

TUGAS AKHIR

**OPTIMASI KEBUTUHAN TULANGAN PADA BALOK
MENGUNAKAN PROGRAM LINIER METODE
SIMPLEX DAN *BUILDING INFORMATION
MODELING (BIM)*
(*OPTIMIZATION BEAM REINFORCEMENT USING
LINEAR PROGRAM SIMPLEX METHOD AND
BUILDING INFORMATION MODELING*)**

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



**Indra Permana
14511392**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

OPTIMASI KEBUTUHAN TULANGAN PADA BALOK MENGUNAKAN PROGRAM LINIER METODE *SIMPLEX* DAN *BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)* (*OPTIMIZATION BEAM REINFORCEMENT USING LINEAR PROGRAM SIMPLEX METHOD AND BUILDING INFORMATION MODELING*)

Disusun oleh :

Indra Permana
14511392

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

Diuji pada tanggal 7 September 2021
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Alhani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 955110102

Penguji I

Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 005110101

Penguji II

Adityawan Sigit, S.T., M.T.
NIK : 155110108

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 7 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Indra Permana

14511392

“Untuk Ibuk dan Bapak, saya persembahkan sebuah karya, wujud dari perjuangan. Terimakasih atas doa, motivasi, dan semua hal yang menjadi alasan untuk semua impian”

“Doa terbaik untuk ke dua orang tua”

اللَّهُمَّ اغْفِرْ لِي وَالْوَالِدَيَّْ وَارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentunya banyak hambatan dan rintangan yang dihadapi penulis. Namun berkat bantuan, kritik, saran, dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan sebaik – baiknya. Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

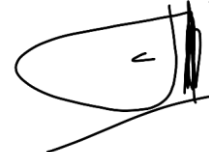
1. Allah SWT,
2. Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
3. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
4. Ir. Fitri Nugraheni, S.T.,M.T.,Ph.D dan Adityawan Sigit, S.T., M.T selaku dosen Penguji,
5. Pihak – pihak swakelola Pembangunan Proyek Gedung Fakultas Teknik UPY yang senantiasa memberi arahan dan bimbingan lapangan,
6. Segenap keluarga besar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Univesitas Islam Indonesia,
7. Segenap saudara seperjuangan, kakak-kakak senior, adik-adik, kawan-kawan yang telah menemani dan memberikan dukungan.

Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi penyusun dan bagi pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 7 September 2021

Penulis,



Indra Permana

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAKSI	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	6
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Material Konstruksi	9
3.2 Manajemen Material Konstruksi	10
3.2.1 Tahapan Manajemen Material	11
3.2.2 Peran Penting Pihak yang Terlibat	16
3.3 Sisa Material Konstruksi	19
3.3.1 Jenis Sisa Material Konstruksi	19
3.3.2 Penyebab Sisa Material Konstruksi	20

3.3.3	Produk Sisa Material Konstruksi	21
3.4	Pentingnya Perencanaan Optimasi Kebutuhan Tulangan	23
3.5	<i>Bar Bending Schedule</i> (BBS)	24
3.5.1	BBS Metode Konvensional	24
3.5.2	BBS Program Linier <i>Simplex</i>	26
3.6	Bestaat	29
3.6.1	Bestaat Konvensional	29
3.6.2	Bestaat <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	30
3.7	Penerapan Standar Peraturan	34
3.8	Standar Perencanaan dan Pelaksanaan Penulangan	35
3.8.1	Baja Tulangan Beton	35
3.8.2	Pembengkokkan dan Kait Tulangan	38
3.8.3	Sambungan Tulangan/Panjang Lewatan	42
3.8.4	Jenis Tulangan Beton	46
3.8.5	Pemasangan Tulangan	49
3.8.6	Standar Mutu Pekerjaan Penulangan	51
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		64
4.1	Umum	64
4.2	Metode Penelitian	64
4.3	Instrumen Penelitian	65
4.3.1	Jenis dan Sumber Data	65
4.3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	65
4.3.3	Langkah – Langkah Pengambilan Data	66
4.4	Metode Analisis Data	70
4.4.1	BBS Metode Konvensional	70
4.4.2	BBS Program Linier <i>Simplex</i> dan BIM	73
4.4.3	Bestaat Konvensional	81
4.4.4	Bestaat <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	84
4.5	Bagan Alir Penelitian	87
4.6	<i>Time Schedule</i> Penelitian	87
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		90
5.1	Umum	90

5.2	Deskripsi Proyek	90
5.3	Data Teknis Pekerjaan Balok	92
5.4	Analisis Kebutuhan Tulangan	95
5.4.1	BBS Konvensional	96
5.4.2	BBS Program Linier <i>Simplex</i> & BIM	119
5.4.3	Bestaat Konvensional	134
5.4.4	Bestaat BIM	137
5.5	Perbandingan BBS Konvensional dengan BBS <i>Simplex</i> & BIM	140
5.5.1	Tinjauan Waktu	141
5.5.2	Tinjauan Mutu	142
5.5.3	Tinjauan Biaya	144
5.6	Pembahasan	146
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		153
6.1	Umum	153
6.2	Kesimpulan	153
6.3	Saran	154
DAFTAR PUSTAKA		156
LAMPIRAN		159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 <i>Bar Bending Schedule</i> (BBS)	24
Gambar 3. 2 Dokumentasi BBS di Lapangan	25
Gambar 3. 3 BBS Konvensional	26
Gambar 3. 4 Bestaat Konvensional	30
Gambar 3. 5 Pihak yang Terkait dalam Penerapan BIM	32
Gambar 3. 6 Pemodelan 3D <i>Tekla Structures</i>	33
Gambar 3. 7 Logo <i>Tekla Structures</i>	34
Gambar 3. 8 Baja Tulangan Beton Sirip (BJTS)	37
Gambar 3. 9 Geometri Kait Standar untuk Perpanjangan Batang Sirip	38
Gambar 3. 10 Geometri Kait Standar untuk Perpanjangan Batang Polos	38
Gambar 3. 11 Syarat Kait dan Bengkokkan	41
Gambar 3. 12 Toleransi Pembengkokkan dan Kait Tulangan	42
Gambar 3. 13 Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan (l_{dc})	43
Gambar 3. 14 Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tarik (l_{dt})	44
Gambar 3. 15 Faktor Modifikasi Pengankuran	44
Gambar 3. 16 Penyaluran Tulangan Menerus pada Balok Tipikal	45
Gambar 3. 17 Peletakkan Sambungan Lewatan Tulangan	46
Gambar 3. 18 Fungsi Tulangan Utama	47
Gambar 3. 19 Fungsi Tulangan Senggang	47
Gambar 3. 20 Syarat Pemasangan Kaki Senggang	48
Gambar 3. 21 Pemasangan Senggang Tertutup dan Senggang Tegak	48
Gambar 3. 22 Contoh Pemasangan Senggang yang Salah	49
Gambar 3. 23 Pengikatan Tulangan	50
Gambar 3. 24 Penyimpanan Besi Tulangan	54
Gambar 3. 25 Contoh Rencana Kerja Mingguan	56
Gambar 3. 26 Contoh Jadwal Tenaga Kerja pada Jadwal Mingguan	57
Gambar 3. 27 Contoh Jadwal Tenaga Kerja Terpisah	58
Gambar 3. 28 Contoh <i>Check-List</i> Pekerjaan Penulangan	62
Gambar 3. 29 Bagan Alir Pekerjaan Penulangan	63
Gambar 4. 1 Observasi Pemasangan Tulangan	67

Gambar 4. 2 Bimbingan Lapangan Mingguan Oleh <i>Project Manager</i>	69
Gambar 4. 3 Wawancara Terkait <i>Bar Bending Schedule</i>	69
Gambar 4. 4 <i>Flowchart</i> BBS Konvensional	71
Gambar 4. 5 Format Tabulasi BBS Teoritis	72
Gambar 4. 6 Format Tabulasi Kebutuhan Tulangan	72
Gambar 4. 7 Format Tabulasi Optimasi Kebutuhan Tulangan	73
Gambar 4. 8 <i>Flowchart</i> BBS <i>Simplex</i> dan BIM	74
Gambar 4. 9 <i>Grid</i> Gedung Fakultas Teknik UPY	75
Gambar 4. 10 Karakteristik Properties Balok	76
Gambar 4. 11 Data Atribut Penulangan Balok	77
Gambar 4. 12 Pemodelan Penulangan Balok	78
Gambar 4. 13 <i>Output Bill of Quantity</i>	79
Gambar 4. 14 Format Tabulasi BBS <i>Simplex</i>	80
Gambar 4. 15 Parameter <i>Solver</i>	81
Gambar 4. 16 Profil Balok B1	82
Gambar 4. 17 Pengisian Atribut Balok <i>Autorebar</i>	83
Gambar 4. 18 Bestaat Konvensional	83
Gambar 4. 19 Bestaat Konvensional Balok	84
Gambar 4. 20 <i>Output</i> Bestaat	85
Gambar 4. 21 Menampilkan <i>Section View</i>	86
Gambar 4. 22 Bestaat BIM Balok B1	87
Gambar 4. 23 <i>Flowchart</i> Penelitian	88
Gambar 5. 1 Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY	91
Gambar 5. 2 Denah Balok	93
Gambar 5. 3 Detail Balok	93
Gambar 5. 4 Bestaat Balok	95
Gambar 5. 5 <i>Flowchart</i> BBS Konvensional	96
Gambar 5. 6 <i>Flowchart</i> BBS Teoritis	97
Gambar 5. 7 Detail Balok B1	98
Gambar 5. 8 <i>Flowchart</i> BBS <i>Simplex</i> dan BIM	120
Gambar 5.9 <i>Grid</i> Gedung Fakultas Teknik UPY	121
Gambar 5.10 Karakteristik Properties Balok	122

Gambar 5.11 Data Atribut Penulangan Balok	123
Gambar 5.12 Pemodelan Penulangan Balok	124
Gambar 5.13 <i>Output Bill of Quantity</i>	125
Gambar 5. 14 Format Tabulasi BBS <i>Simplex</i>	126
Gambar 5. 15 Parameter <i>Solver</i>	127
Gambar 5. 16 Profil Balok B1	135
Gambar 5. 17 Pengisian Atribut Balok <i>Autorebar</i>	135
Gambar 5. 18 Bestaat Konvensional	136
Gambar 5.19 Bestaat Konvensional Balok B1	137
Gambar 5.20 <i>Output</i> Bestaat	138
Gambar 5.21 Menampilkan <i>Section View</i>	139
Gambar 5.22 Bestaat BIM Balok B1	139
Gambar 5.23 Tipe Pemotongan Tulangan	151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis	7
Tabel 3. 1 Sumber dan Penyebab Material Sisa Konstruksi	20
Tabel 3. 2 Rekap Persentase Sisa Material Pekerjaan Struktur	22
Tabel 3. 3 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos	36
Tabel 3. 4 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip	37
Tabel 4. 1 <i>Time Schedule</i> Penelitian	89
Tabel 5. 1 Klasifikasi Gedung Fakultas Teknik UPY	91
Tabel 5. 2 Data – Data Balok	94
Tabel 5. 3 BBS Teoritis	101
Tabel 5. 4 BBS Teoritis Balok B1	103
Tabel 5. 4 BBS Konvensional	106
Tabel 5. 6 Rekapitulasi BBS Konvensional D19	109
Tabel 5. 7 Distribusi Sisa Potongan Tulangan D19	110
Tabel 5. 8 Distribusi <i>Waste</i> Diameter 19	114
Tabel 5. 9 Distribusi <i>Waste</i> Diameter 16	115
Tabel 5. 10 Distribusi <i>Waste</i> Diameter 13	117
Tabel 5. 11 Distribusi <i>Waste</i> Diameter 10	118
Tabel 5. 12 Rekapitulasi BBS Konvensional	119
Tabel 5. 13 BBS <i>Simplex</i> D19	128
Tabel 5. 14 BBS <i>Simplex</i> D16 Ba1	129
Tabel 5. 15 BBS <i>Simplex</i> D16 Ba2,B2B,BK,B2A	130
Tabel 5. 16 BBS <i>Simplex</i> D13	131
Tabel 5. 17 BBS <i>Simplex</i> D10 Ba1,BK	132
Tabel 5. 18 BBS <i>Simplex</i> D10 B1,Ba2,B2B,BL,B2A	133
Tabel 5. 19 Rekapitulasi BBS BIM dan <i>Simplex</i>	134
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Optimasi BBS Konvensional dengan BBS <i>Simplex</i> & BIM	140
Tabel 5. 21 Komparasi Waktu Metode Konvensional dengan Metode <i>Simplex</i> & BIM	141

Tabel 5. 22 Komparasi Mutu Metode Konvensional dengan Metode <i>Simplex & BIM</i>	143
Tabel 5. 23 Komparasi Biaya Volume Besi Tulangan Metode Konvensional dengan Metode <i>Simplex & BIM</i>	144
Tabel 5. 24 Komparasi Biaya Operasional Metode Konvensional dengan Metode <i>Simplex & BIM</i>	145
Tabel 5. 25 Ringkasan Penelitian	147
Tabel 5. 26 Komparasi Kebutuhan Tulangan Sebelum dan Sesudah Dioptimasi	149
Tabel 5. 27 Tipe Pemotongan Tulangan	150

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L-1. 1 Surat Permohonan Izin	160
Lampiran L-1. 2 Surat Permohonan Data Proyek	161
Lampiran L-1. 3 Data Proyek	162
Lampiran L-1. 4 Surat Keterangan Selesai Pengambilan Data	163
Lampiran L-2. 1 Denah Balok el +0.00	164
Lampiran L-2. 2 Denah Balok el +3.800, +7.500, +11.200, +14.900	165
Lampiran L-2. 3 Denah Balok el +18.600	166
Lampiran L-2. 4 Denah Balok el +19.700	167
Lampiran L-2. 5 Denah Balok el +22	168
Lampiran L-2. 6 Denah Kolom	169
Lampiran L-2. 7 Detail Balok	170
Lampiran L-2. 8 Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY	171
Lampiran L-2. 9 Bimbingan Lapangan Oleh <i>Project Manager</i>	171
Lampiran L-2. 10 Tempat Penyimpanan dan <i>Workshop</i> Pemesian	172
Lampiran L-2. 11 Pemasangan Tulangan Menerus	172
Lampiran L-2. 12 Observasi Lapangan & Wawancara Tidak Langsung	173
Lampiran L-2. 13 Observasi Lapangan Pengecekan Penulangan	174
Lampiran L-2. 14 Teknis Penulangan Balok	175
Lampiran L-2. 15 Teknis Penulangan Balok Pemasangan Menerus	176
Lampiran L-2. 16 Diskusi & Wawancara Tidak Langsung Terkait BBS	177
Lampiran L-2. 17 Pengecekan Perhitungan BBS Oleh Direksi Proyek	178
Lampiran L-2. 18 Observasi Lapangan Teknis Penulangan Balok	179
Lampiran L-3. 1 Bestaat Konvensional B1	180
Lampiran L-3. 2 Bestaat Konvensional B2A	181
Lampiran L-3. 3 Bestaat Konvensional B2B	182
Lampiran L-3. 4 Bestaat Konvensional BA1	183
Lampiran L-3. 5 Bestaat Konvensional BA2	184
Lampiran L-3. 6 Bestaat Konvensional BK	185
Lampiran L-3. 7 Bestaat Konvensional BL	186
Lampiran L-3. 8 Denah Balok BIM	187

Lampiran L-3. 9	Bestaat BIM B1	188
Lampiran L-3. 10	Bestaat BIM B2A <i>Grid</i> 3,B,E,F	189
Lampiran L-3. 11	Bestaat BIM B2A <i>Grid</i> B,E Pemasangan Tulangan Menerus	190
Lampiran L-3. 12	Bestaat BIM B2A <i>Grid</i> 3,B,E Pemasangan Tulangan Menerus	191
Lampiran L-3. 13	Bestaat BIM B2B <i>Grid</i> 1,2,E,F	192
Lampiran L-3. 14	Bestaat BIM Ba1 <i>Grid</i> C – D	193
Lampiran L-3. 15	Bestaat BIM Ba1 <i>Grid</i> 1-2, E-F	194
Lampiran L-3. 16	Bestaat BIM Ba1 <i>Grid</i> 2 – 3	195
Lampiran L-3. 17	Bestaat BIM Ba1 <i>Grid</i> 1 – 2 – BL	196
Lampiran L-3. 18	Bestaat BIM Ba1 <i>Grid</i> C, D Pemasangan Tulangan Menerus	197
Lampiran L-3. 19	Bestaat BIM Ba2 <i>Grid</i> 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	198
Lampiran L-3. 20	Bestaat BIM Ba2 <i>Grid</i> D – E	199
Lampiran L-3. 21	Bestaat BIM Ba2 <i>Grid</i> B – C	200
Lampiran L-3. 22	Bestaat BIM BK <i>Grid</i> B – 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	201
Lampiran L-3. 23	Bestaat BIM BK <i>Grid</i> B, C, D, E	202
Lampiran L-3. 24	Bestaat BIM BK <i>Grid</i> 2, 3, 4, 5, 6	203
Lampiran L-3. 25	Bestaat BIM BK <i>Grid</i> 1 – 2	204
Lampiran L-3. 26	Bestaat BIM BK <i>Grid</i> E – 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	205
Lampiran L-3. 27	Bestaat BIM BL <i>Grid</i> 1-2, E-F	206
Lampiran L-3. 28	Bestaat BIM BL <i>Grid</i> E,F	207
Lampiran L-3. 29	Bestaat BIM BL <i>Grid</i> 1 – 2	208
Lampiran L-3. 30	Bestaat BIM <i>Grid</i> A	209
Lampiran L-3. 31	Bestaat BIM GA <i>Drawing</i> Gedung Fakultas Teknik UPY	210
Lampiran L-3. 32	BIM 3D <i>Drawing</i> Gedung Fakultas Teknik UPY	211
Lampiran L-4.	Program Linier <i>Simplex</i> pada <i>Software Microsoft Excel</i>	211

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

m	= Meter
mm	= Milimeter
m ²	= Meter persegi
m ³	= Meter kubik
kg	= Kilogram
fy	= Mutu baja
Mpa	= <i>Mega Pascal</i>
D	= Diameter
p10	= Kodefikasi tulangan jenis polos misal besi polos diameter 10 (p10)
s22	= Kodefikasi tulangan jenis sirip misal besi polos diameter 22 (s22)
SNI	= Standar Nasional Indonesia
BBS	= <i>Bar Bending Schedule</i>
Bestaat	= Gambar pemotongan & pembengkokkan besi tulangan
Waste	= Sisa pemotongan besi tulangan
BIM	= <i>Building Information Modeling</i>

ABSTRAKSI

Gedung merupakan bangunan vital dalam menunjang kesejahteraan masyarakat. Dalam proses pembangunan gedung, hal yang tidak bisa dihindari adalah *waste* material yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian terdahulu, material jenis *consumable material* yang paling banyak menghasilkan *waste* adalah besi tulangan. Di lain sisi, pemanfaatan dan pengembangan teknologi menjadi syarat mutlak dalam bersaing di era baru dunia konstruksi. Sekarang ini, BIM dalam dunia konstruksi dipandang sebagai teknologi terbaru yang mulai umum digunakan. Dalam hal ini tujuan dilakukannya penelitian adalah untuk membuat *Bar Bending Schedule* yang efektif dan efisien dalam hal optimasi kebutuhan tulangan.

Program Linier *Simplex* sebagai sarana metode pengambilan keputusan, dikolaborasikan dengan BIM, dapat digunakan untuk mendapatkan tipe pemotongan tulangan paling optimal sehingga kebutuhan tulangan dan *waste* besi dapat diminimasi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, BBS Program Linier *Simplex* dibandingkan metode BBS Konvensional dinilai lebih efektif dan efisien untuk merencanakan Bestaat dalam kegiatan *Bar Bending Schedule* (BBS). Ditinjau dari segi mutu, metode *simplex* & BIM memiliki mutu 49% lebih baik dibanding metode konvensional. Ditinjau dari segi waktu, metode *simplex* dan BIM memiliki waktu pengerjaan lebih cepat 37% dibanding metode konvensional. Sedangkan dari segi biaya dibandingkan dengan metode konvensional, metode *simplex* dan BIM dapat menghemat biaya sebesar 14% untuk biaya material dan menghemat biaya 33% untuk biaya operasional.

Kata Kunci : BIM, BBS, bestaat, *waste* besi, optimasi.

ABSTRACT

The building is a vital infrastructure in supporting the welfare of the society. In the building construction process, what cannot be avoided is the waste material produced. Based on previous research, the type of consumable material that produces the most waste is steel reinforcement. Besides that, the use and development of technology is an absolute requirement in competing in the new era of construction. BIM in the world of construction is seen as a renewable technology that is becoming commonly used. In this case, the aim of the research is to make effective and efficient Bestaat to optimize reinforcement requirements.

The Simplex Linear Program as a means of decision-making method, is collaborated with BIM can be used to obtain the optimal type of cutting reinforcement, so the need for reinforcement steel and steel waste can be minimized.

Based on the research conducted, the Simplex Linear Program BBS compared to the Conventional BBS method is considered to be more effective and efficient for planning Bestaat in Bar Bending Shedule (BBS) activities. In terms of quality, the simplex & BIM method has 49% better quality than the conventional method. In terms of time, the simplex and BIM methods have a processing time of 37% faster than the conventional method. Meanwhile, in terms of cost compared to conventional methods, the simplex and BIM methods can save 14% on material costs and save 33% on operational costs.

Keywords : BIM, BBS, bestaat, steel waste, optimization.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya suatu daerah sangat berkaitan dengan perkembangan fasilitas infrastruktur yang ada. Dengan terpenuhinya fasilitas infrastruktur di suatu daerah akan mendukung hak – hak masyarakat untuk meningkatkan kesejahteraan, mendapatkan keadilan, dan meningkatkan roda perekonomian serta meningkatkan fasilitas pelayanan pemerintah kepada masyarakat. Fasilitas infrastruktur yang dimaksud bisa berupa jalan, jembatan, gedung dan bangunan sipil lainnya.

Gedung merupakan salah satu fasilitas vital yang harus ada di suatu daerah. Bangunan gedung seperti gedung pemerintahan, gedung sekolah dan gedung rumah sakit akan meningkatkan kesejahteraan di lingkungan masyarakat. Dalam pembangunan suatu gedung terdapat beberapa faktor yang berpengaruh seperti fungsi gedung, daerah dimana gedung akan dibangun, bentuk gedung, jumlah lantai, serta jenis tanah di suatu daerah. Komponen utama dalam gedung seperti atap, pelat lantai, balok, kolom dan pondasi dalam perencanaannya harus dapat menjamin kekuatan sehingga struktur gedung dapat memikul beban yang ada. Struktur gedung dapat berupa rangka baja maupun beton komposit yaitu perpaduan beton dan besi tulangan.

Berdasarkan beberapa faktor yang telah disebutkan, kebutuhan meterial dan bahan untuk pembangunan suatu gedung pastinya akan berbeda satu sama lain. Selain itu material sisa konstruksi menjadi hal yang tidak dapat dihindari dalam pembangunan suatu gedung. Moghany (2006) menyatakan “sisa material dapat diartikan sebagai segala jenis material yang berasal dari bagian alam di bumi yang dipindahkan, diolah ke suatu tempat untuk kemudian digunakan pada proses konstruksi baik pada suatu lokasi atau antar dengan berbagai kemungkinan yang dapat timbul antara lain kerusakan, kelebihan, tidak terpakai , tidak sesuai dengan spesifikasi atau hasil dari proses konstruksi.” Dalam hal pengendalian biaya material proyek, material sisa merupakan masalah yang penting karena dapat

menyebabkan pembengkakan biaya. Khadafi (2008) menyatakan material sebagai salah satu komponen yang penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek mempunyai kontribusi sebesar 40-60% dari biaya proyek. Sedangkan Material besi beton merupakan material yang memiliki prosentase terhadap biaya tertinggi yaitu berkisar 20% - 30% (Farmoso, C.T.). Pada proyek konstruksi, besi tulangan memiliki kemungkinan menghasilkan material sisa yang cukup besar karena di Indonesia sebagian besar komponen struktur menggunakan beton komposit.

Perencanaan serta manajemen material besi tulangan menjadi hal yang penting untuk dilakukan dimana hal ini berkaitan erat dengan pengendalian biaya proyek konstruksi. Dari sudut pandang pelaksana proyek atau kontraktor sangat perlu dilakukan efisiensi. Efisiensi dalam hal ini adalah mencapai mutu sesuai spesifikasi teknis dengan biaya yang lebih rendah, sehingga perlu adanya optimasi terkhusus pada material besi tulangan. Pada praktik proyek konstruksi, besi fabrikasi yang memiliki panjang kurang lebih 12 meter dipotong sesuai gambar rencana untuk membuat suatu bagian komponen struktur dengan panjang tertentu, hal ini tentunya akan menghasilkan sisa potongan besi tulangan. Cara konvensional yang biasa dilakukan pelaku konstruksi yaitu sisa potongan besi tulangan didistribusikan ke komponen struktur lain yang masih memenuhi spesifikasi gambar rencana. Namun faktanya dari panjang besi fabrikasi yang tersedia dapat dibuat berbagai macam pola pemotongan. Tidak adanya format baku dalam perencanaan kebutuhan tulangan menjadikan permasalahan tersendiri sehingga berbagai macam cara ataupun metode digunakan. Untuk itu diperlukan perencanaan optimasi kebutuhan tulangan untuk keperluan pengendalian mutu, waktu dan biaya konstruksi.

Di era baru dunia konstruksi, pemanfaatan dan pengembangan teknologi menjadi syarat mutlak untuk bersaing. Pengaplikasian *Building Information Modeling* (BIM) sekarang ini mulai umum digunakan. BIM sebagai alat atau metode dalam siklus proyek konstruksi, memiliki berbagai kegunaan salah satunya untuk memperoleh *bill of quantity* material. Dari fenomena – fenomena yang telah diuraikan, perencanaan optimasi kebutuhan tulangan sangat penting untuk dilakukan. Dalam hal ini digunakan pendekatan matematis program linier metode *simplex* dan penerapan *Building Information Modeling* (BIM). Kombinasi program

linier *simplex* dan BIM diharapkan mampu menjadi solusi dalam pembuatan model perencanaan kebutuhan tulangan yang efektif dan efisien sehingga dapat diterapkan dalam berbagai kondisi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian yang telah dipaparkan, terdapat beberapa rumusan masalah antara lain :

1. Apakah program linier metode *simplex* dan BIM dapat diterapkan untuk optimasi kebutuhan tulangan?
2. Apakah metode *simplex* dan BIM lebih efektif dan efisien dibanding cara konvensional untuk perencanaan kebutuhan tulangan?
3. Apakah perlu dilakukan optimasi pada komponen besi tulangan?
4. Apakah kegiatan inventaris terkait kebutuhan tulangan yang dilakukan pelaku konstruksi sudah efektif dan efisien?
5. Bagaimana pelaksanaan manajemen material besi tulangan yang dilakukan pelaku konstruksi terkait banyaknya sisa material?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah disebutkan terdapat beberapa hal yang menjadi tujuan penelitian yaitu :

1. Mengetahui penerapan program linier metode *simplex* dan BIM untuk optimasi kebutuhan tulangan pada pekerjaan balok,
2. Mengetahui efisiensi dan efektifitas metode *simplex* dan BIM dibanding cara konvensional untuk perencanaan kebutuhan tulangan yang ditinjau dari segi mutu, waktu dan biaya,
3. Mengetahui penghematan biaya setelah dilakukan optimasi kebutuhan tulangan di suatu komponen struktur.
4. Mengetahui efektifitas dan efisiensi manajemen material besi tulangan yang dilakukan pelaku konstruksi di lapangan,
5. Mengetahui penyebab banyaknya material sisa besi tulangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dengan melakukan penelitian ini antara lain :

1. Hasil penelitian dapat digunakan untuk perencanaan kebutuhan tulangan yang optimal secara efisien, data yang ditampilkan lebih informatif, dan dapat diterapkan di berbagai kondisi,
2. Penelitian dapat dijadikan referensi untuk pengembangan metode yang dipakai dalam hal yang lebih kompleks,
3. Menambah wawasan dan kemampuan berpikir baik untuk penulis maupun masyarakat luas mengenai penerapan manajemen sumber daya khususnya material besi tulangan.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa hal yang menjadi batasan untuk melakukan penelitian antara lain :

1. Metode yang dipakai untuk optimasi kebutuhan tulangan dipakai cara konvensional dan metode *simplex* serta BIM,
2. Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan gedung bertingkat khususnya pada struktur balok beton bertulang,
3. Pengamatan dan wawancara tidak langsung dilakukan pada kegiatan manajemen material besi tulangan yang dilakukan pelaku konstruksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan penelitian mengenai perencanaan kebutuhan material proyek konstruksi. Beberapa penelitian yang relevan mengenai perencanaan kebutuhan material konstruksi yang mana dikhususkan pada kebutuhan tulangan suatu komponen struktur didapat beberapa temuan untuk pemecahan masalah seperti penggunaan suatu aplikasi, penggunaan suatu metode, dan variabel-variabel batasan. Penelitian terkait yang pernah dilakukan akan dipaparkan sebagai referensi untuk penelitian penulis dan sebagai bukti keaslian penelitian yang dilakukan.

Khadafi (2008) dalam penelitiannya Analisis Penggunaan Aplikasi *Software* Optimasi *Waste* Besi pada Pekerjaan Struktur Beton mengkaji tentang penggunaan aplikasi SOWB untuk pengoptimalan *waste* besi yang mana distribusi untuk mendapat *waste* besi total minimum menggunakan hukum distribusi pareto dengan 4 langkah optimasi.

Kork (2013) dalam penelitiannya Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi dengan Memperhitungkan Optimasi *Waste* Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program *Microsoft Excel* mengkaji tentang optimasi *Waste* besi tulangan dengan membuat BBS yang tepat untuk mendapat *waste* besi sekecil mungkin.

Baskoro (2019) dalam penelitiannya Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan *Bar Bending Schedules* mengkaji tentang pembuatan BBS dengan metode pendekatan BIM dalam hal ini *Tekla Structure* untuk mendapatkan nilai *waste* besi tulangan paling optimum.

Herlambang (2018) dalam penelitiannya Analisis Optimasi Sisa Material Besi pada Beton Bertulang dengan menggunakan *Software* Optimasi *Waste* Besi mengkaji tentang penggunaan aplikasi SOWB dibandingkan dengan cara bestaat konvensional untuk pengoptimalan *waste* besi tulangan.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian penulis yaitu Optimasi Kebutuhan Tulangan Balok Menggunakan Program Linier Metode *Simplex* dan *Building Information Modeling* (BIM) mengkaji tentang pengaplikasian pendekatan matematis program linier yaitu *simplex* serta pengaplikasian penggunaan BIM untuk mendapat tipe pemotongan tulangan yang paling optimal. Dalam prosesnya optimasi dilakukan dengan mendistribusikan sisa potongan tulangan dan mempertimbangkan tipe – tipe pemasangan tulangan sehingga didapat kebutuhan total tulangan paling minimum. Penulis juga mempertimbangkan manajemen material besi tulangan yang dilakukan pelaku konstruksi berkaitan dengan banyaknya sisa material besi tulangan yang biasa terjadi. Penelitian penulis bertujuan untuk membuat *Bar Bending Schedule* dan *bestaat* yang lebih efisien, efektif, serta informatif dengan program linier *simplex* sebagai alat optimasi, dikombinasikan dengan *Building information Modeling* (BIM) untuk pemodelan 3D serta pendetailan gambar kerja. Metode *simplex* dan BIM nantinya dibandingkan dengan BBS dan *bestaat* metode konvensional untuk tujuan pengendalian mutu, waktu dan biaya.

Berikut disajikan perbedaan yang dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Perspektif	Peneliti				
	Khadaifi (2008)	Kork (2013)	Baskoro (2019)	Herlambang (2018)	Permana (2021)
Judul	Analisis Penggunaan Aplikasi <i>Software</i> Optimasi <i>Waste</i> Besi pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulang Proyek XYZ	Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi dengan Memperhitungkan Optimasi <i>Waste</i> Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program <i>Microsoft Excel</i>	Penerapan Building Information Modeling (BIM) menggunakan <i>Tekla Structures</i> dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan <i>Bar Bending Schedules</i>	Analisis Optimasi Sisa Material Besi pada Beton Bertulang dengan Menggunakan <i>Software</i> Optimasi <i>Waste</i> Besi	Optimasi Kebutuhan Tulangan pada Balok menggunakan Program Linier Metode <i>Simplex</i> dan <i>Building Information Modeling</i> (BIM)
Tujuan Penelitian	Mengetahui keefektifan aplikasi SOWB dalam mengoptimasi sisa material besi tulangan pada pekerjaan struktur beton bertulang serta menganalisis langkah-langkah optimasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi nilai total <i>waste</i> besi tulangan pada pekerjaan strukturbeton bertulang	Untuk mendapatkan metode <i>Bar Bending Schedule</i> yang dapat digunakan untuk mengoptimasi penulangan pada balok bertulang sehingga dihasilkan <i>waste</i> yang sekecil mungkin.	Mengetahui seberapa efektif dan efisien perhitungan kebutuhan tulangan dan BBS dengan menggunakan metode konvensional menggunakan pendekatan BIM serta untuk mengetahui nilai optimum <i>waste</i> material besi tulangan dengan menggunakan metode konvensional dan menggunakan pendekatan BIM.	Mengetahui keefektifan aplikasi SOWB dalam mengoptimasi sisa material besi tulangan dibandingkan dengan perhitungan bestaat besi manual pada pekerjaan struktur beton bertulang	Mengetahui keberhasilan dan efisiensi penerapan program linier metode <i>simplex</i> dan BIM dibanding cara konvensional untuk optimasi kebutuhan tulangan total, pendistribusian <i>waste</i> besi, dan mendapat tipe potongan paling optimal dalam tinjauan mutu, waktu, serta biaya.
Lokasi Penelitian	Proyek XYZ	Proyek Gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta	Proyek Graha Pertamina	Proyek Perumahan Grand Sharon	Proyek Gedung Fakultas Teknik UPY Yogyakarta

Lanjutan Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Perspektif	Peneliti				
	Khadafi (2008)	Kork (2013)	Baskoro (2019)	Herlambang (2018)	Permana (2021)
Objek Penelitian	Penggunaan aplikasi SWOB untuk optimasi <i>waste</i> besi tulangan sehingga nilai total <i>waste</i> besi tulangan dapat dikurangi	Penggunaan <i>Bar Bending Schedule</i> yang tepat untuk mendapat <i>waste</i> tulangan sekecil mungkin	Penggunaan aplikasi BIM dan metode konvensional untuk mendapat nilai optimum <i>waste</i> besi tulangan	Penggunaan aplikasi SOWB untuk optimasi <i>waste</i> besi tulangan dibandingkan cara bestaat konvensional	Penerapan metode <i>Simplex</i> dan BIM dibanding cara konvensional untuk distribusi <i>waste</i> besi dengan memperhatikan skenario pemasangan tulangan di lapangan sehingga didapat kebutuhan tulangan total paling minimum
Hasil Penelitian	Total penggunaan berat besi tulangan sebesar 1.163.634,20Kg memiliki nilai <i>waste</i> sebesar 49.500.14 Kg. Setelah melakukan analisis hukum distribusi pareto didapat terjadi penurunan persentase nilai <i>waste</i> sebesar 1.59 % atau sebesar 21.390,26 Kg. Jika harga besi 1 kg sebesar Rp10.000,- maka penghematan yang dapat dilakukan sebesar Rp213.902.600,-	Prosentase penghematan tulangan setelah dilakukan optimasi adalah besi tulangan berdiameter 22 terjadi penghematan 2.07% , besi tulangan berdiameter 19 terjadi penghematan 0.90%, besi tulangan berdiameter 16 terjadi penghematan 3.76%, besi tulangan berdiameter 13 terjadi penghematan 3.52%, besi tulangan berdiameter 12 terjadi penghematan 4.76%, dan besi tulangan berdiameter 10 terjadi penghematan 2.43%.	Perhitungan kebutuhan besi tulangan dan pembuatan BBS dengan metode pendekatan BIM lebih disarankan karena lebih efektif dan efisien. Penggunaan metode BIM dapat menekan biaya sebesar 1-5% dari biaya yang dihasilkan dengan cara konvensional. Untuk biaya operasional, dengan memilih menggunakan biaya untuk investasi pada software BIM akan menghemat 76,91% dari biaya yang digunakan untuk jasa vendor.	Sisa material besi tulangan yang umumnya sebesar 5%-10% setelah dianalisis menggunakan program SOWB didapatkan <i>waste</i> besi yaitu 4,16%.	Ditinjau dari segi mutu, metode <i>simplex</i> & BIM memiliki mutu 49% lebih baik dibanding metode konvensional. Ditinjau dari segi waktu, metode <i>simplex</i> dan BIM memiliki waktu pengerjaan lebih cepat 37% dibanding metode konvensional. Sedangkan dari segi biaya dibandingkan dengan metode konvensional, metode <i>simplex</i> dan BIM dapat menghemat biaya sebesar 14% untuk biaya material dan menghemat biaya 33% untuk biaya operasional,

(Sumber : Khadafi 2008, Kork 2013, Baskoro 2019, Herlambang 2018)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Material Konstruksi

Material merupakan bahan baku utama dalam pembangunan suatu pekerjaan konstruksi. Oleh karenanya, material merupakan komponen yang sangat berkaitan menentukan besarnya biaya proyek. Nugraha (1985) menyatakan lebih dari separuh biaya proyek diserap oleh material yang digunakan. Material atau bahan konstruksi dibedakan menjadi dual hal yaitu bahan sementara dan bahan permanen. Bahan sementara maksudnya material maupun struktur sementara yang diperlukan selama proses konstruksi untuk menopang beban sementara maupun untuk cetakan suatu komponen struktur hingga struktur mampu menopang beban sendiri. Sedangkan material permanen yaitu material yang secara langsung menjadi bagian dari komponen struktur sehingga struktur mampu menopang beban selama masa layan. Gavilan dan Bemold (1994) menyatakan material yang digunakan dalam konstruksi dapat digolongkan dalam dua bagian besar yaitu :

1. *Consumable material* : merupakan material yang pada akhirnya akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan,
2. *Non-consumable material* : merupakan material penunjang dalam proses konstruksi, dan bukan merupakan bagian fisik dari bangunan setelah bangunantersebut selesai.

Material konstruksi yang bersifat permanen tercantum di dalam dokumen kontrak sehingga sangat menentukan besarnya biaya proyek. Sedangkan untuk material sementara, pelaksana bebas menentukan jenis – jenis material yang akan digunakan. Material konstruksi bisa berupa bahan yang langsung tersedia di alam maupun bahan yang melalui proses fabrikasi terlebih dahulu. Material sementara contohnya seperti perancah, bekisting, serta struktur penahan seperti besi *hollow* dan *wingnut*. Material permanen contohnya seperti besi tulangan, beton, semen, batu, pasir, kerikil yang mana spesifikasinya harus memenuhi syarat yang berlaku.

3.2 Manajemen Material Konstruksi

Material merupakan sumber daya utama sebagai bahan baku yang harus dikelola dengan tepat sehingga penyimpangan anggaran tidak terjadi dalam pelaksanaan teknis di lapangan. Dalam mewujudkan kondisi yang demikian diperlukan adanya kemampuan manajerial sehingga semua sumber daya yang tersedia dapat dialokasikan secara efisien dan optimal. Manajemen material dapat didefinisikan sebagai mekanisme pengelolaan dan pendekatan organisasi dengan kemampuan manajerial serta kemampuan teknis dalam penyelesaian permasalahan material yang mungkin terjadi. Saputra (2004) menyatakan manajemen material adalah suatu sistem yang mengkoordinasikan aktivitas-aktivitas untuk merencanakan dan mengawasi volume dan waktu terhadap pengadaan material melalui penerimaan/perolehan, perubahan bentuk dan perpindahan dari bahan mentah, bahan yang sedang dalam proses dan bahan jadi.

Manajemen material diterapkan sejak tahap perencanaan, pengadaan, dan pelaksanaan teknis lapangan yang mana pada setiap tahapan mempunyai sistem pengelolaan yang saling berkaitan agar tujuan tertentu dapat dicapai. Terdapat sebuah konsep dalam manajemen material yaitu *waste hierarchy*. Konsep *waste hierarchy* diterapkan sebagai pegangan dalam penggunaan bahan baku seefektif mungkin agar memberikan keuntungan bukan hanya untuk manusia tapi juga untuk lingkungan. Dalam tujuan manajemen material konstruksi, konsep *waste hierarchy* yang diterapkan berupa :

1. *Prevention or reduction*

Dalam manajemen sisa material hal yang paling utama dan menjadi prioritas adalah mencegah atau mengurangi timbulnya sampah dalam suatu proses penggunaan bahan baku. Prinsip *prevention* dan *reduction* ini berlaku baik pada proses perencanaan, produksi maupun pelaksanaan dengan mempersiapkan metode atau rencana penanganan sehingga sisa material dapat diminimasi.

2. *Reuse*

Reuse merupakan proses menggunakan kembali sampah baik secara langsung ataupun melalui proses perbaikan terlebih dahulu sesuai dengan kegunaan

awalnya. Pemanfaatan ulang material konstruksi yang masih bisa digunakan dapat menghemat pengeluaran biaya karena tidak menggunakan material baru dalam penggunaannya. Hal ini dapat dilakukan baik dalam komponen pekerjaan yang sama atau pekerjaan berbeda di proyek yang sama maupun proyek berbeda. Contoh *reuse* seperti penggunaan bekisting tidak hanya satu kali pakai, pemanfaatan sisa potongan besi tulangan yang dilas pada *tie rod* dan dikunci dengan *wingnut* sebagai angkur pengunci bekisting.

3. *Recycle*

Recycle merupakan proses mendaur ulang sampah menjadi bahan dasar produk yang sama maupun berbeda. *Recycle* dilakukan apabila sampah sisa material tidak dapat digunakan kembali ataupun tidak mempunyai nilai manfaat dan nilai ekonomis secara langsung bagi proyek. Proses *recycle* terdiri dari pengumpulan, pemilahan, dan pemrosesan sampah di lokasi proyek ataupun di lain tempat. Contoh *recycle* seperti pengumpulan besi sisa potongan untuk dilebur kembali menjadi besi tulangan dengan spesifikasi khusus.

3.2.1 Tahapan Manajemen Material

Manajemen material pada proyek konstruksi tidak hanya berfokus pada pemborosan material di lokasi proyek, tetapi juga berhubungan dengan sejumlah aktivitas lain seperti tahapan kerja, penjadwalan, penanganan material, pemilihan metode konstruksi, waktu tunggu, peralatan, pergerakan pekerja, dan keamanan material di lapangan. Manajemen material sangat diperlukan untuk menjamin tujuan proyek dapat dicapai secara efektif dan efisien. Apabila manajemen material ini tidak direncanakan dengan baik maka akan merugikan proyek secara langsung maupun tidak langsung.

Banyak faktor yang saling berkaitan dalam proses manajemen material dimana proses ini ditujukan untuk upaya penanganan dan pengendalian material. Definisi pengendalian material menurut Wijaya (2005) adalah suatu sistem atau kombinasi dari metode-metode, fasilitas-fasilitas, pekerja dan peralatan untuk pergerakan, pengepakan, dan penempatan material-material untuk tujuan yang

spesifik. Tindakan yang dilakukan dalam mewujudkan upaya pengendalian secara garis besar berupa :

1. Inventaris yaitu kegiatan yang menyangkut perolehan data logistik,
2. Pengawasan yaitu kegiatan yang dilakukan agar penyelenggaraan atau pelaksanaan komponen pekerjaan di lapangan sesuai dengan data logistik yang direncanakan,
3. Evaluasi yaitu menyangkut kegiatan monitoring dalam upaya kontrol dan penilaian terhadap suatu proses sehingga didapat informasi untuk membentuk data logistik dari temuan di lapangan yang terjadi.

Fungsi pengendalian dapat dijadikan sarana dalam pengambilan keputusan sehingga proses manajemen material dapat diselenggarakan dengan lebih optimal dimana suatu *output* dapat diperkirakan dari temuan dan informasi yang didapat di lapangan.

Secara khusus tahapan manajemen material dapat berupa pengadaan material, persediaan material, dan penyaluran material.

1. Pengadaan material

Dalam manajemen material pengadaan material erat kaitannya dengan *prevention* dan *reduction* dimana pada tahap ini ditentukan perencanaan jumlah kebutuhan material dan anggaran biaya untuk tiap – tiap komponen pekerjaan. Subagya (1996) menyatakan pengadaan adalah segala kegiatan dan usaha untuk menambah dan memenuhi kebutuhan barang dan jasa berdasarkan peraturan yang berlaku dengan menciptakan sesuatu yang tadinya belum ada menjadi ada. Dalam kata lain, pengadaan kebutuhan material bisa disebut *Material Requirement Planning* (MRP) yang merupakan suatu sistem perencanaan dan penjadwalan kebutuhan bahan atau material sebagai bahan baku untuk menghasilkan suatu produk melalui beberapa proses yang didasari pada jadwal produksi induk dan persediaan/kebutuhan material. Saputra (2004) menyatakan MRP adalah suatu rencana produksi untuk sejumlah produk jadi yang diterjemahkan ke bahan mentah (komponen) yang dibutuhkan dengan menggunakan waktu tenggang, sehingga dapat ditentukan kapan dan berapa banyak yang dipesan

untuk masing-masing komponen suatu produk yang akan dibuat. Penerapan MRP pada unit pengadaan material mempunyai tujuan utama yaitu :

- a. Meminimasi kebutuhan material : dengan kemampuan teknis yang dimiliki maka perencanaan kebutuhan bahan penunjang dan material sebagai bahan baku suatu unit produksi menjadi lebih optimal. Hal ini tentunya akan menentukan biaya proyek secara langsung yang mana pada tahap ini besarnya anggaran ditentukan.
- b. Mengurangi jumlah persediaan : dengan jadwal induk produksi yang dimiliki, maka dapat ditentukan kapan dan berapa banyak komponen atau bahan baku yang diperlukan. Hal ini dapat menghindari kelebihan persediaan material karena pembelian material hanya dilakukan saat diperlukan saja.
- c. Mengurangi risiko keterlambatan produksi atau pengiriman : dapat dilakukan identifikasi jumlah material yang dibutuhkan dan waktu pengaadaan sehingga unit logistik dapat melakukan tindakan yang tepat dalam memenuhi batas waktu yang ditetapkan. Hal ini dapat menghindari keterlambatan suatu produksi yang diakibatkan kekurangan persediaan material.
- d. Komitmen yang realistis : pihak produksi baik produsen bahan baku maupun pelaksana konstruksi dapat memberikan informasi yang cepat mengenai kemungkinan waktu pengiriman maupun penyelesaian suatu unit produksi.
- e. Meningkatkan efisiensi : peningkatan efisiensi produktifitas dapat direalisasikan karena jumlah persediaan, waktu produksi, dan waktu pengiriman barang telah direncanakan dengan baik sesuai jadwal induk produksi. Hal ini membuat setiap unit kerja dapat terkoordinasi dengan baik.

2. Persediaan material

Persediaan adalah bahan/material yang disimpan atau diproduksi untuk memenuhi tujuan tertentu misalnya bahan yang digunakan dalam proses suatu unit pekerjaan, atau komponen suku cadang suatu peralatan. Winasih

(2015) menyatakan persediaan mempunyai nilai cukup besar dan mempunyai pengaruh terhadap besar kecilnya biaya operasi. Persediaan dapat berupa material sebagai bahan baku utama maupun material sebagai penunjang suatu proses produksi. Dalam proses persediaan material terdapat permasalahan yang biasa dihadapi yaitu *over stocking* dan *under stocking*. *Over stocking* yaitu apabila terdapat jumlah material yang besar dalam memenuhi permintaan dalam jangka waktu yang panjang. *Under stocking* yaitu apabila jumlah material tersedia dalam jumlah terbatas untuk memenuhi persediaan dalam jangka waktu yang pendek. Manajemen persediaan material erat kaitannya dengan pembelian material dan penyimpanan material.

- a. Pembelian material : pembelian material untuk persediaan didasari dari pemenuhan permintaan untuk melaksanakan pekerjaan tertentu. Diperlukan adanya sistem administrasi dan koordinasi yang baik agar tidak terjadi kondisi *over stocking* maupun *under stocking*. Dalam proses pembelian ada beberapa hal yang menjadi perhatian. Pembelian material dalam jumlah yang kecil biasanya memerlukan biaya yang lebih besar daripada pembelian dalam jumlah besar. Hal ini berkaitan dengan biaya transportasi, pengepakan (biaya angkat), maupun ada nya potongan harga dari pihak supplier. Sering kali pembelian dalam jumlah besar untuk mengejar keuntungan – keuntungan tertentu tetap dilakukan. Padahal hal ini dapat menyebabkan *over stocking* dan terjadi penimbunan di tempat penyimpanan. Selain menyebabkan semakin terbatasnya ruang penyimpanan, material konstruksi mempunyai risiko yang besar untuk mengalami kerusakan. Hal ini juga dapat mempengaruhi produktifitas suatu pekerjaan karena penempatan barang yang kurang efisien menyebabkan banyak waktu terbuang dalam proses pemakaian material.
- b. Penyimpanan material : tempat penyimpanan material atau gudang harus direncanakan sebaik mungkin karena proyek konstruksi mempunyai luasan yang terbatas. Tempat penyimpanan material harus menjamin material atau bahan konstruksi terhindar dari kerusakan sehingga tidak menyebabkan kerugian pada pelaksanaan proyek. Perletakan barang

sesuai urutan prioritas penggunaan sangat penting dilakukan agar tidak terjadi pemindahan material berulang – ulang. Johnson (1981) mempertimbangkan cara penyimpanan material dengan hal –hal seperti : pengetahuan akan sifat dari material yang akan disimpan sehingga mudah menentukan cara penyimpanan yang tepat, kemudahan distribusi material ke lokasi pekerjaan-pekerjaan konstruksi, memprediksi besarnya penggunaan suatu material untuk pekerjaan yang akan datang, memperhitungkan keterbatasan ruang site yang bisa dipergunakan, keamanan dari cara penyimpanan guna mencegah kerusakan material ataupun kehilangan. Tempat penyimpanan material di lokasi proyek dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *close storage* dan *open storage*. *Close storage* merupakan ruang penyimpanan tertutup yang memiliki suatu akses keluar masuk yang dilengkapi pintu dengan kunci. Material yang ditempatkan di ruang penyimpanan tertutup biasanya merupakan material yang mudah rusak karena cuaca dan rawan pencurian. *Open storage* merupakan fasilitas penyimpanan terbuka untuk menyimpan material atau bahan dalam jumlah besar yang terletak di sekitar lokasi pekerjaan untuk memudahkan pengambilan pada suatu proses pekerjaan. Material yang disimpan pada *open storage* diberi alas atau dicor beton pada bagian bawah agar tidak menempel langsung pada permukaan tanah dan ditempatkan pada lokasi yang tidak berhadapan langsung dengan sinar matahari.

Tempat penyimpanan yang baik memungkinkan penjadwalan yang telah ditetapkan akan berjalan sesuai rencana karena keterlambatan suatu tahapan pekerjaan yang diakibatkan beberapa faktor yang berkaitan dengan penempatan material dapat dihindari. Hal ini secara langsung akan meningkatkan produktifitas dan menghindari terjadinya *indirect waste* pada pelaksanaan proyek.

3. Penyaluran material

Penyaluran material merupakan kegiatan pengurusan, penyelenggaraan dan pengaturan pemindahan bahan atau material dari tempat penyimpanan ke

lokasi pekerjaan pada tahapan proyek konstruksi. Penyaluran material didasari pada jadwal penggunaan material (*material schedule*) yang akan dilaksanakan. Komunikasi yang baik antar pihak pelaksana mempunyai peran penting agar penyaluran material dapat berjalan lancar. Secara khusus penyaluran material berhubungan dengan hal – hal yang menyangkut proses administrasi, penyimpanan berita data – data informasi material yang tersedia, proses pengeluaran fisik barang, dan proses produksi komponen struktur. Proses penyaluran juga mempunyai peran penting dalam fungsi evaluasi karena menyimpan informasi – informasi penting mengenai jumlah ketersediaan barang. Hal ini memudahkan fungsi kontrol atau pengendalian terhadap fenomena yang menjadi temuan di lapangan dalam menentukan keputusan - keputusan agar proyek dapat berjalan lebih optimal.

3.2.2 Peran Penting Pihak yang Terlibat

Kemampuan manajerial sangat dibutuhkan agar kondisi aktual di lapangan sesuai dengan apa yang sudah direncanakan. Peran pihak – pihak yang saling bersinergi akan menentukan kelancaran proyek konstruksi pada setiap tahapan. Kompetensi dan pengalaman pekerja dalam aspek teknis pada tingkat atas maupun tingkat bawah berpengaruh erat terhadap keberhasilan proyek secara keseluruhan. Pada direksi tingkat atas seperti manajer dan staf ahli memiliki peran dalam penentuan keputusan misalnya penentuan metode, penggunaan sumber daya, dan penentuan tindakan terhadap suatu fenomena. Pada pekerja tingkat bawah faktor teknis seperti kesalahan pemanfaatan material dan peralatan turut menjadi perhatian dalam hal pengawasan dan evaluasi.

Pada umumnya, manajemen material difokuskan dalam meminimasi *waste* yang mungkin terjadi baik berupa *direct waste* maupun *indirect waste* sehingga sumber daya yang dibutuhkan dapat lebih optimal. Napier (2008) mengungkapkan bahwa kontraktor bertanggung jawab untuk melakukan berbagai tindakan dan perencanaan untuk menekan jumlah sisa material konstruksi. Berikut beberapa jenis tindakan yang dapat diterapkan :

1. Memahami dan memperhatikan fungsi dan nilai suatu material. Lebih baik menggunakan material yang dapat digunakan untuk beberapa pekerjaan dibandingkan dengan menggunakan beberapa material hanya untuk menyelesaikan satu pekerjaan,
2. Efisien. Jika sedikit material yang diperlukan, makin sedikit pula sisa material yang dihasilkan,
3. Memahami standar dimensi dari material dan produk yang akan digunakan. Carilah material yang sesuai dengan desain yang digunakan, jika dimungkinkan maka hal ini dapat mengurangi pekerjaan pemotongan yang dapat mengakibatkan sisa material,
4. Jika mungkin, pilihlah sistem konstruksi yang tidak memerlukan bangunan atau dukungan sementara,
5. Jika mungkin, hindari penggunaan material yang sensitif akan kerusakan, mudah terkontaminasi, rentan terhadap cuaca dan lingkungan, mudah tercecer, dan material lain yang dapat meningkatkan jumlah sisa material yang dihasilkan.

Secara khusus Fitriyah (2009) menjabarkan dalam upaya manajemen material setiap orang yang terlibat dalam proyek konstruksi memiliki peranan masing – masing antara lain :

1. Desainer dan *surveyor*
 - a. Memastikan bahwa dokumentasi dan informasi, seperti gambar kerja dan rencana kerja serta informasi pendukung lainnya tersedia dengan lengkap, akurat dan jelas,
 - b. Mendesain bangunan dengan material yang sesuai dengan ketersediaan di pasar,
 - c. Mendesain bangunan dengan material prefabrication. Penggunaan material ini dapat mereduksi jumlah limbah yang dihasilkan,
 - d. Menggunakan peralatan yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan,
 - e. Merancang sistem pengolahan sisa material konstruksi *on-site* yang terintegrasi.

2. *Site manager*
 - a. Melaksanakan pekerjaan konstruksi sesuai dengan rancangan/desain,
 - b. Melakukan penanganan pada sisa material *on-site* dengan menggunakan kembali sisa material yang masih memiliki nilai guna, menjual sisa material yang masih memiliki nilai ekonomi dan melakukan pembuangan yang tepat untuk sisa material yang tidak dapat digunakan kembali dan dijual,
 - c. Memastikan tempat pembuangan sementara diberikan label secara jelas, sehingga memudahkan pekerja untuk memisahkan sisa material konstruksi,
 - d. Berperan aktif untuk berkordinasi dengan tim dan mendorong setiap personel untuk berlaku disiplin.
3. Sub-kontraktor
 - a. Mencegah timbulnya sisa material dengan melakukan rancangan/estimasi yang cermat dan penggunaan sumber daya yang tepat,
 - b. Mengoptimalkan pemilihan sisa material atas setiap pekerjaan konstruksi yang dilakukan,
 - c. Menggunakan material kembali, jika hal tersebut dimungkinkan,
 - d. Mempunyai rasa tanggung jawab untuk mengelola limbah yang dihasilkan.
4. *Supplier*
 - a. Mengurangi penggunaan bungkus (*packaging*) dengan menggunakan kembali pembungkus material,
 - b. Memastikan material tidak mengalami kerusakan atau menjadi cacat selama pengiriman berlangsung,
 - c. Memastikan kelancaran pengangkutan material agar tiba tepat waktu,
 - d. Mengkordinasikan dengan baik waktu pengiriman material.

3.3 Sisa Material Konstruksi

Dalam pekerjaan konstruksi, timbulnya sisa material menjadi hal yang tidak dapat dihindari. Sisa material sendiri bisa timbul karena berbagai hal, seperti dalam proses perencanaan, pembangunan, pembongkaran serta perubahan bentuk pada pekerjaan konstruksi. Franklin Associates (1998) menyatakan sisa material adalah material yang sudah tidak digunakan yang dihasilkan dari proses konstruksi, perbaikan, atau perubahan. Secara definisi menurut Garas es al (2001) menyatakan sisa material adalah sesuatu yang tidak terpakai/terbuang/tidak efisien hasil atau akibat peralatan, material, tenaga kerja, atau biaya dalam jumlah cukup besar yang dipertimbangkan dalam proses pembangunan. Pihak – pihak yang berhubungan langsung dengan proyek konstruksi tentunya sangat menentukan sisa material yang terjadi. Sisa material menjadi hal yang penting untuk diperhatikan agar tujuan proyek dalam hal pengendalian mutu, waktu dan biaya dapat tercapai. Dalam konteks pekerjaan konstruksi secara khusus sisa material didefinisikan sebagai *waste* yaitu kelebihan kuantitas material yang digunakan/didatangkan, yang tidak menambah nilai suatu pekerjaan, (Asiyanto 2005).

3.3.1 Jenis Sisa Material Konstruksi

Sisa material dalam proyek konstruksi diklasifikasikan menjadi beberapa hal. Tchobanoglous et al (1976) menyatakan sisa material konstruksi yang timbul selama pelaksanaan konstruksi dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu :

1. *Demolition waste* adalah sisa material yang timbul dari hasil pembongkaran atau penghancuran bangunan lama,
2. *Construction waste* adalah sisa material konstruksi yang *berasal* dari pembangunan atau renovasi bangunan milik pribadi, komersil dan struktur lainnya.

Formoso et al (2002) menyatakan *Construction waste* dapat digolongkan ke dalam dua kategori berdasarkan tipenya yaitu *direct waste* dan *indirect waste*

- a. *Direct waste* adalah sisa material yang timbul di proyek karena rusak, hilang, dan tidak dapat digunakan lagi. Contoh *direct waste* seperti sisa pemotongan besi tulangan, bekisting sisa bongkaran, beton yang tercecer

saat pengecoran, semen yang mengeras karena terkena hujan dan lain sebagainya,

- b. *Indirect waste* adalah sisa material yang terjadi dalam bentuk sebagai suatu kehilangan *biaya*, terjadi kelebihan pemakaian volume material dari yang direncanakan, dan tidak terjadi sisa material secara fisik di lapangan. Contoh *indirect waste* material yang dibeli berlebihan, untuk material tertentu kebutuhan semakin bertambah, rusaknya bekisting saat pengecoran sehingga harus melakukan *rework* dan melakukan pembersihan area pekerjaan.

3.3.2 Penyebab Sisa Material Konstruksi

Pekerjaan konstruksi merupakan kegiatan yang bersifat kompleks dimana terdapat berbagai sumber daya yang saling berhubungan dalam pemanfaatannya. Tidak dapat dihindari, dalam pemanfaatan sumber daya yang ada sering kali proyek konstruksi dipastikan menghasilkan material sisa baik yang sifatnya *direct waste* maupun *indirect waste*. Penggunaan sumber daya yang tidak optimal dalam perencanaan maupun pelaksanaan sering kali menjadi pokok permasalahan sehingga terjadi penyimpangan anggaran. Terjadinya sisa material konstruksi dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa sumber dan penyebab. Gavilan dan Bemold (1994) menyatakan sumber-sumber sisa material konstruksi dibagi dalam enam kategori, yaitu : desain, pengadaan material, penanganan material, pelaksanaan, residual, lain – lain. Berdasar pada penelitian Gavilan dan Bemold (1994), Browers (1996) mengklasifikasikan sumber dan penyebab terjadinya material sisa konstruksi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Sumber dan Penyebab Material Sisa Konstruksi

Sumber	Penyebab
Disain	Kesalahan dalam dokumen kontrak
	Ketidaklengkapan dokumen kontrak
	Perubahan disain
	Memilih spesifikasi produk
	Memilih produk yang berkualitas rendah
	Kurang memperhatikan ukuran dari produk yang digunakan
	Disainer tidak mengenal dengan baik jenis-jenis produk yang lain

Lanjutan Tabel 3. 1 Sumber dan Penyebab Material Sisa Konstruksi

Sumber	Penyebab
Desain	Pendetailan gambar yang rumit
	Informasi gambar yang kurang
	Kurang berkoordinasi dengan kontraktor dan kurang berpengetahuan tentang konstruksi
Pengadaan	Kesalahan pemesanan, kelebihan, kekurangan, dsb
	Pesanan tidak dapat dilakukan dalam jumlah kecil
	Pembelian material yang tidak sesuai dengan spesifikasi
	Pemasok mengirim barang tidak sesuai dengan spesifikasi
	Kemasan kurang baik, menyebabkan terjadi kerusakan dalam perjalanan
Penanganan	Material yang tidak dikemas dengan baik
	Material yang terkirim dalam keadaan tidak padat/kurang
	Membuang atau melempar material
	Penanganan material yang tidak hati-hati pada saat pembongkaran untuk dimasukkan ke dalam gudang
	Penyimpanan material yang tidak benar menyebabkan kerusakan
	Kerusakan material akibat transportasi ke atau di lokasi proyek
Pelaksanaan	Kesalahan yang diakibatkan oleh tenaga kerja
	Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik
	Cuaca yang buruk
	Kecelakaan pekerja di lapangan
	Penggunaan material yang salah sehingga perlu diganti
	Metode untuk mendapatkan pondasi
	Jumlah material yang dibutuhkan tidak diketahui karena perencanaan tidak sempurna
	Informasi tipe dan ukuran material yang akan digunakan terlambat disampaikan kepada kontraktor
	Kecerobohan dalam mencampur, mengolah dan kesalahan dalam penggunaan material sehingga perlu diganti
	Pengukuran di lapangan tidak akurat sehingga terjadi kelebihan volume
Residual	Kesalahan pada saat memotong material
	Kesalahan pesanan barang, karena tidak menguasai spesifikasi
	Kemasan
	Sisa material karena proses pemakaian
Lain - lain	Kehilangan akibat pencurian
	Buruknya pengontrolan material di proyek dan perencanaan manajemen terhadap sisa material

3.3.3 Produk Sisa Material Konstruksi

Pelaksanaan teknis lapangan pada bagian struktural secara umum terdiri dari pekerjaan pembesian, pekerjaan bekisting, dan pengecoran. Pekerjaan pembesian

berupa fabrikasi pemotongan tulangan sesuai gambar rencana, pengangkutan ke area pekerjaan dan dilanjutkan dengan pemasangan. Pada pekerjaan bekisting membutuhkan material berupa kayu, paku, papan multiplex, kawat putih, dan kawat bendrat. Material pada pekerjaan pengecoran biasanya berupa beton *ready mix* dengan spesifikasi khusus yang dipesan sesuai kebutuhan volume suatu komponen struktur. Masing – masing komponen pekerjaan tersebut berpotensi untuk menghasilkan sisa material berupa *residu*. Sudiro, Musyafa (2018) dalam penelitiannya merekap presentase sisa material pekerjaan struktur seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Rekap Persentase Sisa Material Pekerjaan Struktur

No	Pekerjaan Struktur	Jenis Material	Satuan	Rank
1	Bekisting	Kayu	/Batang	3
		Triplex	/Lembar	1
		Paku	/Kg	2
2	Pembesian	Besi beton	/Batang	4
		Kawat bendrat	/Roll	5
3	Pengecoran	Beton <i>ready mix</i>	/Mixer	6
		Semen	/Sak	8
		Pasir	/Rit	7
		Split	/Rit	9

Berdasar penelelitian yang dilakukan Sudiro, Musyafa (2018) yang mana telah dilakukan uji kendall's W menyatakan hasil penelitian tidak berubah signifikan atau dianggap tetap jika jumlah sampel ditambah. Hal ini menunjukkan pada umumnya sisa material terbesar pada proyek konstruksi berupa bekisting yang merupakan *non-consumable material* atau material yang berfungsi sebagai penunjang proses konstruksi dan tidak menjadi bagian dari struktur. Sedangkan untuk *consumable material* atau material yang menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, besi tulangan menjadi urutan pertama dalam menghasilkan sisa material. Dalam kaitannya dengan biaya proyek konstruksi, material jenis *consumable material* akan sangat menentukan besarnya biaya proyek karena merupakan bahan baku utama dan tertulis di dokumen proyek.

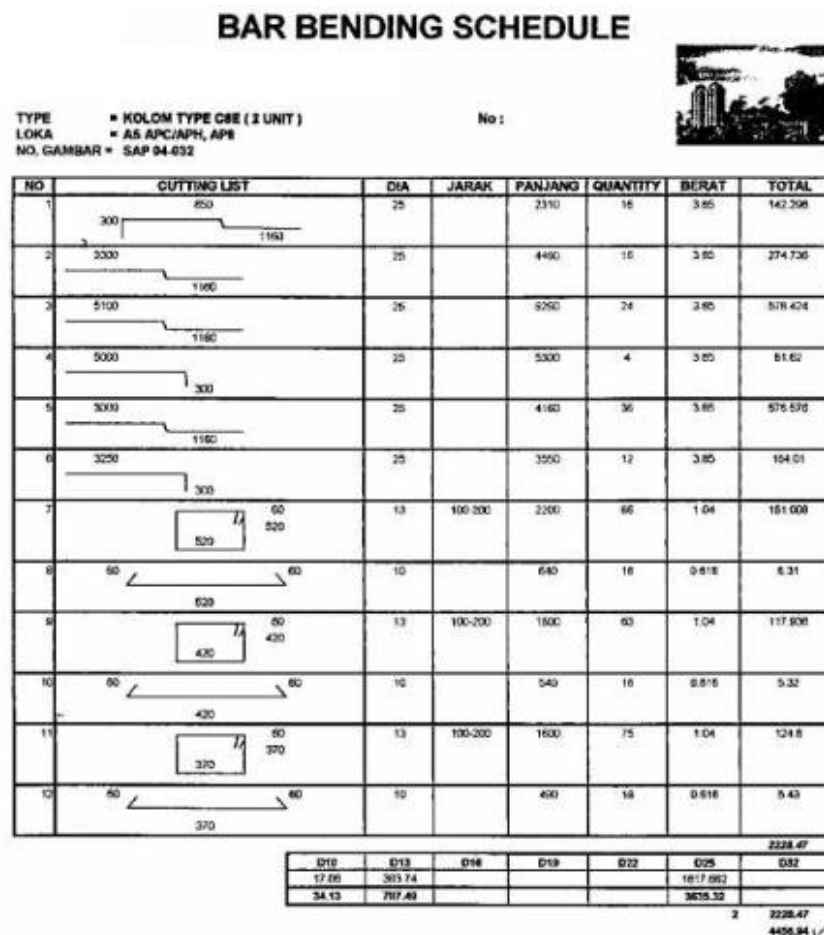
3.4 Pentingnya Perencanaan Optimasi Kebutuhan Tulangan

Besi tulangan termasuk ke dalam *consumable material* yang menjadi bagian dari struktur fisik bangunan. Besi tulangan dalam komponen struktur berfungsi untuk menahan gaya tarik karena beton lemah terhadap tarik dan hanya kuat terhadap tekan. Dengan perpaduan antara beton dan besi tulangan komponen struktur akan bersifat daktail. Daktilitas struktur sangat penting agar struktur tidak bersifat getas dan tercapai kondisi *under reinforced* yaitu dimana tulangan tercapai leleh terlebih dahulu kemudian diikuti hancurnya beton. Pada kondisi ekstrim dimana beban bangunan melebihi batas ultimit, diharapkan tidak terjadi tipe keruntuhan bangunan yang terjadi secara tiba – tiba. Mengingat pentingnya fungsi besi tulangan, berbagai persyaratan penggunaan besi tulangan telah dibuat dan dijadikan acuan baku untuk perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Peranan penting besi tulangan sebagai komponen utama dalam elemen struktur menjadikan besi tulangan memakan biaya yang cukup besar terhadap biaya proyek. Famoso, C.T (2002) menyatakan material besi beton merupakan material yang memiliki prosentase terhadap biaya tertinggi yaitu berkisar 20% - 30%. Dari uraian yang telah disampaikan, besi tulangan berperan dalam menjamin kualitas mutu elemen struktur serta berpengaruh besar terhadap besarnya biaya proyek. Untuk itu optimasi kebutuhan tulangan sangat penting untuk direncanakan agar biaya proyek secara keseluruhan dapat diminimasi.

Optimasi didefinisikan sebagai proses mencari solusi terbaik dari variabel – variabel yang tersedia untuk mencapai suatu tujuan dalam kondisi yang terukur. Tujuan optimasi sendiri dapat berupa nilai maksimal atau minimal yang dinyatakan dalam suatu fungsi program matematis. Dalam penelitian penulis, tujuan optimasi yang dimaksud adalah nilai minimum kebutuhan tulangan dalam kegiatan *Bar Bending Schedule*. Perencanaan optimasi kebutuhan tulangan perlu dibuat sedemikian rupa agar dapat diterapkan di berbagai kondisi. Model perencanaan kebutuhan material yang efektif dan efisien akan menghemat berbagai sumber daya yang dibutuhkan dalam siklus proyek. Perhitungan kebutuhan tulangan umumnya dibagi dalam beberapa tahapan hingga dapat dilaksanakan di lapangan.

3.5 Bar Bending Schedule (BBS)

Dalam dunia konstruksi, secara khusus kegiatan perencanaan kebutuhan tulangan disebut *Bar Bending Schedule* (BBS). *Bar Bending Schedule* dibuat berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED) dan berpedoman pada peraturan yang berlaku dalam hal ini RSNi 2847-201x. BBS memuat informasi seperti bentuk tekukkan, panjang pemotongan, jumlah potongan, jumlah kebutuhan tulangan, dan lain sebagainya pada komponen struktur. BBS dijadikan acuan dalam pembuatan bestaat dan perakitan tulangan di lokasi kerja. *Bar Bending Schedule* dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



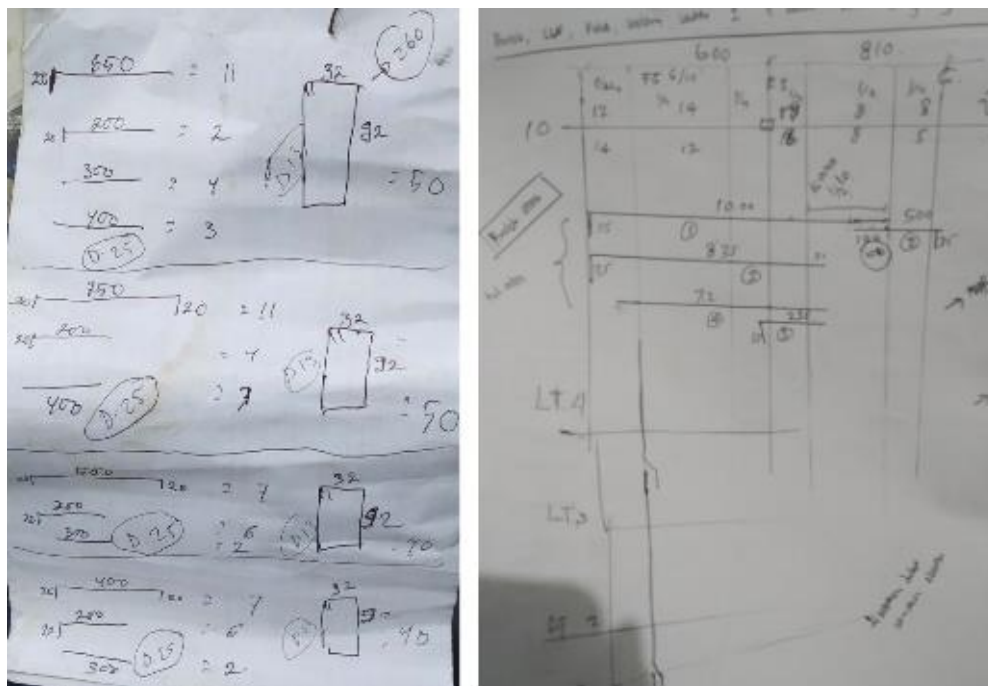
Gambar 3. 1 Bar Bending Schedule (BBS)

(Sumber : RCF – 04 : *Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/ Penulangan Beton*, Halaman B 3 - 10, Departemen Pekerjaan Umum)

3.5.1 BBS Metode Konvensional

BBS metode konvensional biasanya berupa hasil gambar kerja tangan maupun berupa gambar kerja *Autocad* dan data *Microsoft Excel*. Pembuatan Bestaat

metode konvensional didasari pada distribusi pemotongan untuk menghasilkan jumlah *waste* sekecil mungkin dari panjang besi fabrikasi 12 meter. Contoh dokumentasi BBS yang terdapat di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Dokumentasi BBS di Lapangan

(Sumber : Imam Agung Baskoro 2019, PT.Wijaya Karya Bangunan Gedung Tbk)

Metode konvensional yang dibuat untuk perbandingan penelitian mengacu pada RCF – 04 : Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/Penulangan Beton, Departemen Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Konstruksi dan Sumber Daya Manusia Pusat Pembinaan Kompetensi dan Pelatihan Konstruksi. Metode bestaat konvensional dihitung per tipe balok dengan *output* berupa panjang pemotongan, jumlah potongan, jumlah sisa batang, panjang sisa potongan dalam meter, dan jumlah sisa potongan dalam batang. Untuk distribusi sisa pemotongan dilakukan secara manual berdasar pada ukuran diameter yang sama sehingga dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam melakukan distribusi dan pengecekan hasil perhitungan. Hal ini membuat kemungkinan yang besar dilakukannya pekerjaan ulang. Tidak adanya data tipe – tipe pemotongan tulangan dapat menghambat pelaksanaan teknis di lapangan dalam hal manajerial sehingga perlu dilakukan pekerjaan ulang untuk merinci tipe - tipe pemotongan tulangan.

Perencanaan kebutuhan tulangan metode konvensional dapat dilihat pada Gambar 3.3

DAFTAR POTONG BESI BETON

Untuk dapat melakukan pemotongan besi beton yang seefisien mungkin untuk menghindari pemborosan akibat asal memotong besi, sehingga menjadi potongan bagian-bagian yang dapat mengakibatkan sisa potongan yang mubazir, maka perlu diperhatikan daftar ke 2, yaitu : DAFTAR POTONG BESI BETON.

CONTOH :

No	Dia. Ø	Banyaknya	Panjang m'	TAS BATANG		JUMLAH BATANG		KETERANGAN
				DIPAKAI BUAH	SISA	BATANG	SISA	
PONDASI TIEP 1								
a & b	19	58	1,34	8	1,28	7	7 x 1,28	
a & d	18	24	1,59	7	0,87	4	4 x 1,28	Dipakai pada II
PONDASI TIEP 2, 4 BUAH								
a & b	19	58	$1,34 + 1,34 = 3,00$	4	0,08	14	14 x 0,08	
b	18	16	1,34	8	1,28	2	2 x 1,28	72 - 56 = 16 bh kurang
c	18	24	1,89	6	0,68	4	4 x 0,87	
d	18	32	1,59	7	0,87	4	4 x 0,87	Tersedia 28 bh kurang 4 bh
e	18	4	1,59	4	0,87	4	1 x 0,87	
Jadi					Ø19 = 23 batang			
					Ø18 = 12 batang			
Bandingkan dengan Daftar Lengkung								

Ini contoh gambar batangan 12m :



Usahakan membuat kombinasi bagian-bagian a, b, c, dan seterusnya, sehingga bagian sisa sependek mungkin.

Gambar 3. 3 BBS Konvensional

(Sumber : RCF – 04 : Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/ Penulangan Beton, Halaman B 3 - 4, Departemen Pekerjaan Umum)

3.5.2 BBS Program Linier Simplex

1. Pengertian Program Linier

Program linear adalah suatu metode penentuan nilai optimum dari suatu persoalan linear. Nilai optimum yaitu maksimum atau minimum diperoleh dari nilai dalam suatu himpunan penyelesaian persoalan linear. Dengan kata lain, program linier merupakan metode yang digunakan untuk pemecahan permasalahan optimasi pengalokasian sumber daya dengan tujuan akhir menentukan nilai maksimum atau minimum. Dalam menentukan fungsi tujuan/fungsi objektif, terdapat beberapa variabel seperti variabel syarat, variabel batasan, dan variabel kendala.

2. Program Linier Metode Simplex

Metode *simplex* diperkenalkan pada tahun 1947 oleh George B. Dantzig dan telah diperbaiki oleh beberapa ahli lain. Metode *simplex* merupakan teknik penyelesaian permasalahan dalam program linier yang digunakan sebagai teknik pengambilan keputusan yang melibatkan banyak pembatas dan variabel lebih dari dua. Metode *simplex* didasari atas pengertian : solusi optimal dari permasalahan jika ada selalu ditemukan di salah satu solusi dasar. Dalam riset operasi, metode *simplex* merupakan penemuan besar yang dijadikan prosedur penyelesaian masalah di berbagai bidang. Secara khusus penulis memanfaatkan kemampuan analisis program linier *simplex* dalam hal optimasi kebutuhan tulangan.

a. Karakteristik dan syarat metode *simplex*

Syarat dalam menyelesaikan program linier metode *simplex* yaitu semua model permasalahan harus diubah terlebih dahulu ke bentuk baku atau *standard form* dari aturan program linier.

b. Sifat bentuk baku

Seperti yang telah diuraikan, terdapat 3 bagian dalam bentuk baku program linier. Sifat bentuk baku tersebut dapat diterjemahkan sebagai :

- 1) Semua batasan merupakan persamaan dan bernilai positif,
- 2) Semua variabel bernilai positif,
- 3) Fungsi tujuan merupakan bentuk matematis berupa minimasi atau maksimasi.

c. Bentuk baku metode *simplex*

Bentuk baku sebagai aturan dasar dalam penyelesaian masalah program linier terdiri beberapa bagian.

1) Fungsi tujuan

$$z(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = f(x) = \sum_1^n c_j x_j$$

$$z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + \dots c_n x_n$$

2) Fungsi batasan dan syarat

$$\sum_1^n a_{ij} x_j \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \end{pmatrix} b_1$$

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &\leq (=) \geq b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &\leq (=) \geq b_2 \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n &\leq (=) \geq b_m
 \end{aligned}$$

3) Variabel nonnegatif

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_j \geq 0$$

4) Keterangan :

z = fungsi tujuan

x_j = jenis kegiatan (variabel keputusan)

a_{ij} = kebutuhan sumber daya i untuk menghasilkan setiap unit kegiatan j

b_i = jumlah sumber daya i yang tersedia

c_j = kenaikan nilai z jika ada pertumbuhan satu unit kegiatan j

$a, b,$ dan c = parameter model

m = jumlah sumber daya yang tersedia

n = jumlah kegiatan

d. Tahapan penyelesaian metode *simplex*

1) Menentukan variabel keputusan, merumuskan kendala/batasan, menentukan syarat batasan.

Variabel keputusan merupakan bagian dari bentuk persamaan batasan (*slack variable*) yang mempunyai tanda $\leq, =,$ atau \geq .

2) Menentukan daerah penyelesaian dan membuat fungsi tujuan.

Daerah penyelesaian merupakan daerah keputusan dari kontribusi semua variabel dan batasan terkait dengan fungsi tujuan. Dengan adanya *slack variable* pada fungsi pembatas, maka fungsi tujuan harus terdapat unsur variabel keputusan. Variabel keputusan dapat berupa konstanta bernilai nol karena tidak secara langsung berpengaruh pada fungsi tujuan.

3) Menentukan fungsi optimasi dan mengartikan hasil yang diperoleh.

Optimasi dapat berupa maksimasi atau minimasi bergantung pada variabel keputusan dan bentuk persamaan batasan yang dibuat.

3. Metode *Simplex* di program *Microsoft Excel*

Metode *simplex* mempunyai bentuk yang fleksibel dimana variabel dan batasan yang berkontribusi dalam pengambilan keputusan dapat beragam (lebih dari dua variabel). Kemampuan iterasi yang didasari atas pengertian penyelesaian permasalahan optimasi jika ada selalu ditemukan di salah satu solusi dasar diterapkan pada aplikasi pengolah data yang sudah sangat familiar yaitu *Microsoft Excel*. Metode *simplex* pada aplikasi *Microsoft Excel* terdapat pada menu *Solver* yang diaktifkan secara manual pada menu *File – Options – Add ins – Solver Add-ins*.

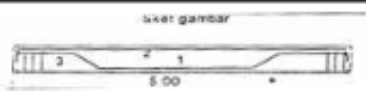

3.6 Bestaat

Bestaat adalah gambar rencana pemotongan dan pembengkokkan baja tulangan dari suatu komponen struktur beton bertulang. Bestaat dibuat berdasar perhitungan *Bar Bending Schedule* yang telah dilakukan sebelumnya. Pembuatan bestaat bermanfaat untuk : gambar kerja bagi tukang potong baja tulangan, menghitung kebutuhan baja tulangan, rencana pengadaan baja beton (waktu dan jenis). Sebagai gambar kerja, bestaat harus memenuhi syarat : ukuran dan bentuk pembengkokkan jelas dan mudah dibaca, pemasangan mudah dikerjakan, untuk detail – detail tertentu perlu digambarkan dalam bentuk 3 dimensi. Sebagai alat untuk menghitung kebutuhan tulangan, bestaat harus mengantisipasi panjang besi tulangan yang tersedia di pasaran dan memanfaatkan sisa potongan semaksimal mungkin.

3.6.1 Bestaat Konvensional

Bestaat konvensional biasanya dibuat menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* dan *Autocad* yang berisi tipe – tipe pemotongan tulangan per bentang balok. Data – data yang ditampilkan berupa gambar bengkokkan tulangan, tipe balok, diameter tulangan, panjang potongan tulangan, dan panjang bengkokkan. Pada bestaat konvensional terdapat keterangan untuk distribusi sisa potongan tulangan yang mana hal ini disesuaikan dengan BBS metode konvensional. Untuk lebih jelasnya bestaat metode konvensional dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

Contoh formulir bestaat :

BESTAAT PENULANGAN BETON										
PROYEK : GEDUNG										
Pekerjaan : Black BL 1-2CD				Gambar Referensi :						
Lokasi : Lantai 1				Tanggal :						
Skets Bengkokan	Kode	Ø	Panjang Pot.	Jumlah Potongan	Jumlah Sisa Batang	Panj. Sisa Pot.	Jml. Sisa Pot.	Sisa Dipakai di	Berat	Ket.
	1	25	520	60	30	170	30			
	2	22								
	3	25								

Gambar 3. 4 Bestaat Konvensional

(Sumber : RCF – 04 : Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/ Penulangan Beton, Halaman B 3 - 7, Departemen Pekerjaan Umum)

3.6.2 Bestaat Building Information Modeling (BIM)

1. Pengertian BIM

Nurchayadi (2017) menyatakan BIM merupakan seperangkat teknologi, proses, kebijakan yang seluruh prosesnya berjalan secara kolaborasi dan berintegrasi dalam sebuah model digital. Menurut Eastman, Teicholz, Sacks & Liston (2011) dalam bukunya yang berjudul *Handbook of BIM, Building Information Modeling* adalah satu atau beberapa model virtual gedung yang dibuat secara digital. Model ini mendukung seluruh fase desain, memungkinkan analisis dan kontrol yang lebih baik dari proses manual. Setelah selesai, model yang dibuat akan berisi geometri dan data akurat yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitas konstruksi pabrikan dan pengadaan dalam rangka merealisasikan gedung tersebut.

Building Information Modeling adalah teknologi digital yang mengacu pada model 3D yang digunakan untuk kepentingan *Architecture, Engineering, Construction* (AEC) dalam proses pengelolaan data, informasi, dan pengambilan keputusan untuk menghasilkan suatu bangunan. Bentuk awal BIM adalah desain virtual 3D yang memvisualisasikan informasi kompleks suatu bangunan yang berisi logika dan menyatakan hubungan spasial antara komponen bangunan. Informasi yang ditampilkan melalui BIM meliputi informasi geometri komponen bangunan,

pendetailan gambar/DED, kebutuhan material atau *bill of quantity*, *progress* kerja, penjadwalan, pengambilan keputusan untuk keperluan pengadaan sumber daya, dan biaya.

BIM dianggap lebih dari pemodelan 3D biasa, para pelaku konstruksi sepakat BIM merupakan teknologi masa depan di bidang konstruksi yang lebih dari sekadar sarana pelengkap dalam merealisasikan suatu bangunan. BIM tidak hanya berperan dalam pelaksanaan pra-konstruksi atau pada tahap perencanaan saja, BIM dipakai dalam kegiatan pelaksanaan atau tahap konstruksi sebagai sarana pengawasan dan monitoring sehingga mempermudah penilaian dan evaluasi pada suatu proses. Tidak hanya itu, BIM digunakan sebagai sarana koordinasi dan komunikasi oleh beberapa tim dengan *stakeholder* dalam kondisi yang lebih informatif dan transparan. Dalam konsep penerapan BIM terdapat beberapa istilah yang dipakai untuk merepresentasikan tingkatan penggunaan BIM yaitu bentuk 3D, 4D, 5D, 6D, dan 7D. “D” dalam hal ini adalah dimensi yang menggambarkan dalam setiap tingkatan memiliki makna dan tujuan yang berbeda. 3D merupakan obyek pemodelan parametrik pre-pabrikasi seperti model kondisi ekisting, logistik, dan pemodelan bangunan, 4D merupakan *scheduling* seperti simulasi tahapan proyek, urutan dan penjadwalan material, waktu pelaksanaan pekerjaan, dll, 5D merupakan *estimating* seperti perencanaan biaya, ekstrak kuantitas material untuk estimasi biaya, MEP, visualisasi, skenario kondisi ekisting lapangan, dll. 6D merupakan *sustainability* atau keberlanjutan berupa pertimbangan dampak lingkungan termasuk analisis energi dan deteksi konflik, 7D khusus membahas fasilitas manajemen. Konsep dasar BIM yang berupa kolaborasi memungkinkan semua pihak yang terkait dapat bertukar informasi antar bidang ilmu yang berbeda melalui visualisasi dari pemodelan 3D maupun tingkatan – tingkatan selanjutnya. Hal ini berpengaruh terhadap terjalannya koordinasi yang lebih efektif dan efisien sehingga dapat meminimasi kesalahan, mempercepat konstruksi, meminimasi pekerjaan ulang, serta dapat meminimasi produk limbah konstruksi. Pihak - pihak yang terkait dalam penerapan BIM pada kegiatan konstruksi antara lain : *Owner, General Contractor, Architect, Structure Engineer, Detailer, Mechanical Engineer,*

Fabricator, Site Manager, Erector, dan Facility Manager. Pihak yang terkait dalam BIM dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



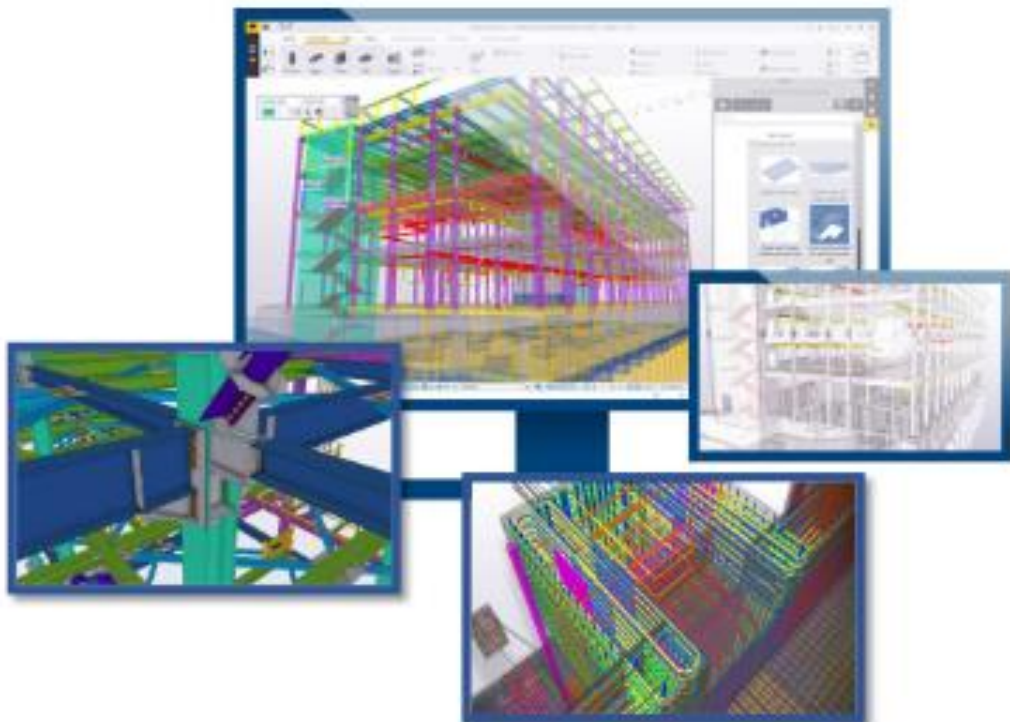
Gambar 3. 5 Pihak yang Terkait dalam Penerapan BIM

Lebih lanjut mengenai BIM dapat dimaknai sebagai suatu sistem, metode, serta proses yang diterapkan dalam kegiatan konstruksi yang berdasar kepada informasi kompleks komponen bangunan secara keseluruhan, yang divisualisasikan dalam bentuk awal berupa desain 3D.

2. *Tekla Structures*

Tidak semua pemodelan 3D bangunan dimaknai sebagai BIM. Misalnya pemodelan 3D tanpa atribut objek yang hanya berisi informasi visual. Pemodelan yang demikian tidak memungkinkan perubahan secara otomatis pada tampilan/data lain jika terjadi perubahan di suatu komponen. Kurangnya data dan fleksibilitas pada pemodelan 3D visual biasa tidak dapat dijadikan sebagai sarana fabrikasi, konstruksi, maupun pengadaan. *Tekla Structures* sebagai *Software BIM* memenuhi aspek pemodelan 3D berbasis kolaborasi yang mendukung kerja sama antar elemen pelaksana konstruksi melalui tingkatan - tingkatan dalam BIM. Pemodelan pada aplikasi dapat mencakup semua pekerjaan keseluruhan bangunan dari tahap desain, pra-konstruksi, konstruksi dan manajerial. *Tekla Structure* memfasilitasi pengerjaan setiap detail informasi penting dalam pekerjaan konstruksi secara

keseluruhan seperti pemodelan, desain struktur, pendetailan, volume pekerjaan, kebutuhan material, sampai tahap manajemen seperti *scheduling*. Fasilitas yang disediakan *Tekla Structure* dapat dijadikan sebagai sarana pengolahan data yang merepresentasikan keseluruhan komponen bangunan secara rinci dan akurat dalam bentuk 3D. Selanjutnya logika informasi yang tersedia dapat digunakan sebagai dasar manajerial dalam evaluasi maupun pengambilan keputusan. *Tekla Structure* sendiri sebagai *software* BIM bersifat fleksibel terhadap perubahan – perubahan yang bisa terjadi selama kegiatan konstruksi berlangsung. Perubahan pada model desain bisa diupdate secara otomatis bersamaan dengan rincian informasi di dalamnya sehingga membutuhkan waktu tidak lama. Hal ini akan memberikan waktu singkat dalam revisi dan menghindari kesalahan ataupun pengulangan pekerjaan sehingga akan menghasilkan manajemen proyek yang efisien. Pengaplikasian BIM *Tekla Structure* secara tepat dapat memberikan dampak langsung kepada proyek seperti mempercepat proses konstruksi, penghematan biaya, peningkatan mutu, dan penghematan sumber daya khususnya SDM. Pemodelan 3D *Tekla Structures* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Pemodelan 3D *Tekla Structures*

Tekla Structure memberikan data yang akurat dan rinci dalam bentuk awal 3D yang informatif sehingga dapat digunakan secara kolaboratif oleh kontraktor, *Structural Engineers, Steel Detailers and Fabricators, Precast and Cast-in-Place Concrete Contractors, Detailers and Manufacturers, Educational Institutions, dan Application Developers*. Sebagai sarana kolaboratif, *Tekla Structure* mendukung format 3D dari berbagai *software* pemodelan maupun *software* pengolah angka seperti : IFC, CIS/2, SDNF, DSTV, DWG, DXF, DGN, xml, dll sehingga pertukaran informasi dalam hal kolaborasi antar pelaku konstruksi seperti AEC (*Architect, Engineering, Construction*) dapat bersinergi dan terintergrasi dalam satu pemodelan secara *real-time*. Logo resmi *Tekla Structures* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Logo Tekla Structures

Dalam penelitian penulis, *Tekla Structure* dikombinasikan dengan program linier metode *simplex* untuk optimasi kebutuhan tulangan, pemodelan 3D, dan pendetailan bestaat pada komponen balok. Penulis secara khusus memanfaatkan ketersediaan layanan tingkatan BIM pada aplikasi yaitu model 3D dan 5D dalam rangka pencegahan dan pengurangan (*prevention & reduction*) produk sisa material besi tulangan. Dengan optimasi kebutuhan tulangan balok menggunakan program linier *simplex* dan dibantu peran *Tekla Structures* sebagai BIM diharapkan data BBS dan bestaat sebagai hasil akhir akan lebih informatif, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan.

3.7 Penerapan Standar Peraturan

Proyek konstruksi memiliki standar mutu, standar pelaksanaan, dan peraturan pengawasan agar proyek dapat berjalan sesuai rencana. Berikut merupakan standar peraturan yang bisa dipakai untuk mendukung penelitian penulis :

1. Standard Industri Indonesia (SII),

2. American Society of Testing Material (ASTM),
3. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971,
4. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Untuk Gedung (PPTGUG, 1983),
5. Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2014),
6. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (RSNI2 2847:201x),
7. RCF – 04 Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/ Penulangan Beton (Departemen Pekerjaan Umum, 2006),
8. Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4 (Kementerian PUPR, 2016),
9. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, (SNI 03-284, 2002),
10. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia (Permenakertrans, 2010).

3.8 Standar Perencanaan dan Pelaksanaan Penulangan

Pekerjaan-pekerjaan pada proyek konstruksi harus dilaksanakan sesuai dengan standar yang telah ditentukan agar dapat mencapai hasil yang maksimal. Standar perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan proyek konstruksi juga terdapat dalam RKS (Rencana Kerja dan Syarat). Berikut adalah adalah persyaratan yang menjadi standar dalam pekerjaan penulangan.

3.8.1 Baja Tulangan Beton

Dalam struktur konstruksi, ada dua jenis baja tulangan yang dipakai berdasarkan bentuknya yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan sirip.

1. Baja tulangan beton polos

Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip disingkat BjTP. aja beton polos / plain, umumnya dipasaran berukuran mulai diameter 6 mm s/d 25 mm dengan mutu BJTP 24 (U 24) dan BJTP 32 (U 32). Baja beton jenis ini sesuai rekomendasi ACI lebih cocok untuk dipakai sebagai tulangan plat

beton, angker, sambungan pada perkerasan jalan, sengkang dan spiral kolom. Spesifikasi BJTP dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

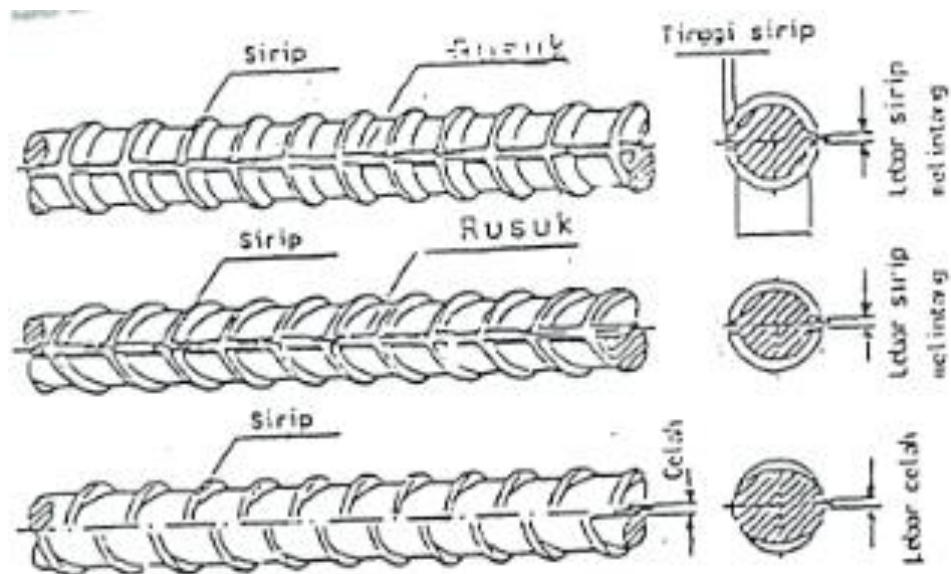
No	Penamaan	Diameter nominal (mm)	Luas Penampang nominal (cm ²)	Berat nominal (kg/m)
1	P6	6	28,27	0,222
2	P8	8	50,27	0,395
3	P10	10	78,54	0,617
4	P12	12	113,1	0,888
5	P14	14	153,9	1,21
6	P16	16	201,1	1,58
7	P19	19	283,5	2,23
8	P22	22	380,1	2,98
9	P25	25	490,9	3,85
10	P28	28	615,8	4,83
11	P32	32	804,2	6,31

2. Baja tulangan beton sirip

Baja tulangan beton sirip adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus, yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksud untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerak-an membujur dari batang secara relative terhadap beton, disingkat BjTS/ BjTD. Baja beton deform/ulir, umumnya berukuran diameter 10 mm s/d 38 mm dengan mutu BjTP 40 (U39) keatas. Baja beton ulir merupakan jenis baja beton yang direkomendasikan untuk tulangan pokok suatu struktur beton. Spesifikasi BJTS diantaranya yaitu :

- a. Permukaan batang baja tulangan beton sirip harus bersirip teratur. Setiap batang diperkenankan mempunyai rusuk memanjang yang searah dan sejajar dengan sumbu batang, serta sirip-sirip lain dengan arah melintang sumbu batang,
- b. Sirip-sirip melintang sepanjang batang baja tulangan beton harus terletak pada jarak yang teratur, serta mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Bila diperlukan tanda angka-angka atau huruf - huruf pada permukaan baja tulangan beton, maka sirip melintang pada posisi dimana angka atau huruf diletakkan dapat ditiadakan,

- c. Sirip melintang tidak boleh membentuk sudut kurang dari 45° terhadap sumbu batang, apabila membentuk sudut antara 45° sampai 70° , arah yang berlawanan tidak diperlukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Baja Tulangan Beton Sirip (BJTS)

(Sumber : Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4 2016, Halaman 15, Kementerian PUPR)

Spesifikasi BJTS untuk tiap diameter sudah ditabelkan untuk mempermudah dalam pengecekan yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip

No	Penamaan	Diameter nominal (mm)	Luas penampang nominal cm ²	Diameter Dalam (mm) mm	Tinggi sirip		Jarak sirip maks mm	Lebar rusuk maks mm	Berat nominal kg/m
					Min mm	Maks mm			
1	s6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	s8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	s10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	s13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	s16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	1,58
6	s19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	s22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	s25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7	3,85
9	s29	29	6,605	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	s32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	s36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	s40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	s50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	35,0	39,3	15,4

3.8.2 Pembengkokkan dan Kait Tulangan

1. Perencanaan

a. Syarat perpanjangan dan kait tulangan sirip

Untuk syarat penyaluran dan kait tulangan batang sirip dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.

Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

^[1] Kait standar untuk batang ulir pada kondisi tarik termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

Gambar 3. 9 Geometri Kait Standar untuk Perpanjangan Batang Sirip

(Sumber : RSN2 2847:201x Pasal 25.3.1)

b. Syarat perpanjangan dan kait tulangan polos

Untuk syarat pembengkokkan tulangan polos dapat dilihat pada Gambar 3.10

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

^[1] Kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengeang termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

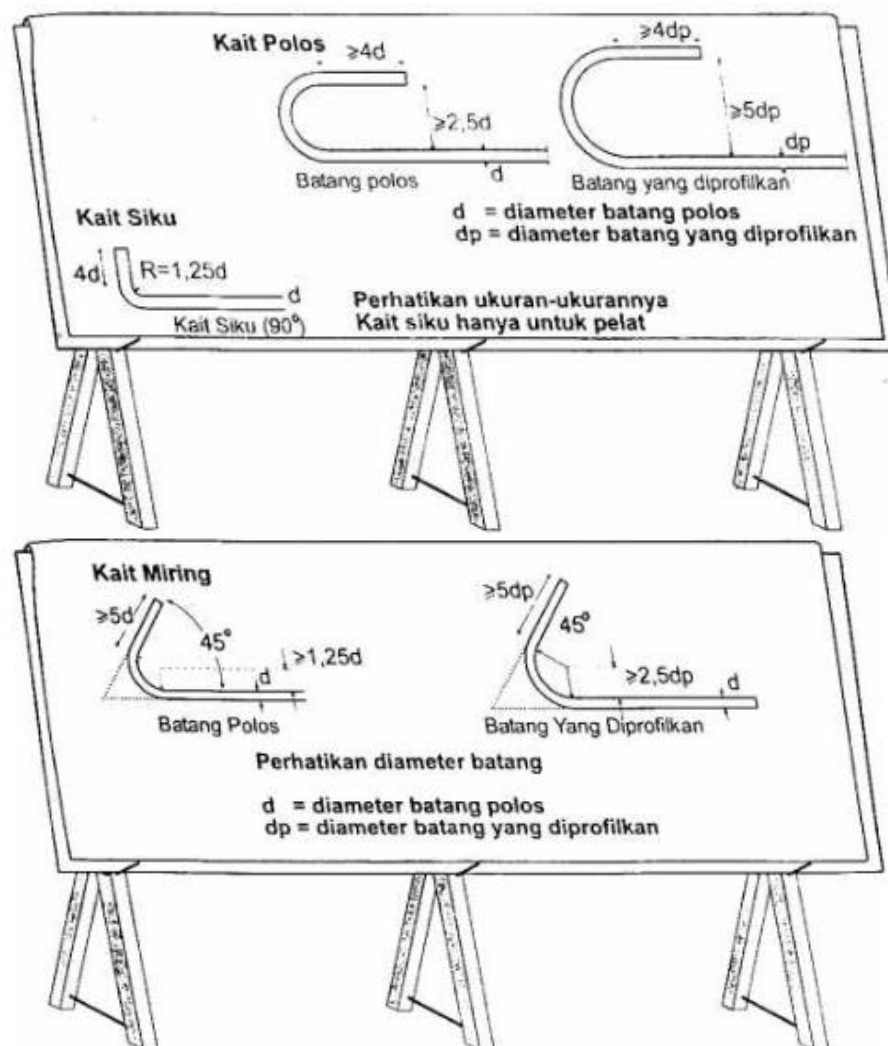
Gambar 3. 10 Geometri Kait Standar untuk Perpanjangan Batang Polos

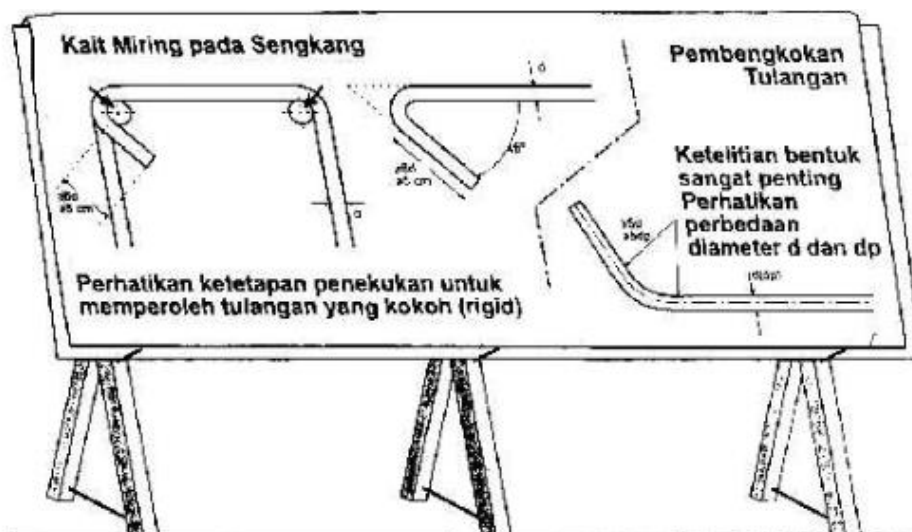
(Sumber : RSN2 2847:201x Pasal 25.3.2)

2. Pelaksanaan

- a. Batang tulangan tidak boleh dibengkok atau diluruskan dengan cara-cara yang merusak tulangan,
- b. Batang tulangan yang diprolkan, setelah dibengkok dan diluruskan kembali tidak boleh dibengkok lagi dalam jarak 60 cm dari bengkokkan sebelumnya,
- c. Batang tulangan yang tertanam sebagian di dalam beton tidak boleh dibengkok atau diluruskan di lapangan, kecuali apabila ditentukan di dalam gambar-gambar rencana atau disetujui oleh perencana,
- d. Membengkok dan meluruskan batang tulangan harus dilakukan dalam keadaan dingin, kecuali apabila pemanasan diijinkan oleh perencana,
- e. Apabila pemanasan diijinkan batang tulangan dari baja lunak (polos atau diprolkan) dapat dipanaskan sampai kelihatan merah padam tetapi tidak boleh mencapai suhu lebih dari 850°C,
- f. Apabila batang tulangan dari baja lunak yang mengalami pengerjaan dingin dalam pelaksanaan ternyata mengalami pemanasan diatas 100°C yang bukan pada waktu di las, maka dalam perhitungan-perhitungan sebagai kekuatan baja harus diambil kekuatan baja tersebut yang tidak mengalami pengerjaan dingin,
- g. Batang tulangan dari baja keras tidak boleh dipanaskan, kecuali apabila diijinkan oleh perencana,
- h. Batang tulangan yang dibengkok dengan pemanasan tidak boleh didinginkan dengan jalan disiram dengan air,
- i. Menyepuh batang tulangan dengan seng tidak boleh dilakukan dalam jarak 8 kali diameter (diameter pengenal) batang dari setiap bagian dari bengkokkan.
- j. Kait harus berupa kait penuh seperti ditunjukkan dalam gambar 3.4, atau kait miring seperti ditunjukkan dalam gambar 3.4 dengan memperhatikan ketentuan (k). Kait siku hanya diperbolehkan untuk tulangan pelat.

- k. Kait-kait sengkang harus berupa kait miring, yang melingkari batang-batang sudut dan mempunyai bagian yang lurus paling sedikit 6 kali diameter batang dengan minimum 5 cm,
- l. Bengkokkan harus mempunyai diameter intern sebesar paling sedikit 5 d atau 5 dp seperti ditunjukkan dalam gambar, dimana d adalah diameter batang polos dan dp adalah diameter pengenal batang yang diprofilkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 di bawah.





Gambar 3. 11 Syarat Kait dan Bengkokkan

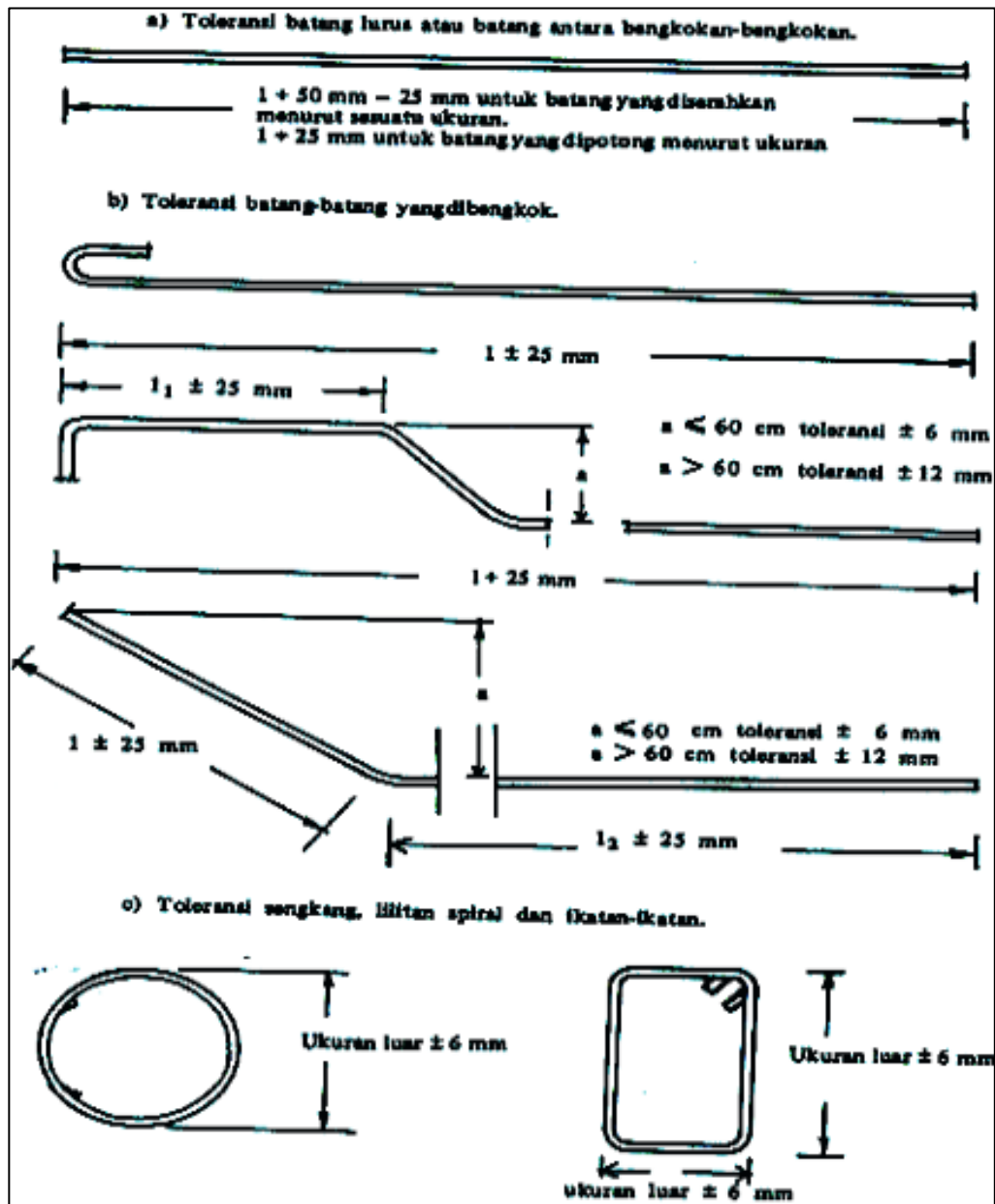
(Sumber : RCF-04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Penulangan Beton, Halaman A2-4, Kementerian PUPR)

3. Toleransi pada Pembengkokkan dan Kait Tulangan

Batang tulangan harus dipotong dan dibengkok sesuai dengan yang ditunjukkan dalam gambar-gambar rencana dengan toleransi-toleransi yang disyaratkan oleh perencana. Apabila tidak ditetapkan oleh perencana, pada pemotongan dan pembengkokkan tulangan ditetapkan toleransi-toleransi seperti tercantum dalam ketentuan - ketentuan berikut:

- a. Terhadap panjang total batang lurus yang dipotong menurut ukuran dan terhadap panjang total dan ukuran intern dari batang yang dibengkok ditetapkan toleransi sebesar ± 25 mm, kecuali mengenai yang ditetapkan dalam ketentuan (2) dan (3). Terhadap panjang total batang yang diserahkan menurut sesuatu ukuran ditetapkan toleransi sebesar +50 mm dan -25 mm,
- b. Terhadap jarak turun total dari batang yang dibengkok ditetapkan toleransi sebesar ± 6 mm untuk jarak 60 cm atau kurang dan sebesar ± 12 mm untuk jarak lebih dari 60 cm,
- c. Terhadap ukuran luar dari sengkang, lilitan dan ikatan-ikatan ditetapkan toleransi sebesar ± 6 mm.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3. 12 Toleransi Pembengkokkan dan Kait Tulangan

(Sumber : Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4 2016, Halaman 11, Kementerian PUPR)

3.8.3 Sambungan Tulangan/Panjang Lewatan

1. Perencanaan

Besarnya panjang sambungan bergantung pada perhitungan yang dilakukan ahli teknik dengan memperhatikan faktor – faktor antara lain :

- Tulang yang disambung merupakan tulang tarik atau tulang tekan,
- Ujung batang memakai kait atau tidak,

- Penggunaan tulangan di bagian konstruksi apa,
 - Mutu beton (kelas beton),
 - Macam batang / tulangan : polos atau diprofilkan
- a. Penyaluran tulangan kondisi tekan (ℓ_{dc})

Untuk syarat penyaluran daerah terkekang pada kondisi tekan dapat dilihat pada Gambar 3.13

25.4.9.1 Panjang penyaluran ℓ_{dc} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus yang terbesar dari a) dan b)
 a) Panjang yang dihitung berdasarkan 25.4.9.2
 b) 200 mm

Tabel 25.4.9.3 – Faktor modifikasi batang ulir dan kawat dalam kondisi tekan

Faktor modifikasi	Kondisi	Nilai
Bobot beton λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, apabila f_c disyaratkan	Sesuai pada 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Tulangan pengekang Ψ_c	Tulangan dilingkupi oleh (1), (2), (3), atau (4): (1) tulangan spiral (2) tulangan lingkaran menerus dengan $d_s \geq 6$ mm dan jarak 100 mm (3) Sengkang D13 atau pengikat kawat D10, yang sesuai 25.7.2 dengan spasi pusatnya ≤ 100 mm (4) Sengkang pengekang, yang sesuai 25.7.4 dengan spasinya ≤ 100 mm	0,75
	Lainnya	1,0

© BSN 201X

542 dai

STANDAR

25.4.9.2 Nilai ℓ_{dc} harus yang terbesar dari dan b), menggunakan faktor modifikasi sesuai dengan 25.4.9.3:

a) $\left(\frac{0,24 f_y \Psi_c}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_s$
 b) $0,043 f_y \Psi_c d_s$

Gambar 3. 13 Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan (ℓ_{dc})

(Sumber : RSNi2 2847:201x Pasal 25.4.9.1 dan Pasal 25.4.9.3)

b. Penyaluran tulangan kondisi tekan (ℓ_{dt})

Untuk syarat penyaluran daerah terkekang pada kondisi tarik dapat dilihat pada Gambar 3.14

25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik ℓ_{dt} batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar harus diambil terbesar dari a) hingga c):

a) $\left(\frac{0,24 f_x \Psi_c \Psi_s \Psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_s$ dengan Ψ_c, Ψ_s, Ψ_r dan

© BSN 201X

530

STANDAR

λ diberikan pada 25.4.3.2

- b) $8d_b$
- c) 150 mm

Tabel 25.4.2.4 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi Ψ_c	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_s$ atau spasi kurang dari $6d_s$	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Ukuran Ψ_s	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi pengecoran Ψ_r	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	lainnya	1,0

^[1] Hasil dari Ψ_c, Ψ_s tidak boleh melebihi 1,7

Gambar 3. 14 Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tarik (ℓ_{dt})

(Sumber : RSN12 2847:201x Pasal 25.4.3.1 dan Pasal 25.4.2.4)

c. Faktor modifikasi pengangkuran

Untuk standar faktor modifikasi pengangkuran dapat dilihat pada Gambar 3.15

STANDAR

Untuk angkur yang terletak di daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan retak pada tingkat beban layan, faktor modifikasi berikut diizinkan:

$\Psi_{c,v} = 1,0$ untuk angkur pada beton retak tanpa tulangan tambahan atau dengan tulangan tepi yang lebih kecil dari batang tulangan S13;

$\Psi_{c,v} = 1,2$ untuk angkur pada beton retak dengan tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih besar antara angkur dan tepi; dan

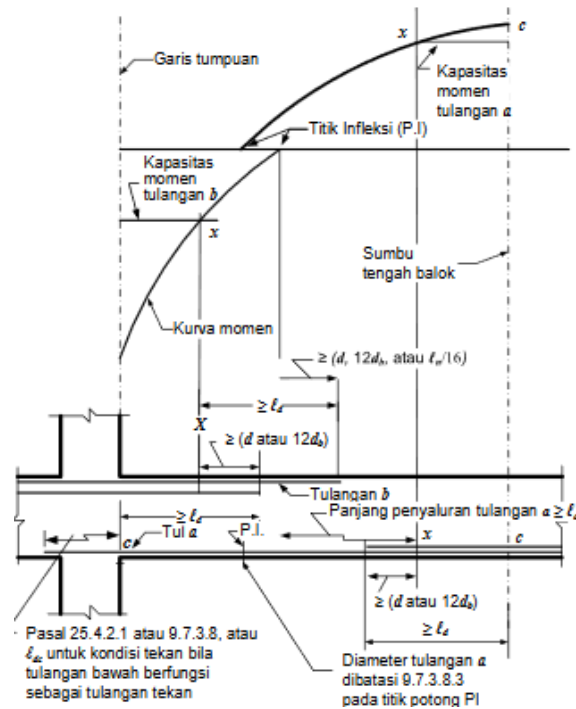
$\Psi_{c,v} = 1,4$ untuk angkur pada beton retak dengan tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih besar antara angkur dan tepi, dan dengan tulangan yang dilindungi dengan sengkang dengan spasi tidak lebih dari 100 mm.

Gambar 3. 15 Faktor Modifikasi Pengangkuran

(Sumber : RSN12 2847:201x Pasal 17.5.2.7)

d. Syarat penyaluran tulangan menerus pada balok

Syarat penyaluran tulangan menerus pada balok yang satu tipe yaitu harus lebih dari ℓ_{dc} . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.16



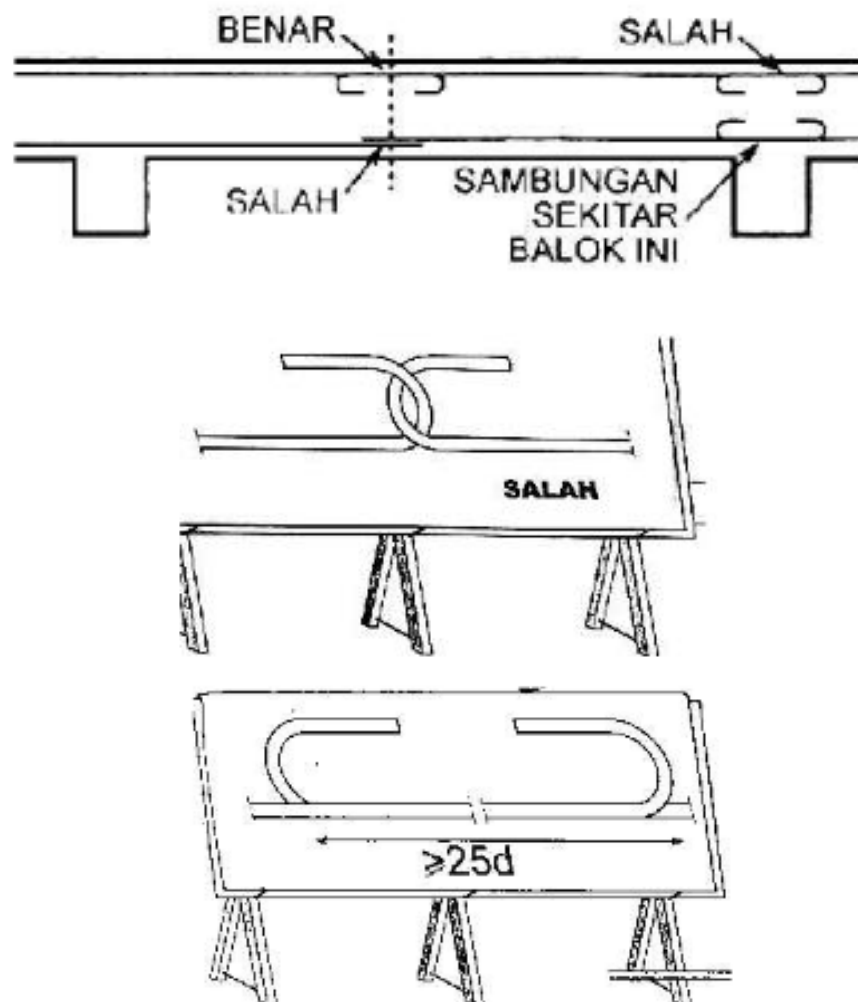
Gambar 3. 16 Penyaluran Tulangan Menerus pada Balok Tipikal

(Sumber : RSN12 2847:201x Gambar R9.7.3.2)

2. Pelaksanaan

Kegiatan penyambungan tulangan sangat sering dilakukan di lapangan, hal ini karena untuk membuat suatu komponen struktur bangunan misalnya pada pelat maupun balok yang panjang besi tulangan yang tersedia tidak cukup panjang sehingga harus disambung. Penentuan letak penyambungan besi tulangan tidak boleh ditentukan menurut kehendak sendiri. Penyambungan tulangan tidak boleh dilakukan di daerah pertemuan kolom dan balok (*joint*) karena daerah tersebut merupakan daerah kritis. Selain itu penyambungan pada tengah bentang balok sebaiknya dihindari karena pada daerah tersebut umumnya terjadi momen maksimum. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.17 berikut.

LETAK SAMBUNGAN BALOK



Gambar 3. 17 Peletakkan Sambungan Lewatan Tulangan

(Sumber : Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4 2016, Halaman 20, Kementerian PUPR)

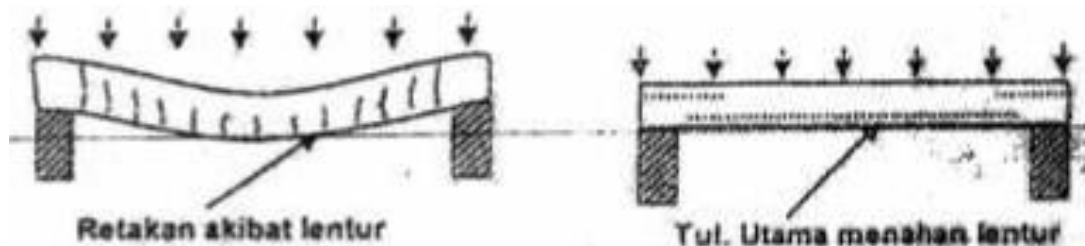
3.8.4 Jenis Tulangan Beton

Tulangan beton umumnya terdiri tulangan pokok (memanjang) dan tulangan pengikat/sengkang (*beugel*). Selain tulangan tersebut ada juga beberapa macam tulangan tambahan misalnya tulangan susut, tulangan pembagi, tulangan retak dan tulangan miring. Namun tulangan tersebut tidak dibahas lebih lanjut.

1. Tulangan Pokok

Pada kolom dan balok yang paling mempengaruhi kuat tariknya adalah luas permukaan baja yang dipakai, bukan jarak, tetapi tetap harus

diperhitungkan terhadap lebar retak. Kondisi dimana jarak tulangan terlalu rapat (kurang dari 4 cm), maka 2 (dua) atau lebih tulangan dapat dirapatkan sehingga campuran beton dapat diisikan. Pada kolom dan balok, baik baja polos maupun ulir, diameter minimum tulangan pokok adalah 12 mm. Tulangan pokok dalam struktur berfungsi untuk menahan gaya tarik yang diakibatkan oleh momen lentur, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.18 berikut.

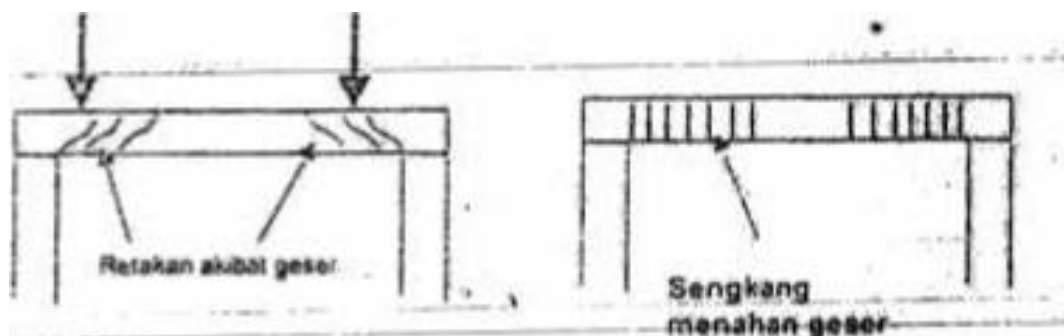


Gambar 3. 18 Fungsi Tulangan Utama

(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman B4-1, Kementerian PUPR)

2. Tulangan Senggang

Faktor yang mempengaruhi kekuatan sengkang pada komponen struktur adalah diameter dan jarak antar sengkang. Tulangan sengkang berfungsi menahan gaya geser yang diakibatkan gaya lintang atau gaya puntir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.19 berikut.



Gambar 3. 19 Fungsi Tulangan Senggang

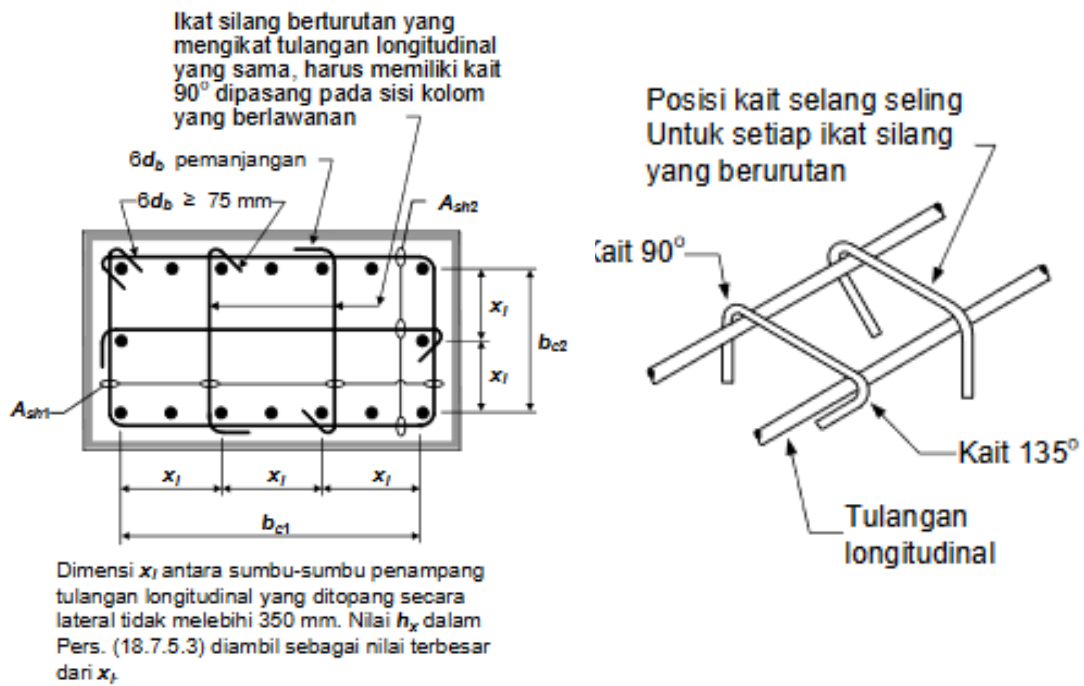
(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman B4-1, Kementerian PUPR)

Syarat pemasangan sengkang :

- a. Sengkang tertutup dan sengkang tegak harus memakai kait 135° pada kedua ujung tulangan,

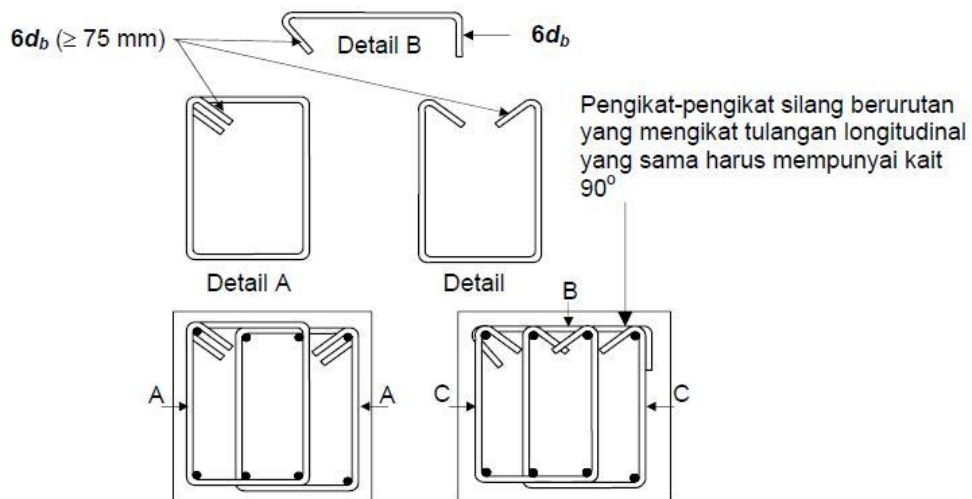
- b. Senggang sepihak menggunakan kombinasi kait 90° dan kait 135° yang dipasang selang – seling.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.20, Gambar 3.21 dan Gambar 3.22 berikut.



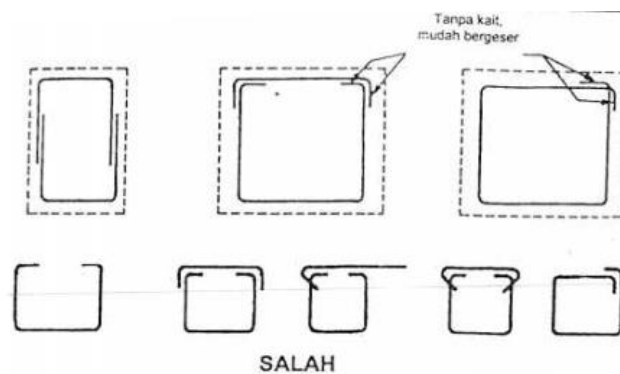
Gambar 3. 20 Syarat Pemasangan Kaki Senggang

(Sumber : RSN12 2847:201x Gambar R18.7.5.2 dan Gambar R25.3.5)



Gambar 3. 21 Pemasangan Senggang Tertutup dan Senggang Tegak

(Sumber : Pasal 23 SNI 03-2847-2002)



Gambar 3. 22 Contoh Pemasangan Sengkang yang Salah

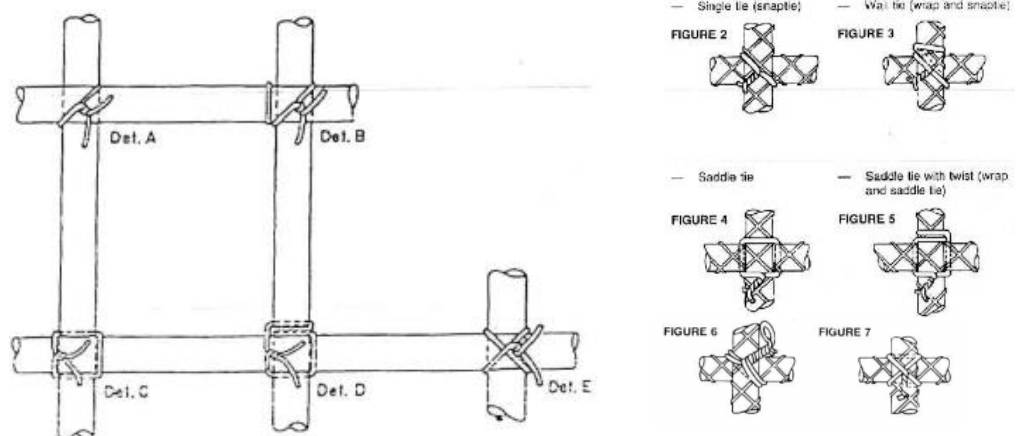
(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman B4-4, Kementerian PUPR)

3.8.5 Pemasangan Tulangan

1. Pelaksanaan
 - a. Tulangan harus bebas dari kotoran, lemak, kulit giling dan karat lepas serta bahan-bahan lain yang mengurangi daya lekat,
 - b. Tulangan harus dipasang sedemikian rupa hingga sebelum dan selama pengecoran tidak berubah tempatnya,
 - c. Perhatian khusus perlu dicurahkan terhadap ketepatan tebal penutup beton. Untuk itu tulangan harus dipasang dengan penahan jarak yang terbuat dari beton dengan mutu paling sedikit sama dengan mutu beton yang akan dicor. Penahan-penahan jarak dapat berbentuk blok-blok persegi atau gelang-gelang yang harus dipasang sebanyak minimum 4 buah setiap m² cetakan atau lantai kerja. Penahan-penahan jarak ini harus tersebar merata,
 - d. Pada pelat-pelat dengan tulangan rangkap, tulangan atas harus ditunjang pada tulangan bawah oleh batang-batang penunjang atau ditunjang langsung pada cetakan bawah atau lantai kerja oleh blok-blok beton yang tinggi. Perhatian khusus perlu dicurahkan terhadap ketepatan letak dari tulangan-tulangan pelat yang dibengkok yang harus melintasi tulangan balok yang berbatasan,
 - e. Pengikatan baja tulangan
Beberapa bentuk dan cara pengikatan anyaman baja tulangan antara lain:

- 1) Silang cocok untuk menghubungkan batang-batang bersilangan pada plat lantai dll,
- 2) Lingkaran dan silang, sama dengan A, tetapi untuk diameter yang lebih besar,
- 3) Sadel/pelana, digunakan untuk menghubungkan sengkang – sengkang dengan tulangan sudut pada balok atau kolom,
- 4) Lingkaran dan sadel. Sama dengan D, tetapi untuk diameter tulangan yang lebih besar,
- 5) Silang ganda untuk ikatan extra kuat.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.23 berikut.



Gambar 3. 23 Pengikatan Tulangan

(Sumber : Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4 2016, Halaman 41, Kementerian PUPR)

2. Toleransi pada Pemasangan Tulangan

Batang tulangan harus dipasang pada tempatnya sesuai dengan yang ditentukan dalam gambar-gambar rencana. Apabila tidak ditetapkan lain oleh perencana pada pemasangan tulangan ditetapkan toleransi-toleransi seperti tercantum dalam ketentuan berikut :

- a. Terhadap kedudukan diarah ukuran konstruksi yang terkecil ditetapkan toleransi sebesar ± 6 mm untuk ukuran 60 cm atau kurang dan sebesar ± 12 mm untuk ukuran lebih dari 60 cm,
- b. Terhadap kedudukan bengkokkan diarah memanjang ditetapkan toleransi sebesar ± 50 mm, kecuali pada bengkokkan akhir,

- c. Terhadap kedudukan bengkokan akhir dari batang ditetapkan toleransi sebesar ± 25 mm, dengan syarat tambahan bahwa tebal penutup beton diujung batang memenuhi yang disyaratkan,
- d. Terhadap kedudukan batang-batang tulangan pelat dan dinding ditetapkan toleransi di dalam bidang tulangan sebesar ± 50 mm,
- e. Terhadap kedudukan dari sengkang-sengkang, lilitan-lilitan spiral dan ikatan-ikatan lainnya ditetapkan toleransi sebesar ± 25 mm,
- f. Apabila pipa-pipa atau benda-benda lain direncanakan menembus beton atau di tanam di dalam beton, maka tulangan tidak boleh dipotong dan tidak boleh digeser tempatnya lebih jauh dari pada toleransi-toleransi yang ditentukan dalam ketentuan (a) s/d (d).

3.8.6 Standar Mutu Pekerjaan Penulangan

Pengendalian mutu pekerjaan dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pelaksanaan telah memenuhi standar yang telah ditentukan. Pengendalian mutu merupakan kegiatan dengan melakukan tindakan-tindakan berupa testing, pengukuran, dan pemeriksaan mulai dari material, pemasangan dan hasil kerja yang dinilai berdasarkan standar RKS (Rencana Kerja dan Syarat). Metode yang dapat dilakukan dalam pengawasan mutu pekerjaan anatara lain sebagai berikut :

1. Mengawasi langsung pelaksanaan pekerjaan secara visual,
2. Melakukan inspeksi secara langsung di lapangan,
3. Melakukan kontrol dengan hitungan,
4. Melakukan pengujian di laboratorium atau di lapangan,
5. Membandingkan perencanaan dengan kejadian aktual di lapangan,
6. Mengevaluasi proses tahapan pelaksanaan,
7. Mengambil tindakan atas fenomena dan temuan yang terjadi.

Kontrol kualitas mutu untuk material konstruksi dibedakan menjadi dua hal yaitu sebelum penerimaan material dan sesudah penerimaan material. Diterimanya material dari pihak pemasok bukan berarti rangkaian persediaan material telah selesai. Pengecekan terhadap material yang diterima sangat penting dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memastikan material yang datang sesuai dengan jumlah

pesanan dan sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Apabila terdapat pesanan yang tidak sesuai atas suatu hal, bagian akuntansi dan administrasi tidak memberikan izin pembayaran atas pengiriman sampai permasalahan telah dikoordinasikan dengan baik dengan pihak pemasok. Sesudah penerimaan material, standar mutu sepenuhnya menjadi tanggung jawab pihak pelaksana yang mana hal ini berkaitan dengan teknis lapangan seperti penyimpanan material, penyaluran material, dan monitoring pekerjaan di lokasi proyek. Kegiatan kontrol kualitas mutu untuk material besi tulangan akan dijabarkan lebih lanjut sebagai berikut :

4. Penerimaan baja tulangan

- a. Periksa, apakah jumlah dan diameternya sesuai dengan faktur,
- b. Periksa juga jenis, mutu dan panjangnya apakah sesuai dengan yang dipesan,
- c. Periksa apakah dilengkapi sertikat atau tanda uji laboratoriumnya. Apabila belum ada segera minta kepada pemasok,
- d. Periksa secara visual, apakah terjadi korosi atau pengelupasan dan sebagainya,
- e. Periksa kelurusan dan keseragaman ukuran, karena produk tertentu kadang-kadang memiliki ukuran yang berbeda antara ujung dan tengahnya.

5. Penyimpanan baja tulangan

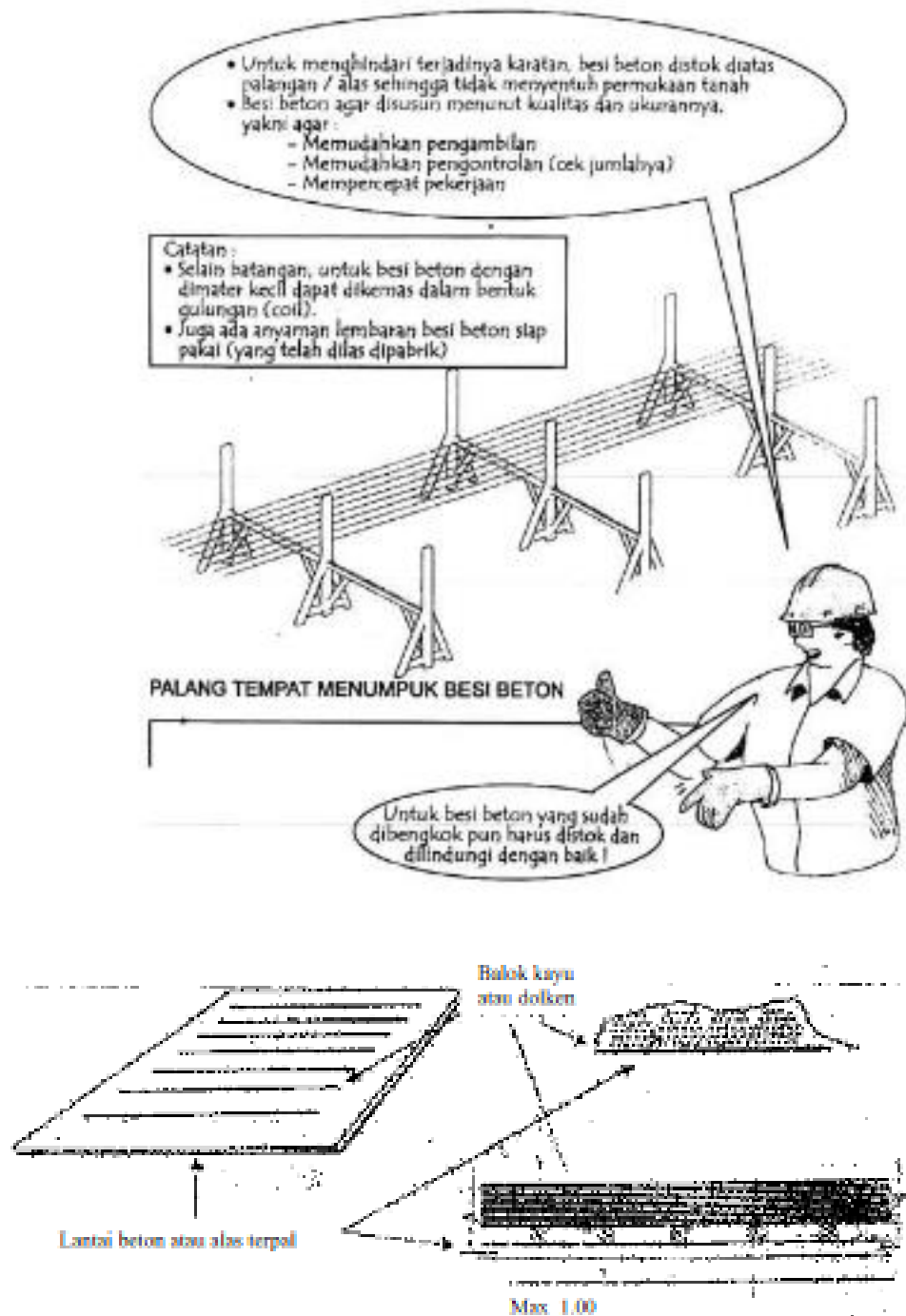
Tujuan penyimpanan baja tulangan yang baik antara lain : mencegah terjadinya korosi, memudahkan pengambilan, memudahkan perhitungan *stock*/persediaan, mempercepat pekerjaan. Penyimpanan material baja tulangan di lokasi proyek terdiri dari beberapa bagian yaitu gudang penyimpanan material, *workshop* pembesian, dan tempat pelaksanaan pekerjaan.

a. Gudang penyimpanan material

- 1) Apabila merupakan gudang terbuka, maka perlu diberi pembatas atau semacam pagar agar tidak tercampur dengan bahan / material yang lain.,

- 2) Penyimpanan besi beton harus bebas dari tanah (diatas balok /palang atas yang sejenis),
- 3) Per diameter disimpan terpisah,
- 4) Hindarkan kelamaan waktu penyimpanan yang tidak perlu (jangan terlalu banyak memesan),
- 5) Sisa dan apkiran material ditempatkan pada ruangan terpisah,
- 6) Tempat penyimpanan diberi lantai / floor dengan beton tumbuk dan diberi peletakan dari balok-balok kayu bulat diameter 15 cm. Alternatif lain adalah setelah permukaan tanah diratakan dan dipadatkan, dialas terpal kemudian diberi perletakan kayu dengan jarak maksimum 1.00 m. Lokasi harus ditempat yang mudah dikunjungi,
- 7) Sedapat mungkin untuk tulangan dengan diameter besar (lebih dari 16 mm) disimpan dalam kondisi lonjoran lurus (12 meter),
- 8) Penyimpanan dipisahkan sesuai dengan diameternya, dan diikat tiap jumlah tertentu (misalnya 10 batang) sehingga memudahkan pengambilan dan penghitungannya,
- 9) Apabila disimpan dialam terbuka, apalagi dekat laut / daerah pantai, maka tumpukan baja beton harus ditutup terpal,
- 10) Beri tanda / tanggal kedatangan tiap baja beton agar pengambilannya bisa diutamakan yang datang lebih awal.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.24 berikut



Gambar 3. 24 Penyimpanan Besi Tulangan

(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman A1-3, Kementerian PUPR)

b. *Workshop* pembesian

Workshop pembesian merupakan tempat kerja tukang pembesian dimana diletakkan peralatan-peralatan baik mekanis maupun manual berupa mesin pembengkok besi (barbender), mesin pemotong

besi (barCutter) dan alat-alat bantu lainnya. Yang perlu diperhatikan adalah komposisi alat dan luasnya ruangan sehingga dapat diperkirakan berapa tukang dan pekerja yang dapat masuk disitu. Kemudian perlu dilihat mengenai kemudahan transport material dari dan ke *workshop*. Transport dari *workshop* ke site pekerjaan, bisa berupa alat angkut biasa (dump truck / truck) atau pada proyek *high rise building* tentunya harus memakai *tower crane*.

c. Area pelaksanaan pekerjaan atau *site construction work*

Area pelaksanaan pekerjaan juga harus ditinjau terhadap kemudahan transport material dan secara berkala sebelum melakukan penyetelan besi beton maka harus dilihat kesiapan dari pekerjaan bekisting dan *form work* (perancah). Aspek keamanan dan kesehatan lingkungan (K3) pada area pelaksanaan pekerjaan dimana tempat tersebut harus betul-betul sudah kuat menahan beban dari besi beton itu sendiri maupun tukang dan pekerja yang bekerja di atasnya.

3. Pengajuan dan persiapan bahan

Sesuai dengan rencana kerja harian dan mingguan, mandor beserta pelaksana kontraktor mencantumkan rencana volume pekerjaan pembesian perharinya. Adapun urutan pembuatan rencana kerja harian dan mingguan adalah sebagai berikut :

- a. Dari gambar kerja pembesian pada lokasi pekerjaan tertentu, dibuat daftar pembengkokkan besi atau *Bar Bending Schedule*,
- b. Dari daftar pembengkokkan besi dapat dibuat daftar pemotongan besi,
- c. Dari kedua daftar tersebut dengan melihat gambar kerja pembesian, maka akanbisa dihitung volume pembesian pada lokasi tertentu,
- d. Hasil dari perhitungan volume pada lokasi tertentu tadi akan dibuat schedule harian dan mingguan,
- e. Pihak kontraktor/pemberi pekerjaan maupun pihak mandor harus selalu *cross check* agar kebutuhan volume material pada lokasi tertentu tadi dihitung dengan benar sehingga tercapai efisiensi bahan,

f. Dari jadwal kerja harian/mingguan tadi, mandor akan mengajukan permintaan material dengan target kedatangan yang telah ditentukan.

Contoh rencana kerja mingguan dapat dilihat pada Gambar 3.25 berikut

RENCANA KERJA MINGGUAN

NO.	JENIS PEKERJAAN	ANS	VOLUME		BULAN : SEPTEMBER TAHUN : 2008							KETERANGAN	
					MINGGU KE : III								
			RENCANA	REALISASI	TANGGAL								
8N/18	8L/18	RB/20			KM/21	JM/22	8B/23	MG/24					
1	Plat Lantai 5	AP 11' - 12' / G-H											
	- Bekisting		210 M2		██								
	- Pemesian		26.716 Kg		██								
	- Pengecoran		80 M3		██								
2	Dinding kolom renang	AP 14 - 16 / D - E											
	- Bekisting		81 M2		██								
	- Pemesian		1.25 Kg		██								
	- Pengecoran		6 M3		██								
3	Tangga core	AP 12 - 13 / E											
4	Lantai 3	AP 13 - 15 / G - H											
	- Bekisting		56 M2				██						
	- Pemesian		2.7 Kg				██						
	- Pengecoran		15 M3				██						
5	Dinding retaining wall	AP 7 - 8 / G - H											
	- Bekisting		37 M2				██						
	- Pemesian		3.74 Kg				██						
	- Pengecoran		20 M3				██						

Jakarta, 18 September 2008

Mengetahui
Kepala Proyek

Disetujui
Kepala Lapangan

Dibuat oleh,
Pelaksana

Gambar 3. 25 Contoh Rencana Kerja Mingguan

(Sumber : RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman A1-5, Kementerian PUPR)

4. Pengajuan dan penyiapan tenaga kerja

Rencana kerja harian / mingguan pada contoh diatas merupakan acuan di dalam pembuatan rencana kerja atau jadwal kebutuhan tenaga kerja dan peralatan. Adapun proses pembuatan jadwal kebutuhan tenaga kerja adalah sebagai berikut :

- a. Dari rencana kerja harian / mingguan, maka dapat dilihat berapa target / rencana volume pembesian per hari selama satu minggu,
- b. Dari rencana volume pembesian per hari selama satu minggu tersebut akan dirinci kebutuhan peralatan yang meliputi komposisi dan jumlah alat,
- c. Bersamaan dengan itu dapat dihitung juga jumlah dan kualifikasi tenaga kerja yang dibutuhkan,

- d. Faktor terpenting dalam menentukan jumlah alat dan tenaga kerja adalah produktifitas alat dan produktifitas tenaga kerja. Seorang mandor yang berpengalaman akan sudah tahu mengenai produktifitas tersebut sehingga pelaksanaan pekerjaan menjadi efisien dan efektif,
- e. Apabila sudah dapat dihitung jumlah dan kualifikasi tenaga kerja yang dibutuhkan per hari selama satu minggu maka dapat dibuat jadwal kebutuhan tenaga kerja. Jadwal tersebut bisa dibuat menempel pada jadwal kerja harian/mingguan atau dipisah merupakan jadwal sendiri,
- f. Dari hal tersebut dapat diajukan kepada pemberi pekerjaan, jumlah dan kualifikasi tenaga kerja yang dibutuhkan per minggu,
- g. Jangan dilupakan juga penyediaan sarana dan prasarana tenaga kerja antara lain barak kerja, biaya mendatangkan tenaga kerja dari daerah dan lain-lain.

Contoh jadwal kebutuhan tenaga kerja dapat dilihat pada Gambar 3.26 dan Gambar 3.27 berikut.

Jadwal Kebutuhan Tenaga Kerja

KEGIATAN	MINGGU 1							MINGGU 2							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Pembersihan lahan	TP1	TP2													
2. Perataan tanah		TP2	TP2												
3. Ukur/pasir boplang				KY1											
4. Gali tanah pondasi					TP3	TP3	TP3	TP3							
5. Pasang profil								BT1							
6. Pasang pondasi								BT4	BT4	BT4	BT4	BT4	BT4		
7. Urug tanah								TP4	TP4	TP4	TP4	TP4	TP4		TP1
JUMLAH KEBUTUHAN PER HARI	TP2	TP4	TP2	KY2	TP3	TP3	TP3	TP3	BT4	BT4	BT4	BT4	BT4	TP4	TP1

Catatan : TP = Tenaga Pembantu
 KY = Tukang Kayu
 BT = Tukang Batu
 TP2 = Berarti 2 orang pembantu bekerja pada hari itu.

Gambar 3. 26 Contoh Jadwal Tenaga Kerja pada Jadwal Mingguan

(Sumber : RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman A1-7, Kementerian PUPR)

PROGRAM PENGADAAN SUMBER DAYA MINGGLIAN TENAGA KERJA													
PROYEK		Periode: Tgl. s.d.											
NO	JENIS TENAGA	SMT	KUANT. KER. CET. TERSEDIA				PROGRAM / REALISASI TOL						KET
			TOTAL	AKHIR MINGGU	QUANTUM	TOL	TOL	TOL	TOL	TOL	TOL	TOL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Gambar 3. 27 Contoh Jadwal Tenaga Kerja Terpisah

(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman A1-7, Kementerian PUPR)

5. Pemeriksaan pekerjaan pembesian

a. Pemeriksaan

Pemeriksaan baja tulangan dilakukan dalam beberapa tahap yaitu :

- 1) Pada saat penerimaan baja beton,
- 2) Pada penyimpanan sebelum dibengkok,
- 3) Gambar pembengkokkan dan pemotongan (bestaat),
- 4) Pada saat dipotong / dibengkok,
- 5) Pada saat dirakit.

a) Penerimaan baja tulangan

- Periksa, apakah jumlah dan diameternya sesuai dengan faktur,
- Periksa juga jenis, mutu dan panjangnya apakah sesuai dengan yang dipesan,
- Periksa apakah dilengkapi sertifikat atau tanda uji laboratoriumnya. Apabila belum ada segera minta kepada pemasoknya
- Periksa secara visual, apakah terjadi korosi atau pengelupasan dan sebagainya,

- Periksa kelurusan dan keseragaman ukuran, karena produk tertentu kadang-kadang memiliki ukuran yang berbeda antara ujung dan tengahnya.
- b) Penyimpanan baja tulangan
- Penyimpanan baja beton bebas dari tanah dan tertumpu balok atau yang sejenis,
 - Penyimpanan dipisah sesuai diameternya,
 - Penyimpanan tidak boleh terlalu lama, beri penandaan/kode tanggal penerimaannya,
 - Perlindungan terhadap pengaruh cuaca apakah memakai atap atau cukup dengan ditutup terpal,
- c) Gambar pembengkokkan dan pemotongan (bestaat)
- Siapkan gambar kerja penulangan yang telah disetujui,
 - Pelajari penandaan / kode dari tulangan,
 - Periksa gambar pembengkokkan berdasarkan gambar kerja yang telah disetujui,
 - Hitung jumlah baja beton yang akan dikerjakan,
 - Periksa baja beton ekstra yang harus dikerjakan dan minta persetujuan ke pengawas termasuk beban pembayarannya,
 - Periksa, apakah bestaat yang sudah disetujui direksi sama dengan yang dikirim ke tukang potong/bengkok,
 - Periksa pemanfaatan sisa potongan, apakah sudah efisien dan memungkinkan untuk dilakukan.
- d) Pemotongan dan pembengkokkan
- Siapkan gambar bestaat yang sudah disetujui,
 - Periksa jumlah dan panjang batang lonjoran yang akan dipotong,
 - Luruskan baja beton yang akan dipotong dengan alat pelurus,
 - Periksa, apakah panjang dan bentuk bengkokkan sesuai dengan bestaat,
 - Periksa jari-jari bengkokkan apakah sudah sesuai persyaratan,
 - Periksa bentuk kait-kait,

- Batang–batang perbagian struktur dibundel dan diberi label yang mudah dilihat,
- Lokasi penyimpanan mudah dikunjungi dan dapat dengan mudah untuk *manuver* peralatan angkut dan peralatan angkat,
- Sisa potongan yang tak terpakai harus dikeluarkan dari tempat pemotongan.

e) Perakitan dan pemasangan tulangan

- Sediakan gambar kerja yang sudah disetujui,
- Periksa ukuran bekisting,
- Periksa ikatan anyaman, apakah cukup kuat,
- Periksa mutu dan jenis baja yang dipakai,
- Periksa bentuk bengkokkan,
- Periksa diameter, panjang dan jarak tulangan maupun sengkang serta jumlahnya,
- Periksa penempatan baja tulangannya,
- Periksa stek atau tulangan ekstra yang dibutuhkan,
- Periksa selimut betonnya, termasuk jenis dan jarak ganjal/beton dekingnya dan ketepatan elevasi tulangan atas,
- Periksa tempat-tempat pertemuan,
- Periksa sambungan–sambungannya, apakah cukup *overlapping*-nya,
- Periksa sambungan lasnya,
- Periksa pemasangan alat penyambungannya,
- Periksa tingkat korosinya apakah harus dibersihkan atau masih dalam batas toleransi,
- Pembersihan dari sisa-sisa kotoran sebelum pengecoran

b. *Check-List* (sebelum pengecoran)

Pengecekan tulangan sebelum pengecoran sangat penting dilakukan. Pekerjaan pemasangan besi tulangan diperiksa menggunakan daftar *check-list* yang memuat pemeriksaan :

- 1) Jenis besi beton polos atau sirip,

- 2) Diameter besi beton,
- 3) Jumlah besi beton,
- 4) Jarak-jarak besi beton,
- 5) Sambungan besi beton/stek,
- 6) Posisi besi beton (berubah letaknya atau tidak),
- 7) Panjangnya besi beton, pengangkuran,
- 8) Tebal lindungan beton (tahu beton) pecah/ tidak, besi beton rapat dengan bekisting/cukup longgar,
- 9) Tulangan atas bengkok/tidak misalnya, terinjak atau bergerak,
- 10) Ada kotoran pada besi beton atau tidak misalnya tumpahan oli, lumpur, potongan kawat, puntung rokok, dll.
- 11) Perkaratan yang lanjut,
- 12) Cukup support, cakar ayam, pemegang antara, dsb.

Pekerjaan pembesian merupakan tulang punggung dari konstruksi beton, ketelitian pekerjaan penulangan akan sangat menentukan kekuatan konstruksi. Kesalahan – kesalahan dalam pekerjaan penulangan dapat mengakibatkan hal – hal yang tidak diinginkan seperti kegagalan konstruksi maupun kegagalan bangunan. Contoh *check-list* pekerjaan penulangan dapat dilihat pada Gambar 3.28 berikut.

REMARK No.		DATE	PROJECT	LOCATION	REFERENCE	RESULT	REPAIRED DATE	REMARK
257/2006		25/10/2006	TRAFIK	Traffic			25-9-06	
1. Peralatan penulangan								
2. Diameter penulangan								
3. Jumlah penulangan								
4. Tulangan terpasang kiri								
a. Atas								
b. Bawah								
5. Tulangan lapangan								
a. Atas								
b. Bawah								
6. Tulangan terpasang kanan								
a. Atas								
b. Bawah								
7. Tulangan								
a. Atas								
b. Bawah								
8. Penulangan								
a. Bagan bawah beton								
b. Bagan atas beton								
9. Dinding tulangan								
10. Tulangan								
11. Tulangan								
12. Tulangan								
13. Tulangan								
14. Tulangan								
15. Tulangan								
16. Tulangan								
17. Tulangan								
18. Tulangan								
19. Tulangan								
20. Tulangan								
21. Tulangan								
22. Tulangan								
23. Tulangan								
24. Tulangan								
25. Tulangan								
26. Tulangan								
27. Tulangan								
28. Tulangan								
29. Tulangan								
30. Tulangan								
31. Tulangan								
32. Tulangan								
33. Tulangan								
34. Tulangan								
35. Tulangan								
36. Tulangan								
37. Tulangan								
38. Tulangan								
39. Tulangan								
40. Tulangan								
41. Tulangan								
42. Tulangan								
43. Tulangan								
44. Tulangan								
45. Tulangan								
46. Tulangan								
47. Tulangan								
48. Tulangan								
49. Tulangan								
50. Tulangan								
51. Tulangan								
52. Tulangan								
53. Tulangan								
54. Tulangan								
55. Tulangan								
56. Tulangan								
57. Tulangan								
58. Tulangan								
59. Tulangan								
60. Tulangan								
61. Tulangan								
62. Tulangan								
63. Tulangan								
64. Tulangan								
65. Tulangan								
66. Tulangan								
67. Tulangan								
68. Tulangan								
69. Tulangan								
70. Tulangan								
71. Tulangan								
72. Tulangan								
73. Tulangan								
74. Tulangan								
75. Tulangan								
76. Tulangan								
77. Tulangan								
78. Tulangan								
79. Tulangan								
80. Tulangan								
81. Tulangan								
82. Tulangan								
83. Tulangan								
84. Tulangan								
85. Tulangan								
86. Tulangan								
87. Tulangan								
88. Tulangan								
89. Tulangan								
90. Tulangan								
91. Tulangan								
92. Tulangan								
93. Tulangan								
94. Tulangan								
95. Tulangan								
96. Tulangan								
97. Tulangan								
98. Tulangan								
99. Tulangan								
100. Tulangan								

Gambar 3. 28 Contoh Check-List Pekerjaan Penulangan

(Sumber : RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman C1-5, Kementerian PUPR)

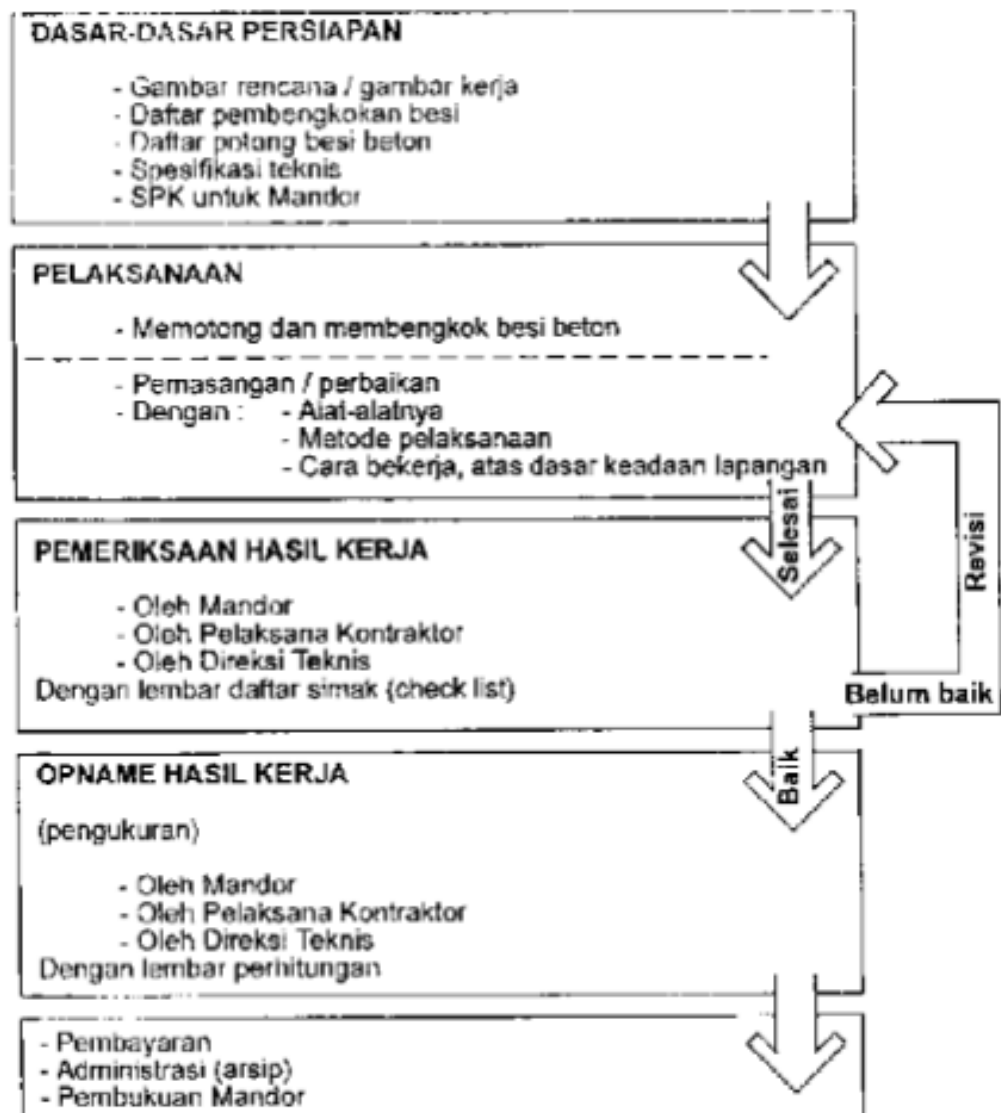
c. Piket atau *storing*

Setelah dilaksanakan pemeriksaan oleh konsultan atau direksi lapangan, maka hasil pemasangan dan penyetulan penulangan beton dianggap benar dan pekerjaan beton siap untuk dicor. Pada waktu pelaksanaan pengecoran maka mandor berkewajiban untuk melaksanakan piket atau *storing* dengan menyediakan satu atau beberapa orang petugas. Tugas dari piket atau *storing* adalah memeriksa sekali lagi pembesian yang sudah terpasang, ikatan yang lepas diperbaiki, penulangan dirapikan dan sisa-sisa besi dan kawat beton dibersihkan dari lokasi pekerjaan. Diharapkan dengan adanya *storing* tersebut maka posisi pemasangan pembesian

adalah benar sesuai yang disyaratkan sehingga beton bertulang sebagai hasil akhir mencapai mutu yang diharapkan.

d. Bagan penyelesaian pekerjaan tulangan

Dengan adanya bagan alir pekerjaan pembesian maka urutan – urutan pekerjaan akan diketahui dengan jelas sehingga memudahkan dalam pengendalian mutu, waktu, maupun biaya. Bagan alir pembesian dapat dilihat pada Gambar 3.29 berikut



Gambar 3. 29 Bagan Alir Pekerjaan Penulangan

(Sumber :RCF – 04 Prosedur Teknik Pembuatan dan Pemasangan Tulangan Beton, 2006, Halaman C1-7, Kementerian PUPR)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metodologi penelitian pada bab ini akan membahas prosedur dalam melakukan penelitian yang mana bertujuan untuk menjawab pertanyaan – pertanyaan yang menjadi pokok permasalahan seperti yang telah disebutkan pada rumusan masalah. Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian agar hasil penelitian tidak menyimpang dari tujuan awal yang telah diuraikan. Prosedur dalam melakukan penelitian berisi rancangan tahapan kerja yang berisi langkah – langkah untuk mendapatkan data atau informasi, sumber data, waktu penelitian, lokasi penelitian, hingga pemakaian metode dalam pengolahan data yang kemudian dilakukan analisis dan investigasi terhadap temuan yang didapatkan. Prosedur penelitian dibuat secara rinci sebagai gambaran penelitian secara spesifik dalam suatu bagan alir yang memuat semua tahapan penelitian dari proses awal pengumpulan data hingga pembahasan.

4.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian penulis adalah analisis pendekatan kuantitatif eksperimental murni. Metode kuantitatif dimaknai sebagai pendekatan penelitian yang banyak dituntut menggunakan angka baik dalam proses pengumpulan data/informasi, pengolahan data, penafsiran data dan penampilan hasil analisis data. Bryman (2005) menyatakan proses penelitian kuantitatif dimulai dari teori, hipotesis, disain penelitian, memilih subjek, mengumpulkan data, memproses data, menganalisa data, dan menuliskan kesimpulan. Kasiram (2008) dalam bukunya Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif menyatakan penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. Lebih lanjut mengenai metode kuantitatif, Suryabrata (2000) menyatakan salah satu tipe metode kuantitatif adalah penelitian eksperimen

yang mana digunakan untuk mencari pengaruh atas perlakuan tertentu dari satu atau lebih variabel terhadap suatu objek yang berpengaruh terhadap hasil penelitian. Zulnadi (2007) menyatakan dalam pelaksanaannya yang dimaksud eksperimen murni adalah perlakuan yang sengaja dibuat yang dikenakan pada objek penelitian dengan kata lain kondisi objek penelitian sengaja dirubah dengan memberikan perlakuan tertentu dan mengontrol variabel lain secara cermat selama jangka waktu tertentu. Dalam hal ini penulis menggunakan kelas kontrol yaitu panjang pemotongan tulangan, kebutuhan potongan, dan tipe pemasangan tulangan yang digunakan sebagai pembanding yang diujicobakan terhadap jumlah kebutuhan total tulangan dan besarnya nilai *waste*. Untuk itu penelitian penulis bisa disebut sebagai penelitian kuantitatif eksperimental.

4.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat/pedoman yang dipakai peneliti untuk mengumpulkan data/informasi yang diperlukan sehingga analisis penelitian menjadi sistematis.

4.3.1 Jenis dan Sumber Data

Penelitian penulis menggunakan dua jenis data yang dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Data primer

Data primer dalam penelitian ini yaitu informasi yang didapatkan dari hasil wawancara kepada pihak direksi proyek konstruksi serta data hasil observasi penulis di lapangan.

2. Data sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data – data dan informasi yang diperoleh melalui studi kepustakaan dan dokumentasi.

4.3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada pembangunan gedung bertingkat Proyek Gedung Fakultas Teknik UPY Yogyakarta.

2. Waktu penelitian

Penelitian dilakukan selama 1 bulan terhitung dari tanggal 7 September 2019 sampai tanggal 11 Oktober 2019.

4.3.3 Langkah – Langkah Pengambilan Data

Berikut adalah kegiatan yang dilakukan penulis dalam memperoleh data selama melakukan penelitian.

1. Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati langsung obyek/subyek yang diteliti tanpa perlu memberikan pertanyaan kepada responden. Dalam kata lain observasi diartikan sebagai proses pencatatan pola perilaku subyek (orang), obyek (benda) atau kejadian sistematis tanpa adanya pertanyaan atau komunikasi dengan individu-individu yang diteliti. Observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap tahapan pelaksanaan unit kerja, fenomena/temuan di lapangan, serta hasil kerja yang dicatat sebagai suatu bentuk tingkat akurasi data dan informasi yang menjadi sumber data primer dalam proses pengambilan data. Data primer yang dibutuhkan penulis dalam penelitian ini meliputi prosedur kerja pada proyek konstruksi, panjang pemotongan tulangan yang diukur menggunakan alat ukur, dan tipe pemasangan tulangan. Untuk keperluan laporan, kegiatan observasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut. Selanjutnya kegiatan observasi yang dilakukan penulis dapat dilihat pada Lampiran.



**LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN
PRAKTIK KERJA**

Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI Sonosewu No.117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

Praktik Kerja	Hari : Sabtu Tanggal : 14 Sept
----------------------	-----------------------------------

Jam	HASIL, OBSERVASI DAN DISKUSI
12.00 - 17.00	<p>* Pemasangan Balok B1</p> <p>• Pemasangan balok dikerjakan 5 orang dengan 1 pekerja bonges sebagai pembantu material (besi & tumpukan sengkang)</p> <p>• Tulangan utama balok (tulangan memanjang balok) dipasang terlebih dahulu dengan menumpu pada kolom ke 1 di samping kanan dan kiri, kemudian pada bagian 1/2 balok dipasang menggunakan scaffolding. Untuk pemasangan tulangan sengkang pada balok, pekerja membuat scaffolding sebagai tumpuan area pekerjaan. Tulangan sengkang dipasang sesuai gambar rencana oleh 1 pekerja. Setelah tulangan memanjang selesai dipasang, tulangan lapis ke 2 pada daerah tumpuan dan bentang dipasang menumpu pada kolom dan dilas di bagian sengkang. Untuk pemasangan balok B1 dengan panjang 9.6m dibutuhkan castek ± 8 jam oleh 5 orang tukang. Tulangan balok dipasang setelah sengkang balok selesai dipasang.</p> <div style="text-align: center;"> </div>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Camarue Pradipta	.. Lampirkan semua dokumen pendukung

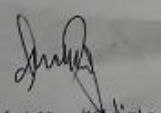
Gambar 4. 1 Observasi Pemasangan Tulangan

2. Wawancara

Wawancara adalah percakapan dengan maksud dan tujuan tertentu. Pada metode ini peneliti dan responden berhadapan langsung (*face to face*) untuk mendapatkan informasi secara lisan dengan tujuan mendapatkan data yang dapat menjelaskan permasalahan penelitian. Sesuai dengan jenisnya, peneliti memakai jenis wawancara tidak berstruktur yaitu wawancara dengan mengajukan beberapa pertanyaan secara lebih luas dan leluasa tanpa terikat oleh susunan pertanyaan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Dengan teknik ini diharapkan terjadi komunikasi langsung, luwes dan fleksibel serta terbuka, sehingga informasi yang didapat lebih banyak dan luas. Wawancara tidak berstruktur dilakukan penulis kepada direksi proyek yang berkaitan dengan penelitian penulis seperti optimasi kebutuhan material, pelaksana, pengawas, dan manajer proyek. Data yang didapatkan penulis melalui wawancara meliputi estimasi bagaimana metode penghitungan kebutuhan material besi tulangan yang diterapkan, kesalahan pemotongan tulangan yang biasa terjadi, manajemen material di lapangan, serta fenomena/kejadian yang menjadi suatu permasalahan dalam optimasi kebutuhan tulangan menurut pengalaman pelaku konstruksi. Dalam perolehan data terkait wawancara, penulis mencatat pada Lembar Kegiatan Lapangan yang kemudian dilakukan konfirmasi kepada pihak direksi proyek yang berwenang. Untuk keperluan laporan, proses dan hasil wawancara dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 berikut. Selanjutnya hasil wawancara yang penulis lakukan dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 4. 2 Bimbingan Lapangan Mingguan Oleh *Project Manager*

LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN PRAKTIK KERJA	
Nama Mahasiswa	: Indra Permana
NIM	: 14511392
Nama Proyek	: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
Alamat Proyek	: Jl. IKIP PGRI Sonosewu No.117, Sonosewu, Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
Praktik Kerja	Hari : <u>Poker</u>
	Tanggal : <u>7 Oktober 2019</u>
Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
10.00 - 12.00	<p>* Diskusi tugas kejuruan dengan Pembimbing Lapangan</p> <p>Perhitungan kebutuhan tulangan Batok</p> <p>* Hasil perhitungan setelah diperiksa pembimbing lapangan, pengemas akan seran untuk memperpanjang panjang besi penulangan yaitu sepanjang 12 m untuk dimasukkan ke dalam peritangan, selain itu diteliti juga penerapan dari besi 12 m juga sangat penting untuk menahan dilasi ketahanan tulangan. Menurut pembimbing lapangan Besok belahlah salah satu material saja dalam proyek yang cukup banyak yaitu dari besi tulangan.</p>
12.00 - 15.00	<p>* Pengamatan K3 = di lapangan para pekerja tidak ada yang menggunakan APD sama sekali. Peler-peler K3 juga tidak ada yang dipakai di lapangan. Dalam praktek konstruksi mungkin hal ini terjadi karena tidak adanya pengawasan lapangan di bidang K3.</p>
15.00 - 17.00	<p>* Kebersihan area proyek = di dalam lingkungan proyek, paparan ditunjukkan ditunjukkan berbagai fasilitas misal untuk pengumpulan Urut, Bayku, angker dikumpulkan dalam satu tempat karena memang berguna untuk pekerjaan scaffolding.</p> <p>* Jang-jang dipasang pada sisi proyek yang menghadap ke jalan raya. Hal ini untuk melindungi fasilitas internal proyek ke luar area pekerjaan untuk keselamatan dan proyek dalam cuaca panas.</p>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Indra Permana	Lampirkan semua dokumen pendukung

Gambar 4. 3 Wawancara Terkait *Bar Bending Shedule*

3. Dokumentasi atau studi kepustakaan

Dokumentasi merupakan kegiatan pengamatan berbagai dokumen yang berkaitan dengan topik dan tujuan penelitian. Dokumentasi adalah suatu teknik pengumpulan data dengan menghimpun dan menganalisis dokumen – dokumen, baik dokumen tertulis, gambar, maupun elektronik. Dokumen – dokumen yang diperoleh kemudian dianalisis dan ditafsirkan dalam kajian yang rinci dan sistematis. Teknik pengumpulan data dokumentasi disebut juga observasi historis. Data yang didapatkan penulis melalui teknik dokumentasi meliputi foto tipe pemasangan, pemotongan tulangan yang dilakukan di lapangan, dan gambar acuan pemotongan besi tulangan (Bestaat). Studi pustaka merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai teori, konsep dan permasalahan dari suatu metode atau fenomena yang didapatkan dari jurnal, peraturan baku, *text book*, serta situs internet tertentu dalam memperkuat dan mendukung penelitian yang dibuat penulis. Data proyek berupa DED penulis dapatkan setelah meminta file CAD dari pihak proyek. Data DED dapat dilihat pada Lampiran.

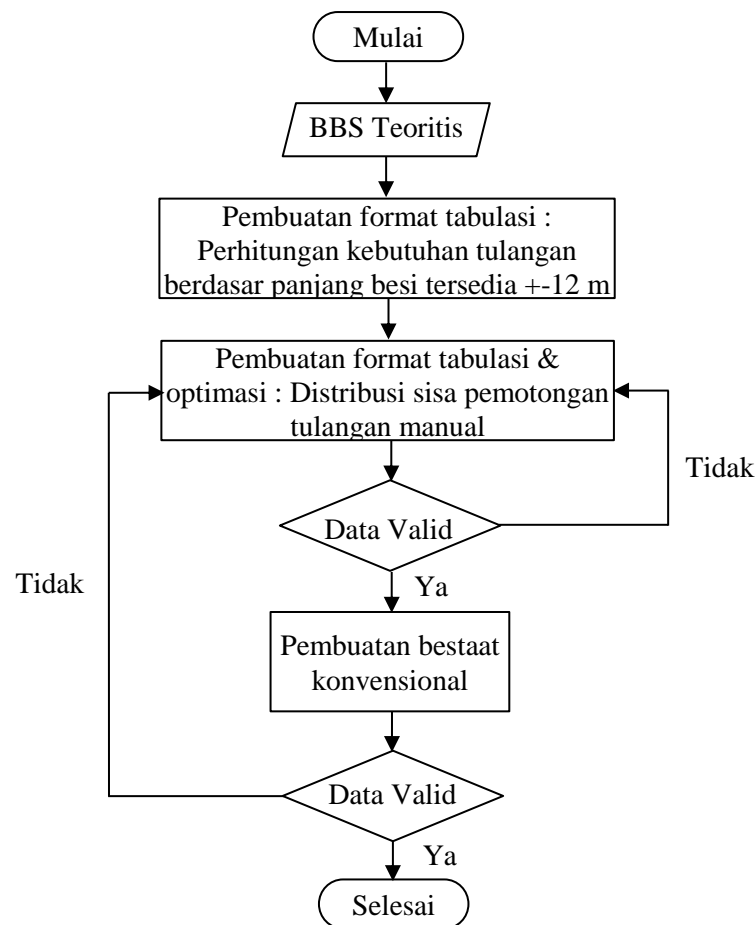
4.4 Metode Analisis Data

Analisis data adalah proses pengkajian dari data primer maupun sekunder yang disusun secara rinci dan sistematis sehingga didapatkan bentuk yang padu dan ditafsirkan melalui sudut pandang penulis terhadap suatu topik atau pemecahan permasalahan. Dalam pengolahan data, penulis menggunakan beberapa metode analisis yang digunakan untuk menghitung optimasi kebutuhan tulangan. Dalam prosesnya, penulis menilai setiap tahapan dari segi mutu dan waktu serta dilakukan perincian hasil perhitungan optimasi dari segi biaya. Selanjutnya kedua metode yang dipakai dilakukan perbandingan untuk mengetahui metode mana yang lebih efektif dan efisien untuk pemecahan masalah.

4.4.1 BBS Metode Konvensional

Bar Bending Schedule Konvensional merupakan perhitungan kebutuhan tulangan per-bentang balok berdasarkan BBS teoritis. BBS Konvensional diperlukan sebagai acuan pembuatan bestaat dan estimasi biaya. Dalam proses

perhitungan, BBS konvensional sudah memperhitungkan panjang besi pabrikan (+-12m) dan sudah dilakukan optimasi kebutuhan tulangan. Optimasi kebutuhan tulangan pada BBS Konvensional dilakukan secara manual dengan mendistribusikan sisa pemotongan tulangan yang masih bisa digunakan ke komponen tulangan balok yang lain. Proses analisis perhitungan BBS Konvensional dilakukan melalui beberapa tahapan. Diagram alir atau *flowchart* BBS Konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 4. 4 Flowchart BBS Konvensional

1. BBS Teoritis merupakan perhitungan kebutuhan tulangan berdasarkan gambar DED proyek dan standar peraturan yang berlaku. BBS teoritis diperlukan untuk menghitung panjang penjangkaran, panjang *overlap*, dan panjang tekukan dari tiap komponen tulangan penyusun balok. Tabel perhitungan BBS Teoritis dapat dilihat pada Gambar 4.5 Berikut.

BBS Teoritis Tulangan Pokok					
D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan(n)	Panjang Perlu teoritis (m)
19	B1	33	Lapis Atas	6	10.17
			Tumpuan	10	3.38
			Lapangan	2	5.39
			Lapis Bawah	6	10.17
	BL	21	Lapis Atas	4	3.07
			Tumpuan	4	1.48
			Lapis Bawah	4	3.07
		4	Lapis Atas	4	6.22
			Tumpuan	4	2.34
			Lapis Bawah	4	6.22

Gambar 4. 5 Format Tabulasi BBS Teoritis

2. Perhitungan kebutuhan tulangan

Pada BBS Teoritis, panjang besi fabrikasi +/- 12 meter belum diperhitungkan.

Pada tahap ini dilakukan konversi untuk mengetahui jumlah kebutuhan tulangan berdasarkan BBS Teoritis dan panjang besi fabrikasi yang tersedia.

Tabel perhitungan kebutuhan tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.6 Berikut.

Jenis Tulangan	D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)	Jumlah Potongan (np)	Waste besi (m)	μ Besi per 12 m (bagian)	Panjang besi yg diperlukan (m)
Tulangan Pokok	19	B1	33	Lapis Atas	6	10.17	1	1.83	1.00	2376
				Tumpuan	10	3.38	3	1.86	0.33	1320
				Lapangan	2	5.39	2	1.22	0.50	396
				Lapis Bawah	6	10.17	1	1.83	1.00	2376
		BL	21	Lapis Atas	4	3.07	3	2.79	0.33	336
				Tumpuan	4	1.48	8	0.17	0.13	126
				Lapis Bawah	4	3.07	3	2.79	0.33	336
			4	Lapis Atas	4	6.37	1	5.63	1.00	192
				Tumpuan	4	2.38	5	0.11	0.20	38
				Lapis Bawah	4	6.37	1	5.63	1.00	192
	16	B2A	65	Lapis Atas	5	6.48	1	5.52	1.00	3900
				Tumpuan	4	2.28	5	0.59	0.20	624
				Lapis Bawah	5	6.48	1	5.52	1.00	3900
		B2B	28	Lapis Atas	5	6.48	1	5.52	1.00	1680
				Lapis Bawah	5	6.48	1	5.52	1.00	1680
		BA1	64	Lapis Atas	4	6.48	1	5.52	1.00	3072
				Tumpuan	2	2.26	5	0.72	0.20	307
				Lapis Bawah	4	6.48	1	5.52	1.00	3072
		Ba1*	110	Lapis Atas	4	2.2	5	1.1	0.2	1056
				Tumpuan	1	2.2	5	1.1	0.2	264
Lapis Bawah	4			2.2	5	1.1	0.2	1056		

Gambar 4. 6 Format Tabulasi Kebutuhan Tulangan

3. Optimasi Kebutuhan Tulangan

Optimasi kebutuhan tulangan dilakukan dengan mendistribusikan *waste* besi yang masih sesuai spesifikasi. Perhitungan distribusi sisa potongan tulangan

dilakukan secara manual untuk mendapatkan tipe pemotongan yang optimal. Hasil akhir pada tahap ini berupa informasi pendistribusian sisa potongan tulangan dari suatu komponen struktur ke komponen struktur yang lain. Hasil akhir pada tahap ini dijadikan acuan pembuatan bestaat dan acuan pemasangan tulangan di lokasi kerja. Tabel perhitungan optimasi kebutuhan tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.7 Berikut.

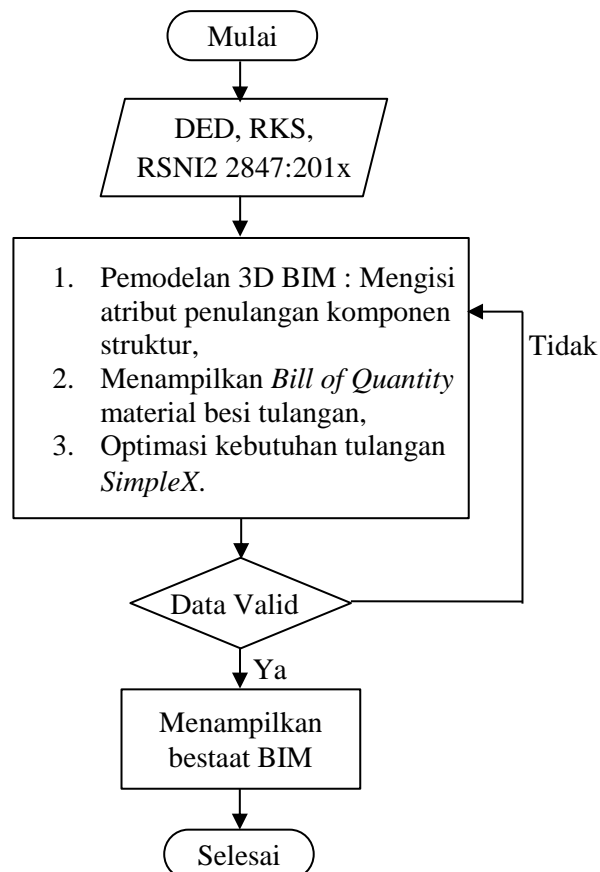
Panjang Besi Fabrikasi		12 meter								
Rekap Distribusi Waste Besi	Daerah Penulangan	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan Sebelum Distribusi (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)
Diameter 19										
B1	Lapis Atas	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
	Tumpuan	3.38	3	110	330	1.86	204.93		110	205
	Lapangan	5.39	2	33	66	1.22	40.392		33	40
	Lapis Bawah	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
BL	Lapis Atas	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	78
	Tumpuan	1.48	8	11	88	0.17	1.848	3	0	85
	Lapis Bawah	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	0
BL*	Lapis Atas	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
	Tumpuan	2.38	5	4	20	0.11	0.42	8	0	31
	Lapis Bawah	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
Jumlah Total tulangan (batang)			642	Total waste sebelum distribusi (meter)	1308.67	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		627	1164	
Jumlah Total tulangan (meter)			7704	Nilai waste sebelum distribusi (persen)	17%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		7524		
				Nilai waste setelah distribusi (persen)					15.47%	

Gambar 4. 7 Format Tabulasi Optimasi Kebutuhan Tulangan

4.4.2 BBS Program Linier *Simplex* dan BIM

Bar Bending Schedule simplex & BIM merupakan perhitungan kebutuhan tulangan dalam hal optimasi yang dilakukan dengan prinsip kolaborasi. Program linier *simplex* merupakan alat utama untuk pendistribusian *waste* besi dan untuk menentukan tipe – tipe pemotongan tulangan. Sedangkan BIM diperlukan untuk pemodelan skenario pemasangan tulangan terkait kondisi eksisting lapangan dan pembuatan bestaat pemotongan besi. Dalam proses perhitungan, BBS *simplex* dan BIM mempertimbangkan panjang besi fabrikasi yaitu +-12 m yang dihitung berdasarkan kebutuhan tulangan BBS Teoritis. Dengan kolaborasi *simplex* dan BIM, optimasi kebutuhan tulangan dapat dilakukan secara menyeluruh tidak hanya terbatas per-bentang balok saja seperti pada BIM Konvensional. Pengaplikasian BBS *simplex* dalam penelitian ini menggunakan alat bantu *Add-on Solver* dalam program *Microsoft Excel*. Alogaritma *Solver* menggunakan kaidah aturan program

linier *simplex* yang mana digunakan untuk fungsi tujuan optimasi (maksimal/minimal) dalam kontrol variabel pembatas lebih dari dua variabel. Penerapan BIM dalam penelitian ini menggunakan *software Tekla Structures* sebagai sarana pemodelan 3D dan sarana informasi terkait kegiatan *preventive & reduction* sisa material besi tulangan. Proses BBS *Simplex* & BIM dilakukan melalui beberapa tahapan yang berdasar pada DED & RSNi2 2847:201x. Tahap pertama yaitu pemodelan 3D BIM untuk mendapatkan *Bill of Quantity* komponen struktur. Tahap kedua yaitu pembuatan format tabulasi *simplex* sebagai alat optimasi dan penentuan tipe pemotongan tulangan. Tahap ketiga yaitu menampilkan bestaat pemotongan besi berdasarkan pemodelan 3D yang sudah dibuat. Untuk lebih jelasnya tahapan BBS *Simplex* & BIM ditampilkan dalam diagram alir atau *flowchart* seperti pada Gambar 4.8 berikut.



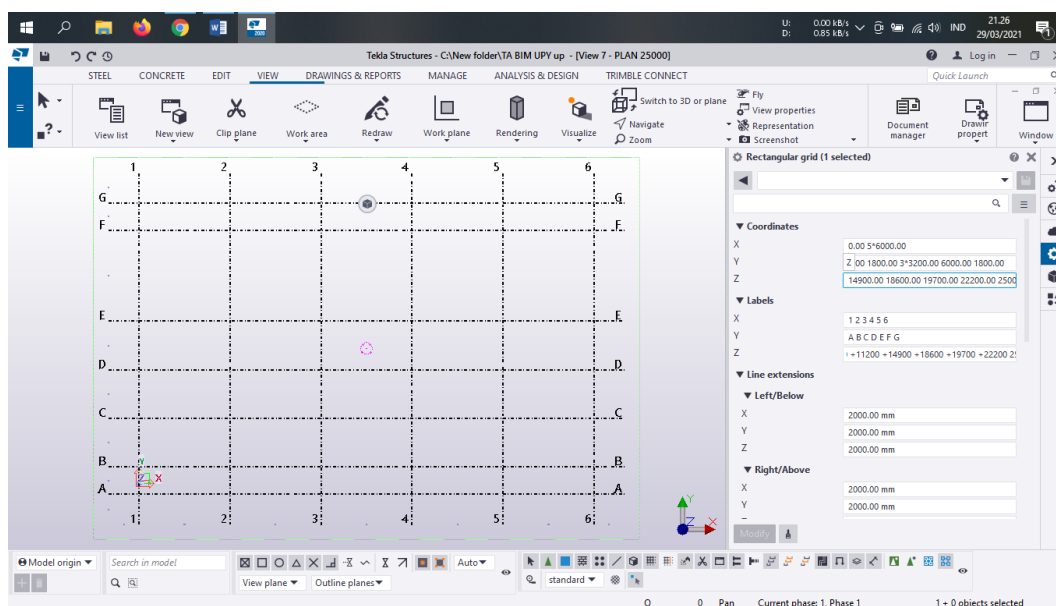
Gambar 4. 8 Flowchart BBS Simplex dan BIM

1. Pemodelan 3D BIM

BIM dalam penelitian ini difungsikan untuk menjamin pelaksanaan penulangan sesuai dengan BBS dan bestaat yang telah direncanakan. Proses ini dilakukan dengan memodelkan 3D komponen balok yang berisi atribut dengan ketentuan tertentu. Adapun tahapan – tahapan dalam pemodelan 3D adalah sebagai berikut.

a. Membuat *grid*

Pembuatan *grid* difungsikan sebagai garis as untuk acuan koordinat pemodelan. *Grid* as ini terdiri dari bentang arah X, Y, Z untuk mempermudah pemodelan dalam penempatan komponen struktur bangunan. Menu dialog *grid* dapat dimunculkan dengan memilih menu *Modeling* dan *Create Grid*. Langkah selanjutnya yaitu mengisi kotak dialog *grid properties* sesuai koordinat X, Y, Z pada gambar DED. Hasil pembuatan *grid* Gedung Fakultas Teknik UPY dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.

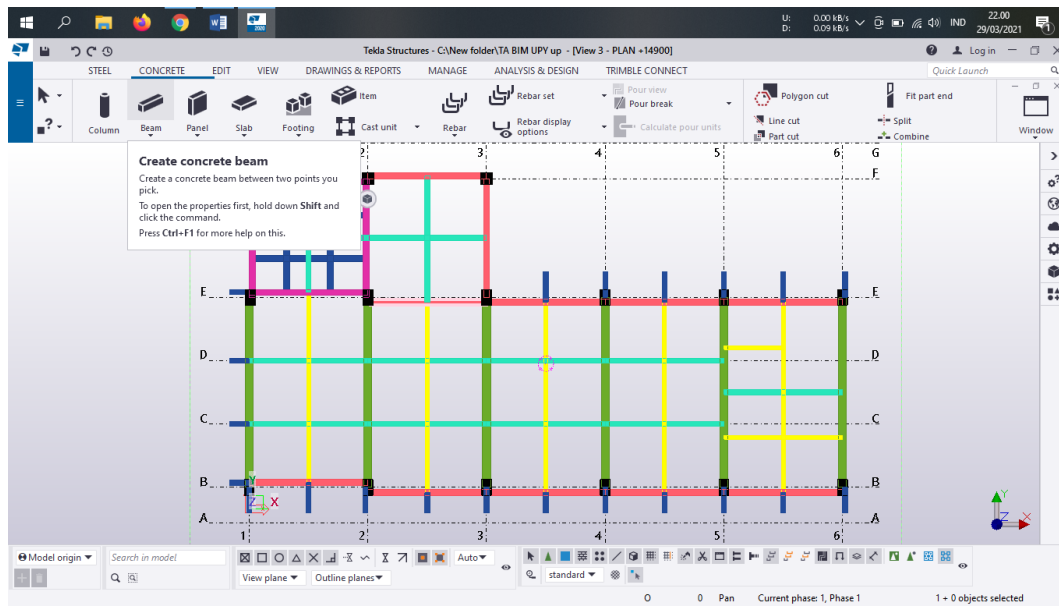


Gambar 4. 9 Grid Gedung Fakultas Teknik UPY

b. Pemodelan balok

Pemodelan komponen struktur kolom dan balok disesuaikan dengan gambar DED. Pemodelan dibuat dengan memilih menu *Modeling* kemudian pilih *Create Concrete Coloumn* untuk memodelkan kolom dan pilih *Create Concrete Beam* untuk memodelkan balok. Selanjutnya kolom dan balok

ditempatkan pada *grid* yang dibuat sesuai gambar DED. Untuk mengubah dimensi dilakukan dengan cara mengklik dua kali pada kolom maupun balok sehingga muncul kotak dialog *properties*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Karakteristik *Properties* Balok

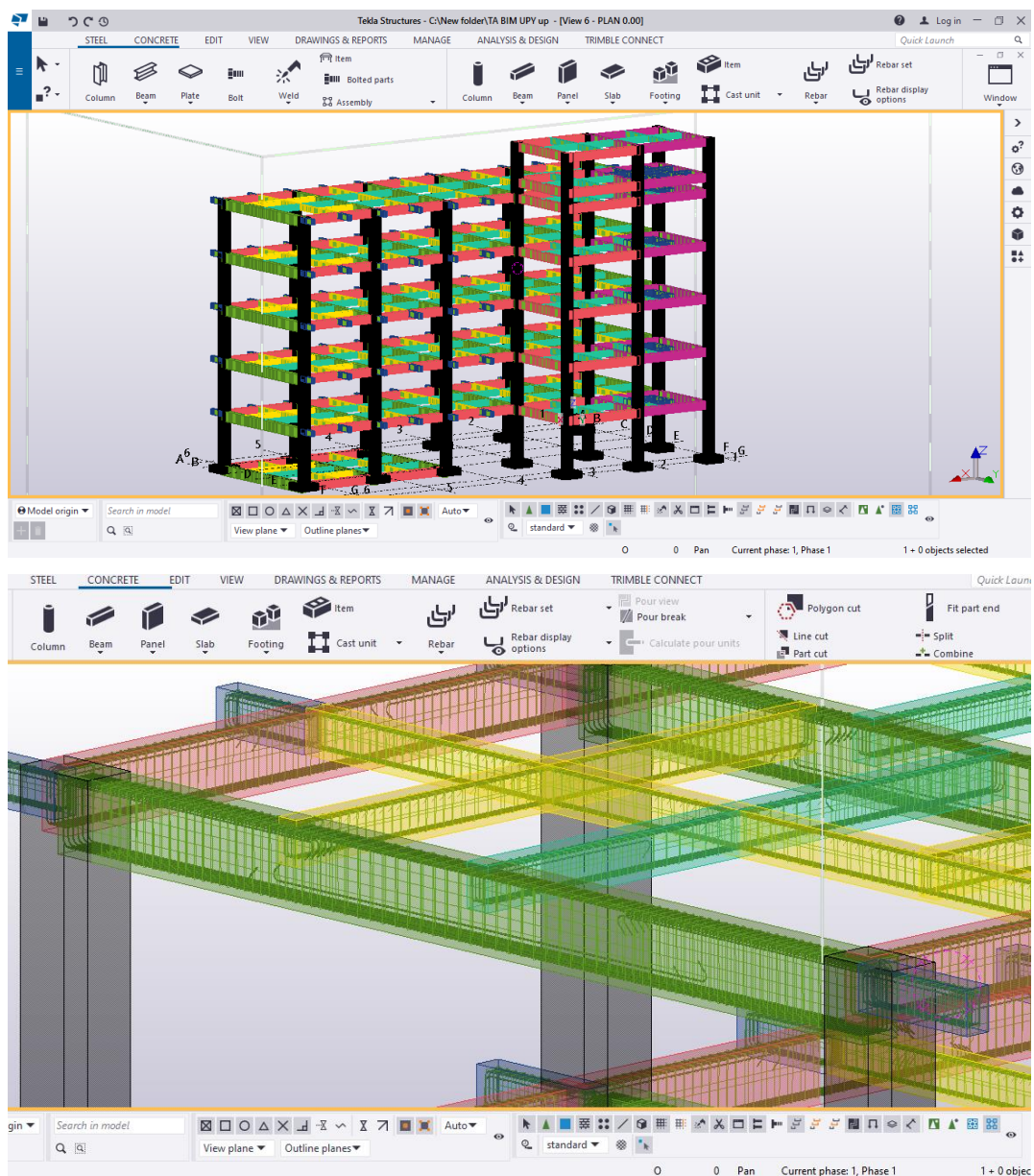
c. Penulangan balok

Kaidah penulangan balok disesuaikan dengan RKS dan RSNi2 2847:201x. Panjang penjangkaran, kait tulangan, daerah penyambungan tulangan, dan panjang overlapping tulangan harus diperhatikan. Pemodelan penulangan balok dilakukan dengan cara mengetikkan “*beam*” pada *applications & components*, maka hasil pencarian yang berhubungan dengan balok akan ditampilkan. Selanjutnya pilih *beam reinforcement* (63) dan mengisi atribut penulangan balok sesuai kebutuhan penulangan pada *Bar Bending Schedule* yang sudah dibuat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Data Atribut Penulangan Balok

Setelah proses pengisian atribut balok selesai, pilih apply dan klik pada balok yang dituju. Lakukan hal yang sama pada komponen balok tipikal yang lain. Hasil pemodelan penulangan pada balok dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Pemodelan Penulangan Balok

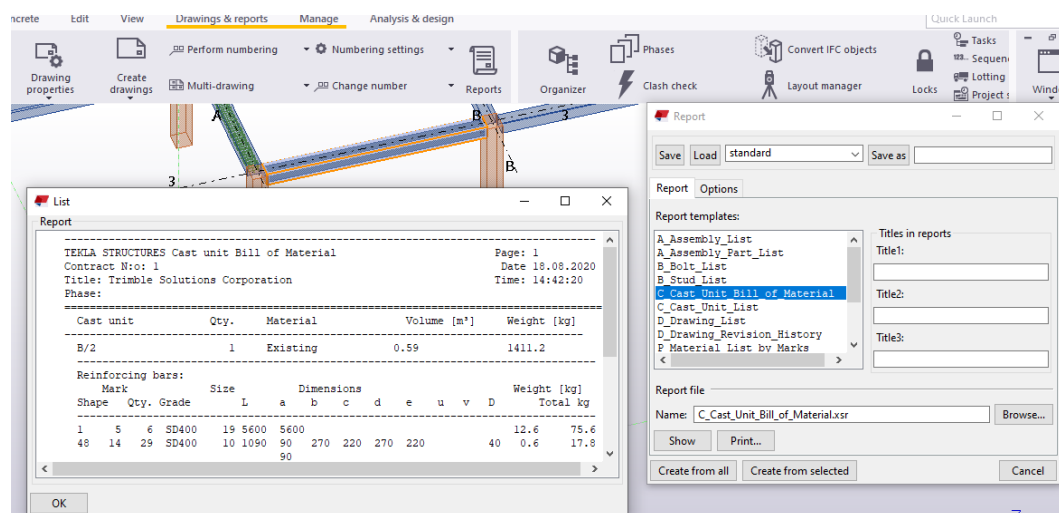
2. Menampilkan *Bill of Quantity*

Output Tekla Structures dalam hal ini tingkatan BIM 5D dapat berupa gambar detail penulangan (bestaat) dan *Bill of Quantity* material. *Output* dapat dimunculkan setelah pemodelan 3D beserta atribut penulangan selesai

dikerjakan. *List* material berisi kebutuhan penulangan yang terperinci dari komponen struktur. *List* material dapat di-*export* dalam format pdf maupun xsr. Langkah – langkah untuk menampilkan *list* material adalah sebagai berikut.

- Pilih satu atau beberapa balok yang dituju,
- Pada toolbar pilih *Drawing & Report > Create Report*,
- Pada kotak dialog *report* pilih *C_Cast_Unit_Bill_of_Material > Criete from selected*,
- Kotak dialog kebutuhan material ditampilkan dan dapat di-*export* dalam format xsr.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Output Bill of Quantity

3. Optimasi kebutuhan tulangan *simplex*

Analisis program linier *simplex* menggunakan alat bantu *Add-in Solver* pada program *Microsoft Excel*. Terdapat beberapa bagian utama yang harus dimuat dalam pembuatan format tabulasi yaitu :

- Constrained Cell* : berisi variabel pembatas yang digunakan dalam penyelesaian model perhitungan *simplex*,
- Adjusted Cell* : berisi variabel berupa nilai *non-negatif* yang dapat diubah secara spesifik,
- Tabel daerah penyelesaian : merupakan tabel hasil iterasi yang didapat dari model perhitungan *simplex*,

- d. *Target Cell* : berisi formula penyelesaian *simplex* dan merupakan hasil akhir pemrosesan *solver*.

Format tabulasi program linier *simplex* dapat dilihat pada Gambar 4.14 Berikut

Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter					Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)			
	B1		BL										
Trial Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)							12.000	3	0			
	5.52	3.42	10.13	2.94	6.19	2.24	6.04						
1													0
2													0
3													0
4													0
5													0
6													0
7													0
8													0
9										0			
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330				16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	4	0			
	0	0	0	0	0	0	0	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	0				
Cek Potongan								Nilai waste dalam persen	#DIV/0!				
Waste (m)													

Gambar 4. 14 Format Tabulasi BBS *Simplex*

Keterangan :

- 1 = variabel pembatas (*Constrained Cell*)
- 2 = variabel keputusan (*Adjusted CellI*)
- 3 = daerah penyelesaian
- 4 = fungsi tujuan (*Target Cell*)

Adapun pengisian pada tabel operasi *simplex* adalah sebagai berikut :

- a. Mengisi atribut pada tabel operasi *simplex* sesuai dengan model perhitungan yang dibuat,
- b. Mengisi konten pada tabel operasi sesuai dengan *Bill of Quantity* yang telah didapat,
- c. Mengisi nilai variabel keputusan pada *Adjusted CellI* yaitu berupa tipe – tipe pemotongan yang dapat dibuat,

- d. Menyelesaikan analisis perhitungan *simplex* dengan memunculkan *solver* pada menu *Data* di program *Microsoft Excel*. Selanjutnya mengisi parameter *solver* antara lain sebagai berikut.
- 1) *Set Objective* adalah *Target Cell* yaitu Total Batang pada tabel operasi,
 - 2) *To* adalah fungsi optimasi yang diinginkan, pilih *Min* untuk meminimasi fungsi tujuan,
 - 3) *By Changing Variable Cells* merupakan daerah penyelesaian yaitu kolom *Jumlah Batang* pada tabel operasi,
 - 4) *Subject to the Constraints* merupakan syarat yang mengandung fungsi batasan yaitu *Constrained Cell* atau variabel pembatas,
 - 5) *Select a Solving Method* pilih *Simplex LP*,
 - 6) Klik pilihan *Solve*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.

The image shows a screenshot of the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box overlaid on a spreadsheet. The spreadsheet contains a table with columns for Diameter (19 mm), Balok B1, Balok B2, Jumlah Batang, Total Batang, and Total Waste. The Solver Parameters dialog box is open, showing the following settings:

- Set Objective:** \$A\$2511
- To:** Max Min Value Of: 0
- By Changing Variable Cells:** \$A\$11:\$A\$21
- Subject to the Constraints:**
 - \$A\$Q\$24 >= \$A\$Q\$23
 - \$A\$R\$24 >= \$A\$R\$23
 - \$A\$S\$24 >= \$A\$S\$23
 - \$A\$T\$24 >= \$A\$T\$23
 - \$A\$U\$24 >= \$A\$U\$23
 - \$A\$V\$24 >= \$A\$V\$23
 - \$A\$W\$24 >= \$A\$W\$23
 - \$A\$X\$11:\$A\$X\$21 = integer
- Make Unconstrained Variables Non-Negative
- Select a Solving Method:** Simplex LP
- Solving Method:** Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Gambar 4. 15 Parameter *Solver*

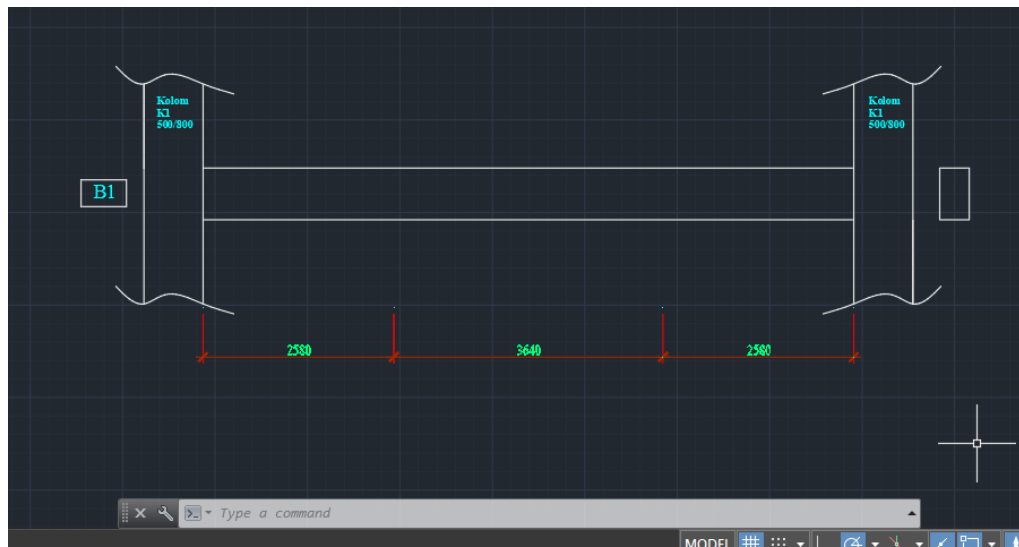
4.4.3 Bestaat Konvensional

Bestaat digunakan sebagai acuan pemotongan dan pembengkokkan besi tulangan pada pekerjaan *workshop* pembesian. Bestaat juga dijadikan acuan dalam perakitan tulangan di *site construction* atau lokasi kerja. Bestaat konvensional ini memuat informasi seperti bentuk pemotongan, panjang pemotongan, panjang tekukan, jumlah tulangan, tipe balok, dan berisi informasi distribusi *waste* besi. Pembuatan bestaat konvensional mengacu pada BBS Konvensional yang telah

dibuat. Dalam penelitian ini, digunakan *Menuload Auto Rebar* pada program *Autocad*. Langkah – langkah dalam pembuatan bestaat konvensional adalah sebagai berikut :

1. Menggambar profil balok

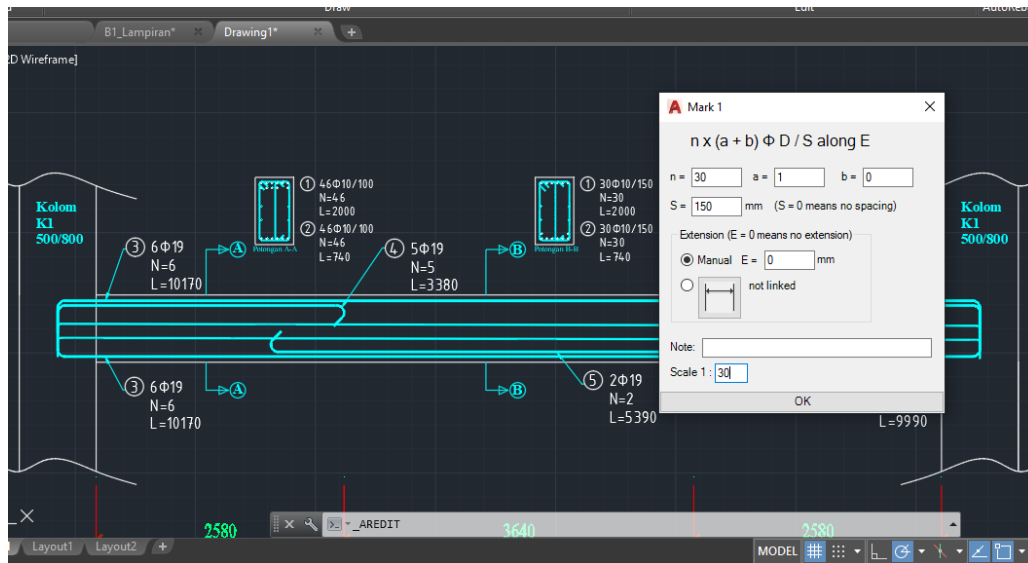
Dalam membuat gambar detail penulangan diawali dengan menggambar profil balok secara memanjang dan melintang. Untuk membuat gambar profil balok memanfaatkan perintah – perintah yang sering digunakan seperti perintah *Line*, *Rectangle*, *Copy*, *Move*, dll. Gambar profil balok dapat dilihat pada Gambar 4.16 Berikut



Gambar 4. 16 Profil Balok B1

2. Mengisi atribut penulangan

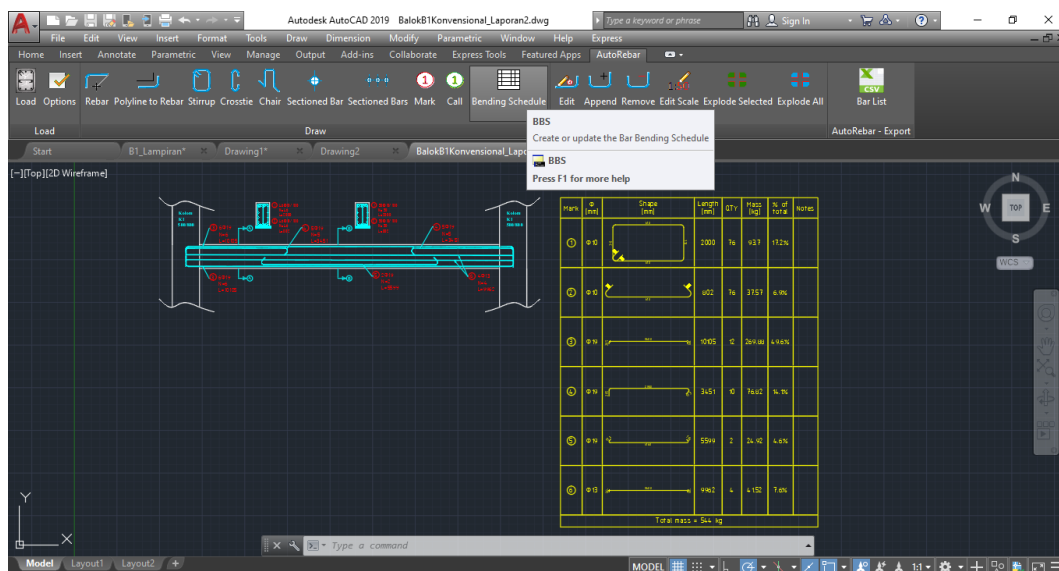
Atribut penulangan dikerjakan menggunakan menu *Plug in Autorebar*. Atribut penulangan diisi berdasarkan BBS Konvensional yang telah dibuat. Penggambaran dilakukan dengan memilih menu *Stirrup* untuk membuat tulangan geser dan menu *Polyline to Rebar* untuk membuat tulangan longitudinal. Selanjutnya yaitu mengisi karakteristik penulangan dengan memilih menu *Mark* pada tulangan tujuan, data – data seperti jumlah dan jarak tulangan diisi dengan mengklik dua kali pada tulangan tujuan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4. 17 Pengisian Atribut Balok Autorebar

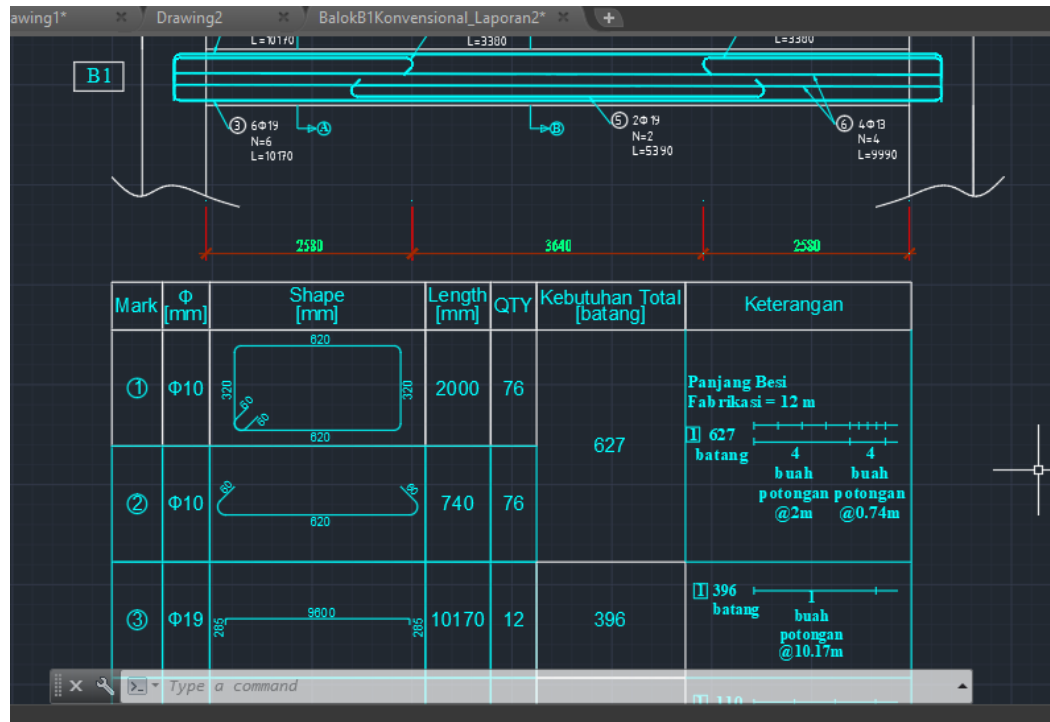
3. Menampilkan tabel bestaat

Tabel bestaat dapat ditampilkan setelah semua atribut pada balok selesai dikerjakan. Tabel bestaat dimunculkan dengan memilih menu *Bending Schedule* pada bilah menu. Selanjutnya akan muncul tampilan bestaat *default* dari *Autorebar*. Untuk mengisi data – data lain digunakan perintah *Explode* kemudian mengisi secara manual data yang diperlukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4. 18 Bestaat Konvensional

Pada bestaat konvensional keterangan distribusi *waste* besi pada BBS harus dicantumkan secara manual. Keterangan informasi tersebut dimaksudkan agar *workshop* pembesian sesuai dengan yang direncanakan. Selain itu hal ini digunakan sebagai dasar informasi perakitan tulangan di lokasi kerja. Bestaat konvensional balok dapat dilihat pada gambar 4.19

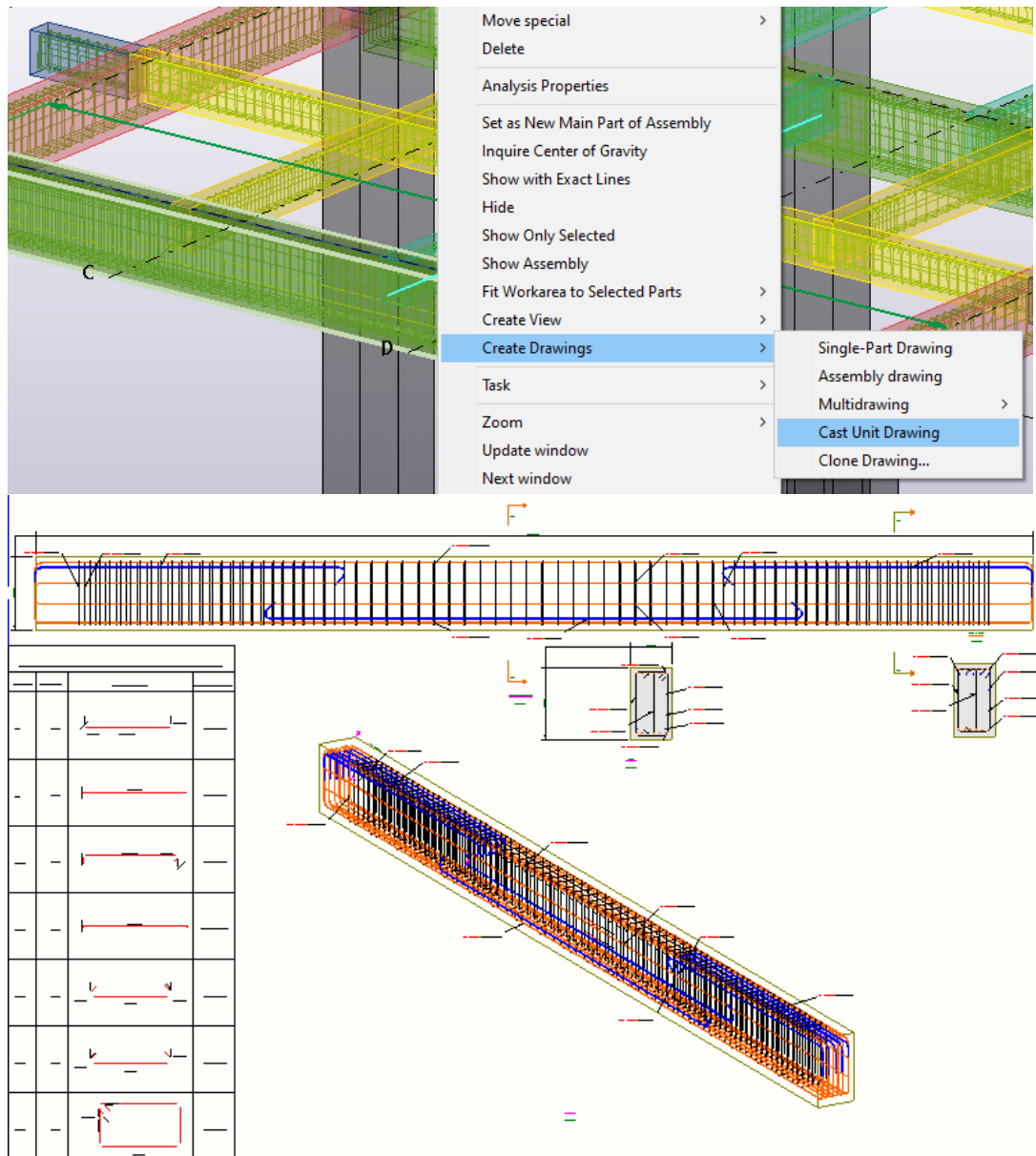


Gambar 4. 19 Bestaat Konvensional Balok

4.4.4 Bestaat *Building Information Modeling* (BIM)

Bestaat digunakan sebagai acuan pemotongan dan pembengkokkan besi tulangan pada pekerjaan *workshop* pembesian. Bestaat juga dijadikan acuan dalam perakitan tulangan di *site construction* atau lokasi kerja. Bestaat konvensional ini memuat informasi seperti bentuk pemotongan, panjang pemotongan, panjang tekukan, jumlah tulangan, dan tipe balok. Berbeda dengan bestaat konvensional, bestaat BIM dapat ditampilkan secara otomatis. Bestaat dapat dimunculkan lengkap dengan *section* atau potongan detail balok. Data yang ditampilkan berupa *file* dalam bentuk format CAD yang berisi gambar pemotongan besi tulangan serta *bill of quantity* material. Langkah – langkah dalam pembuatan bestaat BIM adalah sebagai berikut :

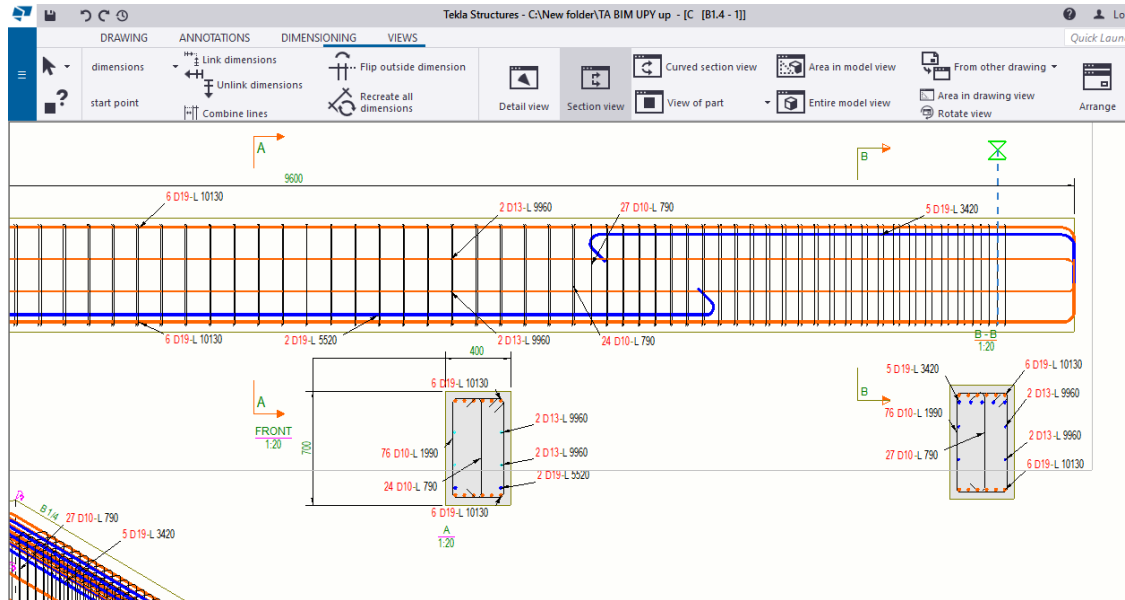
1. Klik kanan pada balok yang dituju, pilih *Create Drawings* > *Cast Unit Drawing*,
2. Pada Toolbar pilih *Drawing & Report* > *Drawing List*. Pada kotak dialog *Drawing List* klik dua kali pada file hasil *export* untuk menampilkan bestaat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut,



Gambar 4. 20 Output Bestaat

3. Untuk membuat *section* atau potongan pada balok dilakukan dengan cara pada *Toolbar Views* pilih *Section View*. Selanjutnya klik dua titik batas bagian yang akan dibuat detail potongan pada balok. Pilih tempat untuk

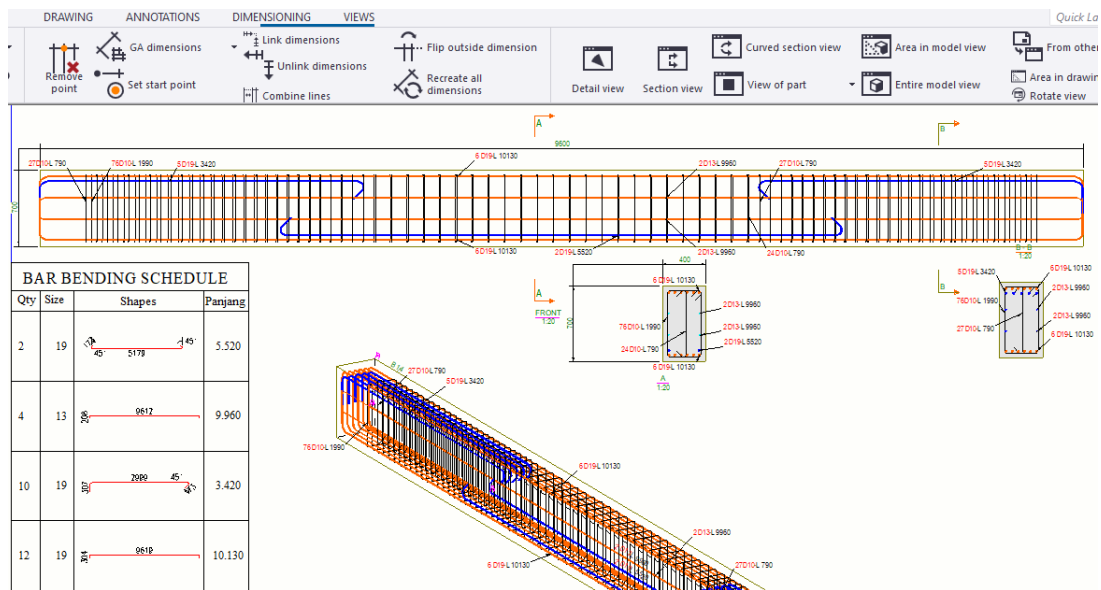
menempatkan gambar *section detail* di bagian *frame* yang kosong, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut,



Gambar 4. 21 Menampilkan Section View

4. Setelah gambar detail telah siap ditransfer ke format CAD, pilih *Drawing File* > *Export* > Isi nama *File* > *Export*.

Pada Bestaat BIM keterangan distribusi *waste* besi tidak dicantumkan seperti pada Bestaat Konvensional. Hal ini karena pada saat analisis perhitungan *Bar Bending Schedule*, tipe pemotongan tulangan sudah ditentukan. Data informasi yang ditampilkan dalam Bestaat BIM juga akan berbeda dibanding Bestaat Konvensional. Bestaat BIM balok B1 akan ditampilkan pada gambar 4.22 berikut. Selanjutnya bestaat keseluruhan tipe balok ditampilkan pada lampiran.



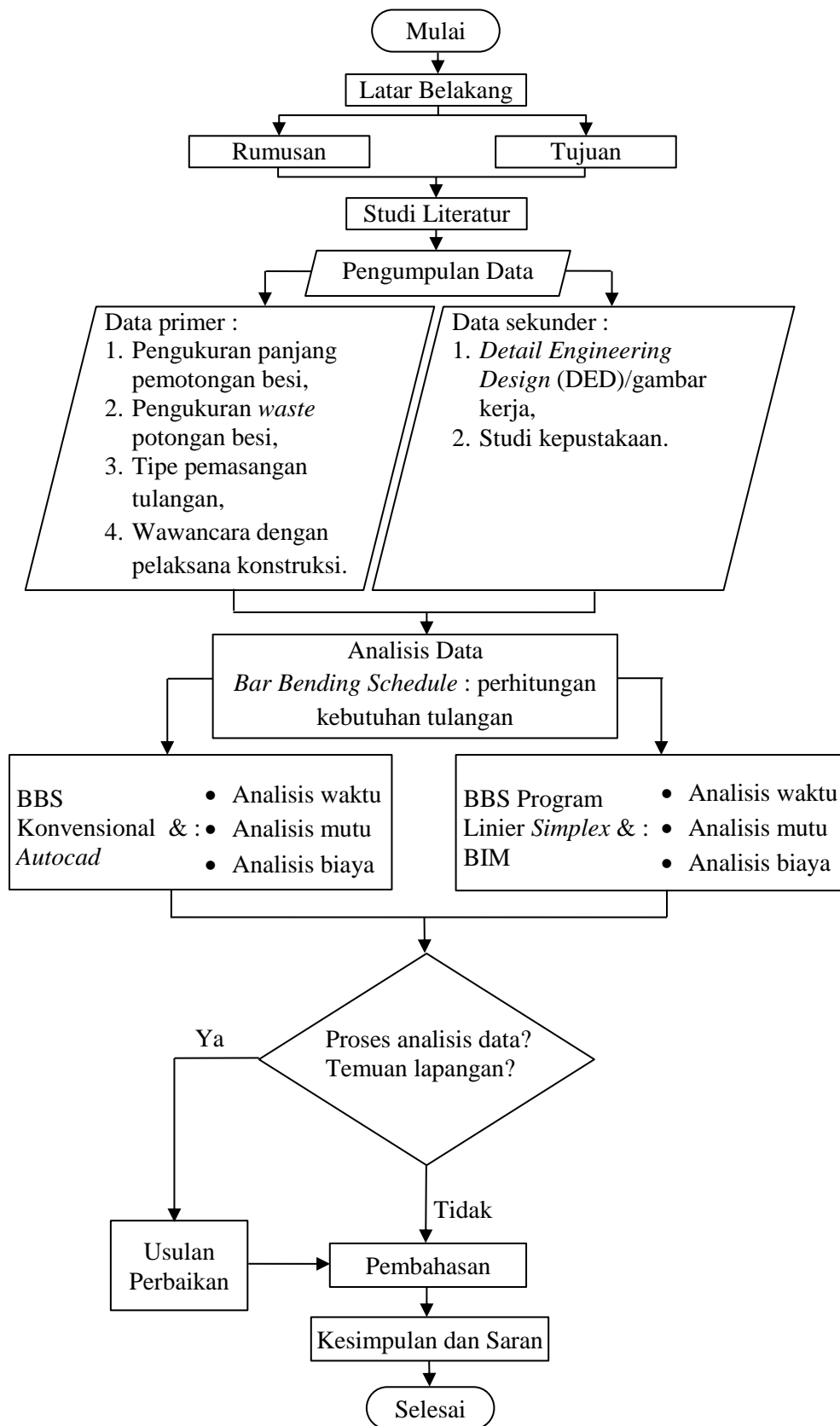
Gambar 4. 22 Bestaat BIM Balok B1

4.5 Bagan Alir Penelitian

Berdasar pada tahapan – tahapan metodologi penelitian yang telah diuraikan, maka dibuat bagan alir (*flowchart*) sebagai gambaran spesifik penelitian yang menunjukkan urutan prosedur dan langkah –langkah dalam melakukan penelitian. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.23 berikut.

4.6 *Time Schedule* Penelitian

Time Schedule penelitian adalah rencana alokasi waktu untuk menyelesaikan masing – masing item pekerjaan dalam proses penelitian. *Time Schedule* penelitian merupakan perencanaan keseluruhan rentang waktu yang ditetapkan pada tiap item kegiatan penelitian hingga penelitian disusun secara sistematis dan padu. *Time Schedule* penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.



Gambar 4. 23 Flowchart Penelitian

Tabel 4. 1 Time Schedule Penelitian

Kegiatan	Jam Kerja	Bobot (%)	Bulan 1				Bulan 2				
			Minggu				Minggu				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
Tahap Persiapan											
1. Studi Literatur	6	5%	4 jam	2 jam							
2. Studi Kepustakaan	4	3%		2 jam	2 jam						
Tahap Pengamatan											
1. Pengukuran pemotongan tulangan	12	10%			4 jam	4 jam	4 jam				
2. Pengukuran pemotongan <i>waste</i> tulangan	12	10%				4 jam	4 jam	4 jam			
3. Tipe pemasangan tulangan, Manajemen material besi tulangan, Wawancara pelaku konstruksi	8	6%			2 jam	2 jam	2 jam	2 jam			
Tahap Penyusunan Tugas Akhir											
1. Analisis data	12	10%						4 jam	4 jam	4 jam	
2. Manajemen risiko	8	6%							4 jam	4 jam	
3. Penyusunan <i>draft</i> laporan	32	25%	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam
4. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing	12	10%	2 jam		2 jam			2 jam	2 jam	2 jam	2 jam
5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir	20	16%				4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam	4 jam
Jumlah	126	100%									
Durasi Jam Kerja Setiap Minggu			10 jam	8 jam	14 jam	18 jam	20 jam	20 jam	18 jam	18 jam	
Jam Kumulatif			10 jam	18 jam	32 jam	50 jam	70 jam	90 jam	108 jam	126 jam	
Bobot Kerja Setiap Minggu (%)			8%	6%	11%	14%	16%	16%	14%	14%	
Bobot Kerja Kumulatif (%)			8%	14%	25%	40%	56%	71%	86%	100%	

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Analisis dan pembahasan pada bab ini akan membahas pengolahan data dan informasi berdasar data – data yang didapatkan penulis. Data sekunder menjadi bahan utama dalam analisis dimana penelitian penulis berfokus pada kegiatan *prevention & reduce* yaitu pencegahan dan pengurangan *waste* besi tulangan yang biasa terjadi baik pada tahap perencanaan, produksi, maupun pelaksanaan proyek konstruksi. Sedangkan data primer digunakan penulis sebagai dasar informasi analisa terhadap kejadian atau temuan yang ada di lapangan berkaitan dengan produk *waste* besi tulangan. Pengolahan data pendetailan komponen struktur mengacu pada standar peraturan yang berlaku dan dikerjakan dengan bantuan *software Microsoft Excel, Autocad, dan Tekla Structures*.

Pembahasan pada bab ini berupa penjelasan teoritis yang dibahas secara kuantitatif berdasarkan pengolahan data dan logika informasi yang didapatkan dalam siklus proyek konstruksi. Data hasil penelitian selanjutnya ditampilkan dalam bentuk penabelan dan dilakukan perbandingan metode optimasi dari tinjauan waktu, mutu, dan biaya.

5.2 Deskripsi Proyek

Universitas sebagai sarana pendidikan tinggi semakin berkembang dari hari ke hari. Mulai dari tenaga pengajar, karyawan, maupun mahasiswa. Kesadaran masyarakat akan pentingnya mengenyam pendidikan terutama pendidikan tinggi semakin besar. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan jumlah mahasiswa dengan ruang kelas yang ada. Proyek pembangunan Gedung Fakultas Teknik Universitas PGRI Yogyakarta merupakan prasarana untuk mengatasi permasalahan tersebut demi tercapainya pembelajaran yang efektif dan kondusif. Gedung tersebut dibangun dengan portal beton komposit sebagai komponen strukturnya. Lokasi proyek berada di JL IKIP PGRI 1 Sonosewu NO 117 Ngestiharjo, Kasihan, Bantul,

Yogyakarta. Konsultan perencana dan pelaksana pembangunan proyek ini adalah Tim Swakelola yang ditunjuk pengelola Yayasan PGRI. Gambar pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY

Dengan luas lahan 360 m² Gedung Fakultas Teknik UPY memiliki 5 lantai dan 1 atap. Adapun klasifikasi Gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. 1 berikut

Tabel 5. 1 Klasifikasi Gedung Fakultas Teknik UPY

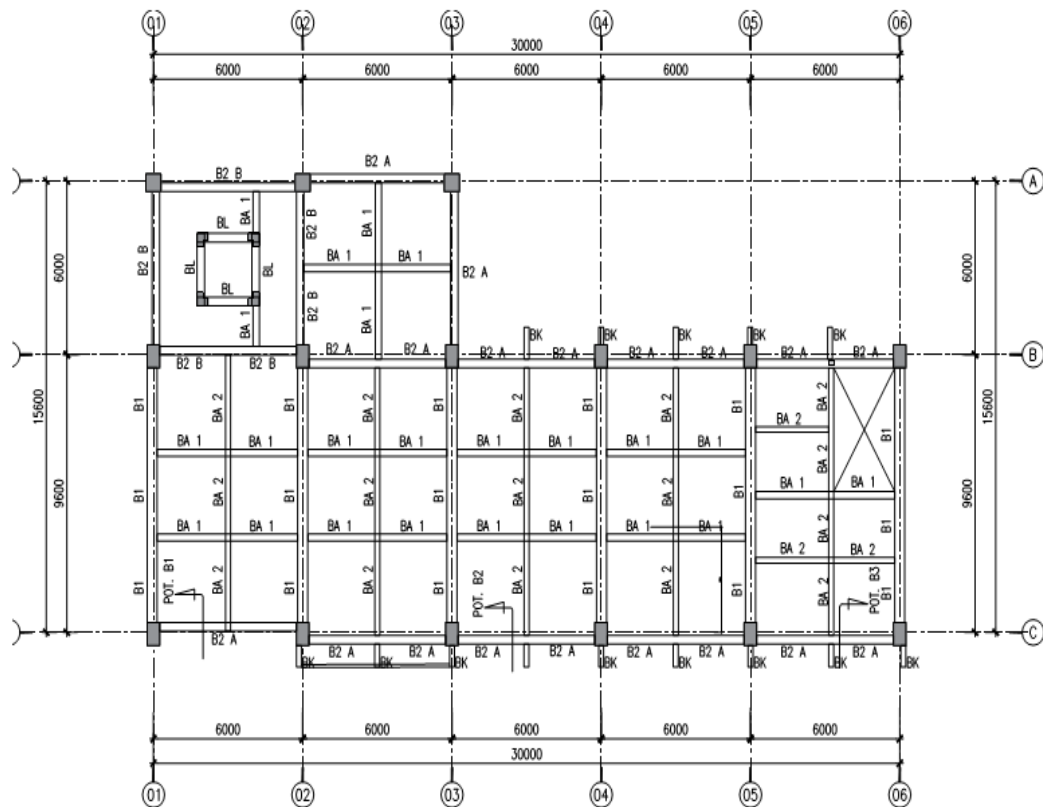
Luas Lahan	360 m ²		
Luas Bangunan Total	1488.24 m ²		
Per-lantai	Luas (m ²)	Tinggi (m)	Fungsi Bangunan
Elevasi -2,9 m sampai -0,13 m (basement)	144	2.77	Ground water tank, basement, ruang pompa, tangga
Elevasi 0 m sampai +3,8 m (lantai 1)	115.2	3.8	Lobi, mushola, tangga, ruang sarana & prasarana, ruang resimen mahasiswa
Elevasi +3,8 m sampai +7,5 m (lantai 2)	324	3.7	ruang dekan, ruang rapat dekan, ruang tunggu, tangga, ruang kelas
Elevasi +7,5 m sampai +11,2 m (lantai 3)	324	3.7	ruang kelas, tangga, ruang laboratorium komputer, ruang laboratorium robot
Elevasi +11,2 m sampai +14,9 m (lantai 4)	324	3.7	ruang kelas, tangga
Elevasi +14,9 m sampai +18,6 m (lantai 5)	185.04	3.7	ruang kelas, tangga
Elevasi +18,6 m sampai +22,2 m (atap)	72	3.6	ruang mesin <i>elevator</i> , ruang sarana & prasarana.

5.3 Data Teknis Pekerjaan Balok

Pada penelitian ini penulis melakukan studi kasus komponen struktur balok untuk dilakukan optimasi kebutuhan tulangan. Penelitian yang ditinjau mencakup kegiatan penulangan pada seluruh tipe balok baik dari segi perencanaan maupun kondisi eksisting di lapangan. Data yang dibutuhkan penulis dalam melakukan penelitian adalah data sekunder dan data primer. Data primer yang dibutuhkan penulis berupa tipe pemasangan tulangan dan wawancara kepada pihak direksi terkait pengalaman pekerjaan penulangan secara keseluruhan. Hal ini diharapkan dapat dijadikan sumber informasi mengenai penyimpangan yang biasa terjadi di lapangan sehingga dapat dijadikan dasar analisis dan pemecahan masalah. Data sekunder yang dibutuhkan penulis antara lain : gambar struktur proyek atau DED dan bestaat pemotongan besi tulangan.

1. Gambar Struktur Proyek

Gambar struktur proyek atau *Detail Engineering Design* (DED) adalah gambar detail kebutuhan tulangan komponen struktur yang merupakan produk konsultan perencana (*structure engineer*). Gambar DED ini belum termasuk gambar pembengkokkan dan pemotongan tulangan serta belum dilakukan optimasi. Gambar DED dijadikan acuan oleh *detailer* ataupun *estimator* dalam melakukan optimasi. Data DED yang dibutuhkan penulis berupa denah balok dan detail balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, dan Tabel 5.2 berikut.



DENAH BALOK EL.+3.800, +7.500
 DENAH BALOK EL.+11.200, +14.900
 SKALA 1 : 150

Gambar 5. 2 Denah Balok

TYPE	BALOK B1		BALOK B2 A		BALOK B2 B		BALOK BA 1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN								
TUL. ATAS	11 D 16	8 D 13	7 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	4 D 16
TUL. BAWAH	6 D 16	8 D 13	5 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	4 D 16	4 D 16
SENGKANG	3 P 10 - 100	3 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150
TUL. PINGGANG	4 D 13	4 D 13	4 D 13	2 D 13	4 D 13	4 D 13	2 D 16	2 D 16

TYPE	BALOK BA 2		BALOK BL		BALOK BK		BALOK BKA	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN								
TUL. ATAS	3 D 16	3 D 16	8 D 19	4 D 19	6 D 16	6 D 16	4 D 16	4 D 16
TUL. BAWAH	3 D 16	3 D 16	1 D 19	1 D 19	1 D 13	1 D 13	2 D 13	2 D 13
SENGKANG	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150
TUL. PINGGANG	2 D 16	2 D 16	2 D 13	2 D 13	2 D 10	2 D 10	2 D 10	2 D 10

Mutu Beton $f'c$	= 25 MPa / K - 300
Mutu Besi Ulir (D) f_y	= 400 MPa
Mutu Besi Palos (P) f_y	= 240 MPa
Mutu Baja	BJ - 37
Mutu Las	EX 70XX

DETAIL BALOK
SKALA NTS

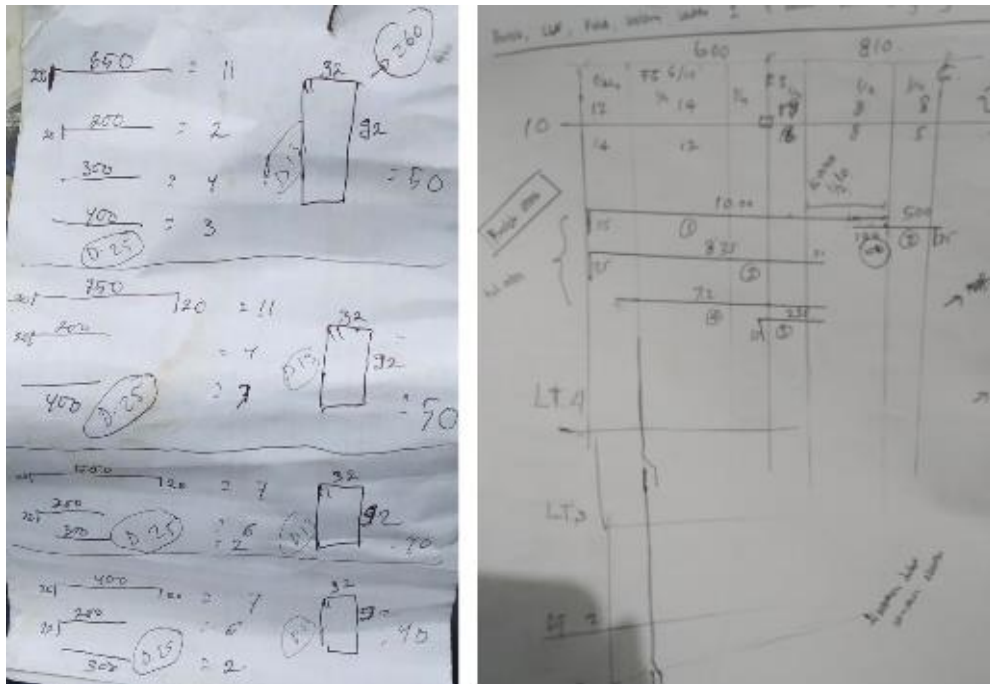
Gambar 5. 3 Detail Balok

Tabel 5. 2 Data – Data Balok

Kode Balok	Dimensi			Jumlah	Jumlah Tulangan				
	B	H	L		Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan	Tulangan Pinggang
	(m)	(m)	(m)						
B1	0.40	0.70	9.60	15.00	17D19	14D19	3P10-100	3P10-150	4D13
B2A	0.30	0.60	6.00	30.00	12D16	10D16	2P10-100	2P10-150	2D13
B2B	0.30	0.60	6.00	13.00	10D16	10D16	2P10-100	2P10-150	4D13
BA1	0.25	0.40	6.00	32.00	9D16	8D16	2P10-100	2P10-150	2D10
BA2	0.20	0.40	9.60	37.00	6D16	6D16	2P10-100	2P10-150	2D10
BL	0.30	0.60	2.202	17.00	10D19	8D19	2P10-100	2P10-150	2D13
BK	0.25	0.40	1.30	37.00	10D16	10D16	2P10-100	2P10-150	2D10

2. Bestaat Besi Tulangan

Bestaat adalah gambar kerja yang dijadikan acuan oleh tukang potong dan pembengkokkan besi tulangan. Bestaat juga dijadikan acuan pemasangan tulangan di lokasi kerja berdasar tipe pemotongan yang telah dibuat. Pada proyek ini, bestaat dibuat secara konvensional yaitu catatan gambar dan tipe pemotongan tulangan dari pelaksana. Berdasarkan wawancara secara tidak langsung dengan pelaku konstruksi yaitu pihak pelaksana, proses perencanaan BBS dihitung per bentang balok atau tidak memperhitungkan pemasangan tulangan menerus. Namun kondisi eksisting di lapangan menunjukkan pemasangan tulangan tetap dilakukan secara menerus bentang balok. Hal ini umum dilakukan agar jumlah tulangan pada saat pelaksanaan tetap memenuhi kebutuhan walaupun seringkali berlebih. Bestaat balok dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



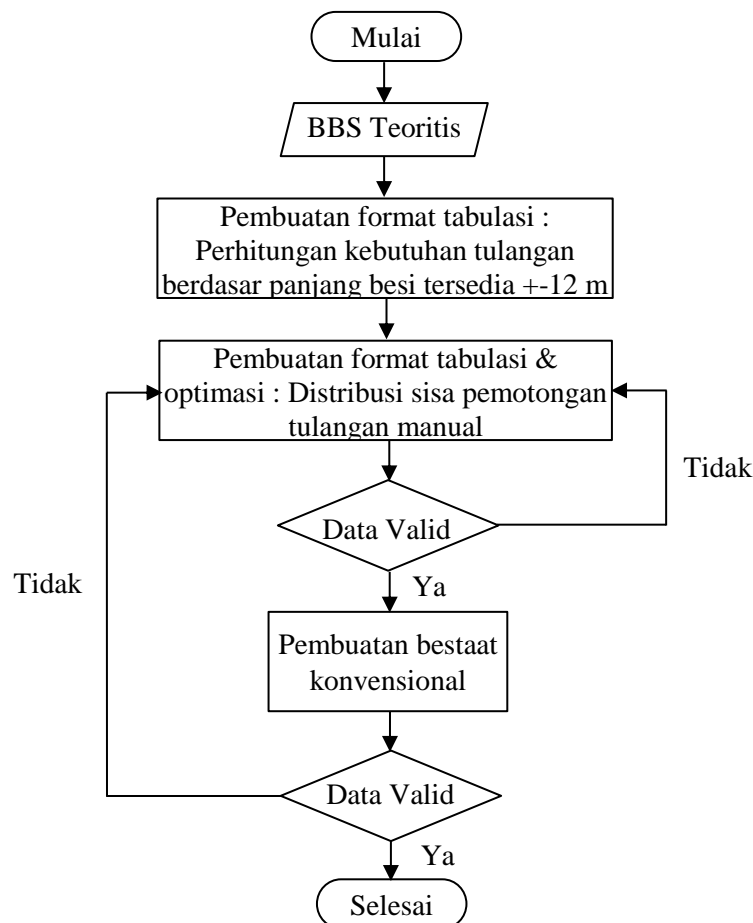
Gambar 5. 4 Bestaat Balok

5.4 Analisis Kebutuhan Tulangan

Analisis kebutuhan besi tulangan merupakan tahap pengolahan data yang termasuk ke dalam proses pemodelan, pendetailan, serta optimasi kebutuhan tulangan. Analisis dilakukan berdasar kepada gambar struktur proyek dan peraturan yang berlaku. Hasil dari analisis kebutuhan tulangan nantinya berupa BBS dan bestaat. Pada tahap perencanaan, BBS yang menampilkan *bill of quantity* material besi tulangan dijadikan acuan untuk keperluan estimasi biaya. Pada tahap pelaksanaan, bestaat digunakan sebagai acuan pabrikan besi tulangan oleh tukang potong besi dan dijadikan acuan oleh pelaksana untuk pemasangan tulangan di lapangan. Dalam prosesnya, penulis menilai tiap metode yang digunakan dari tinjauan waktu, mutu, dan biaya.

5.4.1 BBS Konvensional

Bar Bending Schedule Konvensional merupakan perhitungan kebutuhan tulangan per-bentang balok berdasarkan BBS teoritis. BBS Konvensional diperlukan sebagai acuan pembuatan bestaat dan estimasi biaya. Dalam proses perhitungan, BBS konvensional sudah memperhitungkan panjang besi pabrikan (+-12m) dan sudah dilakukan optimasi kebutuhan tulangan. Optimasi kebutuhan tulangan pada BBS Konvensional dilakukan secara manual dengan mendistribusikan sisa pemotongan tulangan yang masih bisa digunakan ke komponen tulangan balok yang lain. Proses analisis perhitungan BBS Konvensional dilakukan melalui beberapa tahapan. Diagram alir atau *flowchart* BBS Konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

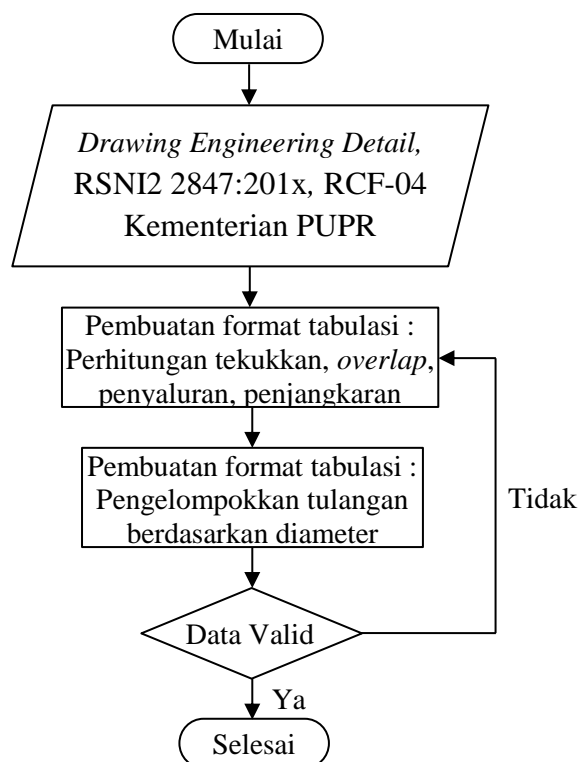


Gambar 5. 5 Flowchart BBS Konvensional

Untuk keperluan penulisan laporan, perhitungan BBS konvensional dilakukan pada tipe balok B1 dan tulangan balok diameter 19. Selanjutnya BBS konvensional keseluruhan tipe balok akan disajikan dalam bentuk tabel.

1. BBS Teoritis

Bar Bending Schedule teoritis merupakan perhitungan kebutuhan tulangan berdasarkan gambar DED proyek dan standar peraturan yang berlaku. BBS teoritis diperlukan untuk menghitung panjang penjangkaran, panjang *overlap*, dan panjang tekukkan dari tiap komponen tulangan penyusun balok. BBS teoritis ini belum bisa dijadikan acuan untuk estimasi biaya. Hal ini disebabkan dasar perhitungan belum mempertimbangkan panjang besi pabrikan yang tersedia di pasaran dan belum dilakukan optimasi. Estimasi biaya besi tulangan tanpa memperhitungkan panjang besi pabrikan yaitu ± 12 m dipastikan menyebabkan *cost overrun* atau pembengkakan biaya yang besar. Hal ini dikarenakan besi tulangan merupakan jenis *consumable material* dengan biaya tertinggi pada pekerjaan struktur. *Flowchart* BBS Teoritis dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 6 Flowchart BBS Teoritis

Untuk keperluan penulisan laporan, perhitungan BBS teoritis dilakukan pada Balok B1 Portal 1 Bentang A-B. Selanjutnya BBS teoritis keseluruhan tipe balok akan disajikan dalam bentuk tabel. Berikut detail balok B1 yang dapat dilihat pada Gambar 5.7.

TYPE	BALOK B1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TUL. ATAS	11 D 19	6 D 19
TUL. BAWAH	6 D 19	8 D 19
SENGKANG	3 P 10 - 100	3 P 10 - 150
TUL. PINGGANG	4 D 13	4 D 13

Gambar 5. 7 Detail Balok B1

Data Balok B1

Batas kanan balok (Kolom K1)	= 800 mm
Batas kiri balok (Kolom K1)	= 800 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi Balok (h)	= 700 mm
Selimit beton (sb)	= 40 mm
Panjang bentang (L)	= 9600 mm
Diameter tulangan pokok (db)	= 19 mm
Diameter tulangan susut (ds)	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang (dp)	= 19 mm
Jenis sengkang	= 3 kaki
Jarak daerah tumpuan (x)	= 100 mm
Jarak daerah lapangan (x)	= 150 mm

$$\begin{aligned} \text{Panjang bentang efektif (Ln)} &= \left(L - \left(\frac{L}{2} \text{ Kolom K1} \right) - \left(\frac{L}{2} \text{ Kolom K1} \right) \right) \\ &= \left(9600 - \left(\frac{L}{2} \times 800 \right) - \left(\frac{L}{2} \times 800 \right) \right) \\ &= 8800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang setengah Ln} \left(\frac{1}{2} Ln \right) = \left(\frac{8800}{2} \right) = 4400 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang seperempat Ln} \left(\frac{1}{4} Ln \right) = \left(\frac{8800}{4} \right) = 2200 \text{ mm}$$

a. Perhitungan Panjang Tulangan Pokok

- 1) Panjang tekukkan (6ds) $= 6 \times ds = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$
- 2) Overlap daerah tumpuan & lapangan (20db) $= 20 \times 19 = 380 \text{ mm}$
- 3) Panjang penyaluran (ℓ_{ext}) $= 15 \times ds = 15 \times 19 = 285 \text{ mm}$
- 4) Panjang penjangkaran (ℓ_d perlu) $= h \text{ kolom}/2 = 800/2 = 400 \text{ mm}$
- 5) Panjang tulangan teoritis

a) Panjang teoritis tepi atas dan bawah

$$\begin{aligned} &= Ln + (2 \times \ell_d) + (2 \times \ell_{ext}) \\ &= 8800 + (2 \times 400) + (2 \times 285) \\ &= 10170 \text{ mm} = 10.71 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Panjang teoritis tumpuan ($1/4 Ln$)

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{1}{4} Ln + 6db + 20db + \ell_{ext} \right) \\ &= (2200 + 114 + 380 + 285) \\ &= 3380 \text{ mm} = 3.38 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Panjang teoritis lapangan ($1/2 Ln$)

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} Ln + (2 \times 6db) + (2 \times 20db) \\ &= 4400 + (2 \times 114) + (2 \times 380) \\ &= 5390 \text{ mm} = 5.39 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Panjang Tulangan Susut

- 1) Panjang penyaluran (ℓ_{ext}) $= 15 \times ds = 15 \times 16 = 195 \text{ mm}$
- 2) Panjang penjangkaran (ℓ_d perlu) $= h \text{ kolom}/2 = 800/2 = 400 \text{ mm}$
- 3) Panjang teoritis $= Ln + (2 \times \ell_d) + (2 \times \ell_{ext})$
 $= 8800 + (2 \times 400) + (2 \times 195)$
 $= 9900 \text{ mm} = 9.99 \text{ m}$

c. Perhitungan Panjang Tulangan Sengkang (3p10)

1) panjang kait (6d) = $6 \times dp = 6 \times 10 = 60 \text{ mm}$

2) panjang sengkang 2 kaki

$$= ((h - 2 \times sb) \times 2) + ((b - 2 \times sb) \times 2) + (2 \times 6dp)$$

$$= ((700 - 2 \times 40) \times 2) + ((400 - 2 \times 40) \times 2) + (2 \times 60)$$

$$= 2000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

3) panjang sengkang 1 kaki

$$= (h - (2 \times sb)) + (6db \times 2)$$

$$= (700 - (2 \times 40)) + (60 \times 2)$$

$$= 740 \text{ mm} = 0,74 \text{ m}$$

4) panjang sengkang total = $2 + 0.74 = 2.74 \text{ m}$

5) jumlah tulangan sengkang

a) daerah tumpuan = $(\frac{1}{4}Ln : X) \times 2 + 2$

$$= (2200 : 100 \times 2) + 2$$

$$= 46 \text{ buah}$$

b) daerah lapangan = $(\frac{1}{4}Ln : X)$

$$= 2200 : 100$$

$$= 30 \text{ buah}$$

c) jumlah tulangan sengkang = $46 + 30 = 76 \text{ buah}$

Selanjutnya Perhitungan *Bar Bending Schedule* teoritis untuk keseluruhan tipe balok disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 BBS Teoritis

BBS Teoritis Tulangan Pokok					
D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan(n)	Panjang Perlu teoritis (m)
19	B1	33	Lapis Atas	6	10.17
			Tumpuan	10	3.38
			Lapangan	2	5.39
			Lapis Bawah	6	10.17
	BL	21	Lapis Atas	4	3.07
			Tumpuan	4	1.48
			Lapis Bawah	4	3.07
		4	Lapis Atas	4	6.22
			Tumpuan	4	2.34
			Lapis Bawah	4	6.22
16	B2A	65	Lapis Atas	5	6.48
			Tumpuan	4	2.28
			Lapis Bawah	5	6.48
	B2B	28	Lapis Atas	5	6.48
			Lapis Bawah	5	6.48
	BA1	64	Lapis Atas	4	6.48
			Tumpuan	2	2.26
			Lapis Bawah	4	6.48
	Ba1*	110	Lapis Atas	4	1.8
			Tumpuan	1	1.8
			Lapis Bawah	4	1.8
	BA2	27	Lapis Atas	3	10.08
			Lapis Bawah	3	10.08
		6	Lapis Atas	3	3.83
			Lapis Bawah	3	3.83
		6	Lapis Atas	3	6.48
			Lapis Bawah	3	6.48
	BK	65	Lapis Atas	4	2.18
			Tumpuan	2	2.18
			Lapis Bawah	4	2.18
	BK*	16	Lapis Atas	4	2.37
Tumpuan			2	2.37	
Lapis Bawah			4	2.37	

Lanjutan Tabel 5.2 BBS Teoritis

BBS Teoritis Tulangan Susut					
D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Jumlah Penulangan(n)	Panjang Perlu teoritis (m)	
13	B1	33	4	9.99	
	BL	21	2	2.89	
	BL*	4	2	6.19	
	B2A	65	2	6.39	
	B2B	28	4	6.39	
10	BA1	64	2	6.30	
	Ba1*	110	2	2.00	
	BA2	27	2	9.90	
	BA2	6	2	3.55	
	BA2	6	2	6.30	
	BK	65	2	2.00	
	BK*	16	2	2.19	
BBS Teoritis Tulangan Sengkang					
D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)
10	B1	33	Tumpuan	46	2.74
			Lapangan	30	2.74
	BL	33	Tumpuan	11	1.6
			Lapangan	8	1.6
	B2A	65	Tumpuan	31	1.6
			Lapangan	21	1.6
	B2B	28	Tumpuan	29	1.6
			Lapangan	18	1.6
	BA1	67	Tumpuan	32	1.1
			Lapangan	20	1.1
	BA2	33	Tumpuan	48	1
			Lapangan	31	1
	BK	81	Tumpuan	8	1.1
			Lapangan	4	1.1

2. Menghitung Kebutuhan Tulangan

Pada tahap ini perhitungan didasarkan pada kebutuhan panjang tulangan BBS Teoritis dan panjang besi yang tersedia di lapangan yaitu ± 12 m. Hasil dari perhitungan di tahap ini berupa sisa potongan dan kebutuhan total tulangan. Analisis perhitungan dilakukan pada Tipe Balok B1 untuk keperluan laporan. BBS Teoritis balok B1 dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 BBS Teoritis Balok B1

BBS Teoritis Tulangan Pokok					
D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan(n)	Panjang Perlu teoritis (m)
19	B1	33	Lapis Atas	6	10.17
			Tumpuan	10	3.38
			Lapangan	2	5.39
			Lapis Bawah	6	10.17

a. Perhitungan panjang tulangan pokok

Diameter tulangan pokok = 19 m

Panjang besi fabrikasi = 12 m

1) Jumlah potongan (np)

- a) lapis atas (np) = $12 : 10.17 = 1$ bagian
 sisa potongan = $12 - (10.17 \times 1) = 1.83$ m
- b) lapis bawah (np) = $12 : 10.17 = 1$ bagian
 sisa potongan = $12 - (10.17 \times 1) = 1.83$ m
- c) tumpuan (np) = $12 : 3.38 = 3$ bagian
 sisa potongan = $12 - (3.38 \times 3) = 1.86$ m
- d) lapangan (np) = $12 : 5.39 = 2$ bagian
 sisa potongan = $12 - (5.39 \times 2) = 1.22$ m

2) Jumlah besi yg diperlukan per 12 m untuk satu satuan penulangan (μ)

Panjang besi 12 m = 1 bagian

Rumus = $1 : \text{jumlah potongan (np)}$

- a) μ lapis atas & bawah = $1 : 1 = 1$
- b) μ tumpuan = $1 : 3 = 0.33$
- c) μ lapangan = $1 : 2 = 0.5$

3) Panjang besi yang diperlukan

$$\text{Rumus} = 12 \times nb \times n \times \mu$$

$$\text{a) lapis atas} = 12 \times 33 \times 6 \times 1 = 2376 \text{ m}$$

$$\text{b) lapis bawah} = 12 \times 33 \times 6 \times 1 = 2376 \text{ m}$$

$$\text{c) tumpuan} = 12 \times 33 \times 10 \times 0.33 = 1320 \text{ m}$$

$$\text{d) lapangan} = 12 \times 33 \times 2 \times 0.5 = 396 \text{ m}$$

b. Perhitungan panjang tulangan susut

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Panjang besi fabrikasi} = 12 \text{ m}$$

$$1) \text{ Jumlah potongan (np)} = 12 : 9.99 = 1 \text{ bagian}$$

$$\text{sisanya potongan} = 12 - (9.99 \times 1) = 2.1 \text{ m}$$

$$2) \text{ Jumlah besi yg diperlukan per 12 m untuk satu satuan penulangan } (\mu)$$

$$\text{Panjang besi 12 m} = 1 \text{ bagian}$$

$$\text{Rumus} = 1 : \text{jumlah potongan (np)}$$

$$\mu = 1 : 1 = 1$$

3) Panjang besi yang diperlukan

$$\text{Rumus} = 12 \times nb \times n \times \mu$$

$$\text{Panjang besi tulangan susut B1} = 12 \times 33 \times 4 \times 1 = 1584 \text{ m}$$

c. Perhitungan panjang tulangan sengkang

$$\text{Diameter tulangan sengkang} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Panjang sengkang} = 2.74 \text{ m}$$

$$n \text{ sengkang} = 74$$

$$\text{Panjang besi fabrikasi} = 12 \text{ m}$$

$$1) \text{ Jumlah potongan (np)} = 12 : 2.74 = 4 \text{ bagian}$$

$$2) \text{ Jumlah besi yg diperlukan per 12 m untuk satu satuan penulangan } (\mu)$$

$$\text{Panjang besi 12 m} = 1 \text{ bagian}$$

$$\text{Rumus} = 1 : \text{jumlah potongan (np)}$$

$$\mu \text{ sengkang} = 1 : 4 = 0.25$$

3) Panjang besi yang diperlukan

$$\text{Rumus} = 12 \times nb \times n \times \mu$$

$$\text{Panjang besi tulangan sengkang B1} = 12 \times 33 \times 76 \times 0.25 = 7524 \text{ m}$$

Perhitungan BBS Konvensional untuk keseluruhan tipe balok dikelompokkan berdasarkan ukuran diameter dan disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 5 BBS Konvensional

Jenis Tulangan	D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)	Jumlah Potongan (np)	Waste besi (m)	μ Besi per 12 m (bagian)	Panjang besi yg diperlukan (m)		
Tulangan Pokok	19	B1	33	Lapis Atas	6	10.17	1	1.83	1.00	2376		
				Tumpuan	10	3.38	3	1.86	0.33	1320		
				Lapangan	2	5.39	2	1.22	0.50	396		
				Lapis Bawah	6	10.17	1	1.83	1.00	2376		
		BL	21	Lapis Atas	4	3.07	3	2.79	0.33	336		
				Tumpuan	4	1.48	8	0.17	0.13	126		
				Lapis Bawah	4	3.07	3	2.79	0.33	336		
			4	Lapis Atas	4	6.37	1	5.63	1.00	192		
				Tumpuan	4	2.38	5	0.11	0.20	38		
				Lapis Bawah	4	6.37	1	5.63	1.00	192		
			16	B2A	65	Lapis Atas	5	6.48	1	5.52	1.00	3900
						Tumpuan	4	2.28	5	0.59	0.20	624
	Lapis Bawah	5				6.48	1	5.52	1.00	3900		
	B2B	28		Lapis Atas	5	6.48	1	5.52	1.00	1680		
				Lapis Bawah	5	6.48	1	5.52	1.00	1680		
	BA1	64		Lapis Atas	4	6.48	1	5.52	1.00	3072		
				Tumpuan	2	2.26	5	0.72	0.20	307		
				Lapis Bawah	4	6.48	1	5.52	1.00	3072		
	Ba1*	110		Lapis Atas	4	2.2	5	1.1	0.2	1056		
				Tumpuan	1	2.2	5	1.1	0.2	264		
				Lapis Bawah	4	2.2	5	1.1	0.2	1056		

Lanjutan Tabel 5. 4 BBS Konvensional

Jenis Tulangan	D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)	Jumlah Potongan (np)	Waste besi (m)	μ Besi per 12 m (bagian)	Panjang besi yg diperlukan (m)
Tulangan Pokok	16	B2	27	Lapis Atas	3	10.08	1	1.92	1.00	972
				Lapis Bawah	3	10.08	1	1.92	1.00	972
			6	Lapis Atas	3	3.83	3	0.51	0.33	72
				Lapis Bawah	3	3.83	3	0.51	0.33	72
			6	Lapis Atas	3	6.48	1	5.52	1.00	216
				Lapis Bawah	3	6.48	1	5.52	1.00	216
		BK	65	Lapis Atas	4	2.18	5	1.10	0.20	624
				Tumpuan	2	2.18	5	1.10	0.20	312
				Lapis Bawah	4	2.18	5	1.10	0.20	624
		BK*	16	Lapis Atas	4	2.37	5	0.15	0.20	154
				Tumpuan	2	2.37	5	0.15	0.20	77
				Lapis Bawah	4	2.37	5	0.15	0.20	154
Tulangan Sengkang	10	B1	33	Tumpuan	46	2.74	4	1.04	0.25	4554
				Lapangan	30	2.74	4	1.04	0.25	2970
		BL	33	Tumpuan	11	1.6	7	0.8	0.14	622
				Lapangan	8	1.6	7	0.8	0.14	453
		B2A	65	Tumpuan	31	1.6	7	0.8	0.14	3454
				Lapangan	21	1.6	7	0.8	0.14	2340
		B2B	28	Tumpuan	29	1.6	7	0.8	0.14	1392
				Lapangan	18	1.6	7	0.8	0.14	864
		BA1	67	Tumpuan	32	1.1	10	1	0.10	2573
				Lapangan	20	1.1	10	1	0.10	1608

Lanjutan Tabel 5. 4 BBS Konvensional

Jenis Tulangan	D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)	Jumlah Potongan (np)	Waste besi (m)	μ Besi per 12 m (bagian)	Panjang besi yg diperlukan (m)
Tulangan Sengkang	10	BA2	33	Tumpuan	48	1	12	0	0.08	1584
				Lapangan	31	1	12	0	0.08	1023
		BK	81	Tumpuan	8	1.1	10	1	0.10	778
				Lapangan	4	1.1	10	1	0.10	389
Tulangan Susut	13	B1	33		4	9.99	1	2.01	1.00	1584
		BL	21		2	2.89	4	0.44	0.25	126
		BL*	4		2	6.19	1	5.81	1.00	96
		B2A	65		2	6.39	1	5.61	1.00	1560
		B2B	28		4	6.39	1	5.61	1.00	1344
	10	BA1	64		2	6.30	1	5.70	1.00	1536
		Ba1*	110		2	2.00	6	0.00	0.17	440
		BA2	27		2	9.90	1	2.10	1.00	648
		BA2	6		2	3.55	3	1.35	0.33	48
		BA2	6		2	6.30	1	5.70	1.00	144
		BK	65		2	2.00	6	0.00	0.17	260
		BK*	16		2	2.19	5	1.05	0.20	77

3. Distribusi sisa potongan tulangan

Distribusi sisa potongan tulangan dilakukan secara manual untuk mendapatkan tipe pemotongan yang optimal. Hasil akhir pada tahap ini berupa informasi pendistribusian sisa potongan tulangan dari suatu komponen struktur ke komponen struktur yang lain. Hasil akhir pada tahap ini dijadikan acuan pembuatan bestaat dan acuan pemasangan tulangan di lokasi kerja. Terdapat beberapa tahapan kerja untuk melakukan pendistribusian sisa potongan tulangan yang akan dibahas lebih lanjut.

a. Pembuatan tabulasi rekap kebutuhan tulangan

Tabel rekapitulasi pada tahap ini merupakan hasil akhir yang dijadikan dasar informasi dalam pendistribusian sisa potongan tulangan. Tabel rekapitulasi pendistribusian sisa potongan tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.6 Berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi BBS Konvensional D19

D	Tipe Balok	Jumlah Tipe Balok (nb)	Daerah Penulangan	Jumlah Penulangan (n)	Panjang Perlu teoritis (m)	Jumlah Potongan (np)	Waste besi (m)	μ Besi per 12 m (bagian)	Panjang besi yg diperlukan (m)
19	B1	33	Atas	6	10.17	1	1.83	1.00	2376
			Tumpuan	10	3.38	3	1.86	0.33	1320
			Lapangan	2	5.39	2	1.22	0.50	396
			Bawah	6	10.17	1	1.83	1.00	2376
	BL	21	Atas	4	3.07	3	2.79	0.33	336
			Tumpuan	4	1.48	8	0.17	0.13	126
			Bawah	4	3.07	3	2.79	0.33	336
		4	Atas	4	6.37	1	5.63	1.00	192
			Tumpuan	4	2.38	5	0.11	0.20	38
			Bawah	4	6.37	1	5.63	1.00	192

b. Pendistribusian sisa potongan tulangan

Dalam melakukan pendistribusian sisa potongan terdapat beberapa aturan sebagai berikut :

- 1) Pendistribusian diambil dari “Total Potongan”
- 2) *Waste* besi > panjang perlu teoritis,
- 3) Melakukan pengisian secara manual pada kolom “Distribusi *Waste* besi”; “Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi”; dan “Total *Waste*”.

Untuk memudahkan pendistribusian dilakukan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Distribusi Sisa Potongan Tulangan D19

Panjang Besi Fabrikasi		12 meter								
Rekap Distribusi Waste Besi	Daerah Penulangan	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan Sebelum Distribusi (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Ke butuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)
Diameter 19										
B1	Lapis Atas	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
	Tumpuan	3.38	3	110	330	1.86	204.93		110	205
	Lapangan	5.39	2	33	66	1.22	40.392		33	40
	Lapis Bawah	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
BL	Lapis Atas	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	78
	Tumpuan	1.48	8	11	88	0.17	1.848	3	0	85
	Lapis Bawah	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	0
BL*	Lapis Atas	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
	Tumpuan	2.38	5	4	20	0.11	0.42	8	0	31
	Lapis Bawah	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
Jumlah Total tulangan (batang)			642	Total waste sebelum distribusi (meter)		1308.67	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		627	1164
Jumlah Total tulangan (meter)			7704	Nilai waste sebelum distribusi (persen)		17%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		7524	
				Nilai waste setelah distribusi (persen)						15%

Hasil akhir dari tahap ini berupa tipe pemotongan tulangan, jumlah total tulangan, dan nilai *waste* besi. Perhitungan dalam Tabel 5.6 akan diuraikan sebagai berikut :

a) Kebutuhan tulangan sebelum distribusi = panjang besi yg diperlukan : 12 m

- Balok B1 Lapis Atas = $2376 : 12 = 198$ batang
- Balok B1 Tumpuan = $1320 : 12 = 110$ batang
- Balok B1 Lapangan = $396 : 12 = 33$ batang
- Balok B1 Lapis Bawah = $2376 : 12 = 198$ batang
- Balok BL Lapis Atas = $336 : 12 = 28$ batang
- Balok BL Tumpuan = $126 : 12 = 11$ batang
- Balok BL Lapis Bawah = $336 : 12 = 28$ batang
- Balok BL* Lapis Atas = $192 : 12 = 16$ batang
- Balok BL* Tumpuan = $38 : 12 = 4$ batang
- Balok BL* Lapis Bawah = $192 : 12 = 16$ batang

b) Jumlah total potongan = Jumlah potongan (np) x Kebutuhan tulangan sebelum distribusi

- Balok B1 Lapis Atas = 1 x 198 = 198 buah
- Balok B1 Tumpuan = 3 x 110 = 330 buah
- Balok B1 Lapangan = 2 x 33 = 66 buah
- Balok B1 Lapis Bawah = 1 x 198 = 198 buah
- Balok BL Lapis Atas = 3 x 28 = 84 buah
- Balok BL Tumpuan = 8 x 11 = 88 buah
- Balok BL Lapis Bawah = 3 x 28 = 84 buah
- Balok BL* Lapis Atas = 1 x 16 = 16 buah
- Balok BL* Tumpuan = 5 x 4 = 20 buah
- Balok BL* Lapis Bawah = 1 x 16 = 16 buah

c) Total *Waste* = *Waste* besi x Kebutuhan tulangan sebelum distribusi

- Balok B1 Lapis Atas = 1.83 x 198 = 362.34 meter
- Balok B1 Tumpuan = 1.86 x 110 = 204.93 meter
- Balok B1 Lapangan = 1.22 x 33 = 40.392 meter
- Balok B1 Lapis Bawah = 1.83 x 198 = 362.34 meter
- Balok BL Lapis Atas = 2.79 x 28 = 78.12 meter
- Balok BL Tumpuan = 0.17 x 11 = 1.848 meter
- Balok BL Lapis Bawah = 2.79 x 28 = 78.12 meter
- Balok BL* Lapis Atas = 5.63 x 16 = 90.08 meter
- Balok BL* Tumpuan = 0.11 x 4 = 0.42 meter
- Balok BL* Lapis Bawah = 5.63 x 16 = 90.08 meter

d) Distribusi *waste* diambil dari Jumlah Potongan ke Jumlah total Potongan. Pendistribusian memperhatikan panjang perlu teoritis harus lebih kecil dari nilai *waste* besi. Pendistribusian *waste* besi pada tulangan D 19 adalah sebagai berikut :

- BL* Lapis Bawah dan BL* Lapis Atas ke BL Tumpuan
 Jumlah potongan BL*Lapis Atas = 16 buah,
 Jumlah potongan BL*Lapis Bawah = 16 buah,

Jumlah total potongan BL Tumpuan = 88 buah,

Panjang *waste* besi BL*Lapis atas & bawah = 5.78 m,

Panjang perlu BL Tumpuan = 1.48 m,

Dalam hal ini *waste* besi 5.78 dapat dipotong menjadi 3 bagian @1.48 m,

Distribusi *waste* menjadi = $(16 + 16) - \left(\frac{88}{3}\right) = 3$ buah

Dengan demikian kebutuhan tulangan BL tumpuan setelah distribusi menjadi 0 karena diambil dari BL*Lapis atas & bawah.

- BL Lapis Bawah ke BL* Tumpuan

Jumlah potongan BL Lapis Bawah = 28 buah,

Jumlah total potongan BL* Tumpuan = 20 buah,

Panjang *waste* besi BL Lapis bawah = 2.79 m,

Panjang perlu BL* Tumpuan = 2.34 m,

Dalam hal ini *waste* besi 2.79 dapat dipotong menjadi 1 bagian @2.34 m,

Distribusi *waste* menjadi = $28 - 20 = 8$

Dengan demikian kebutuhan tulangan BL* tumpuan setelah distribusi menjadi 0 karena diambil dari BL Lapis bawah.

- e) Kebutuhan tulangan setelah distribusi

$$= 198 + 110 + 33 + 198 + 28 + 0 + 28 + 16 + 0 + 16$$

$$= 627 \text{ batang}$$

$$= 627 \times 12 \text{ meter} = 7524 \text{ meter}$$

- f) Nilai *waste* setelah distribusi

- BL* Lapis Bawah = 0

- BL* Lapis Atas = 0

- BL Lapis Bawah = 0

- BL Tumpuan = $((5.63 - (1.48 \times 3)) \times (88/3)) + ((5.63 - (1.48 \times 3)) \times (88/3)) + (3 \times 5.63)$
= 85 meter

- BL* Tumpuan = $((2.79 - 2.34) \times 20) + (8 \times 2.79)$
= 31 meter

- Total *waste* = $362 + 205 + 40 + 362 + 78 + 85 + 0 + 0 + 31 + 0$

= 1164 meter

g) Nilai *waste* besi setelah distribusi

$$\frac{\text{Total waste}}{\text{Jumlah Total tulangan setelah distribusi}} \times 100\% = \frac{1164}{7524} \times 100\% = 15,47\%$$

Pendistribusian seluruh komponen penulangan balok dan rekapitulasi BBS Konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.8, Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12 Berikut.

Tabel 5. 8 Distribusi Waste Diameter 19

Panjang Besi Fabrikasi		12 meter								
Rekap Distribusi Waste Besi	Daerah Penulangan	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan Sebelum Distribusi (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)
Diameter 19										
B1	Lapis Atas	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
	Tumpuan	3.38	3	110	330	1.86	204.93		110	205
	Lapangan	5.39	2	33	66	1.22	40.392		33	40
	Lapis Bawah	10.17	1	198	198	1.83	362.34		198	362
BL	Lapis Atas	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	78
	Tumpuan	1.48	8	11	88	0.17	1.848	3	0	85
	Lapis Bawah	3.07	3	28	84	2.79	78.12		28	0
BL*	Lapis Atas	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
	Tumpuan	2.38	5	4	20	0.11	0.42	8	0	31
	Lapis Bawah	6.37	1	16	16	5.63	90.08		16	0
			Jumlah Total tulangan (batang)	642	Total waste sebelum distribusi (meter)	1308.67	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		627	1164
			Jumlah Total tulangan (meter)	7704	Nilai waste sebelum distribusi (persen)	17%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		7524	
			Nilai waste setelah distribusi (persen)							15.47%

Tabel 5. 9 Distribusi Waste Diameter 16

Panjang Besi Fabrikasi		12								
Rekap Distribusi Waste Besi	Daerah Penulangan	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan Sebelum Distribusi (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)
Diameter 16										
B2A	Lapis Atas	6.48	1	325	325	5.52	1794		325	0
	Tumpuan	2.28	5	52	260	0.59	30.94	195	0	1201
	Lapis Bawah	6.48	1	325	325	5.52	1794		325	0
B2B	Lapis Atas	6.48	1	140	140	5.52	772.8		140	0
	Lapis Bawah	6.48	1	140	140	5.52	772.8		140	0
BA1	Lapis Atas	6.48	1	256	256	5.52	1413.12		256	0
	Tumpuan	2.26	5	26	128	0.72	18.432	192	0	65
	Lapis Bawah	6.48	1	256	256	5.52	1413.12		256	0
Ba1*	Lapis Atas	2.18	5	88	440	1.10	96.8	36	0	454
	Tumpuan	2.18	5	22	110	1.10	24.2	85	0	533
	Lapis Bawah	2.18	5	88	440	1.10	96.8	-80	16	273
BA2	Lapis Atas	10.08	1	81	81	1.92	155.52		81	156
	Lapis Bawah	10.08	1	81	81	1.92	155.52		81	156
BA2**	Lapis Atas	3.83	3	6	18	0.51	3.06	0	0	30
	Lapis Bawah	3.83	3	6	18	0.51	3.06	0	0	30
BA2*	Lapis Atas	6.48	1	18	18	5.52	99.36		18	0
	Lapis Bawah	6.48	1	18	18	5.52	99.36		18	0

Lanjutan Tabel 5.9 Distribusi Waste Diameter 16

BK	Lapis Atas	1.78	6	43	260	1.32	57.2	62	0	597
	Tumpuan	1.78	6	22	130	1.32	28.6	260	0	127
	Lapis Bawah	1.78	6	43	260	1.32	57.2	130	0	255
BK*	Lapis Atas	1.97	6	11	64	0.18	1.92	98	0	51
	Tumpuan	1.97	6	5	32	0.18	0.96	82	0	25
	Lapis Bawah	1.97	6	11	64	0.18	1.92	50	0	327
Jumlah Total tulangan (batang)		2063	Total waste sebelum distribusi (meter)		8890.69	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		1656	4279	
Jumlah Total tulangan (meter)		24751	Nilai waste sebelum distribusi (persen)		35.92%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		19872		
								Nilai waste setelah distribusi (persen)		21.53%

Tabel 5. 10 Distribusi Waste Diameter 13

Panjang Besi Fabrikasi	12 meter								
Rekap Distribusi Waste Besi	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)
Diameter 13									
B1	9.99	1	132	132	2.01	265.32		132	265
BL	2.89	4	11	42	0.44	4.62	88	0	608
BL*	6.19	1	8	8	5.81	46.48		8	46
B2A	6.39	1	130	130	5.61	729.3		130	0
B2B	6.39	1	112	112	5.61	628.32		112	628
	Jumlah Total tulangan (batang)	393	Total waste sebelum distribusi (meter)		1674	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		382	1548
	Jumlah Total tulangan (meter)	4710	Nilai waste sebelum distribusi (persen)		35.54%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		4584	
	Nilai waste setelah distribusi (persen)								33.77%

Tabel 5. 11 Distribusi Waste Diameter 10

Panjang Besi Fabrikasi		12 meter									
Rekap Distribusi Waste Besi	Daerah Penulangan	Panjang perlu (m)	Jumlah Potongan (np)	Kebutuhan Tulangan (btg)	Jumlah Total Potongan (buah)	waste besi (m)	total waste (m)	Distribusi Waste (buah)	Kebutuhan Tulangan Setelah Distribusi (btg)	Total waste (m)	
Diameter 10											
B1	Sengkang	2.74	4	627	2508	1.04	652.08		627	652	
BL	Sengkang	1.60	7	90	630	0.80	72		90	72	
B2A	Sengkang	1.60	7	483	3381	0.80	386.4		483	386	
B2B	Sengkang	1.60	7	188	1316	0.80	150.4		188	150	
BA1	Sengkang	1.10	10	349	3490	1.00	349		349	0	
BA2	Sengkang	1.00	12	218	2616	0.00	0	-2267	189	0	
BK	Sengkang	1.10	10	98	980	1.00	98	-68	7	46	
BA1	Tul Susut	6.30	1	128	128	5.70	729.6		128	0	
Ba1*	Tul Susut	2.00	6	37	222	0.00	0		37	0	
BA2	Tul Susut	9.90	1	54	54	2.10	113.4		54	0	
	Tul Susut	3.55	3	4	12	1.35	5.4	0	0	26	
	Tul Susut	6.30	1	12	12	5.70	68.4		12	0	
BK	Tul Susut	1.60	7	19	133	0.80	15.2	-79	12	37	
BK*	Tul Susut	1.79	6	6	36	1.26	7.56		6	8	
Jumlah Total tulangan (batang)			2313	Total waste sebelum distribusi (meter)		2647.44	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (batang)		2182	1377	
Jumlah Total tulangan (meter)			27756	Nilai waste sebelum distribusi (persen)		10%	Jumlah Total tulangan setelah distribusi (meter)		26184		
										Nilai waste setelah distribusi (persen)	5.26%

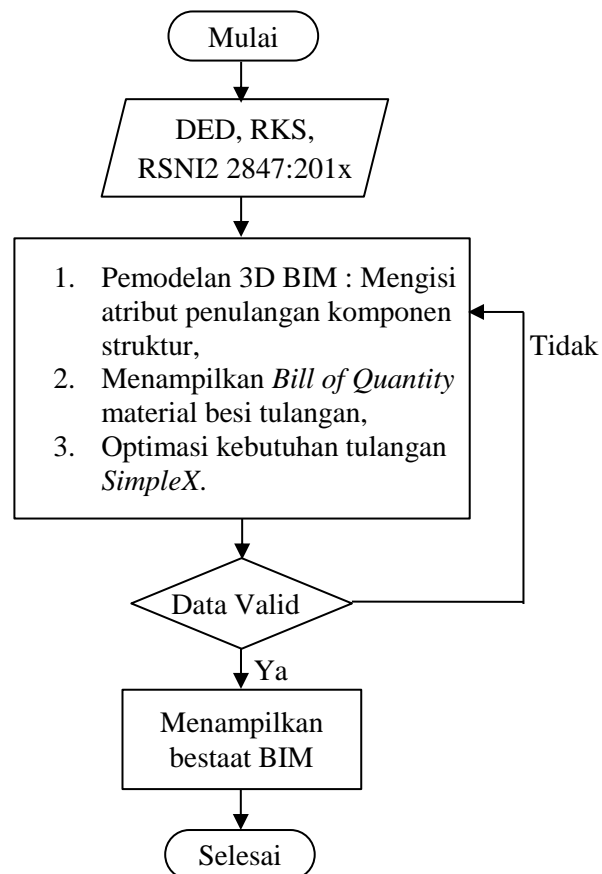
Tabel 5. 12 Rekapitulasi BBS Konvensional

Diameter	Kebutuhan Tulangan (batang)	Waste besi (%)
10	2182	5.26%
13	382	33.77%
16	1656	21.53%
19	627	15.47%

5.4.2 BBS Program Linier *Simplex* & BIM

Bar Bending Schedule simplex & BIM merupakan perhitungan kebutuhan tulangan dalam hal optimasi yang dilakukan dengan prinsip kolaborasi. Program linier *simplex* merupakan alat utama untuk pendistribusian *waste* besi dan untuk menentukan tipe – tipe pemotongan tulangan. Sedangkan BIM diperlukan untuk pemodelan skenario pemasangan tulangan terkait kondisi eksisting lapangan dan pembuatan bestaat pemotongan besi. Dalam proses perhitungan, BBS *simplex* dan BIM mempertimbangkan panjang besi fabrikasi yaitu +-12 m yang dihitung berdasarkan kebutuhan tulangan BBS Teoritis. Dengan kolaborasi *simplex* dan BIM, optimasi kebutuhan tulangan dapat dilakukan secara menyeluruh tidak hanya terbatas per-bentang balok saja seperti pada BIM Konvensional. Pengaplikasian BBS *simplex* dalam penelitian ini menggunakan alat bantu *Add-on Solver* dalam program *Microsoft Excel*. Alogaritma *Solver* menggunakan kaidah aturan program linier *simplex* yang mana digunakan untuk fungsi tujuan optimasi (maksimal/minimal) dalam kontrol variabel pembatas lebih dari dua variabel. Penerapan BIM dalam penelitian ini menggunakan *software Tekla Structures* sebagai sarana pemodelan 3D dan sarana informasi terkait kegiatan *preventive & reduction* sisa material besi tulangan. Faktor lain pemilihan *Tekla Structures* sebagai *software* BIM karena di Indonesia *Tekla Structures* sudah mulai dikenal

dan digunakan oleh perusahaan – perusahaan *bonafide* terutama instansi pemerintah seperti BUMN. Proses BBS *Simplex* & BIM dilakukan melalui beberapa tahapan yang berdasar pada DED & RKS pada dokumen penawaran. Tahap pertama yaitu pemodelan 3D BIM untuk mendapatkan *Bill of Quantity* komponen struktur. Tahap kedua yaitu pembuatan format tabulasi *simplex* sebagai alat optimasi dan penentuan tipe pemotongan tulangan. Tahap ketiga yaitu menampilkan bestaat pemotongan besi berdasarkan pemodelan 3D yang sudah dibuat. Untuk lebih jelasnya tahapan BBS *Simplex* & BIM ditampilkan dalam diagram alir atau *flowchart* seperti pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5. 8 Flowchart BBS Simplex dan BIM

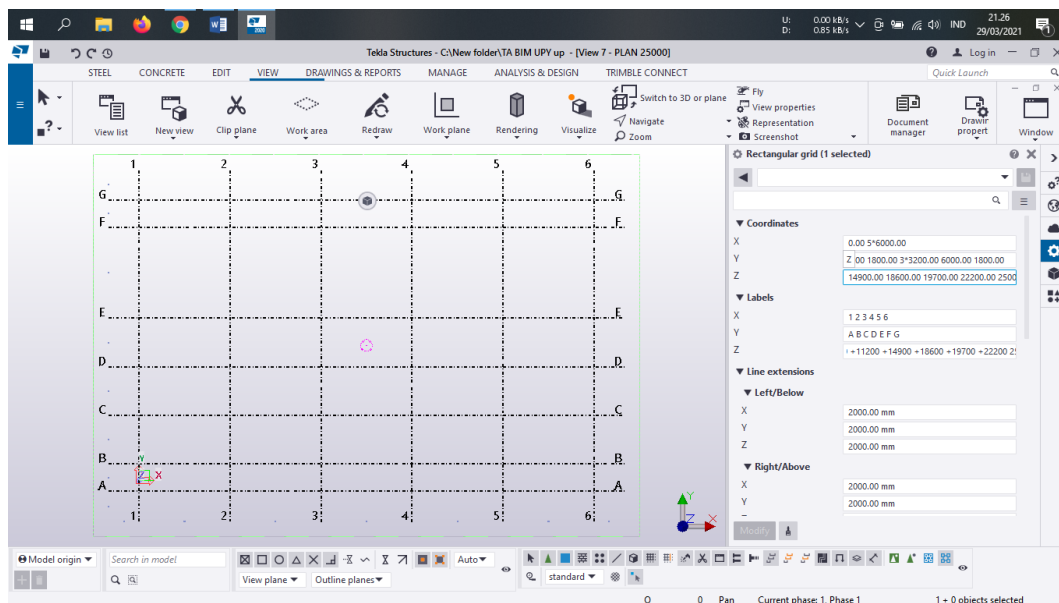
Untuk keperluan penulisan laporan, perhitungan BBS *Simplex* dan BIM dilakukan pada tulangan balok diameter 19 dan balok tipe B1 dan balok BL. Hasil akhir BBS *Simplex* dan BIM keseluruhan tipe balok akan disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi. Langkah – langkah optimasi kebutuhan tulangan menggunakan BIM dan Program Linier *Simplex* adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan 3D BIM

BIM dalam penelitian ini difungsikan untuk menjamin pelaksanaan penulangan sesuai dengan BBS dan bestaat yang telah direncanakan. Proses ini dilakukan dengan memodelkan 3D komponen balok yang berisi atribut dengan ketentuan tertentu. Adapun tahapan – tahapan dalam pemodelan 3D adalah sebagai berikut.

a. Membuat *grid*

Pembuatan *grid* difungsikan sebagai garis as untuk acuan koordinat pemodelan. *Grid* as ini terdiri dari bentang arah X, Y, Z untuk mempermudah pemodelan dalam penempatan komponen struktur bangunan. Menu dialog *grid* dapat dimunculkan dengan memilih menu *Modeling* dan *Create Grid*. Langkah selanjutnya yaitu mengisi kotak dialog *grid properties* sesuai koordinat X, Y, Z pada gambar DED. Hasil pembuatan *grid* Gedung Fakultas Teknik UPY dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

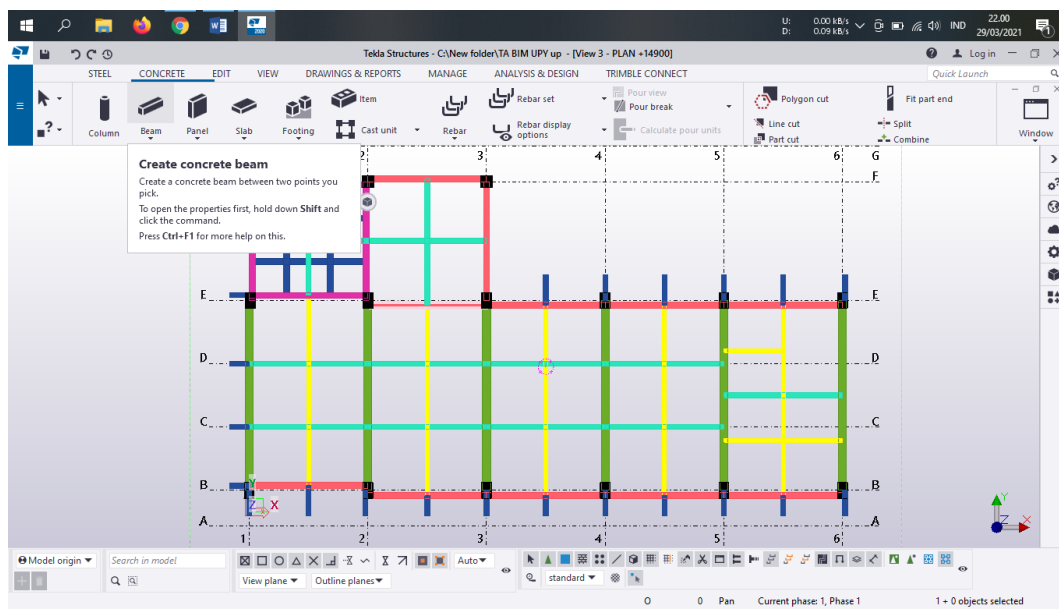


Gambar 5.9 Grid Gedung Fakultas Teknik UPY

b. Pemodelan balok

Pemodelan komponen struktur kolom dan balok disesuaikan dengan gambar DED. Pemodelan dibuat dengan memilih menu *Modeling* kemudian pilih *Create Concrete Coloumn* untuk memodelkan kolom dan pilih *Create Concrete Beam* untuk memodelkan balok. Selanjutnya kolom dan balok

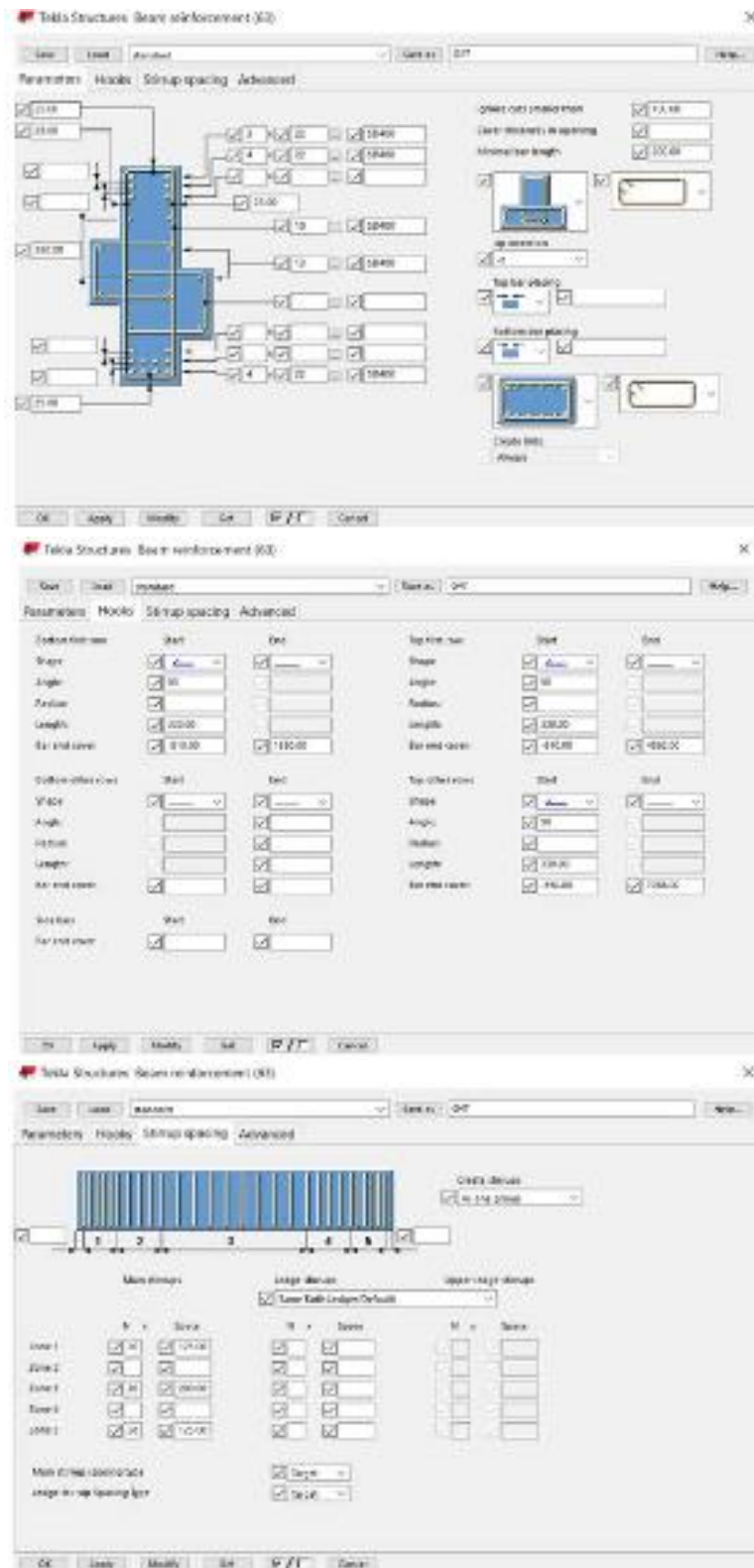
ditempatkan pada *grid* yang dibuat sesuai gambar DED. Untuk mengubah dimensi dilakukan dengan cara mengklik dua kali pada kolom maupun balok sehingga muncul kotak dialog *properties*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Karakteristik *Properties* Balok

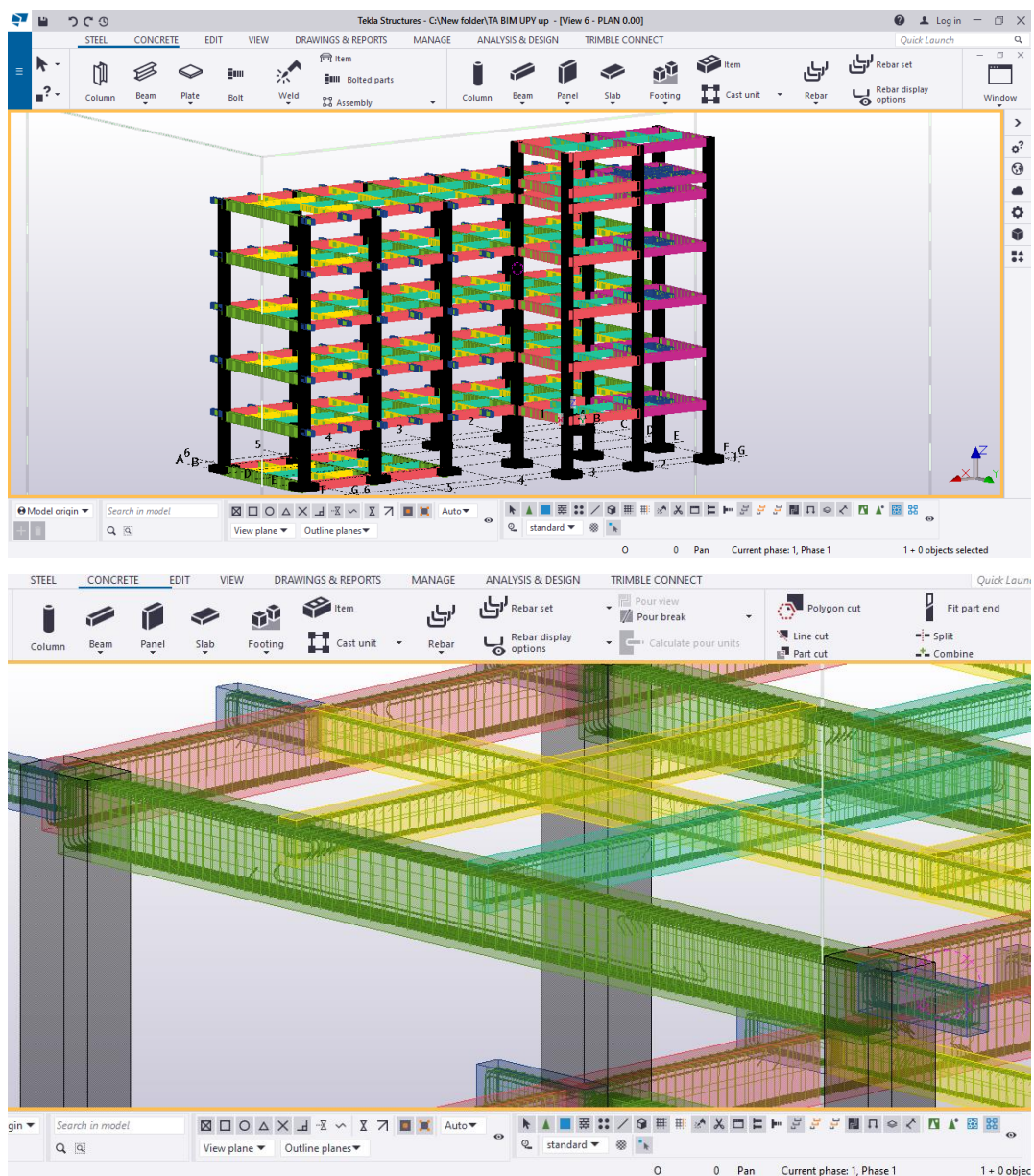
c. Penulangan balok

Kaidah penulangan balok disesuaikan dengan RKS dan RSN12 2847:201x. Panjang penjangkaran, kait tulangan, daerah penyambungan tulangan, dan panjang overlapping tulangan harus diperhatikan. Pemodelan penulangan balok dilakukan dengan cara mengetikkan “*beam*” pada *applications & components*, maka hasil pencarian yang berhubungan dengan balok akan ditampilkan. Selanjutnya pilih *beam reinforcement* (63) dan mengisi atribut penulangan balok sesuai kebutuhan penulangan pada *Bar Bending Schedule* yang sudah dibuat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Data Atribut Penulangan Balok

Setelah proses pengisian atribut balok selesai, pilih apply dan klik pada balok yang dituju. Lakukan hal yang sama pada komponen balok tipikal yang lain. Hasil pemodelan penulangan pada balok dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Pemodelan Penulangan Balok

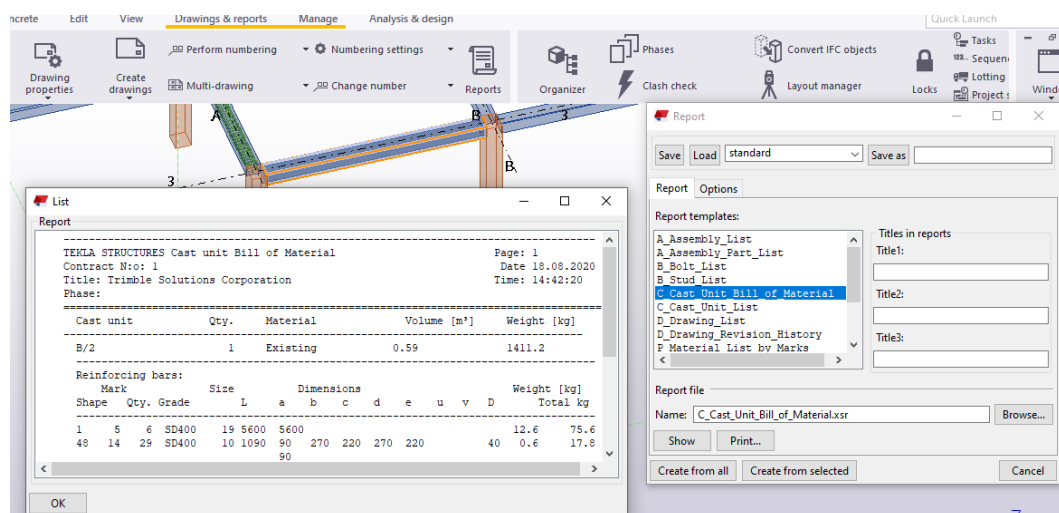
2. Menampilkan *Bill of Quantity*

Output Tekla Structures dalam hal ini tingkatan BIM 5D dapat berupa gambar detail penulangan (bestaat) dan *Bill of Quantity* material. *Output* dapat dimunculkan setelah pemodelan 3D beserta atribut penulangan selesai

dikerjakan. *List* material berisi kebutuhan penulangan yang terperinci dari komponen struktur. *List* material dapat di-*export* dalam format pdf maupun xsr. Langkah – langkah untuk menampilkan *list* material adalah sebagai berikut.

- Pilih satu atau beberapa balok yang dituju,
- Pada toolbar pilih *Drawing & Report > Create Report*,
- Pada kotak dialog *report* pilih *C_Cast_Unit_Bill_of_Material > Criete from selected*,
- Kotak dialog kebutuhan material ditampilkan dan dapat di-*export* dalam format xsr.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Output Bill of Quantity

3. Optimasi kebutuhan tulangan *simplex*

Analisis program linier *simplex* menggunakan alat bantu *Add-in Solver* pada program *Microsoft Excel*. Terdapat beberapa bagian utama yang harus dimuat dalam pembuatan format tabulasi yaitu :

- Constrained Cell* : berisi variabel pembatas yang digunakan dalam penyelesaian model perhitungan *simplex*,
- Adjusted Cell* : berisi variabel berupa nilai *non-negatif* yang dapat diubah secara spesifik,
- Tabel daerah penyelesaian : merupakan tabel hasil iterasi yang didapat dari model perhitungan *simplex*,

- d. *Target Cell* : berisi formula penyelesaian *simplex* dan merupakan hasil akhir pemrosesan *solver*.

Format tabulasi program linier *simplex* dapat dilihat pada Gambar 5.14 Berikut

Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter					Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)			
	B1		BL										
Trial Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)							12.000	3	0			
	5.52	3.42	10.13	2.94	6.19	2.24	6.04						
1													0
2													0
3													0
4													0
5													0
6													0
7													0
8													0
9										0			
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330				16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	4	0			
	0	0	0	0	0	0	0	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	0				
Cek Potongan								Nilai waste dalam persen	#DIV/0!				
Waste (m)													

Gambar 5. 14 Format Tabulasi BBS *Simplex*

Keterangan :

- 1 = variabel pembatas (*Constrained Cell*)
- 2 = variabel keputusan (*Adjusted CellI*)
- 3 = daerah penyelesaian
- 4 = fungsi tujuan (*Target Cell*)

Adapun pengisian pada tabel operasi *simplex* adalah sebagai berikut :

- a. Mengisi atribut pada tabel operasi *simplex* sesuai dengan model perhitungan yang dibuat,
- b. Mengisi konten pada tabel operasi sesuai dengan *Bill of Quantity* yang telah didapat,
- c. Mengisi nilai variabel keputusan pada *Adjusted CellI* yaitu berupa tipe – tipe pemotongan yang dapat dibuat,

- d. Menyelesaikan analisis perhitungan *simplex* dengan memunculkan *solver* pada menu *Data* di program *Microsoft Excel*. Selanjutnya mengisi parameter *solver* antara lain sebagai berikut.
- 1) *Set Objective* adalah *Target Cell* yaitu Total Batang pada tabel operasi,
 - 2) *To* adalah fungsi optimasi yang diinginkan, pilih *Min* untuk meminimasi fungsi tujuan,
 - 3) *By Changing Variable Cells* merupakan daerah penyelesaian yaitu kolom *Jumlah Batang* pada tabel operasi,
 - 4) *Subject to the Constraints* merupakan syarat yang mengandung fungsi batasan yaitu *Constrained Cell* atau variabel pembatas,
 - 5) *Select a Solving Method* pilih *Simplex LP*,
 - 6) Klik pilihan *Solve*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.

The image shows a screenshot of the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box overlaid on a spreadsheet. The spreadsheet contains a table with columns for Diameter (19 mm), Balok B1, Balok B2, Jumlah Batang, and Total Batang. The Solver Parameters dialog box is open, showing the following settings:

- Set Objective:** \$A\$2511
- To:** Max Min Value Of: 0
- By Changing Variable Cells:** \$A\$11:\$A\$21
- Subject to the Constraints:**
 - \$A\$Q\$24 >= \$A\$Q\$23
 - \$A\$R\$24 >= \$A\$R\$23
 - \$A\$S\$24 >= \$A\$S\$23
 - \$A\$T\$24 >= \$A\$T\$23
 - \$A\$U\$24 >= \$A\$U\$23
 - \$A\$V\$24 >= \$A\$V\$23
 - \$A\$W\$24 >= \$A\$W\$23
 - \$A\$X\$21:\$A\$Y\$21 = integer
- Make Unconstrained Variables Non-Negative
- Select a Solving Method:** Simplex LP
- Solving Method:** Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Gambar 5. 15 Parameter Solver

Hasil BBS *Simplex* untuk keseluruhan tipikal balok dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, Tabel 5.15, Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18, dan Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5. 13 BBS Simplex D19

Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter					Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	B1		BL							
Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)							Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	5.52	3.42	10.13	2.94	6.19	2.24	6.04			
1			1					1.870	396	741
2		1				1	1	0.300	0	0
3				2			1	0.080	24	2
4		1			1	1		0.150	10	1
5				4				0.240	35	8
6		3						1.740	83	144
7	1	1		1				0.120	66	8
9		1				1	1	0.300	6	2
10	1	1				1		0.820	0	0
11	1				1			0.290	0	0
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	619	906
	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	7430	
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	Nilai waste dalam persen	12.19%	
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0			

Tabel 5. 15 BBS Simplex D16 Ba2,B2B,BK,B2A

Diameter 16 mm	Panjang Besi Fabrikasi	12 meter													Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)	
	Ba2		B2B	BK			B2A											
Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)															Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	10.02	3.42	6.43	6.42	1.44	1.39	1.69	1.94	10.87	2.64	4.83	4.74	6.44	4.59				
1	1						1								0.040	162	6	
2	1						1								0.290	0	0	
3								1							1.130	220	249	
4										1		1			0.730	64	47	
5												1	1		0.970	24	23	
6											1	1			0.820	113	92	
7							3					1			0.490	9	5	
8		1					3								0.500	36	18	
9	1		1					1							0.220	36	8	
10			1	3											1.260	67	84	
11			1		4										0.020	10	0	
12			1				3								0.510	91	47	
13			1						2						0.300	76	23	
Kebutuhan Penulangan (m) utk Seluruh Pekerjaan	162	36	36	280	200	40	410	160	220	152	64	75	210	24	Kebutuhan Tulangan D16 (batang)	908	602	
	162	36	36	280	200	40	410	198	220	152	64	113	210	24	Kebutuhan Tulangan D16 (meter)	10896		
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	38	0	0	Nilai waste dalam persen	7.84%		
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	0	179	0	0				

Tabel 5. 16 BBS Simplex D13

Diameter 13 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter									Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	B1	B2B	BL			B2A								
Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)											Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	9.96	6.37	6.07	5.92	2.82	6.12	10.8	2.57	4.67	10.77	6.37			
1	1											2.040	132	269
2							1					1.200	24	29
3										1		1.230	20	25
4		1							1			0.960	112	108
5									1		1	0.960	4	4
6					2	1						0.240	2	0
7						1		2				0.740	0	0
8						1			1			1.210	0	0
9			1	1								0.010	2	0
10			1		2							0.290	0	0
11			1						1			1.260	0	0
12				2								0.160	1	0
13					1			1			1	0.240	38	9
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	132	112	2	4	42	2	24	4	20	20	42	Kebutuhan Tulangan D13 (batang)	335	444
	132	112	2	4	42	2	24	38	116	20	42	Kebutuhan Tulangan D13 (meter)	4020	
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	34	96	0	0	Nilai waste dalam persen	24.37%	
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0	87	448	0	0			

Tabel 5. 17 BBS Simplex D10 Ba1,BK

Diameter 10 mm	Ranjang Besi Februksi 12 meter		Ba1										BK				Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	Panjang Perlu (m)																		
	Trial Tipe Potongan	6.27	1.09	6.37	6.67	6.02	5.87	10.8	10.7	4.53	1.97	1.28	1.09	1.23	1.53	1.78			
1											1				6	0.040	4	0	
2											1			7		0.010	7	0	
3												11				0.010	86	1	
4											9					0.480	2	1	
5										6						0.180	1	0	
6								1			1					0.000	20	0	
7		1						1								0.160	20	3	
8					1	1										0.110	2	0	
9		1	1								1					0.010	14	0	
10		11														0.010	293	3	
11	1										1					0.110	6	1	
12	1											1		3		0.050	10	1	
13				1										1	2	0.240	6	1	
14				1						2			1			0.160	8	1	
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	16	3252	14	14	2	2	20	20	20	20	40	963	8	82	32	Kebutuhan Tulangan D10 (batang)	478	13	
	16	3252	14	14	2	2	20	20	20	20	49	963	8	82	36	Kebutuhan Tulangan D10 (meter)	5734		
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	4	Nilai waste dalam persen	0.53%		
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	7				

Tabel 5. 18 BBS Simplex D10 B1,Ba2,B2B,BL,B2A

Diameter 10 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter							Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	B1	Ba2	B2B	BL	B2A							
Trial Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)									Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	1.99	0.79	0.99	9.86	3.26	6.26	1.59	1.59	1.59			
1	6									0.060	283	17
2		15								0.150	128	19
3			12							0.120	208	25
4			2	1						0.160	54	9
5		11			1					0.050	12	1
6		5				1	1			0.200	12	2
7					1			5		0.790	0	0
9		1					7			0.080	148	12
10	2								5	0.070	406	28
11		6	7							0.330	0	0
12		2		1						0.560	0	0
13		1					1	2	4	0.080	257	21
Kebutuhan Penulangan (m) utk Seluruh Pekerjaan	2508	2508	2595	54	12	12	1304	514	3055	Kebutuhan Tulangan D10 (batang)	1508	134
	2509	2517	2604	54	12	12	1304	514	3058	Kebutuhan Tulangan D10 (meter)	18093	
Cek Potongan	1	9	9	0	0	0	0	0	3	Nilai waste dalam persen	0.87%	
Waste (m)	2	7	9	0	0	0	0	0	5			

Tabel 5. 19 Rekapitulasi BBS BIM dan Simplex

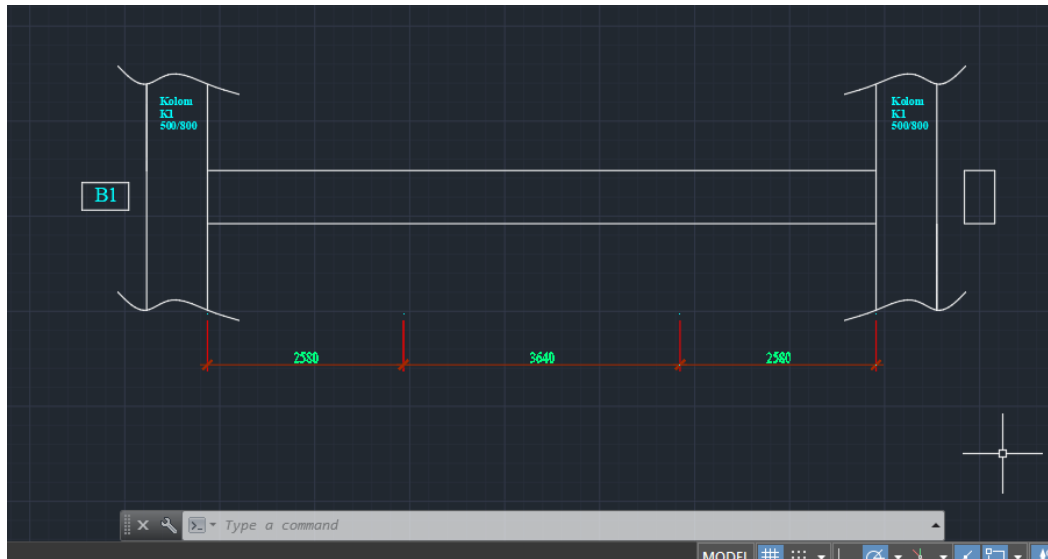
Diameter (mm)	Kebutuhan Tulangan (batang)	Waste besi (%)
10	1986	0.79%
13	335	24.37%
16	1260	8.35%
19	619	12.19%

5.4.3 Bestaat Konvensional

Bestaat digunakan sebagai acuan pemotongan dan pembengkokkan besi tulangan pada pekerjaan *workshop* pembesian. Bestaat juga dijadikan acuan dalam perakitan tulangan di *site construction* atau lokasi kerja. Bestaat konvensional ini memuat informasi seperti bentuk pemotongan, panjang pemotongan, panjang tekukkan, jumlah tulangan, tipe balok, dan berisi informasi distribusi *waste* besi. Pembuatan bestaat konvensional mengacu pada BBS Konvensional yang telah dibuat. Dalam penelitian ini, digunakan *Menuload Auto Rebar* pada program *Autocad*. Langkah – langkah dalam pembuatan bestaat konvensional adalah sebagai berikut :

1. Menggambar profil balok

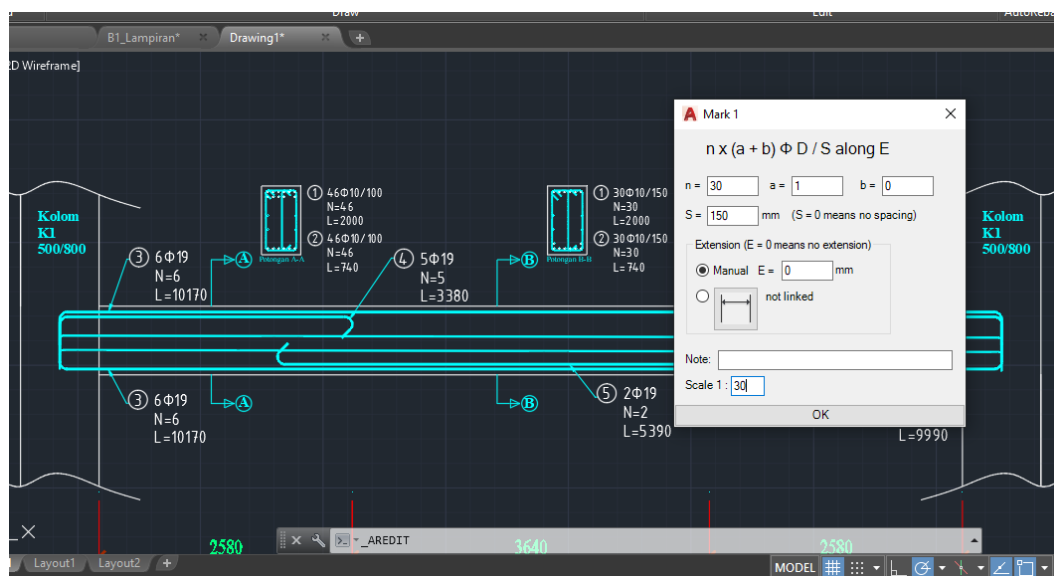
Dalam membuat gambar detail penulangan diawali dengan menggambar profil balok secara memanjang dan melintang. Untuk membuat gambar profil balok memanfaatkan perintah – perintah yang sering digunakan seperti perintah *Line*, *Rectangle*, *Copy*, *Move*, dll. Gambar profil balok dapat dilihat pada Gambar 5.16 Berikut



Gambar 5. 16 Profil Balok B1

2. Mengisi atribut penulangan

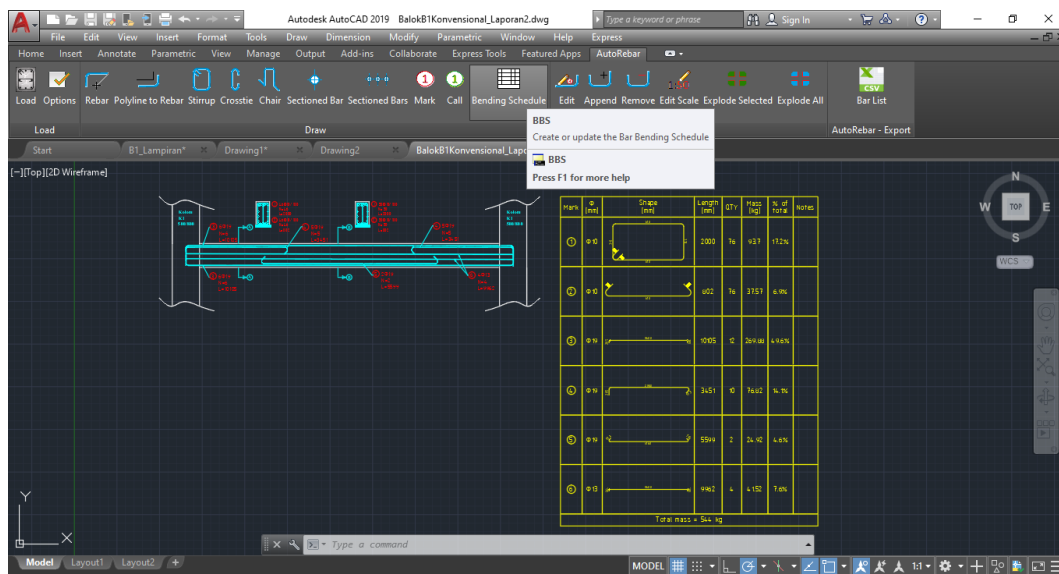
Atribut penulangan dikerjakan menggunakan menu *Plug in Autorebar*. Atribut penulangan diisi berdasarkan BBS Konvensional yang telah dibuat. Penggambaran dilakukan dengan memilih menu *Stirrup* untuk membuat tulangan geser dan menu *Polyline to Rebar* untuk membuat tulangan longitudinal. Selanjutnya yaitu mengisi karakteristik penulangan dengan memilih menu *Mark* pada tulangan tujuan, data – data seperti jumlah dan jarak tulangan diisi dengan mengeklik dua kali pada tulangan tujuan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5. 17 Pengisian Atribut Balok Autorebar

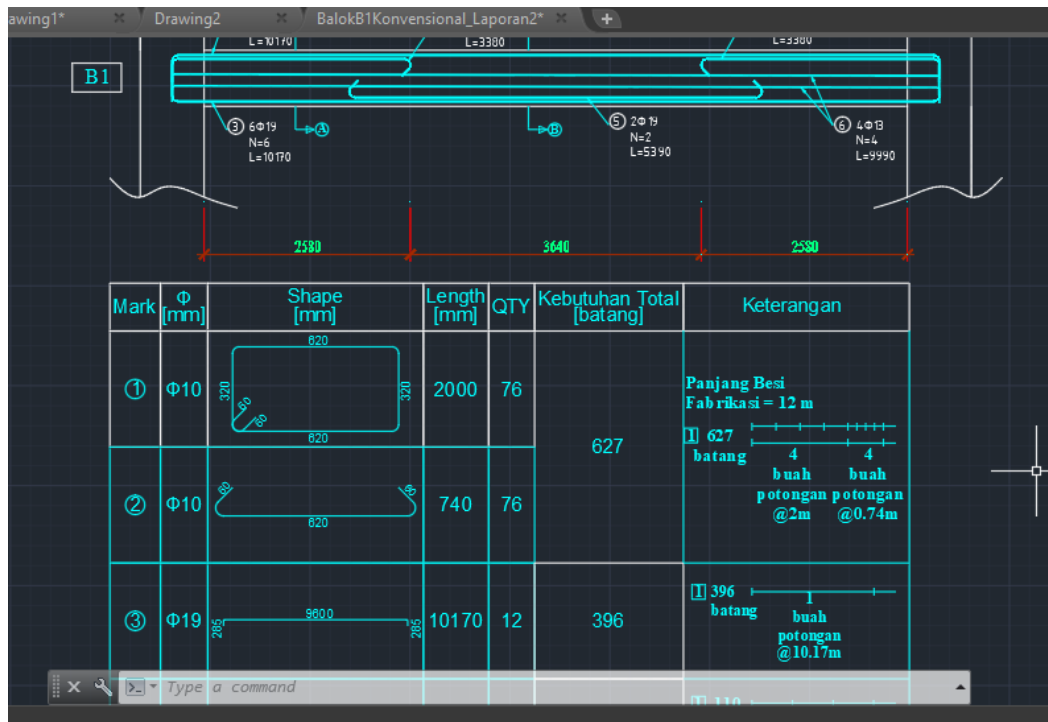
3. Menampilkan tabel bestaat

Tabel bestaat dapat ditampilkan setelah semua atribut pada balok selesai dikerjakan. Tabel bestaat dimunculkan dengan memilih menu *Bending Schedule* pada bilah menu. Selanjutnya akan muncul tampilan bestaat *default* dari *Autorebar*. Untuk mengisi data – data lain digunakan perintah *Explode* kemudian mengisi secara manual data yang diperlukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5. 18 Bestaat Konvensional

Pada bestaat konvensional keterangan distribusi *waste* besi pada BBS harus dicantumkan secara manual. Keterangan informasi tersebut dimaksudkan agar *workshop* pembesian sesuai dengan yang direncanakan. Selain itu hal ini digunakan sebagai dasar informasi perakitan tulangan di lokasi kerja. Untuk keperluan laporan, bestaat konvensional balok B1 akan ditampilkan pada gambar 5.19 berikut. Selanjutnya bestaat keseluruhan tipe balok ditampilkan pada lampiran.

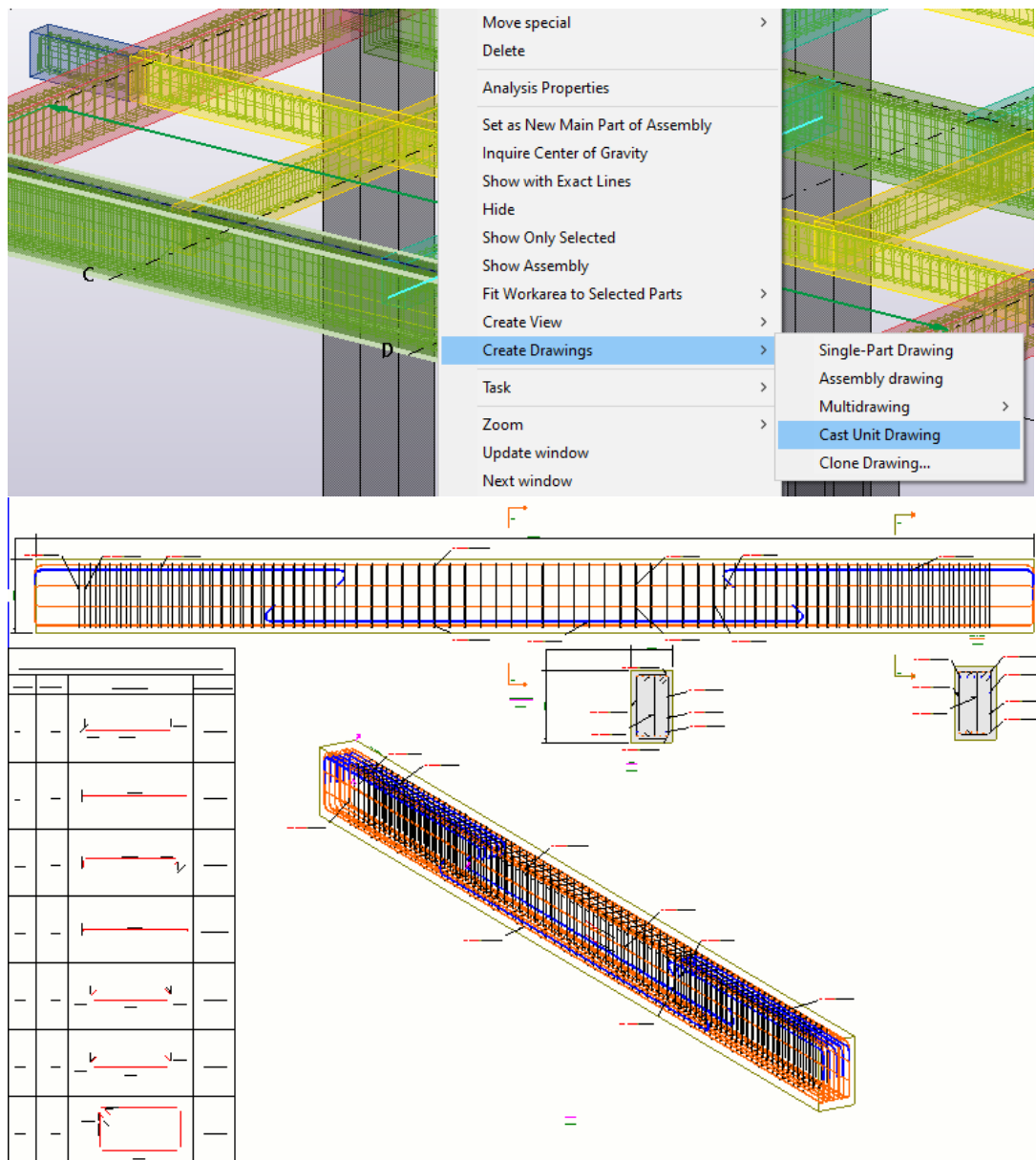


Gambar 5.19 Bestaat Konvensional Balok B1

5.4.4 Bestaat BIM

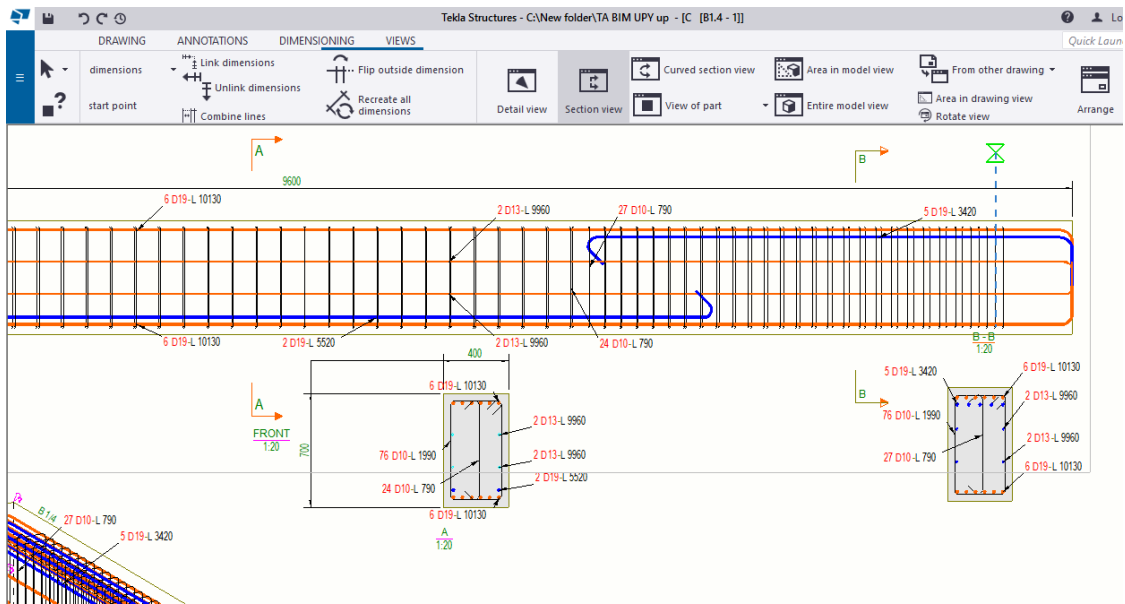
Bestaat digunakan sebagai acuan pemotongan dan pembengkokkan besi tulangan pada pekerjaan *workshop* pembesian. Bestaat juga dijadikan acuan dalam perakitan tulangan di *site construction* atau lokasi kerja. Bestaat konvensional ini memuat informasi seperti bentuk pemotongan, panjang pemotongan, panjang tekukan, jumlah tulangan, dan tipe balok. Berbeda dengan bestaat konvensional, bestaat BIM dapat ditampilkan secara otomatis. Bestaat dapat dimunculkan lengkap dengan *section* atau potongan detail balok. Data yang ditampilkan berupa *file* dalam bentuk format CAD yang berisi gambar pemotongan besi tulangan serta *bill of quantity* material. Langkah – langkah dalam pembuatan bestaat BIM adalah sebagai berikut :

1. Klik kanan pada balok yang dituju, pilih *Create Drawings > Cast Unit Drawing*,
2. Pada Toolbar pilih *Drawing & Report > Drawing List*. Pada kotak dialog *Drawing List* klik dua kali pada *file* hasil *export* untuk menampilkan bestaat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut,



Gambar 5.20 Output Bestaat

- Untuk membuat *section* atau potongan pada balok dilakukan dengan cara pada *Toolbar Views* pilih *Section View*. Selanjutnya klik dua titik batas bagian yang akan dibuat detail potongan pada balok. Pilih tempat untuk menempatkan gambar *section detail* di bagian *frame* yang kosong, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut,



Gambar 5.21 Menampilkan Section View

- Setelah gambar detail telah siap ditransfer ke format CAD, pilih *Drawing File* > *Export* > Isi nama *File* > *Export*.

Pada Bestaat BIM keterangan distribusi *waste* besi tidak dicantumkan seperti pada Bestaat Konvensional. Hal ini karena pada saat analisis perhitungan *Bar Bending Schedule*, tipe pemotongan tulangan sudah ditentukan. Data informasi yang ditampilkan dalam Bestaat BIM juga akan berbeda dibanding Bestaat Konvensional. Bestaat BIM balok B1 akan ditampilkan pada gambar 5.22 berikut. Selanjutnya bestaat keseluruhan tipe balok ditampilkan pada lampiran.

BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	19		5.520
4	13		9.960
10	19		3.420
12	19		10.130

Gambar 5.22 Bestaat BIM Balok B1

5.5 Perbandingan BBS Konvensional dengan BBS *Simplex* & BIM

Dari perhitungan yang dilakukan, penelitian penulis bertujuan untuk mendapat nilai optimal dari kebutuhan besi tulangan. Optimasi dapat diartikan sebagai kegiatan atau proses untuk mencapai nilai optimal dari suatu hal yang sudah ada. Pada penelitian ini telah dilakukan optimasi kebutuhan besi tulangan pada balok baik menggunakan Metode Konvensional maupun menggunakan Metode *Simplex* dan BIM. Selanjutnya kedua metode yang dipakai dilakukan perbandingan hasil perhitungan yang disajikan dalam bentuk tabulasi. Tabel rekapitulasi dibuat berdasarkan ukuran diameter tulangan dan memuat informasi berupa total kebutuhan tulangan, total *waste* besi, dan presentase *waste* besi. Untuk menghitung presentase *waste* besi adalah sebagai berikut.

$$\text{Presentase } waste \text{ besi} = \frac{\text{Total } waste \text{ besi}}{\text{Kebutuhan tulangan}} \times 100\%$$

Tabel rekapitulasi perhitungan BBS Konvensional dengan BBS *Simplex* dan BIM dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Optimasi BBS Konvensional dengan BBS *Simplex* & BIM

Tinjauan	<i>Bar Bending Schedule</i>	Satuan	Tulangan			
			D10	D13	D16	D19
Kebutuhan total	Teoritis	m	25062	3036	15861	6380
		btg	2089	253	1322	532
	Konvensional sebelum distribusi	m	27756	4710	24751	7704
		btg	2313	393	2063	642
	Konvensional setelah distribusi	m	26184	4584	19872	7524
		btg	2182	382	1656	627
<i>Simplex</i> & BIM	m	23827	4020	15120	7430	
	btg	1986	335	1260	619	
Total <i>waste</i> besi	Konvensional sebelum distribusi	m	2647	1674	8891	1309
	Konvensional setelah distribusi	m	1377	1548	4279	1164
	<i>Simplex</i> & BIM	m	187	980	1262	906
Presentase <i>waste</i> besi	Konvensional sebelum distribusi		10%	35.54%	35.92%	16.99%
	Konvensional setelah distribusi		5.26%	33.77%	21.53%	15.47%
	<i>Simplex</i> & BIM		0.79%	24.37%	8.35%	12.19%

Dari tabel rekapitulasi yang disajikan, kebutuhan tulangan pada BBS Teoritis mempunyai nilai yang paling kecil. Hal ini disebabkan karena proses perhitungan

pada BBS Teoritis belum mempertimbangkan panjang besi fabrikasi yang tersedia yaitu sepanjang 12 m. Hal ini juga menyebabkan tidak adanya *waste* besi pada BBS Teoritis. Jika pengadaan material besi tulangan berdasarkan perhitungan BBS Teoritis maka cenderung terjadi *cost overrun* atau pembengkakan biaya. Dari tabel rekapitulasi juga diketahui kebutuhan total tulangan serta nilai presentase *waste* besi pada BBS *Simplex* dan BIM lebih kecil dibandingkan BBS Konvensional. Hal ini menunjukkan BBS *Simplex* & BIM lebih efektif untuk mencari nilai optimal kebutuhan tulangan dibandingkan BBS Konvensional. Selanjutnya perbandingan kedua metode ini akan dibahas lebih lanjut dari tinjauan waktu, mutu, dan biaya.

5.5.1 Tinjauan Waktu

Berdasarkan perhitungan optimasi kebutuhan tulangan balok menggunakan kedua metode yang telah dibahas, terdapat perbedaan waktu pengerjaan satu sama lain. Pada pengerjaan BBS Konvensional memerlukan waktu penyelesaian selama 48 jam. Sedangkan pada pengerjaan BBS *Simplex* & BIM memerlukan waktu selama 34 jam. Tabel komparasi waktu pengerjaan kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5. 21 Komparasi Waktu Metode Konvensional dengan Metode *Simplex* & BIM

Uraian Pekerjaan	Jam Kerja	Bobot (%)	Hari ke-					
			1	2	3	4	5	6
A. BBS Konvensional								
1. Pembuatan tabulasi perhitungan kebutuhan tulangan	6	14%	4 jam	1 jam	1 jam			
2. Input data	9	21%	3 jam	3 jam	3 jam			
3. Optimalisasi kebutuhan tulangan = distribusi <i>waste</i> besi	8	19%		4 jam	2 jam	2 jam		
4. <i>Checking</i> hasil perhitungan & perbaikan	5	12%				5 jam		
5. Pembuatan bestaat	11	26%				1 jam	7 jam	3 jam
6. <i>Checking</i> hasil pekerjaan	4	9%						4 jam
Jumlah	43	100%	7 jam	8 jam	6 jam	8 jam	7 jam	7 jam
B. BBS <i>Simplex</i> & BIM								
1. Pemodelan 3D	12	44%	8 jam	4 jam				
2. Pembuatan tabulasi <i>Simplex</i> & Input data	8	30%		4 jam	4 jam			
3. <i>Checking</i> hasil perhitungan & perbaikan	4	15%			4 jam			
4. Pembuatan bestaat	3	11%				3 jam		
Jumlah	27	100%	8 jam	8 jam	8 jam	3 jam		
Selisih waktu pekerjaan			37%					

Berdasarkan Tabel 5.21 di atas, dapat diketahui presentase waktu pengerjaan BBS *Simplex* & BIM adalah 37% lebih cepat dibandingkan dengan BBS

Konvensional. Tetapi ada hal yang perlu menjadi perhatian dalam komparasi waktu kedua metode ini. Dalam tabel yang telah disajikan, komparasi waktu hanya berdasarkan proses penyelesaian pekerjaan dengan asumsi tidak ada revisi atau perubahan yang berkaitan langsung dengan sumber data untuk diolah. Kenyataannya pada proyek konstruksi, sangat memungkinkan terjadinya perubahan propertis seperti desain, komponen, dan sebagainya. Misalnya perhitungan kebutuhan tulangan didasari pada besi fabrikasi dengan panjang 12 meter, namun kenyataannya besi fabrikasi yang beredar di pasaran mempunyai panjang 11.6 meter. Tentunya hal seperti akan menjadikan adanya pengerjaan ulang tak terkecuali untuk kedua metode yang telah dibahas. Jika hal seperti ini terjadi, BBS Konvensional akan lebih banyak membutuhkan waktu karena dilakukan secara manual sehingga akan mengulang pekerjaan dari awal. Sedangkan pada BBS *Simplex* & BIM waktu yang diperlukan untuk perbaikan akan lebih cepat. Hal ini dikarenakan pemodelan BIM memungkinkan komponen yang diubah tidak terlalu banyak. Selain itu pada perhitungan optimasi *simplex*, analisis perhitungan dilakukan secara otomatis sehingga membutuhkan waktu lebih singkat.

5.5.2 Tinjauan Mutu

Mutu didefinisikan sebagai kesesuaian terhadap persyaratan dan kesesuaian untuk penggunaan. Mutu dapat diartikan sebagai kualitas sifat dan karakteristik produk atau jasa yang membuatnya memenuhi kebutuhan pelanggan atau pemakai sesuai persyaratan yang berlaku. Secara umum terdapat empat kategori mutu atau kualitas yaitu kualitas perencanaan (*quality planning*), kualitas pemantauan (*quality control*), kualitas jaminan (*quality assurance*), dan kualitas pengembangan (*quality improvement*). Dalam penelitian ini penulis hanya membahas mutu dari segi kualitas perencanaan dan kualitas pemantauan. Tinjauan mutu yang dibahas berkaitan dengan perbandingan metode yang dipakai untuk perancangan *Bar Bending Schedule*.

Dalam hal ini mutu yang ditinjau dapat dinilai dari kemudahan proses, tingkat akurasi, serta *output* yang dihasilkan sehingga produk dapat diimplementasikan dengan baik. Tinjauan mutu dalam penelitian ini disajikan dalam tabel

perbandingan yang dinilai berdasarkan kesesuaian sub kategori. Tingkat kesesuaian penilaian dibedakan menjadi empat tingkatan yaitu :

- 1) Sangat sesuai = 4
- 2) Sesuai = 3
- 3) Kurang sesuai = 2
- 4) Tidak sesuai = 1

Tabel komparasi mutu dari kedua metode yang dibahas dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5. 22 Komparasi Mutu Metode Konvensional dengan Metode *Simplex* & BIM

No	Kategori	BBS Konvensional	BBS <i>Simplex</i> & BIM
A	Kualitas Perencanaan (<i>Quality Planning</i>)		
	Kemudahan klasifikasi dan input data	3	4
	Minim potensi salah input	2	3
	Analisa data secara otomatis	1	3
	Minim potensi salah hitung karena <i>human error</i>	2	4
	Tingkat akurasi perhitungan tinggi	2	4
	Terdapat pola pemotongan besi tulangan	4	4
	Pola pemotongan besi optimal	2	4
	Pemodelan pemasangan tulangan menerus	1	4
	Kemudahan pembuatan bestaat	2	4
B	Kualitas Pemantauan (<i>Quality Control</i>)		
	Terdapat model 3D untuk representasi	1	4
	Tabulasi perhitungan informatif	3	4
	Kemudahan pengecekan hasil perhitungan	2	4
	Tingkat kepercayaan dan keterbukaan antar <i>stakeholder</i> tinggi	2	4
C	Interaktifitas dan keberlanjutan		
	Minim <i>rework</i> karena perubahan desain, perubahan komponen, dan sebagainya.	1	3
	Memiliki unsur kolaboratif antar AEC	1	4
Jumlah		29	57
Persentase perbandingan mutu		49%	

Berdasarkan tinjauan mutu pada Tabel 5.22 di atas BBS menggunakan metode *Simplex* dan BIM memiliki nilai total yaitu 57, sedangkan BBS Konvensional memiliki nilai total 29. Dengan kata lain dari tinjauan mutu BBS *Simplex* & BIM memiliki mutu 49% lebih baik dibandingkan BBS Konvensional.

5.5.3 Tinjauan Biaya

Pada penelitian ini tinjauan biaya yang berhubungan dengan kegiatan BBS adalah biaya volume besi tulangan itu sendiri dan biaya operasional. Biaya volume besi tulangan dihitung dari jumlah total kebutuhan tulangan yang telah dihitung sebelumnya. Sedangkan biaya operasional merupakan biaya operator atau tenaga ahli yang bertugas sebagai estimator perhitungan kebutuhan material dan BBS. Berikut perbandingan biaya BBS *Simplex* & BIM dibandingkan BBS Konvensional.

1. Biaya kebutuhan besi tulangan

Biaya kebutuhan besi tulangan didapatkan dari perhitungan BBS yang sudah dilakukan sebelumnya. Kebutuhan besi tulangan ini sudah dilakukan proses optimasi baik pada metode konvensional maupun metode *simplex* & BIM. Hasil akhir BBS dari kedua metode ini selanjutnya akan dilakukan perbandingan untuk mengetahui metode mana yang memiliki nilai kebutuhan tulangan paling minimum. Perbandingan biaya volume kebutuhan tulangan kedua metode ini disajikan dalam tabel komparasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 23 Komparasi Biaya Volume Besi Tulangan Metode Konvensional dengan Metode *Simplex* & BIM

Tinjauan	Metode	Klasifikasi	Tulangan			
			D10	D13	D16	D19
Biaya volume besi tulangan	Konvensional	Total kebutuhan (batang)	2182	382	1656	627
		Harga per batang	Rp69,500	Rp116,250	Rp179,800	Rp253,600
		Total harga	Rp151,649,000	Rp44,407,500	Rp297,748,800	Rp159,007,200
		Harga keseluruhan	Rp652,812,500			
	<i>Simplex</i> & BIM	Total kebutuhan (batang)	1986	335	1260	619
		Harga per batang	Rp69,500	Rp116,250	Rp179,800	Rp253,600
		Total harga	Rp138,027,000	Rp38,943,750	Rp226,548,000	Rp156,978,400
		Harga keseluruhan	Rp560,497,150			
	Selisih harga		Rp92,315,350			
	Persentase selisih harga		14%			

(Sumber harga : <https://www.dataarsitek.com/2016/12/informasi-harga-besi-beton.html>)

Dari Tabel 5.23 di atas dapat diketahui, perhitungan kebutuhan tulangan menggunakan metode *simplex* & BIM memiliki biaya yang lebih kecil dibandingkan metode konvensional dengan selisih harga Rp 92,315,350.

Dalam kata lain, penggunaan metode *simplex* & BIM untuk perhitungan BBS dapat menurunkan biaya kebutuhan besi tulangan balok sebesar 14%.

2. Biaya operasional

Biaya operasional dalam hal ini adalah biaya pekerja tenaga ahli dalam mengerjakan *Bar Bending Schedule*. Pada pekerjaan estimasi dan pembuatan BBS dibutuhkan 1 orang *junior engineer* dan 1 orang *senior engineer*. Gaji per bulan untuk *senior engineer* bersertifikat ahli muda adalah Rp 19.000.000,00 dan gaji per bulan untuk *junior engineer* adalah Rp 6.500.000,00. Perbandingan biaya operasional kedua metode ini dapat dilihat pada Tabel 5.24 Berikut.

Tabel 5. 24 Komparasi Biaya Operasional Metode Konvensional dengan Metode *Simplex* & BIM

Tinjauan	Metode	Tenaga Kerja	Biaya per hari	Waktu pengerjaan (hari)	Biaya
Biaya Operasional	Konvensional	1 Junior Engineer	Rp630,000	6	Rp3,780,000
		1 Senior Engineer	Rp220,000	6	Rp1,320,000
		Total biaya			
	<i>Simplex</i> & BIM	1 Junior Engineer	Rp630,000	4	Rp2,520,000
		1 Senior Engineer	Rp220,000	4	Rp880,000
		Total biaya			
	Selisih harga				
Persentase selisih harga					33%

(Sumber : Pedoman Standar Minimal Tahun 2020, Biaya Langsung Personel dan Biaya Langsung Non Personil untuk Kegiatan Jasa Konsultasi, Halaman 6, INKINDO 2020)

Berdasarkan Tabel 5.24 di atas dapat diketahui biaya operasional perhitungan BBS menggunakan metode *simplex* & BIM dapat menghemat biaya sebesar Rp 1,700,000 atau sekitar 33%. Untuk itu dapat dikatakan perhitungan BBS menggunakan metode *simplex* & BIM lebih ekonomis dibandingkan metode konvensional ditinjau dari segi biaya operasional tenaga ahli.

5.6 Pembahasan

Dalam proyek konstruksi, perhitungan kebutuhan tulangan atau BBS merupakan hal kompleks yang penting untuk direncanakan. Hasil perencanaan BBS secara langsung akan berpengaruh terhadap besarnya biaya proyek. Seperti yang telah dibahas, penggunaan metode yang berbeda juga menghasilkan output serta melalui proses yang berbeda. BBS memuat informasi seperti bestaat dan rincian kebutuhan tulangan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. BBS sebagai acuan pelaksanaan idealnya dapat diterapkan dengan mudah sehingga kondisi eksisting lebih terkontrol. Pada penelitian ini akan dibahas lebih lanjut mengenai hasil penelitian yang merupakan tahap perencanaan, serta akan dibahas terkait penyimpangan yang berhubungan langsung dengan perencanaan BBS.

1. Perencanaan BBS metode konvensional dibandingkan metode *simplex* & BIM

Proses perhitungan *Bar Bending Schedule* metode konvensional maupun metode *simplex* & BIM mempunyai tahapan yang berbeda. Seperti yang sudah dibahas, hasil output dan rincian kebutuhan material yang didapatkan juga menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perencanaan BBS metode konvensional mempunyai runtutan pengerjaan yang lebih panjang dibandingkan metode *simplex* & BIM. Selain itu, optimasi tulangan pada perhitungan secara manual belum bisa dipastikan apakah hasil perhitungan merupakan hasil yang paling optimal atau masih bisa dioptimasi lagi. Hal ini yang membuat banyaknya pekerjaan berulang dan membutuhkan kajian yang mendalam sehingga sering terjadi evaluasi dan klarifikasi. Ringkasan hasil penelitian pada tahap ini selanjutnya akan dibahas lebih terperinci terkait penyimpangan/kendala yang terjadi terkait penggunaan kedua metode yang dibahas. Ringkasan hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk tabulasi seperti pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5. 25 Ringkasan Penelitian

Tinjauan	Metode		Penyimpangan
	BBS Konvensional	BBS <i>Simplex</i> & BIM	
Waktu	Waktu pekerjaan lebih lama	Waktu lebih cepat 37%	<ul style="list-style-type: none"> • Pada metode konvensional runtutan perhitungan lebih beragam karena perlu dilakukan konversi panjang besi 12 meter terlebih dahulu. Pola pemotongan tulangan juga tidak langsung didapatkan sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang, • Proses analisis data dan pembuatan bestaat pada metode konvensional dilakukan secara manual. Dalam tahap ini rawan terjadi kesalahan akibat <i>human error</i> karena runtutan langkah kerja yang panjang dan butuh ketelitian yang tinggi. Sedangkan pada metode <i>simplex</i> & BIM analisis data dilakukan secara otomatis menurut aturan program linier serta bestaat pemotongan besi sudah terintegrasi pada model 3D, • Pada metode konvensional output dan hasil perhitungan yang didapatkan perlu dievaluasi lebih mendalam terkait kesesuaian hasil maupun perubahan kondisi lapangan yang tak jarang terjadi. Hal ini juga berkaitan dengan banyaknya pekerjaan ulang serta klarifikasi pada metode konvensional apabila hal yang demikian terjadi, • Pada metode konvensional, analisis perhitungan berdasarkan pemasangan tulangan menerus sulit dilakukan. Karena hal ini menyebabkan klasifikasi yang lebih rumit pada proses perhitungan sehingga berpengaruh pada hasil akurasi perhitungan. Sedangkan pada metode <i>simplex</i> dan BIM terdapat modeling 3D untuk mendapatkan rincian <i>bill of material</i> dari pemasangan tulangan menerus. Hal ini memungkinkan analisis data dengan skenario yang beragam dalam kondisi yang terkontrol, • Pada metode <i>simplex</i> proses dan hasil analisis data yang ditampilkan lebih ringkas dan lebih informatif sehingga hasil perhitungan lebih mudah dimengerti. Selain itu modeling 3D dapat menunjukkan lokasi objek komponen penulangan yang dituju. Hal ini membuat BBS metode <i>simplex</i> & BIM dapat tervisualisasi dengan baik yang membuat meningkatnya tingkat kepercayaan dan keterbukaan antar <i>stakeholder</i>, • Pada metode konvensional hasil optimasi terkait tipe pemotongan tulangan tidak dapat diketahui secara pasti apakah hasil tersebut sudah yang paling efisien. Pada nilai <i>waste</i> yang didapatkan juga berlaku sama. Hal ini terjadi karena tidak adanya pembanding maupun batasan yang terperinci dalam proses perhitungan. Pada metode konvensional tipe pemotongan tulangan dan nilai <i>waste</i> hanya menjadi hasil akhir. Jika diinginkan terjadi perubahan yang lebih optimal pada hasil optimasi maupun nilai <i>waste</i>, maka diperlukan pekerjaan ulang dengan proses yang rumit. Sedangkan pada BBS <i>Simplex</i> & BIM berlaku sebaliknya. Hal ini yang menjadikan biaya pada metode <i>simplex</i> & BIM lebih ekonomis.
Mutu	Perhitungan lebih rumit, banyak dilakukan pekerjaan berulang, akurasi hasil perhitungan perlu dikaji secara mendalam	Proses perhitungan lebih praktis, data yang ditampilkan lebih informatif, akurasi perhitungan terkontrol dengan baik, mutu lebih baik 49%	
Biaya	Biaya kebutuhan material dan biaya operasional lebih tinggi	Biaya kebutuhan material lebih hemat 14%, dan biaya operasional lebih hemat 33%	

Berdasarkan Tabel 5.25 di atas dapat diketahui metode *simplex* & BIM lebih efektif dan efisien untuk menghitung kebutuhan tulangan dalam pekerjaan *Bar Bending Shedule* (BBS). Meskipun demikian, penerapan metode *simplex* & BIM untuk perencanaan BBS bukan tanpa kendala. Pada metode *simplex* meskipun analisis data dilakukan secara otomatis, penentuan tipe – tipe pemotongan tulangan sebagai variabel syarat harus diisi secara manual. Sedangkan pada tahap *modeling 3D Tekla Structures* kendala yang dihadapi yaitu diperlukan adanya *plug-in* tambahan untuk teknis pemodelan yang lebih cepat. Untuk mendapatkan *plug-in* tambahan yang dimaksud, diperlukan biaya yang tidak sedikit. Dalam hal ini *plug-in* tersebut berbentuk *tools & component* untuk skenario pemodelan 3D yang dapat dibeli pada layanan *Tekla Warehouse*. Selain itu dibutuhkan media komputasi dengan spesifikasi *hardware* yang mumpuni agar *software Tekla Structures* dapat berjalan dengan baik.

2. Pentingnya optimasi kebutuhan tulangan

Optimasi kebutuhan tulangan berkaitan erat dengan distribusi *waste* besi. Sebelumnya pada analisis BBS metode konvensional telah dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan dimana terdapat perhitungan BBS sebelum dilakukan pendistribusian *waste* besi dan setelah dilakukan pendistribusian *waste* besi. Untuk menjawab permasalahan yang dihadapi penulis, selanjutnya dilakukan perbandingan kebutuhan tulangan sebelum dioptimasi dan sesudah dioptimasi. Perbandingan kedua hal ini akan disajikan dalam tabel komparasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5. 26 Komparasi Kebutuhan Tulangan Sebelum dan Sesudah Dioptimasi

Tinjauan	Klasifikasi	Tulangan			
		D10	D13	D16	D19
Sebelum dilakukan optimalisasi	Total kebutuhan (batang)	2313	393	2063	642
	Harga per batang	Rp69,500	Rp116,250	Rp179,800	Rp253,600
	Total harga	Rp160,753,500	Rp45,686,250	Rp370,927,400	Rp162,811,200
	Harga keseluruhan	Rp740,178,350			
Sesudah dilakukan optimalisasi (konvensional)	Total kebutuhan (batang)	2182	382	1656	627
	Harga per batang	Rp69,500	Rp116,250	Rp179,800	Rp253,600
	Total harga	Rp151,649,000	Rp44,407,500	Rp297,748,800	Rp159,007,200
	Harga keseluruhan	Rp652,812,500			
Selisih harga		Rp87,365,850			
Persentase selisih harga		12%			
Sesudah dilakukan optimalisasi (BIM & Simplex)	Total kebutuhan (batang)	1986	335	1260	619
	Harga per batang	Rp69,500	Rp116,250	Rp179,800	Rp253,600
	Total harga	Rp138,027,000	Rp38,943,750	Rp226,548,000	Rp156,978,400
	Harga keseluruhan	Rp560,497,150			
Selisih harga		Rp179,681,200			
Persentase selisih harga		24%			

Dari Tabel 5.26 di atas dapat diketahui perbedaan yang signifikan terkait kebutuhan material besi tulangan. Dengan menggunakan BBS Konvensional terdapat selisih harga sebesar Rp 87,365,850. Dalam kata lain setelah dilakukan optimasi, biaya material besi tulangan komponen balok dapat dihemat sebesar 12%. Sedangkan menggunakan BBS Program Linier *Simplex* & BIM terdapat selisih harga sebesar Rp 179,681,200 atau 24%. Mengingat besi tulangan merupakan material yang berkontribusi sebesar 20% - 30% terhadap biaya proyek, tentunya optimasi kebutuhan tulangan pada perencanaan BBS akan berpengaruh terhadap biaya proyek secara langsung. Hal ini menjadi alasan terkait pentingnya optimasi kebutuhan tulangan dalam kegiatan *Bar Bending Schedule*.

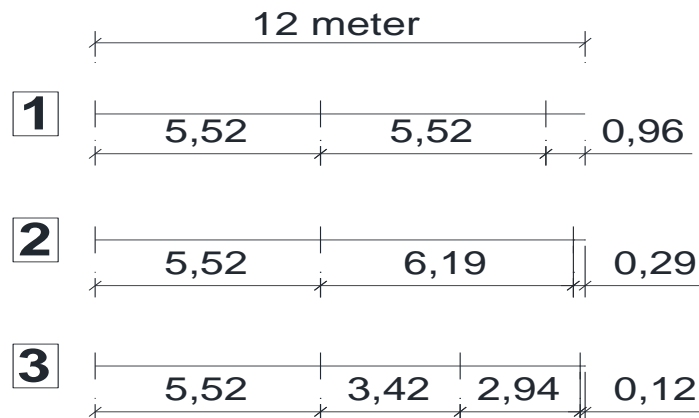
3. Menentukan tipe – tipe pemotongan tulangan

Cara menentukan tipe pemotongan tulangan agar didapatkan kebutuhan tulangan total minimum, sangat berkaitan dengan *waste* besi yang tersedia dan jumlah kebutuhan tulangan tiap komponen penulangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5. 27 Tipe Pemotongan Tulangan

Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi 12 meter							Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	B1		BL							
Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)									
	5.52	3.42	10.13	2.94	6.19	2.24	6.04			
1	2							0.960	0	0
2			1					1.870	396	741
3	1						1	0.440	0	0
4		1					1	0.300	6	2
5				2			1	0.080	24	2
6							2	1.480	0	0
7					1		2	1.330	0	0
8				1	1		1	0.630	0	0
9		1			1		1	0.150	10	1
10	1				1			0.290	0	0
11				4				0.240	35	8
12							5	0.800	0	0
13		3						1.740	83	144
14		2					2	0.680	0	0
15	1			1			1	1.300	0	0
16		2					2	0.680	0	0
17				3			1	0.940	0	0
18	1	1		1				0.120	66	8
19	1			2				0.600	0	0
20		1					1	0.300	0	0
21	1	1					1	0.820	0	0
22	1				1			0.290	0	0
23		1			1			2.390	0	0
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	619	906
	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	7430	
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	Nilai waste dalam persen	12.19%	
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0			

Pada Tabel 5.27 di atas dapat diketahui pemotongan tulangan dengan *waste* besi terkecil cenderung dapat meminimasi kebutuhan tulangan. Sebagai contoh pada kebutuhan tulangan balok B1 sepanjang 5.52 meter. Dari besi fabrikasi 12 meter, tipe pemotongan tulangan yang paling optimal untuk dilakukan adalah sebanyak 66 batang tulangan D 19 dipotong 5.52 m, 3.42 m, dan 2.94 m karena menghasilkan nilai *waste* terkecil yaitu 0.12 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Tipe Pemotongan Tulangan

Berdasarkan Tabel 5.26 dan Gambar 5.23 juga dapat diketahui jumlah kebutuhan potongan tiap komponen penulangan juga sangat mempengaruhi. Misalnya skenario pemotongan tulangan yang terjadi dilakukan seperti pada nomor 2.

Maka nilai *waste* besi menjadi = $((12 - 5.52 - 6.19) \times 66) + (6.19 \times (66 - 10))$
 $= 19.14 \text{ meter (residu)} + 346.64 \text{ meter (waste)}$

Total = 365.78 meter

Hal ini karena komponen tulangan B1 sepanjang 5.52 meter membutuhkan potongan sebanyak 66 buah, sedangkan komponen tulangan BL sepanjang 6.19 meter hanya membutuhkan potongan sebanyak 10 buah. Dalam kata lain ada sebanyak 56 potongan dengan panjang 6.19 meter yang menjadi *waste*. Dari uraian yang disampaikan, maka jumlah kebutuhan tulangan tiap komponen penulangan sangat menentukan tipe pemotongan agar didapatkan nilai total paling minimum.

4. Fleksibilitas metode BIM & *simplex* dibanding metode konvensional terhadap perubahan sumber data

Pada metode konvensional, ditinjau dari segi mutu dan waktu, jika terjadi perubahan yang berkaitan langsung dengan sumber data untuk diolah maka diperlukan pekerjaan berulang yang membutuhkan banyak waktu. Kenyataannya pada proyek konstruksi, sangat memungkinkan terjadinya perubahan properti seperti desain, komponen, dan sebagainya. Hal ini terjadi karena pada metode konvensional proses analisis data seperti optimasi

kebutuhan tulangan dan pembuatan bestaat masih dilakukan secara manual. Sedangkan metode *simplex* & BIM bersifat fleksibel terhadap perubahan – perubahan yang terjadi selama kegiatan konstruksi berlangsung. Perubahan pada model desain bisa diupdate secara otomatis bersamaan dengan rincian informasi di dalamnya sehingga membutuhkan sedikit *rework*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Umum

Pada bab ini akan membahas tentang hasil penelitian yang berkaitan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang kemudian disimpulkan serta diberikan saran atas permasalahan yang terjadi.

6.2 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang dapat peneliti uraikan setelah melakukan penelitian.

1. Penggunaan program linier metode *simplex* dan BIM dapat diterapkan untuk optimasi kebutuhan tulangan. Peneliti memanfaatkan *simplex* dan BIM secara kolaboratif. Dalam hal ini BIM digunakan sebagai media pemodelan 3D untuk mendapatkan *bill of quantity* material dan pembuatan bestaat. Sedangkan *simplex* digunakan untuk menentukan tipe pemotongan tulangan,
2. Metode *simplex* dan BIM terbukti lebih efektif dan efisien dibanding cara konvensional untuk perencanaan kebutuhan tulangan. Ditinjau dari segi mutu, BIM & *simplex* 49% lebih baik dibanding metode konvensional. Ditinjau dari segi waktu, metode *simplex* dan BIM memiliki waktu pengerjaan lebih cepat 37% dibanding metode konvensional. Sedangkan dari segi biaya dibandingkan dengan metode konvensional, metode *simplex* dan BIM dapat menghemat biaya sebesar 14% untuk biaya material dan menghemat biaya 33% untuk biaya operasional,
3. Metode *simplex* & BIM bersifat fleksibel terhadap perubahan – perubahan yang terjadi selama kegiatan konstruksi berlangsung. Perubahan pada model desain bisa di-*update* secara otomatis bersamaan dengan rincian informasi di dalamnya sehingga membutuhkan sedikit *rework*.
4. Optimasi kebutuhan tulangan dalam kegiatan *Bar Bending Schedule* sangat penting untuk dilakukan. Sebelum dilakukan optimasi, biaya material besi

tulangan yang dibutuhkan sebesar Rp 740.178.350. Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode konvensional, biaya material besi tulangan yang diperlukan menjadi Rp 652.812.500 yang artinya biaya dapat dihemat sebesar 12%. Sedangkan setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *simplex* & BIM, biaya material besi tulangan yang diperlukan menjadi Rp 560.497.150. Dengan kata lain, setelah dilakukan optimasi kebutuhan tulangan pada balok menggunakan metode *simplex* dan BIM, biaya material besi tulangan dapat dihemat sebesar 24%,

5. Kegiatan *bar bending schedule* khususnya optimasi kebutuhan tulangan merupakan kegiatan yang kompleks. Pada praktik di lapangan sering didapati pendistribusian *waste* besi tidak dilakukan perencanaan terlebih dahulu. Sisa potongan tulangan yang masih sesuai spesifikasi didistribusikan ke komponen penulangan yang lain. Hal yang demikian menyebabkan tidak adanya kepastian pendistribusian *waste* besi yang dilakukan sudah optimal,
6. Dari segi perencanaan, dengan melihat poin kesimpulan nomor 2 – 5 dapat disimpulkan, penyebab banyaknya material sisa besi tulangan disebabkan karena belum efektifnya perencanaan optimasi kebutuhan tulangan dalam kegiatan *Bar Bending Schedule*. Hal ini relevan dengan penelitian – penelitian terdahulu dimana kesalahan pemotongan menjadi penyebab banyaknya *waste* material besi tulangan. Selain itu, dari segi pelaksanaan menurut pengamatan peneliti, mandor atau tukang potong besi biasanya mengambil tulangan pada tumpukan bagian atas, sedangkan tulangan lama tertumpuk di bawahnya dan berkarat sehingga tidak layak digunakan. Hal semacam ini terjadi karena kelebihan pemesanan material besi tulangan dan penyimpanan material yang tidak sesuai sehingga rusak.

6.3 Saran

Berdasarkan permasalahan yang teridentifikasi menurut penelitian yang dilakuakn, terdapat beberapa saran sebagai berikut.

1. Program linier *simplex* dalam program *Microsoft Excel Add On Solver* terbukti efektif dan efisien menjadi alat bantu untuk optimasi kebutuhan

tulangan. Namun *trial* pemotongan tulangan sebagai variabel syarat masih diisi secara manual, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut agar pengisian *trial* pemotongan tulangan dapat dilakukan secara otomatis,

2. Dalam perencanaan BBS perlu memperhatikan panjang besi fabrikasi yang tersedia di lapangan. Hal ini dibahas dalam penelitian penulis dimana jika kebutuhan tulangan dihitung berdasarkan BBS Teoritis saja, maka cenderung terjadi *cost overrun* / pembengkakkan biaya,
3. Pada tahap pra-konstruksi pemanfaatan program linier *simplex* dan BIM sebagai media pembuatan *Bar Bending Schedule* dapat diperhitungkan. Mengingat terdapat perbedaan signifikan dari hasil penelitian yang dilakukan penulis,
4. BIM dapat dimanfaatkan oleh direksi bagian logistik sehingga material yang dipesan terutama besi tulangan tidak melebihi kebutuhan,
5. Perlu dilakukan pelatihan mengenai BBS dan BIM sehingga terdapat tenaga ahli / tim khusus estimator yang mumpuni di tiap perusahaan jasa konstruksi,
6. Munculnya *sub-kon* baru di bidang konstruksi yaitu potong & bengkok besi sangat memungkinkan. Dalam hal ini pihak kontraktor tidak perlu lagi melakukan *workshop* pembesian di lokasi kerja. Pihak kontraktor hanya perlu memesan besi tulangan yang sudah difabrikasi dengan spesifikasi tertentu untuk dirakit di lokasi kerja,
7. Pemanfaatan dan pengembangan teknologi menjadi kunci dalam bersaing di era baru dunia konstruksi. BIM dalam kegiatan konstruksi memiliki layanan tingkatan 3D, 4D, 5D, 6D dan 7D yang dapat dimanfaatkan secara kolaboratif antar *stakeholder*. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dan pengkajian mendalam terkait layananan tingkatan BIM yang lain,
8. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam melakukan penelitian, untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kegiatan *Bar Bending Schedule* dan pemanfaatan BIM.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Moghany, S.S. (2006), *Managing and Minimizing Construction Waste in Gaza Strip*. Islamic University of Gaza, Palestine.
- Asiyanto. 2005. *Construction Project Cost Management*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Balai Pelatihan Konstruksi dan Peralatan Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2016. *Materi Praktis Pekerja Konstruksi Pekerjaan Besi Beton Buku 4*. Jakarta Pusat.
- Baskoro, I. A. 2019. *Penerapan Building Information Modeling menggunakan Tekla Structure dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan Bar Bending Schedule*. PT. Wijaya Karya Bangunan Gedung Tbk, Jakarta.
- Bryman, A., & Cramer, D. 2005. *Quantitative Data Analysis with SPSS 12 and 13*. Routledge : London.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2006. RCF – 04 *Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/Penulangan Beton*. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I.-2*, Bandung.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Bandung.
- Ervianto, Wulfram I. 2004. *Teori-Aplikasi Manajemen Konstruksi*. Yogyakarta : Andi.
- Fadhil, M. F. 2018. *Waste Hierarchy*. <https://ideawaste.wordpress.com/waste-hierarchy>. Diakses 2 Maret 2020.
- Fitriyah. 2009. *Aplikasi Lean Construction pada Subkontraktor Bekisting untuk Meminimasi Waste dan Memaksimalkan Nilai Tambah*. Tugas Akhir, Teknik Industri, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Formoso, C.T., Soibelman, L.M., Cesare, C.D. and Isatto, E.L. 2002. *Material Waste in Building Industry*. Zambia
- Franklin Associates. 1998. *Life Cycle Assessment (LCA) and Solid Waste Management*. <http://www.fal.com>. Diakses 5 Maret 2020.

- Gavilan, R.M. and Bemold, L.E., 1994. *Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction*.
- H.J.H Brouwers. 1996. *Construction Waste: Quantification and Source Evaluation*. American Society of Civil Engineers.
- Herlambang, N. 2018. *Analisis Optimasi Sisa Material Besi pada Beton Bertulang dengan menggunakan Software Optimasi Waste Besi*. Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Kasiram, Moh. 2008. *Metodologi Penelitian*. Malang: UIN-Malang Pers.
- Khadafi, M. 2008. *Analisis Penggunaan Aplikasi Software Optimasi Waste Besi pada Pekerjaan Struktur Beton*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kork, M. 2013. *Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program Microsoft Excel*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Nugraha, Paulus, dkk. 1985. *Manajemen Proyek Konstruksi 1*. Kartika Yudha. Surabaya.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. 2010. *Nomor Per.08/MEN/VII/2010 tentang Alat Perlindungan Diri*, Jakarta.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia 2 BSN 201x. 2018. *RSNI2 2847:201x Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, Jakarta.
- Ratminto dan Winarsih, A. S. 2015. *Manajemen Pelayanan*. Yogyakarta: Pusataka Pelajar.
- Standar Nasional Indonesia SNI 03-284. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Subagya, M. S. 1996. *Manajemen Logistik*. Jakarta : PT. Toko Gunung Agung.
- Sudiro, R. dan Musyafa', A. 2018. *Analisis Material Pekerjaan Struktur pada Proyek Konstruksi*. Thesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia , Yogyakarta.
- Suryabrata, S. 2000. *Metode Penelitian*. PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Tchobanoglous et all. 1976. *Handbook of Solid Waste Management Second Edition*.

- Universitas Islam Indonesia. 2017. *Pedoman Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wijaya, A. 2008. *Analisa Postur Kerja dan Perancangan Alat Bantu Untuk Aktivitas Manual Material Handling Industrial Kecil (Studi Kasus Industri Kecil Pembuatan Tahu di Kartasuro)*. Tugas Akhir, Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Zulnaldi. 2007. *Metode Penelitian*. Universitas Sumatera Utara. Medan

LAMPIRAN

Lampiran 1 Validasi Data



FAKULTAS | PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL | **TEKNIK SIPIL**
& PERENCANAAN

Yogyakarta, 06 September 2019

Nomor : 587 /Prodi.TS.20/PK/09/2019
 Lampiran :
 Hal : **Permohonan Izin Praktik Kerja**

Kepada Yth:
 Swakelola Pembangunan Gedung Fakultas
 Teknik UPY

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dalam rangka penyelenggaraan sistem pendidikan di Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, setiap mahasiswa diwajibkan untuk melaksanakan Praktik Kerja di Proyek-proyek Pembangunan, guna memperoleh pengetahuan dan pengalaman Praktik Kerja di lapangan. Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka kami mohon dengan hormat Bapak/Ibu Pimpinan Proyek untuk berkenan menerima mahasiswa kami tersebut di bawah ini:

Nama : INDRA PERMANA
 No. Mhs : 14511392
 Prodi : Teknik Sipil

Untuk dapat melaksanakan Praktik Kerja di Proyek Pembangunan yang Bapak/Ibu pimpin, dan untuk memulai pelaksanaannya, kami serahkan sepenuhnya sesuai kebijaksanaan Bapak/Ibu Pimpinan dan agar dapat memperoleh manfaat timbal balik, mahasiswa diberi tugas melaksanakan sesuatu yang bermanfaat bagi proyek dan memberi pengalaman Praktik Kerja lapangan bagi mahasiswa.

Demikian permohonan kami sampaikan, atas perkenan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr_wb

Sekretaris Prodi Teknik Sipil

Pradipta Nandi Wardhana, ST, M.Eng



Gedung KH. Moh. Natsir Lt.1 Sayap Timur
 Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
 T. (0274) 898444 ext. 3235
 F. (0274) 895330

CS Scanned with CamScanner

Lampiran L-1. 1 Surat Permohonan Izin



FAKULTAS PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Nomor : 570 /Prodi.TS.20/PK/09/2019
Lampiran :
Hal : **Permohonan Data Proyek**

Yogyakarta, 06 September 2019

Kepada Yth:
Swakelola Pembangunan Gedung Fakultas
Teknik UPY

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Sehubungan dengan mata kuliah Praktek Kerja yang akan dilaksanakan oleh mahasiswa kami Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, maka dengan ini kami mohon kepada pimpinan Proyek untuk berkenan memberikan data-data Proyek kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini untuk keperluan Praktek Kerja. Adapun mahasiswa tersebut adalah :

Nama : INDRA PERMANA
No. Mhs : 14511392
Prodi : Teknik Sipil

Demikian permohonan kami sampaikan, atas perkenan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Sekretaris Prodi Teknik Sipil




Pradipta Nandi Wardhana, ST., M.Eng



Gedung KH. Moh. Natsir Lt 1 Sayap Timur
Jl. Kalurang Km 14,5 Yogyakarta
T. (0274) 898444 ext. 3235
F. (0274) 895330

CS Scanned with CamScanner

Lampiran L-1. 2 Surat Permohonan Data Proyek

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**


Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Yang bertanda tangan dibawah ini kami,

Nama : INDR PERMANA
No. Mhs : 14511392
Prodi : Teknik Sipil

Dengan ini kami mengajukan data-data dari proyek kepada Bapak Dosen Pembimbing untuk dapat melaksanakan Praktik Kerja dalam rangka menyelesaikan studi jenjang Program Strata Satu (S1).
Adapun data yang kami peroleh sebagai berikut:

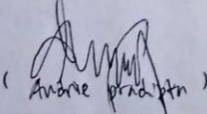
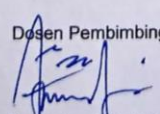

Nama Proyek :	Pembangunan Gedung fakultas Teknik UPY
Pemilik Proyek :	Yayasan PGRI
Kontraktor :	Swikelola UPY
Perencana :	Bagus Subandono ST. M.Eng
Konsultan Pengawas :	Bagus Subandono ST. M.Eng
Lokasi Proyek :	Jl IKIP PGRI 1 SONOSREJO No 114 Mestiharjo, Klaten, Bantul DIY
Kons.bag.Atas :	Swikelola UPY
Kons.bag.Bawah :	Swikelola UPY
Biaya Proyek :	Rp 14.000.000.000
Rencana Waktu Penyelesaian :	6 bulan (Mulai Juni 2019)
Saat ini sudah dilaksanakan dalam % :	50% (smkhr)
Data lain yang dianggap perlu :	

Adapun surat permohonan formal dapat diajukan kepada :

Rimpinan Proyek Gedung Fakultas Teknik UPY

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 7 September 2019

<p>Mengetahui, An.Proyek</p>  <p>(An. Proyek)</p>	<p>Dosen Pembimbing</p>  <p>Rayendra, S.IT., M.T.</p>	<p>Mahasiswa Pemohon</p>  <p>INDRA PERMANA</p>
--	--	---

Gedung KH. Moh. Natsir Lt.1 Sayap Timur
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
T. (0274) 898444 ext. 3235
F. (0274) 895332

CamScanner

Lampiran L-1. 3 Data Proyek

**PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS PGRI YOGYAKARTA**

JL IKIP PGRI 1 Sonosewu NO 117 Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Yogyakarta

Nomor :
Lampiran :
Perihal : Surat Keterangan Selesai Praktik Kerja

Yang bertanda tangan di bawah ini selaku pembimbing lapangan :

Nama : Bachtiar Nur Rochman, S.T.,
Jabatan : Project Manager
Kontraktor : Swakelola

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa :

Nama : Indra Permana
NIM : 14511392
Universitas : Universitas Islam Indonesia

Telah selesai melakukan kegiatan pengamatan lapangan untuk keperluan Praktik Kerja pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY dengan penilaian. ^Adari Pembimbing Lapangan.

Mahasiswa tersebut melakukan observasi lapangan terhitung dari tanggal 7 September 2019 s/d 11 Oktober 2019.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

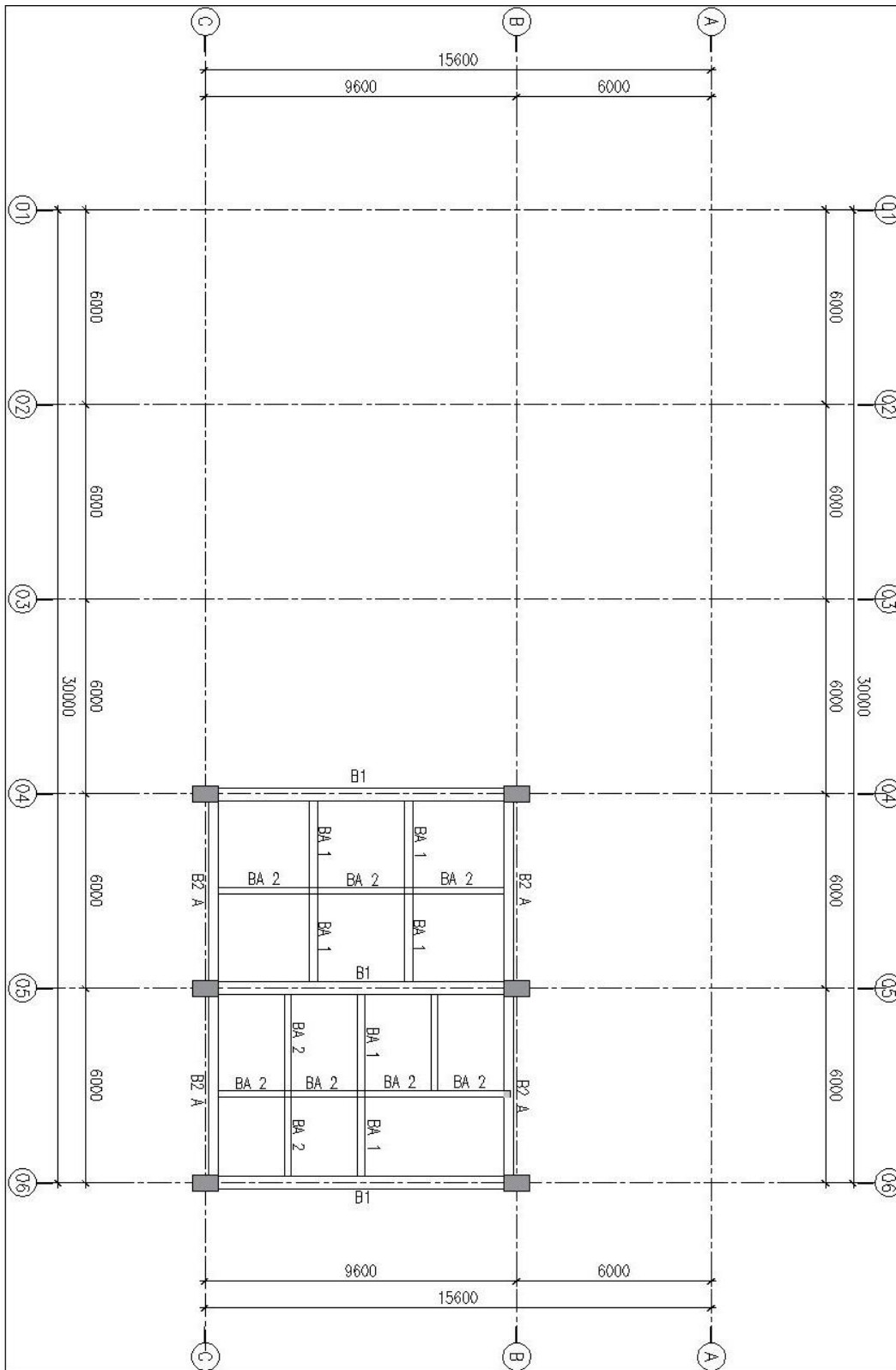
Yogyakarta, 23 Oktober 2019



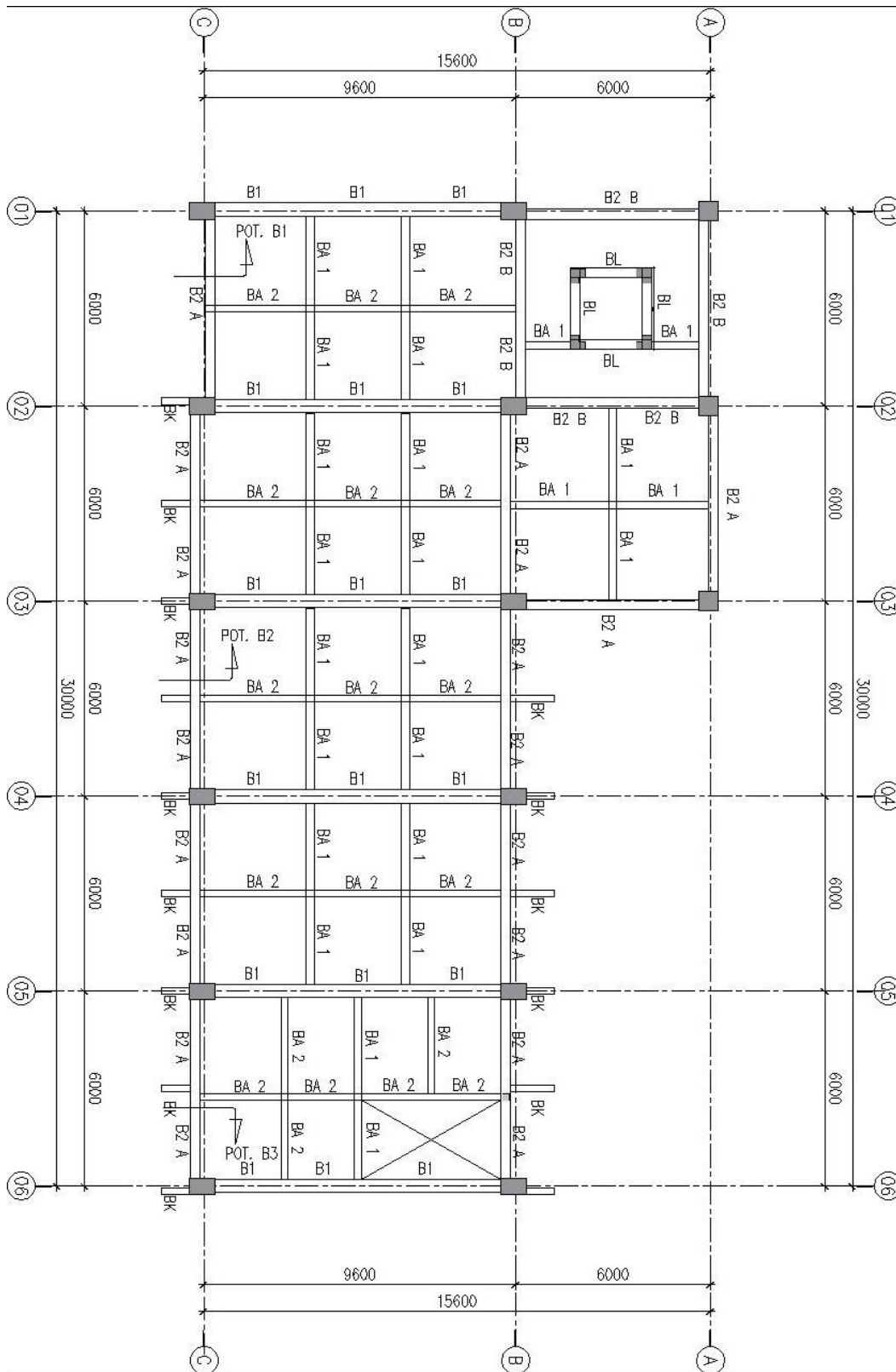
Bachtiar Nur Rochman, S.T.,

Lampiran L-1. 4 Surat Keterangan Selesai Pengambilan Data

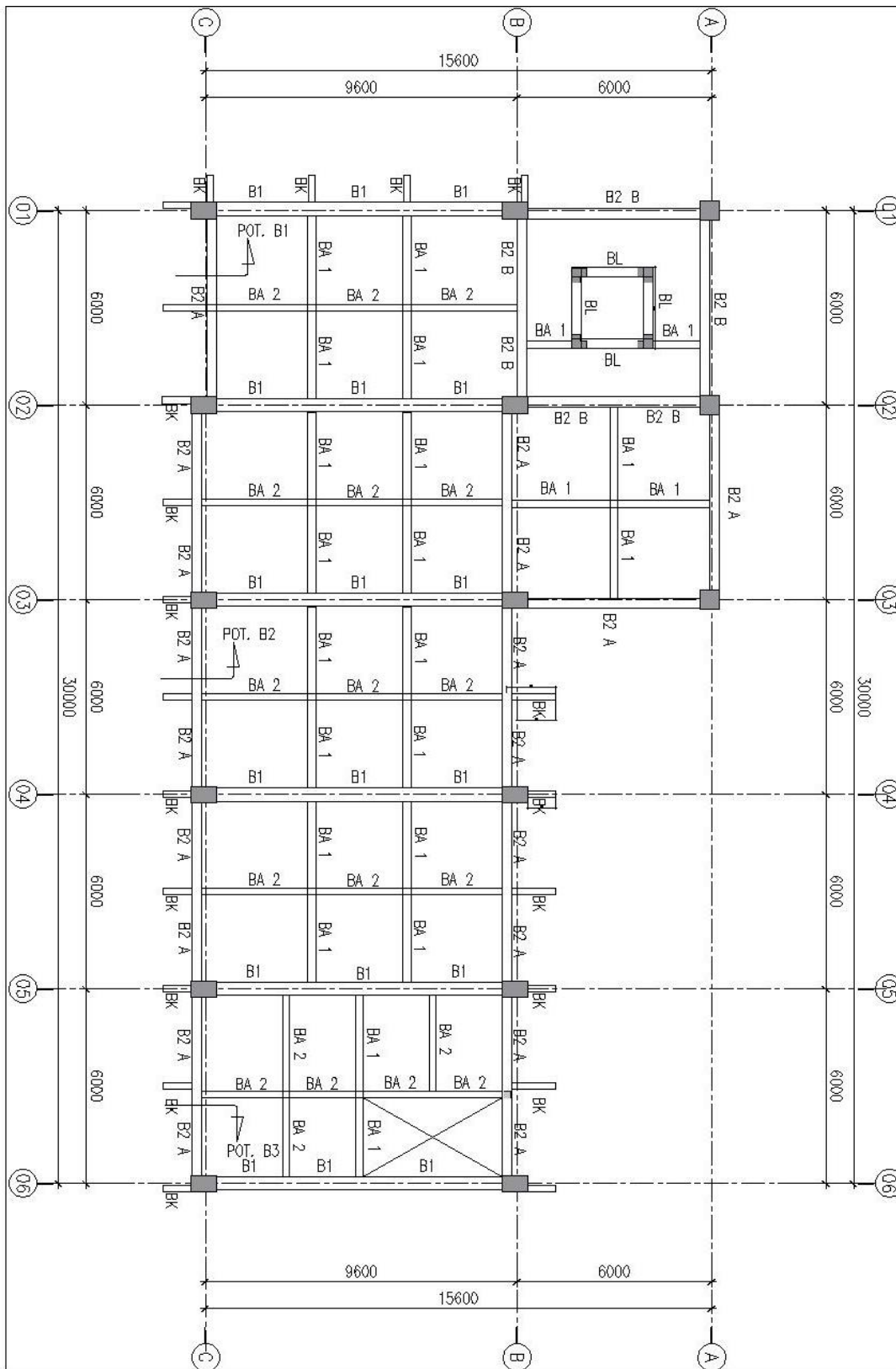
Lampiran 2 Observasi Lapangan dan Perolehan Data Penelitian



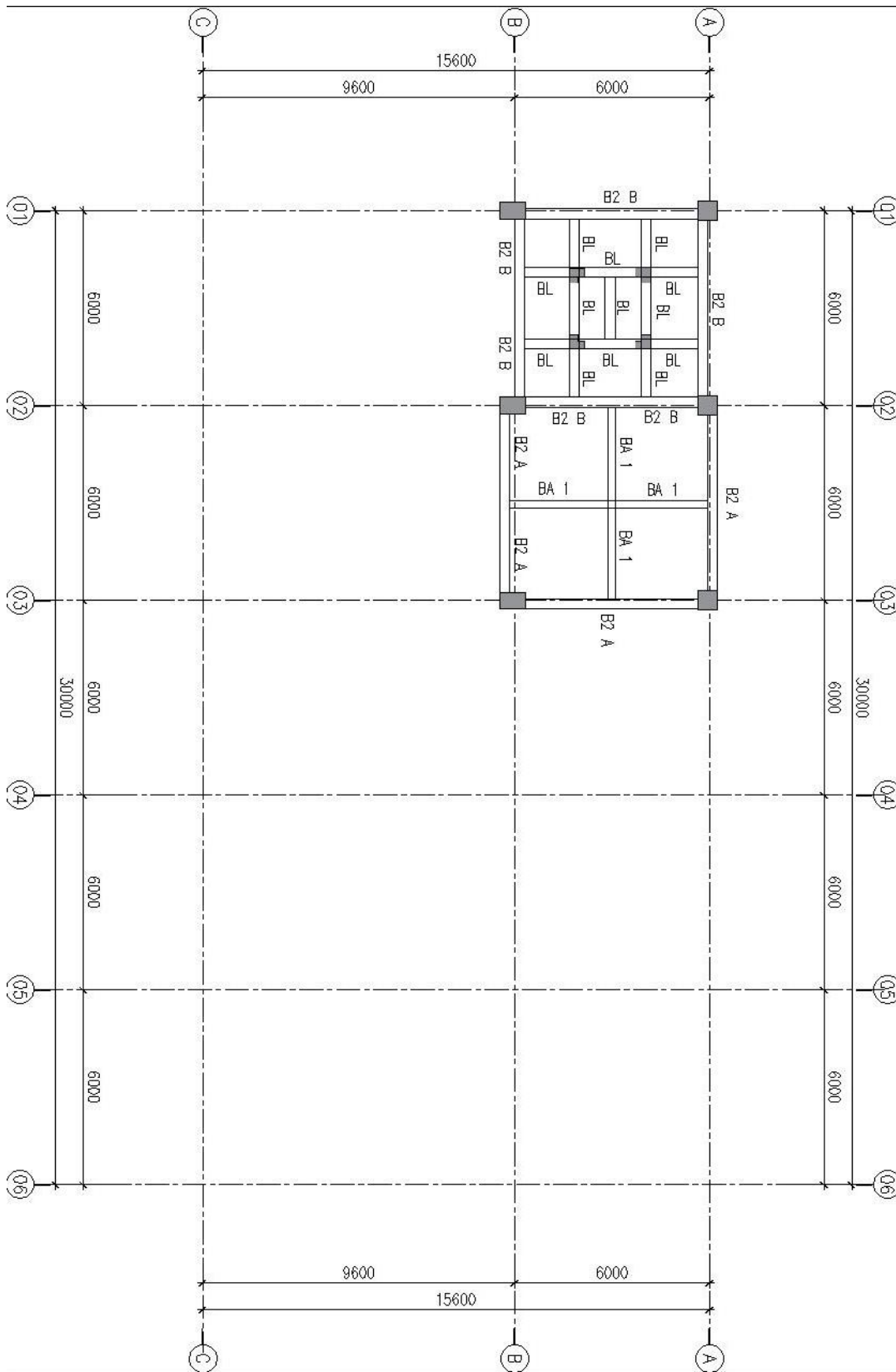
Lampiran L-2. 1 Denah Balok el +0.00



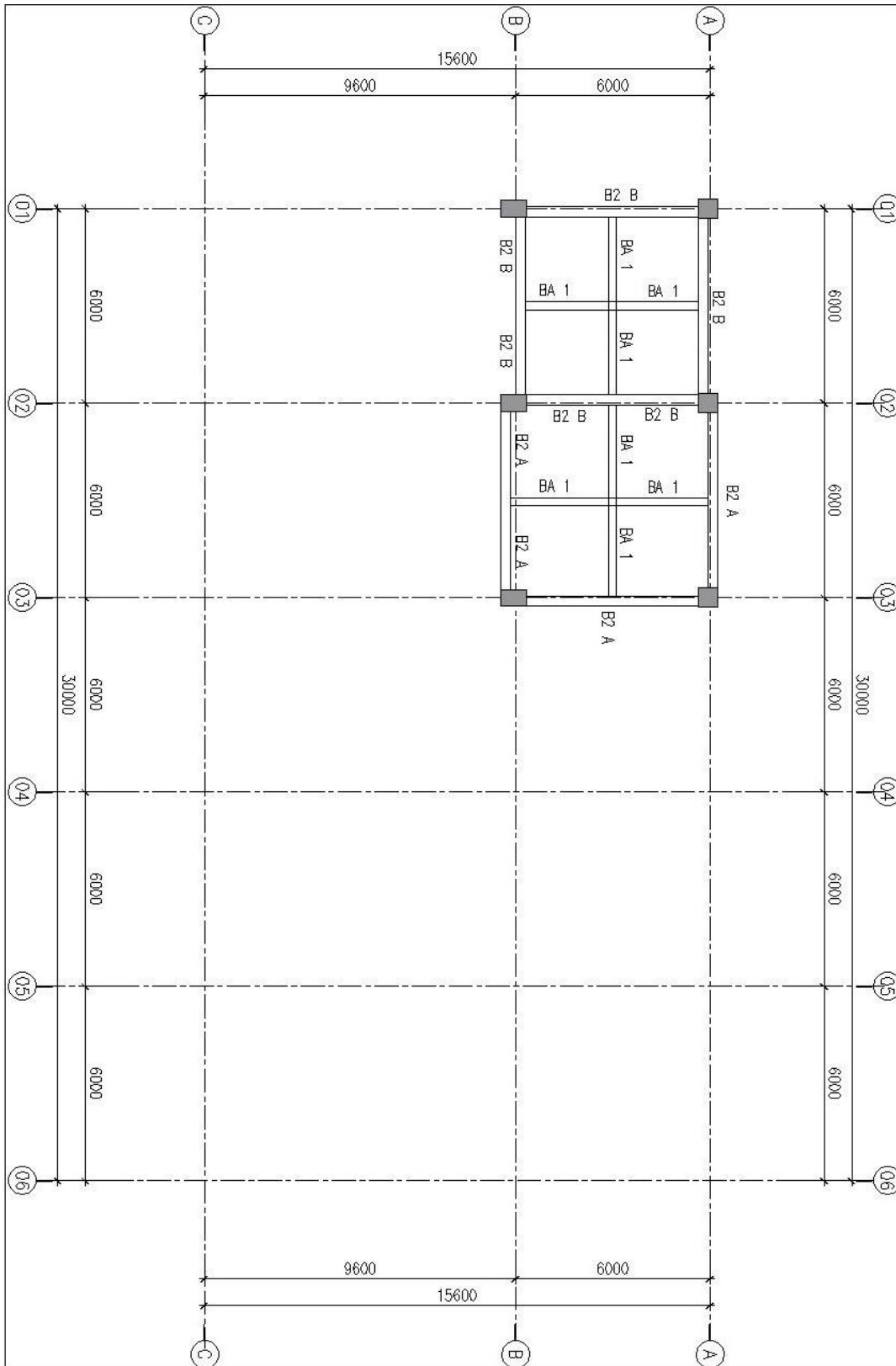
Lampiran L-2. 2 Denah Balok el +3.800, +7.500, +11.200, +14.900



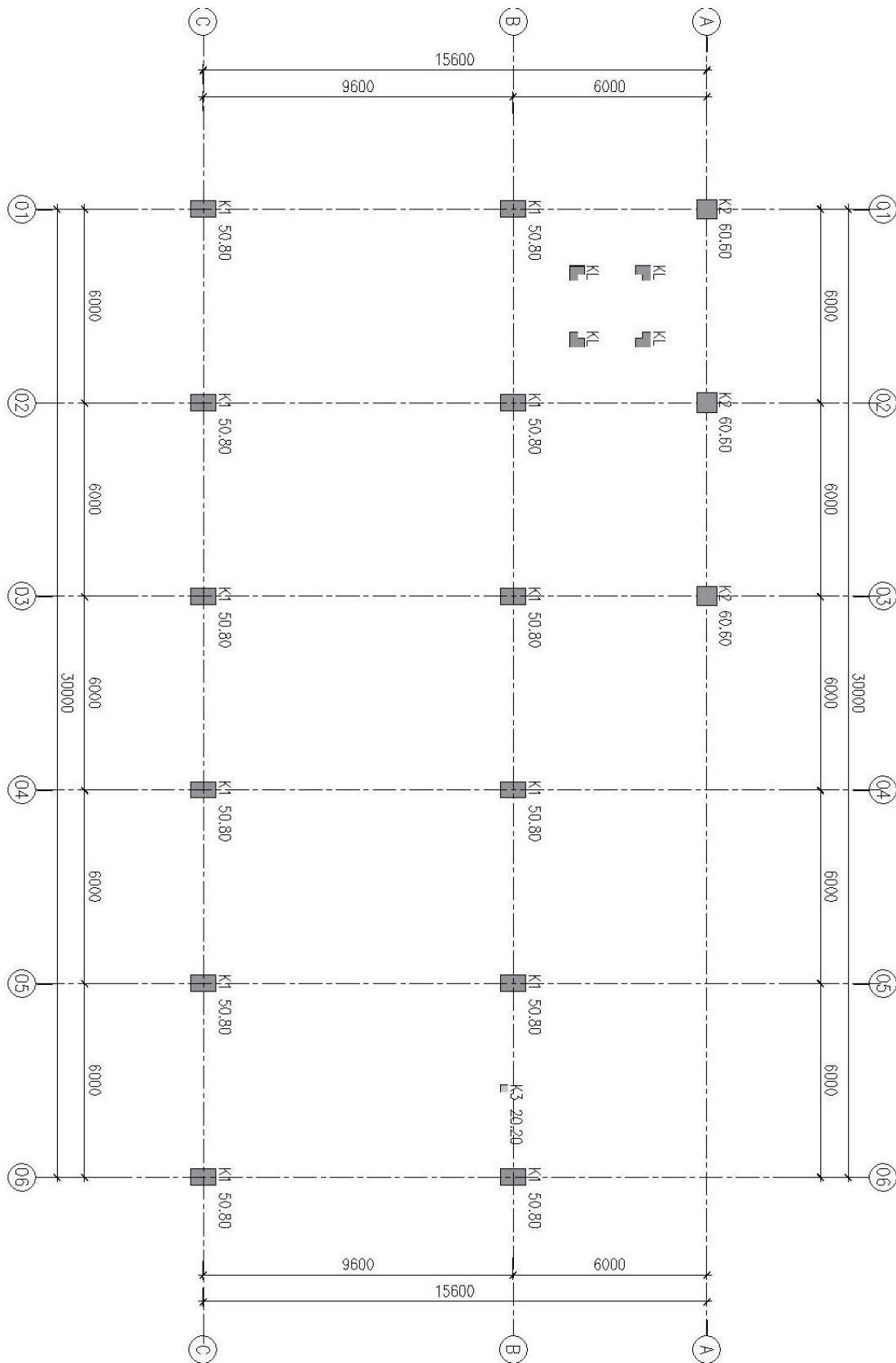
Lampiran L-2. 3 Denah Balok el +18.600



Lampiran L-2. 4 Denah Balok el +19.700



Lampiran L-2. 5 Denah Balok el +22



Lampiran L-2. 6 Denah Kolom

TYPE	BALOK B1		BALOK B2 A		BALOK B2 B		BALOK BA 1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN								
TUL. ATAS	11 D 19	6 D 19	7 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	4 D 16
TUL. BAWAH	6 D 19	8 D 19	5 D 16	5 D 16	5 D 16	5 D 16	4 D 16	4 D 16
SENGKANG	3 P 10 - 100	3 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150
TUL. PINGGANG	4 D 13	4 D 13	2 D 13	2 D 13	4 D 13	4 D 13	2 D 10	2 D 10

TYPE	BALOK BA 2		BALOK BL		BALOK BK	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	3 D 16	3 D 16	6 D 19	4 D 19	6 D 16	6 D 16
TUL. BAWAH	3 D 16	3 D 16	4 D 19	4 D 19	4 D 16	4 D 16
SENGKANG	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150	2 P 10 - 100	2 P 10 - 150
TUL. PINGGANG	2 D 10	2 D 10	2 D 13	2 D 13	2 D 10	2 D 10

Lampiran L-2. 7 Detail Balok



Lampiran L-2. 8 Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY



Lampiran L-2. 9 Bimbingan Lapangan Oleh *Project Manager*



Lampiran L-2. 10 Tempat Penyimpanan dan *Workshop* Pembesian



Lampiran L-2. 11 Pemasangan Tulangan Menerus

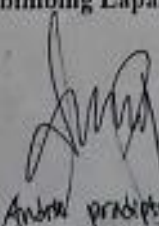
**LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN
PRAKTIK KERJA**

Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI 1 Sonosewu No.117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

Praktik Kerja

Hari : Sabtu

Tanggal : 7 September 2019

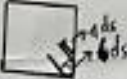
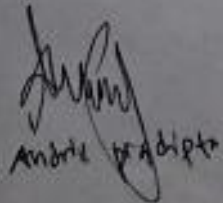
Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI			
10.00 - 12.00	<p>↳ Diskusi Dengan Site Manager Proyek</p> <p>* Pembangunan gedung dilakukan secara bertahap dari pihak yayasan. Pembangunan gedung dibagi menjadi 2 tahap pekerjaan. Gedung bagian utara dibangun terlebih dahulu. Sedangkan gedung bagian selatan dikerjakan setelah menyelesaikan bangunan yang sudah ada sebelumnya. Pekerjaan gedung bagian utara sudah memasuki pekerjaan lantai ke-5. Sedangkan gedung bagian selatan baru sampai pekerjaan basement. Maka kedua pembangunan gedung ini bergabung menjadi satu bagian.</p>			
12.00 - 17.00	<p>↳ Observasi peralatan dan material proyek di lapangan</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> <p>* Peralatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Ganda potong ↳ Lem bar ↳ scaffolding ↳ besi hollow ↳ eripex bekisting ↳ model uji tekan beton ↳ mesin drill ↳ vibrator ↳ lampu spot ↳ theodolit ↳ tali ↳ kump ↳ Untuk kebutuhan borongan dari universitas </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> <p>* Material :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Besi (ukuran diameter 10, 13, 19, 22, 16) ↳ Besi pipa diameter ϕ 100 mm ↳ Pasir ↳ Batu bata ↳ Semen ↳ Beton ready mix </td> </tr> </table>		<p>* Peralatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Ganda potong ↳ Lem bar ↳ scaffolding ↳ besi hollow ↳ eripex bekisting ↳ model uji tekan beton ↳ mesin drill ↳ vibrator ↳ lampu spot ↳ theodolit ↳ tali ↳ kump ↳ Untuk kebutuhan borongan dari universitas 	<p>* Material :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Besi (ukuran diameter 10, 13, 19, 22, 16) ↳ Besi pipa diameter ϕ 100 mm ↳ Pasir ↳ Batu bata ↳ Semen ↳ Beton ready mix
<p>* Peralatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Ganda potong ↳ Lem bar ↳ scaffolding ↳ besi hollow ↳ eripex bekisting ↳ model uji tekan beton ↳ mesin drill ↳ vibrator ↳ lampu spot ↳ theodolit ↳ tali ↳ kump ↳ Untuk kebutuhan borongan dari universitas 	<p>* Material :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Besi (ukuran diameter 10, 13, 19, 22, 16) ↳ Besi pipa diameter ϕ 100 mm ↳ Pasir ↳ Batu bata ↳ Semen ↳ Beton ready mix 			
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING			
 Aninda Pradipta	<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>			
	Lampirkan semua dokumen pendukung			

Lampiran L-2. 12 Observasi Lapangan & Wawancara Tidak Langsung

**LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN
PRAKTIK KERJA**

Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI I Sonosewu No.117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

Praktik Kerja	Hari : Minggu
	Tanggal : 8 September 2019

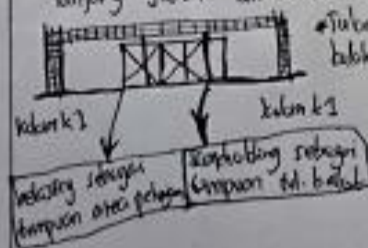
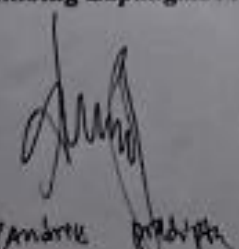
Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
12.00-15.00	<p><u>Penelakan Tulangan Sengkang</u></p> <p>→ Kami melakukan pengecekan tulangan sengkang kolom. baik baik yang sudah terpasang maupun yang masih di tempat penyempunan. Pengecekan dikhususkan pada daerah perlekukan yang mana sejauh pemantauan kami di proyek ini sudah sesuai persyaratan.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Hal ini akan dalam fabricikasi tulangan dilakukan dengan baik</p> <p>→ Pengecekan ikatan tulangan sengkang pada tulangan pokok. Tulangan sengkang dikait pada tulangan pokok menggunakan kawat benrat dengan kuat. Hal ini penting untuk mempertahankan posisi tulangan pokok sehingga pada proses bekisting dan pengecoran, dimmsi serta jarak selimut beton tetap terjaga.</p>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Andrie Pradipta	Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 13 Observasi Lapangan Pengecekan Penulangan

LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN PRAKTIK KERJA

Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI I Sonosewu No.117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

Praktik Kerja	Hari : Sabtu
	Tanggal : 14 Sept

Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
12.00 - 17.00	<p>* Penulangan Balok B1</p> <p>Penulangan balok dikerjakan 5 orang dengan 1 pekerja betonis sebagai distribusi material (besi & tumpukan sengkang)</p> <p>Tulangan utama balok (tulangan memanjang balok) dipasang terlebih dahulu dengan menumpu pada kolom K1 di samping kanan dan kiri, kemudian pada bagian $\frac{1}{2}$ L balok ditayang menggunakan scaffolding. Untuk pemasangan tulangan sengkang pada balok, pekerja membuat scaffolding sebagai tumpuan area pekerjaan. Tulangan sengkang dipasang sesuai gambar rencana oleh 4 pekerja. Setelah tulangan memanjang selesai dipasang, Tulangan lapis ke 2 pada daerah tumpuan dan bentangan dipasang menumpu pada kolom dan ditayang oleh tukang sengkang. Untuk penulangan Balok B1 dengan panjang 9.6 m dibutuhkan waktu ± 8 jam oleh 5 orang tukang.</p> <p>Tulangan badan dipasang setelah sengkang balok selesai dipasang.</p> 
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Candice Pradipta	.. Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 14 Teknis Penulangan Balok

LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN PRAKTIK KERJA	
Nama Mahasiswa	: Indra Permana
NIM	: 14511392
Nama Proyek	: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
Alamat Proyek	: Jl. IKIP PGRI I Sonosewu No.117, Sonosewu, Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
Praktik Kerja	Hari : Rabu 18 September 2019
	Tanggal :
Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
08.30 - 10.00	<p>Preparasi pemasangan bekisting balok dan penubangan balok Anak</p> <ul style="list-style-type: none"> • scaffolding didirikan sepanjang kolom K2 dengan tinggi 2,4m box hollow dipasang di atas scaffolding (Jepit U) untuk menahan papan bekisting
10.00 - 12.00	<ul style="list-style-type: none"> • bekisting balok bagian bawah dipasang paku besi bolt yang dipasang scaffolding • Tandu beton dipasang pada bagian bawah tulangan balok untuk jarak antar beton
12.00 - 15.00	<ul style="list-style-type: none"> • Pengerjaan penubangan balok anak • besi tulangan utama (tulangan memanjang) dipasang terlebih dahulu pada bagian bawah dan atas. Tulangan sengkang dimasukkan dan dipasang ke balok anak sesuai gambar rencana. Tulangan lapis ke 2 dipasang setelah tulangan utama terikat sempurna.
15.00 - 17.00	<p>sketsa pengerjaan pemasangan bekisting balok bagian bawah</p>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Indra Permana	
	Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 15 Teknis Penulangan Balok Pemasangan Menerus

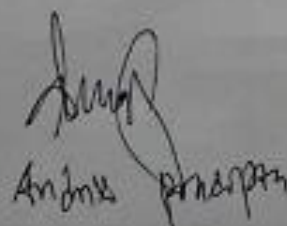
**LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN
PRAKTIK KERJA**

Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI Sonosewu No. 117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

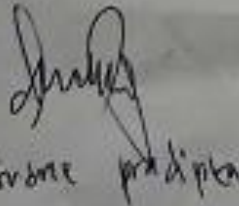
Praktik Kerja

Hari : Sabtu

Tanggal : 20 Februari 2019

Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
9.00 - 12.00	<p><u>Diskusi dengan Kepala Pelaksanaan (Pak Bachtiar)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> → Pak Bachtiar selaku Pimpri dan Pembimbing lapangan mahasiswa Praktik kerja telah mengagendakan untuk diskusi bersama Mahasiswa KP dan membimbing langsung dilapangan. → Diskusi kali ini telah membahas mengenai teknis di lapangan terutama pada perhitungan jumlah scaffolding yang dibutuhkan, bagian serta ukuran scaffolding, metode pemasangan dan pentingnya penulangan geser di daerah tumpuan dan lapangan. → Diskusi kali ini juga membahas pertimbangan pengalasan scaffolding sesuai pengalaman Pimpri. Pada proyek ini scaffolding dilakukan dengan cara sewa dan memakai scaffolding milik sendiri. → Pengalaman - pengalaman seperti proyek juga dibagikan, hal ini sangat penting untuk mahasiswa sehingga sedikit banyak mengetahui problema serta solusi yang dapat dilakukan. Kami sebagai mahasiswa sangat mengapresiasi bimbingan dari Pak Bachtiar sehingga sedikit banyak mengetahui gambaran proyek secara utuh.
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Anindya Pradipita	 Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 16 Diskusi & Wawancara Tidak Langsung Terkait BBS

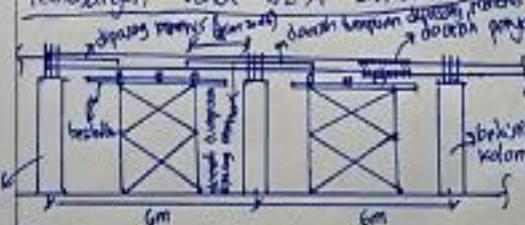
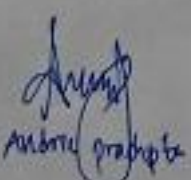
LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN PRAKTIK KERJA	
Nama Mahasiswa	: Indra Permana
NIM	: 14511392
Nama Proyek	: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
Alamat Proyek	: Jl. IKIP PGRI I Sonosewu No.117, Sonosewu, Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
Praktik Kerja	Hari : <i>Rabu</i>
	Tanggal : <i>2 Oktober 2019</i>
Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
10.00 - 12.00	<p>* <u>Diskusi tugas khusus dengan Pembimbing Lapangan</u></p> <p>Perhitungan kebutuhan tubangan Balok</p> <p>* Hasil perhitungan setelah diperiksa pembimbing lapangan, pengamat akan jalan untuk mempersiapkan panjang besi pembesian yang sepanjang 12 m untuk dimasukkan ke dalam perhitungan, selain itu distribusi sisa potongan dari besi 12 m juga sangat penting untuk meminimalkan kesalahan tubangan. Menurut pembimbing lapangan besok adalah salah satu material sisa dalam proyek yang cukup banyak yaitu dari besi tubangan.</p>
12.00 - 15.00	<p>* <u>Pengamatan K3</u> : di lapangan para pekerja tidak ada yang menggunakan APD sama sekali. Helm-pelut K3 juga tidak ada yang dipakai di lapangan. Dalam praktek konstruksi mungkin hal ini terjadi karena tidak adanya pengawasan lapangan di bidang K3.</p>
15.00 - 17.00	<p>* <u>Kelengkapan area proyek</u> = di dalam lingkungan proyek, peralatan ^{dikumpulkan} ada berdasarkan fungsinya misal untuk pengangkutan Urut, Pasir, Angkur dikumpulkan dalam satu tempat karena namanya bertungku untuk pekerjaan scaffolding.</p> <p>* Jaring-jaring dipasang pada sisi proyek yang menghadap ke jalan raya. Hal ini untuk melindungi jalannya material proyek ke luar area pekerjaan.</p> <p>* untuk keselamatan area proyek dan besi tubangan</p>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Ardana Pradipta	
	Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 17 Pengecekan Perhitungan BBS Oleh Direksi Proyek

**LEMBAR KEGIATAN HARIAN LAPANGAN
PRAKTIK KERJA**

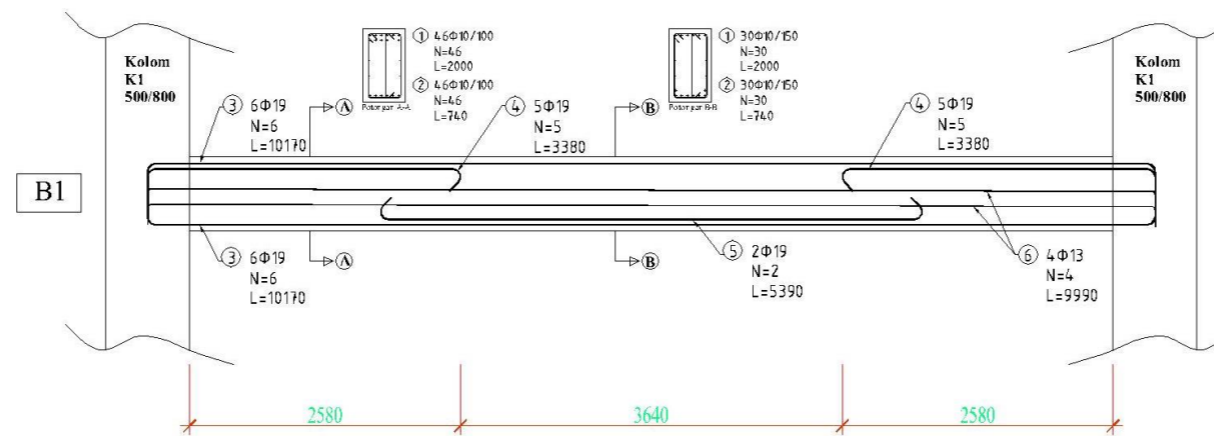
Nama Mahasiswa : Indra Permana
 NIM : 14511392
 Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Teknik UPY
 Alamat Proyek : Jl. IKIP PGRI Sonosewu No.117, Sonosewu,
 Ngestiharjo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa
 Yogyakarta

Praktik Kerja	Hari : <u>Jumat 11 Oktober 2019</u>
	Tanggal :

Jam	HASIL OBSERVASI DAN DISKUSI
13.00-14.00	<p><u>Pemeriksaan kembali area pekerjaan</u> Paraborn</p> <p>* Balok lantai 2 paraborn pemasangan bekisting mulai dilepas dan dilampirkan berdasarkan jaraknya seperti pengikat, deepholding, u hold, angle.</p> <p>* material beton sisa pengecoran yang jatuh ke lantai 2 dibongkar dan dibersihkan oleh 2 pekerja</p>
14.00-18.00	<p><u>Pemasangan balok B2A Lantai 4</u></p>  <p>① scaffolding dipasang di 2 bagian yaitu pada balok</p> <p>② besi hollow dipasang menggunakan kawat benang diatas scaffolding</p> <p>③ 2 buah besi hollow dipasang melintang untuk tumpuan sementara tulangan D16</p> <p>④ Tulangan D16 dipasang memanjang pada salah satu sisi dan dikawat dengan kawat benang. Pada sisi yang lain tulangan D16 dipasang pada kolom ke arah daerah penyanggahan</p> <p>⑤ Peta daerah tumpuan balok B2A bagian kolom tengah, tulangan tumpuan dipasang memanjang dengan jarak (jarak) pada ke dua sisi</p>
18.00-21.00	<p>* BERTADA yang besar dipisahkan pada sisi pertemuan balok dan dinding tidak diberi pelat. Selain itu dit dit akan diberikan ... dan dikawatnya menggunakan kawat</p>
Mengetahui Pembimbing Lapangan/Proyek	CATATAN PEMBIMBING
 Andre Pradipita	Lampirkan semua dokumen pendukung

Lampiran L-2. 18 Observasi Lapangan Teknis Penulangan Balok

Lampiran 3 Hasil Penelitian




Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ10		2000	76	627	Panjang Besi Fabrikasi = 12 m 1 627 batang 4 buah potongan @2m
②	Φ10		740	76		
③	Φ19		10170	12	396	1 396 batang 1 buah potongan @10.17m
④	Φ19		3380	10	110	1 110 batang 3 buah potongan @3.38m
⑤	Φ19		5390	2	33	1 33 batang 2 buah potongan @5.39m
⑥	Φ13		9990	4	132	1 132 batang 1 buah potongan @9.99m

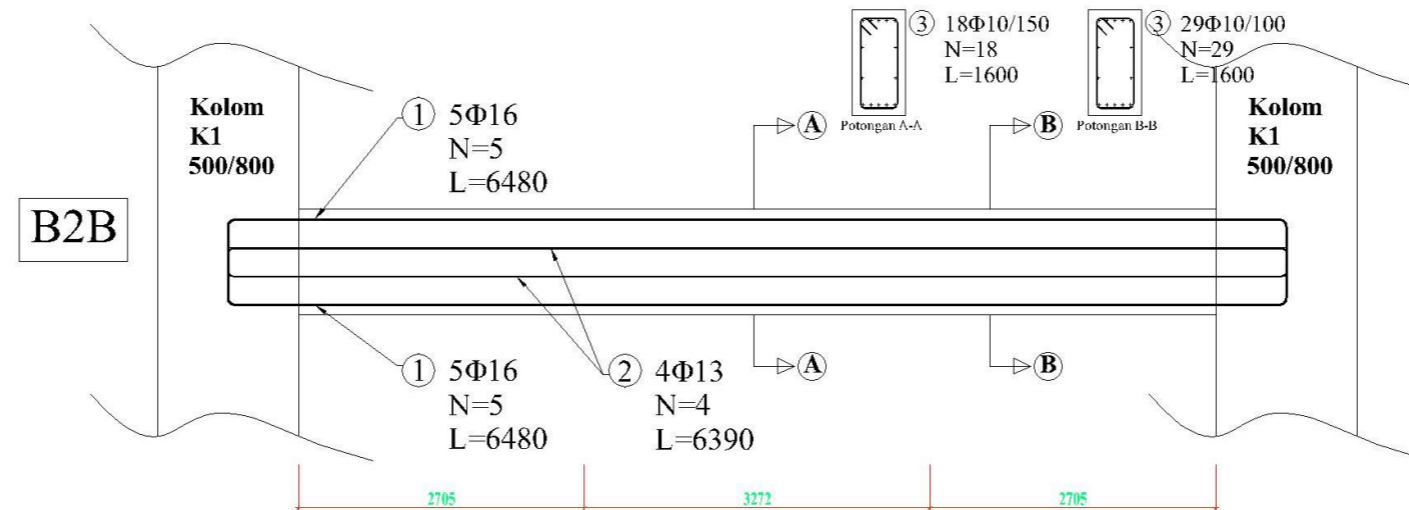
	Bestaat Konvensional JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 01	JML LBR 07	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok B1	Grid 1,2,3,4,5,6	Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

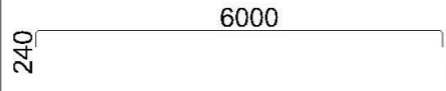
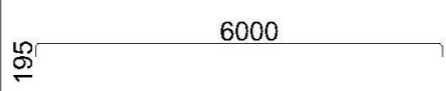
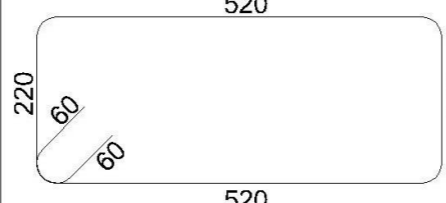
Lampiran L-3. 1 Bestaat Konvensional B1


Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ16	240 — 6000 — 240	6480	10	650	① 375 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.28m distribusi ke B2A Tumpuan ② 65 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.18m distribusi ke BK Tumpuan ③ 130 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.18m distribusi ke BK Lapis Bawah ④ 32 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.37m distribusi ke BK* Lapis Atas ⑤ 16 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.37m distribusi ke BK* Tumpuan ⑥ 32 batang buah potongan @6.48m buah potongan @2.37m distribusi ke BK* Lapis Bawah
②	Φ16	240 — 1945 — 96	2280	4	0	① 260 potongan diambil dari B2A Lapis Atas
③	Φ13	195 — 6000 — 195	6390	2	130	① 130 batang buah potongan @6.39m buah potongan @2.89m distribusi ke BL
④	Φ10	220 — 520 — 220	1600	52	483	① 483 batang 7 buah potongan @1.6m

 Universitas Islam Indonesia JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	Bestaat Konvensional PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 02	JML LBR 07	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok	Grid	Elevasi					
		B2A	A, B, C	+0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200						

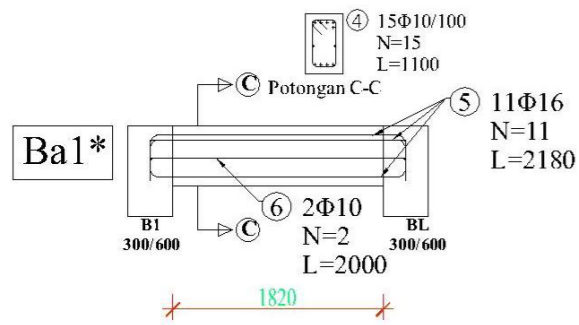
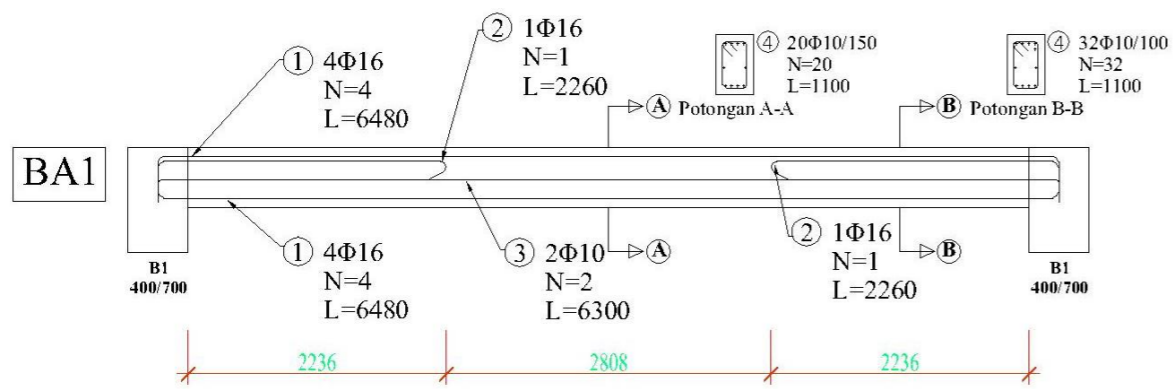
Lampiran L-3. 2 Bestaat Konvensional B2A



Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ16		6480	10	280	<p>① 140 batang</p> <p>1 buah potongan @6.48m</p> <p>2 buah potongan @2.18m</p> <p>distribusi ke Ba1* Tumpuan</p> <p>② 140 batang</p> <p>1 buah potongan @6.48m</p> <p>2 buah potongan @2.18m</p> <p>distribusi ke Ba1* Lapis Bawah</p>
②	Φ13		6390	4	112	<p>① 112 batang</p> <p>1 buah potongan @6.39m</p>
③	Φ10		1600	47	188	<p>① 188 batang</p> <p>7 buah potongan @1.6m</p>

	Bestaat Konvensional JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 03	JML LBR 07	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok B2B	Grid A, B, 01, 02	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

Lampiran L-3. 3 Bestaat Konvensional B2B



Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ16	240 — 6000 — 240	6480	8	512	1 256 batang 1 buah potongan @6.48m 2 buah potongan @2.26m distribusi ke BA1 Tumpuan 2 256 batang 1 buah potongan @6.48m 2 buah potongan @2.18m distribusi ke Ba1* Lapis Atas
②	Φ16	240 — 1920 — 96	2260	2	0	1 Kebutuhan Tulangan Diambil dari BA1 Lapis Bawah
③	Φ10	150 — 6000 — 150	6300	2	128	1 128 batang 1 buah potongan @6.3m 5 buah potongan @1.1m distribusi ke BK Senggang
④	Φ10	320 — 170 — 60 — 60 — 170 — 320	1100	52 15	349	1 349 batang 10 buah potongan @1.1m 1 buah potongan @1m distribusi ke BA2 Senggang
⑤	Φ16	240 — 1700 — 240	2180	11	16	1 440 potongan diambil dari BA1 Lapis Atas 2 110 potongan diambil dari B2B Lapis Atas 3 16 batang 5 buah potongan @2.18m
⑥	Φ10	150 — 1700 — 150	2000	2	37	1 37 batang 6 buah potongan @2m



Bestaat Konvensional
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

PROYEK
 PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY

DETAIL GAMBAR		
Balok	Grid	Elevasi
BA1	A, B, C	+0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200

DOSEN PEMBIMBING
 Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.

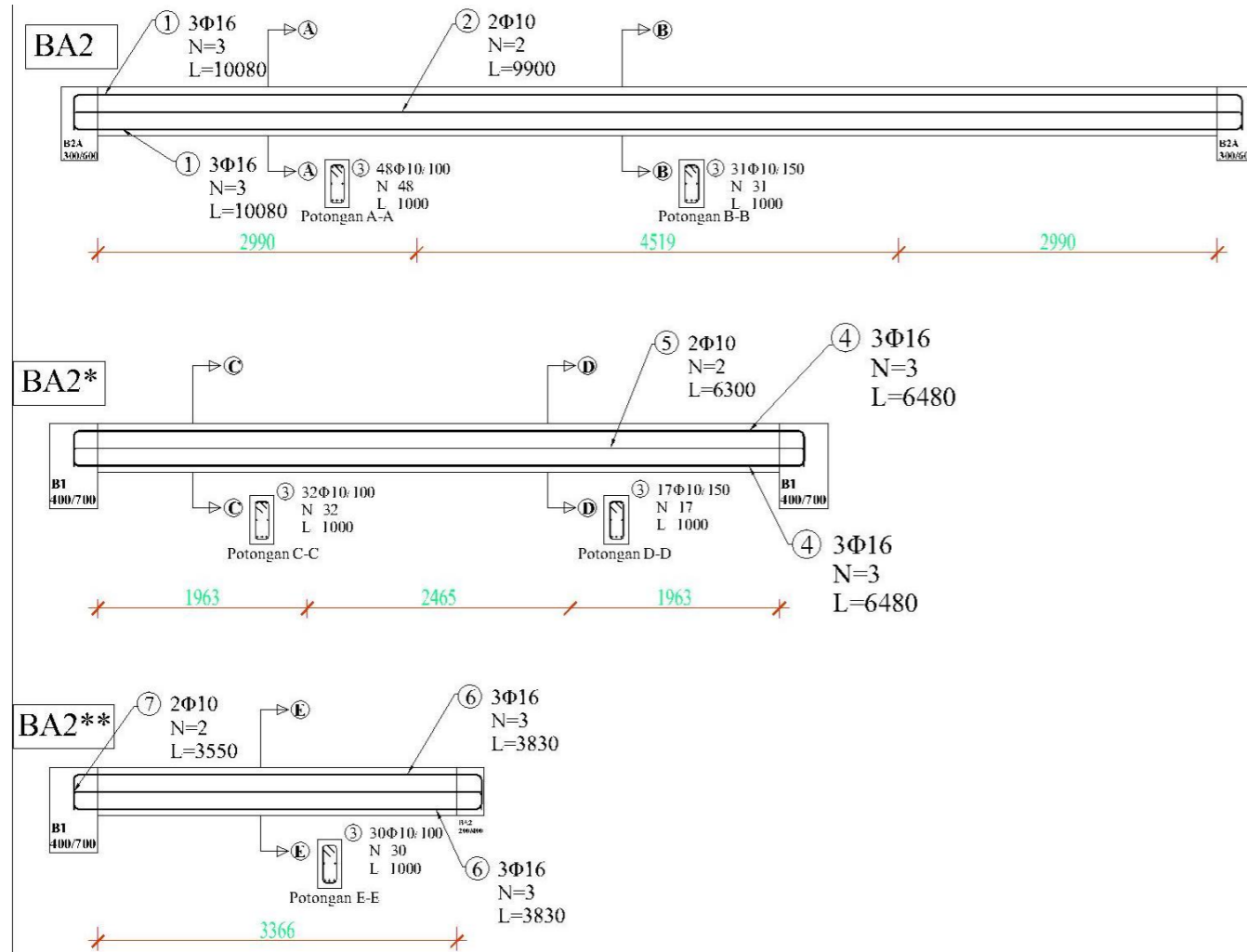
DIGAMBAR OLEH
 Indra Permana
 14511392

NO. LBR
 04

JML LBR
 07

SEMESTER GANJIL
 2020/2021

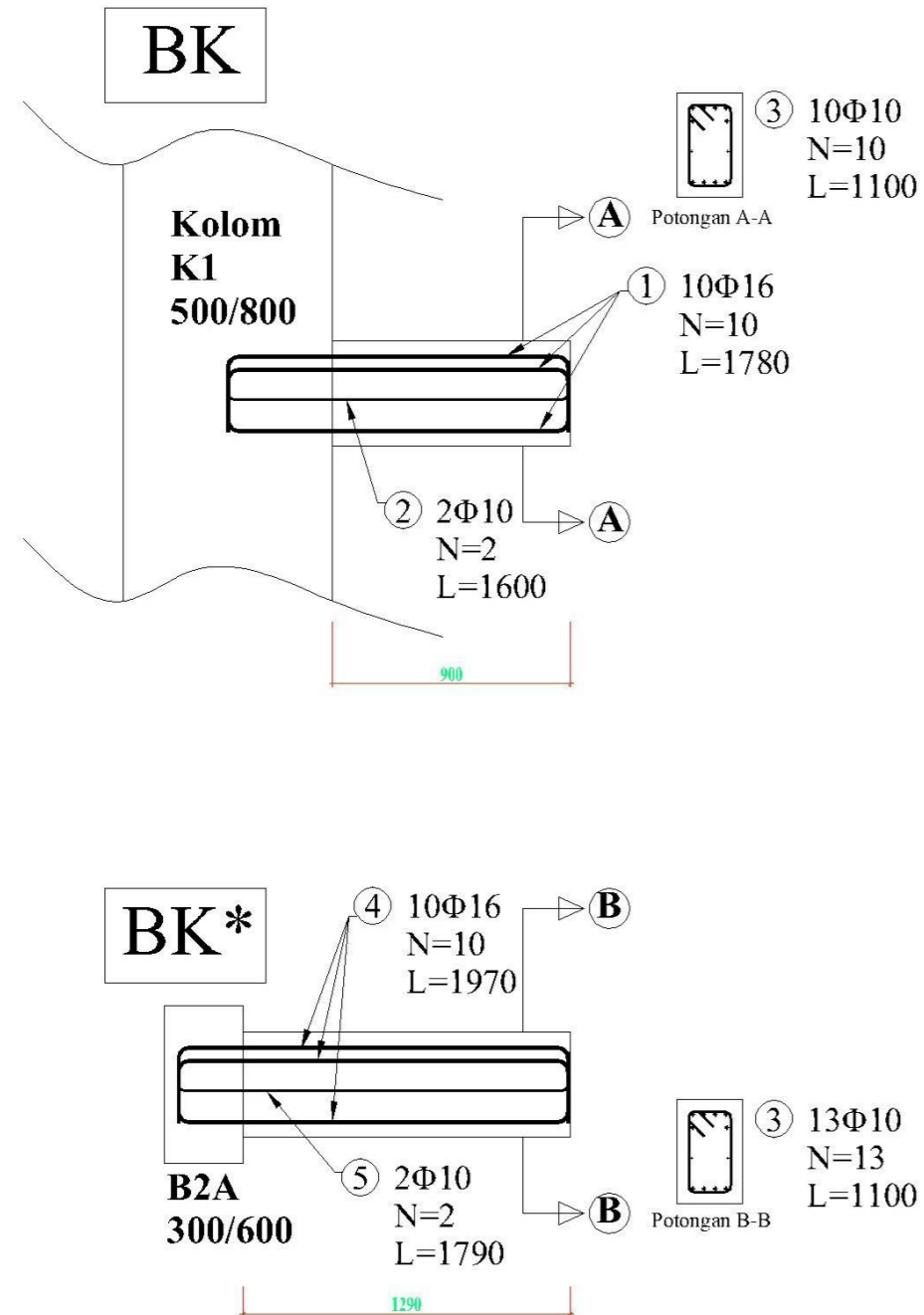
Lampiran L-3. 4 Bestaat Konvensional BA1



Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ16	240 — 9600 — 240	10080	6	162	Panjang Besi Fabrikasi = 12 m 1 162 batang — 1 buah potongan @10.08m
②	Φ10	150 — 9600 — 150	9900	2	54	1 54 batang — 1 buah potongan @9.9m — 1 buah potongan @2m — distribusi ke BK
③	Φ10	120 — 320 — 120 — 320	1000	79	189	1 349 potongan diambil dari BA1 Senggang 2 189 batang — 12 buah potongan @1m
④	Φ16	240 — 6000 — 240	6480	6	36	1 36 batang — 1 buah potongan @6.48m — 1 buah potongan @3.83m — distribusi ke BA2**
⑤	Φ10	150 — 6000 — 150	6300	2	12	1 12 batang — 1 buah potongan @6.3m — 1 buah potongan @3.55m — distribusi ke BA2**
⑥	Φ16	240 — 3350 — 240	3830	6	0	1 Kebutuhan Tulangan Diambil dari BA2*
⑦	Φ10	150 — 3250 — 150	3550	2	0	1 Kebutuhan Tulangan Diambil dari BA2*

	Bestaat Konvensional JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UIV	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 05	JML LBR 07	SEMESTER GANJIL 2020/2021	
			Balok	Grid	Elevasi						
			BA2	01,02,03, 04,05,06	+0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600						

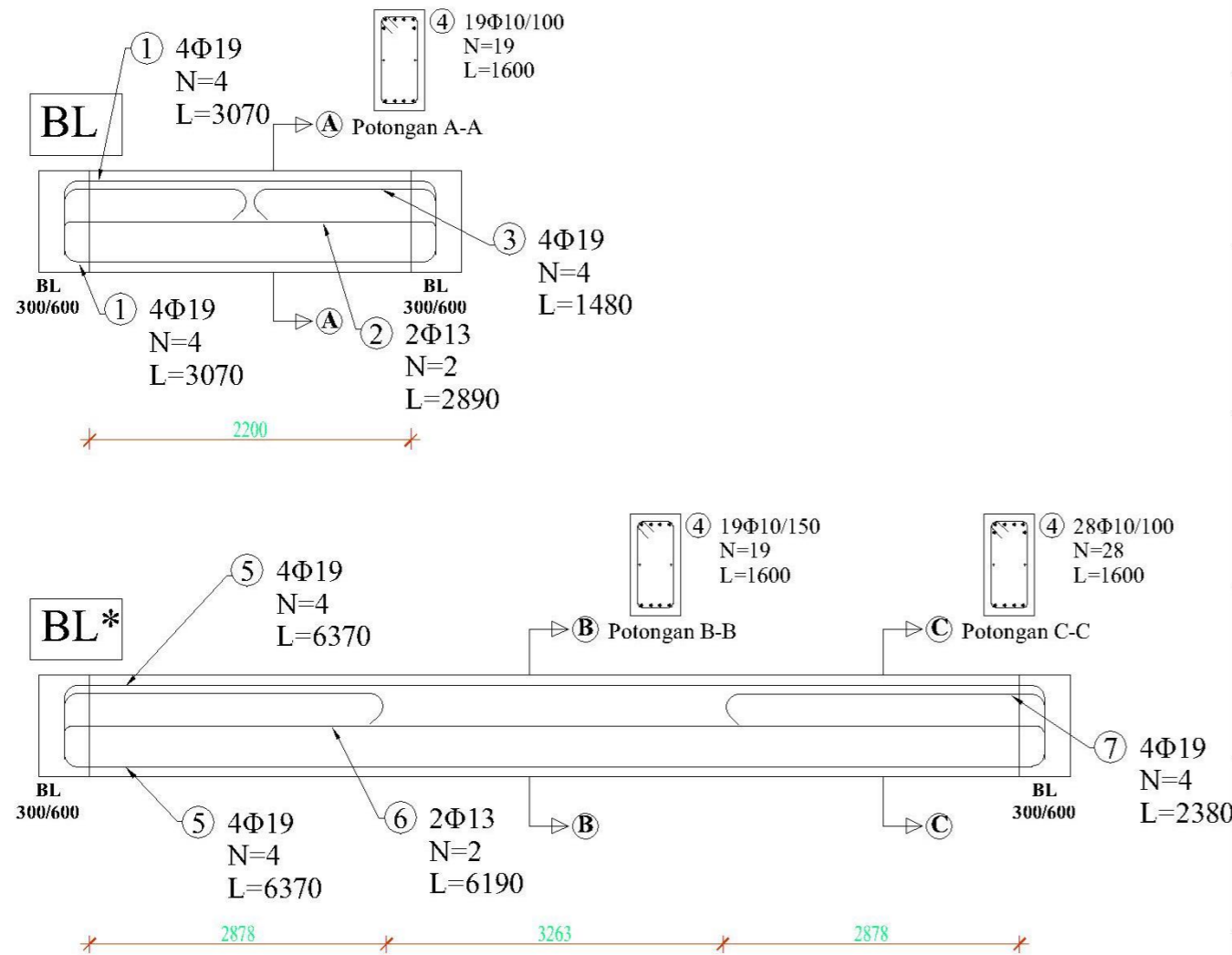
Lampiran L-3. 5 Bestaat Konvensional BA2



Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ16		1780	10	0	① Kebutuhan Tulangan sebanyak 260 potongan dari BA1 Lapis Bawah ② Kebutuhan Tulangan sebanyak 390 potongan dari B2A Lapis Bawah
②	Φ10		1600	2	12	① Kebutuhan Tulangan sebanyak 54 potongan dari BA2 Tulangan Susut ② 12 batang buah potongan @1.6m
③	Φ10		1100	10 13	4	① Kebutuhan Tulangan sebanyak 776 potongan dari BA1 Tulangan Susut ② 4 batang buah potongan @1.1m
④	Φ16		1970	10	0	① Kebutuhan Tulangan sebanyak 160 potongan dari B2A Lapis Bawah
⑤	Φ10		1790	2	6	① 6 batang buah potongan @1.79m

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	Bestaat Konvensional	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok	Grid	Elevasi					
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	BK	01,02,03,04,05,06, A,B,C	3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	06	07		

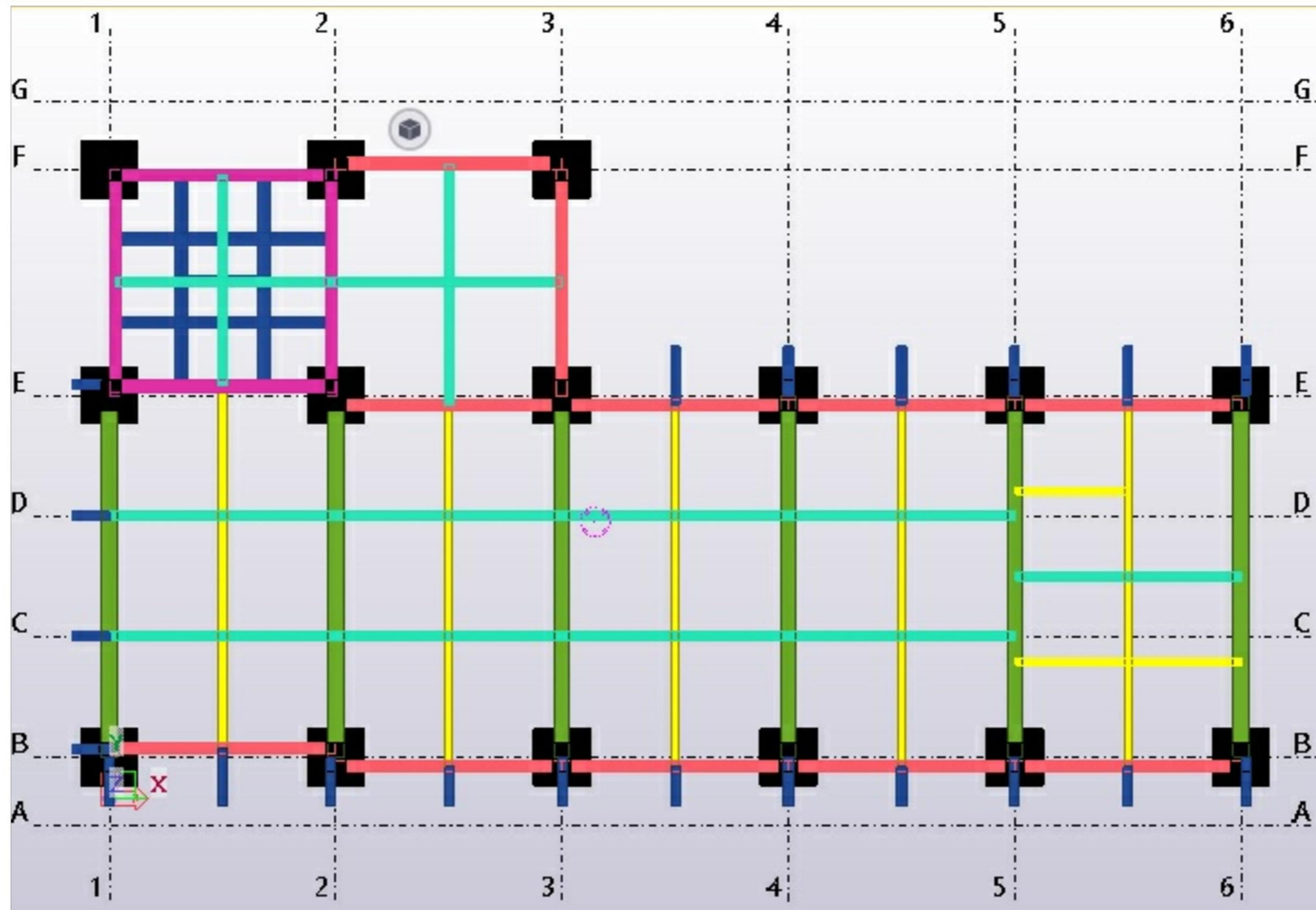
Lampiran L-3. 6 Bestaat Konvensional BK




Mark	Φ [mm]	Shape [mm]	Length [mm]	QTY	Kebutuhan Total [batang]	Keterangan
①	Φ19		3070	8	56	① 28 batang buah potongan @3.07m distribusi ke BL*Tumpuan ① 28 batang buah potongan @3.07m
②	Φ13		2890	2	0	① Kebutuhan Tulangan Diambil dari B2A diameter 13
③	Φ19		1480	4	0	① Kebutuhan Tulangan Diambil dari BL* Lapis Atas & BL* Lapis Bawah
④	Φ10		1600	19 47	90	① 90 batang buah potongan @1.6m
⑤	Φ19		6370	8	32	① 32 batang buah potongan @6.37m distribusi ke BL Tumpuan ① 3 buah potongan @1.48m
⑥	Φ13		6190	2	8	① 8 batang buah potongan @6.19m
⑦	Φ19		2380	4	0	① Kebutuhan Tulangan Diambil dari BL Lapis Bawah

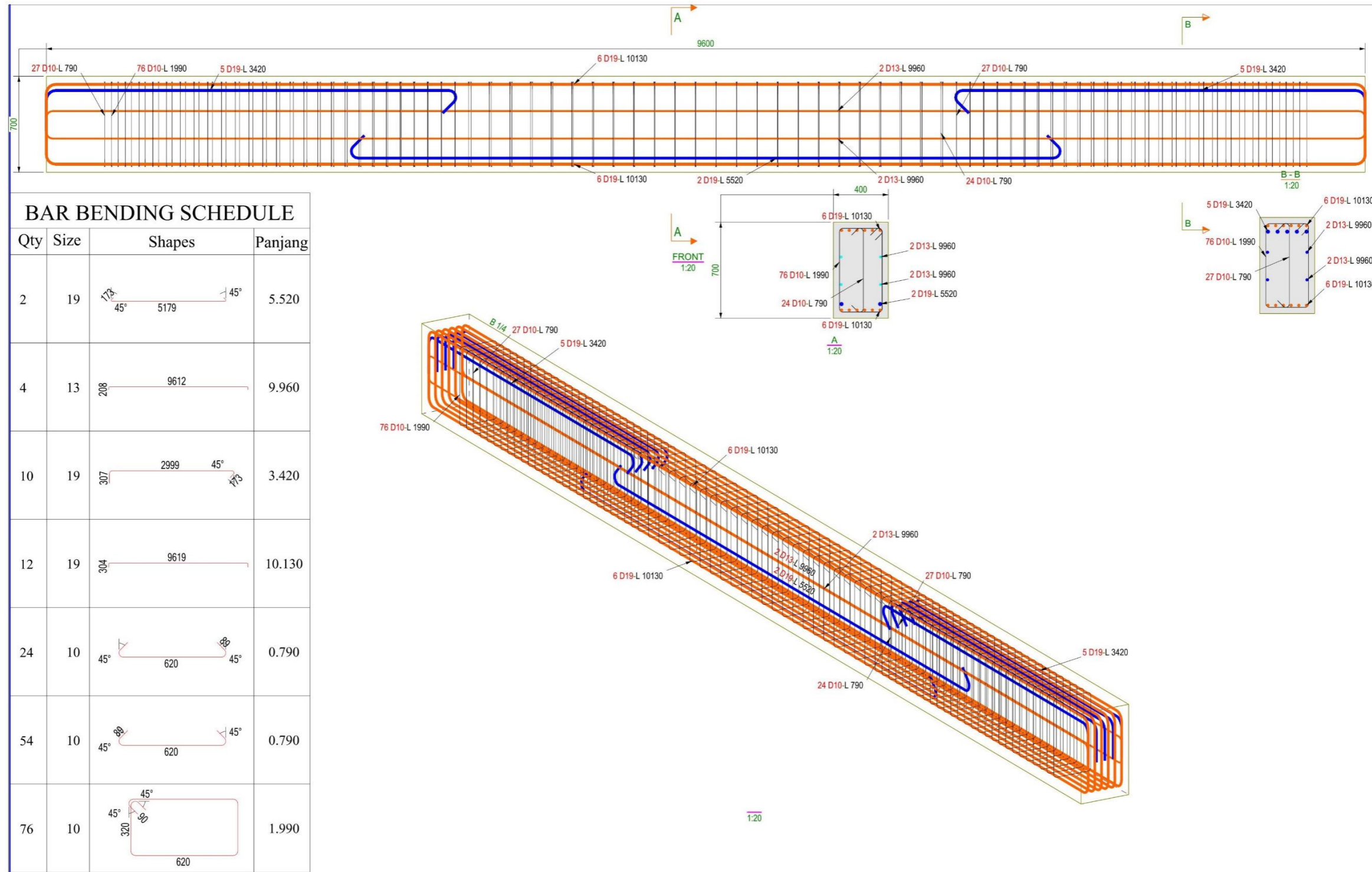
	Bestaat Konvensional JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 07	JML LBR 07	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok BL	Grid A, B, 01, 02	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700					

Lampiran L-3. 7 Bestaat Konvensional BL



	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 01	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok	Grid	Elevasi					
			Denah Balok	1,2,3,4,5,6 A,B,C,D,E,F,G	+0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

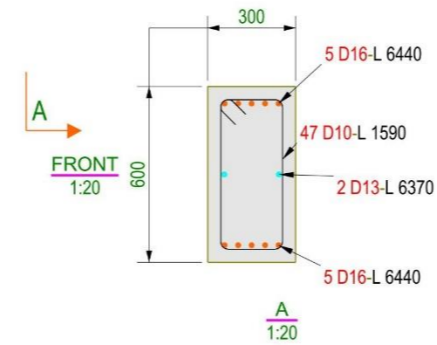
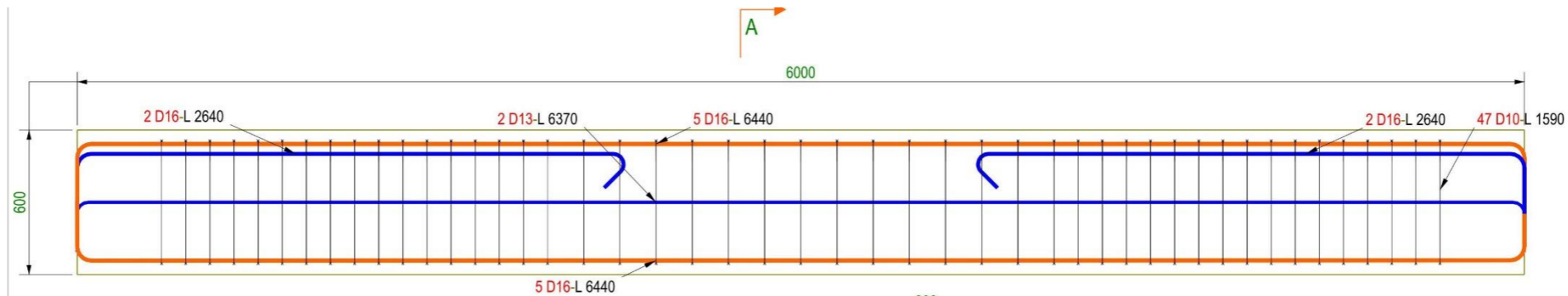
Lampiran L-3. 8 Denah Balok BIM



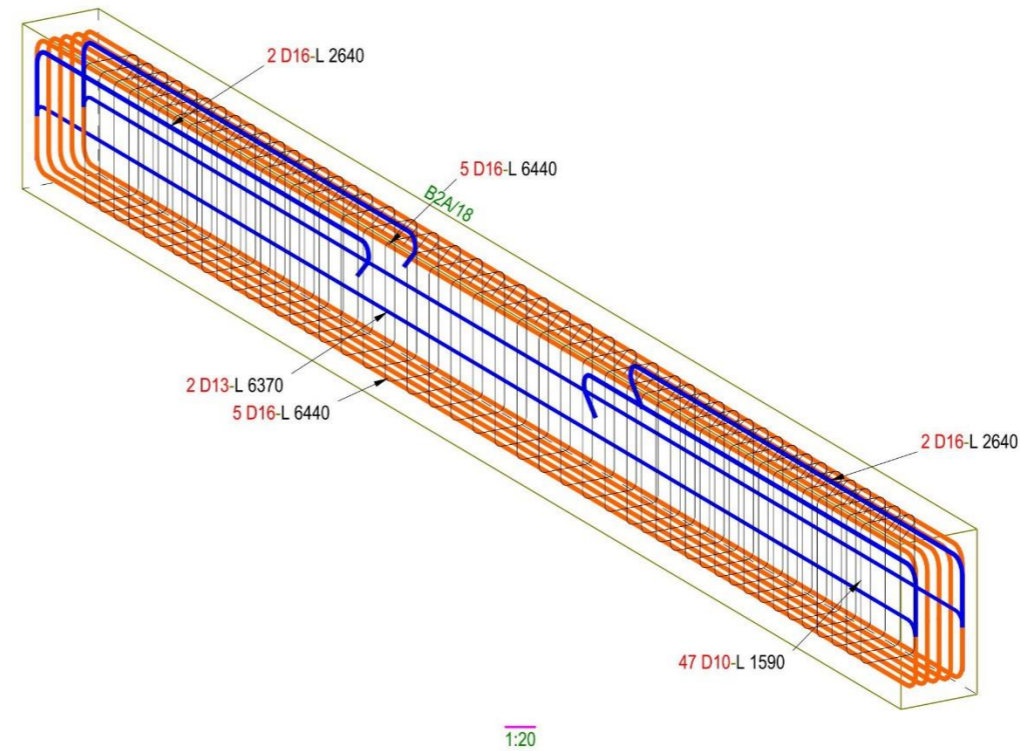
BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	19	5179	5.520
4	13	9612	9.960
10	19	2999	3.420
12	19	9619	10.130
24	10	620	0.790
54	10	620	0.790
76	10	620	1.990


	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 02	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok B1	Grid 1,2,3,4,5,6	Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

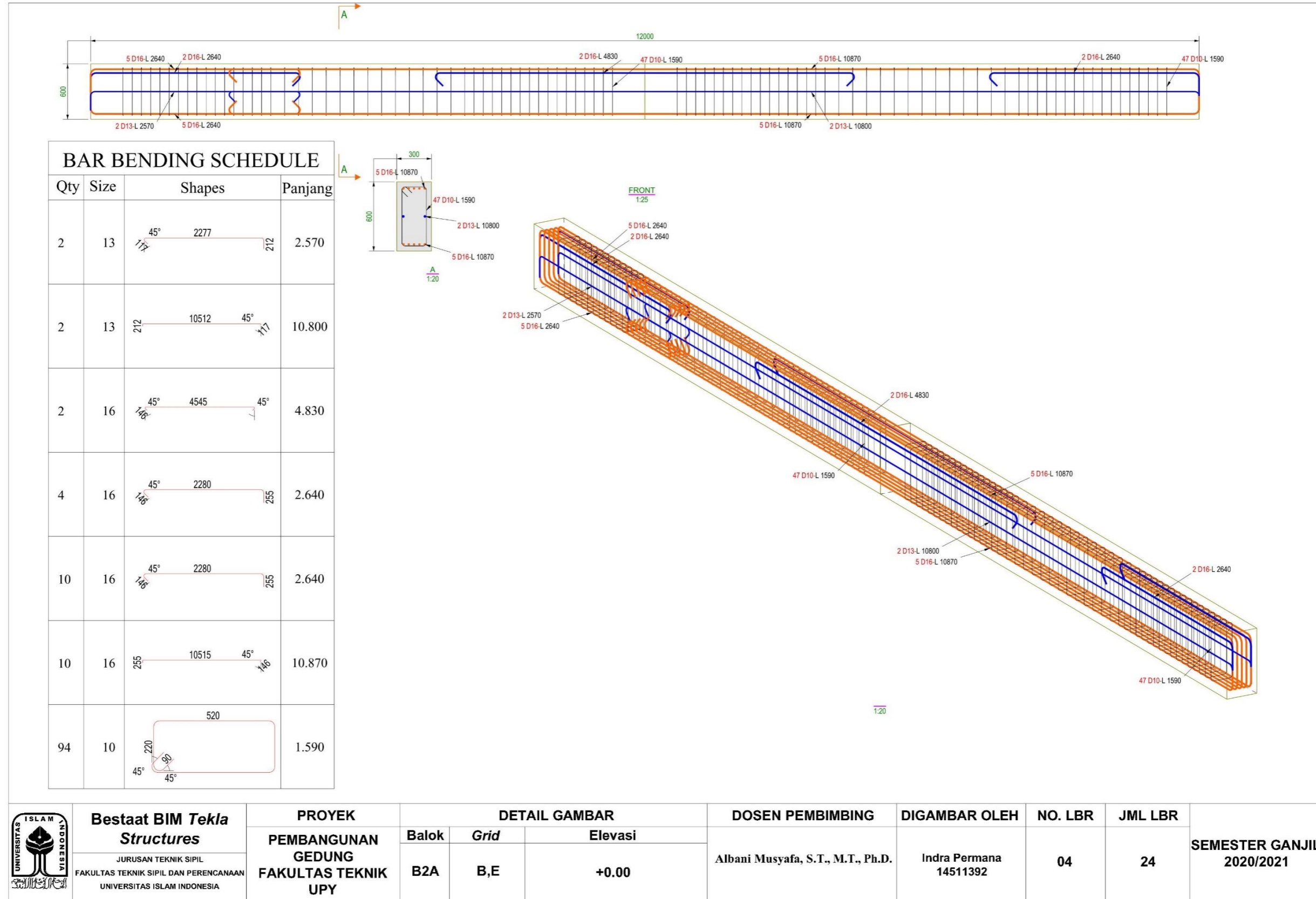
Lampiran L-3. 9 Bestaat BIM B1



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	13		6.370
4	16		2.640
10	16		6.440
47	10		1.590

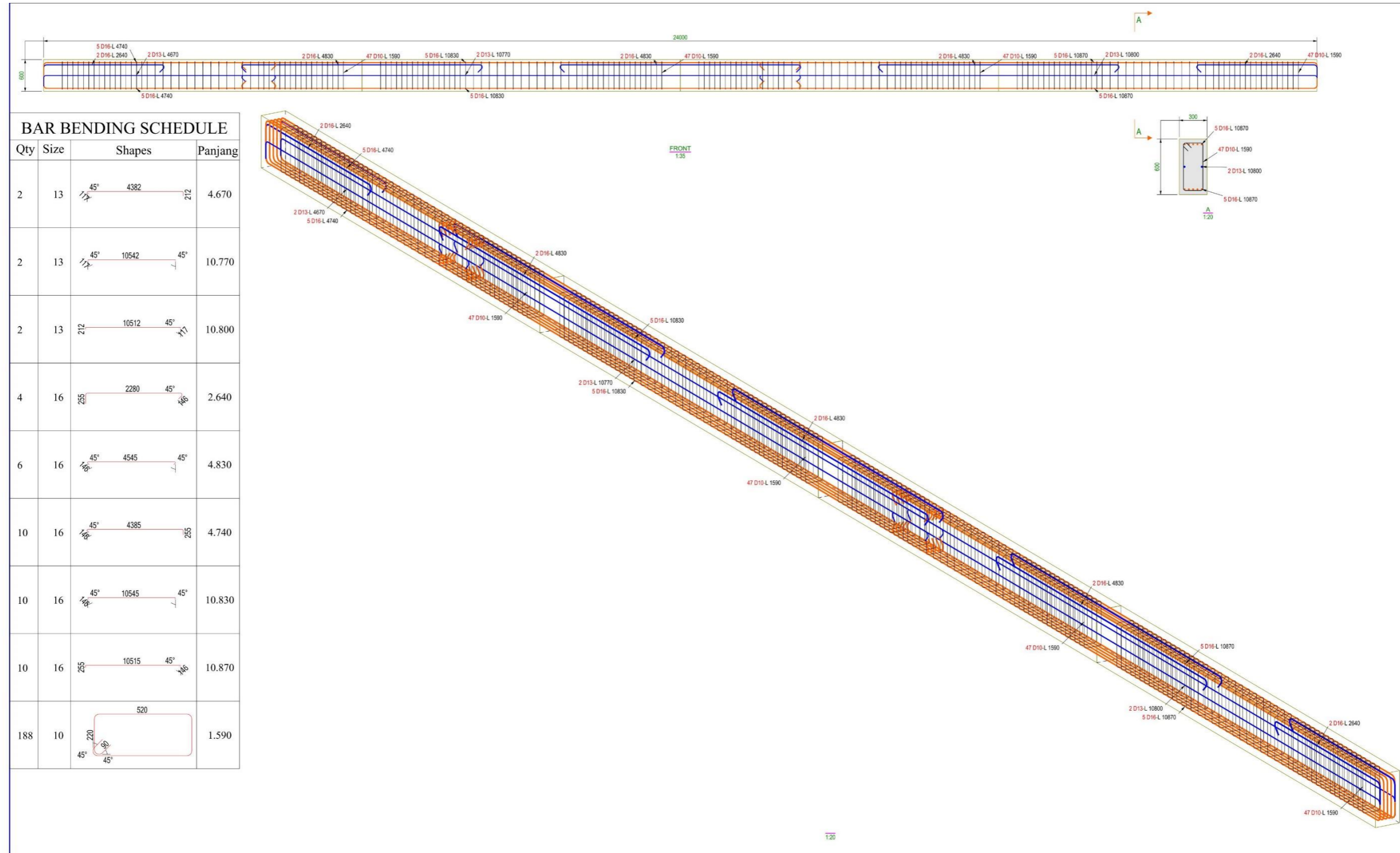


	Bestaat BIM Tekla Structures <small>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</small>	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 03	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok B2A	Grid 3, B,E,F	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					
Lampiran L-3. 10 Bestaat BIM B2A Grid 3,B,E,F										



Lampiran L-3. 11 Bestaat BIM B2A Grid B,E Pemasangan Tulangan Menerus

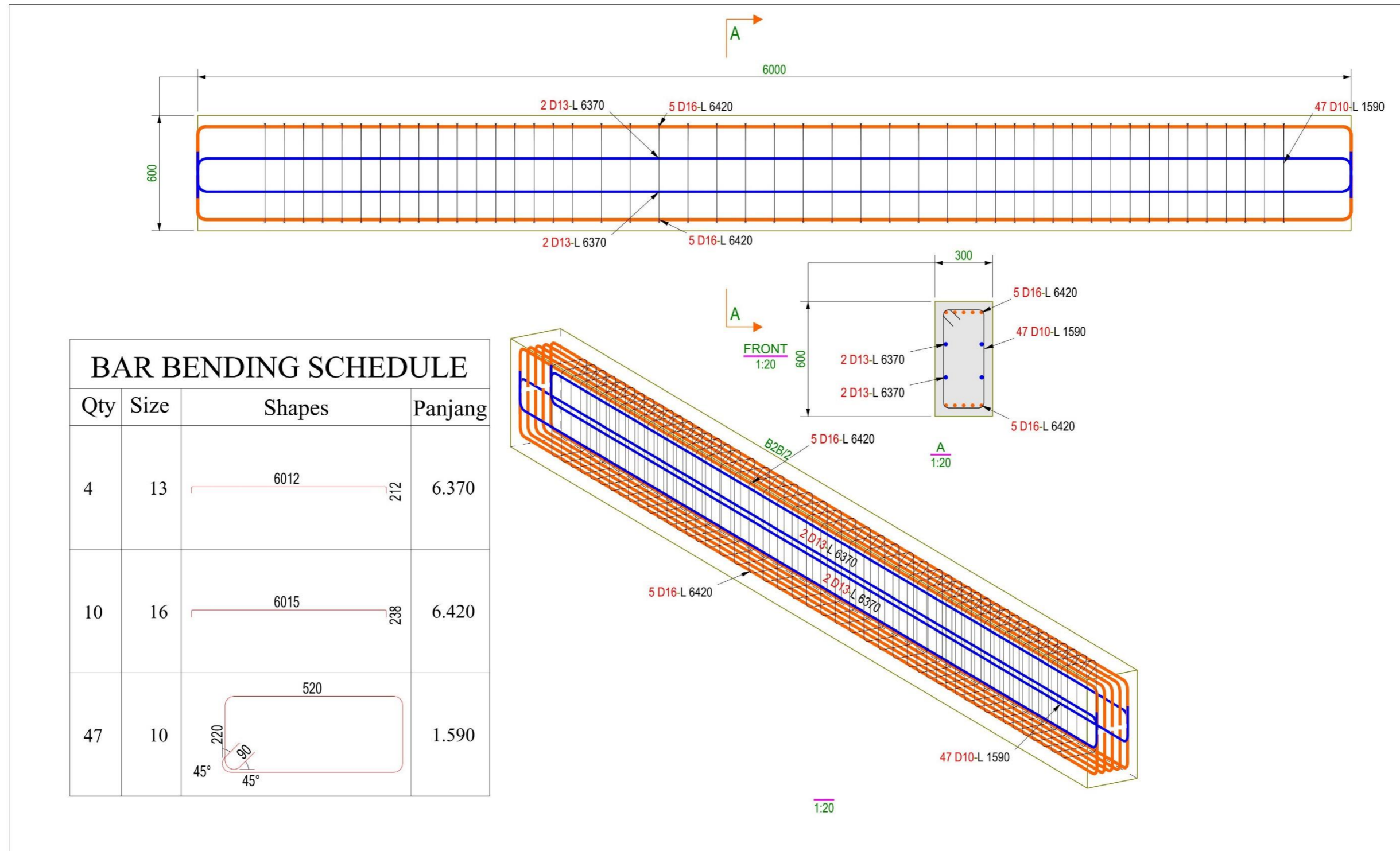
 <p>Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
	PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	04	24	



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	13		4.670
2	13		10.770
2	13		10.800
4	16		2.640
6	16		4.830
10	16		4.740
10	16		10.830
10	16		10.870
188	10		1.590

	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR		DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	05	

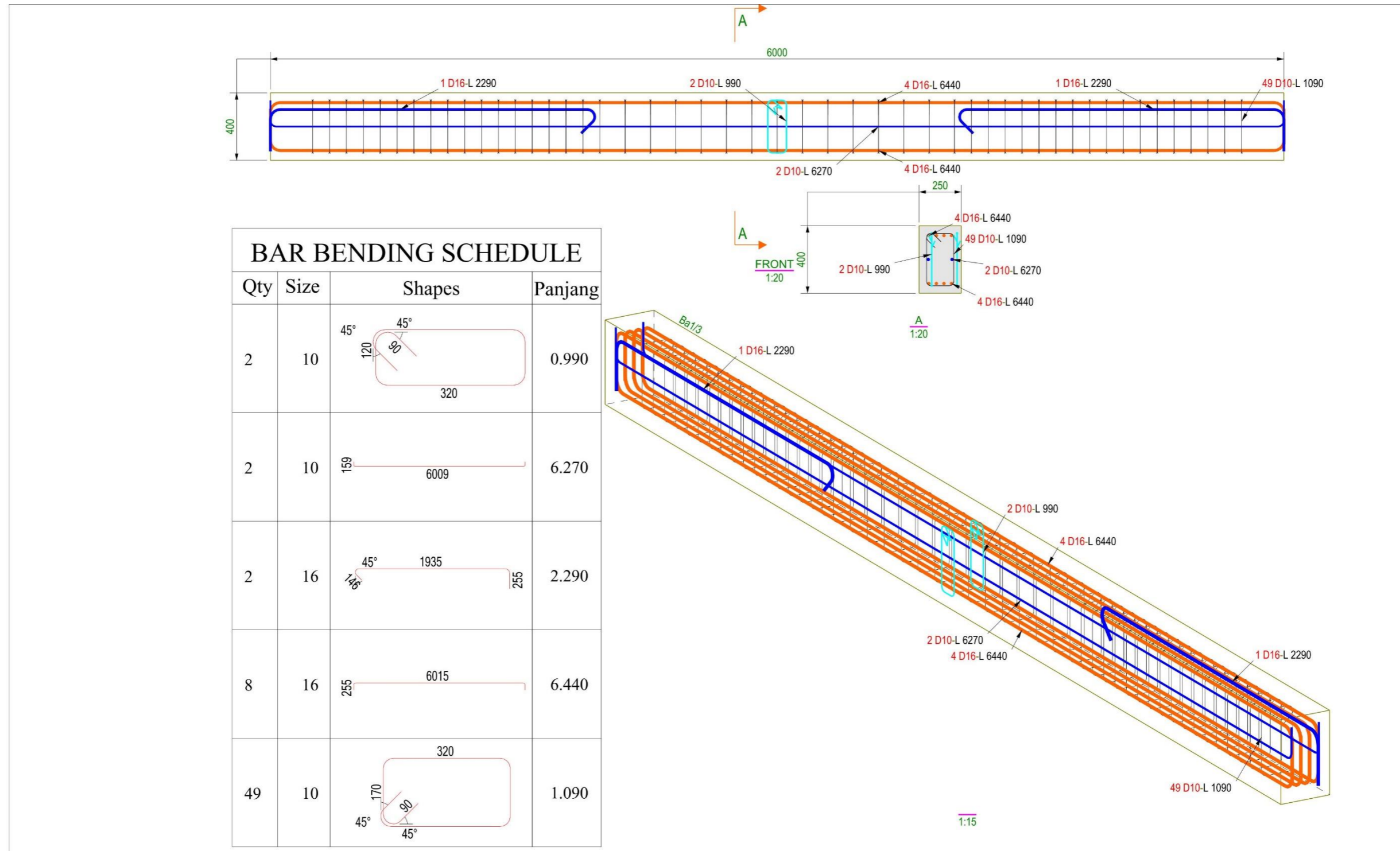
Lampiran L-3. 12 Bestaat BIM B2A Grid 3,B,E Pemasangan Tulangan Menerus



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
4	13	6012 — 212	6.370
10	16	6015 — 238	6.420
47	10	520 220 45° 90° 45°	1.590

	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 06	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok B2B	Grid 1,2, E,F	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

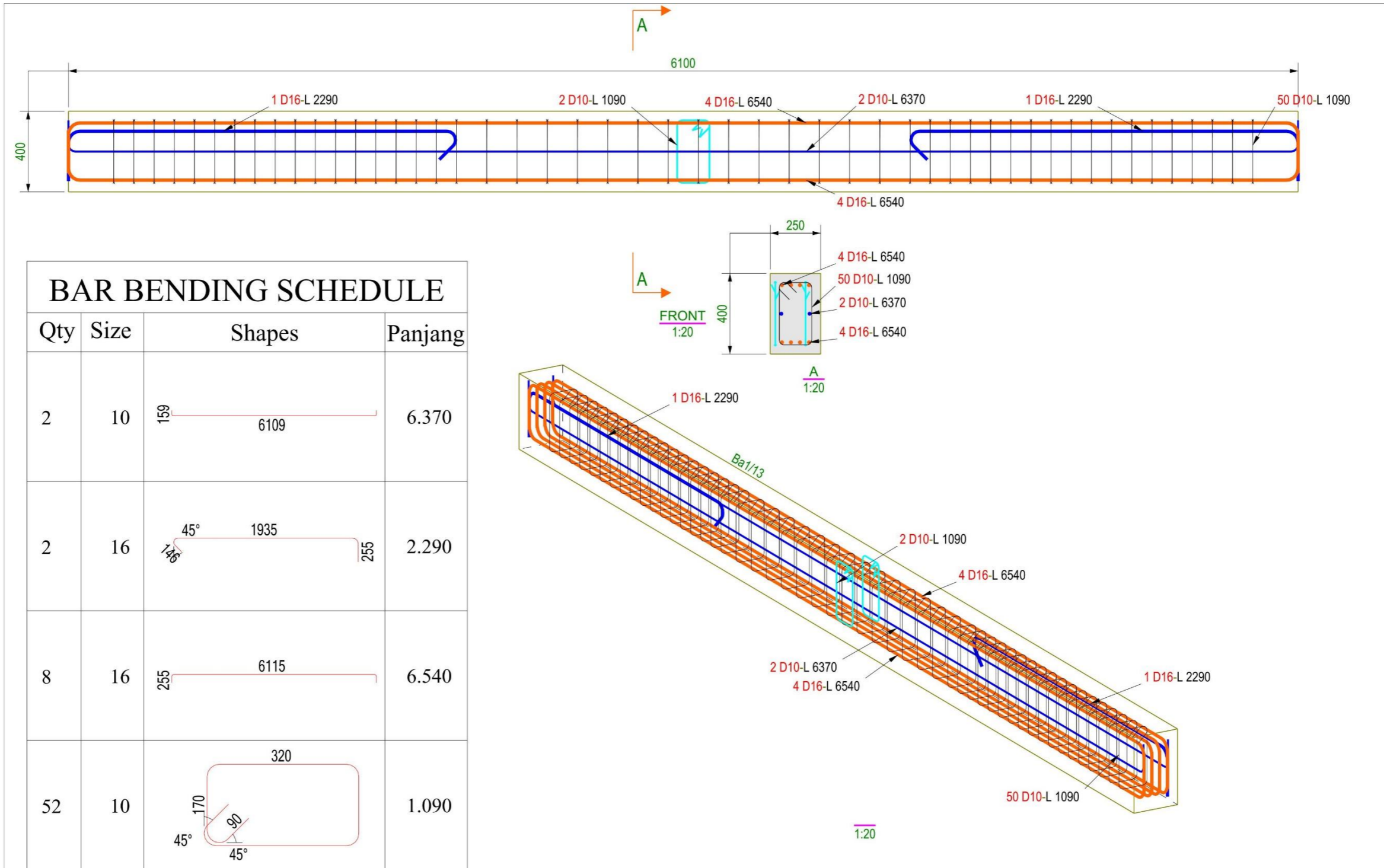
Lampiran L-3. 13 Bestaat BIM B2B Grid 1,2,E,F



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		0.990
2	10		6.270
2	16		2.290
8	16		6.440
49	10		1.090

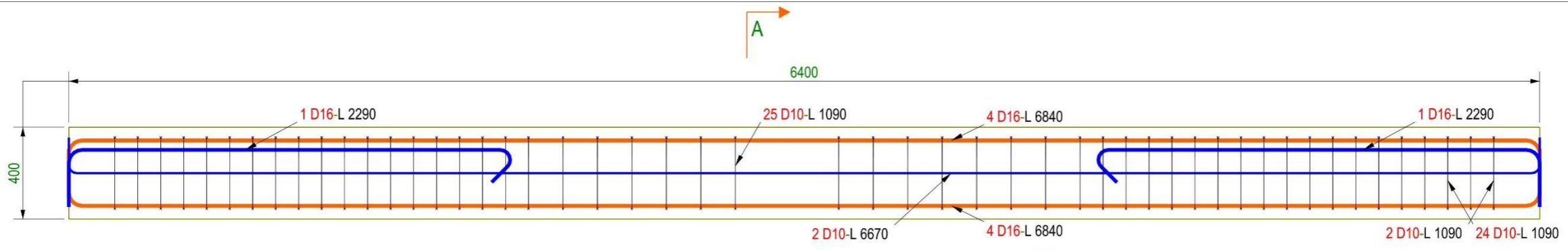
	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	07	24	

Lampiran L-3. 14 Bestaat BIM Ba1 Grid C – D

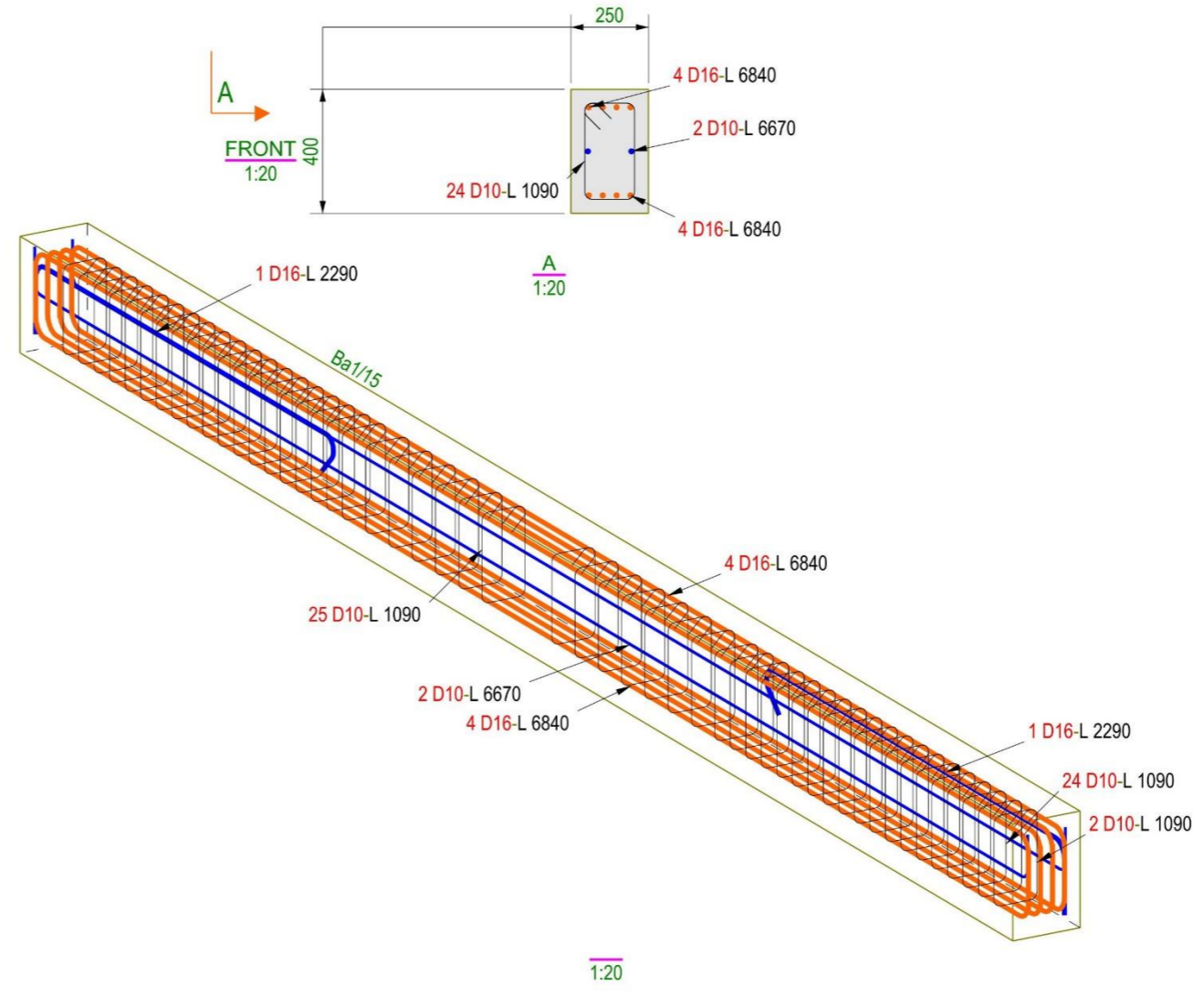


	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR		DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 08	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021	
			Balok	Grid						Elevasi
			Ba1	1-2, E-F E-F						+22.200 +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200

Lampiran L-3. 15 Bestaat BIM Ba1 Grid 1-2, E-F


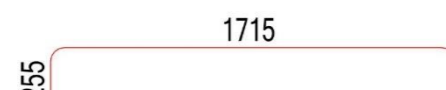
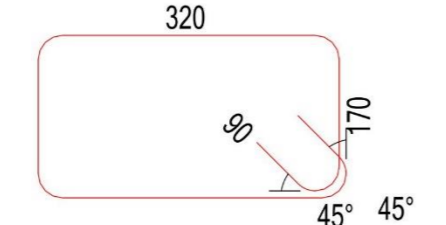


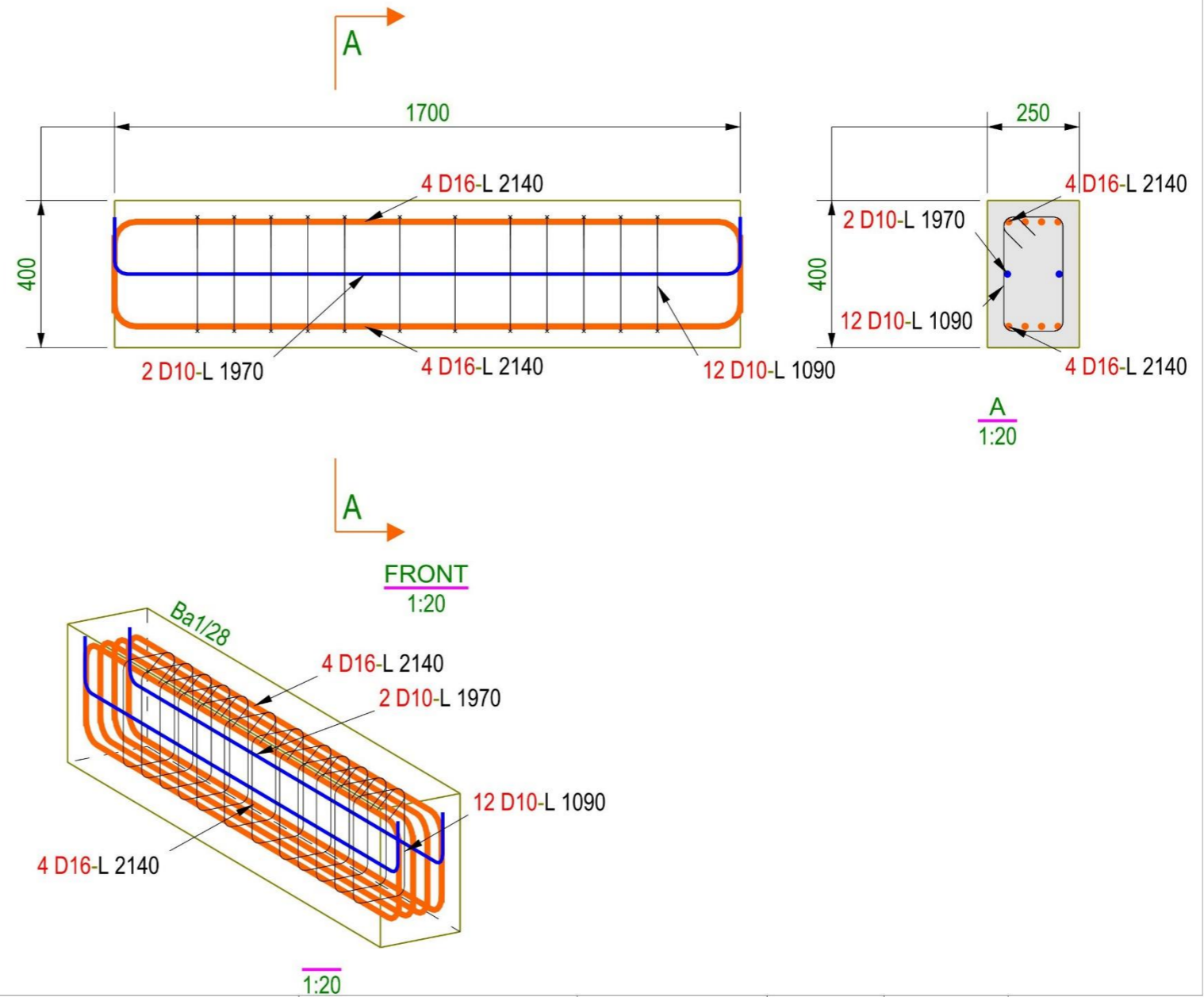
BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		6.670
2	16		2.290
8	16		6.840
51	10		1.090




	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 09	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok Ba1	Grid 2 - 3	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

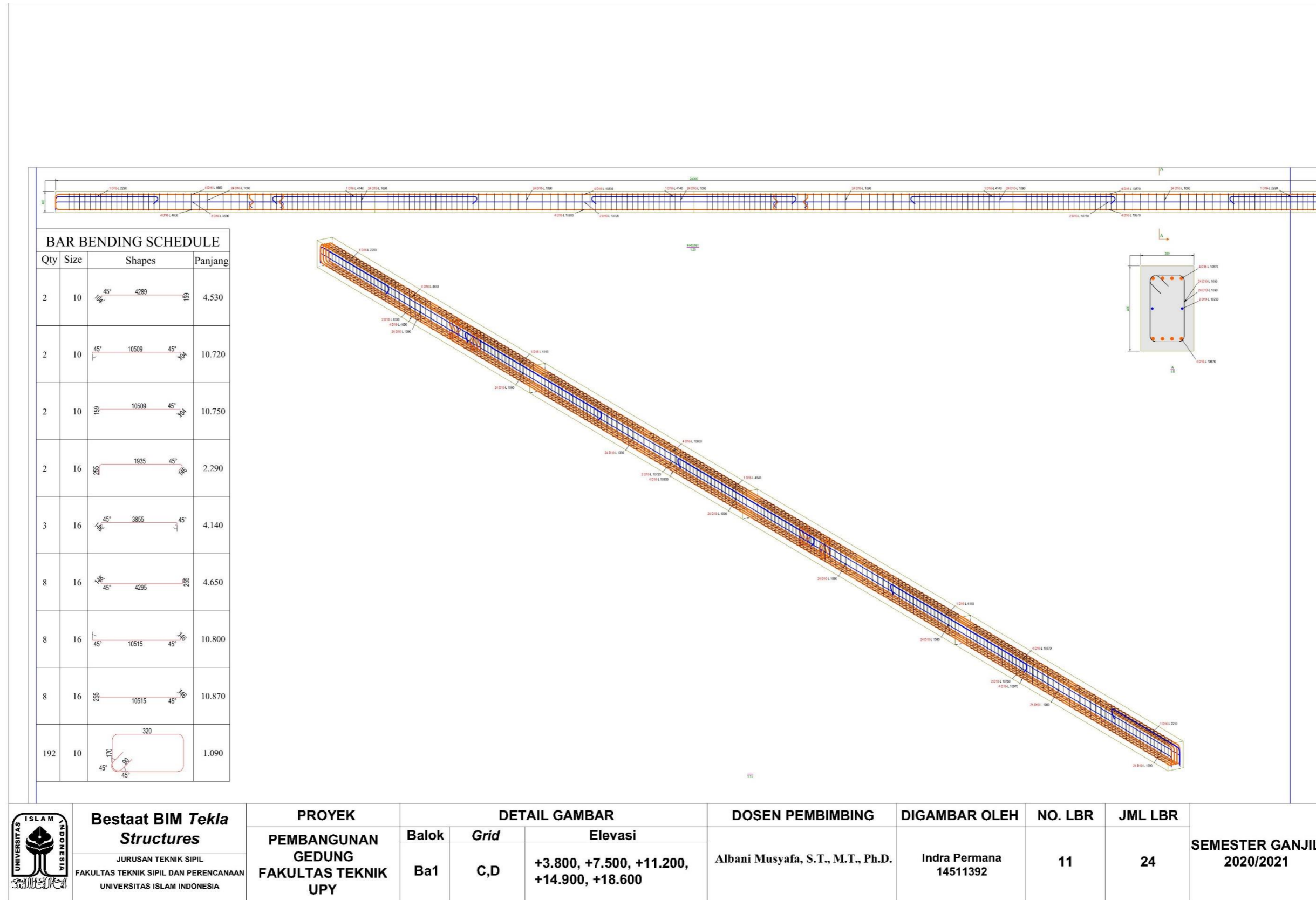
Lampiran L-3. 16 Bestaat BIM Ba1 Grid 2 – 3

BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		1.970
8	16		2.140
12	10		1.090

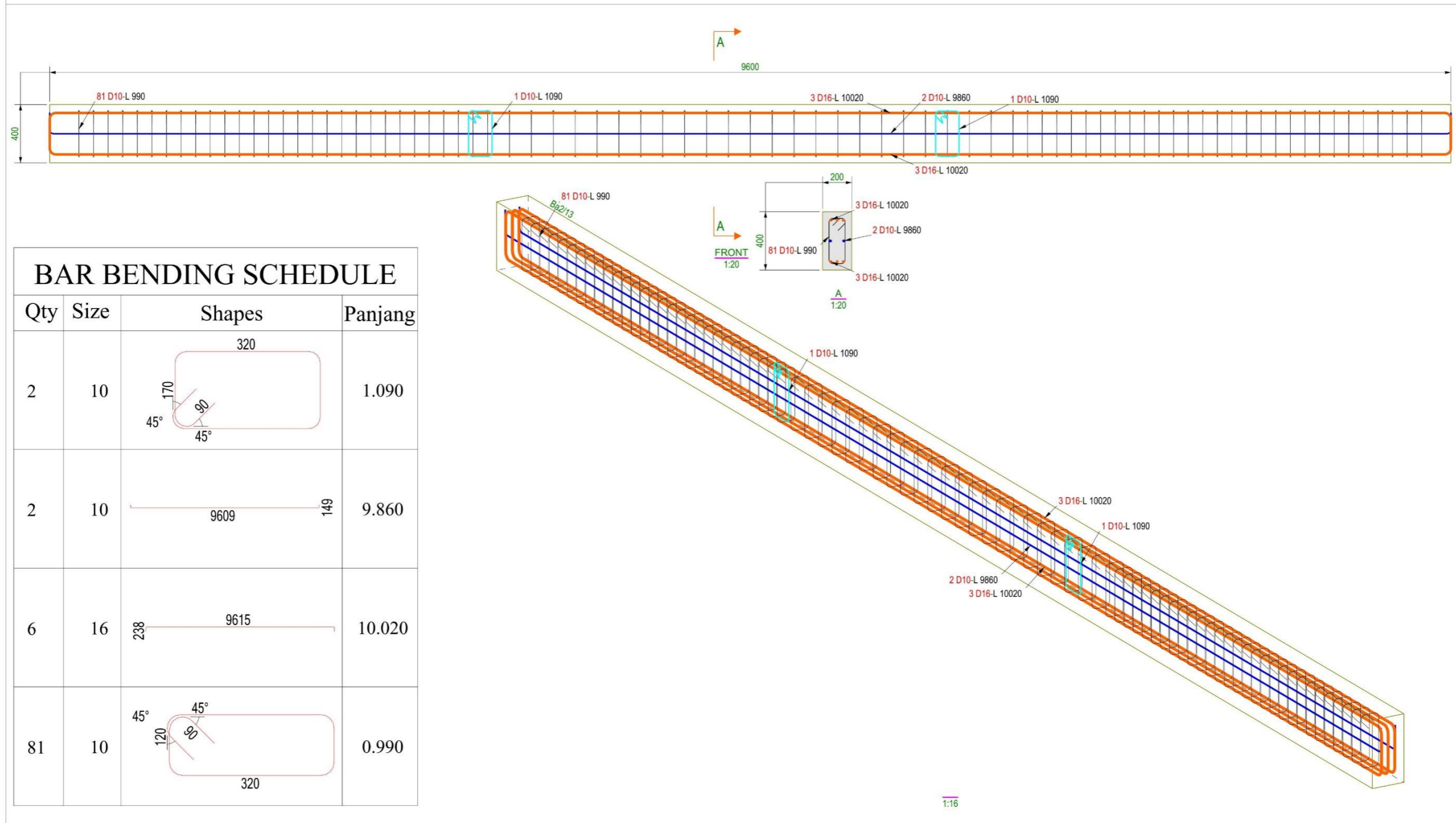


	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 10	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok	Grid	Elevasi					
			Ba1	1 - 2 - BL	+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

Lampiran L-3. 17 Bestaat BIM Ba1 Grid 1 – 2 – BL



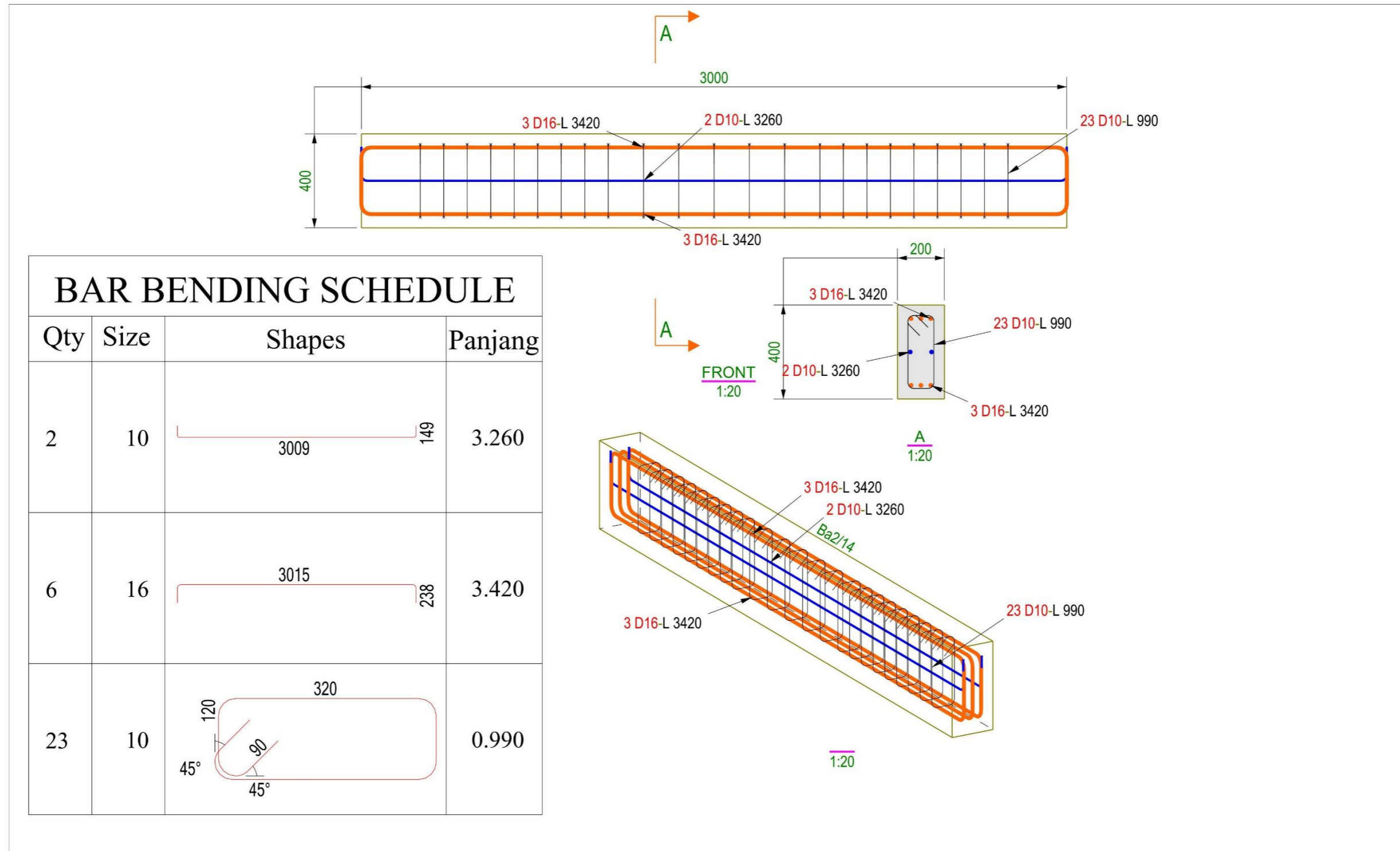
Lampiran L-3. 18 Bestaat BIM Ba1 Grid C, D Pemasangan Tulangan Menerus



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		1.090
2	10		9.860
6	16		10.020
81	10		0.990

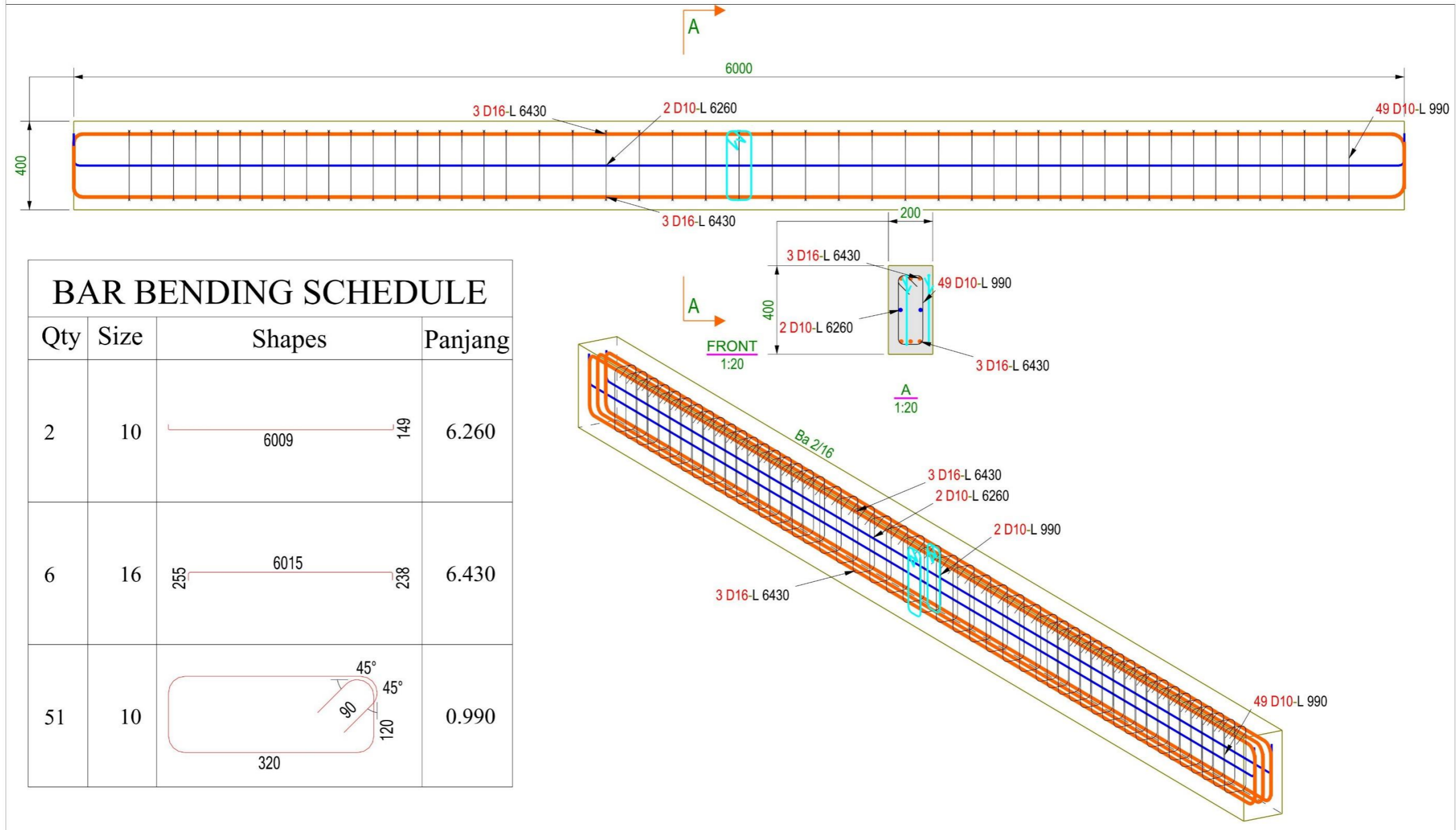
 Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 12	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		Balok Ba2	Grid 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

Lampiran L-3. 19 Bestaat BIM Ba2 Grid 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6



	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	13	24	

Lampiran L-3. 20 Bestaat BIM Ba2 Grid D – E

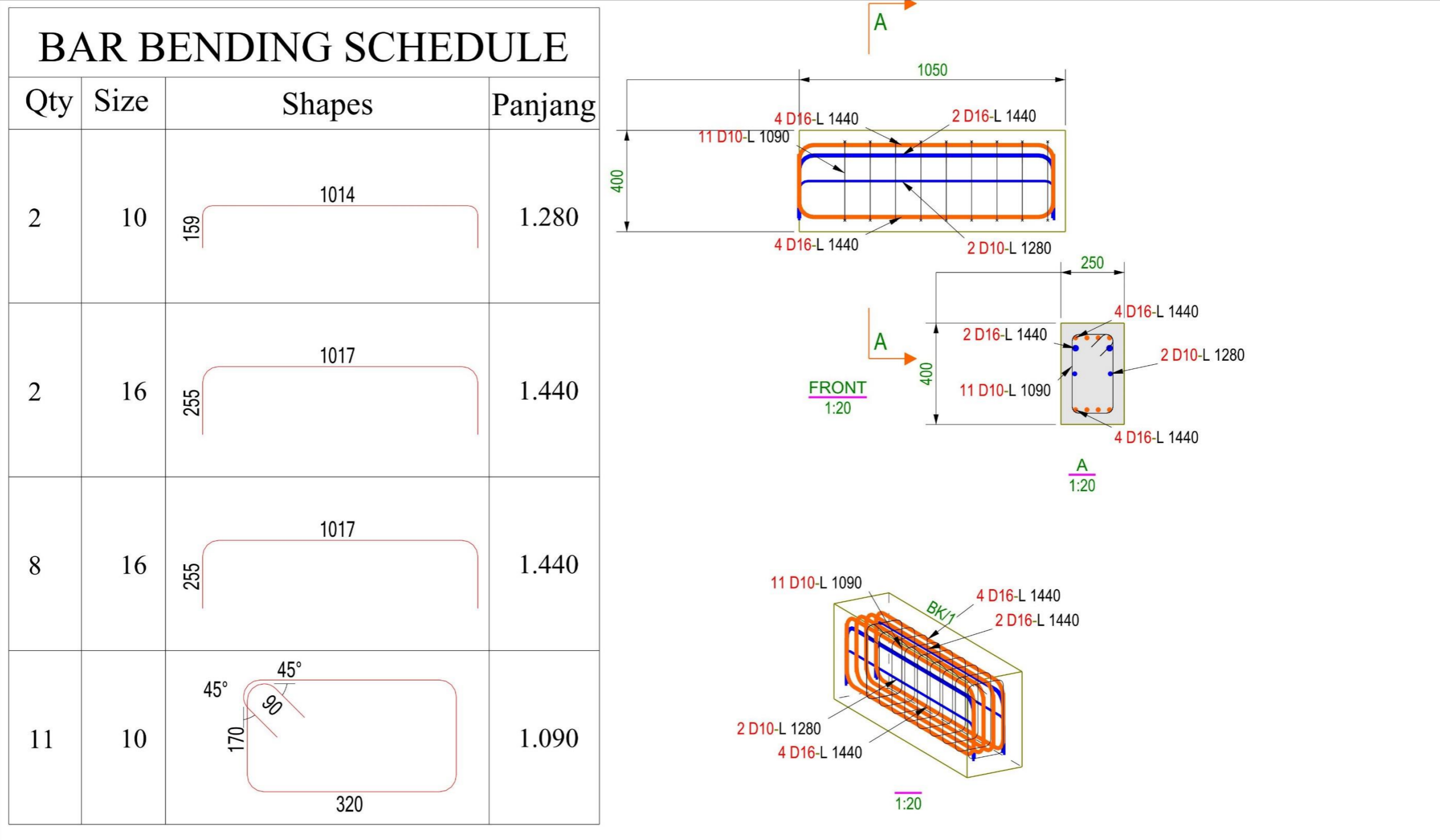



BAR BENDING SCHEDULE

Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		6.260
6	16		6.430
51	10		0.990

	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 14	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok Ba2	Grid B-C	Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

Lampiran L-3. 21 Bestaat BIM Ba2 Grid B – C

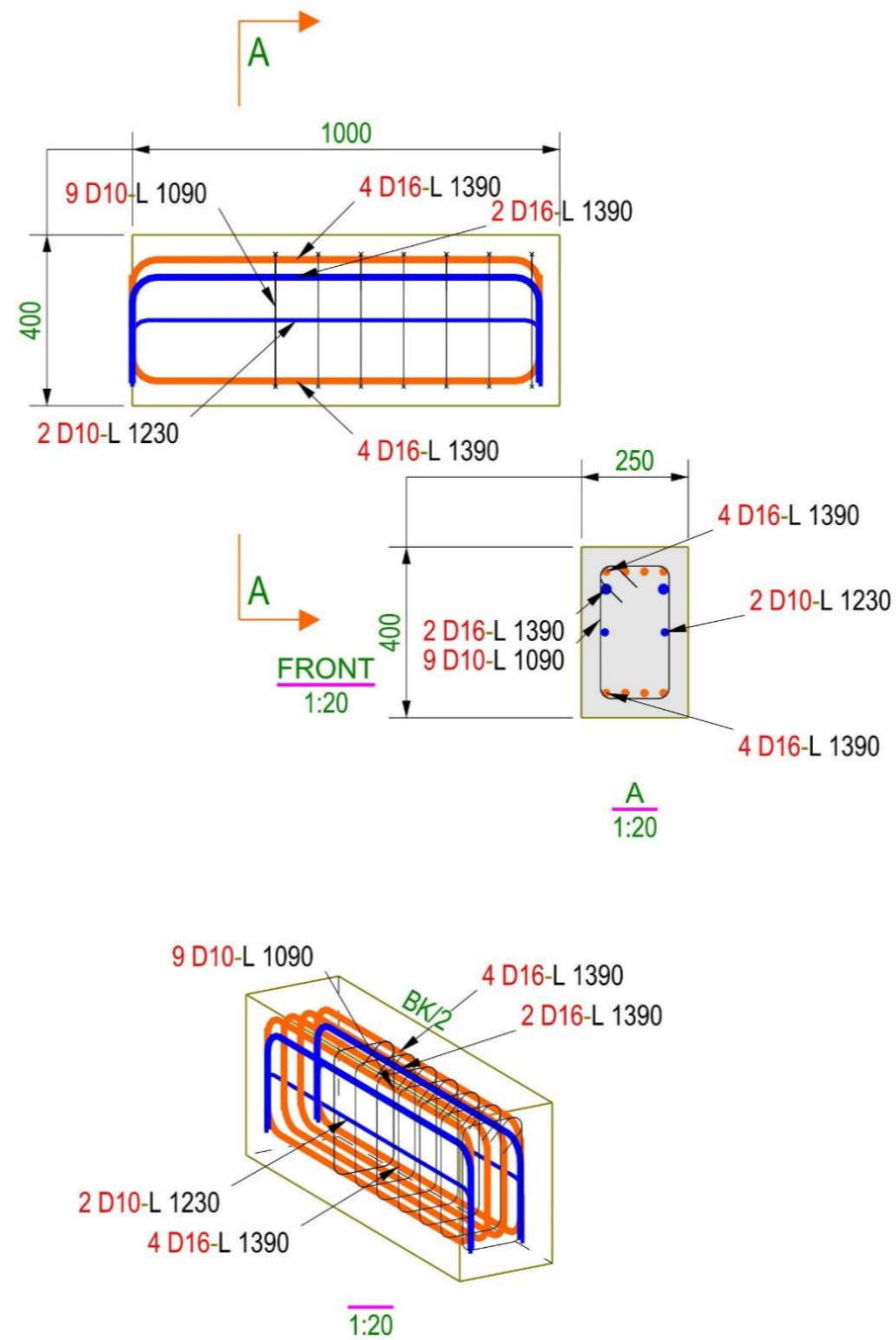


	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 15	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok BK	Grid B 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	Elevasi +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600					

Lampiran L-3. 22 Bestaat BIM BK Grid B – 2-3, 3-4, 4-5, 5-6

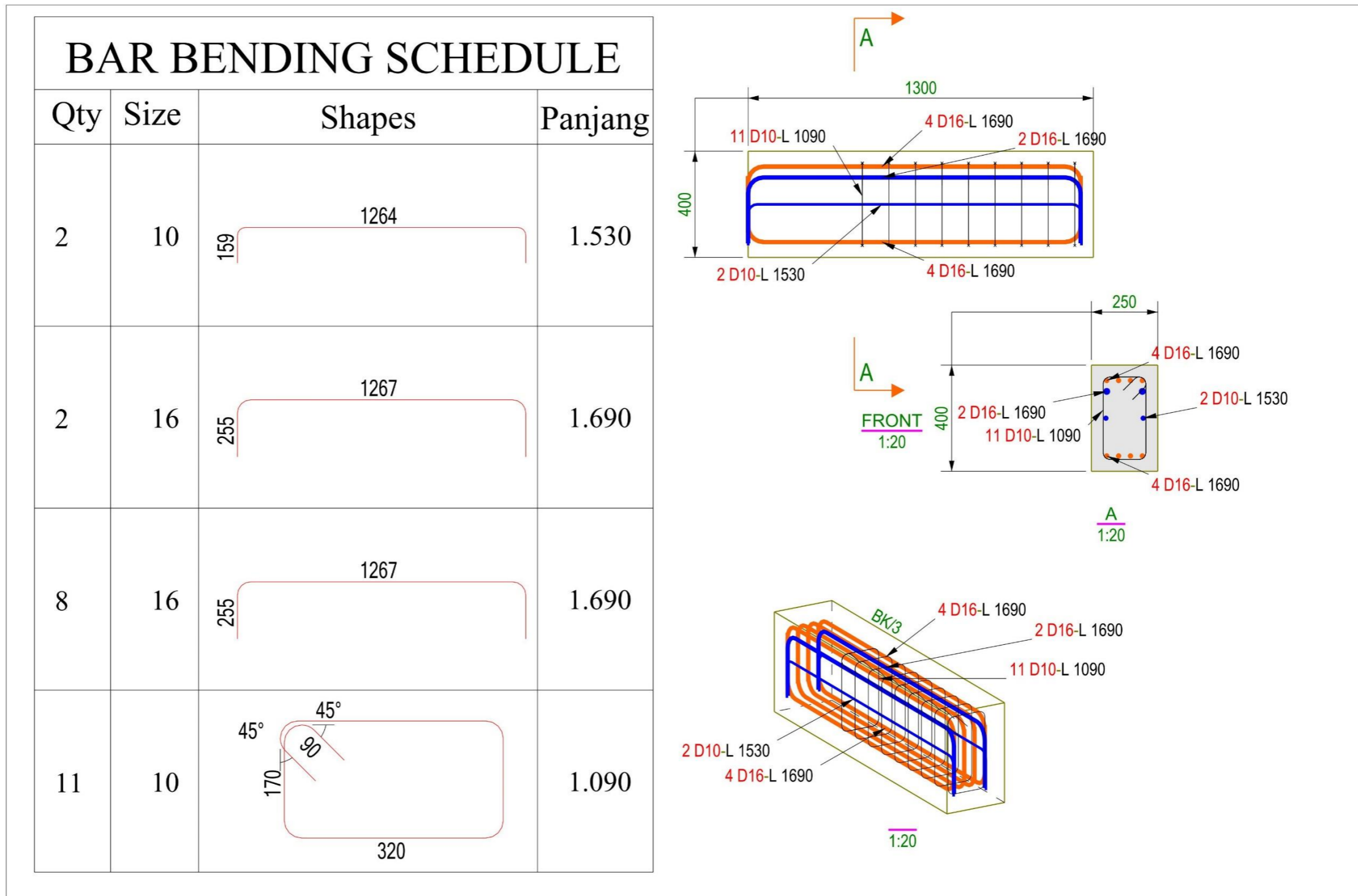
BAR BENDING SCHEDULE

Qty	Size	Shapes	Panjang
2	10		1.230
2	16		1.390
8	16		1.390
9	10		1.090



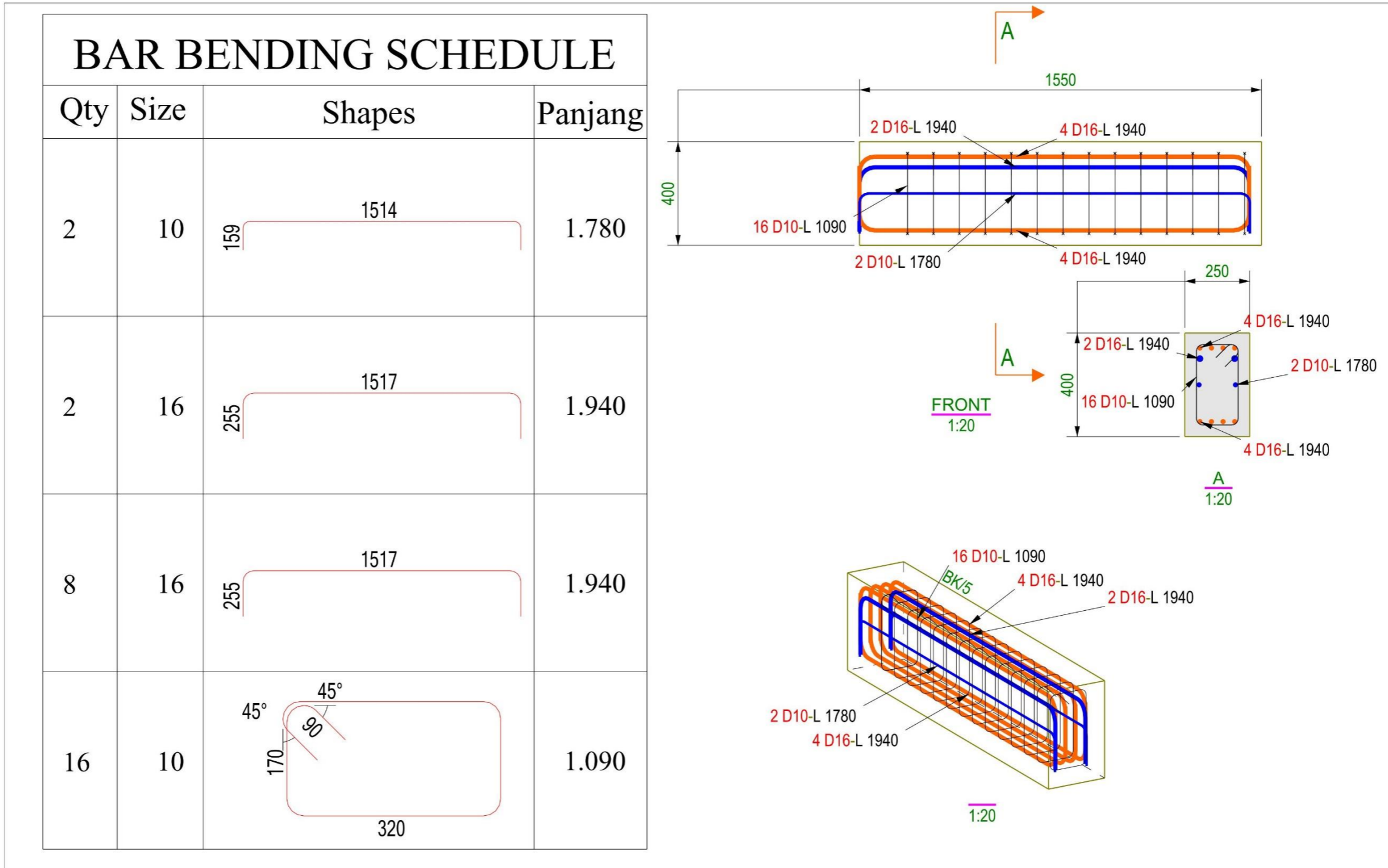
	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	16	24	

Lampiran L-3. 23 Bestaat BIM BKGrid B, C, D, E



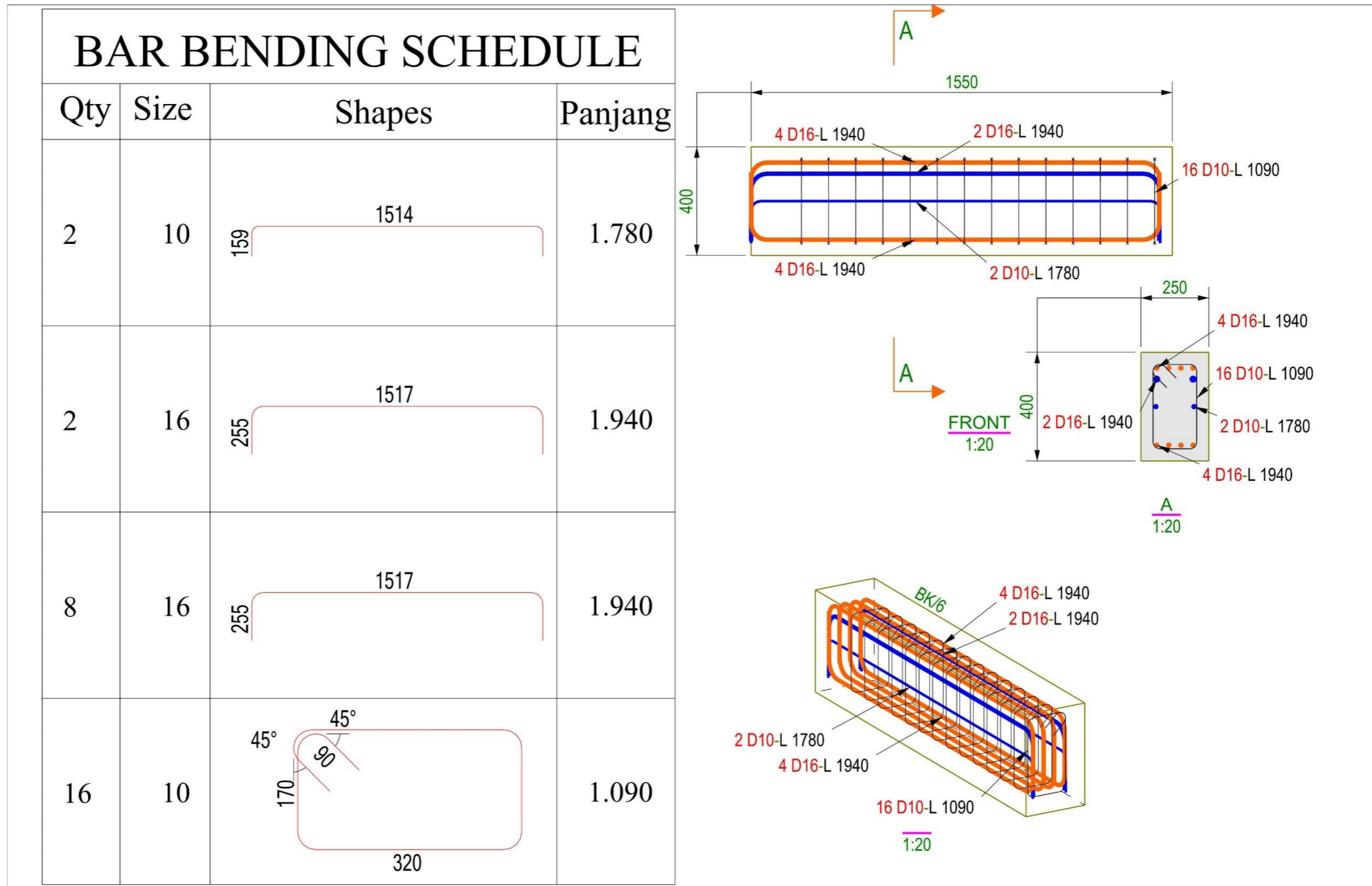
	Bestaat BIM Tekla Structures	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021		
	<small>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</small>	PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Balok</th> <th>Grid</th> <th>Elevasi</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BK</td> <td style="text-align: center;">2, 3, 4, 5, 6</td> <td style="text-align: center;">+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600</td> </tr> </table>	Balok	Grid	Elevasi	BK	2, 3, 4, 5, 6	+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600		Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392
Balok	Grid	Elevasi										
BK	2, 3, 4, 5, 6	+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600										

Lampiran L-3. 24 Bestaat BIM BK Grid 2, 3, 4, 5, 6



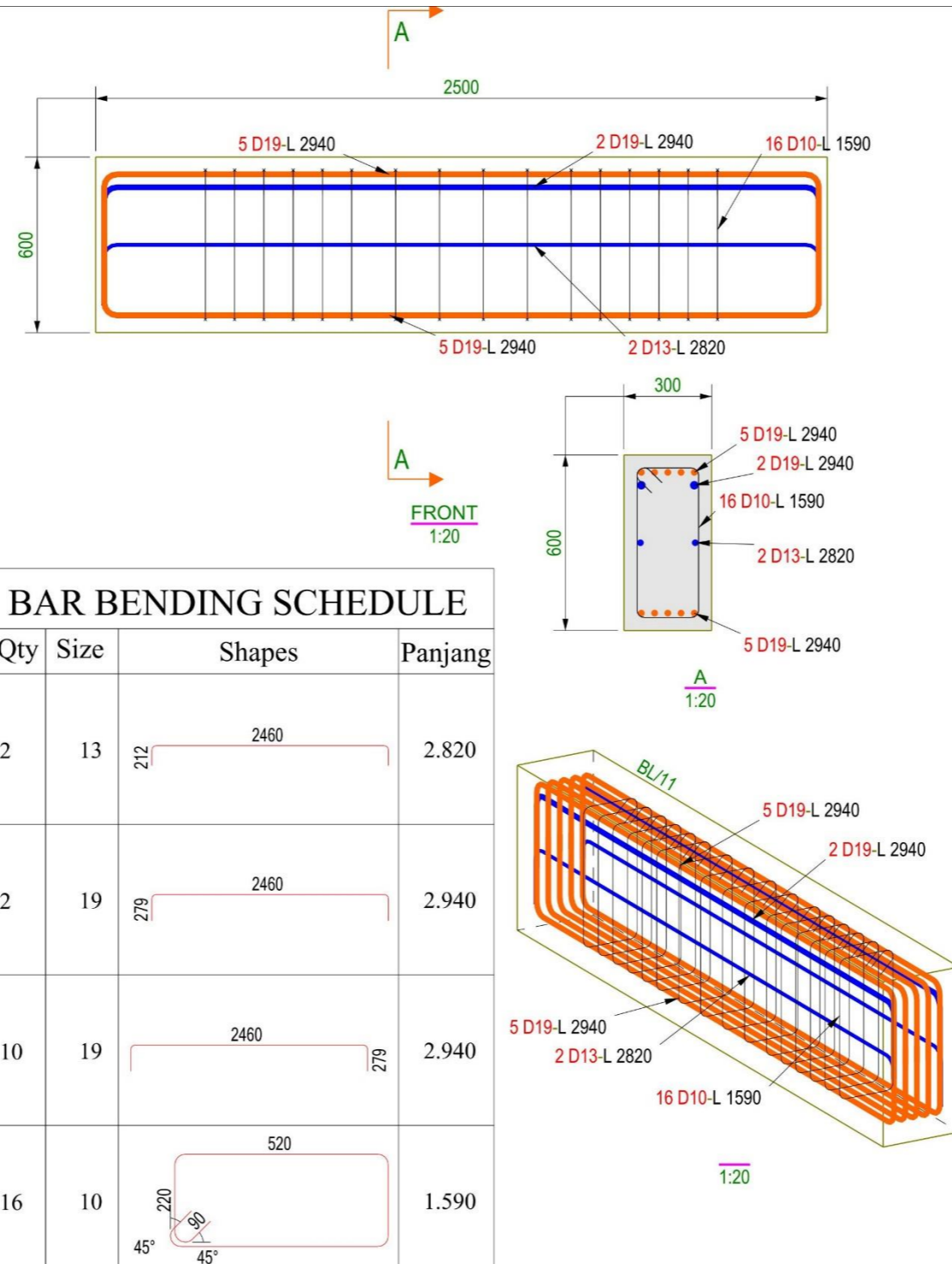
	Bestaat BIM Tekla Structures	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021		
	<small>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</small>	PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Balok</th> <th>Grid</th> <th>Elevasi</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BK</td> <td style="text-align: center;">1-2</td> <td style="text-align: center;">+18.600</td> </tr> </table>	Balok	Grid	Elevasi	BK	1-2	+18.600		Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392
Balok	Grid	Elevasi										
BK	1-2	+18.600										

Lampiran L-3. 25 Bestaat BIM BK Grid 1 – 2



	Bestaat BIM Tekla Structures	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021		
	<small>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</small>	PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Balok</th> <th>Grid</th> <th>Elevasi</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BK</td> <td style="text-align: center;">E 2-3, 3-4, 4-5, 5-6</td> <td style="text-align: center;">+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600</td> </tr> </table>	Balok	Grid	Elevasi	BK	E 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600		Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392
Balok	Grid	Elevasi										
BK	E 2-3, 3-4, 4-5, 5-6	+3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600										

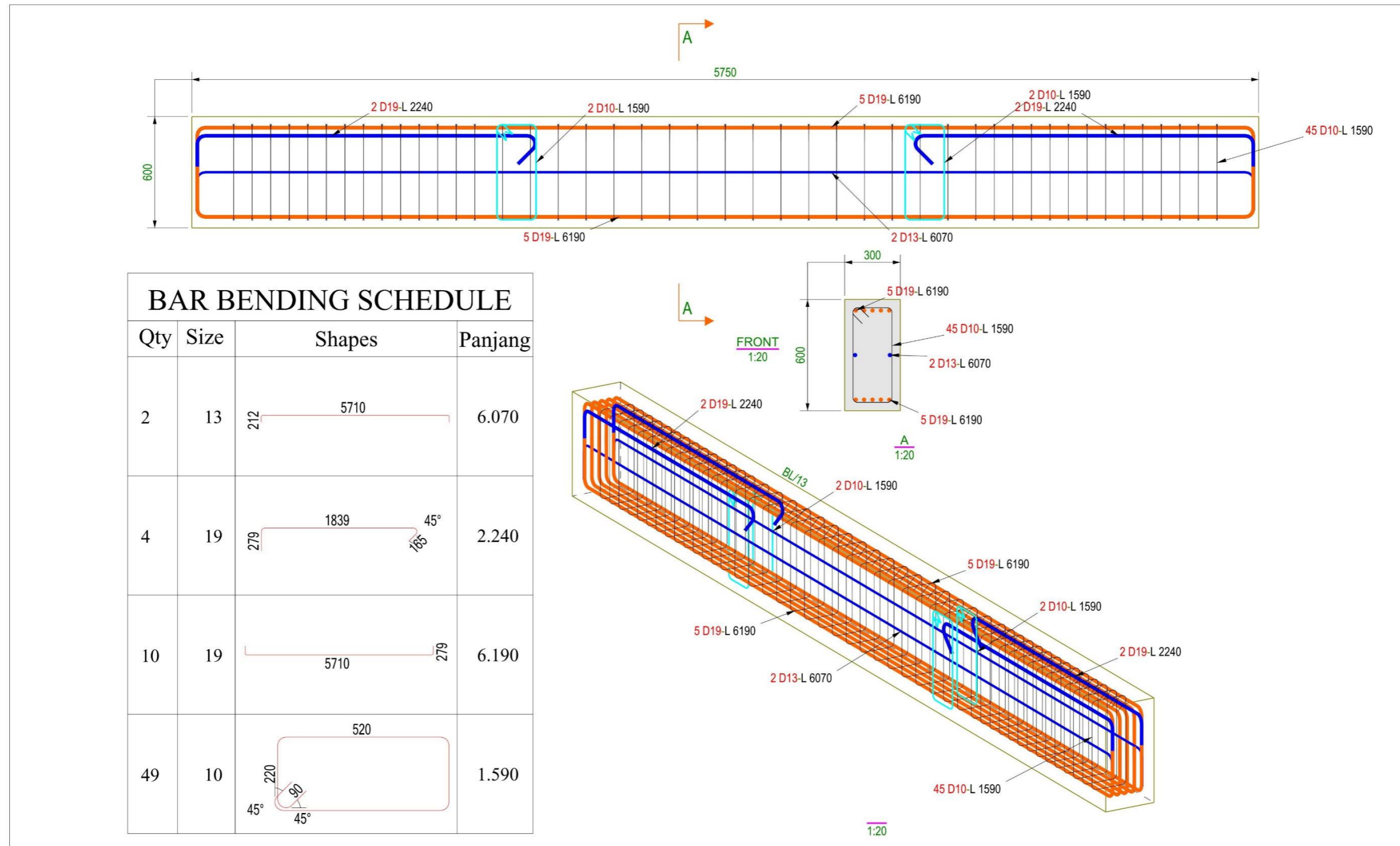
Lampiran L-3. 26 Bestaat BIM BK Grid E – 2-3, 3-4, 4-5, 5-6



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	13		2.820
2	19		2.940
10	19		2.940
16	10		1.590

	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 20	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
			Balok	Grid	Elevasi					

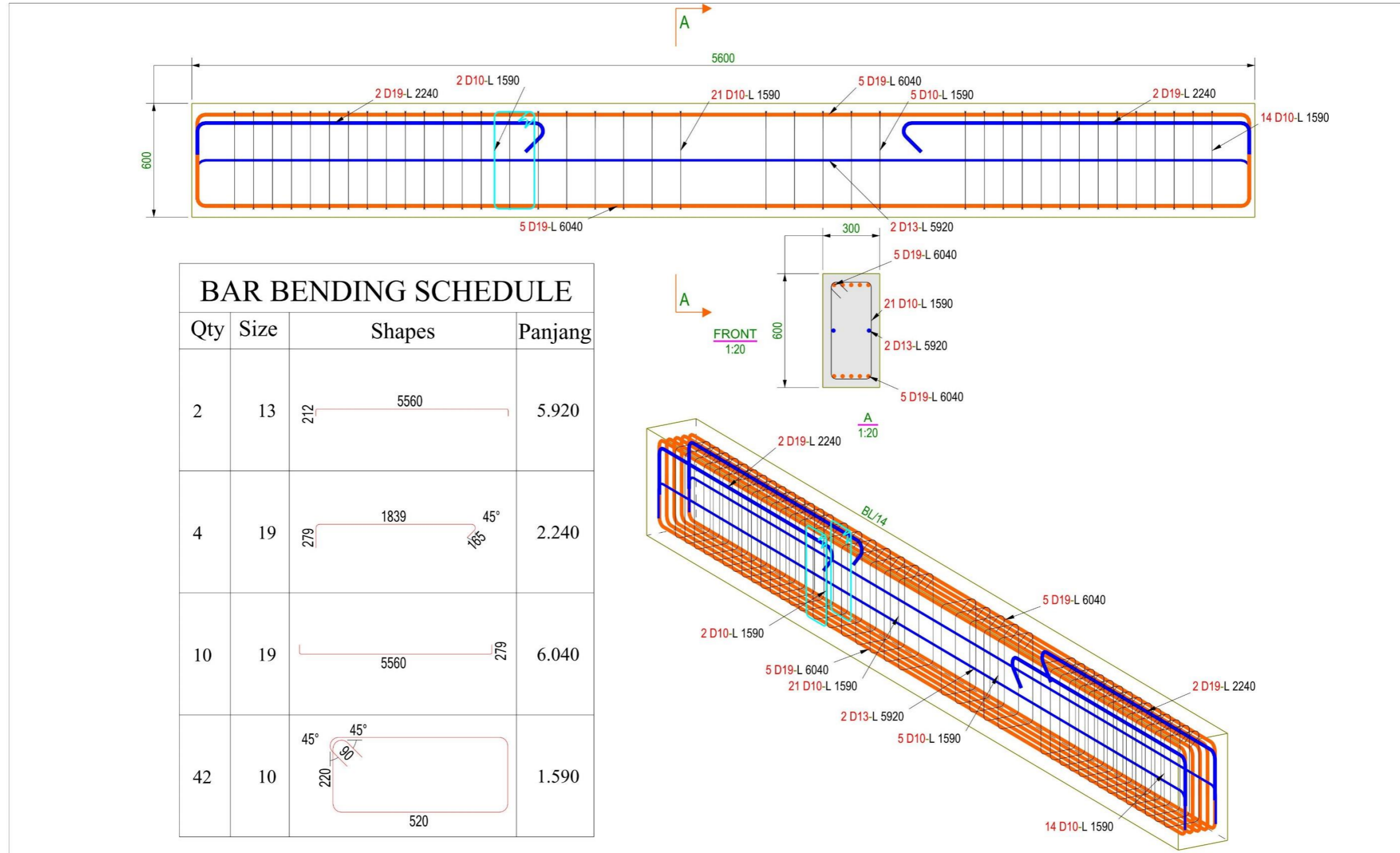
Lampiran L-3. 27 Bestaat BIM BL Grid 1-2, E-F



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	13		6.070
4	19		2.240
10	19		6.190
49	10		1.590

	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 21	JML LBR 24	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		Balok BL	Grid E-F	Elevasi +19.700						

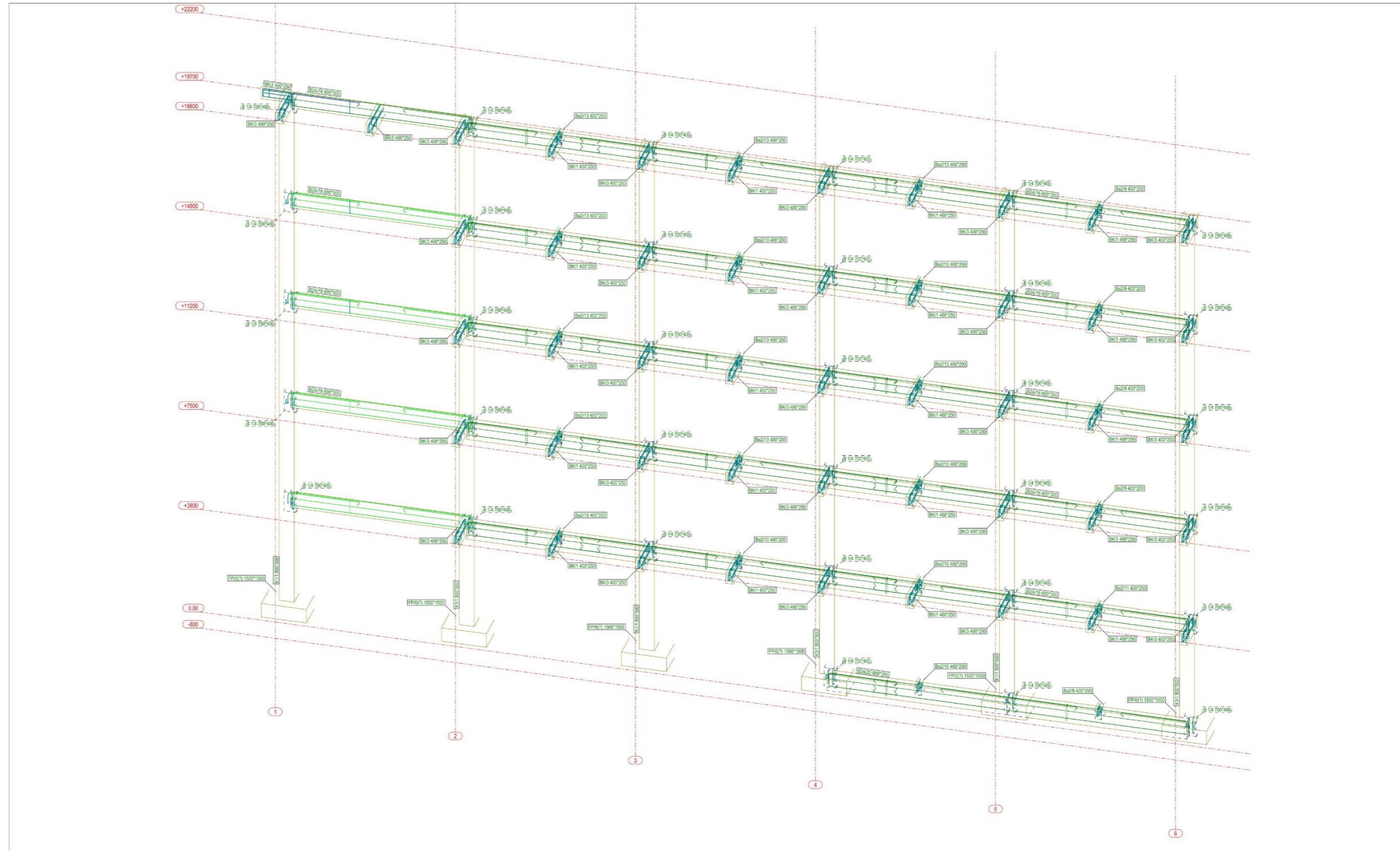
Lampiran L-3. 28 Bestaat BIM BL Grid E,F



BAR BENDING SCHEDULE			
Qty	Size	Shapes	Panjang
2	13	5560	5.920
4	19	1839 45°	2.240
10	19	5560 279 45°	6.040
42	10	520 220 45°	1.590

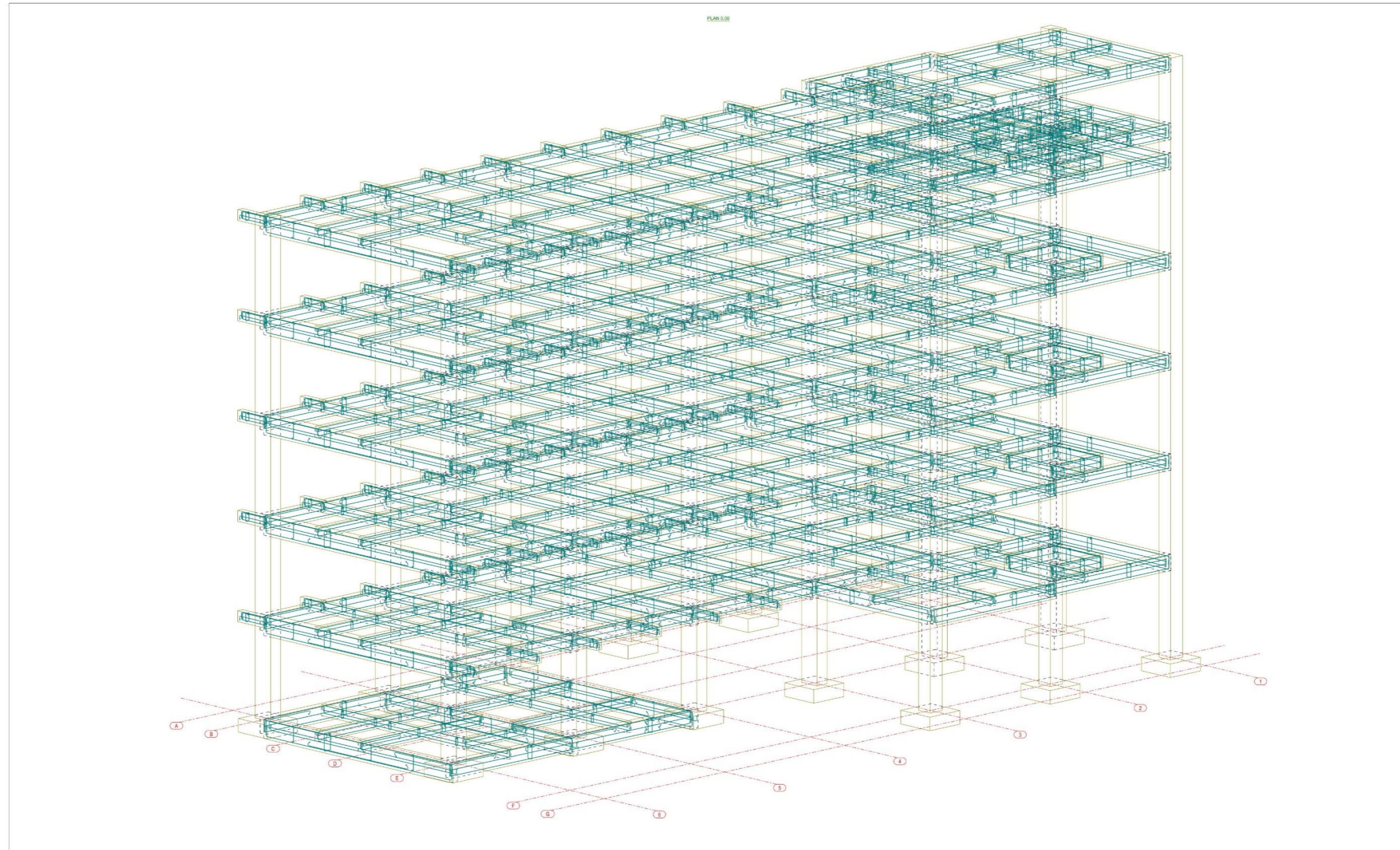
	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR			DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	Balok	Grid	Elevasi	Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	Indra Permana 14511392	22	24	


Lampiran L-3. 29 Bestaat BIM BL Grid 1 – 2



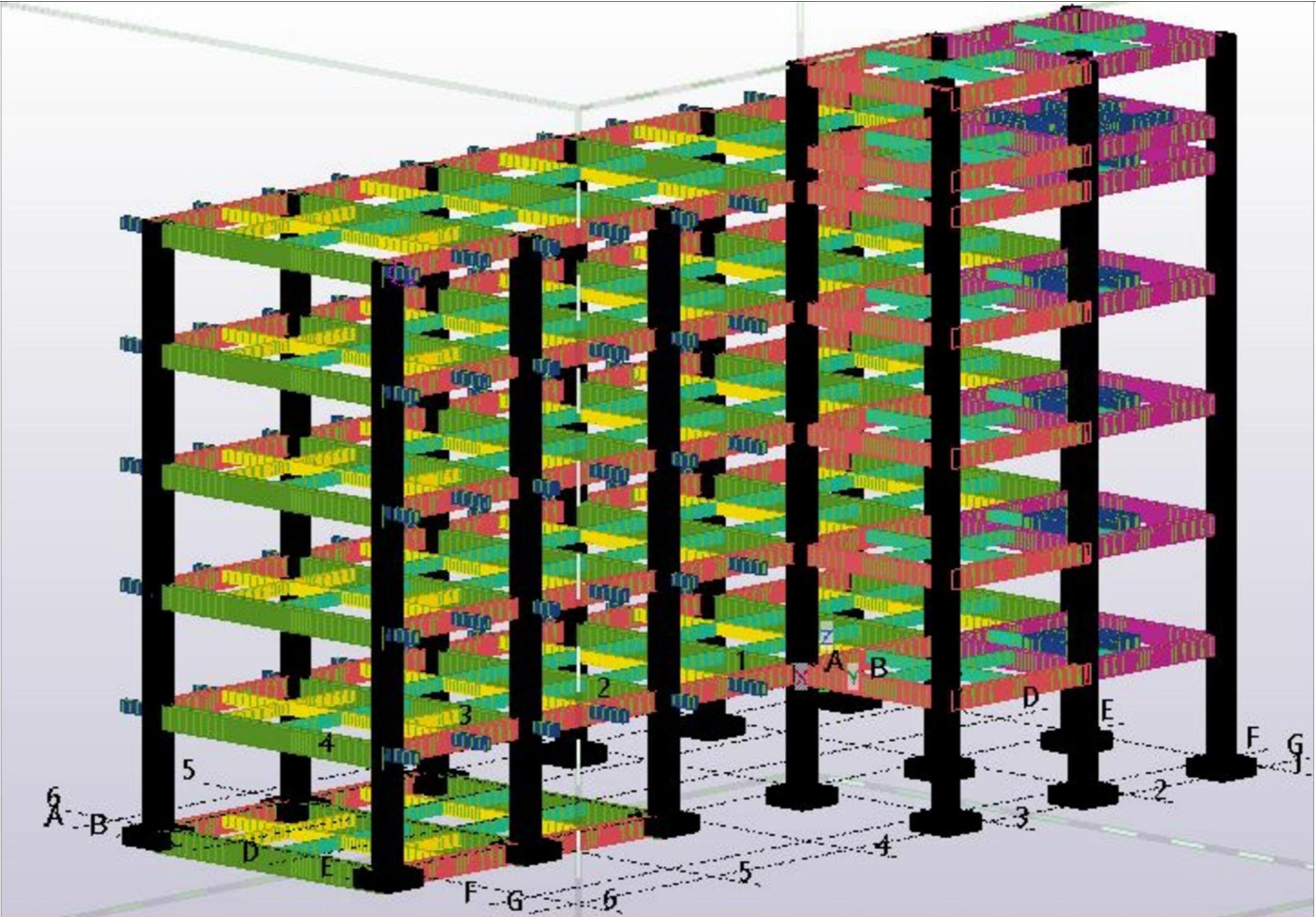
 <p>Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY</p>	<p>DETAIL GAMBAR</p>		<p>DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.</p>	<p>DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392</p>	<p>NO. LBR 23</p>	<p>JML LBR 24</p>	<p>SEMESTER GANJIL 2020/2021</p>
		<p><i>Grid</i></p>	<p><i>Elevasi</i></p>					
		<p>Grid A</p>	<p>+0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200</p>					


Lampiran L-3. 30 Bestaat BIM Grid A



	Bestaat BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK	DETAIL GAMBAR		DOSEN PEMBIMBING	DIGAMBAR OLEH	NO. LBR	JML LBR	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	GA Drawing Gedung Fakultas Teknik UPY	Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

Lampiran L-3. 31 Bestaat BIM GA Drawing Gedung Fakultas Teknik UPY



 BIM Tekla Structures JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UPY	DETAIL GAMBAR 3D Drawing Gedung Fakultas Teknik UPY	DOSEN PEMBIMBING Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.	DIGAMBAR OLEH Indra Permana 14511392	NO. LBR 01	JML LBR 01	SEMESTER GANJIL 2020/2021
		Elevasi +0.00, +3.800, +7.500, +11.200, +14.900, +18.600, +19.700, +22.200					

Lampiran L-3. 32 BIM 3D Drawing Gedung Fakultas Teknik UPY

Lampiran 4 Program Linier Simplex pada Software Microsoft Excel

A. Tahapan Penyelesaian Metode Simplex

Tahapan penyelesaian metode simplex :

- Menentukan variabel keputusan, merumuskan kendala/batasan, menentukan syarat batasan.**
* Variabel keputusan merupakan bagian dari bentuk persamaan batasan yang mempunyai tanda \leq , $=$, atau \geq .
- Menentukan daerah penyelesaian dan membuat fungsi tujuan.**
* Daerah penyelesaian merupakan daerah keputusan dari kontribusi semua variabel dan batasan terkait dengan fungsi tujuan.
* Dengan adanya slack variable pada fungsi pembatas, maka fungsi tujuan harus terdapat unsur variabel keputusan.
* Variabel keputusan dapat berupa konstanta bernilai nol karena tidak secara langsung berpengaruh pada fungsi tujuan.
- Menentukan fungsi optimasi dan mengartikan hasil yang diperoleh.**
* Optimalisasi dapat berupa maksimasi atau minimasi, bergantung pada variabel keputusan dan bentuk persamaan batasan yang dibuat.

B. Bentuk Baku Metode Simplex

- Fungsi tujuan
 $z(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = f(x) = \sum_1^n c_j x_j$
 $z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$
- Fungsi batasan dan syarat
 $\sum_1^n a_{ij}x_j (\leq, \geq) b_i$

 $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq (=) \geq b_1$
 $a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq (=) \geq b_2$
 \vdots
 $a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \leq (=) \geq b_m$
- Variabel nonnegatif
 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j \geq 0$
- Keterangan :
z = fungsi tujuan
x_j = jenis kegiatan (variabel keputusan)
a_{ij} = kebutuhan sumber daya i untuk menghasilkan setiap unit kegiatan j
b_i = jumlah sumber daya i yang tersedia
c_j = kenaikan nilai z jika ada pertumbuhan satu unit kegiatan j
a, b, dan c = parameter model
m = jumlah sumber daya yang tersedia
n = jumlah kegiatan

C. Tabulasi Simplex Optimasi Kebutuhan Tulangan

Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi 12 meter		Panjang Perlu (m)						Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
	B1	BL	5.52	3.42	10.13	2.94	6.19	2.24			
Trial Tipe Potongan											
1								12.000	Daerah Penyelesaian	0	
2								12.000		0	
3								12.000		0	
4								12.000		0	
5								12.000		0	
6								12.000		0	
7								12.000		0	
8								12.000		0	
9								12.000		0	
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330					16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	0	
Cek Potongan									Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	0	
Waste (m)									Nilai waste dalam persen		

1. Mengisi "Variabel Keputusan" secara manual pada "Trial Tipe Potongan". Bagian ini merupakan tipe - tipe pemotongan yang mungkin dilakukan berdasar panjang besi fabrikasi +- 12 meter,

Diameter 19 mm	Panjang Besi 12 meter		Panjang Perlu (m)						Sisa (m)	
	B1	BL	5.52	3.42	10.13	2.94	6.2	2.24		6.04
1			1							1.870
2		1					1	1		0.300
3					2			1		0.080
4		1					1	1		0.300

2. Kolom "Jumlah Batang" merupakan "Daerah Penyelesaian" yang berisi kontribusi dari semua variabel dan batasan terkait "Fungsi Tujuan",

Sisa (m)	Jumlah Batang	pot (m)
1.870		0
0.300		0
0.080		0
0.150		0
12.000		0
12.000		0
12.000		0
12.000		0
12.000		0
12.000		0
12.000		0
butuhan ngan D19 (m)	0	

3. Baris "Kebutuhan Penulangan (n) Untuk Seluruh Pekerjaan" merupakan "Variabel Pembatas" yang menjadi bagian dari "Fungsi Batasan",

Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30
	0	0	0	0	0	0	0

4. a. Daerah penyelesaian merupakan daerah keputusan dari kontribusi semua variabel dan batasan terkait dengan fungsi tujuan,
- b. Dengan adanya *slack variable* pada fungsi pembatas, maka fungsi tujuan harus terdapat unsur variabel keputusan,
- c. Variabel keputusan dapat berupa konstanta bernilai nol karena tidak secara langsung berpengaruh pada fungsi tujuan.

Sehingga rumus pada *slack variable* akan menjadi seperti berikut :

- **Kolom C19**
 $=C8*\$K\$8+C9*\$K\$9+C10*\$K\$10+C11*\$K\$11+C12*\$K\$12+C13*\$K\$13+C14*\$K\$14+C15*\$K\$15+C16*\$K\$16+C17*\$K\17
- **Kolom D19**
 $=D8*\$K\$8+D9*\$K\$9+D10*\$K\$10+D11*\$K\$11+D12*\$K\$12+D13*\$K\$13+D14*\$K\$14+D15*\$K\$15+D16*\$K\$16+D17*\$K\17
- **Kolom E19**
 $=E8*\$K\$8+E9*\$K\$9+E10*\$K\$10+E11*\$K\$11+E12*\$K\$12+E13*\$K\$13+E14*\$K\$14+E15*\$K\$15+E16*\$K\$16+E17*\$K\17
- **Kolom F19**
 $=F8*\$K\$8+F9*\$K\$9+F10*\$K\$10+F11*\$K\$11+F12*\$K\$12+F13*\$K\$13+F14*\$K\$14+F15*\$K\$15+F16*\$K\$16+F17*\$K\17
- **Kolom G19**
 $=G8*\$K\$8+G9*\$K\$9+G10*\$K\$10+G11*\$K\$11+G12*\$K\$12+G13*\$K\$13+G14*\$K\$14+G15*\$K\$15+G16*\$K\$16+G17*\$K\17
- **Kolom H19**
 $=H8*\$K\$8+H9*\$K\$9+H10*\$K\$10+H11*\$K\$11+H12*\$K\$12+H13*\$K\$13+H14*\$K\$14+H15*\$K\$15+H16*\$K\$16+H17*\$K\17
- **Kolom I19**
 $=I8*\$K\$8+I9*\$K\$9+I10*\$K\$10+I11*\$K\$11+I12*\$K\$12+I13*\$K\$13+I14*\$K\$14+I15*\$K\$15+I16*\$K\$16+I17*\$K\17

SimpleX_D19_B1,BL_(all)_Okkk.xlsx - Excel (Product Activatio...

File Home Insert Page Formi Data Reviel View Powe Tell me... ipermana381@gmail.com

Paste Font Alignment Number Cell Styles

FALSE : X ✓ fx

$=F8*\$K\$8+F9*\$K\$9+F10*\$K\$10+F11*\$K\$11+F12*\$K\$12+F13*\$K\$13+F14*\$K\$14+F15*\$K\$15+F16*\$K\$16+F17*\$K\17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
2		Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi		12 meter								
3			B1		BL								
4			Panjang Perlu (m)						Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)		
5		5.52	3.42	10.13	2.94	6.2	2.24	6.04					
6		Trial Tipe Potongan											
7		1			1						1.870		0
8		2		1				1	1		0.300		0
9		3				2			1		0.080		0
10		4		1			1	1			0.150		0
11		5				4					0.240		0
12		6		3							1.740		0
13		7	1	1		1					0.120		0
14		9		1				1	1		0.300		0
15		10	1	1				1			0.820		0
16		11	1				1				0.290		0
17													
18		Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)		0	0
19			0	0	0	0	0	0	0	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)		0	

5. “Fungsi Tujuan” berisi rumus/fungsi terkait penyelesaian permasalahan optimasi. Dalam hal ini “Fungsi Tujuan” yang dimaksud yaitu “Kebutuhan Tulangan”. Sehingga fungsi tujuan menjadi =SUM(K8:K17),

		FALSE		✕ ✓ <i>fx</i>		=SUM(K8:K17)						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2		Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi	12								
3			B1		BL							
4												
5										Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
6		Triat Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)									
7			5.52	3.42	10.13	2.94	6.2	2.24	6.04			
8		1			1					1.870		0
9		2		1				1	1	0.300		0
10		3				2			1	0.080		0
11		4		1			1	1		0.150		0
12		5				4				0.240		0
13		6		3						1.740		0
14		7	1	1		1				0.120		0
15		9		1				1	1	0.300		0
16		10	1	1				1		0.820		0
17		11	1				1			0.290		0
18		Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	=SUM(K8:K17)	0
19			0	0	0	0	0	0	0	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	0	0

The Solver Parameters dialog box is configured as follows:

- Set Objective:** \$K\$18
- To:** Max Min Value Of: 900
- By Changing Variable Cells:** \$K\$8:\$K\$17
- Subject to the Constraints:**
 - \$C\$19 >= \$C\$18
 - \$C\$19:\$H\$19 >= 0
 - \$D\$19 >= \$D\$18
 - \$E\$19 >= \$E\$18
 - \$F\$19 >= \$F\$18
 - \$G\$19 >= \$G\$18
 - \$H\$19 >= \$H\$18
 - \$I\$19 >= \$I\$18
- Make Unconstrained Variables Non-Negative
- Select a Solving Method:** Simplex LP

The data table below shows the variables and constraints:

	Diameter 19 mm	Panjang Besi Fabrikasi							Panjang Perlu (m)							Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
		B1			12 meter				BL									
Trial Tipe Potongan		5.52	3.42	10.13	2.94	6.2	2.24	6.04										
1				1									1.870			0		
2			1						1	1			0.300			0		
3					2						1		0.080			0		
4			1			1							0.150			0		
5					4								0.240			0		
6				3									1.740			0		
7	1	1			1								0.120			0		
9			1						1	1			0.300			0		
10	1	1									1		0.820			0		
11	1	1									1		0.290			0		
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan		66	330	396	252	10	16	30					Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	0		0		
		0	0	0	0	0	0	0					Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	0		0		

6. Jika “Variabel Keputusan” sudah diisi secara manual, langkah selanjutnya yaitu menyelesaikan perhitungan *simplex* dengan cara : pada menu *Data* pilih *Solver*.
- Set Objective* merupakan “Fungsi Tujuan” yaitu “\$K\$18”,
 - To* pilih *Min* karena pemodelan yang dibuat merupakan optimasi untuk tujuan minimasi (\geq),
 - By Changing Variable Cells* merupakan “Daerah Penyelesaian” yaitu kolom “Jumlah Batang”,
 - Subject to the Constraints* merupakan “Fungsi Batasan” yang berisi hubungan antara “Slack Variable” dan “Variabel Batasan” yang ditandai dengan tanda (\geq),
 - Membuat deklarasi “*Variable Nonnegative*” yaitu $\$C\$19:\$H\$19 \geq 0$,
 - Select a Solving Method pilih *Simplex LP*,
 - Langkah terakhir pilih menu *Solve*.

1) Fungsi tujuan

$$z(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = f(x) = \sum_1^n c_j x_j$$

$$z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + \dots + c_n x_n$$

2) Fungsi batasan dan syarat

$$\sum_1^n a_{ij} x_j \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} b_1$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq (=) \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq (=) \geq b_2$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \leq (=) \geq b_m$$

3) Variabel nonnegatif

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_j \geq 0$$

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the Solver Results dialog box open. The spreadsheet data is as follows:

mm	B1 BL							Sisa (m)	Jumlah Batang	Sisa potongan (m)
Trial Tipe Potongan	Panjang Perlu (m)									
1			1					1.870	396	741
2		1					1	0.300	0	0
3				2			1	0.080	24	2
4		1		1	1			0.150	10	1
5				4				0.240	35	8
6		3						1.740	83	144
7	1	1		1				0.120	66	8
9		1				1	1	0.300	6	2
10	1	1					1	0.820	0	0
11	1						1	0.290	0	0
Kebutuhan Penulangan (n) utk Seluruh Pekerjaan	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (batang)	619	906
	66	330	396	252	10	16	30	Kebutuhan Tulangan D19 (meter)	7430	
Cek Potongan	0	0	0	0	0	0	0	Nilai waste dalam persen		12.19%
Waste (m)	0	0	0	0	0	0	0			

The Solver Results dialog box displays the following text:

Solver found a solution. All Constraints and optimality conditions are satisfied.

Keep Solver Solution (selected)

Restore Original Values

Return to Solver Parameters Dialog

Outline Reports

OK Cancel Save Scenario...

Solver found a solution. All Constraints and optimality conditions are satisfied.

When the GRG engine is used, Solver has found at least a local optimal solution. When Simplex LP is used, this means Solver has found a global optimal solution.

7. Setelah menu *Solve* dipilih, maka *Add – In Solver* pada *Microsoft Excel* akan melakukan iterasi operasi *Simplex* secara otomatis. Sehingga didapatkan “tipe – tipe pemotongan tulangan yang paling optimal” beserta “Kebutuhan Tulangan Total”,

Pada gambar yang ditampilkan, terdapat beberapa “Jumlah Batang” yang bernilai “0”. Artinya apabila pemotongan tulangan yang dilakukan seperti pada trial potongan nomer 2, 10, dan 11 maka hasilnya tidak optimal.