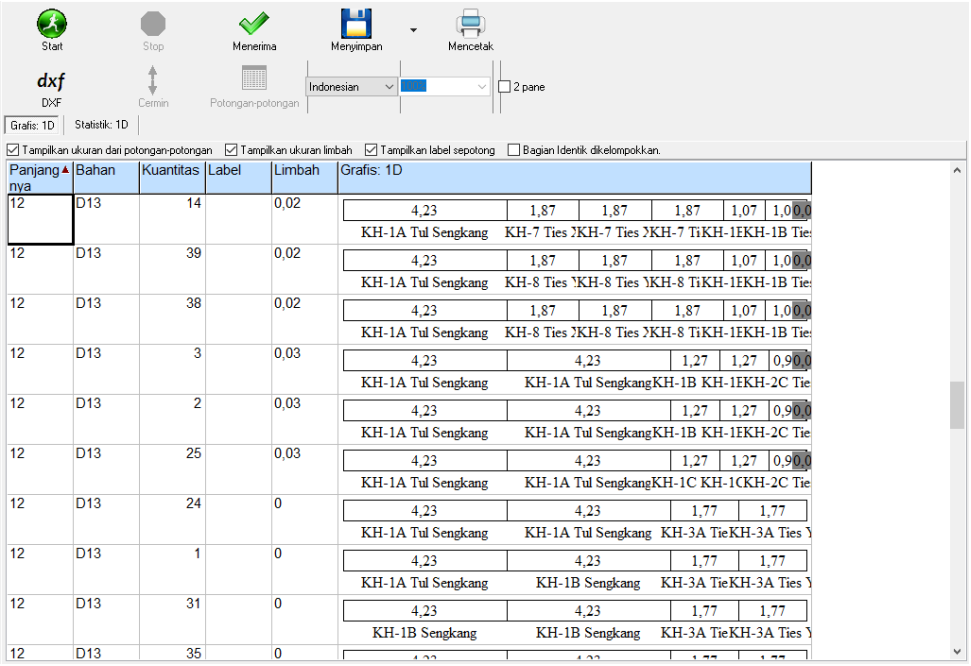
Sumber: (Tahapan Pemrograman Peneliti, 2025)

c. Setelah dilakukan input data maka akan diperoleh pola potongan besi yang telah dipotimasikan, dalam bentuk grafis 1D.

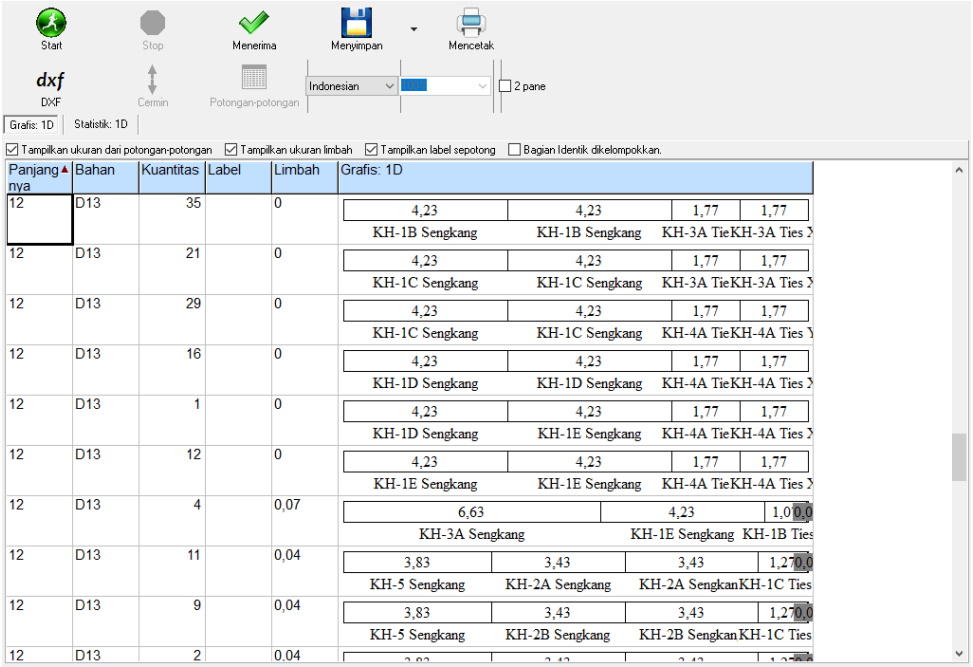
### 4.3.3. Hasil *Waste* Tulangan Besi Tulangan Setelah dilakukan Optimasi Dengan Software Cutting Optimization Pro



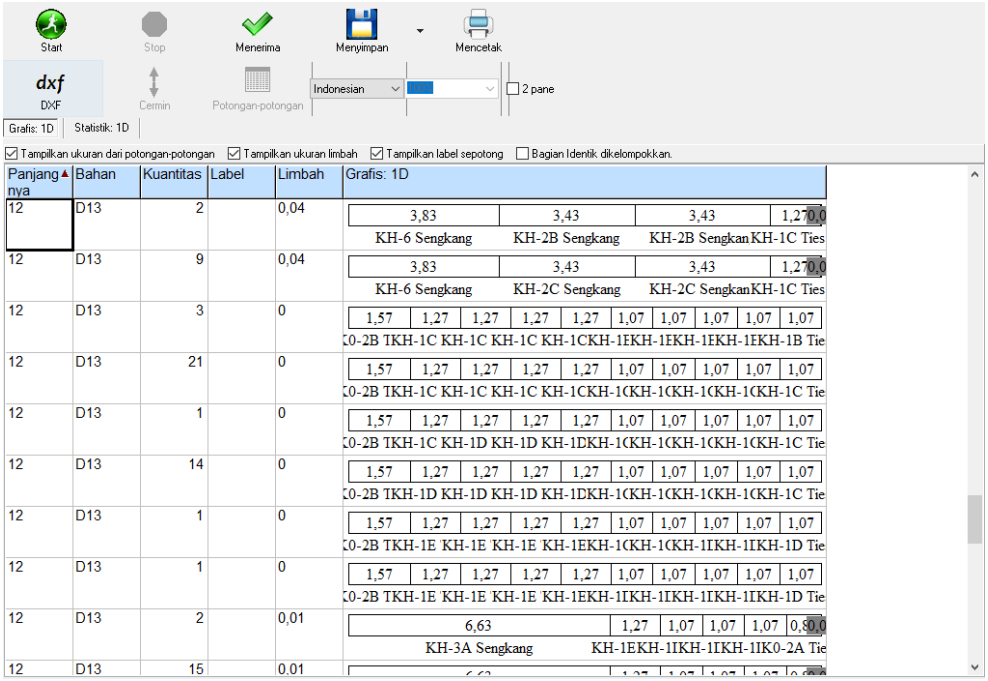



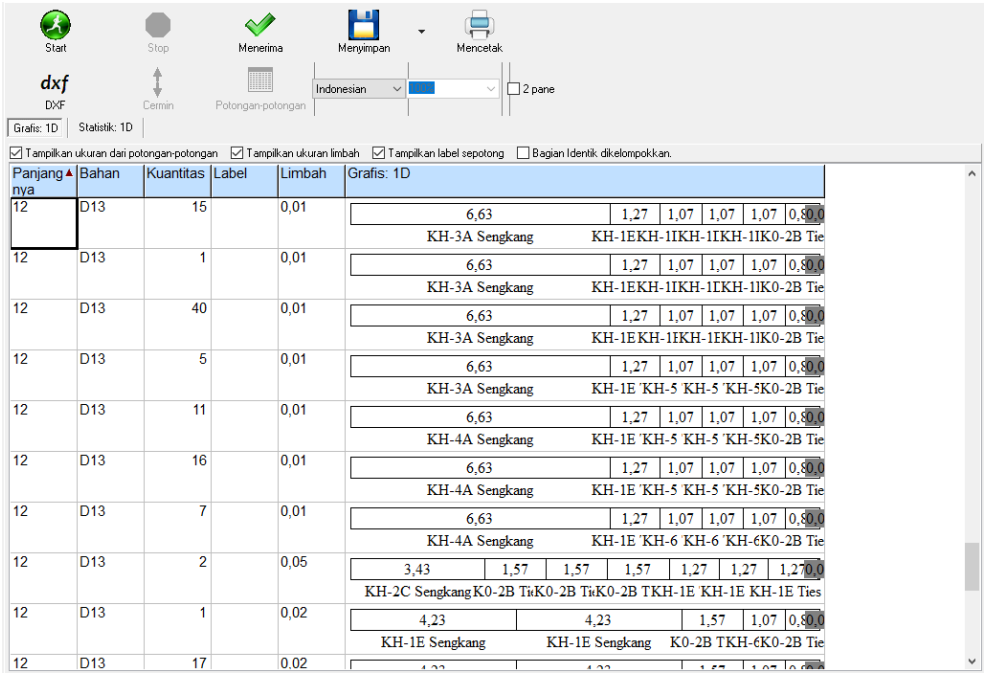



| Panjangnya | Bahan | Kuantitas | Label | Limbah | Grafis: 1D |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | D13 | 14 | | 0,02 | 4,23 1,87 1,87 1,87 1,07 1,00,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-7 Ties KH-7 Ties KH-7 Ti KH-1E KH-1B Tie |
| 12 | D13 | 39 | | 0,02 | 4,23 1,87 1,87 1,87 1,07 1,00,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-8 Ties KH-8 Ties KH-8 Ti KH-1E KH-1B Tie |
| 12 | D13 | 38 | | 0,02 | 4,23 1,87 1,87 1,87 1,07 1,00,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-8 Ties KH-8 Ties KH-8 Ti KH-1E KH-1B Tie |
| 12 | D13 | 3 | | 0,03 | 4,23 4,23 1,27 1,27 0,90,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-1A Tul Sengkang KH-1B KH-1E KH-2C Tie |
| 12 | D13 | 2 | | 0,03 | 4,23 4,23 1,27 1,27 0,90,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-1A Tul Sengkang KH-1B KH-1E KH-2C Tie |
| 12 | D13 | 25 | | 0,03 | 4,23 4,23 1,27 1,27 0,90,0<br>KH-1A Tul Sengkang KH-1A Tul Sengkang KH-1C KH-1C KH-2C Tie |
| 12 | D13 | 24 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1A Tul Sengkang KH-1A Tul Sengkang KH-3A Tie KH-3A Ties |
| 12 | D13 | 1 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1A Tul Sengkang KH-1B Sengkang KH-3A Tie KH-3A Ties |
| 12 | D13 | 31 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1B Sengkang KH-1B Sengkang KH-3A Tie KH-3A Ties |
| 12 | D13 | 35 | | 0 | |




| Panjangnya | Bahan | Kuantitas | Label | Limbah | Grafis: 1D |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | D13 | 35 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1B Sengkang KH-1B Sengkang KH-3A Tie KH-3A Ties |
| 12 | D13 | 21 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1C Sengkang KH-1C Sengkang KH-3A Tie KH-3A Ties |
| 12 | D13 | 29 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1C Sengkang KH-1C Sengkang KH-4A Tie KH-4A Ties |
| 12 | D13 | 16 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1D Sengkang KH-1D Sengkang KH-4A Tie KH-4A Ties |
| 12 | D13 | 1 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1D Sengkang KH-1E Sengkang KH-4A Tie KH-4A Ties |
| 12 | D13 | 12 | | 0 | 4,23 4,23 1,77 1,77<br>KH-1E Sengkang KH-1E Sengkang KH-4A Tie KH-4A Ties |
| 12 | D13 | 4 | | 0,07 | 6,63 4,23 1,00,0<br>KH-3A Sengkang KH-1E Sengkang KH-1B Ties |
| 12 | D13 | 11 | | 0,04 | 3,83 3,43 3,43 1,270,0<br>KH-5 Sengkang KH-2A Sengkang KH-2A Sengkan KH-1C Ties |
| 12 | D13 | 9 | | 0,04 | 3,83 3,43 3,43 1,270,0<br>KH-5 Sengkang KH-2B Sengkang KH-2B Sengkan KH-1C Ties |
| 12 | D13 | 2 | | 0,04 | |




Gambar 4. 3 Hasil Pola Potongan Besi Tulagan yang Telah Dioptimasikan

Sumber: (Pengolahan Data, 2025)

Dari gambar 4.3 di atas dapat diketahui bahwa total waste yang terbuang sebesar 10.911,77 Kg. Dengan menjumlahkan *waste* besi tiap diameter kemudian dikonversi menjadi satuan berat, dapat dilihat pada lampiran 5.

### 4.3.4. Hasil *Waste* Besi dan *Waste Cost* Sebelum Optimasi dan Setelah Optimasi Dengan *Software Cutting Optimization Pro*

Tabel 4. 19 Harga Besi Permeter

| Keterangan | harga |
|---|---|
| Besi Ulir 32 SNI (TS 420B) | Rp 1.008.000/batang |
| Besi Ulir 22 SNI (TS 420B) | Rp 420.000/batang |
| Besi Ulir 13 SNI (TS 420B) | Rp 147.000/batang |

Sumber: Pengolahan Data

Dalam menghitung *waste cost* maka diperlukan langkah perhitungan sebagai berikut.

Dengan mengambil contoh tipe kolom K0-1

a. Tulangan Utama

Harga besi permeter (D22) $= \frac{\text{Rp } 420.000}{12}$

= Rp 35.000

*Waste cost* (D32) = a x b x c

Keterangan:

a = Harga besi permeter (Rp)

b = *waste* perbatang (m)

c = banyaknya tulangan (batang)

*Waste cost* = Rp35.000 x 2 m x 360 batang

= Rp 25.263.000

b. Tulangan sengkang

Harga besi permeter (D13) $= \frac{\text{Rp } 147.000}{12}$

= Rp 12.250

*Waste cost* = Rp12.250 x 0,24 m x 420 batang

= Rp 1.263.000

c. Tulangan ties Y

Harga besi permeter (D13) $= \frac{\text{Rp } 147.000}{12}$

= Rp 12.250

*Waste cost* = Rp12.250 x 0,57 m x 11 batang

= Rp76.810

d. Tulangan ties X

Harga besi permeter (D13) $= \frac{\text{Rp } 147.000}{12}$

= Rp 12.250

*Waste cost* = Rp12.250 x 0,23 m x 7 batang

= Rp19.772

Total *waste cost* Kolom K0-1 $= \sum waste\ cost$

= Rp25.263.000 x Rp1.235.000 x Rp76.810 x Rp19.722

= Rp26.595.212

Setelah dilakukan perhitungan untuk keseluruhan tipe kolom maka akan didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Hasil sebelum optimasi

Tabel 4. 20 *Waste* Besi Dan *Waste Cost* Sebelum Optimasi

| Tipe Kolom | *Waste* Besi | *Waste Cost* |
|---|---|---|
| K0-1 | 2.267,17 Kg | Rp 26.595.212 |
| K0-2A | 640,70 Kg | Rp 7.515.445 |
| K0-2B | 660,113 Kg | Rp 7.747.548 |
| K0-3 | 1,474,20 Kg | Rp 29.037,67 |
| KH-1A | 1.063,49 Kg | Rp 24.216.308 |
| KH-1B | 1.280,17 Kg | Rp 15.024.205 |
| KH-1C | 960,13 Kg | Rp 11,268.154 |
| KH-1D | 415,53 Kg | Rp 4.876,051 |
| KH-1E | 831,06 Kg | Rp 9.752.103 |
| KH-2A | 184,10 Kg | Rp 2.160.396 |
| KH-2B | 279,58 Kg | Rp 3.280.396 |
| KH-2C | 207,97 Kg | Rp 2.439.275 |
| KH-3A | 986,40 Kg | Rp 11.581.472 |
| KH-4A | 783,42 Kg | Rp 16.809.954 |
| KH-5 | 748,23 Kg | Rp 16.552.830 |
| KH-6 | 206.04 Kg | Rp 2.417.111 |
| KH-7 | 843,68 Kg | Rp 37.500.624 |
| KH-8 | 809.70 Kg | Rp 17.118.948 |
| **Total** | **16.141,68 Kg** | **Rp245.893.700** |

Sumber: Pengolahan Data

Dari rekapitulasi yang dilakukan dengan cara menjumlahkan seluruh *waste* besi dari tiap tipe kolom, maka didapatkan nilai *waste* besi sebesar 16.141,68 Kg. Kemudian *waste cost* yang didapatkan dengan cara mengkonversi *waste* besi tulangan tiap batang berdasarkan diameternya dengan nilai harga besi permeter, maka didapatkan nilai *waste cost* sebesar Rp245.893.700, -

b. Setelah dioptimasikan dengan *software cutting Optimization pro*

Untuk mendapatkan *waste cost* setelah optimasi dilakukan langkah perhitungan sebagai berikut:

*Waste cost* Besi D32 = Jumlah waste (m) x harga besi permeter (Rp)

= 191,00 m x Rp84.000

= Rp16.044.000

*Waste cost* Besi D22 = Jumlah waste (m) x harga besi permeter (Rp)

= 3.250,65 m x Rp35.000

= Rp113.772.750

*Waste cost* Besi D13 = Jumlah waste (m) x harga besi permeter (Rp)

= 18,83 Kg x Rp12.250

= Rp230.668

Total *waste cost* = $\sum waste\ cost$ (Rp)

= Rp130.047.418

Tabel 4. 21. Hasil *Waste* Besi dan *Waste Cost* Setelah Optimasi

| Diameter | *Waste* Besi | *Waste Cost* |
|---|---|---|
| 32 | 1.205,21 Kg | Rp 16.044.000 |
| 22 | 9.686,94 Kg | Rp 113.772.750 |
| 13 | 19,62 Kg | Rp 230.668 |
| **Total** | **10.911,77 Kg** | **Rp 130.047.418** |

Sumber: Pengolahan Data

Dari rekapitulasi yang dilakukan dengan cara menjumlahkan seluruh *waste* besi berdasarkan diameternya, maka didapatkan nilai *waste* besi sebesar 10.911,77 Kg.

Kemudian *waste cost* yan didapatkan dengan cara mengkonversi *waste* besi tulangan berdasarkan diameternya dengan nilai harga besi permeter, maka didapatkan nilai *waste cost* sebesar Rp130.047.418, -

## 4.4. Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *bar bending schedule* maka diperoleh rekapitulasi *waste* besi sebesar 16.141,68 Kg, dengan nilai *waste cost* sebesar Rp245.893.700. setelah dioptimasikan dengan *software cutting optimization pro* maka nilai *waste* besinya berkurang menjadi 10.911,77 Kg, dan nilai *waste cost* nya juga berkurang menjadi Rp130.047.418. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat perhitungan konvensional, *waste* besi tiap batang sudah dianggap sampah, jadi akan berdampak pembengkakan *waste* besi ketika dijumlahkan keseluruhan kolom, sedangkan setelah dioptimasikan didapatkan hasil potongan yang memanfaatkan *waste* tiap besi tulangan ke tipe kolom yang lain, sehingga diperoleh nilai *waste* besi yang lebih efisien atau lebih kecil.

Nilai *waste cost* juga akan berbanding lurus terhadap perubahan *waste* material, yang dimana jika *waste* besi banyak maka nilai *waste cost* juga akan lebih banyak. Seperti pada perhitungan konvensional nilai *wast cost* nya sebesar Rp245.893.700. Setelah dioptimasikan dengan *software cutting optimization pro* nilai *waste cost*

sebesar Rp130.047.418. Keunggulan dalam menggunakan *software* ini yaitu menghasilkan pola potongan yang dapat dimanfaatkan kembali, sehingga akan mengurangi nilai *waste cost*, selain itu *software* ini juga akan memudahkan pada saat fabrikasi, sehingga dapat mempercepat proses pemotongan.

Setelah diperoleh hasil *waste cost* dan *waste* besi, selanjutnya hasil tersebut dikonversi menjadi satuan persen sebagai berikut:

a. Persentase *waste* besi dan *waste cost* sebelum optimasi

*Waste* besi (%) = $\frac{\sum waste \text{ besi (kg)}}{\sum \text{batang dibutuhkan (kg)}}$ x 100%

*Waste cost* (%) = $\frac{\sum waste\ cost \text{ (Rp)}}{\sum \text{harga batang dibutuhkan (Rp)}}$ x 100%

- Sebelum optimasi

*Waste* besi (%) = $\frac{16.141,68}{355.507,12}$ x 100%

*Waste* besi (%) = 5 %

*Waste* cost (%) = $\frac{245.893,70}{4.772.993.49}$ x 100%

*Waste* cost (%) = 5 %

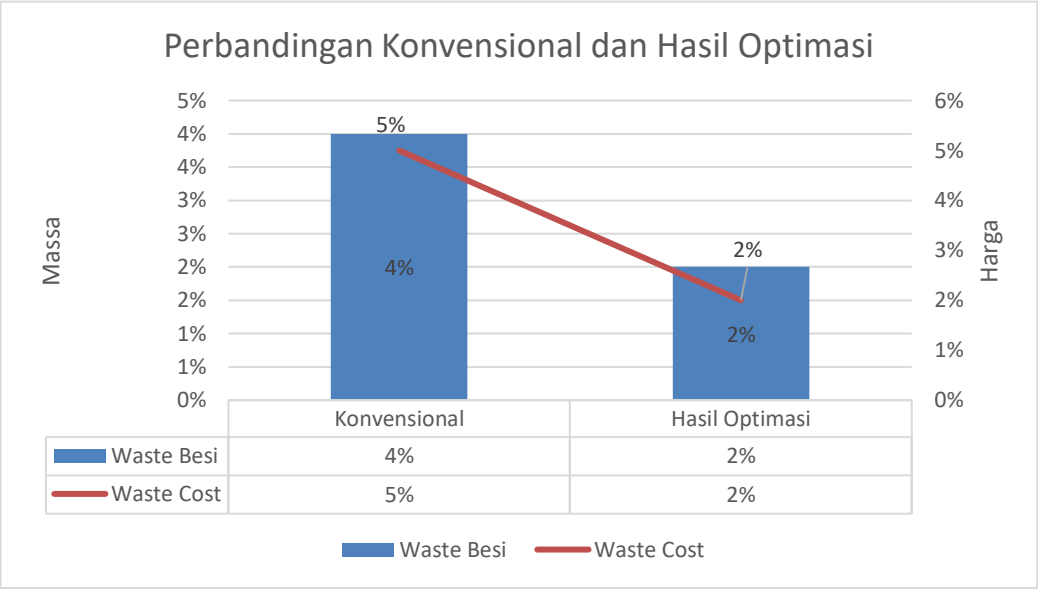
- Setelah Optimasi

*Waste* besi (%) = $\frac{10.911,77}{455.550,12}$ x 100%

*Waste* besi (%) = 2 %

*Waste* cost (%) = $\frac{130.047,42}{5.772.993,49}$ x 100%

*Waste* cost (%) = 2 %




Gambar 4. 4 Diagram Perbandingan Hasil Perhitungan Konvensional dan Optimasi

Sumber: (Pengolahan Data, 2025)

Terlihat perbedaan persentase untuk *waste* besi secara konvensional sebesar 5%, dan setelah dioptimasikan sebesar 2%, selisih perbedaannya sebesar 3%. Sedangkan untuk *waste cost* secara konvensional sebesar 5%, dan setelah dioptimasikan sebesar 2%, dengan selisih perbedaannya sebesar 3%.

*Software* ini dapat membantu membuat pola potongan yang lebih efisien, sehingga memudahkan proses fabrikasi, karena potongan yang telah dianggap *waste* pada perhitungan konvensional akan dioptimasikan oleh *software* ini ke tulangan lain untuk dimanfaatkan kembali, mereka dapat langsung memotong sesuai pola yang didapatkan sehingga proses fabrikasi akan lebih cepat, tidak perlu menyisihkan besi sisa yang nantinya akan diangkut ke tempat penyimpanan untuk digunakan kembali. Terlihat perbedaan persentase untuk *waste* besi secara konvensional sebesar 5%, dan setelah dioptimasikan sebesar 2%, selisih perbedaannya sebesar 3%. Sedangkan untuk *waste cost* secara konvensional sebesar 5%, dan setelah dioptimasikan sebesar 2 %, dengan selisih perbedaannya sebesar 3%.

*Software* ini dapat membantu membuat pola potongan yang lebih efisien, sehingga memudahkan proses fabrikasi, karena potongan yang telah dianggap *waste* pada perhitungan konvensional akan dioptimasikan oleh *software* ini ke tulangan lain untuk dimanfaatkan kembali, mereka dapat langsung memotong sesuai pola yang didapatkan sehingga proses fabrikasi akan lebih cepat, tidak perlu menyisihkan besi sisa yang nantinya akan diangkut ke tempat penyimpanan untuk digunakan kembali.

Selain itu ada juga cara lain untuk menekan jumlah *waste cost* dan *waste* besi yaitu dengan cara memesan besi tulangan sesuai dengan kebutuhan panjang potongan besi tulangan di lapangan (*costumize* besi), sehingga jumlah *waste* tulangan dapat berkurang. *Waste* besi dengan diameter kecil juga dapat dimanfaatkan menjadi tangga ataupun kebutuhan lainnya di lapangan, sehingga mengurangi limbah material.

# BAB V
# PENUTUP

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang diperoleh dapat disimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil optimasi *software cutting optimization pro* diperoleh nilai *waste* besi untuk pekerjaan kolom basement 1 yaitu sebesar 2%, dan nilai *waste cost* nya sebesar 2%.
2. Dari perhitungan konvensional diperoleh nilai *waste* besi untuk pekerjaan kolom basement 1 sebesar 5%, dan untuk *waste* cost sebesar 5%, Dengan demikian maka didapatkan selisih nilai *waste* besi sebesar 2%. Sedangkan selisih *waste cost* sebesar 2%
3. Dengan adanya pengoptimasian dengan *software cutting optimization pro* ini maka nilai *waste* besi dan *waste cost* akan berkurang, dan juga memudahkan tim fabrikasi dalam memotong besi tulangan.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat kekurangan beserta saran guna mendukung penelitian ini kedepannya sebagai berikut:

1. Lingkup pekerjaan lebih dikembangkan lagi dengan meninjau bagian struktur lainnya agar dapat menurunkan jumlah *waste* nya.
2. Kelemahan dari penelitian perhitungan ini hanya melakukan *trial* sekali, sehingga kedepannya untuk lebih akurat maka dihitung dengan 2 kali *trial error*, baik dalam perhitungan konvensional maupun menggunakan *software*.
3. Melakukan evaluasi dan validasi berkelanjutan mengenai volume *waste* besi dan *waste cost* yang tekah didapatkan untuk memastikan tingkat akurasi dari *software cutting optimization pro*.

# DAFTAR PUSTAKA


Ailing, R., and M, Qarinur. 2024. *Analisis Kebutuhan Tulangan Kolom Dan Balok Pada Tribun Penonton Stadion Mini Pancing Provinsi Sumatera Utara*. Vol. 5.

Arifin, D., A. J. Saputra, A. Savitri, J. Atmaja, F. Adibroto, N. Hidayah, " Optimasi, Pemotongan Besi, Tulangan Pada, Pekerjaan Struktur, and Menggunakan Metode. 2020. "Efektifitas Pembesian Pada Proyek Panbill Mall Menggunakan Bar Bending Schedule SNI-2847-2019, BS-8666-2005, Dan Linear Programming Linear Programming." *Borneo Eng. J. Tek. Sipil* 4:192 – 202.

Asnudin, A. 2010. "Pengendalian Sisa Material Konstruksi Pada Pembangunan Rumah Tinggal." *Jurnal Mekanika Teknik* 12.

Felixius, Jonathan, and Dan Mega Waty. 2021. *Analisis Sisa Material Dan Penyebab Utamanya Pada Proyek Bangunan Rumah Tinggal*. Vol. 4.

Hadut, A. 2018. "*Kajian Pengelolaan Sisa Material Konstruksi Pada Kontraktor Di Yogyakarta Dan Kupang.*".

Kerzner, Harold, and John &. Sons Wiley. 2019. "*Project Management, a System Approach to Planing, Scheduling, and Controlling, Tent Edition*."

Kurnia, D. 2013. "Perhitungan *Waste Construction* Material Pada Pekerjaan Perumahan Parma Garden Di Kota Pontianak."

Nugroho, Riyanto Hery. 2014. *Analisis Sifat Mekanik Kekuatan Baja Tulangan Polos Hasil Proses Perlakuan Panas Fasa Ganda*. Vol. 15.

Pratama, I., I. Sudika, E., Saputra, E. 2023. *Analisis Sisa Besi Tulangan Menggunakan Software Cutting Optimization Pro Pada Konstruksi Gedung*. Vol. 15.

Putri, Pingkan Anjani. 2021. "Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Tengah Balok, Kolom, Dan Plat Lantai Pembangunan Gedung Data Center Indonesia.".

Qatrannada, Atania. 2022. “Manajemen Baja Tulangan Dengan Metode Just In Time (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung X).” *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*.

RSNI3 2052:2024. 2024. “Rancangan Standar Nasional (RSNI 3).”

Silaban, Merdy. 2023. “Analisis *Waste* Material Menggunakan Fault Tree Analysis Pada Pekerjaan Concrete Barrier.”

Wijaya, Felix Septian, and Hendrik Sulistio. 2019. “Penerapan Metode *Monte Carlo* Pada Penjadwalan Proyek Serpong Garden Apartment.” *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* 2.

Yuliana, Candra. 2018. *Buku Ajar*.

# LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup

# DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. **Data Personal**

| | | |
|---|---|---|
| NIM | : | 202021089 |
| Nama | : | Muh Khalif Al Fatah Chairul |
| Tempat / Tgl.Lahir | : | Makassar/ 24 Oktober 2002 |
| Jenis Kelamin | : | Laki-laki |
| Agama | : | Islam |
| Status Perkawinan | : | - |
| Program Studi | : | S1 Teknik Sipil |
| Alamat Rumah | : | Jl. Raya duri kosambi, No.46 RT/RW 12/02, Kel. Duri kosambi, Kec. Cengkareng, Jakarta Barat, 11750 |
| Telp. | : | 087856051829 |
| Email | : | muhammadkhalifalfatah@gmail.com |
| Personal Web | : | - |

2. **Pendidikan**

| Jenjang | Nama Lembaga | Jurusan | Tahun Lulus |
|---|---|---|---|
| SD | SDN Campagaya | - | 2014 |
| SMP | SMPN 1 Pallangga | - | 2017 |
| SMA | SMA Insan Cendekia Syech Yusuf | MIPA | 2020 |

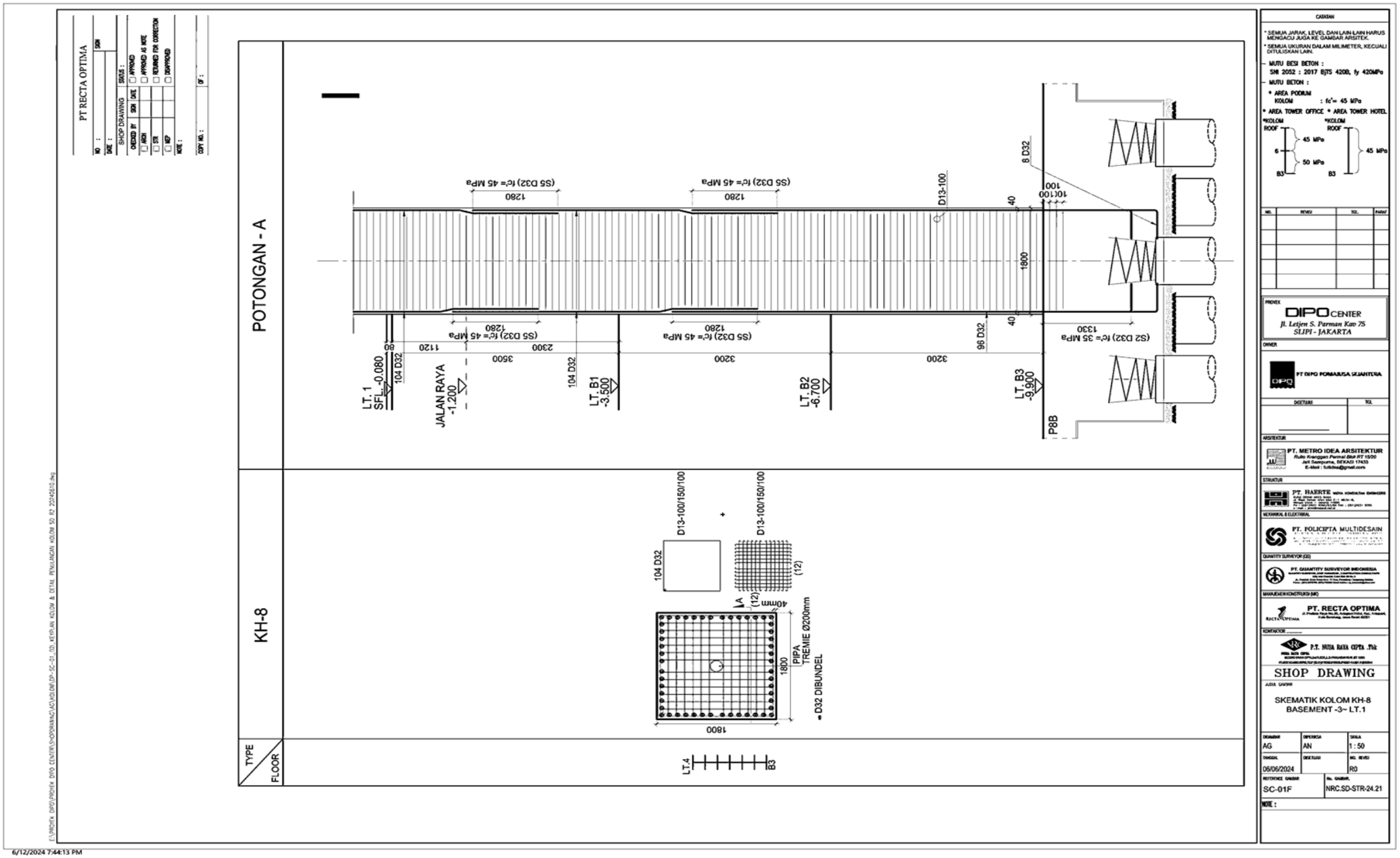
Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 17 Februari 2025

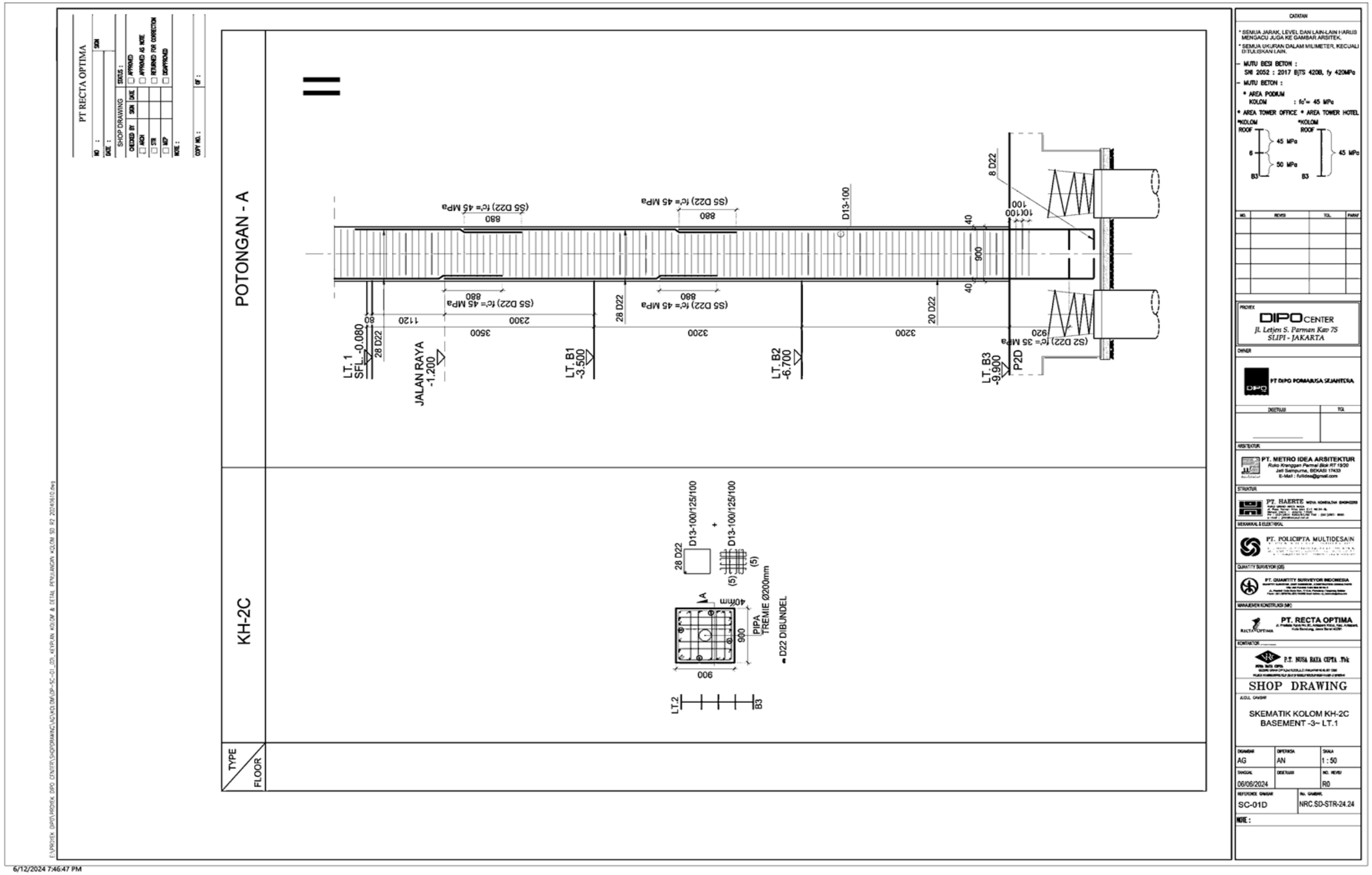
(Muh Khalif Al Fatah Chairul)

Lampiran 2. *Shop Drawing* Posisi Sambungan Tulangan

A. Kolom Tipe KH-8



B. Kolom Tipe KH-2C



Lampiran 3. *Typical Details*

A. Standar Kait dan Bengkokan Tulangan Utama dan Ties

## TYPICAL DETAILS 1

### 1. NOTASI & SINGKATAN

#### 1–1. NOTASI

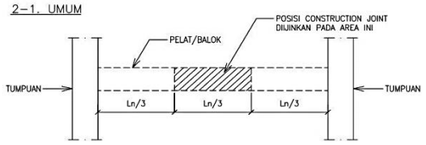
| | | |
|---|---|---|
| db | : | DIAMETER NOMINAL |
| ø | : | BESI POLOS |
| D | : | BESI ULIR |
| ℄ | : | GARIS TENGAH |
| fc' | : | KUAT TEKAN KARAKTERISTIK BETON (DARI UJI SILINDER) |
| fy | : | KUAT LELEH BESI TULANGAN |
| L | : | PANJANG BENTANG |
| S1 | : | PANJANG PENJANGKARAN BESI TARIK (UMUM) |
| S2 | : | PANJANG PENJANGKARAN BESI TARIK (BESI ATAS) |
| S3 | : | PANJANG PENJANGKARAN BESI TEKAN |
| S4 | : | PANJANG SAMBUNGAN BESI TEKAN |
| S5 | : | PANJANG SAMBUNGAN BESI TARIK |
| P | : | JARAK BERSIH ANTAR BESI BETON |
| R | : | DIAMETER DALAM PADA TEKUKAN BESI BETON |

#### 1–2. SINGKATAN

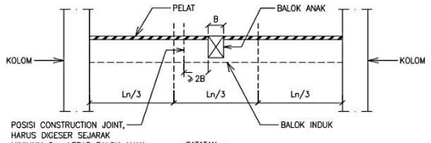
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AB | : ANCHOR BOLT | DBL | : DOUBLE | G | : GIRDER |
| ADDL | : ADDITIONAL | DET | : DETAIL | GL | : GROUND LEVEL |
| ALT | : ALTERNATE | DIA | : DIAMETER | | |
| APPROX | : APPROXIMATE | DIAG | : DIAGONAL | HOR | : HORIZONTAL |
| ARCH | : ARCHITECT / ARCHITECTURAL | DN | : DOWN | HP | : HOOP |
| | | DO | : DITTO | HTB | : HIGH TENSION BOLT |
| | | DWG | : DRAWING | | |
| B | : BEAM | | | INT | : INTERIOR |
| BLDG | : BUILDING | EA | : EACH | | |
| BOT | : BOTTOM | EF | : EACH FACE | RC | : REINFORCED CONCRETE |
| BP | : BASE PLATE | ELV | : ELEVATION | | |
| BW | : BASEMENT WALL | EQ | : EQUAL | SL | : STRUCTURAL LEVEL |
| | | EW | : EACH WAY | ST | : STIRRUP |
| C | : COLUMN | EXP | : EXPANSION | | |
| CANT | : CANTILEVER | EXT | : EXTERIOR | W | : WALL |
| CENT | : CENTER | | | WR | : WATER RESERVOIR |
| COMP | : COMPRESSION | FTG | : FOOTING | | |
| CONC | : CONCRETE | FB | : FOUNDATION BEAM | | |
| CONT | : CONTINUOUS | FG | : FOUNDATION GIRDER | | |
| CM | : CENTIMETER | FL | : FLOOR | | |
| CS | : CANTILEVER SLAB | FFL | : FINISHED FLOOR LEVEL | | |
| CW | : CONCRETE WALL | FS | : FOUNDATION SLAB | | |

### 2. JOINT KONSTRUKSI (CONSTRUCTION JOINT)

#### 2–1. UMUM



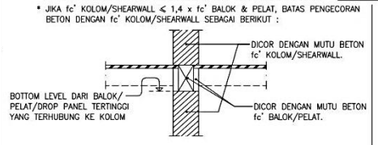

#### 2–2. BALOK INDUK YANG DIBEBANI BALOK ANAK

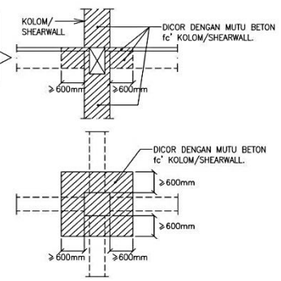



CATATAN :
- PELAKSANAAN CONSTRUCTION JOINT HARUS MENGACU KE SNI 2847–2019 PASAL 26.5.6
- CONSTRUCTION JOINT HARUS TEGAK LURUS TERHADAP PENAMPANG BALOK/PELAT.
- SEMUA PEMBESIAN HARUS MENERUS MELALUI CONSTRUCTION JOINT.

#### 2–3. CONSTRUCTION JOINT UNTUK KOLOM/SHEARWALL

- JIKA fc' KOLOM/SHEARWALL > 1,4 x fc' BALOK & PELAT, MAKA BETON DENGAN fc' KOLOM/SHEARWALL HARUS DI COR PADA LANTAI DI LOKASI KOLOM/SHEARWALL, HINGGA MENERUS SEJAUH MINIMAL 600mm DARI MUKA KOLOM/SHEARWALL. BETON KOLOM TERSEBUT HARUS MENYATU DENGAN BAIK DENGAN BETON LANTAI & HARUS DICOR SESUAI KETENTUAN SNI 2847–2019 PASAL 26.5.7.2
- JIKA fc' KOLOM/SHEARWALL ≤ 1,4 x fc' BALOK & PELAT, BATAS PENGECORAN BETON DENGAN fc' KOLOM/SHEARWALL SEBAGAI BERIKUT :

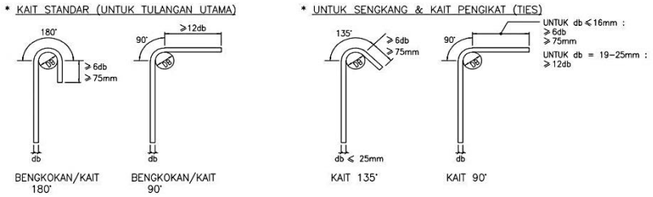



### 3. KAIT & BENGKOKAN (UNTUK ASTM A706M – GRADE 60)

#### 3–1. KAIT & BENGKOKAN – UMUM

- KAIT STANDAR (UNTUK TULANGAN UTAMA)
- UNTUK SENGKANG & KAIT PENGIKAT (TIES)




- DIAMETER MINIMUM DARI BENGKOKAN (DB)
(DIUKUR PADA BAGIAN DALAM BATANG TULANGAN)

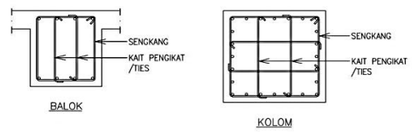
UNTUK TULANGAN UTAMA

| DIAMETER BESI (db) | DIAMETER BENGKOKAN (DB) |
|---|---|
| ≤ 25 | 6 db |
| 29–36 | 8 db |
| 43–57 | 10 db |

UNTUK SENGKANG & KAIT PENGIKAT

| DIAMETER BESI (db) | DIAMETER BENGKOKAN (DB) |
|---|---|
| ≤ 16 | 4 db |
| 19–25 | 6 db |
| | |

#### 3–2. DETAIL SENGKANG (STIRRUP & HOOP) & KAIT PENGIKAT (TIES)

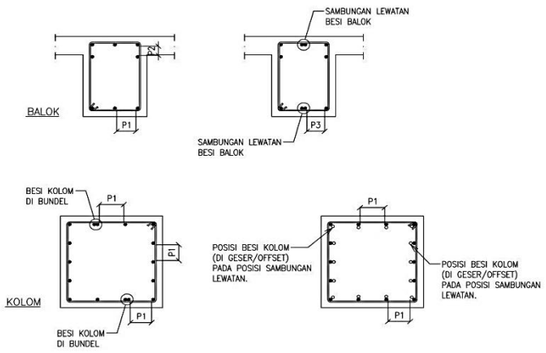



CATATAN :
- POSISI KAIT 90° & 135° HARUS BERSELANG–SELING
- PANJANG KAIT & DIAMETER BENGKOKAN MENGACU KE GAMBAR NO. 3–1

### 4. JARAK ANTAR BATANG TULANGAN (BALOK, KOLOM)

| KETERANGAN | JARAK BERSIH TULANGAN | |
|---|---|---|
| * BALOK | P1 ≥ 2db<br>P1 ≥ 30mm | P3 ≥ db<br>P3 ≥ 25mm |
| | P2 ≥ db<br>P2 ≥ 25mm<br>P2 ≤ 40mm | |
| * KOLOM<br>* BOUNDARY SHEARWALL | P1 ≥ 2db<br>P1 ≥ 40mm | |

CATATAN :
P1, P2, P3 : TIDAK BOLEH KURANG DARI 1,3 x UKURAN AGGREGAT KASAR MAKSIMUM
db = DIAMETER TULANGAN UTAMA




FOR CONSTRUCTION

CATATAN

| NO. | REVISI | TGL. | PARAF |
|---|---|---|---|
| 1. | R0 | 08–03–2024 | |

PROYEK
DIPO CENTER
Jl. Letjen S. Parman Kav 75
SLIPI - JAKARTA

OWNER
PT. TIGAPANCAR NUSASEJAHTERA
Jl. Letjen. S. Parman Kav. 75
SLIPI - JAKARTA

DISETUJUI | TGL

ARSITEKTUR
PT. METRO IDEA ARSITEKTUR
Ruko Kranggan Permai Blok RT 15/20
Jati Sampurna, BEKASI 17433
E-Mail : fulidea@gmail.com

STRUKTUR
PT. HAERTE WIDYA KONSULTAN ENGINEERS

PENANGGUNG JAWAB DESAIN STRUKTUR | TGL
EURICKY EDUARDO TANUWIDJAJA

MEKANIKAL & ELEKTRIKAL
PT. POLICIPTA MULTIDESAIN

QUANTITY SURVEYOR (QS)

MANAJEMEN KONSTRUKSI (MK)

JUDUL GAMBAR
TYPICAL DETAILS 1

| DIGAMBAR | DIPERIKSA | SKALA |
|---|---|---|
| FAR | RPA/MAH | 1 : 100 |
| TANGGAL | DISETUJUI | NO. REVISI |
| 08–03–2024 | EET | R0 |

No. PROYEK: DIPO CENTER
No. GAMBAR: T-01

NOTE :
WRITTEN DIMENSION ON THESE DRAWING SHALL HAVE PRECEDENCE OVER SCALED DIMENSION. CONTRACTORS SHALL VERIFY AND BE RESPONSIBLE FOR ALL DIMENSIONS AND CONDITIONS ON THE JOB AND THIS OFFICE MUST BE NOTIFIED OF ANY VARIATIONS FROM THE DIMENSIONS AND CONDITIONS SHOWN BY THESE DRAWINGS.

SHOP DETAILS MUST BE SUBMITTED TO THIS OFFICE FOR APPROVAL BEFORE PROCEEDING WITH FABRICATION.

B. Standar *Overlaping* Tulangan

## TYPICAL DETAILS 2

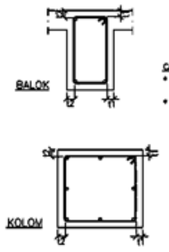
### 5. TEBAL SELIMUT BETON

BETON COR SETEMPAT (NON PRATEGANG)

KECUALI JIKA SELIMUT BETON YANG LEBIH BESAR DISYARATKAN OLEH PASAL 20.6.1.3.1. DARI SNI-2847-2019, SELIMUT YANG DISYARATKAN UNTUK TULANGAN HARUS MENGIKUTI KETENTUAN BERIKUT INI :

| KETERANGAN | TEBAL SELIMUT BETON (t1) (mm) |
|---|---|
| (a) BETON YANG DICOR DI ATAS DAN SELALU BERHUBUNGAN DENGAN TANAH | 75 |
| (b) BETON YANG BERHUBUNGAN DENGAN TANAH ATAU CUACA : | |
| BATANG TULANGAN D-19 HINGGA D-57 | 50 |
| BATANG TULANGAN D-16, KAWAT M-16 ULIR ATAU POLOS, DAN YANG LEBIH KECIL. | 40 |
| (c) BETON YANG TIDAK BERHUBUNGAN DENGAN CUACA ATAU BERHUBUNGAN DENGAN TANAH : | |
| SLAB, DINDING, BALOK USUK : | |
| BATANG TULANGAN D-43 DAN D-57 | 40 |
| BATANG TULANGAN D-36 DAN YANG LEBIH KECIL | 20 |
| BALOK, KOLOM : | |
| TULANGAN UTAMA, PENGIKAT, SENGKANG, SPIRAL | 40 |

CATATAN :
* TOLERANSI UNTUK TEBAL SELIMUT BETON = ±5mm

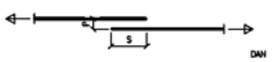



CATATAN :
* t1 = TEBAL SELIMUT BETON UNTUK SENGKANG BALOK/KOLOM
* t2 = TEBAL SELIMUT BETON UNTUK TULANGAN UTAMA BALOK/KOLOM

### 6. KETENTUAN UNTUK PENJANGKARAN & SAMBUNGAN BESI BETON

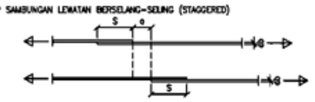
#### 6-1. SAMBUNGAN LEWATAN (LAP SPLICE) – UMUM

* SAMBUNGAN LEWATAN TIDAK BOLEH DIGUNAKAN UNTUK BATANG TULANGAN YANG LEBIH BESAR DARI D36.
* PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK BATANG TULANGAN BUNDEL YANG TERDIRI DARI 2 BATANG : SAMA DENGAN PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK BATANG INDIVIDUAL DITAMBAH 20% NYA. (BATANG TULANGAN BUNDEL HANYA BOLEH DIGUNAKAN PADA TULANGAN UTAMA KOLOM & SHEARWALL, DENGAN DIAMETER MAX 36mm, DAN BUNDEL TULANGAN TERDIRI DARI MAX 2 BATANG)
* BILA DILAKUKAN SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK 2 BUAH BATANG YANG BERBEDA DIAMETERNYA, PANJANG SAMBUNGAN YANG DIGUNAKAN ADALAH YANG TERBESAR ANTARA :
  – PANJANG PENYALURAN BATANG YANG LEBIH BESAR.
  – PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN BATANG YANG LEBIH KECIL.
* SAMBUNGAN LEWATAN NON KONTAK (UNTUK BALOK & PELAT)

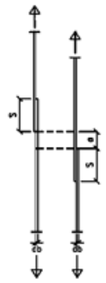



S = PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN
P = JARAK ANTARA BESI YANG DISAMBUNG (cs-cs)
$P \leq \frac{S}{5}$
DAN $P \leq 150mm$

* SAMBUNGAN LEWATAN BERSELANG-SELING (STAGGERED)




S = PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN
a = JARAK ANTARA POSISI SAMBUNGAN STAGGERED
a > 600 mm




* SAMBUNGAN LAS & SAMBUNGAN MEKANIS (COUPLER)
  UNTUK PENGGUNAAN SAMBUNGAN LAS DAN/ATAU SAMBUNGAN MEKANIS HARUS DENGAN PERSETUJUAN DARI DIREKSI PENGAWAS / PERENCANA STRUKTUR.
* SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK TULANGAN KOLOM & DINDING BETON
  – TULANGAN UTAMA KOLOM
  – TULANGAN UTAMA DINDING BETON
  – TULANGAN HORIZONTAL DINDING BETON
  } DIGUNAKAN PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN BESI TARIK. (LIHAT GAMBAR NO. 6-2)
* SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK WIRE MESH (ULIR & POLOS)
  – DIGUNAKAN PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN WIRE MESH (ULIR & POLOS) DALAM KONDISI TARIK.
  – MENGACU KE GAMBAR NO. 6-4
* JIKA DIGUNAKAN SAMBUNGAN SETEMPAT/TIDAK STAGGERED, PANJANG SAMBUNGAN BESI PERLU DIPERPANJANG SEBAGAI BERIKUT :

PANJANG SAMBUNGAN BESI, S5
ASTM A706/A706M ; GRADE 60 ; fy= 420MPa

| db (mm) | fc'= 30 MPa | fc'= 35 & 40 MPa | fc'= 45 MPa |
|---|---|---|---|
| D10 | 520 | 520 | 520 |
| D13 | 680 | 680 | 680 |
| D16 | 840 | 840 | 840 |
| D19 | 990 | 990 | 990 |
| D22 | 1320 | 1220 | 1130 |
| D25 | 1500 | 1390 | 1300 |
| D29 | 1750 | 1610 | 1510 |
| D32 | 1950 | 1800 | 1670 |

#### 6-2. PANJANG PENJANGKARAN/PENYALURAN & PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK BESI BETON (BESI ULIR, SNI 2052 : 2017 BJTS 420B (fy=420MPa) & BESI BETON (BESI ULIR, SNI 2052 : 2017 BJTS 520 (fy=520MPa)

CONCRETE
fc'= 30MPa —> FOR SNI 2052 : 2017 BJTS 420B (fy=420MPa)

| MUTU BESI BETON | db (mm) | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SNI 2052: 2017 BJTS 420B (fy=420MPa) | D8 | 300 | 390 | 200 | 300 | 390 |
| | D10 | 300 | 400 | 200 | 300 | 400 |
| | D13 | 390 | 520 | 19xD | 30xD | 520 |
| | D16 | 480 | 640 | 19xD | 30xD | 640 |
| | D19 | 570 | 760 | 19xD | 30xD | 760 |
| | D22 | 760 | 990 | 19xD | 30xD | 990 |
| | D25 | 870 | 1120 | 19xD | 30xD | 1120 |
| | D29 | 1000 | 1300 | 19xD | 30xD | 1300 |
| | D32 | 1100 | 1440 | 19xD | 30xD | 1440 |

CONCRETE
fc'= 35MPa & 40MPa —> FOR SNI 2052 : 2017 BJTS 420B (fy=420MPa)

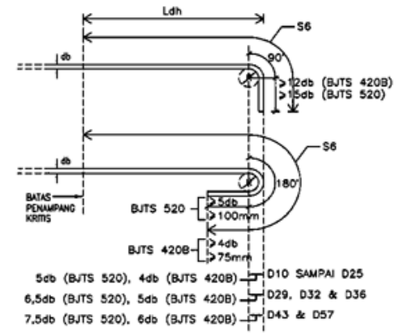
| MUTU BESI BETON | db (mm) | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SNI 2052: 2017 BJTS 420B (fy=420MPa) | D8 | 300 | 390 | 200 | 300 | 390 |
| | D10 | 300 | 400 | 200 | 300 | 400 |
| | D13 | 390 | 520 | 19xD | 30xD | 520 |
| | D16 | 480 | 640 | 19xD | 30xD | 640 |
| | D19 | 570 | 760 | 19xD | 30xD | 760 |
| | D22 | 710 | 920 | 19xD | 30xD | 920 |
| | D25 | 800 | 1040 | 19xD | 30xD | 1040 |
| | D29 | 930 | 1210 | 19xD | 30xD | 1210 |
| | D32 | 1030 | 1330 | 19xD | 30xD | 1330 |

CONCRETE
fc'= 45MPa, 50MPa & 55MPa —> FOR SNI 2052 : 2017 BJTS 420B (fy=420MPa)

| MUTU BESI BETON | db (mm) | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SNI 2052: 2017 BJTS 420B (fy=420MPa) | D8 | 300 | 390 | 200 | 300 | 390 |
| | D10 | 300 | 400 | 200 | 300 | 400 |
| | D13 | 390 | 520 | 19xD | 30xD | 520 |
| | D16 | 480 | 640 | 19xD | 30xD | 640 |
| | D19 | 570 | 760 | 19xD | 30xD | 760 |
| | D22 | 660 | 880 | 19xD | 30xD | 880 |
| | D25 | 750 | 1000 | 19xD | 30xD | 1000 |
| | D29 | 870 | 1160 | 19xD | 30xD | 1160 |
| | D32 | 960 | 1280 | 19xD | 30xD | 1280 |

CATATAN :
* S1 = PANJANG PENYALURAN TULANGAN TARIK (UMUM)
* S2 = PANJANG PENYALURAN TULANGAN TARIK ("BESI ATAS") YANG DIMAKSUD DENGAN "BESI ATAS" ADALAH BESI HORIZONTAL YANG POSISINYA SEDEMIKIAN SEHINGGA LEBIH DARI 300mm KETEBALAN BETON SEGAR DICOR DI BAWAH BESI TERSEBUT.
* S3 = PANJANG PENYALURAN TULANGAN TEKAN
* S4 = PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN TEKAN
* S5 = PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN TARIK
* PADA POSISI PENJANGKARAN BESI & POSISI SAMBUNGAN BESI, TEBAL SELIMUT BETON TIDAK BOLEH KURANG DARI YANG DITENTUKAN. JIKA TEBAL SELIMUT BETON KURANG DARI KETENTUAN, MAKA PANJANG PENYALURAN/PANJANG SAMBUNGAN BESI YANG BERSANGKUTAN HARUS DITAMBAH.
* POSISI SAMBUNGAN BESI (UNTUK SEMUA ELEMEN STRUKTUR) HARUS DILAKUKAN DENGAN BERSELANG-SELING (STAGGERED). JIKA POSISI SAMBUNGAN BESI TIDAK DILAKUKAN DENGAN BERSELANG-SELING, MAKA PANJANG SAMBUNGAN BESI YANG BERSANGKUTAN HARUS DITAMBAH.
* SENGKANG PADA POSISI SAMBUNGAN BESI BALOK INDUK, KOLOM, & ELEMEN BOUNDARY SHEARWALL HARUS DIPASANG DENGAN JARAK MAX 100mm.
* PANJANG PENYALURAN/SAMBUNGAN UNTUK BATANG TULANGAN BUNDEL YANG TERDIRI DARI 2 BATANG : SAMA DENGAN PANJANG PENYALURAN/SAMBUNGAN UNTUK BATANG INDIVIDUAL DITAMBAH 40% NYA. (BATANG TULANGAN BUNDEL HANYA BOLEH DIGUNAKAN PADA TULANGAN UTAMA KOLOM & SHEARWALL, DENGAN DIAMETER MAX 36mm, DAN BUNDEL TULANGAN TERDIRI DARI MAX 2 BATANG)
* PANJANG PENYALURAN UNTUK TULANGAN PINGGANG MENGIKUTI KETENTUAN PANJANG PENYALURAN TULANGAN TARIK.
* UNTUK PERHITUNGAN PANJANG SAMBUNGAN, NILAI fc' TIDAK BOLEH MELEBIHI 65 MPa.

#### 6-3. PANJANG PENJANGKARAN/PENYALURAN BESI TARIK DENGAN KAIT STANDARD 90°/180° – UNTUK BALOK & PELAT

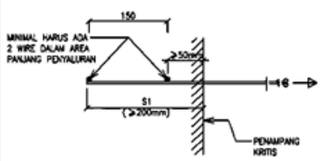



DB = DIAMETER BENGKOKAN ----> LIHAT GAMBAR 3-1
S6 = PANJANG PENYALURAN TOTAL UNTUK BESI TARIK DENGAN KAIT STANDARD

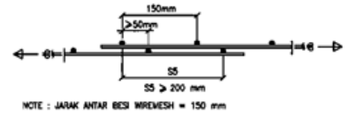
| db (mm) | Ldh (MUTU BESI SNI 2052 : 2017 BJTS 420B fy'=420MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | fc'= 30MPa | fc'= 35MPa & fc'= 40MPa | fc'= 45MPa, fc'= 50MPa & fc'= 55MPa |
| D8 | 150 | 150 | 150 |
| D10 | 190 | 170 | 150 |
| D13 | 240 | 230 | 200 |
| D16 | 300 | 280 | 240 |
| D19 | 350 | 330 | 290 |
| D22 | 410 | 380 | 340 |
| D25 | 460 | 430 | 380 |
| D29 | 540 | 500 | 440 |
| D32 | 590 | 550 | 490 |

#### 6-4. PANJANG PENYALURAN & PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN UNTUK WIREMESH (BESI TARIK)

* PANJANG PENYALURAN WIREMESH POLOS :

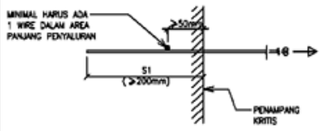



* PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN WIREMESH POLOS :

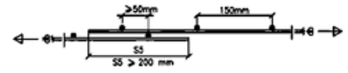



NOTE : JARAK ANTAR BESI WIREMESH = 150 mm

* PANJANG PENYALURAN WIREMESH ULIR :




* PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN WIREMESH ULIR :




NOTE : JARAK ANTAR BESI WIREMESH = 150 mm

**FOR CONSTRUCTION**

CATATAN

| NO. | REVISI | TGL. | PARAF |
|---|---|---|---|
| 1. | R0 | 08-03-2024 | |

PROYEK
DIPO CENTER
Jl. Letjen S. Parman Kav 75
SLIPI - JAKARTA

OWNER
PT. TIGAPANCAR NUSASEJAHTERA
Jl. Letjen. S. Parman Kav. 75
SLIPI - JAKARTA

DIRECTURE | TGL.

ARSITEKTUR
PT. METRO IDEA ARSITEKTUR
Ruko Kranggan Permai Blok RT 19/20
Jati Sampurna, BEKASI 17433
E-Mail : fullcrew@gmail.com

STRUKTUR
PT. HAERTE

PEMERIKSA JASA DESAIN STRUKTUR | TGL.
EUROKY EDUARDO TAMUNDJAJA

MECHANICAL & ELECTRICAL
PT. POLICIPTA MULTIDESAIN

QUANTITY SURVEYOR (QS)

MANAJEMEN KONSTRUKSI (MK)

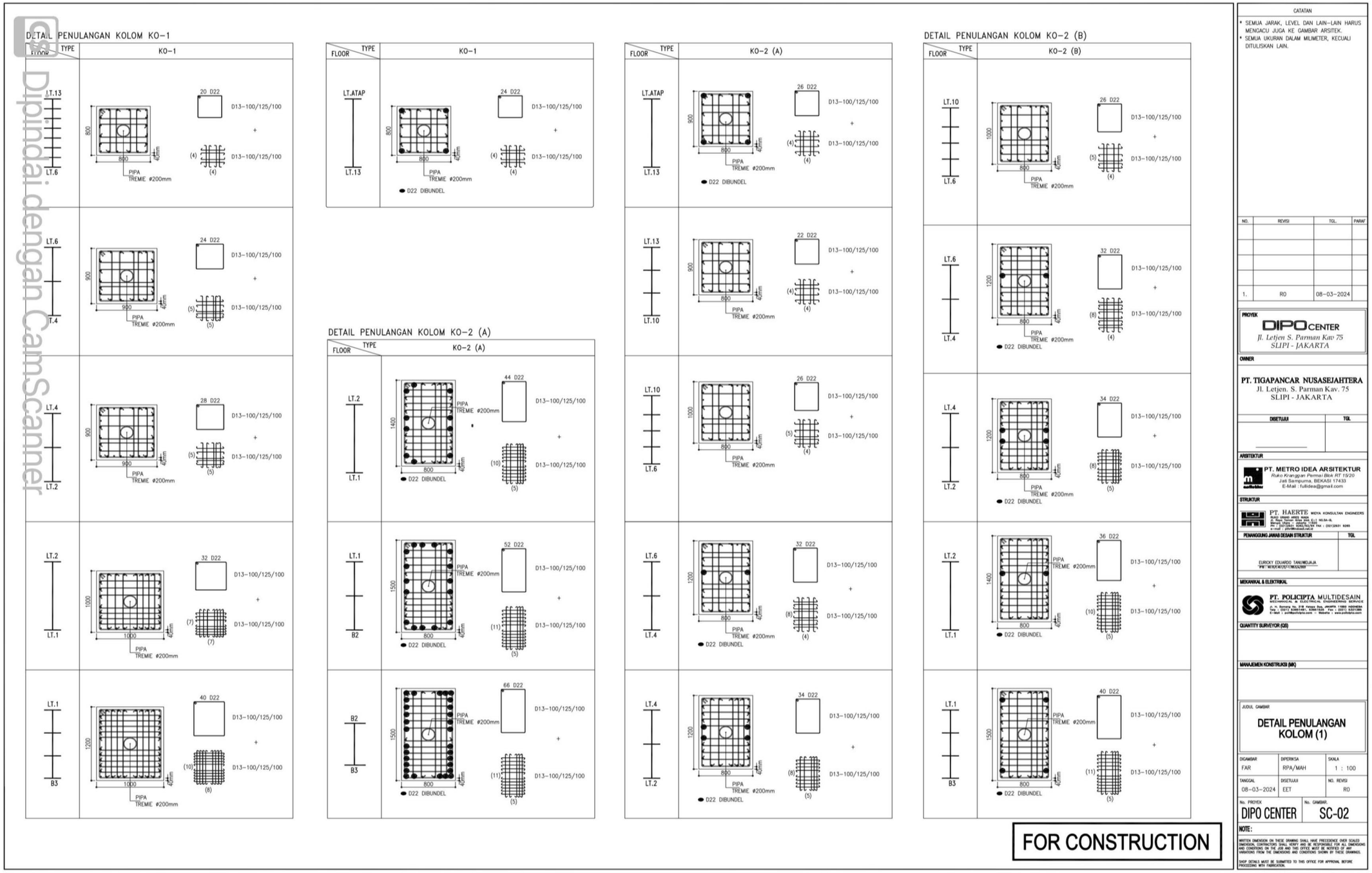
JUDUL GAMBAR
TYPICAL DETAILS 2

| DIGAMBAR | DIPERIKSA | SKALA |
|---|---|---|
| FAR | RFA/WAH | 1 : 100 |
| TANGGAL 08-03-2024 | DISETUJUI EET | NO. REVISI R0 |

No. PROYEK: DIPO CENTER
No. GAMBAR: T-02

NOTE:

Lampiran 4. *Shop Drawing* Detail Tulangan Kolom




Dipindai dengan CamScanner

Dipindai dengan CamScanner

## DETAIL PENULANGAN KOLOM KO-2 (B)

| FLOOR \ TYPE | KO-2 (B) |
|---|---|
| LT.ATAP – LT.13 | 900 × 900, 800 × 800, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm, D22 DIBUNDEL; 32 D22 + (4) D13-100/125/100 |
| LT.13 – LT.10 | 900 × 900, 800 × 800, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 22 D22 + (4) D13-100/125/100 |

## DETAIL PENULANGAN KOLOM KO-3

| FLOOR \ TYPE | KO-3 |
|---|---|
| LT.ATAP – LT.6 | 800 × 800, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 20 D22 + (4) D13-100/125/100 |
| LT.6 – LT.4 | 900 × 900, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 24 D22 + (5) D13-100/125/100 |
| LT.4 – LT.3 | 900 × 900, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 28 D22 + (6) D13-100/125/100 |
| LT.3 – LT.1 | 1100 × 1100, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 40 D22 + (9) D13-100/125/100 |
| LT.1 – B3 | 1200 × 1100, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 44 D22 + (10) D13-100/125/100 |

## DETAIL PENULANGAN KOLOM KH-1A

| FLOOR \ TYPE | KH-1A |
|---|---|
| LT.ATAP – LT.10 | 700 × 700, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 16 D22 + (3) D13-100/125/100 |
| LT.10 – LT.6 | 800 × 800, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 20 D22 + (4) D13-100/125/100 |
| KH-1A* LT.6 – LT.2 LT.6 – LT.3 | 900 × 900, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 28 D22 + (5) D13-100/125/100 |
| KH-1A* LT.2 – LT.1 LT.3 – LT.1 | 1000 × 1000, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm, D22 DIBUNDEL; 36 D22 + (7) D13-100/125/100 |
| LT.1 – B3 | 1200 × 1000, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm, D22 DIBUNDEL; 44 D22 + (8) D13-100/125/100 |

## DETAIL PENULANGAN KOLOM KH-1B

| FLOOR \ TYPE | KH-1B |
|---|---|
| LT.10 – LT.6 | 800 × 800, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 20 D22 + (4) D13-100/125/100 |
| LT.6 – LT.4 | 900 × 900, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 24 D22 + (5) D13-100/125/100 |
| KH-1B* LT.4 – LT.2 LT.4 – LT.3 | 900 × 900, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm, D22 DIBUNDEL; 28 D22 + (5) D13-100/125/100 |
| KH-1B* LT.2 – LT.1 LT.3 – LT.1 | 1000 × 1000, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm, D22 DIBUNDEL; 36 D22 + (7) D13-100/125/100 |
| LT.1 – B3 | 1200 × 1000, 40mm, PIPA TREMIE ø200mm; 40 D22 + (10) D13-100/125/100 |

**FOR CONSTRUCTION**

CATATAN

- SEMUA JARAK, LEVEL DAN LAIN-LAIN HARUS MENGACU JUGA KE GAMBAR ARSITEK.
- SEMUA UKURAN DALAM MILIMETER, KECUALI DITULISKAN LAIN.

| NO. | REVISI | TGL. | PARAF |
|---|---|---|---|
| 1. | R0 | 08-03-2024 | |

PROYEK
DIPO CENTER
Jl. Letjen S. Parman Kav 75
SLIPI - JAKARTA

OWNER
PT. TIGAPANCAR NUSASEJAHTERA
Jl. Letjen. S. Parman Kav. 75
SLIPI - JAKARTA

DISETUJUI | TGL

ARSITEKTUR
PT. METRO IDEA ARSITEKTUR
Ruko Kranggan Permai Blok RT 15/20
Jati Sampurna, BEKASI 17433
E-Mail : fullidea@gmail.com

STRUKTUR
PT. HAERTE MIDYA KONSULTAN ENGINEERS
RUKO GRAND ARES MAKA
Jl. Raya Pondok Gede No. E.11 NO.54-B,
Bekasi Timur - Jakarta 13890
Ph / (021)8641 9202/62/64 Fax : (021)8641 9205
e-mail : pt.haerte@gmail.com

PENANGGUNG JAWAB DESAIN STRUKTUR | TGL
EURICKY EDUARDO TANUWIDJAJA
PTI NO.RC-K-0120/11/2012

MEKANIKAL & ELEKTRIKAL
PT. POLICIPTA MULTIDESAIN
MECHANICAL & ELECTRICAL ENGINEERING SERVICE
Jl. Pt. Subroto No. 518 Pondok Bambu JAKARTA 13880 INDONESIA
Phone : (62-21) 8611 8888 Fax : (62-21) 8611 8889 / 8611 8890
E-Mail : policipta@cbn.net.id Website : www.policipta.com

QUANTITY SURVEYOR (QS)

MANAJEMEN KONSTRUKSI (MK)

JUDUL GAMBAR
**DETAIL PENULANGAN KOLOM (2)**

| DIGAMBAR | DIPERIKSA | SKALA |
|---|---|---|
| FAR | RPA/MAH | 1 : 100 |
| TANGGAL | DISETUJUI | NO. REVISI |
| 08-03-2024 | EET | R0 |

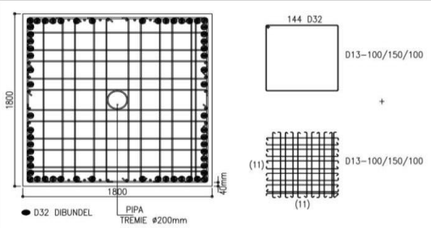
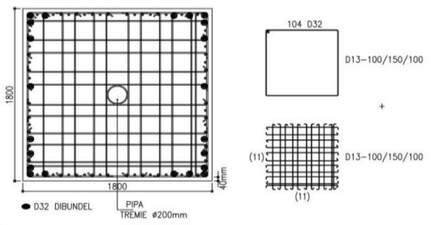
| No. PROYEK | No. GAMBAR |
|---|---|
| DIPO CENTER | SC-02A |

NOTE:
WRITTEN DIMENSION ON THESE DRAWING SHALL HAVE PRECEDENCE OVER SCALED DIMENSION. CONTRACTORS SHALL VERIFY AND BE RESPONSIBLE FOR ALL DIMENSIONS AND CONDITIONS ON THE JOB AND THIS OFFICE MUST BE NOTIFIED OF ANY VARIATIONS FROM THE DIMENSIONS AND CONDITIONS SHOWN BY THESE DRAWINGS.

SHOP DETAILS MUST BE SUBMITTED TO THIS OFFICE FOR APPROVAL BEFORE PROCEEDING WITH FABRICATION.

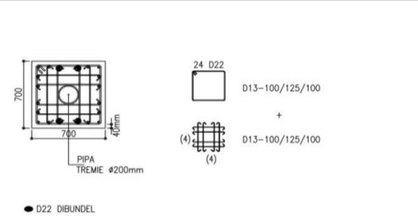
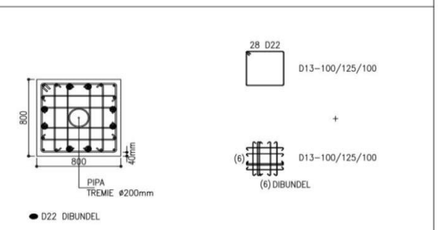
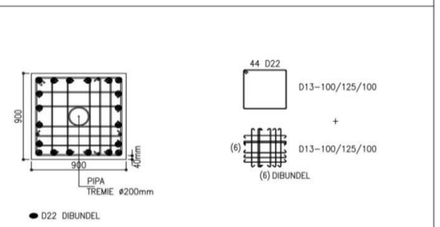
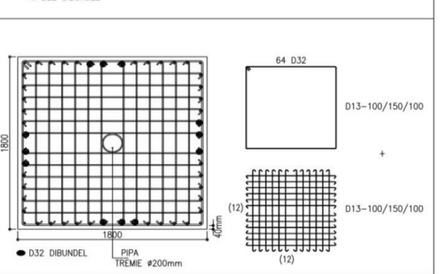
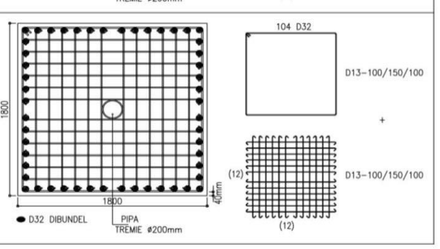
Dipindai dengan CamScanner

## DETAIL PENULANGAN KOLOM KH-7

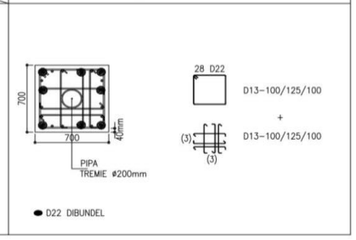
| FLOOR \ TYPE | KH-7 |
|---|---|
| LT.5 – LT.4 |  |
| LT.4 – B3 |  |



## DETAIL PENULANGAN KOLOM KH-8

| FLOOR \ TYPE | KH-8 |
|---|---|
| LT.13 – LT.10 |  |
| LT.10 – LT.6 |  |
| LT.6 – LT.5 |  |
| LT.5 – LT.4 |  |
| LT.4 – B3 |  |



| FLOOR \ TYPE | KH-8 |
|---|---|
| LT.ATAP – LT.13 |  |



FOR CONSTRUCTION

CATATAN

- SEMUA JARAK, LEVEL DAN LAIN-LAIN HARUS MENGACU JUGA KE GAMBAR ARSITEK.
- SEMUA UKURAN DALAM MILIMETER, KECUALI DITULISKAN LAIN.

| NO. | REVISI | TGL. | PARAF |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| 1. | R0 | 08-03-2024 | |

PROYEK
DIPO CENTER
Jl. Letjen S. Parman Kav 75
SLIPI - JAKARTA

OWNER
PT. TIGAPANCAR NUSASEJAHTERA
Jl. Letjen. S. Parman Kav. 75
SLIPI - JAKARTA

DISETUJUI | TGL

ARSITEKTUR
PT. METRO IDEA ARSITEKTUR
Ruko Kranggan Permai Blok RT 19/20
Jati Sampurna, BEKASI 17433
E-Mail : fullidea@gmail.com

STRUKTUR
PT. HAERTE MOYA KONSULTAN ENGINEERS
RUKO GRAND ARES BLOK A NO. 1
Jl. Raya Tentara Pelajar Blok A2-1 RT.004/RW.010
Menteng, Utara - Jakarta 11520
Telp : (021) 5300 1000 Fax : (021)29231 8295
e-mail : pt.haerte@yahoo.co.id

PENANGGUNG JAWAB DESAIN STRUKTUR | TGL
EURICKY EDUARDO TANUWIDJAJA
"PPI" | M.010/PE/01/2/-17/M3/2/2020

MEKANIKAL & ELEKTRIKAL
PT. POLICIPTA MULTIDESAIN
MECHANICAL & ELECTRICAL ENGINEERING SERVICE
Jl. H. Demang No. 31B Kampung Duren, JAKARTA 11860 INDONESIA
Telp : (021) 5305149 ; 5306152B ; Fax : (021) 5351380
E-Mail : pcm@policipta.com — Website : www.policipta.com

QUANTITY SURVEYOR (QS)

MANAJEMEN KONSTRUKSI (MK)

JUDUL GAMBAR
DETAIL PENULANGAN KOLOM (7)

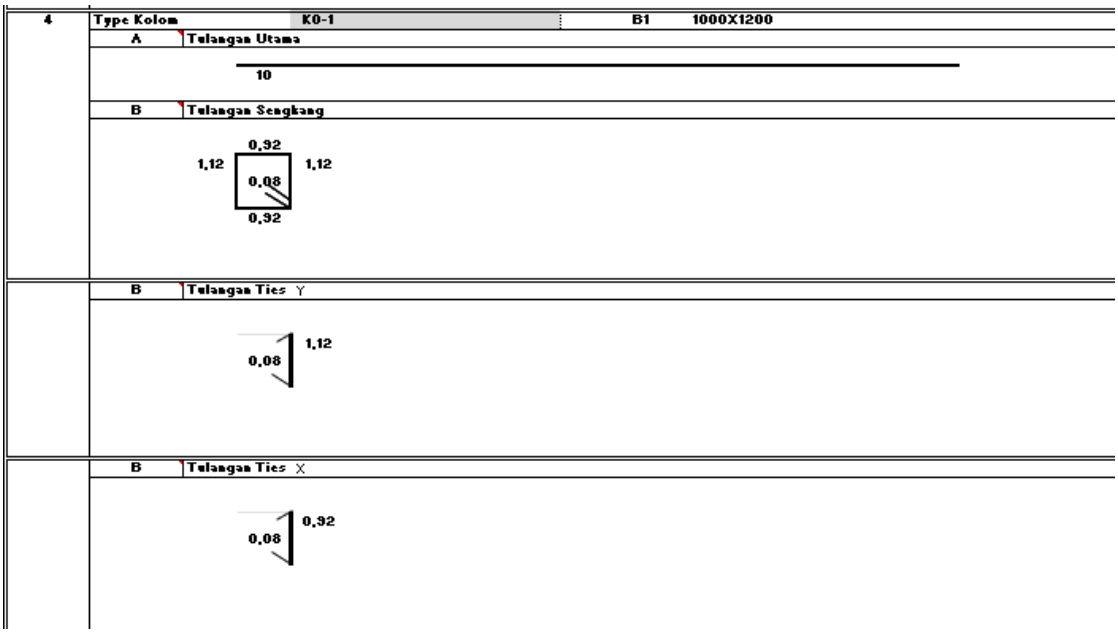
| DIGAMBAR | DIPERIKSA | SKALA |
|---|---|---|
| FAR | RPA/MAH | 1 : 100 |
| TANGGAL | DISETUJUI | NO. REVISI |
| 08-03-2024 | EET | R0 |

| No. PROYEK | No. GAMBAR. |
|---|---|
| DIPO CENTER | SC-02F |

NOTE:
WRITTEN DIMENSION ON THESE DRAWING SHALL HAVE PRECEDENCE OVER SCALED DIMENSION. CONTRACTORS SHALL VERIFY AND BE RESPONSIBLE FOR ALL DIMENSIONS AND CONDITIONS ON THE JOB AND THIS OFFICE MUST BE NOTIFIED OF ANY VARIATIONS FROM THE DIMENSIONS AND CONDITIONS SHOWN BY THESE DRAWINGS.

SHOP DETAILS MUST BE SUBMITTED TO THIS OFFICE FOR APPROVAL BEFORE PROCEEDING WITH FABRICATION.

Lampiran 5. Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Konvensional




| JUMLAH KOLOM | JUMLAH TULANGAN | Φ (mm) | Berat/m (Kg) | Panjang potongan (m) | Jumlah Berat kg | Material: Panjang/btg (m) | Material: Cut (pcs) | Material: waste per batang (m) | Material: total batang | total Waste (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 40 | D 22 | 2,984 | 10,00 | 10.737,03 | 12 | 1 | 2,005 | 360 | 2.153,85 |
| | | | | | cost | 25.263,00 | | 35,000 | | |
| | | | | | | Rp125.937,000 | | | | |
| 9,00 | 93,29 | D 13 | 1,042 | 5,88 | 5.144,07 | 12 | 2 | 0,240 | 420 | 105,11 |
| | | | | | cost | 1.235,68 | | 12,250 | | |
| | | | | | | Rp30.274,209 | | | | |
| 9,00 | 10 | D 13 | 1,042 | 1,27 | 119,10 | 12 | 9 | 0,570 | 11 | 6,53 |
| | | | | | cost | 76,81 | | 12,250 | | |
| | | | | | | Rp171,133 | | | | |
| | | | | | 7 | 0,23 | 1,04 | 1,674 | | |
| 9,00 | 8 | D 13 | 1,04 | 1,07 | 80,28 | 12 | 11 | 0,2 | 7 | 1,68 |
| | | | | | cost | 19,72 | | 12,250 | | |
| | | | | | | Rp31,753 | | | | |
| | | | | | | total cost | | 26.595,212 | | |
| | | | | | | tot. cost terpasang | | 156.474,094 | | |
| | | | | | 16.087,48 | | | | | |
| | | | | | | | | | | 2.267,17 |

Lampiran 6. Perhitungan *Waste* Besi dan *Waste Cost* Setelah Optimasi

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Berat perbatang | | | | | |
| D22 | D13 | D32 | | | |
| 2,98 | 1,042 | 6,31 | | | |
| | | | | | |
| Panjang | | | | | |
| Total Waste Perbatang | | | | | |
| Total D22 | Total D13 | Total D32 | **panjang** | | |
| **3.250,65** | **18,83** | **191,00** | **Rekap waste** | **3460,48** | **Meter** |
| | | | | | |
| Berat | | | | | |
| Total waste | | | | | |
| Diameter | D22 | | D13 | | D32 |
| Berat | **9.686,94** | | **19,62** | | **1.205,21** |
| | | | | | |
| berat | | | | | |
| Rekap waste | **10.911,77** | **Kg** | | | |
| Terpasang | **455.550,12** | **Kg** | | | |
| | | | | | |
| Waste Cost | | | | | |
| Diameter | D22 | | D13 | | D32 |
| harga | Rp35,00 | | Rp12,25 | | Rp84,00 |
| waste besi | 3.250,65 | | 18,83 | | 191,00 |
| | | | | | |
| **cost** | D22 | | D13 | | D32 |
| **total cost** | **Rp113.772,750** | | **Rp230,668** | | **Rp 16.044,00** |
| | | | | | |
| **cost** | | | | | |
| **rekap** | **Rp 130.047,418** | | | | |