



TUGAS AKHIR - RC184704

**OPTIMASI *BAR BENDING SCHEDULE*
MENGUNAKAN MODEL MATEMATIS PADA
PROYEK SOHO CIPUTRA WORLD SURABAYA
FASE 3**

ILHAM NUGROHO
NRP. 03111540000132

Dosen Pembimbing I:
Supani, ST., MT.

Dosen Pembimbing II:
Farida Rachmawati, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RC184704

***BAR BENDING SCHEDULE OPTIMIZATION USING
MATHEMATICAL MODEL IN PROJECT SOHO
CIPUTRA WORLD SURABAYA FASE 3***

ILHAM NUGROHO
NRP. 0311154000132

Supervisor I:
Supani, ST., MT.

Supervisor II:
Farida Rachmawati, ST., MT.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Environment and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**OPTIMASI *BAR BENDING SCHEDULE*
MENGUNAKAN MODEL MATEMATIS PADA
PROYEK SOHO CIPUTRA WORLD SURABAYA
FASE 3**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ILHAM NUGROHO
NRP. 031115 4000 0132

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Supani, ST., MT. (Pembimbing I)
2. Farida Rachmawati, ST., MT. (Pembimbing II)

**SURABAYA
JULI, 2019**

Abstract

BAR BENDING SCHEDULE OPTIMIZATION USING MATHEMATICAL MODEL IN PROJECT SOHO CIPUTRA WORLD SURABAYA FASE 3

Student Name : Ilham Nugroho
NRP : 03111540000132
Departement : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Supervisor I : Supani, ST., MT.
Supervisor II : Farida Rachmawati, ST., MT

Steel reinforcement waste reach up to 12% of it's total volume. These wastes are caused by either fabrication mistakes, change in design, or even in-field construction mistakes. To prevent of having high waste rate, it is needed to make an optimization on the planning system. Bar Bending Schedule (BBS) can be one of the solutions to plan an accurate need of materials, especially on reinforcement steel. Recently, it is possible to make BBS using Building Information Modeling (BIM). Structure modeling using BIM can generate an output such as detail drawing and BBS of its structure. This thesis use BIM to generate detail drawing and BBS. Furthermore, an optimization will be used to optimize the generated BBS, thus it will have the least amount of waste rate possible. Such optimization will be done by using linear programming.

In this thesis, it is acquired that by using linear programming as an optimization progress will yield on waste rate as small as 0.15%, while using traditional way wil yield on waste rate of 2.16%. Thus, by using linear programming as an optimization process will reduce waste rate up to 14 times less compared to not using any optimization process.

Key words: bar bending schedule, building information modeling, linear programming

Abstrak

OPTIMASI *BAR BENDING SCHEDULE* MENGUNAKAN MODEL MATEMATIS PADA PROYEK SOHO CIPUTRA WORLD SURABAYA FASE 3

Nama Mahasiswa : Ilham Nugroho
NRP : 0311154000132
Departemen : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing I : Supani, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Farida Rachmawati, ST., MT

Tingkat *waste* atau sisa bahan besi tulangan dari suatu proyek dapat mencapai sebesar 12% dari total volume tulangan yang digunakan. Sisa bahan ini berasal dari material-material yang tidak digunakan akibat kesalahan pabrikasi, perubahan desain, maupun akibat kesalahan konstruksi. Untuk mencegah hal tersebut, perlu dilakukan pengoptimasian pada sistem perencanaan struktur. *Bar bending schedule* (BBS) atau juga biasa dikenal dengan tabel penulangan dapat menjadi salah satu solusi untuk perhitungan kebutuhan material secara akurat terutama untuk material tulangan, sehingga memudahkan persiapan pabrikasi material dan pelaksanaan konstruksi di lapangan untuk pekerjaan pembesian. Pembentukan BBS dilakukan menggunakan *building information modeling* (BIM). Pemodelan struktur dengan menggunakan BIM dapat memberikan output berupa shop drawing dan BBS yang lebih akurat. BBS yang diperoleh dengan modeling melalui BIM ini kemudian akan dioptimalkan kembali dengan analisis *linear programming* yang akan memberikan pola pemotongan terbaik sehingga akan meminimalkan sisa dari hasil pemotongan yang ada.

Hasil akhir dari Tugas Akhir diperoleh bahwa waste rate pembesian yang dihasilkan dapat mencapai nilai terkecil hingga 0.15% dengan dilakukannya optimasi menggunakan linear programming. Sedangkan hasil waste rate yang dihasilkan dengan cara tradisional dan tanpa melakukan optimasi mencapai 2.16%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengoptimasian dengan linear programming dapat memberikan hasil hingga 14 kali lebih kecil dibandingkan dengan pekerjaan tanpa optimasi.

Kata kunci: *bar bending schedule, building information modeling, linear programming*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan Judul “Optimasi *Bar Bending Schedule* Menggunakan Model Matematis pada Proyek SOHO Ciputra World Surabaya Fase 3”

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat berjalan lancar karena adanya dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis Ibu Prihastri Septianingsih dan Bapak Bambang Sakri, saudara-saudari penulis, dan keluarga besar yang senantiasa mendukung dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Supani ST., MT. dan Ibu Farida Rachmawati, ST., MT. sebagai dosen pembimbing sekaligus dosen wali yang telah memberikan dukungan, bimbingan serta ilmunya dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh civitas akademika di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS yang telah memberikan bantuan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Dion, Dhaifan, Scott, Taufik, Wira dan seluruh teman-teman Teknik Sipil angkatan 2015, S58 Kopassus, yang telah menemani penulis dan saling mendukung satu sama lain.
5. Ananta, Fathy, Hadi, Idham dan rekan-rekan IKA SMUDAMA yang telah menemani penulis di tanah rantau.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kebaikan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang mempelajari tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Contoh Bar Bending Schedule | 6 |
| Gambar 2.2 | British Standard 8666:2005 | 8 |
| Gambar 3.1 | Perencanaan Ciputra World Surabaya Fase 3 | 15 |
| Gambar 3.2 | Bagan Pemodelan Sistem | 17 |
| Gambar 3.3 | Contoh Pemodelan Struktur dengan BIM | 18 |
| Gambar 3.4 | Contoh Bar Bending Schedule | 19 |
| Gambar 3.5 | Bagan Alir Penelitian | 24 |
| Gambar 3.6 | Pemodelan Sistem | 25 |
| Gambar 4.1 | Tampak Samping Ciputra World Surabaya Fase 3 | 27 |
| Gambar 4.2 | Denah Tipikal SOHO | 28 |
| Gambar 4.3 | Elevasi SOHO Ciputra World Surabaya 3 | 28 |
| Gambar 4.3 | Struktur Balok dan Kolom | 37 |
| Gambar 4.3 | Keseluruhan Bangunan | 37 |
| Gambar 4.4 | Tampak Atas Struktur | 38 |
| Gambar 4.5 | Output Tekla Structure | 38 |
| Gambar 4.6 | Output Tekla Structure Bagian Gambar Detail | 39 |
| Gambar 4.7 | Output Tekla Structure Bagian Tabel | 39 |
| Gambar 4.8 | Menunjukkan Tulangan 6 | 40 |
| Gambar 4.9 | Output Tekla Dalam CAD | 41 |
| Gambar 4.10 | Melakukan <i>Table Export</i> (TE) Pada Tabel.. | 42 |
| Gambar 4.11 | Hasil Export File ke Dalam Excel | 42 |
| Gambar 4.12 | Diagram Alir klasifikasi Data BBS | 44 |
| Gambar 4.13 | Pola Pemotongan Tulangan D16 | 55 |
| Gambar 4.15 | Pendefinisian Variabel | 59 |
| Gambar 4.16 | Coding Looping System | 60 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Minimum Dimension..... | 9 |
| Tabel 4.1 Tipe Balok..... | 29 |
| Tabel 4.2 Tipe Kolom..... | 33 |
| Tabel 4.3 Bar Bending Schedule | 43 |
| Tabel 4.4 Resume BBS Balok | 45 |
| Tabel 4.5 Resume BBS Kolom..... | 47 |
| Tabel 4.6 Keseluruhan Tipe Panjang Tulangan D10..... | 47 |
| Tabel 4.7 Rekap Tulangan D10..... | 49 |
| Tabel 4.8 Rekap Tulangan D16..... | 50 |
| Tabel 4.9 Rekap Tulangan D20..... | 51 |
| Tabel 4.10 Pola Pemotongan Sederhana Tulangan D16... | 63 |
| Tabel 4.1 Pola Pemotongan Tulangan D16..... | 69 |
| Tabel 4. Pola Pemotongan Tulangan D10..... | 69 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| <i>Abstract</i> | vii |
| Abstrak | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR ISI | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan | 3 |
| 1.4. Batasan Permasalahan | 3 |
| 1.5. Manfaat | 3 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Bar Bending Schedule | 5 |
| 2.1.1 Shop drawing | 6 |
| 2.1.2 Pola Penulangan | 7 |
| 2.1.3 <i>Building Information Modeling (BIM)</i> | 9 |
| 2.2. Permasalahan Pemotongan Bahan Satu Dimensi | 10 |
| 2.3. Program Linear | 11 |
| 2.4. <i>Tekla Structure</i> | 14 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 15 |

| | | |
|--------------------------|---|----|
| 3.1 | Objek Penelitian | 15 |
| 3.2 | Perumusan Masalah..... | 15 |
| 3.3 | Studi Literatur | 16 |
| 3.4 | Pengumpulan Data | 16 |
| 3.5 | Pemodelan Sistem | 17 |
| 3.5.1 | <i>Data Input</i> | 17 |
| 3.5.2 | <i>Building Information Modeling (BIM)</i> | 18 |
| 3.5.3 | <i>Interface</i> | 19 |
| 3.5.4 | Model Optimasi..... | 20 |
| 3.6 | Perbandingan Hasil Optimasi..... | 23 |
| 3.7 | Kesimpulan dan Saran | 23 |
| 3.8 | Bagan Alir Penelitian | 24 |
| | | 26 |
| BAB IV ANALISA DATA..... | | 27 |
| 4.1 | Data Umum Proyek | 27 |
| 4.2 | Rancangan Kebutuhan <i>Building Information Modelling</i> | 34 |
| 4.3 | Analisis Data Bar Bending Schedule | 35 |
| 4.3.1 | Pemodelan Struktur dan Input Data Penulangan..... | 36 |
| 4.3.1 | <i>Generate Output</i> Tekla Structure | 38 |
| 4.3.2 | Pengolahan Data..... | 41 |
| 4.4 | Optimasi Bar Bending | 51 |

| | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|----|
| 4.4.1 | Pemodelan Optimasi dalam Matlab | 52 |
| 4.4.2 | Pola Pemotongan Sederhana..... | 61 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 65 |
| 5.1 | Kesimpulan | 65 |
| 5.2 | Saran | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 68 |
| LAMPIRAN 1 | | 69 |
| LAMPIRAN 2 | | 69 |
| LAMPIRAN 3 | | 69 |
| LAMPIRAN 4 | | 69 |
| LAMPIRAN 5 | | 69 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan high-rise building (gedung bertingkat tinggi) menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tingkat kepadatan penduduk, terutama pada daerah dengan tingkat populasi yang tinggi dengan luasan tanah yang terbatas. Menurut Hall (2013) yang dimaksud gedung bertingkat tinggi adalah gedung dengan ketinggian bangunan melebihi 23 meter. Gedung bertingkat tinggi terdiri dari tingkatan-tingkatan (*storeys*) yang majemuk, dimana tingkatan (*storeys*) tersebut dibangun satu di atas yang lainnya. Salah satu tujuan pembangunan gedung bertingkat tinggi ialah untuk memaksimalkan luasan bangunan yang dapat difungsikan dengan meminimalkan luasan tanah yang digunakan.

Sebagian besar dari gedung bertingkat tinggi merupakan bangunan beton bertulang (*reinforced concrete*). Gedung bertingkat tinggi dapat difungsikan sebagai kantor, hunian, maupun pusat perbelanjaan dalam satu gedung yang sama. Penggunaan lahan yang kecil namun dengan peningkatan fungsi lahan menjadi poin penting dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi. Namun demikian dalam konstruksinya gedung bertingkat tinggi memerlukan biaya yang besar dan waktu konstruksi yang relatif lama.

Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam konstruksi suatu gedung akan menghasilkan *waste* (sisa) yang besar. Menurut Katz dan Baum (2011) limbah tulangan dari sebuah proyek dapat mencapai 8% hingga 12% dari total volume tulangan yang digunakan. Hal ini terjadi dikarenakan beberapa hal, seperti kesalahan konstruksi, perubahan desain, maupun kecacatan material pabrikasi. Oleh karena itu diperlukan suatu

mekanisme pengoptimalan agar mengurangi kerugian akibat material yang tersisa.

Dalam Tugas Akhir ini, *bar bending schedule* (BBS) dioptimalkan untuk memperoleh waste rate yang minimal dari proyek yang ditinjau. Dalam pelaksanaannya pada proyek Ciputra World Surabaya fase 3, *bar bending schedule* dilakukan berdasar *shop drawing* (gambar kerja). Kemudian, tulangan dipotong oleh pekerja di lapangan, sehingga dapat terjadi kesalahan-kesalahan pemotongan yang tidak diinginkan maupun kelebihan material yang dihasilkan akibat pemotongan yang tidak optimal. Lebihnya material tulangan ini dapat dihindari jika saja dilakukan pengoptimalan BBS terlebih dahulu sehingga utilitas bahan akan maksimal dan *waste* yang ada akan terminimalisir, serta dapat memudahkan pemotongan pada lokasi pabrikasi.

Untuk memperoleh BBS yang optimal, perlu diselesaikan permasalahan *one dimensional cutting stock problem* (1D-CS Problem) yang mengikat pada proses pencarian pola pemotongan bar yang optimal. Dalam Tugas Akhir ini digunakan model matematis untuk menyelesaikan permasalahan 1D-CS Problem tersebut. Model matematis yang digunakan berupa *linear programming*.

Dengan memperoleh optimasi dari hasil komputasi model matematis yang digunakan, akan menghasilkan *bar bending schedule* (BBS) baru yang optimal sehingga dapat dilakukan perbandingan waktu dan biaya proyek sebelum dan setelah dilakukan pengoptimalan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pemodelan *bar bending schedule* yang optimal?
2. Berapa besar perbedaan tingkat *waste* pada proyek yang melakukan pengoptimalan *bar bending schedule* dan tanpa pengoptimalan?

1.3 Tujuan

1. Merancang pemodelan sistem *bar bending* yang optimal.
2. Melakukan optimasi *waste* dengan menggunakan model matematis.

1.4 Batasan Permasalahan

1. Objek penelitian yang ditinjau yaitu struktur balok dan kolom
2. Pendekatan optimasi menggunakan *linear programming*

1.5 Manfaat

Diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan analisa dan pembuktian bahwa pengaplikasian optimasi menggunakan program linear pada *bar bending schedule* dapat menghasilkan biaya konstruksi yang optimal dengan cara mengurangi *waste rate*, sehingga dapat menjadi masukan bagi bidang ketekniksipilan dalam konstruksi bangunan beton bertulang.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terbentuk atas bagian-bagian yang disusun secara sistematis dengan tujuan untuk memberikan kemudahan penyampaian informasi yang terkandung dalam tugas akhir ini. Tugas akhir ini terdiri atas:

Bab 1 Pendahuluan, bertujuan untuk menjabarkan mengenai latar belakang mengapa dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan, serta batasan permasalahan yang menjadi acuan pengerjaan tugas akhir.

Bab 2 Tinjauan Pustaka, berisi tentang tinjauan pustaka atau dasar teori dari permasalahan yang dibahas. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk menjelaskan permasalahan, teori, istilah, dan metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

Bab 3 Metode Penelitian, menjabarkan metodologi penyelesaian masalah yang menjadi topik dalam Tugas Akhir ini, meliputi: perumusan permasalahan, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisa, dan kesimpulan.

Bab 4 Analisa Data, berisi mengenai studi kasus dengan menjelaskan data apa saja yang diperoleh dari objek penelitian dan bagaimana mengolah data tersebut agar dapat digunakan untuk membentuk model struktur yang sesuai dan menghasilkan output berupa *bar bending schedule* yang diharapkan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran, memberikan kesimpulan mengenai hasil penyelesaian perumusan masalah yang diperoleh dalam tugas akhir ini. Dilengkapi dengan pemberian saran untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bar Bending Schedule

Sisa material dalam proyek dapat berasal dari material-material yang tidak dapat digunakan akibat kesalahan pabrikasi, perubahan desain yang dapat mengubah volume konstruksi, maupun sisa-sisa akibat kesalahan konstruksi yang terjadi. Menurut Katz dan Baum (2011) limbah tulangan dari sebuah proyek dapat mencapai 8% hingga 12% dari total volume tulangan yang digunakan. Dengan demikian dirasa perlu adanya pengoptimasian material konstruksi, salah satunya ialah dengan menggunakan *bar bending schedule* guna mengurangi sisa material yang tidak diinginkan khususnya material besi.

Bar bending schedule (BBS) merupakan daftar yang mengandung informasi mengenai tipe, ukuran, jumlah, letak, panjang, dan bentuk *bending* dari tulangan / bar dari sebatang struktur. Daftar tersebut dibuat dalam table-tabel. Proses pembuatan daftar ini disebut dengan *scheduling*. Salah satu fungsi BBS ialah untuk memberikan keterangan mengenai penulangan dalam suatu struktur sehingga memudahkan kontraktor untuk melakukan kontrol dalam pelaksanaan konstruksi.

Dalam BBS, tulangan dibedakan berdasar letak lantai di mana tulangan tersebut berada. Setelah dibedakan berdasar lantai, kemudian tulangan dikelompokkan berdasar strukturnya (misal: kolom, balok, atau pelat) sehingga pendataan menjadi lebih mudah. Selain berfungsi untuk memberi keterangan terhadap penulangan dari sebatang struktur, BBS juga berfungsi sebagai patokan untuk menghitung kebutuhan pembesian secara akurat sehingga dapat memberikan informasi kepada kontraktor untuk

menyediakan kebutuhan pembesian yang sesuai dengan perencanaan.

| Rebar list | | Project number Project name | | 1 Trimble | | Date: 04/05/2016 | |
|------------|------|--------------------------------|--------|--------------|-------------|------------------|---|
| Position | Size | Quantity | Grade | Length (mm) | Weight (kg) | Weight/Tot | Pull-out picture |
| 1 | 12 | 1 | A500HW | 2310.0 | 2.1 | 2.1 |  |
| 3 | 12 | 1 | A500HW | 1030.0 | 0.9 | 0.9 |  |
| 4 | 12 | 1 | A500HW | 1180.0 | 1.0 | 1.0 |  |
| 7 | 12 | 1 | A500HW | 2540.0 | 2.3 | 2.3 |  |
| 8 | 12 | 1 | A500HW | 1570.0 | 1.4 | 1.4 |  |
| 9 | 12 | 1 | A500HW | 1700.0 | 1.5 | 1.5 |  |

Gambar 2.1 Contoh Bar Bending Schedule
(sumber: <https://teklastructures.support.tekla.com>)

Penggunaan BBS akan berdampak pada alur pembelian – penyimpanan – penggunaan pembesian, dimana dengan adanya BBS yang akurat dapat meminimalisir adanya kesalahan persediaan barang, seperti terjadi kelebihan tulangan yang tidak diperlukan ataupun tulangan yang tersedia lebih sedikit dibanding tulangan yang dibutuhkan. Dengan demikian BBS akan berpengaruh positif pada proyek.

Pada Tugas Akhir ini, proses *scheduling* diperoleh dari modeling struktur menggunakan *Building Information Modeling* (BIM). Model ini dibentuk sebaik mungkin sehingga dapat bersesuaian dengan detail penulangan dari *shop drawing* proyek.

2.1.1 Shop drawing

Menurut Nath dan kawan-kawan (2015) *shop drawing* bertujuan untuk memberikan ilustrasi hasil akhir suatu struktur, sehingga dapat memudahkan pengerjaan struktur di lapangan maupun pabrikasi bahan yang akan digunakan. *Shop*

drawing ini merupakan gambar detail yang telah dilengkapi dengan gambar penampang maupun potongan dari struktur. *Shop drawing* atau yang biasa dikenal dengan gambar kerja, harus menyertakan beberapa informasi pendukung, diantaranya:

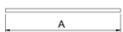
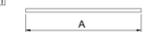
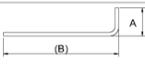
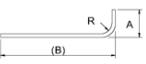
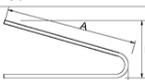
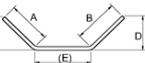
1. Semua ukuran tiap objek (panjang, lebar, diameter, jarak antar objek)
2. Jenis material
3. Sambungan yang digunakan
4. Bentuk pembengkokan

Gambar kerja (*shop drawing*) yang merupakan pelengkap dari gambar rencana, selain digunakan sebagai pedoman pelaksanaan di lapangan, juga digunakan sebagai acuan pemesanan pembesian. Dengan demikian alur pembelian – penyimpanan – penggunaan material pembesian berhubungan erat dengan gambar kerja yang telah disetujui.

2.1.2 Pola Penulangan

Pada proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3, digunakan pola penulangan berdasar British Standard 8666 : 2005. Dalam peraturan BS 8666 : 2005 tersebut terdapat pola-pola penulangan yang menjadi standar penulangan yang dapat

BS 8666:2005 Standard Shapes

| Shape and total length of bar (L) measured along centre-line | | |
|---|---|---|
| <p>00</p>  <p>$L = A$</p> | <p>01</p>  <p>$L = A$, stock lengths</p> | <p>11</p>  <p>$L = A + (B) - 0.5 r \cdot d$</p> |
| <p>12</p>  <p>$L = A + (B) - 0.43 R - 1.2 d$</p> | <p>13</p>  <p>$L = A + 0.57 B + (C) - 1.6 d$</p> | <p>14</p>  <p>$L = A + (C) - 4 d$ (C)</p> |
| <p>15</p>  <p>$L = A + (C)$</p> | <p>21</p>  <p>$L = A + B + (C) - r \cdot 2 d$</p> | <p>22</p>  <p>$L = A + B + C + (D) - 1.5 r \cdot 3 d$</p> |
| <p>23</p>  <p>$L = A + B + (C) - r \cdot 2 d$</p> | <p>24</p>  <p>$L = A + B + (C)$</p> | <p>25</p>  <p>$L = A + B + (E)$</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>$L = A + B + C + (D) \cdot r - 2d$</p> | <p>$L = A + B + C + D + (E) \cdot 2r - 4d$</p> | <p>$L = A + B + C + D + (E) \cdot 2r - 4d$</p> |
| <p>$L = A + 2B + C + (E)$</p> | <p>$L = 2A + B + \max(21d, 240)$ *see note</p> | <p>$L = 2A + 2B + \max(16d, 160)$ *see note</p> |
| <p>$L = A + B + C + (D) + 2(E) - 2.5r - 5d$</p> | <p>$L = 2A + 3B + \max(14d, 150)$ *see note</p> | <p>$L = A + B + C + 2D + E + (F) \cdot 3r - 6d$</p> |
| <p>$L = A + B + (C)$</p> | <p>$L = A + B + (C) - 0.5r - d$</p> | <p>$L = A + B + (C) - 0.5r - d$</p> |
| <p>$L = A + B + (C) \cdot r - 2d$</p> | <p>$L = A + B + C + (D) \cdot 1.5r - 3d$</p> | <p>$L = A + B + C + (D) \cdot 1.5r - 3d$</p> |
| <p>$L = 2A + 1.7B + 2(C) \cdot 4d$</p> | <p>$L = A + B + C + (E) - 0.5r - d$</p> | <p>$L = A + B + C + (E) - 0.5r - d$</p> |
| <p>$L = A$</p> | <p>$L = 3.14 (A - d) C$ where $B > A/5$ $L = \text{sqrt} [(3.14 (A - d))^2 + B^2] C$</p> | <p>$L = A + 2B + C + (D) \cdot 2r - 4d$</p> |
| <p>$L = 3.14 (A - d) + (B)$</p> | <p><i>(This cell is merged with the one above and contains the same text.)</i></p> | <p><i>(This cell is merged with the one above and contains the same text.)</i></p> |
| <p>99</p> <p>All shapes where standard shapes cannot be used. No other shape code number, form of designation or abbreviation shall be used in scheduling. A dimensioned sketch shall be drawn over the dimension columns A to E. Every dimension shall be specified and the dimension that is to allow for permissible deviations shall be indicated in parenthesis, otherwise the fabricator is free to choose which dimension shall allow for the tolerance.</p> | <p>Notes The length equations for shape codes 47, 51 and 63 are for when dimensions C and D are to be minimised. * max(14 d, 150) means add the greater value of either 14 d or 150mm.</p> | <p>Notes The length equations for shape codes 47, 51 and 63 are for when dimensions C and D are to be minimised. * max(14 d, 150) means add the greater value of either 14 d or 150mm.</p> |

digunakan. Berikut adalah beberapa pola penulangan dalam BS 8666 : 2005.

Gambar 2.2 British Standard 8666:2005
(Sumber: British Standard 8666 : 2005)

British Standard 8666 : 2005 juga disertai tabel yang berisi informasi mengenai diameter tulangan minimum dan radius minimalnya sebagai berikut:

Tabel 2.1 Minimum Dimension

| Minimum Dimension (mm) | |
|-------------------------------|---------------|
| bar size | Radius |
| d | R |
| 6 | 12 |
| 8 | 16 |
| 10 | 20 |
| 12 | 24 |
| 16 | 32 |
| 20 | 70 |
| 25 | 87 |
| 32 | 112 |
| 40 | 140 |
| 50 | 175 |

(Sumber: British Standard 8666 : 2005)

Tabel di atas merupakan tabel bawaan British Standard 8666 : 2005 untuk menjelaskan:

Bar size = Ukuran diameter tulangan (mm)

Radius = Radius yang digunakan untuk bar size tersebut (mm)

2.1.3 Building Information Modeling (BIM)

Menurut Azhar (2011) *Building Information Modeling (BIM)* merupakan cara inovatif untuk melakukan design dan

mengelola suatu proyek. Dalam BIM, seluruh *stakeholder* proyek (pemilik, arsitek, *engineer*, kontraktor, maupun *supplier*) dapat berkerjasama untuk menyelesaikan proyek seefektif mungkin. BIM menyediakan *platform* yang dapat memberikan model visual yang mudah diakses oleh seluruh *stakeholder* proyek, sehingga dalam proses pembuatan model tersebut, seluruh *stakeholder* proyek saling memberi masukan dan melakukan penyesuaian dengan acuan spesifikasi yang telah disetujui. Secara umum, BIM dapat difungsikan sebagai:

- a. Membangun model visual 3 dimensi
- b. Mengadakan gambar kerja
- c. Melakukan estimasi biaya
- d. Pengurutan pekerjaan konstruksi
- e. Manajemen konstruksi

Dalam Tugas Akhir ini, digunakan *Building Information Modeling* (BIM) untuk membuat pemodelan struktur yang sesuai dengan gambar kerja dari proyek yang ditinjau. Setelah membuat model struktur yang diinginkan, kemudian dilakukan pembuatan *bar bending schedule* (BBS). Pembuatan BBS ini juga dilakukan menggunakan fungsi yang disediakan oleh BIM.

2.2 Permasalahan Pemotongan Bahan Satu Dimensi

Menurut Lin dan kawan-kawan (2016) *One dimensional cutting stock problem (1D CS-Problem)* atau biasa juga dikenal dengan permasalahan pemotongan bahan satu dimensi, terletak pada menemukan pola pemotongan paling optimal dari suatu bahan yang tersedia untuk memperoleh produk potongan kecil dengan ukuran tertentu, sehingga memberikan utilitas terbesar dan meminimalkan sisa.

Penyelesaian permasalahan pemotongan bahan satu dimensi ini bergantung pada batasan yang dihadapi dan tujuan yang ingin dicapai. Batasan ini dapat berupa ukuran-ukuran

potongan produk yang diinginkan, jumlah produk yang diinginkan, maupun jumlah bahan yang tersedia. Sedangkan tujuan pengoptimalan pola pemotongan dapat berupa meminimumkan sisa pemotongan, memaksimalkan utilitas bahan, atau gabungan keduanya. Untuk memenuhi kebutuhan dengan optimal, perlu diketahui jumlah setiap produk potongan yang spesifik, ukuran yang diinginkan, dan jenis bahan yang diinginkan, sehingga dapat direncanakan suatu pola pemotongan dengan hasil utilitas terbesar dengan sisa yang kecil.

Menurut Haessler dan Sweeney (1991) 1D CS-Problem merupakan permasalahan *NP-Hard* dimana *NP-hard problem* (permasalahan NonPolynomial – Hard) merupakan kelompok masalah dimana tidak ada algoritma yang dapat menemukan solusi optimal untuk masalah tersebut dalam waktu yang tidak dibatasi. Dengan banyaknya variabel yang disertakan dalam suatu permasalahan, maka pencarian solusinya pun akan semakin sulit dan akan memakan waktu yang lama hingga permasalahan tersebut menemukan hasil yang optimal. Dengan demikian diperlukan alternatif yang dapat menghasilkan solusi yang mendekati optimal dengan cara memberikan batasan kemungkinan munculnya pola yang sama.

Beberapa metode yang digunakan untuk optimasi diantaranya ialah *linear programming*, *sequential heuristic procedure*, *genetic algorithm*, *simulated annealing*, dan *ant colony algorithm*. Dalam Tugas Akhir ini digunakan pendekatan dengan metode *linear programming* (program linear) untuk memperoleh hasil bar bending schedule yang optimal.

2.3 Program Linear

Menurut Taylor (2013) program linear adalah cara untuk mengoptimalkan produk dengan cara memaksimalkan utilitas, meminimalkan, atau gabungan dari keduanya. Metode program linear ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang

optimal dari suatu permasalahan optimasi. Hasil tersebut dapat berupa nilai minimal atau nilai maksimal dari suatu produk, disesuaikan dengan batasan-batasan yang ditentukan. Dalam pelaksanaan metode program linear ini ada tiga tahapan yang dilakukan, yaitu:

1. Identifikasi masalah
Dilakukan pemberian kode / simbol untuk mengidentifikasi setiap data yang ada dalam permasalahan.
2. Formulasi masalah
Menjadikan permasalahan yang ditinjau dalam bentuk persamaan linear dan menentukan batasan-batasan permasalahan.
3. Pencarian solusi untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Pencarian solusi dapat dilakukan beberapa kali agar diperoleh rata-rata hasil yang optimal untuk batasan-batasan permasalahan yang ditentukan.

Hal yang harus diperhatikan dalam melakukan metode program linear untuk menyelesaikan *ID-CS Problem* adalah pemberian batasan permasalahan. Menurut Haessler dan Sweeney (1991) pemberian batasan yang tidak tepat akan memberikan hasil yang tidak optimal dikarenakan besarnya kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi dalam satu permasalahan *ID-CS Problem*.

Bentuk standard dari program linear ditulis sebagai:

$$\text{Fungsi objektif: Min.} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.1)$$

$$\text{dibatasi : } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Dimana:

x_j = variabel tentu ke - j

c_j = koefisien dari variabel tentu ke - j

a_{ij} = koefisien dari variabel batasan ke - j dalam fungsi batasan ke - i

b_i = nilai fungsi batasan ke - i

Permasalahan di atas memiliki m jumlah variabel dan n jumlah batasan. Perlu diingat bahwa permasalahan di atas dapat ditulis dalam bentuk memaksimalkan maupun meminimalkan, tergantung pada pertidaksamaan yang digunakan, yaitu kurang dari sama dengan (\leq) untuk memaksimalkan dan lebih dari atau sama dengan (\geq) untuk meminimalkan.

Menurut Schulze (2014) setiap hasil yang memenuhi batasan-batasan yang diberikan merupakan sebarang solusi, meskipun solusi tersebut bukanlah yang paling optimal. Setiap solusi yang dihasilkan oleh metode program linear dapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori:

1. Tidak layak.
Permasalahan program linear menjadi tidak layak saat tidak ditemukannya hasil yang dapat memenuhi semua batasan yang diinginkan.
2. Tidak terbatas.
Hasil yang diperoleh program linear menjadi tidak terbatas. Hal ini terjadi karena batasan yang diterapkan tidak cukup membatasi salah satu fungsi, sehingga setiap ditemukan suatu hasil dari fungsi tersebut, akan ditemukan hasil lain yang merupakan perbaikan dari fungsi tersebut.
3. Memiliki hasil optimal.
Permasalahan-permasalahan yang bukan kategori tidak layak dan tidak terbatas pasti memiliki hasil yang optimal. Dengan begitu, fungsi objektif memiliki nilai

yang unik baik itu berupa hasil maksimum atau minimum.

Dalam Tugas Akhir ini, penggunaan metode program linear diharapkan dapat memberikan hasil optimal dalam permasalahan pemotongan bahan 1 dimensi dengan memberikan pola pemotongan yang paling efektif.

2.4 Tekla Structure

Tekla Structure merupakan software bantu yang digunakan guna membentuk pemodelan struktur dan mengolah data kasar yang diperoleh dari proyek. *Tekla Structure* dapat digunakan untuk:

- a. Membangun model visual 3 dimensi
- b. Mengadakan gambar kerja
- c. Membentuk detail gambar
- d. Melakukan estimasi biaya
- e. Pengurutan pekerjaan konstruksi

Penggunaan Tekla dilakukan untuk membentuk model struktur yang diinginkan. Pembentukan model struktur disesuaikan dengan data-data perencanaan yang diperoleh dari proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 sebagai objek penelitian tugas akhir ini. Pemodelan struktur yang akan dibentuk meliputi:

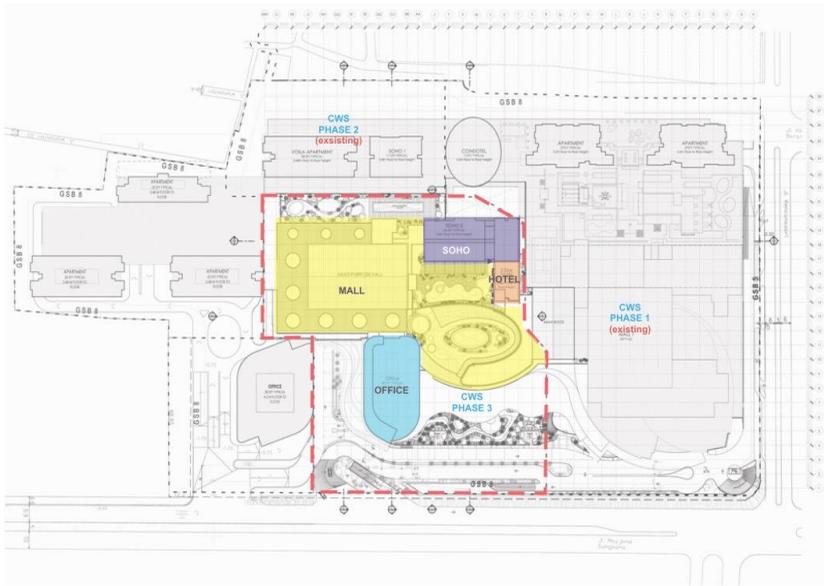
1. Kolom dan detailnya
2. Struktur dan detailnya
3. *Bar bending schedule* (BBS) untuk setiap struktur yang dibentuk

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah Proyek SOHO (Small Office – Home Office) Ciputra World Surabaya fase 3. SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 dibangun dengan denah tipikal untuk tiap lantainya dengan menggunakan beberapa tipe balok dan kolom.



Gambar 3.1 Perencanaan Ciputra World Surabaya Fase 3

3.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah untuk mempermudah memahami latar belakang timbulnya permasalahan yang kemudian dibentuk menjadi tujuan

penulisan Tugas Akhir ini. Dengan diketahuinya tujuan penulisan yang ingin dicapai, maka dapat dibentuk batasan-batasan studi yang sesuai dengan lingkup pekerjaan Tugas Akhir ini. Adanya batasan-batasan studi diperlukan agar bahasan dalam Tugas Akhir ini tidak keluar dari rumusan masalah dan tujuan yang diinginkan sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih terperinci.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dalam Tugas Akhir ini mencakup: *bar bending schedule* (BBS), *shop drawing*, *building information modeling* (BIM), dan *one dimensional cutting stock problem*. Studi literatur bertujuan untuk memberikan dasar teori mengenai pengolahan data, metode, maupun analisa yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

3.4 Pengumpulan Data

Tahap ini mencakup pengumpulan data primer dan data sekunder yang menjadi acuan penyelesaian tugas akhir ini.

Data primer berupa buku, literatur, maupun jurnal ilmiah digunakan sebagai acuan penulisan dan memberikan dasar teori mengenai metode penyelesaian permasalahan yang dihadapi.

Data sekunder berupa data proyek seperti gambar perencanaan, denah, detail kolom, detail balok, dan detail penulangan pada proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3. Data ini diperoleh dalam bentuk *file* .pdf sehingga perlu dilakukan pengelompokan data secara manual. Pengelompokan data tersebut dilakukan sesuai dengan struktur masing-masing, baik itu berupa kolom maupun balok. Pengelompokan data dibentuk dalam tabel-tabel sehingga memudahkan penggunaan data.

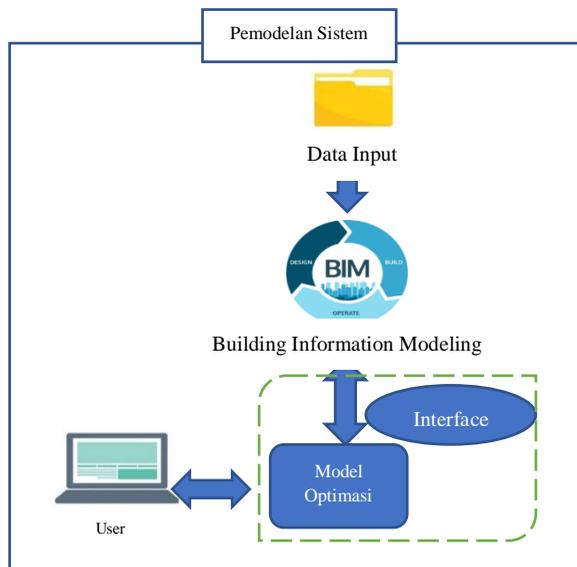
Setelah data dikelompokkan dalam tabel, kemudian dilakukan pemodelan struktur menggunakan *software* bantu.

Pembentukan pemodelan struktur ini akan memberikan output berupa gambar detail dan *bar bending schedule* (BBS).

Kemudian akan dilakukan analisis *waste rate* (presentase sisa) yang dihasilkan jika pemotongan dilakukan langsung (tanpa optimasi) dan jika dilakukan optimasi.

3.5 Pemodelan Sistem

Dalam tahap ini, dilakukan pemodelan sistem yang bertujuan untuk mengolah data yang diperoleh dengan langkah-langkah sistematis guna memperoleh hasil berupa optimasi yang diharapkan. Bagian-bagian dalam tahap pemodelan sistem dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Bagan Pemodelan Sistem

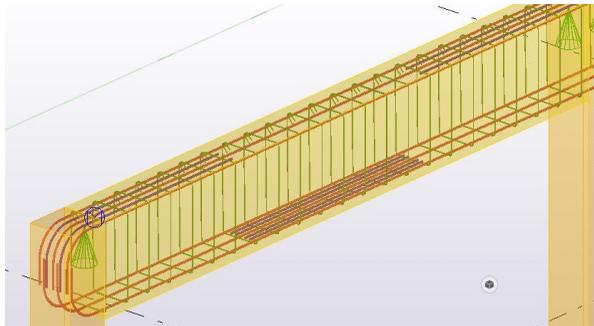
3.5.1 *Data Input*

Data Input merupakan langkah dimana data-data yang diperoleh akan dimasukkan ke dalam *Building Information Modeling* (BIM). Data-data ini berupa gambar-gambar

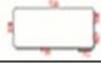
computer-aided drawing (CAD) shop drawing dari studi kasus yang ditinjau, dimana gambar tersebut merupakan gambar struktur balok, kolom, dan pelat (slab). Data ini dimasukkan secara manual maupun otomatis ke dalam format BIM.

3.5.2 ***Building Information Modeling (BIM)***

Pembentukan model menggunakan *platform* berupa *Building Information Modeling (BIM)*, dimana BIM merupakan platform yang dapat digunakan untuk membentuk model struktur dari gambar *shop drawing* yang diperoleh. Dalam tugas akhir ini, *platform* BIM yang digunakan disediakan oleh program bantu berupa Tekla Structure. Setelah model struktur dibentuk, kemudian dapat diperoleh hasil berupa tabel *Bar Bending Schedule (BBS)*. Tabel *Bar Bending Schedule (BBS)* ini kemudian akan dioptimasi menggunakan metode *linear programming*.



Gambar 3.3 Contoh Pemodelan Struktur dengan BIM

| Rebar list | | Project number Project name | | 1 Trimble | | Date: 04/05/2016 | |
|------------|------|--------------------------------|--------|--------------|-------------|------------------|---|
| Position | Size | Quantity | Grade | Length (mm) | Weight (kg) | Weight/Tot | Pull-out picture |
| 1 | 12 | 1 | A500HW | 2310.0 | 2.1 | 2.1 |  |
| 3 | 12 | 1 | A500HW | 1030.0 | 0.9 | 0.9 |  |
| 4 | 12 | 1 | A500HW | 1150.0 | 1.0 | 1.0 |  |
| 7 | 12 | 1 | A500HW | 2540.0 | 2.3 | 2.3 |  |
| 8 | 12 | 1 | A500HW | 1570.0 | 1.4 | 1.4 |  |
| 9 | 12 | 1 | A500HW | 1700.0 | 1.5 | 1.5 |  |

Gambar 3.4 Contoh Bar Bending Schedule
(sumber: <https://teklastructures.support.tekla.com>)

3.5.3 *Interface*

Setelah diperoleh BBS dari hasil pemodelan BIM, kemudian dapat dilakukan langkah-langkah untuk optimasi menggunakan *linear programming*. Untuk melakukan optimasi, terlebih dahulu diperlukan sebatang *interface* agar hasil dari pemodelan BIM dapat diolah menggunakan *linear programming*. Langkah-langkah pembentukan *interface* ini berupa:

1. Pemberian data

Interface adalah *device* serupa *script programming language* (seperti: Matlab, Oktave, Python, dll) yang memungkinkan *user* untuk berhubungan secara langsung dengan sistem program. Dengan hubungan secara langsung ini, maka *user* dapat mengatur program sesuai keperluannya. Dalam tugas akhir ini, tahap *interface* digunakan untuk melakukan optimasi menggunakan metode *linear programming* melalui

aplikasi bantu serupa *script programming language* (seperti: Matlab, Oktave, Python, dll). Data dari hasil pemodelan struktur BIM berupa tabel BBS akan diolah dengan *interface* yang dibentuk ini.

2. Klasifikasi

Dilakukan klasifikasi bar (tulangan) yang diperoleh dari tabel BBS. Tulangan akan diklasifikasikan berdasar tipe tulangan, mutu tulangan, dan diameter tulangan.

3. Optimasi

Setelah dilakukan klasifikasi data, kemudian dapat dibentuk model optimasi. Model optimasi ini dibentuk menggunakan metode *linear programming*. Pembentukan model optimasi dalam tugas akhir ini menggunakan *software* bantu berupa Matlab.

3.5.4 Model Optimasi

Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *linear programming*. Bentuk umum dari *linear programming* dinyatakan sebagai:

$$\text{Fungsi objektif: } \text{Min.} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{dibatasi : } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\geq b_i, & i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0 & j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.2)$$

Dimana:

x_j = variabel tentu ke - j

a_{ij} = koefisien dari variabel batasan ke – j dalam fungsi batasan ke - i

b_i = nilai fungsi batasan ke - i

Permasalahan di atas memiliki m jumlah variabel dan n jumlah batasan. Perlu diingat bahwa permasalahan di atas dapat ditulis dalam bentuk memaksimalkan maupun meminimalkan, tergantung pada pertidaksamaan yang digunakan, yaitu kurang dari sama dengan (\leq) untuk memaksimalkan dan lebih dari atau sama dengan (\geq) untuk meminimalkan.

Dalam menyelesaikan suatu permasalahan menggunakan program linear, dibutuhkan beberapa langkah yang harus dilakukan, antara lain:

- a.) Menentukan variabel tentu
- b.) Menentukan fungsi objektif
- c.) Menentukan model kendala

- a) Menentukan variabel tentu

Variabel tentu menggambarkan kuantitas yang ingin diperoleh untuk suatu barang (variabel) dalam permasalahan yang dibahas. Kuantitas ini adalah nilai yang tidak diketahui, sehingga akan menjadi nilai yang akan diperoleh dalam solusi suatu permasalahan program linear. Variabel tentu dituliskan dalam bentuk matematis sebagai x_1, x_2, \dots, x_n atau biasa juga dituliskan sebagai x_j , di mana x_j adalah nama dari variabel ke- j , dan j adalah angka dari 1 hingga jumlah variabel tentu ($j = 1, \dots, n$).

Dalam Tugas Akhir ini, variabel x_j mewakili jumlah bar yang dipotong menggunakan pola potongan ke $-j$

- b) Menentukan fungsi objektif

Fungsi objektif adalah hubungan linear yang menggambarkan objektif dari permasalahan berkenaan dengan variabel tentu. Fungsi objektif selalu bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu nilai. Dalam penulisan matematis, fungsi objektif dituliskan sebagai:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3.3)$$

Persamaan di atas menggambarkan fungsi objektif (Z) yang merupakan jumlah dari seluruh variabel tentu ke $-j$ (x_j). Fungsi objektif selalu bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu nilai.

c) Menentukan model kendala (*model constraint*)

Model kendala (*constraint*) merupakan pertidaksamaan ataupun persamaan yang mendefinisikan suatu batasan. Model kendala memperlihatkan hubungan linear antara variabel tentu (x_j) dengan koefisien kendala (a_{ij}) dimana i merupakan angka dari 1 hingga jumlah model kendala ($i = 1, \dots, m$) dan j merupakan angka dari satu hingga jumlah variabel tentu ($j = 1, \dots, n$), yang dibatasi dengan nilai b_i dimana b_i merupakan nilai hasil yang membatasi model kendala ke $-i$. Bentuk umum model kendala adalah sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, \quad (2.4)$$

$$i = 1, \dots, m,$$

$$j = 1, \dots, n$$

Pertidaksamaan lebih besar atau sama dengan (\geq) dapat diubah menjadi pertidaksamaan lebih kecil atau sama dengan (\leq) maupun persamaan ($=$) tergantung pada batasan yang ada untuk menyelesaikan fungsi objektif. Model kendala menunjukkan batasan yang ada di mana batasan tersebut dapat berupa keterbatasan bahan baku maupun peraturan / pedoman yang telah disetujui guna menyelesaikan permasalahan.

Dengan diketahuinya definisi setiap variabel, maka dapat dibentuk suatu fungsi yang akan dimasukkan ke dalam *interface* yang menjadi model optimasi tabel BBS. Setelah menjalankan model optimasi, maka akan diperoleh hasil berupa tabel BBS yang optimal dimana diperoleh kombinasi pemotongan optimal, jumlah tiap bar yang digunakan, dan sisa dari kombinasi pemotongan.

3.6 Perbandingan Hasil Optimasi

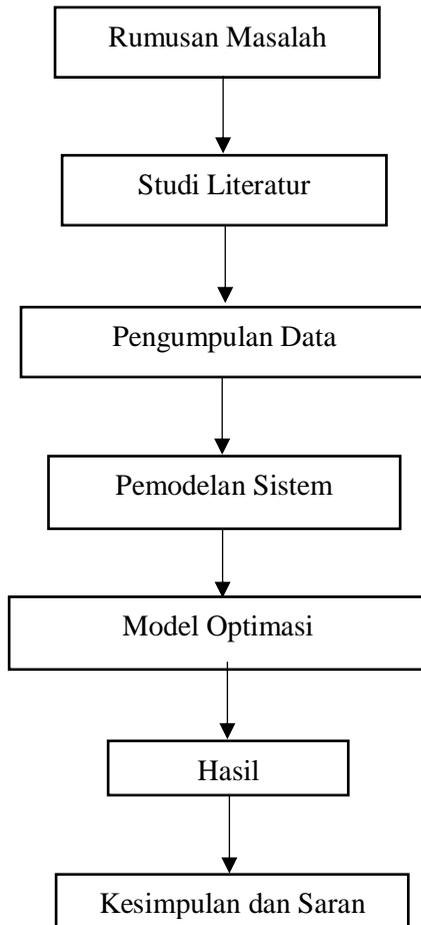
Tujuan tugas akhir berupa optimasi *bar bending schedule* (BBS) dilakukan dengan menggunakan program linear. Penggunaan program linear dibantu dengan *software* bantu berupa Matlab. Untuk memperoleh optimasi, dimasukkan data-data BBS yang telah terbentuk melalui pemodelan struktur ke dalam *coding* program linear Matlab. Hasil dari optimasi ini merupakan jumlah total bar 12meter yang digunakan, pola pemotongan tulangan, *waste* tiap pola pemotongan, dan *waste* total yang diperoleh.

Hasil tersebut kemudian akan dibandingkan dengan pemotongan tulangan tanpa optimasi, dimana pemotongan tulangan ini tidak memiliki pola khusus. Pemotongan tulangan tanpa optimasi dilakukan dengan memotong bar 12meter menjadi 1 jenis panjang potongan yang dilakukan hingga mencapai jumlah yang dibutuhkan untuk panjang potongan tersebut.

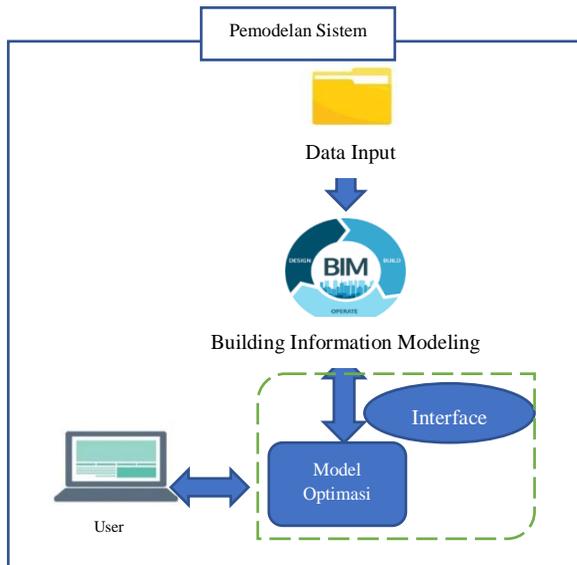
3.7 Kesimpulan dan Saran

Dilakukan penarikan kesimpulan dan pemberian saran tentang optimasi BBS dan bagaimana optimasi BBS dapat memengaruhi proyek yang ditinjau, berdasar perbandingan *waste rate* yang terjadi jika dilakukan optimasi dan tanpa dilakukan optimasi.

3.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.6 Pemodelan Sistem

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA

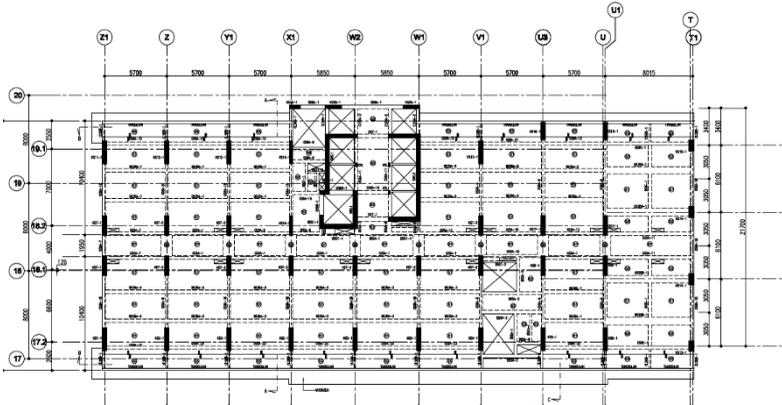
4.1 Data Umum Proyek

Proyek SOHO (Small Office – Home Office) Ciputra World Surabaya fase 3 merupakan bagian dari proyek super-block Ciputra World Surabaya yang terdiri dari mall, hotel, dan apartemen. Pembangunan super-block Ciputra World Surabaya fase 3 ini dimulai pada Juni 2017 dan direncanakan selesai pada April 2021. Berlokasi pada Jl. Mayjen Sungkono, Surabaya, Proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 merupakan struktur beton bertulang yang dibangun atas 25 lantai dengan ketinggian total 185 meter.

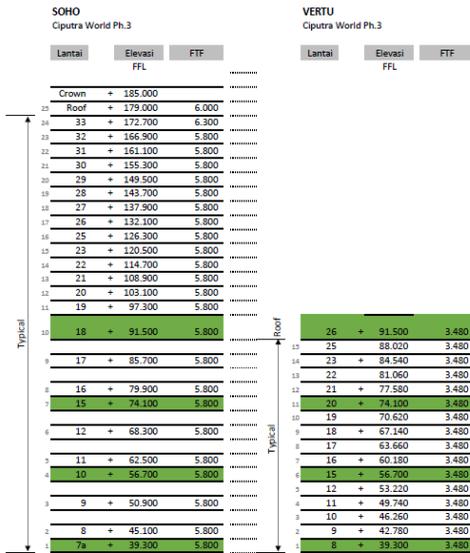
SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 dibangun dengan denah tipikal untuk tiap lantainya dengan menggunakan beberapa tipe balok dan kolom.



Gambar 4.1 Tampak Samping Ciputra World Surabaya Fase 3



Gambar 4.2 Denah Tipikal SOHO



Gambar 4.3 Elevasi SOHO Ciputra World Surabaya 3

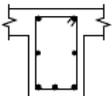
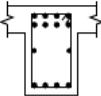
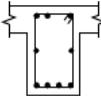
Data-data proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 untuk analisa model struktur yang digunakan adalah:

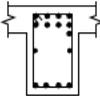
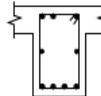
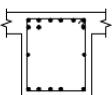
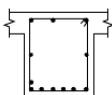
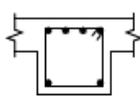
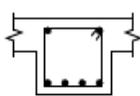
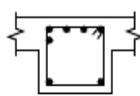
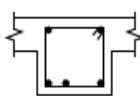
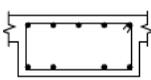
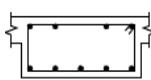
1. Denah proyek
2. Tipe kolom
3. Tipe balok
4. Detail penulangan kolom
5. Detail penulangan balok

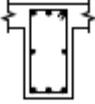
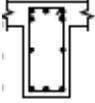
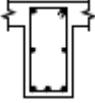
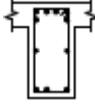
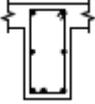
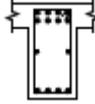
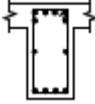
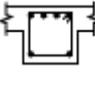
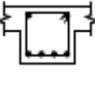
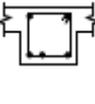
Adapun data-data asli proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

Untuk mempermudah input data ke dalam software Tekla Structure guna membentuk pemodelan struktur, dilakukan pengelompokan data balok dan kolom. Pengelompokan data dibentuk seperti pada **Tabel 4.1**. berikut:

Tabel 4.1 Tipe Balok

| Tipe Balok | Dimensi (mm) | Tumpuan | Lapangan | Diameter Tulangan | |
|------------|--------------|---|---|-------------------|----------------------|
| | | | | Atas dan bawah | Sengkang dan samping |
| GS5A-1 | 300 x 500 |  |  | D16 | D10 |
| GS5A-7 | 300 x 500 |  |  | D16 | D10 |

| | | | | | |
|---------|-----------|---|---|-----|-----|
| GS5A-11 | 300 x 500 |  |  | D16 | D10 |
| GS6A-18 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| GS6A-23 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| GS6C-1 | 500 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| BS35A-1 | 350 x 350 |  |  | D16 | D10 |
| BS35A-3 | 350 x 350 |  |  | D16 | D10 |
| BS35B-1 | 700 x 350 |  |  | D16 | D10 |

| | | | | | |
|---------|--------------|---|---|-----|-----|
| BS6A-1 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| CLS6A-1 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| GS6A-1 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| GS6A-12 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| GS6A-15 | 300 x 600 |  |  | D16 | D10 |
| BS35A-2 | 350 x 350 |  |  | D16 | D10 |
| BS35A-3 | 350 x 350 |  |  | D16 | D10 |

| | | | | | |
|---------|--------------|---|---|-----|-----|
| GS5A-13 | 300 x 500 |  |  | D16 | D10 |
|---------|--------------|---|---|-----|-----|

Sumber: (Laporan detail balok proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3)

Tipe balok = Merupakan nama yang digunakan untuk membedakan tiap balok. Tipe balok dibedakan bukan berdasarkan dimensi balok, namun dibedakan berdasar penggunaan tulangan dalam balok tersebut.

Dimensi = Ukuran tiap-tiap balok dalam mm (millimeter).

Tumpuan = Gambar potongan balok pada daerah tumpuan. Biasanya memiliki jumlah tulangan atas yang lebih banyak dibanding daerah lain.

Lapangan = Gambar potongan balok pada daerah lapangan. Biasanya memiliki jumlah tulangan bawah yang lebih banyak dibanding daerah lain.

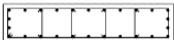
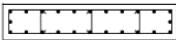
Diameter Tulangan:

Atas & bawah = Diameter tulangan yang digunakan untuk bagian atas dan bagian bawah balok.

Sengkang & samping = Diameter tulangan yang digunakan untuk bagian sengkang dan bagian samping balok.

Pengelompokan data kolom sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tipe Kolom

| Tipe Kolom | Dimensi (mm) | Potongan | Tulangan Utama | Sengkang dan kait |
|------------|--------------|---|----------------|-------------------|
| KS1 | 2100 x 400 |  | D20 | D10 |
| KS7 | 1800 x 400 |  | D20 | D10 |
| KS18 | 1600 x 400 |  | D20 | D10 |
| KS20 | 300 x 1500 |  | D20 | D10 |
| K15 | 1600 x 500 |  | D20 | D10 |

Sumber: (Laporan detail balok proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3)

- Tipe kolom = Merupakan nama yang digunakan untuk membedakan tiap kolom. Tipe kolom dibedakan bukan berdasarkan dimensi kolom, namun dibedakan berdasar penggunaan tulangan dalam kolom tersebut.
- Dimensi = Ukuran tiap-tiap kolom dalam mm (millimeter).
- Potongan = Gambar potongan melintang kolom

Diameter Tulangan:

Tulangan utama = Diameter tulangan yang digunakan sebagai tulangan utama.

Sengkang & samping = Diameter tulangan yang digunakan untuk bagian sengkang dan bagian kait kolom.

Dengan diketahuinya tipe-tipe struktur yang digunakan, maka dapat dilakukan perancangan struktur ke dalam *building information modeling* dengan *software* bantu berupa Tekla Structure. Pembentukan rancangan struktur akan membantu untuk menghasilkan salah satu output berupa *bar bending schedule* (BBS) yang akan digunakan dalam optimasi.

4.2 Rancangan Kebutuhan *Building Information Modelling*.

Building Information Modelling merupakan platform yang penggunaannya sangat luas. Dalam tugas akhir ini, BIM digunakan melalui *software* bantu Tekla. Penggunaan Tekla dilakukan untuk membentuk model struktur yang diinginkan. Pembentukan model struktur disesuaikan dengan data-data perencanaan dari proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 sebagai objek penelitian tugas akhir ini. Data-data proyek tersebut berupa:

1. Denah proyek
2. Jenis kolom
3. Jenis balok
4. Detail penulangan kolom
5. Detail penulangan balok

Dalam penulisan tugas akhir ini, data-data di atas diperoleh dalam bentuk .pdf sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan *import file* ke dalam sistem Tekla Structure. Oleh karena itu dilakukan perancangan model struktur secara manual.

4.3 Analisis Data Bar Bending Schedule

Analisa data pembentukan BBS pada umumnya menggunakan sistem manual dimana pembentukan BBS dilakukan satu persatu berdasarkan gambar detail perencanaan tulangan struktur baik balok maupun kolom. Dalam BBS, terdapat informasi mengenai panjang tulangan, jumlah tulangan, pola pembengkokan tulangan, dan tipe tulangan yang digunakan. Dengan banyaknya *item* yang harus didata, maka kemungkinan terjadi kesalahan akan semakin besar.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pembentukan BBS secara otomatis dengan menggunakan *platform* penunjang BIM, dimana dalam hal ini adalah software Tekla Structure. Pembentukan BBS secara otomatis ini akan mempermudah analisis dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan pendataan. Adapun prosedur dalam analisis data BBS adalah sebagai berikut:

- Pemodelan struktur kolom dan balok pada *software* Tekla Structure
- Input data penulangan pada Model Struktur
- Melakukan *generate output* BBS dengan menggunakan Tekla Structure

Pemodelan struktur kolom dan balok yang dibentuk disesuaikan dengan tipe-tipe kolom dan balok seperti pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

4.3.1 Pemodelan Struktur dan Input Data Penulangan

Pemodelan struktur menggunakan Tekla Structure dapat dilakukan dengan cara:

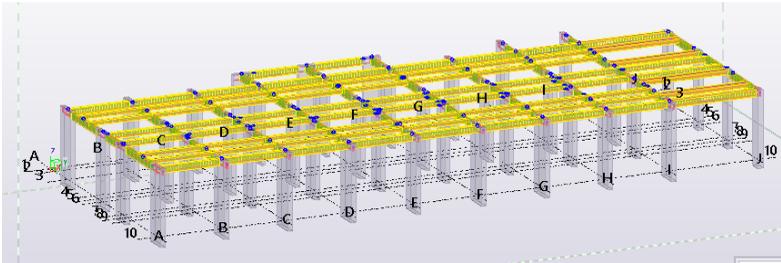
- Membuat model baru
- Import model

Dikarenakan data yang diperoleh dalam tugas akhir ini merupakan data dalam bentuk gambar 2 dimensi dengan jenis *file* yang tidak *disupport* oleh sistem Tekla Structure, maka dilakukan pembentukan model baru dalam program bantu Tekla Structure. Adapun tahapan-tahapan pembentukan model dapat dirangkum sebagai berikut:

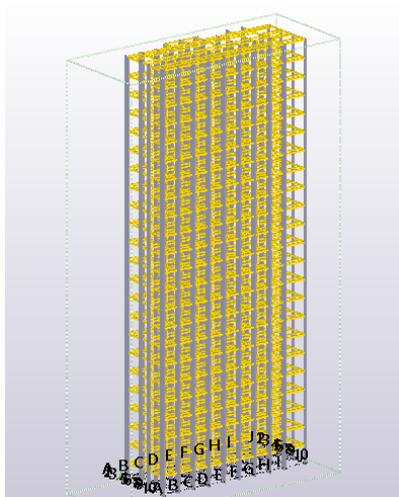
1. Pembentukan garis bantu kerja (*grid*)
2. Pembentukan kolom dan penyuntingan (*edit*) properti kolom
3. Pembentukan balok dan penyuntingan properti balok
4. Penyesuaian tulangan pada kolom
5. Penyesuaian tulangan pada balok

Perancangan model struktur menggunakan Tekla Structure dimulai dengan membentuk *grid* dimana struktur akan dibangun yang kemudian dilanjutkan dengan membangun kolom dan balok yang dapat disesuaikan dengan struktur yang diinginkan. Untuk mengetahui tahapan secara detail dapat melihat Lampiran 2.

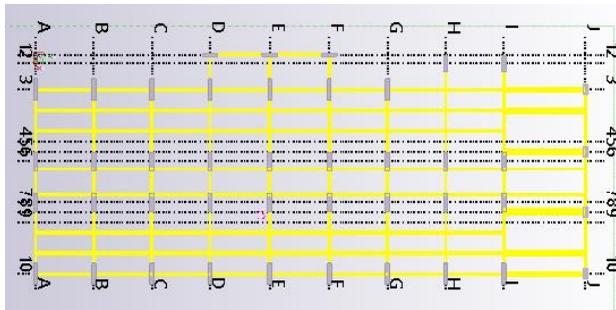
Pembentukan struktur dalam Tekla Structure dilakukan bertahap lantai per lantai. Tipe-tipe struktur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Hasil pembentukan struktur akan terlihat seperti:



Gambar 4.3 Struktur Balok dan Kolom



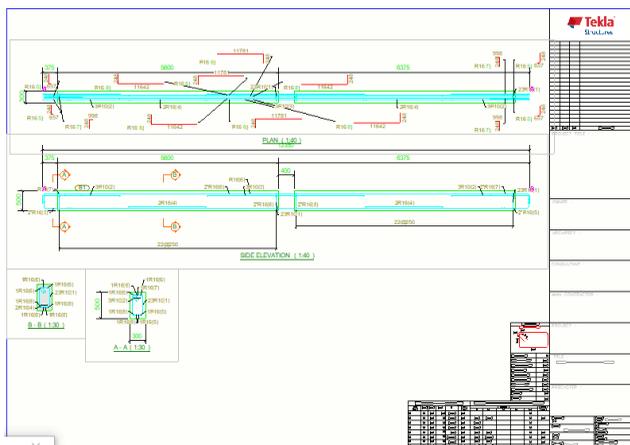
Gambar 4.3 Keseluruhan Bangunan



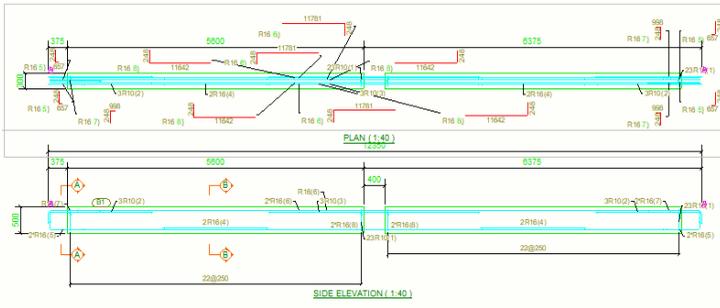
Gambar 4.4 Tampak Atas Struktur

4.3.1 Generate Output Tekla Structure

Pembentukan model struktur dalam Tekla Structure dapat menghasilkan *output* berupa gambar detail struktur dan *bar bending schedule* (BBS). Dengan menyelesaikan pembentukan model struktur, dapat dilakukan *generate output* Tekla Structure yang akan menghasilkan gambar seperti:



Gambar 4.5 Output Tekla Structure



Gambar 4.6 Output Tekla Structure Bagian Gambar Detail

| | | | | | | Bar Mark : 1 shape code 99 | | | | | |
|-----------------------------|------|------|-----|-------|------------|---|-------|---|---|----------------|----|
| | | | | | | | | | | | |
| Element Quantity | | | | 1 | | | | | | | |
| Element Weight (ton) | | | | 4.32 | | | | | | | |
| Concrete Volume (m3) | | | | 1.68 | | | | | | | |
| Concrete Grade | | | | C40 | | | | | | | |
| Reinf. Bar 6-13 (kg) | | | | 56.2 | | | | | | | |
| Reinf. Bar 16-40 (kg) | | | | 155.6 | | | | | | | |
| Reinforcement (kg) | | | | 211.8 | | | | | | | |
| Reinforcement (kg/m3) | | | | 126.1 | | | | | | | |
| Strand (kg) | | | | 0.0 | | | | | | | |
| Mesh (kg) | | | | 0.0 | | | | | | | |
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | | Shape Codes To BS9988: 2005 All Dimension Taken To The Outer Edge | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code | Dimensions | | | | Bending Radius | |
| | | | | | | a | b | c | d | | |
| 1 | R | 10 | 46 | 1430 | 99 | | | | | 0 | |
| 2 | R | 10 | 6 | 2200 | 11 | 230 | 2000 | | | 0 | 20 |
| 3 | R | 10 | 3 | 4000 | 00 | 4000 | | | | 0 | |
| 4 | R | 16 | 4 | 2000 | 00 | 2000 | | | | 0 | |
| 5 | R | 16 | 4 | 870 | 11 | 248 | 657 | | | 0 | 32 |
| 6 | R | 16 | 3 | 11990 | 11 | 248 | 11781 | | | 0 | 32 |
| 7 | R | 16 | 3 | 1210 | 11 | 248 | 998 | | | 0 | 32 |
| 8 | R | 16 | 4 | 11850 | 11 | 248 | 11642 | | | 0 | 32 |

Gambar 4.7 Output Tekla Structure Bagian Tabel

Hasil output Tekla Structure memberikan informasi mengenai detail penulangan, BBS, hingga gambar tulangan dengan pola pembengkokan yang berbeda-beda. Misal untuk tulangan 8, berdasarkan BBS yang diperoleh, tulangan 8 memiliki panjang (L) 11990mm dengan *shape code* 11. Dikarenakan standar penulangan yang digunakan dalam Tekla Structure mengacu pada British Standard 8666 : 2005 (lihat Gambar 2.2) maka pola pembengkokan tulangan dan hasil perhitungan panjang tulangan harus sama dengan acuan berupa British Standard 8666 : 2005.



Gambar 4.8 Menunjukkan Tulangan 6

Berdasar British Standard 8666 : 2005, untuk kode 11 diperoleh perhitungan panjang tulangan:

$$L = A + B - 0.5r - d$$

Dengan:

A = panjang tulangan di arah horizontal

B = panjang pembengkokan di 1 ujung tulangan ke arah vertical

r = radius tulangan (lihat Tabel 2.1)

d = diameter tulangan

Maka dapat dihitung panjang tulangan secara manual:

$$L = 11781 + 248 - 0.5 \cdot 32 - 16$$

$$L = 11987\text{mm}$$

Dengan dilakukan pembulatan, maka hasil yang diperoleh dengan perhitungan manual memiliki hasil yang sama dengan

panjang tulangan pada BBS (11990mm), dengan demikian terbukti bahwa perhitungan panjang tulangan yang tertera pada BBS benar mengacu pada British Standard 8666 : 2005.

4.3.2 Pengolahan Data

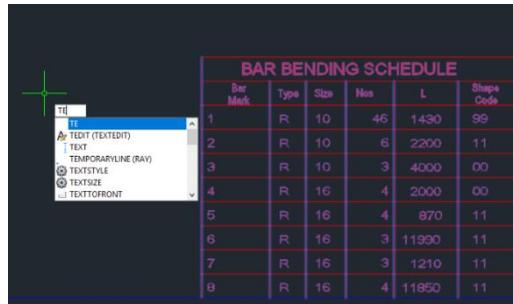
Melalui langkah *generate output* untuk pemodelan struktur pada Tekla Structure, diperoleh *bar bending schedule* struktur. Agar BBS tersebut dapat diolah, perlu dilakukan *export file* dari Tekla Structure ke dalam Excel.

Untuk memperoleh BBS dalam bentuk tabel Excel dapat dilakukan tahapan:

1. Export file output Tekla Structure ke dalam bentuk DWG/DXF yang disupport oleh program bantu CAD yang disupport oleh program bantu CAD (*computer-aided drawing*, serupa AutoCAD, OpenSCAD, Blender, dll.)
2. Membuka file BBS dalam program bantu CAD
3. Melakukan *table export* dari program bantu CAD ke dalam Excel



Gambar 4.9 Output Tekla Dalam CAD



Gambar 4.10 Melakukan *Table Export* (TE) Pada Tabel

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|----------------------|------|------|-----|-------|------------|---|
| 1 | BAR BENDING SCHEDULE | | | | | | |
| 2 | Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code | |
| 3 | 1 | R | 10 | 46 | 1430 | 99 | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | 2 | R | 10 | 6 | 2200 | 11 | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | 3 | R | 10 | 3 | 4000 | 0 | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | 4 | R | 16 | 4 | 2000 | 0 | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | 5 | R | 16 | 4 | 870 | 11 | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | 6 | R | 16 | 3 | 11990 | 11 | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | 7 | R | 16 | 3 | 1210 | 11 | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | 8 | R | 16 | 4 | 11850 | 11 | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |

Gambar 4.11 Hasil Export File ke Dalam Excel

Export file BBS ke dalam Excel dilakukan untuk keseluruhan struktur. Hal ini dilakukan agar data BBS dapat diolah sedemikian hingga menjadi data yang siap untuk dioptimasi. Data yang diperlukan untuk optimasi harus memiliki informasi mengenai diameter tulangan, panjang tulangan, dan kebutuhan tulangan, sehingga data hasil export ke dalam excel dapat diolah dan disajikan dengan bentuk yang diinginkan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Bar Bending Schedule

| No. | Size | Nos | L |
|-----|------|-----|-------|
| 1 | 10 | 46 | 1430 |
| 2 | 10 | 6 | 2200 |
| 3 | 10 | 3 | 4000 |
| 4 | 16 | 4 | 2000 |
| 5 | 16 | 4 | 870 |
| 6 | 16 | 3 | 11990 |
| 7 | 16 | 3 | 1210 |
| 8 | 16 | 4 | 11850 |

Size = ukuran diameter tulangan (mm)

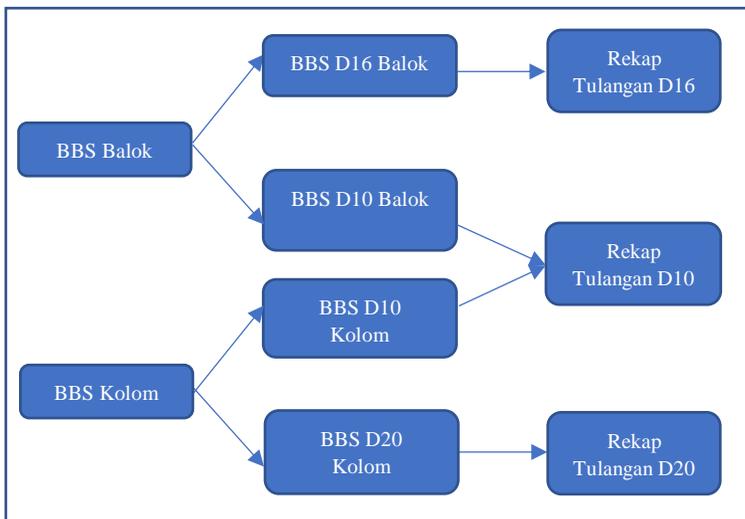
Nos = jumlah kebutuhan tulangan

L = panjang tulangan (mm)

Meskipun Tabel 4.3 sudah memiliki data yang diperlukan untuk optimasi, namun tabel tersebut belum dapat digunakan. Hal ini dikarenakan masih tercampurnya tulangan-tulangan dengan diameter yang berbeda. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelompokan tulangan berdasarkan diameternya.

Pengelompokan data yang dilakukan yaitu mengelompokkan tulangan-tulangan yang digunakan berdasar diameter tulangan yang ada, tanpa memperhatikan struktur asal tulangan tersebut. Hal ini dikarenakan optimasi BBS akan dilakukan per lantai bangunan. Adapun tahapan pengelompokan tulangan dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Memisahkan BBS setiap model struktur berdasarkan tulangan yang digunakan. Untuk balok menjadi BBS tulangan D10 dan D16, untuk kolom menjadi BBS tulangan D10 dan D20.
2. Menggabungkan BBS keseluruhan dari setiap struktur ke dalam satu file berdasarkan tulangan yang sama (D10, D16, dan D20).
3. Mengelompokkan panjang tulangan untuk setiap *range* 25cm.



Gambar 4.12 Diagram Alir klasifikasi Data BBS

Informasi mengenai resume BBS yang dibentuk dapat dilihat pada Tabel 4.3 Resume BBS Balok dan Tabel 4.4 Resume BBS Kolom

Tabel 4.4 Resume BBS Balok

| No | Tipe Balok | Kode | Keterangan |
|----|------------|----------|---|
| 1 | GS6A – 15 | CB1 – 1 | Lampiran 3, tabel 3.1 Lampiran 6, Gambar 1 |
| 2 | CLS6A | CB44 – 1 | Lampiran 3, tabel 3.2 Lampiran 6, Gambar 2 |
| 3 | GS6A – 21 | CB47 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.3 Lampiran 6, Gambar 3 |
| 4 | GS5A | CB50 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.4 Lampiran 6, Gambar 4 |
| 5 | BS6A – 1 | CB58 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.5 Lampiran 6, Gambar 5 |
| 6 | BS6A – 1 | CB62 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.6 Lampiran 6, Gambar 6 |
| 7 | GS6A | CB68 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.7 Lampiran 6, Gambar 7 |
| 8 | BS35A - 2 | CB69 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.8 Lampiran 6, Gambar 8 |
| 9 | BS35A - 2 | CB70 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.9 Lampiran 6, Gambar 9 |
| 10 | BS35A - 1 | CB71 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.10 Lampiran 6, Gambar 10 |
| 11 | BS35A - 1 | CB72 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.11 Lampiran 6, Gambar 11 |
| 12 | BS35A - 3 | CB73 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.12 Lampiran 6, Gambar 12 |
| 13 | BS35A - 3 | CB74 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.13 Lampiran 6, Gambar 13 |
| 14 | BS35A - 3 | CB75 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.14 Lampiran 6, Gambar 14 |
| 15 | GS6C | CB78 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.15 Lampiran 6, Gambar 15 |
| 16 | GS6C | CB79 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.16 Lampiran 6, Gambar 16 |

| | | | |
|----|-----------|----------|---|
| 17 | CLS6A | CB81 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.17 Lampiran 6, Gambar 17 |
| 18 | GS5A | CB82 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.18 Lampiran 6, Gambar 18 |
| 19 | GS6A - 6 | CB83 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.19 Lampiran 6, Gambar 19 |
| 20 | GS6A - 6 | CB84 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.20 Lampiran 6, Gambar 20 |
| 21 | GS5A - 7 | CB85 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.21 Lampiran 6, Gambar 21 |
| 22 | GS5A - 7 | CB86 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.22 Lampiran 6, Gambar 22 |
| 23 | GS5A | CB87 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.23 Lampiran 6, Gambar 23 |
| 24 | GS5A - 7 | CB88 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.24 Lampiran 6, Gambar 24 |
| 25 | GS6A - 18 | CB89 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.25 Lampiran 6, Gambar 25 |
| 26 | GS6A – 18 | CB90 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.26 Lampiran 6, Gambar 26 |
| 27 | GS6A – 18 | CB91 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.27 Lampiran 6, Gambar 27 |
| 28 | GS6A – 12 | CB92 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.28 Lampiran 6, Gambar 28 |
| 29 | GS5A – 11 | CB93 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.29 Lampiran 6, Gambar 29 |
| 30 | BS35B - 1 | CB94 – 1 | Lampiran 3, Tabel 3.30 Lampiran 6, Gambar 30 |

Tipe Balok = Tipe balok yang digunakan (lihat Tabel 4.1)

Kode = Kode letak struktur (dibentuk secara otomatis oleh Tekla Structures)

Keterangan = Keterangan tambahan mengenai isi tabel

Tabel 4.5 Resume BBS Kolom

| No | Tipe Kolom | Kode | Keterangan |
|----|------------|-------|---|
| 1 | KS-20 | C7-1 | Lampiran 3, tabel 3.31 Lampiran 6, Gambar 31 |
| 2 | KS – 18 | C9-1 | Lampiran 3, tabel 3.32 Lampiran 6, Gambar 32 |
| 3 | KS – 1 | C12-1 | Lampiran 3, Tabel 3.33 Lampiran 6, Gambar 33 |
| 4 | KS – 15 | C15-1 | Lampiran 3, Tabel 3.34 Lampiran 6, Gambar 34 |
| 5 | KS - 7 | C18-1 | Lampiran 3, Tabel 3.35 Lampiran 6, Gambar 35 |

Tipe Kolom = Tipe kolom yang digunakan (lihat Tabel 4.2)

Kode = Kode letak struktur (dibentuk secara otomatis oleh Tekla Structures)

Keterangan = Keterangan tambahan mengenai isi tabel

Dilakukannya pengelompokan data akan memberikan tabel yang terdiri dari 1 jenis diameter tulangan. Tabel ini juga mengandung seluruh jenis panjang tulangan dan jumlah kebutuhannya untuk keseluruhan struktur dalam 1 lantai yang sama.

Tabel 4.6 Keseluruhan Tipe Panjang Tulangan D10

| Tulangan D10 | | |
|--------------|-------|-----|
| No | L | Nos |
| 1 | 12000 | 12 |

| | | |
|----|-------|-----|
| 2 | 11990 | 2 |
| 3 | 11890 | 2 |
| 4 | 11770 | 2 |
| 5 | 8450 | 2 |
| 6 | 6620 | 4 |
| 7 | 6000 | 24 |
| 8 | 5950 | 2 |
| 9 | 5820 | 2 |
| 10 | 4820 | 108 |
| 11 | 4800 | 2 |
| 12 | 4500 | 2 |
| 13 | 4300 | 2 |
| 14 | 4220 | 81 |
| 15 | 4020 | 432 |
| 16 | 3820 | 54 |
| 17 | 3600 | 2 |
| 18 | 3420 | 486 |
| 19 | 3230 | 2 |
| 20 | 2030 | 64 |
| 21 | 1930 | 89 |
| 22 | 1850 | 192 |
| 23 | 1630 | 487 |
| 24 | 1590 | 72 |
| 25 | 1580 | 96 |
| 26 | 1430 | 411 |
| 27 | 1420 | 48 |
| 28 | 1280 | 432 |
| 29 | 1230 | 161 |
| 30 | 690 | 192 |

| | | |
|----|-----|----|
| 31 | 590 | 36 |
|----|-----|----|

L = panjang tulangan (mm)

Nos = jumlah kebutuhan tulangan

Jenis-jenis panjang tulangan dalam tabel kemudian akan dikelompokkan ke dalam suatu panjang potongan dengan range setiap 25cm. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pemotongan tulangan di lapangan. Hasil dari pengelompokan data tulangan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.7 Rekap Tulangan D10

| TULANGAN D10 | | |
|--------------|-------|------|
| No | L | Nos |
| 1 | 12000 | 80 |
| 2 | 8500 | 16 |
| 3 | 6750 | 8 |
| 4 | 6000 | 120 |
| 5 | 5000 | 8 |
| 6 | 4500 | 16 |
| 7 | 4250 | 1134 |
| 8 | 4000 | 378 |
| 9 | 3750 | 8 |
| 10 | 3500 | 567 |
| 11 | 3250 | 8 |
| 12 | 2500 | 84 |
| 13 | 2250 | 192 |
| 14 | 2000 | 603 |
| 15 | 1750 | 1478 |

| | | |
|----|------|------|
| 16 | 1500 | 1494 |
| 17 | 1250 | 322 |
| 18 | 750 | 336 |

L = panjang tulangan (mm)

Nos = jumlah kebutuhan tulangan

Tabel 4.8 Rekap Tulangan D16

| Tulangan D16 | | | | | |
|--------------|--------|-----|----|--------|-----|
| No | L (mm) | Nos | No | L (mm) | Nos |
| 1 | 12000 | 77 | 16 | 5750 | 2 |
| 2 | 11750 | 20 | 17 | 5000 | 12 |
| 3 | 11500 | 4 | 18 | 4750 | 20 |
| 4 | 11250 | 8 | 19 | 4000 | 4 |
| 5 | 9250 | 16 | 20 | 3750 | 66 |
| 6 | 9000 | 2 | 21 | 3500 | 8 |
| 7 | 8750 | 43 | 22 | 3250 | 2 |
| 8 | 8500 | 32 | 23 | 3000 | 14 |
| 9 | 8250 | 16 | 24 | 2750 | 72 |
| 10 | 8000 | 8 | 25 | 2500 | 38 |
| 11 | 7750 | 12 | 26 | 2250 | 36 |
| 12 | 6750 | 20 | 27 | 2000 | 65 |
| 13 | 6500 | 24 | 28 | 1750 | 84 |
| 14 | 6250 | 26 | 29 | 1500 | 28 |
| 15 | 6000 | 82 | 30 | 1250 | 10 |

L = panjang tulangan (mm)

Nos = jumlah kebutuhan tulangan

Tabel 4.9 Rekap Tulangan D20

| TULANGAN D20 | | |
|--------------|------|-----|
| No | L | Nos |
| 1 | 7000 | 624 |
| 2 | 6250 | 624 |
| 3 | 5750 | 486 |

L = panjang tulangan (mm)

Nos = jumlah kebutuhan tulangan

Data tulangan pada tabel-tabel di atas merupakan keseluruhan kebutuhan tulangan untuk 1 lantai. Dengan diperolehnya seluruh kebutuhan tulangan untuk 1 lantai, maka dapat dilakukan optimasi untuk setiap jenis diameter tulangan.

4.4 Optimasi Bar Bending

Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *linear programming*. Bentuk umum dari *linear programming* dinyatakan sebagai:

$$\text{Fungsi objektif: Min.} = \sum_{j=1}^n f x_j \quad (4.1)$$

$$\text{dibatasi : } \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j = B_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (4.2)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Di mana dalam tugas akhir ini:

x_j = variabel pada pola pemotongan

A_{ij} = jumlah potongan dalam suatu pola pemotongan (dalam bentuk matriks)

B_i = jumlah (nominal) yang dibutuhkan oleh suatu tipe panjang tulangan (dalam bentuk vektor)
 f = sisa dalam suatu pola pemotongan (dalam bentuk vektor)

Penggunaan linear programming ini ditujukan untuk meminimalkan x_j , dimana x_j adalah jumlah bar 12meter (*bar stock*) yang akan digunakan. Ini dimungkinkan dengan mencari suatu pola pemotongan yang dapat memenuhi jumlah kebutuhan tulangan (b_i). Dengan menghubungkan variabel linear programming pada tabel BBS yang telah dibentuk, diperoleh a_{ij} berupa L (panjang tulangan), b_i berupa Nos (jumlah tulangan), dan x_j menjadi pola penulangan yang dicari.

4.4.1 Pemodelan Optimasi dalam Matlab

Penggunaan metode linear sebagai optimasi ini dibantu dengan *software* penunjang Matlab. Matlab merupakan *platform* yang digunakan untuk pemrograman. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Matlab adalah *matrix-based language* (Bahasa pemrograman menggunakan matriks, baris dan kolom), sehingga data-data yang dimiliki harus dibentuk dalam suatu vector (baris atau kolom) maupun matriks.

Penggunaan Matlab juga memerlukan adanya penulisan koding yang berfungsi sebagai cara untuk mengendalikan sistem yang berjalan, sehingga apa yang diinginkan oleh pengguna dapat dimengerti oleh sistem Matlab.

Dalam tugas akhir ini, dengan tujuan untuk memperoleh hasil optimal pada permasalahan *cutting stock problem* dengan menggunakan *linear programming*, digunakan algoritma *linprog*.

Linprog adalah *command* pada Matlab yang merupakan bagian dari *toolbox* optimasi Matlab yang mengimplementasikan algoritma *simplex* yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan bentuk berupa:

$$\begin{aligned} \text{Fungsi objektif: Min.} &= \sum_{j=1}^n f_j x_j \\ \text{dibatasi :} & \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j = B_i, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Di mana f ditulis dalam vektor dengan a dalam bentuk matriks dan b dalam bentuk vektor yang menjadi batasan fungsi objektif.

Dalam tugas akhir ini, fungsi objektif terdiri dari jumlah keseluruhan hasil kali f dengan x , dimana f merupakan vektor yang berisi sisa dari setiap pola pemotongan, dan x merupakan pola pemotongan yang mungkin digunakan.

Matriks A berisi keseluruhan potongan pada setiap pola pemotongan dan B merupakan vektor yang berisi jumlah (nominal) yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan panjang tulangan.

Variabel m didefinisikan sebagai jumlah tipe panjang tulangan yang ada (30 tipe untuk Tabel 4.8 yang

digunakan sebagai contoh), sehingga $i = 1, 2, 3, \dots, 30$. Variabel n didefinisikan sebagai jumlah pola pemotongan yang mungkin dapat digunakan (131 pola pemotongan untuk Tabel 4.8), sehingga $j = 1, 2, 3, \dots, 131$.

| Tulangan D16 | | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X17 | X18 | X19 | X20 | X21 | X22 |
|-----------------------|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Panjang tulangan (mm) | Jumlah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12000 | 77 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11750 | 20 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11500 | 4 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11250 | 8 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9250 | 16 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9000 | 2 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8750 | 43 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 8500 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8250 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8000 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7750 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6750 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6250 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5750 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5000 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4750 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4000 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3750 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3500 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3250 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3000 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2750 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2500 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2250 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1750 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1500 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1250 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | total | 0 | f | 250 | 500 | 750 | 250 | 250 | 0 | 750 | 500 | 250 | 0 | 500 | 0 | 750 | 500 | 250 | 0 | 750 | 250 | 0 | 500 |

Gambar 4.13 Pola Pemotongan Tulangan D16

Dalam tugas akhir ini, dibentuk seluruh kemungkinan pola pemotongan untuk setiap tulangan yang ada. Dalam Gambar 4.13 memperlihatkan kemungkinan-kemungkinan pola pemotongan untuk rekap tulangan D16 (Tabel 4.8) dan memperlihatkan bahwa bagian f_j merupakan sisa dari pola pemotongan, X_j merupakan pola pemotongan, B_i merupakan jumlah tulangan yang dibutuhkan, dan A_{ij} merupakan keseluruhan dari pola pemotongan.

Pada Gambar 4.13 terdapat 30 jenis panjang tulangan dengan kebutuhan (B_i) yang berbeda-beda. Dengan membentuk pola-pola penulangan yang mungkin dapat digunakan (A_{ij}), diperoleh 131 kemungkinan pola penulangan (X_1 hingga X_{131}) yang menghasilkan sisa tulangan (f) yang minimal. Pembentukan pola-pola penulangan ini dilakukan secara manual.

Dengan melihat Gambar 4.13, dapat dituliskan persamaan linear yang diperoleh. Diperoleh untuk panjang tulangan 11500 dibutuhkan 4 buah tulangan dengan 0 pola pemotongan X_1 , 0 pola X_2 , 1 pola pemotongan X_3 , 0 pola X_4 , dan seterusnya. Untuk panjang tulangan 11250 dibutuhkan 8 buah tulangan dengan 0 pola X_1 , 0 pola X_2 , 0 pola X_3 , 1 pola pemotongan X_4 , 0 pola X_5 , dan seterusnya. Sedangkan untuk panjang tulangan 9250 dibutuhkan 16 buah tulangan dengan 0 pola X_1 , 0 pola X_2 , 0 pola X_3 , 0 pola X_4 , 1 pola X_5 , 1 pola X_6 , 1 pola X_7 , 1 pola X_8 , 1 pola X_9 , 1 pola X_{10} , 1 pola X_{11} , 0 pola X_{12} , dan seterusnya. Informasi yang diperoleh tersebut kemudian dituliskan dalam bentuk persamaan matematis menjadi:

$$X_3 = 77$$

$$X_4 = 20$$

$$X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} = 16$$

Persamaan matematis untuk fungsi objektif juga dibentuk, yaitu berdasarkan pola pemotongan yang digunakan dan sisa yang dihasilkan untuk pola tersebut. Melalui Gambar 4.13, diperoleh sisa untuk pola X1 adalah 0mm, sisa untuk X2 adalah 250mm, sisa untuk X3 adalah 500mm, dan seterusnya mengikuti nilai sisa pada Gambar 4.13. Oleh karena itu, untuk contoh diatas, diperoleh fungsi objektif:

$$\text{Minimalkan: } 0X_1 + 250X_2 + 500X_3 + 750X_4 + 250X_5 + 250X_6 + 0X_7 + 750X_8 + 500X_9 + 250X_{10} + 0X_{11}$$

Informasi yang diperoleh dalam Gambar 4.13 merupakan sebagian dari 1 tabel utuh yang memiliki informasi mengenai seluruh kemungkinan pola pemotongan yang dapat dibentuk, sisa yang dihasilkan, dan kebutuhan tulangan yang ada. Tabel ini dapat di lihat pada Lampiran 4. Dengan menggunakan seluruh informasi yang diperoleh dalam Lampiran 4, dapat dituliskan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Fungsi objektif: min.:

$$250X_2 + 500X_3 + \dots + 250X_{49} + 250X_{50} + \dots + 250X_{130} + 750X_{131} \quad (4.3)$$

Dengan batasan:

$$X_1 = 77 \quad (4.4)$$

$$X_2 = 20 \quad (4.5)$$

$$X_3 = 4 \quad (4.6)$$

$$X_4 = 8 \quad (4.7)$$

$$X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} = 16 \quad (4.8)$$

$$X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} = 2 \quad (4.9)$$

$$X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} = 43 \quad (4.10)$$

$$X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} = 32 \quad (4.11)$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} = 16 \quad (4.12)$$

$$X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{40} + X_{41} + X_{42} = 8 \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned}
X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} &= 12 & (4.14) \\
X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} &= 20 & (4.15) \\
X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{60} + X_{61} + X_{62} + X_{63} &= 24 & (4.16) \\
X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{70} + X_{71} &= 26 & (4.17) \\
X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + 2X_{78} &= 82 & (4.18) \\
X_{79} + X_{80} + X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + 2X_{87} &= 2 & (4.19) \\
X_{86} + X_{90} + X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + 2X_{95} &= 12 & (4.20) \\
X_{94} + X_{99} + X_{100} + X_{101} + X_{102} + 2X_{103} &= 20 & (4.21) \\
X_{102} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + 2X_{107} + 3X_{108} &= 4 & (4.22) \\
2X_{107} + X_{109} + X_{110} + 2X_{111} + 3X_{112} &= 66 & (4.23) \\
X_{84} + 2X_{101} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + 2X_{116} + 3X_{117} &= 8 & (4.24) \\
X_{91} + X_{111} + 2X_{115} + X_{118} + X_{119} + 2X_{120} + 3X_{121} &= 25 & (4.25) \\
2X_{106} + X_{120} + 3X_{122} + 4X_{123} &= 14 & (4.26) \\
2X_{90} + 3X_{110} + 3X_{114} + 3X_{124} &= 72 & (4.27) \\
X_{103} + 3X_{105} + 3X_{109} + 2X_{116} + 3X_{125} + 4X_{126} &= 38 & (4.28) \\
X_9 + 2X_{52} + 2X_{59} + 3X_{89} + X_{121} + 2X_{125} + 4X_{127} &= 36 & (4.29) \\
2X_{38} + 2X_{45} + 3X_{73} + 3X_{98} + X_{124} + X_{126} + 6X_{128} &= 65 & (4.30) \\
X_{21} + 2X_{44} + 3X_{66} + 4X_{88} + 3X_{97} + 5X_{119} + 6X_{129} &= 84 & (4.31) \\
X_7 + 2X_{20} + 3X_{65} + 4X_{80} + 4X_{96} + 5X_{118} + 2X_{127} + 7X_{130} &= 28 & (4.32) \\
2X_6 + 2X_{19} + 3X_{30} + X_{47} + 4X_{64} + 5X_{79} + X_{100} + 9X_{131} &= 10 & (4.33) \\
X_1, X_2, X_3, \dots, X_{51}, X_{52}, X_{53}, \dots, X_{129}, X_{130}, X_{131} &\geq 0 & (4.34)
\end{aligned}$$

Dibentuk kemungkinan-kemungkinan pola pemotongan seperti di atas untuk setiap tipe diameter tulangan baik D16, D10, dan D20. Setelah dibentuk seluruh kemungkinan pola pemotongan, dilakukan optimasi dengan menggunakan Matlab. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan agar Matlab dapat menghasilkan *output* berupa optimasi menggunakan linear programming, dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Input data
2. Pendefinisian variabel
3. *Looping*

```

filename = 'tulangan gabungan 3.xlsx';
sheet = 1;
xlRange{1} = 'f4:ef33';
xlRange{2} = 'f41:ef171'; %xlrange 1 dan 2 untuk A
xlRange{3} = 'e4:e33';
xlRange{4} = 'e41:e171'; %xlrange 3 dan 4 untuk B
xlRange{5} = 'f34:ef34'; %xlrange 5 untuk f

```

Gambar 4.14 Input Data

Input data ke dalam Matlab dilakukan dengan menggunakan *command* (perintah) berupa pemanggilan *xlxread* yang mengijinkan data berupa tabel dalam Excel dapat terbaca oleh Matlab.

```

a = xlsread(filename, sheet, xlRange{1});
ab = -(xlsread (filename, sheet, xlRange{2}));

b = xlsread(filename, sheet, xlRange{3});
bb = xlsread(filename, sheet, xlRange{4});

A = [a; ab];
B = [b; bb];
f = -(xlsread(filename, sheet, xlRange{5}));

```

Gambar 4.15 Pendefinisian Variabel

Pendefinisian variabel diperlukan oleh Matlab agar dapat menjalankan fungsi algoritma dengan benar. Variabel-variabel yang perlu untuk didefinisikan secara manual dengan mengambil data yang berasal dari input data ke dalam Matlab adalah: variabel A (tipe-tipe panjang tulangan), b (jumlah tulangan), dan panjang tulangan awal (*stock length*).

Looping system digunakan untuk menganalisis generasi-generasi pola pemotongan yang dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Proses ini dapat terjadi jika penulisan koding telah dibentuk. *Looping* akan selalu menganalisis generasi pola pemotongan tulangan yang ada hingga setiap nilai kebutuhan tulangan terpenuhi.

```

if exitflag <= 0
    disp('Error in column generation phase')
else
    [values,barsUsed,exitflag] = intlinprog(f,1:length(lb),A,b,[],[],lb,[],[],ipopts);
    if exitflag > 0
        values = round(values);
        barsUsed = round(barsUsed);
        fprintf('Solusi optimal menggunakan %g bars\n', barsUsed);
        totalwaste = sum((patterns*values - quantity).lengthlist);
        for j = 1:size(values)
            if values(j) > 0
                fprintf('Memotong %g bar dengan pola\n',values(j));
                for w = 1:size(patterns,1)
                    if patterns(w,j) > 0
                        fprintf('    %d potongan dengan panjang %d\n', patterns(w,j),lengthlist(w));
                    end
                end
                wastej = barLength - dot(patterns(:,j),lengthlist);
                totalwaste = totalwaste + wastej;
                sisapotongan = wastej * values(j);
                fprintf('    Sisa potongan dengan pola ini %g\n', wastej);
                fprintf('    Total sisa dengan pola ini %g\n', sisapotongan);
            end
        end
    else
        disp('Error dalam optimasi')
    end
end

```

Gambar 4.16 Coding Looping System

Dengan menggunakan penulisan koding dan algoritma yang dibentuk, diperoleh hasil optimasi untuk tulangan berdiameter 16mm, menggunakan bar 12000mm sebanyak 450 batang dengan total panjang 5400000 mm menghasilkan sisa sepanjang 8000mm, sehingga persentase sisa terhadap total panjang sebesar 0.15%.

Penulisan koding dan laporan hasil optimasi menggunakan Matlab dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.4.2 Pola Pemotongan Sederhana

Pada umumnya, pembentukan pola penulangan untuk BBS dilakukan secara manual dan tidak teroptimasi. Dalam tugas akhir ini, pembentukan pola penulangan tersebut disebut dengan pola pemotongan sederhana.

Pembentukan pola pemotongan sederhana dilakukan secara manual dengan mempertimbangkan sisa pemotongan sedemikian sehingga menjadi lebih kecil dari panjang potongan terkecil yang dibutuhkan. Langkah ini dilakukan sehingga dapat menjadi pembanding hasil dari BBS yang teroptimasi menggunakan Matlab.

Pola pemotongan ini dibentuk secara manual dalam Excel dengan mempertimbangkan sisa yang dihasilkan oleh tiap pola sedemikian hingga lebih kecil dari panjang tulangan terkecil yang dibutuhkan.

Pola pemotongan sederhana dibentuk dengan memperhatikan kebutuhan tulangan yang ada. Jika sisa tulangan pada pola pemotongan tersebut dirasa terlalu besar, maka dapat dimasukkan tipe tulangan lain hingga sisa tulangan yang dihasilkan dirasa sudah cukup kecil. Nilai sisa tulangan yang direncanakan sedemikian hingga setiap pola menghasilkan sisa di bawah 1000 mm.

Pembentukan pola pemotongan sederhana dan pola pemotongan teroptimasi menggunakan rekap data pengelompokan tulangan diameter 16mm (Tabel 4.8). Pembandingan antara hasil optimasi dan hasil pemotongan sederhana ini dilakukan dengan membandingkan persentase hasil waste (sisa) yang dihasilkan, sehingga akan memperlihatkan keuntungan penggunaan optimasi.

Bentuk pola pemotongan sederhana yang digunakan sebagai pembanding dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Pola Pemotongan Sederhana Tulangan D16

| Tulangan D16 | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X17 | X18 | X19 | X20 | X21 | X22 | X23 | X24 | X25 | X26 | X27 | X28 | X29 | X30 | |
|--------------------------------|----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----|-------|-----|-------|-------|---|
| Panjang (tulangan) (mm) Jumlah | 77 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total | 0 | 250 | 500 | 750 | 0 | 0 | 500 | 0 | 0 | 0 | 500 | 750 | 250 | 0 | 750 | 0 | 250 | 0 | 500 | 2000 | 2000 | 2000 | 750 | 0 | 5500 | 0 | 12000 | 0 | 12000 | 12000 | 0 |
| total pada | 77 | 20 | 4 | 8 | 16 | 2 | 43 | 32 | 16 | 4 | 4 | 12 | 12 | 8 | 20 | 4 | 26 | 41 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 1 | 3 | 0 | 10 | 8 | 9 | 0 |

Melalui pola pemotongan sederhana pada Tabel 4.10 untuk tulangan diameter 16mm, diperoleh jumlah total bar 12000mm yang digunakan adalah sebanyak 464 batang dengan panjang total 5568000mm dan nilai sisa keseluruhan sebesar 124250mm, sehingga memberikan persentase sisa dari pola pemotongan sederhana terhadap total panjang bar yang digunakan sebesar 2.16%.

Dengan membandingkan persentase sisa dari hasil pemotongan alternatif (2.16%) dengan hasil optimasi (0.15%) diperoleh bahwa hasil optimasi dapat memberikan *waste* hingga mencapai 14x lebih kecil dari hasil pola pemotongan sederhana.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penggunaan optimasi dengan linear programming akan menghasilkan pola pemotongan dengan sisa yang minimal. Hal ini dikarenakan bekerjanya fungsi optimasi dengan melakukan *looping* terhadap generasi pola pemotongan hingga tercapainya kebutuhan tulangan dengan menghasilkan sisa paling minimal dalam pola penulangan tersebut. Diperoleh bahwa hasil optimasi dapat memberikan *waste rate* hingga mencapai 14x lebih rendah dibandingkan tanpa optimasi

Adapun hasil optimasi untuk tiap-tiap jenis tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tulangan Diameter 10mm menggunakan 850 batang bar stock 12000mm, dengan sisa tulangan sebanyak 5750mm dan persentase sisa tulangan terhadap total tulangan yang digunakan sebesar 0.066%
2. Tulangan diameter 16mm menggunakan 450 batang bar stock 12000mm, dengan sisa tulangan sebanyak 8000mm dan persentase sisa tulangan terhadap total tulangan yang digunakan sebesar 0.15%.
3. Tulangan diameter 20mm menggunakan 486 batang bar stock 12000mm, dengan sisa tulangan sebanyak 432000mm dan persentase sisa tulangan

terhadap total tulangan yang digunakan sebesar 7%.

Dikarenakan denah yang digunakan pada proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 merupakan denah tipikal dan ketinggian per lantai pun sama, maka hasil optimasi di atas dapat digunakan untuk setiap lantai.

Adanya perbedaan yang signifikan pada hasil optimasi tulangan diameter 20mm dibandingkan dengan hasil optimasi ukuran diameter lain dikarenakan pada tulangan diameter 20mm hanya memiliki 3 jenis panjang tulangan (Tabel 4.9), yang berakibat pada kurangnya variasi pola pemotongan yang dapat menghasilkan sisa potongan yang minimal untuk tulangan berdiameter 20mm.

5.2 Saran

1. Hasil *waste rate* optimasi yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil *waste rate* dari pola pemotongan alternatif yang dibentuk secara manual untuk mendapatkan perbandingan hasil optimasi terhadap hasil pola pemotongan alternatif. Dalam tugas akhir ini, jumlah pola pemotongan (variabel X) pada pola pemotongan sederhana dibentuk sesuai dengan jumlah tipe panjang tulangan, sehingga membatasi jumlah pola pemotongan yang ditinjau. Dengan demikian disarankan untuk membentuk lebih banyak pola pemotongan sederhana sehingga dapat menjadi pembanding yang wajar terhadap hasil optimasi.

2. Sisa pemotongan pola sederhana yang digunakan dalam tugas akhir ini dibatasi hingga tidak lebih dari 1000mm untuk setiap pola pemotongan. Dengan demikian disarankan untuk membentuk batasan sisa pola pemotongan yang lebih kecil dari nilai 1000mm tersebut, agar memberikan hasil yang lebih akurat.
3. Penelitian ini hanya menunjukkan bagaimana program linear dapat dijadikan proses untuk mengoptimasi. Diharapkan kedepannya dapat dilakukan penelitian lanjutan seperti pembentukan *interface* agar proses optimasi dapat menjadi lebih mudah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, S., May 2011. Building Information Modeling (BIM) Benefits, Risks, and Challenges for AEC Industries, hal. 241–252.
- Haessler, R. W. & Sweeney, P. E., Sep 1991. Cutting Stock Problems and Solution Procedures
- Hall, J. R., Sep 2013. High – Rise Building Fires.
- John, A. O., & Itodo, D. E. Jan 2013. Professionals’ Views of Material Wastage on Construction Sites and Cost Overruns, 747–757.
- Katz, Amnom & Baum, Hadassa, Feb 2011. A Novel Methodology To Estimate The Evolution of Construction Waste In Construction Site
- Lin, W., Mu, D., & Wu, J., Sep 2016. Study on One-Dimensional Wood Board Cutting Stock Problem Based on Adaptive Genetic Algorithm
- Nath, T., Attarzadeh, M., Tiong, R. L. K., Chidambaram, C., & Yu, Z. Mar 2015. Automation in Construction Productivity Improvement of Precast Shop Drawings Generation Through BIM-based Process Re-Engineering. **Automation in Construction**, hal. 54–68.
- Schulze, M. A., Jan 2014. Linear Programming for Optimization
- Sezer, Z., Apr 2018. Algorithms For the One-Dimensional Two-Stage Cutting Stock Problem
- Taylor, W. Bernard. 2002. **Introduction to Management Science**. New Jersey: Pearson Eduation.Inc

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SOHO

Ciputra World Ph.3

| Lantai | Elevasi FFL | FTF |
|--------|----------------|-------|
| Crown | + 183.000 | |
| 25 | Roof + 179.000 | 6.000 |
| 24 | 33 + 172.700 | 6.300 |
| 23 | 32 + 166.900 | 5.800 |
| 22 | 31 + 161.100 | 5.800 |
| 21 | 30 + 155.300 | 5.800 |
| 20 | 29 + 149.500 | 5.800 |
| 19 | 28 + 143.700 | 5.800 |
| 18 | 27 + 137.900 | 5.800 |
| 17 | 26 + 132.100 | 5.800 |
| 16 | 25 + 126.300 | 5.800 |
| 15 | 23 + 120.500 | 5.800 |
| 14 | 22 + 114.700 | 5.800 |
| 13 | 21 + 108.900 | 5.800 |
| 12 | 20 + 103.100 | 5.800 |
| 11 | 19 + 97.300 | 5.800 |
| 10 | 18 + 91.500 | 5.800 |
| 9 | 17 + 85.700 | 5.800 |
| 8 | 16 + 79.900 | 5.800 |
| 7 | 15 + 74.100 | 5.800 |
| 6 | 12 + 68.300 | 5.800 |
| 5 | 11 + 62.500 | 5.800 |
| 4 | 10 + 56.700 | 5.800 |
| 3 | 9 + 50.900 | 5.800 |
| 2 | 8 + 45.100 | 5.800 |
| 1 | 7a + 39.300 | 5.800 |
| 7 | 7 + 34.300 | 5.000 |
| 6 | 6 + 28.800 | 5.500 |
| 5 | 5 + 23.800 | 5.000 |
| 4 | 3 + 16.800 | 7.000 |
| 3 | 2 + 10.800 | 6.000 |
| 2 | 1 + 6.000 | 4.800 |
| 1 | GF ± 0.000 | 6.000 |
| | B1 - 3.950 | 3.950 |
| | B2 - 7.000 | 3.050 |
| | B3 - 10.950 | 3.950 |

VERTU

Ciputra World Ph.3

| Lantai | Elevasi FFL | FTF |
|--------|----------------|-------|
| 26 | + 91.500 | 3.480 |
| 25 | 88.020 | 3.480 |
| 23 | + 84.540 | 3.480 |
| 22 | 81.060 | 3.480 |
| 21 | + 77.580 | 3.480 |
| 20 | + 74.100 | 3.480 |
| 19 | 70.620 | 3.480 |
| 18 | + 67.140 | 3.480 |
| 17 | 63.660 | 3.480 |
| 16 | + 60.180 | 3.480 |
| 15 | + 56.700 | 3.480 |
| 12 | + 53.220 | 3.480 |
| 11 | + 49.740 | 3.480 |
| 10 | + 46.260 | 3.480 |
| 9 | + 42.780 | 3.480 |
| 8 | + 39.300 | 3.480 |
| 7 | 7 + 34.300 | 5.000 |
| 6 | 6 + 28.800 | 5.500 |
| 5 | 5 + 23.800 | 5.000 |
| 4 | 3 + 16.800 | 7.000 |
| 3 | 2 + 10.800 | 6.000 |
| 2 | 1 + 6.000 | 4.800 |
| 1 | GF ± 0.000 | 6.000 |
| | B1 - 3.950 | 3.950 |
| | B2 - 7.000 | 3.050 |
| | B3 - 10.950 | 3.950 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tekla Structure

Perancangan model struktur menggunakan Tekla Structure dimulai dengan membentuk *grid* dimana struktur akan dibangun. *Grid* adalah bantuan pemodelan yang menunjukkan bidang model secara horizontal dan vertical. Fungsi dari *grid* adalah untuk memberikan koordinat dari objek dalam model. *Grid* terbentuk atas garis putus-putus disertai titik.

Saat membuka file baru melalui Tekla Structure, *user* (pengguna) akan diberikan *default grid* (grid standar) yang dibentuk secara otomatis oleh Tekla Structure. Dengan mengubah *properties* (pengaturan) grid, maka dimungkinkan untuk membentuk grid yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pengguna juga dimungkinkan untuk membentuk beberapa grid yang berbeda di dalam satu file model yang sama dengan tujuan yang dapat disesuaikan, misal grid skala besar untuk keseluruhan model dan grid skala kecil untuk bagian yang memerlukan detail. Untuk membentuk grid yang diinginkan dapat dilakukan langkah-langkah:

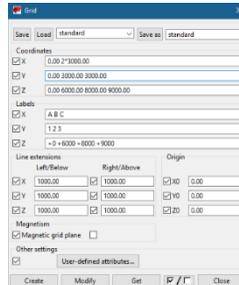
1. Pada tab Edit, klik Grid

Gambar. Opsi Grid



2. Pilih titik yang ingin dijadikan koordinat awal grid. Koordinat tersebut akan menjadi X0, Y0, dan Z0 pada pengaturan grid. Jika pengguna tidak memilih titik, maka Tekla Structure akan memilih koordinat awal grid secara otomatis.

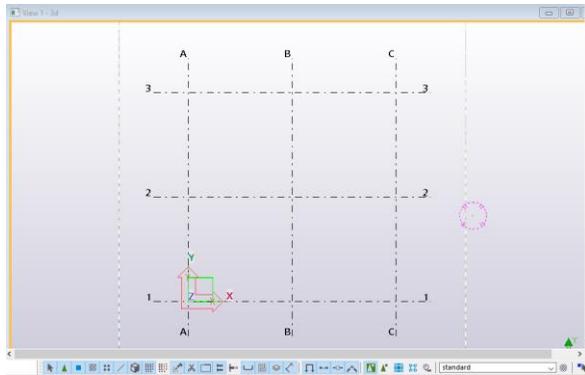
- Masukkan nilai-nilai untuk menjadi koordinat yang dibutuhkan dalam setiap bidang. Nilai koordinat dapat dimasukkan secara manual dan dapat pula dibentuk secara bersamaan untuk nilai-nilai jarak yang sama.



Gambar Pengaturan Grid

Nilai $X = 0$ 2×3000 dan $Y = 0$ 3000 3000 masing-masing akan membentuk garis grid dengan jarak 3000 dengan nilai 0 sebagai koordinat awal.

- Masukkan nilai-nilai yang diinginkan untuk bidang Z.
- Masukkan Label yang dibutuhkan untuk masing-masing bidang X, Y, dan Z. Label akan menjadi nama dari tiap garis grid.
- Ubah pengaturan grid lain jika diperlukan.
- Centang *magnetic grid plane* jika pengguna ingin agar objek dan grid dapat dipindahkan secara bersamaan saat grid dipindahkan/digerakkan.
- Klik tombol *create* untuk membentuk grid dalam model.



Gambar Hasil Grid

Kolom

Dengan telah dibentuknya grid, maka pengguna dapat membentuk struktur di atas grid yang ada. Struktur yang akan dibentuk pertama adalah struktur kolom. Karena proyek SOHO Ciputra World Surabaya fase 3 menggunakan struktur beton bertulang, maka yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah struktur *concrete column* (kolom beton). Untuk memuat kolom pada model, dapat dilakukan langkah-langkah:

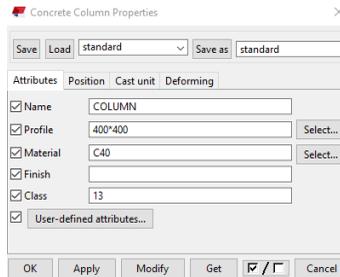
1. Pada tab Concrete, klik tombol Column



Gambar Opsi Kolom

2. Pilih titik pada grid. Tekla Structure akan membentuk kolom pada titik yang dipilih oleh pengguna.

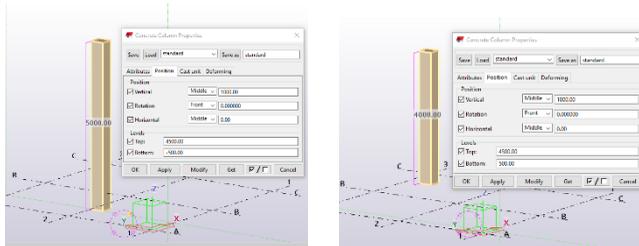
- Untuk mengubah *properties* (pengaturan) kolom, klik dua kali pada kolom yang dipilih



Gambar. Pengaturan Kolom

- Pada Tab *Attributes*, merubah *Profile* akan merubah ukuran dari kolom
- Merubah *Name* akan merubah tampilan nama untuk kolom tersebut
- Pada Tab *Position*, memasukkan nilai pada opsi *Vertical* akan memberikan jarak ke arah Y antara posisi berdiri kolom dengan koordinat titik yang dipilih pada grid (poin 2), memasukkan nilai pada kolom *Horizontal* akan memberikan jarak ke arah X, dan memasukkan nilai pada *Rotation* akan memutar kolom sesuai dengan orientasi dan nilai yang dimasukkan.
- Merubah nilai pada opsi *Levels* akan merubah tinggi kolom. Nilai yang dimasukkan pada opsi *Top* akan merubah tinggi kolom ke arah atas Z (Z positif).

8. Nilai yang dimasukkan pada opsi *Bottom*, jika bernilai positif (+), akan memotong tinggi kolom ke arah atas Z dari titik Z0 hingga nilai yang dimasukkan. Memasukkan nilai negative (-) pada opsi *Bottom* akan menambah tinggi kolom sesuai nilai, ke arah bawah Z (Z negatif).



Gambar Properties Kolom

- (a) Memasukkan nilai + pada opsi *Bottom*
 (b) Memasukkan nilai – pada opsi *Bottom*

9. Lakukan perubahan pada opsi pengaturan yang lain jika diperlukan
 10. Simpan pengaturan (*save as*) dengan nama yang berbeda. Ini akan memudahkan pengguna untuk memuat (*load*) pengaturan kolom tersebut jika ingin digunakan kemudian.
 11. Klik *Modify* untuk melakukan perubahan pada kolom.
 12. Klik *Ok* untuk menyelesaikan perubahan.

Pembentukan model kolom dilakukan sejumlah bentuk kolom yang berbeda dalam perencanaan struktur.

Balok

Struktur balok dibentuk pada struktur kolom yang telah didirikan. Dalam Tekla Structure, balok tidak bisa dibentuk dalam *work plane* (bidang kerja) jika tidak dimulai pada suatu

titik (*point*) yang telah ada terlebih dahulu, oleh karena itu tidak memungkinkan untuk hanya membentuk struktur balok. Balok beton pada Tekla Structure dapat dalam beberapa langkah:

1. Pada Tab Concrete, klik Beam



Gambar. Opsi Beam

2. Pilih dua titik pada bidang kerja. Balok akan terbentuk diantara dua titik yang dipilih oleh pengguna
3. Untuk mengubah *properties* (pengaturan) balok, klik dua kali pada balok untuk mengeluarkan opsi pengaturan balok.
4. Pada Tab *Attributes*, merubah *Profile* akan merubah ukuran balok sesuai dengan nilai yang dimasukkan
5. Merubah *Name* akan merubah tampilan nama untuk balok tersebut
6. Pada Tab *Position*, memasukkan nilai pada opsi *On Plane* akan memberikan jarak ke arah bidang Y antara posisi bangun balok dengan koordinat titik yang dipilih pada bidang kerja (poin 2), memasukkan nilai pada opsi *Rotation* akan memberikan rotasi pada struktur balok yang akan dibentuk, dan memasukkan nilai pada *At Depth* akan memberikan jarak ke arah bidang Z dari titik yang dipilih sesuai dengan nilai yang dimasukkan

The image displays two screenshots of the 'Concrete Beam Properties' dialog box, showing different tabs and settings.

Left Screenshot (Attributes Tab):

- Save: standard
- Load: standard
- Save as: standard
- Attributes: Name (BEAM), Profile (600*230), Material (C40), Finish (0), Class (6). All are checked.
- User-defined attributes... (checked)
- Buttons: OK, Apply, Modify, Get, Γ/Γ , Cancel

Right Screenshot (Position and End Offset Tabs):

- Save: coba1
- Load: coba1
- Save as: coba1
- Attributes: Position (On plane: Middle, 0.00; Rotation: Top, -0.000000; At depth: Behind, 0.00). All are checked.
- End Offset: Start (Dx: 0.00, Dy: 0.00, Dz: 0.00) and End (Dx: 0.00, Dy: 0.00, Dz: 0.00). All are checked.
- Curved beam: Radius (XY plane, 0.00). Checked.
- Number of segments: 10
- Buttons: OK, Apply, Modify, Get, Γ/Γ , Cancel

Gambar. *Properties* Balok

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

| | | Tabel 3.1 | CB1 - 1 | | |
|----------------------|---------|-----------|---------|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 22 | 1630 | 99 |
| 20008 | BJTD-50 | 10 | 2 | 5950 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 3 | 1900 | 0 |
| 20007 | BJTD-50 | 16 | 10 | 5950 | 0 |

| | | Tabel 3.2 CB44-1 | | | |
|--|---------|------------------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 9 | 1630 | 99 |
| 20033 | BJTD-50 | 10 | 2 | 4800 | 0 |
| 20029 | BJTD-50 | 16 | 3 | 4930 | 21 |
| 20030 | BJTD-50 | 16 | 3 | 4850 | 99 |
| 20031 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1350 | 11 |
| 20032 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1130 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| | | Tabel 3.3 CB47-1 | | | |
|--|---------|------------------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1630 | 99 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 8 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 4 | 1700 | 0 |
| 20050 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.4 CB50-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10130 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1430 | 99 |
| 20070 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20002 | BJTD-50 | 16 | 7 | 6170 | 99 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1900 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1700 | 0 |
| 20063 | BJTD-50 | 16 | 5 | 1910 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.5 CB58 -1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 54 | 1630 | 99 |
| 20041 | BJTD-50 | 10 | 2 | 11990 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11990 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11820 | 11 |
| 20035 | BJTD-50 | 16 | 2 | 2160 | 11 |
| 20036 | BJTD-50 | 16 | 1 | 3900 | 0 |
| 20037 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1950 | 0 |
| 20038 | BJTD-50 | 16 | 3 | 1710 | 11 |
| 20040 | BJTD-50 | 16 | 3 | 2140 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.6 CB62-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 46 | 1630 | 99 |
| 20044 | BJTD-50 | 10 | 2 | 11890 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1900 | 0 |
| 20035 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2160 | 11 |
| 20036 | BJTD-50 | 16 | 1 | 3900 | 0 |
| 20037 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1950 | 0 |
| 20041 | BJTD-50 | 16 | 6 | 11890 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.7 CB68-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 58 | 1630 | 99 |
| 20068 | BJTD-50 | 10 | 2 | 11990 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 4 | 11990 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 6 | 11820 | 11 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1700 | 0 |
| 20063 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1910 | 11 |
| 20064 | BJTD-50 | 16 | 1 | 600 | 0 |
| 20065 | BJTD-50 | 16 | 6 | 7510 | 11 |
| 20067 | BJTD-50 | 16 | 4 | 7940 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.8 CB69-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20064 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1900 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1700 | 0 |
| 20062 | BJTD-50 | 16 | 6 | 6430 | 21 |
| 20063 | BJTD-50 | 16 | 3 | 1910 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.9 CB70-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20064 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 3 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1700 | 0 |
| 20062 | BJTD-50 | 16 | 3 | 6430 | 21 |
| 20063 | BJTD-50 | 16 | 4 | 1910 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

Tabel 3.10 CB71-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20053 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 4 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 4 | 1700 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.11 CB72-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 4 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1700 | 0 |
| 20053 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.12 CB73-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20053 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 4 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1700 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

| Tabel 3.13 CB74-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20053 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 3 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 4 | 6000 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1700 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.13 CB75-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10132 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1230 | 99 |
| 20064 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1900 | 0 |
| 20008 | BJTD-50 | 16 | 4 | 6000 | 0 |
| 20063 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1910 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.15 CB78-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10131 | BJTD-50 | 10 | 31 | 2030 | 99 |
| 20058 | BJTD-50 | 10 | 2 | 8450 | 0 |
| 20055 | BJTD-50 | 16 | 8 | 8580 | 11 |
| 20056 | BJTD-50 | 16 | 8 | 2670 | 0 |
| 20057 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2890 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

Tabel 3.16 CB79-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10131 | BJTD-50 | 10 | 33 | 2030 | 99 |
| 20083 | BJTD-50 | 10 | 2 | 8450 | 0 |
| 20055 | BJTD-50 | 16 | 8 | 8580 | 11 |
| 20056 | BJTD-50 | 16 | 2 | 2670 | 0 |
| 20081 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2470 | 0 |
| 20082 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2640 | 11 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.17 CB81-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 9 | 1630 | 99 |
| 20139 | BJTD-50 | 10 | 2 | 4500 | 0 |
| 20031 | BJTD-50 | 16 | 3 | 1350 | 11 |
| 20032 | BJTD-50 | 16 | 4 | 1130 | 0 |
| 20137 | BJTD-50 | 16 | 3 | 4710 | 11 |
| 20138 | BJTD-50 | 16 | 3 | 4670 | 99 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

| Tabel 3.18 CB82-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10130 | BJTD-50 | 10 | 161 | 1430 | 99 |
| 20075 | BJTD-50 | 10 | 2 | 11770 | 0 |
| 20076 | BJTD-50 | 10 | 2 | 5820 | 0 |
| 20004 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2110 | 11 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 5 | 1900 | 0 |
| 20009 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11770 | 0 |
| 20010 | BJTD-50 | 16 | 11 | 12000 | 0 |
| 20011 | BJTD-50 | 16 | 3 | 6740 | 11 |
| 20012 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6520 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11990 | 11 |
| 20014 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11700 | 0 |
| 20015 | BJTD-50 | 16 | 2 | 6610 | 11 |
| 20016 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6390 | 0 |
| 20018 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11600 | 0 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11820 | 11 |
| 20037 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1950 | 0 |
| 20072 | BJTD-50 | 16 | 9 | 3600 | 0 |
| 20073 | BJTD-50 | 16 | 6 | 3650 | 0 |
| 20074 | BJTD-50 | 16 | 3 | 3700 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.19 CB83-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 51 | 1630 | 99 |
| 20143 | BJTD-50 | 10 | 2 | 11770 | 0 |
| 20144 | BJTD-50 | 10 | 2 | 3230 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11990 | 11 |
| 20019 | BJTD-50 | 16 | 8 | 2550 | 11 |
| 20021 | BJTD-50 | 16 | 2 | 2330 | 0 |
| 20023 | BJTD-50 | 16 | 4 | 8610 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 4 | 11820 | 11 |
| 20026 | BJTD-50 | 16 | 3 | 9040 | 11 |
| 20141 | BJTD-50 | 16 | 8 | 3660 | 0 |
| 20142 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1330 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

Tabel 3.20 CB84-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|-------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 62 | 1630 | 99 |
| 20010 | BJTD-50 | 16 | 1 | 12000 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 2 | 12000 | 11 |
| 20017 | BJTD-50 | 16 | 2 | 12000 | 11 |
| 20019 | BJTD-50 | 16 | 4 | 2550 | 11 |
| 20021 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2330 | 0 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11820 | 11 |
| 20043 | BJTD-50 | 16 | 4 | 3400 | 11 |
| 20045 | BJTD-50 | 16 | 1 | 3180 | 0 |
| 20046 | BJTD-50 | 16 | 2 | 10910 | 11 |
| 20047 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11210 | 11 |
| 20048 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11340 | 11 |
| 20049 | BJTD-50 | 16 | 1 | 5640 | 11 |
| 20050 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6290 | 11 |
| 20141 | BJTD-50 | 16 | 4 | 3660 | 0 |
| 20142 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1330 | 0 |
| 20143 | BJTD-50 | 16 | 4 | 4510 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.21 CB85-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|-------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10130 | BJTD-50 | 10 | 161 | 1430 | 99 |
| 20075 | BJTD-50 | 10 | 2 | 12000 | 0 |
| 20076 | BJTD-50 | 10 | 2 | 3600 | 0 |
| 20004 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2110 | 11 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 5 | 1900 | 0 |
| 20009 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11770 | 0 |
| 20010 | BJTD-50 | 16 | 7 | 12000 | 0 |
| 20011 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6740 | 11 |
| 20012 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6520 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11990 | 11 |
| 20014 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11700 | 0 |
| 20015 | BJTD-50 | 16 | 2 | 6610 | 11 |
| 20016 | BJTD-50 | 16 | 1 | 6390 | 0 |
| 20018 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11600 | 0 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11820 | 11 |
| 20037 | BJTD-50 | 16 | 2 | 1950 | 0 |
| 20072 | BJTD-50 | 16 | 9 | 3600 | 0 |
| 20073 | BJTD-50 | 16 | 6 | 3650 | 0 |
| 20074 | BJTD-50 | 16 | 3 | 3700 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.22 CB87-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10130 | BJTD-50 | 10 | 33 | 1430 | 99 |
| 20140 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20056 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2670 | 0 |
| 20060 | BJTD-50 | 16 | 8 | 2690 | 11 |
| 20139 | BJTD-50 | 16 | 7 | 8750 | 21 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.22 CB88-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10130 | BJTD-50 | 10 | 33 | 1430 | 99 |
| 20140 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20056 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2670 | 0 |
| 20060 | BJTD-50 | 16 | 8 | 2690 | 11 |
| 20139 | BJTD-50 | 16 | 7 | 8750 | 21 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.24 CB89-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|-------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 51 | 1630 | 99 |
| 20143 | BJTD-50 | 10 | 2 | 12000 | 0 |
| 20009 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11770 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 1 | 11990 | 11 |
| 20019 | BJTD-50 | 16 | 3 | 2550 | 11 |
| 20021 | BJTD-50 | 16 | 5 | 2330 | 0 |
| 20023 | BJTD-50 | 16 | 3 | 8610 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11820 | 11 |
| 20026 | BJTD-50 | 16 | 1 | 9040 | 11 |
| 20028 | BJTD-50 | 16 | 1 | 8820 | 0 |
| 20141 | BJTD-50 | 16 | 6 | 3660 | 0 |
| 20142 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1330 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

| Tabel 3.25 CB90-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 51 | 1630 | 99 |
| 20143 | BJTD-50 | 10 | 2 | 12000 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11990 | 11 |
| 20019 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2550 | 11 |
| 20021 | BJTD-50 | 16 | 2 | 2330 | 0 |
| 20023 | BJTD-50 | 16 | 3 | 8610 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11820 | 11 |
| 20026 | BJTD-50 | 16 | 2 | 9040 | 11 |
| 20141 | BJTD-50 | 16 | 6 | 3660 | 0 |
| 20142 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1330 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.26 CB91-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|-------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10129 | BJTD-50 | 10 | 51 | 1630 | 99 |
| 20143 | BJTD-50 | 10 | 2 | 12000 | 0 |
| 20013 | BJTD-50 | 16 | 2 | 11990 | 11 |
| 20019 | BJTD-50 | 16 | 6 | 2550 | 11 |
| 20021 | BJTD-50 | 16 | 2 | 2330 | 0 |
| 20023 | BJTD-50 | 16 | 3 | 8610 | 11 |
| 20025 | BJTD-50 | 16 | 3 | 11820 | 11 |
| 20026 | BJTD-50 | 16 | 2 | 9040 | 11 |
| 20141 | BJTD-50 | 16 | 6 | 3660 | 0 |
| 20142 | BJTD-50 | 16 | 1 | 1330 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

Tabel 3.27 CB92-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10148 | BJTD-50 | 10 | 23 | 1830 | 99 |
| 20150 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20006 | BJTD-50 | 16 | 4 | 1900 | 0 |
| 20042 | BJTD-50 | 16 | 6 | 1700 | 0 |
| 20147 | BJTD-50 | 16 | 6 | 6050 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.28 CB93-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10133 | BJTD-50 | 10 | 33 | 1930 | 99 |
| 20141 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6620 | 0 |
| 20056 | BJTD-50 | 16 | 3 | 2670 | 0 |
| 20060 | BJTD-50 | 16 | 4 | 2690 | 11 |
| 20140 | BJTD-50 | 16 | 8 | 8110 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

Tabel 3.29 CB94-1

| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
|----------------------|---------|------|-----|------|------------|
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10133 | BJTD-50 | 10 | 31 | 1930 | 99 |
| 20080 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20060 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2690 | 11 |
| 20077 | BJTD-50 | 16 | 8 | 8430 | 11 |
| 20078 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2570 | 0 |
| 20079 | BJTD-50 | 16 | 1 | 2820 | 0 |

Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad)

Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai

| Tabel 3.30 CB95-1 | | | | | |
|--|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 10133 | BJTD-50 | 10 | 33 | 1930 | 99 |
| 20147 | BJTD-50 | 10 | 2 | 6000 | 0 |
| 20056 | BJTD-50 | 20 | 1 | 2670 | 0 |
| 20144 | BJTD-50 | 20 | 8 | 8280 | 11 |
| 20145 | BJTD-50 | 20 | 1 | 2420 | 0 |
| 20146 | BJTD-50 | 20 | 1 | 2540 | 11 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Denah balok tipikal untuk setiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.31 C7 | | | | | |
|---|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 19 | BJTD-50 | 10 | 27 | 4020 | 99 |
| 20 | BJTD-50 | 10 | 12 | 1850 | 51 |
| 21 | BJTD-50 | 10 | 12 | 690 | 99 |
| 24 | BJTD-50 | 20 | 26 | 6940 | 99 |
| 25 | BJTD-50 | 20 | 2 | 6800 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Penulangan kolom tipikal untuk tiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.32 C9 | | | | | |
|---|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 19 | BJTD-50 | 10 | 27 | 4020 | 99 |
| 20 | BJTD-50 | 10 | 12 | 1850 | 51 |
| 21 | BJTD-50 | 10 | 12 | 690 | 99 |
| 26 | BJTD-50 | 20 | 28 | 6200 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Penulangan kolom tipikal untuk tiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.33 C12 | | | | | |
|---|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 17 | BJTD-50 | 10 | 27 | 3420 | 99 |
| 18 | BJTD-50 | 10 | 24 | 1280 | 51 |
| 24 | BJTD-50 | 20 | 22 | 6940 | 99 |
| 25 | BJTD-50 | 20 | 2 | 6800 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Penulangan kolom tipikal untuk tiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.34 C15 | | | | | |
|---|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 12 | BJTD-50 | 10 | 12 | 590 | 99 |
| 15 | BJTD-50 | 10 | 27 | 3820 | 99 |
| 16 | BJTD-50 | 10 | 24 | 1420 | 51 |
| 24 | BJTD-50 | 20 | 26 | 6940 | 99 |
| 25 | BJTD-50 | 20 | 2 | 6800 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Penulangan kolom tipikal untuk tiap lantai | | | | | |

| Tabel 3.35 C18 | | | | | |
|---|---------|------|-----|------|------------|
| BAR BENDING SCHEDULE | | | | | |
| Bar Mark | Type | Size | Nos | L | Shape Code |
| 13 | BJTD-50 | 10 | 27 | 4220 | 99 |
| 14 | BJTD-50 | 10 | 24 | 1590 | 51 |
| 24 | BJTD-50 | 20 | 22 | 6940 | 99 |
| 25 | BJTD-50 | 20 | 2 | 6800 | 0 |
| Sumber : Diolah penulis (hasil BIM Tekla/ AutoCad) | | | | | |
| Keterangan : Penulangan kolom tipikal untuk tiap lantai | | | | | |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 4. Pola Pemotongan Tulangan D10

| Tulangan D10 | | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X17 | X18 | X19 | X20 | X21 | X22 | X23 | X24 | X25 | X26 | X27 | |
|-----------------------|--------|----|-----|-----|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| Panjang tulangan (mm) | Jumlah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12000 | 20 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8500 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6750 | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | 30 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5000 | 110 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4500 | 4 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4250 | 513 | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 4000 | 54 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3750 | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | |
| 3500 | 486 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| 3250 | 2 | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | |
| 2250 | 64 | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
| 2000 | 281 | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
| 1750 | 655 | | | | | 4 | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | 4 | 1 | | | | 2 | | | |
| 1500 | 891 | | | | 4 | | | 1 | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 1250 | 161 | | | 4 | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | 6 | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 750 | 252 | | 4 | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | 10 | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| | sis | 0 | 500 | 250 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0 | 0 | 250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250 | 250 | 250 | 0 | 0 | 250 | 0 | 0 | 250 | 0 | 0 | 0 | 0 |

LAMPIRAN 5

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TULANGAN DIAMETER 10mm

```

filename = 'tulangan gabungan 3.xlsx';
sheet = 1;
xlRange{1} = 'f4:ef33';
xlRange{2} = 'f41:ef171'; %xlrange 1 dan 2
    untuk A
xlRange{3} = 'e4:e33';
xlRange{4} = 'e41:e171'; %xlrange 3 dan 4 untuk
    B
xlRange{5} = 'f34:ef34'; %xlrange 5 untuk f

a = xlsread(filename,sheet,xlRange{1});
ab = -(xlsread (filename,sheet,xlRange{2}));

b = xlsread(filename,sheet,xlRange{3});
bb = xlsread(filename,sheet,xlRange{4});

A = [a; ab];
B = [b; bb];
f = -(xlsread(filename,sheet,xlRange{5}));

A(isnan(A))=0
B(isnan(B))=0
f(isnan(f))=0

if exitflag <= 0
    disp('Error in column generation phase')
else
    [values,barsUsed,exitflag] =
    intlinprog(f,1:length(lb),A,b,[],[],lb,[],[],ipo
    pts);
    if exitflag > 0
        values = round(values);
        barsUsed = round(barsUsed);

```

```

        fprintf('Solusi optimal menggunakan %g
bars\n', barsUsed);
        totalwaste = sum((patterns*values -
quantity).*lengthlist);
        for j = 1:size(values)
            if values(j) > 0
                fprintf('Memotong %g bar dengan
pola\n', values(j));
                for w = 1:size(patterns,1)
                    if patterns(w,j) > 0
                        fprintf('    %d potongan
dengan panjang %d\n',
patterns(w,j), lengthlist(w));
                    end
                end
                wastej = barLength -
dot(patterns(:,j), lengthlist);
                totalwaste = totalwaste +
wastej;
                sisapotongan = wastej *
values(j);
                fprintf('    Sisa potongan dengan
pola ini %g\n', wastej);
                fprintf('    Total sisa dengan pola
ini %g\n', sisapotongan);
            end
        end
    else
        disp('Error in final optimization')
    end
end
end

```

```

bismillah2
Solusi optimal menggunakan 850 bars
Memotong 80 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 12000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

```

Memotong 60 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 6000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 63 bar dengan pola
3 potongan dengan panjang 4000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 51 bar dengan pola
6 potongan dengan panjang 2000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 79 bar dengan pola
8 potongan dengan panjang 1500
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 7 bar dengan pola
16 potongan dengan panjang 750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 1 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 6750
1 potongan dengan panjang 4250
1 potongan dengan panjang 750
Sisa potongan dengan pola ini 250
Total sisa dengan pola ini 250

Memotong 6 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8500
1 potongan dengan panjang 3250
Sisa potongan dengan pola ini 250
Total sisa dengan pola ini 1500

Memotong 10 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8500
2 potongan dengan panjang 1750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 2 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 4250
1 potongan dengan panjang 3250
Sisa potongan dengan pola ini 250

Total sisa dengan pola ini 500
Memotong 281 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 4250
1 potongan dengan panjang 3500
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 8 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 4500
1 potongan dengan panjang 1750
1 potongan dengan panjang 1250
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 8 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 5000
2 potongan dengan panjang 2500
1 potongan dengan panjang 1250
1 potongan dengan panjang 750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 17 bar dengan pola
4 potongan dengan panjang 2500
1 potongan dengan panjang 1250
1 potongan dengan panjang 750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 7 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 6750
3 potongan dengan panjang 1750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 115 bar dengan pola
6 potongan dengan panjang 1750
1 potongan dengan panjang 1500
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 1 bar dengan pola
3 potongan dengan panjang 3500
2 potongan dengan panjang 750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 22 bar dengan pola

2 potongan dengan panjang 2250

6 potongan dengan panjang 1250

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 4 bar dengan pola

2 potongan dengan panjang 3750

2 potongan dengan panjang 2250

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 28 bar dengan pola

5 potongan dengan panjang 2250

1 potongan dengan panjang 750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

TULANGAN DIAMETER 16mm

```

filename = 'tulangan gabungan 3.xlsx';
sheet = 2;
xlRange{1} = 'f4:de20';
xlRange{2} = 'f41:de144'; %xlrange 1 dan 2
untuk A
xlRange{3} = 'e4:e20';
xlRange{4} = 'e41:e144'; %xlrange 3 dan 4 untuk
B
xlRange{5} = 'f21:de21'; %xlrange 5 untuk f

a = xlsread(filename,sheet,xlRange{1});
ab = -(xlsread (filename,sheet,xlRange{2}));

b = xlsread(filename,sheet,xlRange{3});
bb = xlsread(filename,sheet,xlRange{4});

A = [a; ab];
B = [b; bb];
f = -(xlsread(filename,sheet,xlRange{5}));

A(isnan(A))=0
B(isnan(B))=0
f(isnan(f))=0

if exitflag <= 0
    disp('Error in column generation phase')
else
    [values,barsUsed,exitflag] =
    intlinprog(f,1:length(lb),A,b,[],[],lb,[],[],ipo
pts);
    if exitflag > 0
        values = round(values);
        barsUsed = round(barsUsed);
        fprintf('Solusi optimal menggunakan %g
bars\n', barsUsed);

```

```

        totalwaste = sum((patterns*values -
quantity).*lengthlist);
        for j = 1:size(values)
            if values(j) > 0
                fprintf('Memotong %g bar dengan
pola\n',values(j));
                for w = 1:size(patterns,1)
                    if patterns(w,j) > 0
                        fprintf('    %d potongan
dengan panjang %d\n',
patterns(w,j),lengthlist(w));
                    end
                end
                wastej = barLength -
dot(patterns(:,j),lengthlist);
                totalwaste = totalwaste +
wastej;
                sisapotongan = wastej *
values(j);
                fprintf('    Sisa potongan dengan
pola ini %g\n', wastej);
                fprintf('    Total sisa dengan pola
ini %g\n', sisapotongan);
            end
        end
    else
        disp('Error in final optimization')
    end
end

```

bismillah!

Solusi optimal menggunakan 450 bars

Memotong 77 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 12000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 20 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 11750

Sisa potongan dengan pola ini 250

Total sisa dengan pola ini 5000
Memotong 4 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 11500
Sisa potongan dengan pola ini 500
Total sisa dengan pola ini 2000
Memotong 8 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 11250
Sisa potongan dengan pola ini 750
Total sisa dengan pola ini 6000
Memotong 62 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 6000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 1 bar dengan pola
3 potongan dengan panjang 4000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 1 bar dengan pola
5 potongan dengan panjang 2250
Sisa potongan dengan pola ini 750
Total sisa dengan pola ini 750
Memotong 8 bar dengan pola
6 potongan dengan panjang 2000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 2 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 6750
1 potongan dengan panjang 4750
Sisa potongan dengan pola ini 500
Total sisa dengan pola ini 1000
Memotong 24 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8500
2 potongan dengan panjang 1750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 8 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8500
1 potongan dengan panjang 3500
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 16 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 8250

1 potongan dengan panjang 3750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 26 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 6250

1 potongan dengan panjang 3750

1 potongan dengan panjang 2000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 28 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 8750

1 potongan dengan panjang 1750

1 potongan dengan panjang 1500

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 16 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 9250

1 potongan dengan panjang 2750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 24 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 6500

2 potongan dengan panjang 2750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 9 bar dengan pola

2 potongan dengan panjang 4750

1 potongan dengan panjang 2500

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 2 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 8750

1 potongan dengan panjang 3250

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 6 bar dengan pola

2 potongan dengan panjang 5000

1 potongan dengan panjang 2000

Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 1 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8000
1 potongan dengan panjang 4000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 5 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8000
1 potongan dengan panjang 3750
Sisa potongan dengan pola ini 250
Total sisa dengan pola ini 1250
Memotong 21 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 3750
3 potongan dengan panjang 2750
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 4 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 3750
2 potongan dengan panjang 2250
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 10 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 8750
1 potongan dengan panjang 2000
1 potongan dengan panjang 1250
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 20 bar dengan pola
2 potongan dengan panjang 3750
1 potongan dengan panjang 2500
1 potongan dengan panjang 2000
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0
Memotong 9 bar dengan pola
1 potongan dengan panjang 6750
1 potongan dengan panjang 3000
1 potongan dengan panjang 2250
Sisa potongan dengan pola ini 0
Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 9 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 6750

1 potongan dengan panjang 2750

1 potongan dengan panjang 2500

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 2 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 5750

1 potongan dengan panjang 2250

2 potongan dengan panjang 2000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 12 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 7750

1 potongan dengan panjang 2250

1 potongan dengan panjang 2000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 8 bar dengan pola

2 potongan dengan panjang 3750

1 potongan dengan panjang 2750

1 potongan dengan panjang 1750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 2 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 9000

1 potongan dengan panjang 3000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

Memotong 3 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 8750

1 potongan dengan panjang 3000

Sisa potongan dengan pola ini 250

Total sisa dengan pola ini 750

Memotong 2 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 8000

2 potongan dengan panjang 2000

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

TULANGAN DIAMETER 20mm

```

filename = 'tulangan gabungan 3.xlsx';
sheet = 3;
xlRange{1} = 'f4:h6';
xlRange{2} = 'f11:h13'; %xlrange 1 dan 2 untuk
A
xlRange{3} = 'e4:e6';
xlRange{4} = 'e11:e13'; %xlrange 3 dan 4 untuk B
xlRange{5} = 'f7:h7'; %xlrange 5 untuk f

a = xlsread(filename,sheet,xlRange{1});
ab = -(xlsread (filename,sheet,xlRange{2}));

b = xlsread(filename,sheet,xlRange{3});
bb = xlsread(filename,sheet,xlRange{4});

A = [a; ab];
B = [b; bb];
f = -(xlsread(filename,sheet,xlRange{5}));

A(isnan(A))=0
B(isnan(B))=0
f(isnan(f))=0

if exitflag <= 0
    disp('Error in column generation phase')
else
    [values,barsUsed,exitflag] =
    intlinprog(f,1:length(lb),A,b,[],[],lb,[],[],ipo
    pts);
    if exitflag > 0
        values = round(values);
        barsUsed = round(barsUsed);
        fprintf('Solusi optimal menggunakan %g
bars\n', barsUsed);

```

```

        totalwaste = sum((patterns*values -
quantity).*lengthlist);
        for j = 1:size(values)
            if values(j) > 0
                fprintf('Memotong %g bar dengan
pola\n',values(j));
                for w = 1:size(patterns,1)
                    if patterns(w,j) > 0
                        fprintf('    %d potongan
dengan panjang %d\n',
patterns(w,j),lengthlist(w));
                    end
                end
                wastej = barLength -
dot(patterns(:,j),lengthlist);
                totalwaste = totalwaste +
wastej;
                sisapotongan = wastej *
values(j);
                fprintf('    Sisa potongan dengan
pola ini %g\n', wastej);
                fprintf('    Total sisa dengan pola
ini %g\n', sisapotongan);
            end
        end
    else
        disp('Error in final optimization')
    end
end
end

```

Solusi optimal menggunakan 486 bars

Memotong 243 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 7000

Sisa potongan dengan pola ini 5000

Total sisa dengan pola ini 1.215e+05

Memotong 54 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 6250

Sisa potongan dengan pola ini 5750

Total sisa dengan pola ini 310500

Memotong 189 bar dengan pola

1 potongan dengan panjang 6250

1 potongan dengan panjang 5750

Sisa potongan dengan pola ini 0

Total sisa dengan pola ini 0

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada 28 Mei 1997, merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Sandhi Putra (Makassar), SDI Hartaco Indah (Makassar), SMP Negeri 6 (Makassar), SMA Negeri 2 Tinggimoncong (Gowa). Setelah lulus pendidikan SMA pada tahun 2015, penulis diterima menjadi mahasiswa S1 di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS dan terdaftar dengan NRP 03111540000132. Penulis pernah aktif dalam berbagai kepanitiaan, salah satunya yaitu sebagai *Paper Comitee Civil Expo 2017*. Penulis juga aktif dalam berbagai organisasi, salah satunya yaitu sebagai *Mid-Leader* Badan Akademik dan Prestasi – Lembaga Dakwah Kampus Jamaah Masjid Manarul Ilmi (LDK JMMI) ITS 2018. Selain itu penulis juga merupakan salah satu sukarelawan dalam kegiatan sosial Aksi Belajar Ceria (ABC). Apabila pembaca ingin berkomunikasi dengan penulis, dapat melalui email: hugo.ilham28@gmail.com.