

**EVALUASI STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN  
KONDOMINIUM GEDUNG THE REIZ CONDO  
(JALAN TEMBAKAU DELI, MEDAN)**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat dalam  
Ujian Sarjana Teknik Sipil Strata Satu  
Universitas Medan Area

**Disusun Oleh :**

**FITHRAH ARIF HAREFA  
178110091**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 27/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)27/6/22

## LEMBAR PENGESAHAN

### EVALUASI STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN KONDOMINIUM GEDUNG THE REIZ CONDO (JALAN TEMBAKAU DELI, MEDAN)

#### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam  
Ujian Sarjana Teknik Sipil Strata Satu  
Universitas Medan Area


Disusun oleh:


Fithrah Arif Harefa  
178110091

Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Ir. Nurmaidah, M.T  
NIDN: 0108016101

  
Hermansyah, S.T, M.T  
NIDN: 0106088004

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
  
Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom  
NIDN: 0105058804

Ka. Prodi Teknik Sipil  
  
Hermansyah, S.T, M.T  
NIDN: 0106088004

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 27/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)27/6/22

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : FITHRAH ARIF HAREFA

NIM : 178110091

EVALUASI STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN

Judul : KONDOMINIUM GEDUNG THE REIZ CONDO (JALAN  
TEMBAKAU DELI, MEDAN)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika kemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 08 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



*Fithrah Arif Harefa*  
Fithrah Arif Harefa  
NPM: 178110091

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fithrah Arif Harefa

NPM : 178110091

Program Studi : Teknik Sipil

Jenis Karya : Skripsi

Dengan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area *Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)* atas karya ilmiah saya yang berjudul Evaluasi Struktur Balok Pasca Kebakaran Kondominium Gedung The Reiz Condo (Jalan Tembakau Deli, Medan). Dengan *Hak Bebas Royalti Noneksklusif* ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, megalith media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 08 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

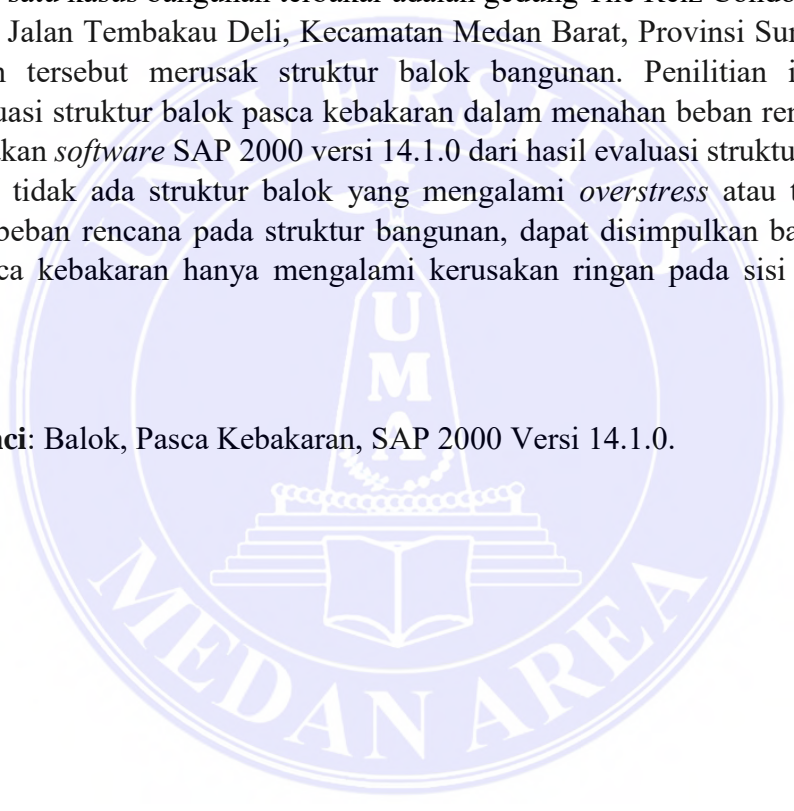


Fithrah Arif Harefa  
NPM: 178110091

## ABSTRAK

Struktur bangunan secara umum harus dirancang sesuai dengan fungsinya dengan mengikuti peraturan dan persyaratan kekuatan, kekakuan, kestabilan, daktilitas dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Namun setelah struktur bangunan berdiri dengan kokoh, terjadi kerusakan yang dapat berakibat peraturan dan persyaratan perencanaan struktur bangunan tersebut tidak terpenuhi lagi. Salah satu kerusakan pada struktur bangunan adalah saat terjadi kebakaran pada bangunan tersebut, hal ini akan mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu tinggi secara signifikan yang akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat struktur beton. Pada kondisi ini, struktur bangunan mengalami penurunan kemampuan untuk mendukung beban yang ada. Salah satu kasus bangunan terbakar adalah gedung The Reiz Condo Medan yang terletak di Jalan Tembakau Deli, Kecamatan Medan Barat, Provinsi Sumatera Utara. Kebakaran tersebut merusak struktur balok bangunan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi struktur balok pasca kebakaran dalam menahan beban rencana dengan menggunakan *software* SAP 2000 versi 14.1.0 dari hasil evaluasi struktur balok pasca kebakaran tidak ada struktur balok yang mengalami *overstress* atau tidak mampu menahan beban rencana pada struktur bangunan, dapat disimpulkan bahwa struktur balok pasca kebakaran hanya mengalami kerusakan ringan pada sisi luar struktur balok.

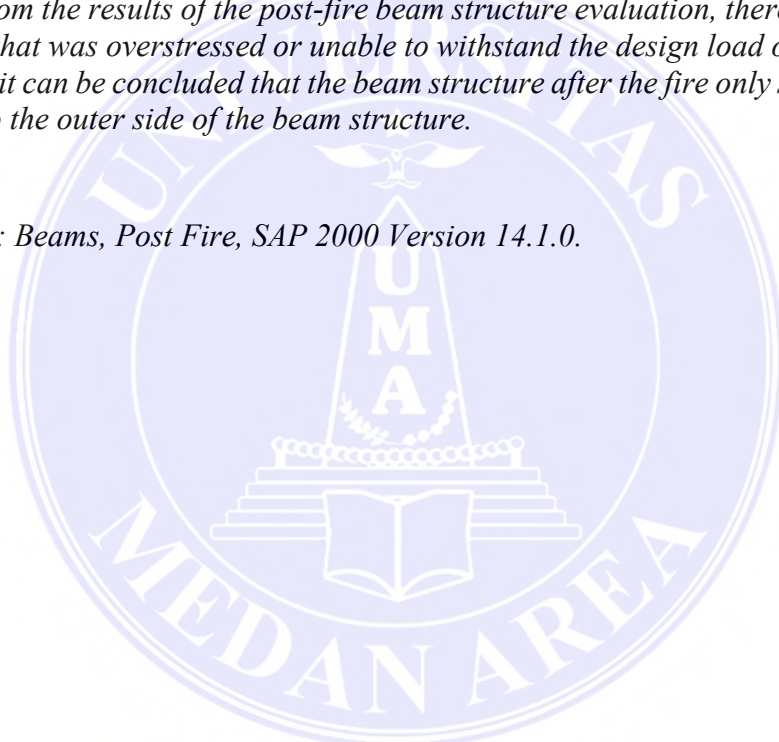
**Kata Kunci:** Balok, Pasca Kebakaran, SAP 2000 Versi 14.1.0.



## ABSTRACT

*The building structure in general must be designed according to its function by following the regulations and requirements for strength, stiffness, stability, ductility and resistance to environmental conditions. However, after the structure of the building stands firmly, damage occurs which can result in the regulations and requirements for planning the structure of the building being no longer met. One of the damage to the building, this will result in a significant increase in high temperature which will result in a fundamental change in the properties of the concrete structure. In this condition, the building structure has decreased ability to support the existing load. One of the cases where the building caught fire was The Reiz Condo Medan building, which is located on Tembakau Deli, West Medan District, North Sumatera Province. The fire damaged the beam structure of the building. This study aims to evaluate the post-fire beam structure to withstand the design load using SAP 2000 software version 14.1.0. From the results of the post-fire beam structure evaluation, there was no beam structure that was overstressed or unable to withstand the design load on the building structure, it can be concluded that the beam structure after the fire only suffered minor damage to the outer side of the beam structure.*

**Keywords:** Beams, Post Fire, SAP 2000 Version 14.1.0.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kekehadirat Allah SWT yang telah memberikat rahmat karunia kesehatan dan ilmu yang bermanfaat bagi kita semua. Atas izin yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*EVALUASI STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN KONDOMINIUM MEDAN (STUDI KASUS: GEDUNG THE REIZ CONDO, JALAN TEMBAKAU DELI, MEDAN)*”.

Penulisan skripsi ini merupakan syarat akademis dalam menyelesaikan pendidikan sarjana strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area. Dalam penulisan skripsi ini penulis berharap agar skripsi ini dapat menjadi ilmu yang bermanfaat bagi kita semua, sebelumnya penulis mohon maaf atas penulisan skripsi yang masih jauh dari kata sempurna.

Ucapan terima kasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah membantu serta memberikan suport kepada penulis selama proses menyelesaikan skripsi ini dan juga ucapan terima kasih yang tidak ada habisnya kepada ayahanda tercinta Mumfarijah Harefa dan ibunda tersayang Zulfa Tanjung serta abang dan adik-adik semua yang telah mendoakan dan memberikan dorongan moral. Penulis juga menyadari tanpa bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis dalam menyelesaikan skripisi ini. Oleh karena itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.

2. Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom yang telah memimpin Fakultas Teknik dengan baik sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
3. Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Hermansyah, S.T, M.T sebagai kepala prodi Teknik Sipil sekaligus Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam proses pengerjaan skripsi ini.
4. Terima kasih saya ucapkan kepada ibuk Ir. Nurmaidah, M.T sebagai Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan serta memberikan saran, masukan yang bermanfaat kepada penulis dalam proses pengerjaan skripsi ini.
5. Terima kasih tiada habisnya saya ucapkan kepada ayahanda tercinta Mumfarijah Harefa dan ibunda tersayang Zulfa Tanjung, S.E. Abang dan adik-adik yang telah memberikan dorongan moral serta materi kepada penulis.
6. Terimakasih saya ucapkan kepada Endang Wifda Munjiah Gea S.Pd yang saya sayangi telah membantu mensupport saya dalam proses pengerjaan skripsi ini.
7. Terima kasih saya ucapkan kepada Pimpinan PT. Limajabat Jaya dan pimpinan Waskita Karya Realty, yang telah memberikan wawasan dalam dan banyak ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penelitian lapangan.
8. Sahabat, kerabat dan teman-teman seperjuangan saya Teknik Sipil Stambuk 2017 yang telah memberikan suport kepada penulis selama ini.

Medan, 08 Januari 2022

Fithrah Arif Harefa  
NPM: 178110091



## DAFTAR ISI

	<b>Hal</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI</b>	
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>ii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Uraian Umum.....	5
2.2 Beton Bertulang .....	6
2.2.1 Beton.....	7
2.3 Baja Tulangan .....	20
2.4 Perhitungan Struktur .....	21
2.4.1 Peraturan Perhitungan Kekuatan Struktur .....	21

2.4.2 Pembebanan.....	21
2.5 Sistem Struktur Gedung.....	25
2.5.1 Balok.....	25
2.5.2 Faktor Reduksi Untuk Kekuatan Balok .....	27
2.5.3 Analisis Balok .....	28
2.6 Klasifikasi kerusakan yang terjadi pada beton pasca kebakaran.....	32
2.7 Evaluasi struktur gedung dengan menggunakan Software SAP 2000...	33
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Metode Pengumpulan Data .....	37
3.2 Sistem Pengelolaan Data .....	37
3.3 Data Struktur Gedung .....	38
3.3.1 Data Lokasi Bangunan Gedung The Reiz Condominium Medan	38
3.3.2 Data Informasi Bangunan .....	39
3.3.3 Data Sistem Struktur .....	40
3.3.4 Data Hasil Pengujian Core Drill, UPV Test dan Hammer Test....	42
3.3.5 Data Hasil Pengujian Uji Tarik Statis .....	45
3.3.6 Data Hasil <i>Survey Leveling</i> dan Lendutan.....	46
3.3.7 Data Hasil Pengamatan Visual.....	51
3.3.8 Data Konfigurasi Bangunan .....	53
3.4 Tahapan Evaluasi.....	58
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	59
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>60</b>
4.1 Perhitungan Pembebanan Bangunan.....	60
4.1.1 Perhitungan Beban Pada Pelat Lantai .....	61
4.1.2 Perhitungan Beban Pada Balok.....	64

4.2	Pemodelan dan Input Data Struktur Bangunan Pada SAP 2000 .....	67
4.2.1	Mutu Beton Rencana Pada Balok dan Pelat Lantai.....	68
4.2.2	Mutu Beton Rencana Pada Kolom .....	69
4.2.3	Mutu Baja Tulangan Utama Rencana .....	71
4.2.4	Mutu Baja Tulangan Sengkang.....	72
4.2.5	Pemodelan Dimensi Balok .....	73
4.2.6	Pemodelan Dimensi Kolom.....	76
4.2.7	Pemodelan Pelat Lantai.....	78
4.2.8	Penginputan Elemen Sturuktur Bangunan.....	79
4.2.9	Pembebanan Struktur Bangunan.....	81
4.3	Evaluasi Struktur Elemen Balok.....	90
4.3.1	Diagram Momen Pada Balok Rencana Terhadap Pembebanan ...	92
4.3.2	Diagram Momen Pada Balok Pasca Kebakaran Terhadap Pembebanan.....	100
4.3.3	Pengecekan Kapasita Penampang Balok Rencana .....	108
4.3.4	Pengecekan Kapasitas Penampang Balok Paska Kebakaran .....	111
4.3.5	Evaluasi Elemen Balok Rencana .....	113
4.3.6	Evaluasi Elemen Balok Pasca Kebakaran .....	117
4.4	Perhitungan Penulangan .....	128
4.4.1	Perhitungan Penulangan Balok Rencana .....	128
4.4.2	Perhitungan Manual Penulangan Balok Pasca Kebakaran.....	136
4.5	Hasil dan Pembahasan .....	143
4.5.1	Hasil.....	143
4.5.2	Pembahasan .....	144
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>145</b>

5.1 Kesimpulan .....	145
5.2 Saran .....	145
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>146</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

	<b>Hal</b>
Tabel 2.1 Perubahan Secara Kimia Dan Kekuatan Beton Akibat Pemanasan.....	13
Tabel 2.2 Peraturan Beban Mati Berdasarkan Bahan Material Bangunan .....	22
Tabel 2.3 Peraturan Berat Beban Mati Komponen Struktur Gedung .....	23
Tabel 2.4 Peraturan Beban Hidup Pada Lantai Gedung .....	24
Tabel 2.5 Faktor Reduksi Kekuatan (SNI 03-2847-2002, Hal 61-62).....	28
Tabel 3.1 Hasil Uji Mutu Beton berdasarkan <i>Core Drill</i> .....	42
Tabel 3.2 Hasil Uji Mutu Beton berdasarkan UPV .....	42
Tabel 3.3 Hasil Uji Mutu Beton Berdasarkan <i>Hammaer Test</i> .....	43
Tabel 3.4 Hasil Uji tarik Tulangan .....	45
Tabel 3.5 Hasil Survey <i>Leveling</i> Lt. P6.....	47
Tabel 3.6 Hasil Survey <i>Leveling</i> Lt. 6 .....	47
Tabel 3.7 Hasil Survey <i>Leveling</i> Lt. 6 .....	48
Tabel 3.8 Hasil Survey Lendutan Balok Lt. P6.....	49
Tabel 3.9 Hasil Survey Lendutan Balok Lt. 6 .....	49
Tabel 3.10 Hasil Survey Lendutan Pelat Lt. P6.....	50
Tabel 3.11 Hasil Survey Lendutan Pelat Lt. 6.....	50
Tabel 3.12 Tinggi Lantai Tipikal.....	53
Tabel 3.13 Tipe Balok .....	53
Tabel 3.14 Tipe Kolom.....	55
Tabel 3.15 Konfigurasi Lantai .....	56
Tabel 4.1 Beban Mati.....	60
Tabel 4.2 Beban Hidup .....	60
Tabel 4.3 Nilai Variabel Spektral Percepatan Dipermukaan Dari Gempa .....	84
Tabel 4.4 Momen Pada Elemen Balok Induk B1 Lt.6.....	113

Tabel 4.5 Momen Pada Elemen Balok Induk B1C Lt.6 .....	114
Tabel 4.6 Momen Pada Elemen Balok Anak B3 Lt.6 .....	115
Tabel 4.7 Momen Pada Elemen Balok B3C Lt.6 .....	116
Tabel 4.8 Momen Pada Elemen Balok Induk B1 Lt.6.....	117
Tabel 4.9 Momen Pada Elemen Balok Induk B1C Lt.6 .....	120
Tabel 4.10 Momen Pada Elemen Balok Anak B3 Lt.6 .....	123
Tabel 4.11 Momen Pada Elemen Balok Anak B3C Lt.6.....	126
Tabel 4.13 Penulangan Balok Pasca Kebakaran.....	142



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Hal</b>
Gambar 2.1 (a) Penempatan tulangan pada daerah tarik, (b) Potongan Penampang.....	7
Gambar 2.2 Diagram Tegangan-Rengangan Beton .....	8
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Suhu dengan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar .....	10
Gambar 2.4 Degradasi kuat tekan beton pada berbagai temperatur.....	10
Gambar 2.5 Kerusakan balok pada gedung The Rize Condo pasca kebakaran .....	11
Gambar 2.6 Kerusakan akibat kebakaran pada suatu elemen balok yang menunjukkan perubahan warna pada agregat di lokasi gedung The Rize Condo. ....	12
Gambar 2.7 Kerusakan pada beton kebakaran yang terlihat dengan mikroskop. ..	12
Gambar 2.8 Penurunan <i>Modulos Elastisitas</i> Akibat Suhu tinggi.....	14
Gambar 2.9 Indikator warna dengan phenolftalein terhadap temperatur.....	19
Gambar 2.10 Diagram Regangan – Tegangan Baja.....	20
Gambar 2.11 Gambar Variasi Letak Garis Netral.....	26
Gambar 2.12 Gambar tengan distribusi rengangan pada beton tekan.....	27
Gambar 2.13 Gambar Analisis Balok Bertulangan Rangkap.....	30
Gambar 2.14 Analisis Balok .....	31
Gambar 2.15 Input Data Balok .....	33
Gambar 2.16 Input Data Tulangan Balok .....	34
Gambar 2.17 Input Data Material .....	34
Gambar 2.18 Input Data Penampang .....	35
Gambar 2.19 Input Data Pembebanan .....	36
Gambar 3.1 Lokasi Bangunan Gedung The Reiz Condominium Medan .....	38

Gambar 3.2 Visual Area Kebakaran .....	39
Gambar 3.3 Visual Area Struktur Lt. 6 Terdampak Kebakaran .....	40
Gambar 3.4 Visual Area Struktur Lt. P6 Terdampak Kebakaran .....	40
Gambar 3.5 Denah Struktur Lantai P6 .....	41
Gambar 3.6 Denah Struktur Lantai 6 .....	41
Gambar 3.7 Pelaksanaan <i>Hammer Test</i> .....	44
Gambar 3.8 Pelaksanaan UPV .....	44
Gambar 3.9 Pelaksanaan <i>Core Drill</i> .....	44
Gambar 3.10 Pengambilan Sampel Tulangan Uji Tarik .....	46
Gambar 3.11 Pelaksanaan <i>Survey Leveling</i> Lantai .....	46
Gambar 3.12 Kerusakan Tipikal Pada Balok Lt.6 .....	52
Gambar 3.13 Kerusakan Tipikal Pada Pelat Lt.6 .....	52
Gambar 3.14 Kerusakan Tipikal Pada Kolom Lt.6 .....	52
Gambar 3.15 Detail Penulangan Balok .....	54
Gambar 3.16 Detail Penulangan Kolom .....	56
Gambar 3.17 Detail Penulangan Pelat Lantai .....	57
Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian .....	59
Gambar 4.1 Sketsa Penyebaran Beban Pada Balok Lantai .....	63
Gambar 4.2 Beban Pada Balok Induk .....	64
Gambar 4.3 Beban Pada Balok Induk .....	64
Gambar 4.4 Beban Pada Balok Anak .....	65
Gambar 4.5 Beban Pada Balok Induk .....	65
Gambar 4.6 Beban Pada Balok Induk .....	66
Gambar 4.7 Beban Pada Balok Anak .....	66
Gambar 4.8 Define <i>Grid System Data</i> .....	67



Gambar 4.9 Denah Dasar Struktur Bangunan.....	67
Gambar 4.10 Pemodelan Struktur Bangunan Bentuk <i>Grid</i> 2D.....	68
Gambar 4.11 Input Data Material Balok.....	68
Gambar 4.12 Input Data Mutu Beton Balok.....	69
Gambar 4.13 Input Data Material Kolom.....	70
Gambar 4.14 Input Data Mutu Beton Kolom.....	70
Gambar 4.15 Input Data Material Baja Tulangan Utama.....	71
Gambar 4.16 Input Data Mutu Baja Tulangan Utama.....	72
Gambar 4.17 Input Data Material Baja Tulangan Sengkang.....	72
Gambar 4.18 Input Data Mutu Baja Tulangan Sengkang.....	73
Gambar 4.19 <i>Frame Properties</i> .....	74
Gambar 4.20 <i>Frame Section Property</i> .....	74
Gambar 4.21 <i>Rectangular Section</i> .....	75
Gambar 4.22 <i>Reinforcement Data</i> .....	75
Gambar 4.23 <i>Frame Properties</i> .....	76
Gambar 4.24 <i>Frame Section Property</i> .....	76
Gambar 4.25 <i>Rectangular Section</i> .....	77
Gambar 4.26 <i>Reinforcement Data</i> .....	78
Gambar 4.27 <i>Area Section</i> .....	78
Gambar 4.28 <i>Shell Section Data</i> .....	79
Gambar 4.29 Pemodelan Struktur Bangunan 3D.....	80
Gambar 4.30 Pemodelan Struktur Bangunan XY.....	80
Gambar 4.31 Pemodelan Struktur Bangunan XZ.....	81
Gambar 4.32 Pemodelan Struktur Bangunan YZ.....	81
Gambar 4.33 Input Pembebanan.....	82

Gambar 4.34 <i>Define Load Combination</i> .....	83
Gambar 4.35 <i>Input Load Combination Data</i> .....	83
Gambar 4.36 <i>Grafik respon spektrum</i> .....	85
Gambar 4.37 <i>Define Response Spectrum Functions</i> .....	85
Gambar 4.38 <i>Response Spectrum IBC-2006 Functions Definition</i> .....	86
Gambar 4.39 <i>Define Load Case</i> .....	87
Gambar 4.40 <i>Load Cases Data – Response Spectrum Gempa Sumbu X</i> .....	87
Gambar 4.41 <i>Load Cases Data – Response Spectrum Gempa Sumbu Y</i> .....	88
Gambar 4.42 <i>Area Unniform Loads Frames (Dead)</i> .....	89
Gambar 4.43 <i>Area Unniform Loads Frames (Live)</i> .....	89
Gambar 4.44 <i>Analyze Options</i> .....	90
Gambar 4.45 <i>Set Load Case to Run</i> .....	91
Gambar 4.46 <i>Struktur Bangunan Setelah di Run Now</i> .....	91
Gambar 4.47 <i>Member Force Diagram for Frames</i> .....	92
Gambar 4.48 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Mati</i> .....	92
Gambar 4.49 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Hidup</i> .....	93
Gambar 4.50 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X</i> .....	93
Gambar 4.51 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y</i> .....	94
Gambar 4.52 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Mati</i> .....	94
Gambar 4.53 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Hidup</i> .....	95
Gambar 4.54 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X</i> .....	95
Gambar 4.55 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y</i> .....	96
Gambar 4.56 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Mati</i> .....	96
Gambar 4.57 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Hidup</i> .....	97
Gambar 4.58 <i>Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X</i> .....	97

Gambar 4.59 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y.....	98
Gambar 4.60 Diagram Momen Terhadap Beban Mati.....	98
Gambar 4.61 Diagram Momen Terhadap Beban Hidup .....	99
Gambar 4.62 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	99
Gambar 4.63 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	100
Gambar 4.64 Diagram Momen Terhadap Beban Mati.....	100
Gambar 4.65 Diagram Momen Terhadap Beban Hidup .....	101
Gambar 4.66 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	101
Gambar 4.67 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y.....	102
Gambar 4.68 Diagram Momen Terhadap Beban Mati.....	102
Gambar 4.69 Diagram Momen Terhadap Beban Hidup .....	103
Gambar 4.70 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	103
Gambar 4.71 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y.....	104
Gambar 4.72 Diagram Momen Terhadap Beban Mati.....	104
Gambar 4.73 Diagram Momen Terhadap Beban Hidup .....	105
Gambar 4.74 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	105
Gambar 4.75 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y.....	106
Gambar 4.76 Diagram Momen Terhadap Beban Mati.....	106
Gambar 4.77 Diagram Momen Terhadap Beban Hidup .....	107
Gambar 4.78 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa X.....	107
Gambar 4.79 Diagram Momen Terhadap Beban Gempa Y.....	108
Gambar 4.80 Penampang Induk Balok B1 Lt.6 <i>Frame</i> 388 .....	109
Gambar 4.81 Penampang Induk Balok B1C Lt.6 <i>Frame</i> 391.....	109
Gambar 4.82 Penampang Anak Balok B3 Lt.6 <i>Frame</i> 397 .....	110
Gambar 4.83 Penampang Anak Balok B3 Lt.6 <i>Frame</i> 448 .....	110

Gambar 4.84 Penampang Induk Balok B1 Lt.6 <i>Frame</i> 388 .....	111
Gambar 4.85 Penampang Induk Balok B1C Lt.6 <i>Frame</i> 391.....	111
Gambar 4.86 Penampang Anak Balok B3 Lt.6 <i>Frame</i> 405 .....	112
Gambar 4.87 Penampang Anak Balok B3C Lt.6 <i>Frame</i> 397 .....	112



## DAFTAR NOTASI

$A_s$	= Luas tulangan tarik non-prategang ( $\text{mm}^2$ )
$A_l$	= Luas penampang pada daerah pelat ( $\text{mm}^2$ )
$A_2$	= Luas penampang pada daerah balok ( $\text{mm}^2$ )
$b$	= Lebar bagian flens efektif penampang balok T (mm)
$b_e$	= Lebar mamfaat penampang balok T (mm)
$b_w$	= Lebar badan balok (mm)
$D$	= Diameter baja ulir (mm)
$DL$	= Beban mati merata (ton/m)
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
$E_c$	= Modulus elastisitas beton (MPa)
$E_{cb}$	= Modulus elastisitas balok beton (MPa)
$E_{cs}$	= Modulus elastisitas pelat beton (MPa)
$E_s$	= Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
$f'_c$	= Kuat tekan beton atau mutu beton (MPa)
$f_y$	= tegangan leleh baja yang diisyaratkan (MPa)
$h$	= Tebal atau tinggi total balok (mm)
$h_f$	= Tebal efektif pelat (mm)

- $h_{maks}$  = Tebal efektif pelat maksimum (mm)
- $h_{min}$  = Tebal efektif pelat minimum (mm)
- $I$  = Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor ( $mm^4$ )
- $I_b$  = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok ( $mm^4$ )
- $I_s$  = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat ( $mm^4$ )
- $L$  = Panjang bentang balok atau pelat dari as ke as tumpuan (mm)
- $LL$  = Beban hidup merata (ton/m)
- $L_Y$  = Panjang bentang balok atau pelat terpanjang dari as ke as tumpuan (mm)
- $L_x$  = Panjang bentang balok atau pelat terpendek dari as ke as tumpuan (mm)
- $l$  = Panjang bentang balok searah dengan penulangan yang di tinjau (mm)
- $ln$  = Panjang bentang dalam momen yg dihitung dari muka tumpuan (mm)
- $M_u$  = Momen ultimate (ton.m)
- $P$  = Penutup beton atau selimut beton (ton/m)
- $P_l$  = Beban terpusat (ton/m)
- $Q$  = Beban merata dalam bentuk trapesium (ton/m)
- $q$  = Beban merata dalam bentuk persegi (ton/m)
- $S$  = Spasi tulangan geser (mm)
- $U$  = Kuat perlu untu menahan beban.

- $V_c$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton.
- $V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.
- $V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang.
- $W_u$  = Beban ultimate (ton/m)
- $W_d$  = Beban mati (ton/mm<sup>2</sup>)
- $W_L$  = Beban hidup (ton/mm<sup>2</sup>)
- $Y$  = Jarak titik pusat arah y (mm)
- $\beta$  = Rasio bentang dua arah.
- $\emptyset$  = Diameter baja tulangan polos.
- $\rho$  = Rasio penulangan tarik non-prategang.
- $\rho_{anl}$  = Rasio penulangan analisa tarik non-prategang.
- $\rho_b$  = Rasio penulangan pada keadaan seimbang regangan.
- $\rho_{max}$  = Rasio penulangan maksimum tarik non-prategang.
- $\rho_{min}$  = Rasio penulangan minimum tarik non-prategang.
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Struktur bangunan secara umum harus dirancang sesuai dengan fungsinya dengan mengikuti peraturan dan persyaratan kekuatan, kekakuan, kestabilan, daktilitas dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Namun setelah struktur bangunan berdiri dengan kokoh, terjadi kerusakan yang dapat berakibat peraturan dan persyaratan perencanaan struktur bangunan tersebut tidak terpenuhi lagi. Kerusakan struktur bangunan dapat terjadi sejak bangunan dibuat maupun setelah beroperasi. Secara langsung maupun tidak langsung kerusakan akan menyebabkan degradasi kekuatan yang mengurangi kinerja struktur bangunan secara keseluruhan.

Salah satu kerusakan pada struktur bangunan adalah saat terjadi kebakaran pada bangunan tersebut, hal ini akan mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu tinggi secara signifikan yang akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat struktur beton. Pada kondisi ini, struktur bangunan mengalami penurunan kemampuan untuk mendukung beban yang ada, bahkan pada kondisi tertentu struktur bangunan beton tidak mampu lagi mendukung beban yang bekerja dan dipastikan struktur bangunan tidak dapat lagi digunakan atau dimanfaatkan sebagaimana fungsi awal struktur bangunan tersebut.

Salah satu kasus bangunan terbakar adalah gedung The Reiz Condo Medan yang terletak di Jalan Tembakau Deli, Kecamatan Medan Barat, Provinsi Sumatera Utara. Gedung yang mengalami kebakaran pada tanggal 1 Juli 2018 ini



direncanakan sebagai apartemen dan strukturnya didesain sebagai sistem konstruksi beton bertulang.

Pasca kebakaran, struktur kolom dan balok gedung ini masih berdiri tegak namun terjadi perubahan warna akibat kebakaran tersebut. Sebagian besar beton masih tertutup sepenuhnya, tetapi ada juga struktur balok dan kolom yang betonnya telah dibuka. Kerusakan struktur yang ada akan lebih parah jika tidak segera diperbaiki. Deformasi terjadi pada struktur balok dan kolom, yang dibuktikan dengan delaminasi lapisan beton.

Berdasarkan hal tersebut, penulis terinspirasi untuk melakukan penelitian agar mengetahui kekuatan serta kemampuan pada struktur balok pasca kebakaran dalam memikul beban pada struktur bangunan tersebut, sehingga penulis mendapat penelitian pada kasus kebakaran tersebut yang berjudul “EVALUASI STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN KONDOMINIUM GEDUNG THE REIZ CONDO (Jalan Tembakau Deli, Medan)”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang terdapat pada kasus kebakaran gedung tersebut yaitu bagaimana kekuatan struktur balok pasca kebakaran dalam memikul beban rencana struktur bangunan dengan menggunakan softwer SAP 2000 versi 14.1.0?

## **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan rumusan masalah diatas perlu dibuat batasan-batasan masalah yang menjadi ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur bangunan dalam penelitian ini adalah gedung The Reiz Condo Medan dan secara spesifik yaitu evaluasi struktur balok pasca kebakaran.
2. Pembebanan yang digunakan dalam evaluasi kekuatan struktur balok pasca kebakaran adalah beban gravitasi. Beban gravitasi yang dimaksud mencakup beban mati dan beban hidup tereduksi yang mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.
3. Pembebanan gempa dalam evaluasi ini mengacu pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2012.
4. Evaluasi struktur balok pasca kebakaran dengan pemodelan struktur bangunan tiga dimensi (D3) menggunakan software SAP 2000 versi 14.1.0.
5. Tidak membandingkan kekuatan struktur bangunan rencana dengan struktur bangunan pasca kebakaran.
6. Evaluasi dalam penelitian ini tidak melakukan perbaikan dalam elemen struktur bangunan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, maka penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktur elemen balok gedung The Reiz Condo Medan pasca kebakaran dalam memikul beban rencana struktur bangunan dengan menggunakan SAP 2000 versi 14.1.0.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini, yaitu:

1. Memberikan pengetahuan dalam bidang struktur bangunan dalam mengevaluasi struktur balok pasca kebakaran.

2. Menambah referensi dan wacana dibidang rehabilitasi bangunan.
3. Memberikan pengetahuan dalam mengevaluasi balok pasca kebakaran dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 versi 14.1.0.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Uraian Umum

Struktur suatu bangunan umumnya terdiri dari struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Struktur bawah (*lower structure*) yaitu pondasi dan struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah, sedangkan struktur atas (*upper structure*) merupakan struktur bangunan di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, plat, tangga. Masing-masing komponen memiliki fungsi yang berbeda dalam sebuah struktur.

Hanggoro (2015) menyatakan bahwa “Struktur bangunan gedung terbagi menjadi dua yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas merupakan bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Sedangkan struktur bawah yaitu bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang bisa terdiri dari struktur bersemen, dan struktur fondasinya”.

Struktur bangunan adalah sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan adanya bangunan di atas tanah. Tujuan utama suatu struktur adalah pengamanan pada suatu bangunan, dan struktur dari suatu bangunan dipengaruhi oleh beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*), dan beban angin (*wind load*) menjadi bahan perhitungan awal dalam perencanaan struktur untuk mendapatkan besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada setiap komponen struktur, kemudian dapat dilakukan analisis struktur untuk mengetahui besarnya kapasitas penampang dan tulangan yang dibutuhkan oleh masing-masing struktur (Gideon & Takim, 1993).

Perencanaan struktur atas harus mengacu pada peraturan atau pedoman standar yang mengatur perencanaan dan pelaksanaan bangunan beton bertulang, yaitu Standar Tata Cara Penghitungan Struktur Beton nomor: SK SNI T-15-1991-03, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung tahun 1983, dan lain-lain (Istimawan, 1999).

Mulyono (2018) mengatakan bahwa “Beton digunakan sebagai material pendukung dalam konstruksi teknik sipil dan dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk membangun struktur pondasi, kolom, balok, portal, pelat (pelat cangkang)”.

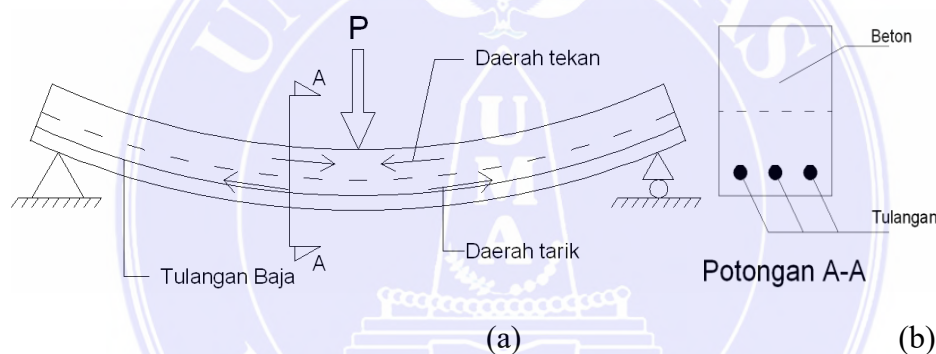
Struktur bangunan, balok merupakan struktur beton melintang yang berfungsi menopang beban horizontal. Balok dalam struktur sebuah bangunan sangat berperan penting dalam menjaga stabilitas terhadap gaya kesamping. Jika dilihat dari fungsinya maka balok adalah bagian dari struktural sebuah bangunan yang kaku yang dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang yang memiliki fungsi sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban-beban.

## 2.2 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah bahan dalam struktur bangunan yang terdiri dari kombinasi beton dengan tulangan baja. Beton bertulang terdiri dari beberapa material penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan jika diperlukan. Struktur beton bertulang terdapat membentuk beberapa elemen utama pada struktur bangunan seperti pelat, balok,

kolom, dinding serta elemen – elemen lain. Elemen elemen ini berfungsi untuk mendukung kinerja struktur tersebut (Sutrisno, 2012).

Beton dengan kuat tekan dan tarik yang tinggi dari baja. Nilai kuat tekan beton akan relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Nilai kuat tarik hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekan. Umumnya sebagai suatu elemen struktur suatu bangunan beton bertulang yang diperkuat dengan tulangan baja, merupakan kombinasi material yang dapat saling bekerja sama untuk mengatasi suatu kelemahan, terutama bagian yang menahan gaya tarik, artinya tulangan baja dapat diperkuat pada saat menahan gaya tarik, dan beton menahan gaya tekan.



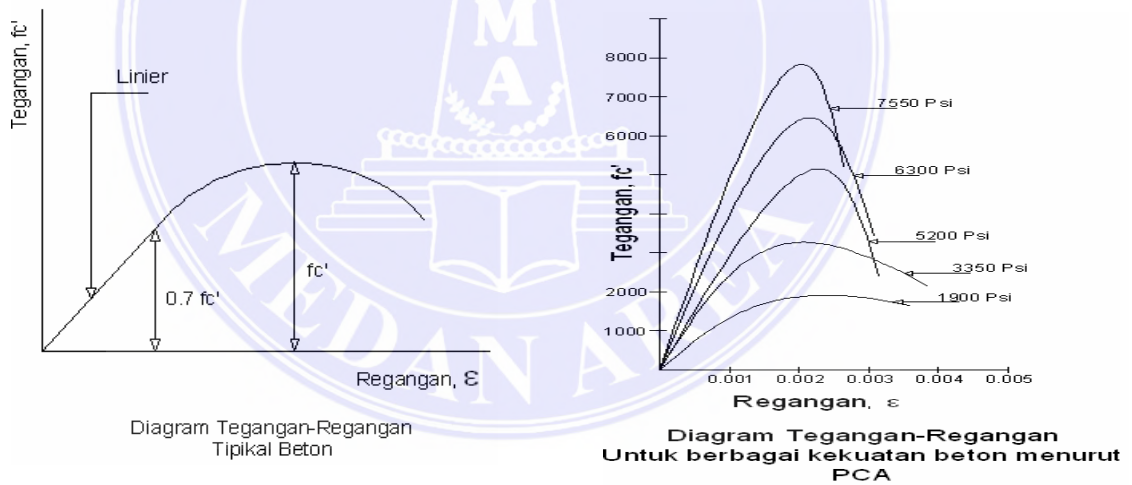
Gambar 2.1 (a) Penempatan tulangan pada daerah tarik, (b) Potongan Penampang  
Sumber : Buku Beton Bertulang, Ali Asroni, 2017

### 2.2.1 Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang memiliki ketahanan yang relatif lebih baik terhadap suhu api yang tinggi dibandingkan dengan jenis bahan lainnya seperti baja dan kayu. Tjokrodimulyo (2002) mengatakan material beton yang baik yaitu beton yang kuat, tahan, padat, tahan air, tahan dalam aus serta kembang dan susutnya relatif kecil. Beton yang keras memiliki sifat yang dapat diklasifikasikan dalam sifat jangka pendek seperti kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, modulus elastisitas yang baik serta sifat jangka panjang seperti rangkai dan susut. Hal ini

dikarenakan material beton merupakan material dengan konduktivitas termal yang rendah, sehingga dapat menghalangi perpindahan panas ke dalam material beton. Oleh karenanya, perencanaan tebal selimut beton tidak terlalu tipis untuk melindungi tulangan dari suhu yang tinggi jika terjadi kebakaran, karena tulangan baja diketahui akan mengalami penurunan kuat/tegangan leleh yang tajam karena suhu yang tinggi.

Elemen beton yang terkena api akan mempengaruhi kuat beton itu sendiri, karena adanya perubahan suhu tinggi serta lama beton terkena paparan panas kebakaran, yang menjadi sebuah perhatian penting yaitu apakah elemen beton tersebut masih mampu menahan gaya yang terjadi dan beban-beban yang berkerja pada elemen beton tersebut seperti pada diagram regangan yang terjadi pada beton dibawah ini:



Gambar 2.2 Diagram Tegangan-Regangan Beton  
 Sumber : Buku Beton Bertulang, Ali Asroni, 2017

**2.2.1.1 Sifat Beton Akibat Suhu Tinggi**

Sifat beton akibat suhu tinggi yang terjadi pada beton sebenarnya baik terhadap beton itu sendiri dikarenakan beton yang mengalami suhutinggi

menyebabkan kadar air pada beton mengalami pengurangan yang drastis, sehingga memperkuat sifat kelekatan antara partikel-partikel yang ada pada beton itu sendiri. Dalam penelitian Wijaya, mengatakan kuat tekan dan kuat lentur beton akan diuji silinder kemudian dipanaskan pada suhu temperatur 200°C dan ditingkatkan sekitar 15%. Secara umum, warna beton yang di panaskan dengan suhu ini akan mengalami perubahan warna gelap atau hitam dan jika dipanaskan dengan suhu yang lebih tinggi sampai pada suhu 600°C beton akan mengalami penurunan kuat tekan serta kuat lentur beton mencapai 50% dari kuat tekan dan lentur beton sebelumnya.

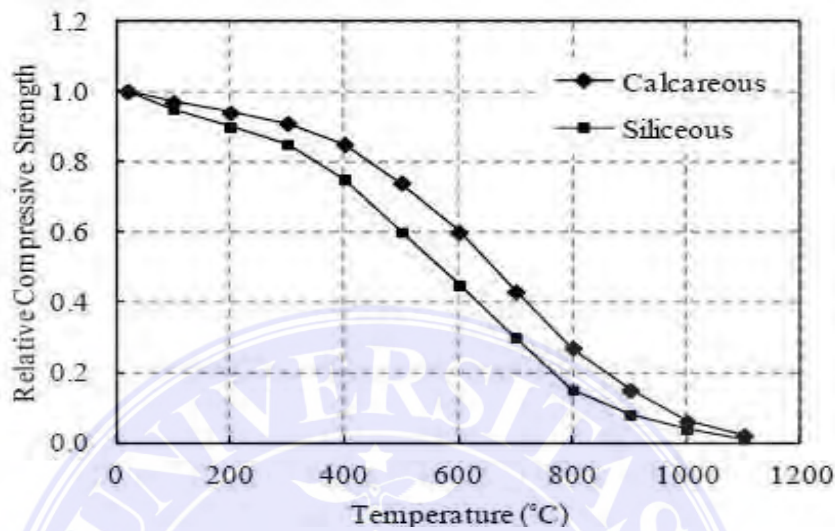
Meningkatnya suhu panas pada beton menyebabkan proses dehidrasi akan mencapai suhu 100°C. Dehidrasi tersebut menghilangkan kelembaban pada beton dan secara tidak langsung meningkatkan daya rekat beton. Proses dehidrasi tersebut selesai pada suhu tinggi yaitu 540°C dan pada suhu panas 450°C sampai pada suhu panas 500°C beton tersebut akan mengalami perubahan fisik beton akan mengembang hingga mengalami keretakan pada permukaan beton tersebut.

Dehidrasi yang sangat besar pada beton akan mengurangi kuat tekan beton itu sendiri akibat suhu yang meningkat drastis dan menyebabkan proses karbonisasi yang membuat beton tersebut mengalami perubahan warna menjadi keputihan sehingga menyebabkan perubahan warna permukaan beton lebih terang pink keputih-putihan.

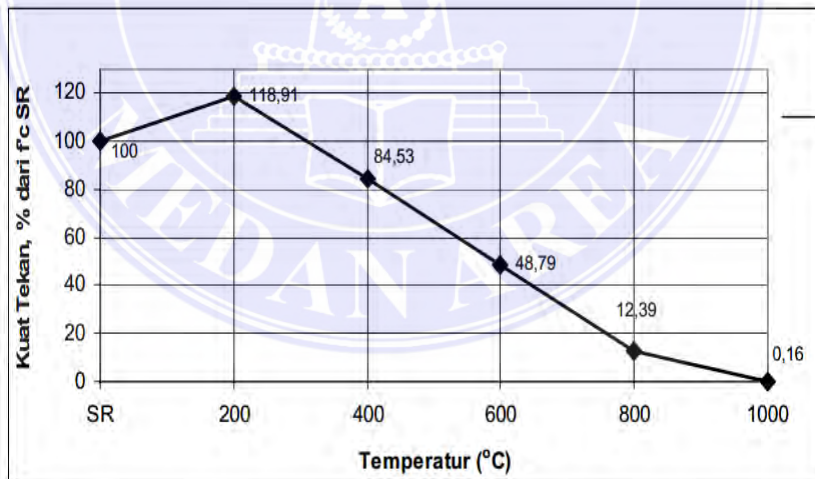
Kuat elemen beton pasca kebakaran akan bervariasi tergantung pada suhu panas yang di alami beton itu sendiri biasanya diambil sebagai batas suhu tinggi



yang kritis pada beton yang mengalami paparan suhu tinggi yaitu 300°C sebagai suhu temperatur kritis pada beton dan memperlihatkan kerusakan yang signifikan.



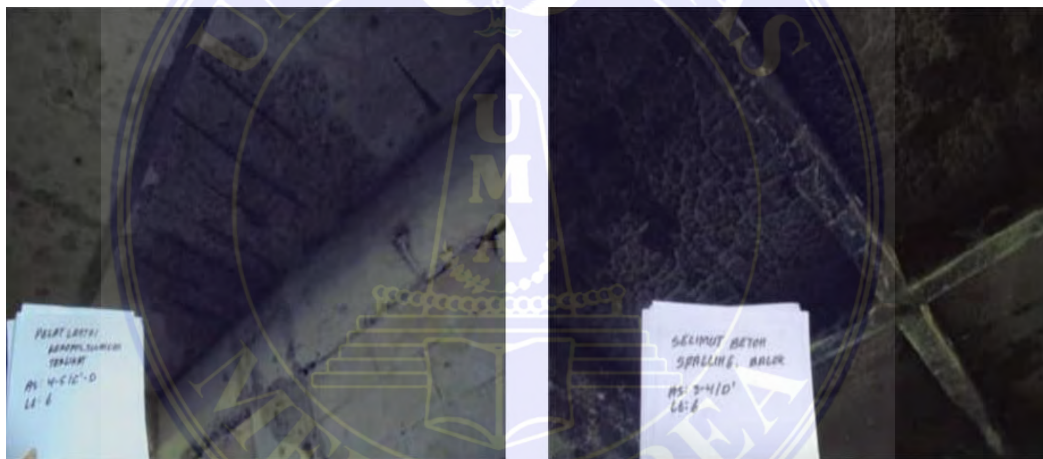
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Suhu dengan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar  
Sumber : Suhendro, 2000



Gambar 2.4 Degradasi kuat tekan beton pada berbagai temperatur  
Sumber : Suhendro, 2000

Pengelupasan (*spalling*) yang dialami oleh lapisan permukaan beton yaitu akibat utama terjadinya kelemahan yang dibagi menjadi beberapa bagian kategori,

pengelupasan akan disertai dengan ledakan dan menyebar, munculnya dalam kurun waktu selama 30 menit pada kebakaran dan secara perlahan pengelupasan pada fisik luar beton terjadi berupa keretakan yang paralel pada permukaan beton yang mengalami pemanasan akibat suhu tinggi dan menyebabkan delamasi lapisan beton, terlepasnya bagian fisik beton dari bagian beton yang lemah, seperti lapisan beton bertulang, agregat, pasta semen dan material beton lainnya menyebabkan munculnya tegangan antara partikel-partikel yang pada umumnya didaerah permukaan beton, penyebab keretakan pada beton yang mengalami kebakaran juga akibat pemadam kebakaran yang mendinginkan beton secara tiba-tiba.



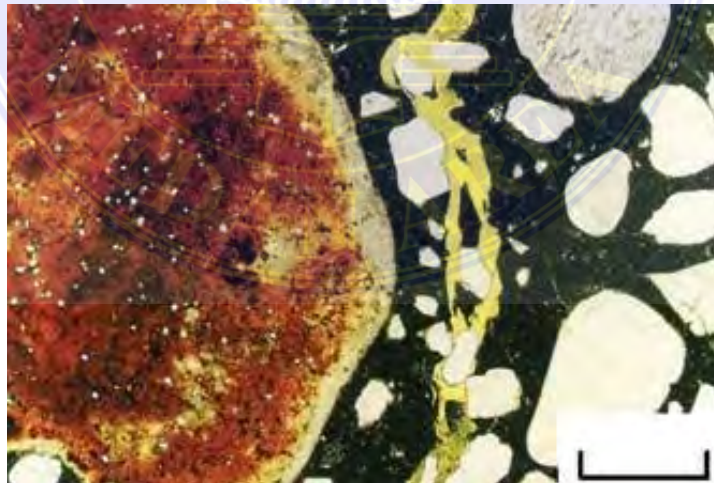
Gambar 2.5 Kerusakan balok pada gedung The Rize Condo pasca kebakaran  
Sumber : Dokumentasi Objek Penelitian

Beton akan mengalami perubahan karena suhu tinggi, yang biasanya dapat dilihat sebagai perubahan warna merah muda kemerahan pada permukaan beton yang terlihat jelas dengan inspeksi atau inspeksi visual, dan biasanya disebabkan oleh suhu tinggi 300 °C, dimana bertepatan pada mulainya proses penurunan kekuatan beton yang sangat signifikan akibat suhu panas tinggi. Untuk pink kemerahan pada permukaan beton adalah ciri khusus dan menjadi kondisi awal

terjadinya pelemahan pada beton itu sendiri. Tidak semua perubahan warna terjadi, karena perubahan fisik pada beton adalah akibat dari kandungan oksida besi dari agregat beton. Biasanya perubahan warna fisik beton pada agregat bergradasi hanya terjadi pada sejumlah kecil campuran batu kapur dan granit.



Gambar 2.6 Kerusakan akibat kebakaran pada suatu elemen balok yang menunjukkan perubahan warna pada agregat pada gedung.  
Sumber : Dokumentasi Objek Penelitian



Gambar 2.7 Kerusakan pada beton kebakaran yang terlihat dengan mikroskop.  
Sumber : J. Ingham, 2009

Gambar di atas menunjukkan keretakan sejajar dengan permukaan fisik luar beton, dan perubahan warna dengan suhu pemanasan antara 300°C hingga 540°C.

Tabel 2.1 Perubahan Secara Kimia Dan Kekuatan Beton Akibat Pemanasan

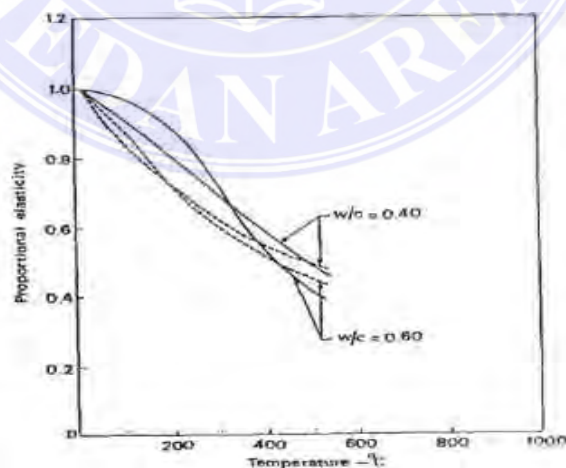
Temperatur yang dicapai °C	Perubahan akibat pemanasan	
	Perubahan Kimia	Perubahan Kekuatan
70-80	Pemisahan awal	Penurunan kekuatan yang minor (<10%)
105	Kehilangan air pada agregat dan matriks semen, dan meningkatnya porositas	
120-163	Dekomposisi gypsum	
250-350	Oksidasi dari kandungan besi menyebabkan terjadinya perubahan warna menjadi pink/merah pada agregat. Kehilangan kadar air pada matriks semen dan meningkatnya degradasi.	Penurunan kekuatan yang signifikan mulai pada suhu 300°C
450-500	Dehidrasi dari bahan pengikat dan perubahan warna menjadi putih dan keabu-abuan	
573	5% kenaikan volume dari kuarsa menyebabkan retak radial di sekeliling butiran kuarsa pada agregat	Beton secara struktural sudah tidak lagi baik digunakan pada suhu melebihi 500-600°C
600-800	Terlepasnya karbondioksida dari karbonat yang akan menyebabkan kerusakan konstruksi beton (dengan beberapa retak mikro pada matriks semen)	

Lanjutan Tabel 2.1

800-1200	Pemisahan dan tegangan akibat suhu yang ekstrim menyebabkan terjadinya disintegrasi penuh pada elemen yang terbakar, menyebabkan beton berwarna putih keabua-abuan dan beberapa retak mikro
1200	Beton mulai meleleh/rontok
1300-1400	Beton telak meleleh/rontok total

Sumber : J. Ingham, 2009

Kuat tekan beton sebelumnya telah diketahui memiliki keterkaitan hubungan dengan modulus elastisitasnya, secara tidak langsung beban pada beton yang terjadi pada suhu panas kebakaran sangat berpengaruh pada modulus elastisitas pada beton, seperti pada gambar diagram dibawah ini yang menunjukkan penurunan modulus elastisitas yang terjadi pada beton. Perubahan yang dimulai suhu diatas 200°C terlihat penurunan yang sangat drastis dan besar yang terjadi pada beton yang mengalami kebakaran dengan suhu diatas 300°C.



Gambar 2.8 Penurunan Modulus Elastisitas Akibat Suhu tinggi

Sumber : Sirait, K.B., 2005

Pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder serta kuat lentur pada benda uji yang diberikan suhu panas 200°C dalam tungku akan mengalami peningkatan sampai 15% jika dibandingkan dengan beton normal yang tidak mengalami pemanasan, perubahan warna juga akan terjadi pada temperatur suhu tinggi dan pada umumnya akan mengalami perubahan warna menjadi hitam gelap.

Kerusakan beton juga dapat disebabkan oleh perbedaan laju pemuaian antara agregat dan pasta demen, yang dapat menyebabkan kerusakan pada *interfacial zone* dan penurunan kekuatan material batuan yang drastis, umumnya angka muai batuan lebih rendah jika dibandingkan dengan pasta semen ketika sampai pada suhu 200°C, pasta semen akan mengalami penyusutan sedangkan batuan akan mengalami pengembangan perbedaan tersebut dapat mengakibatkan keretakan fisik pada beton oleh tekanan uap air atau gas yang terperangkap dalam beton yang mengalami paparan suhu tinggi.

Semakin padat beton semakin mudah mengalami delaminasi karena uap air yang sulit menembus pori-pori beton dan masuk ke bagian beton yang lebih dingin karena temperatur yang tinggi. Penumpukan panas yang relatif cepat mengganggu aliran uap air ke dalam beton dan berpotensi meledak, terutama pada beton berkualitas tinggi, jika penguapan terhalang di pori-pori beton.

### **2.2.1.2 Kekuatan Beton Pasca Kebakaran**

Sumardi (2000) menyatakan, “Kebakaran pada dasarnya adalah reaksi kimia zat yang mudah terbakar dengan oksigen, yang dikenal sebagai reaksi pembakaran termionik. Panas pembakaran ini ditransfer ke beton/massa mortar dengan dua macam mekanisme. Yang pertama adalah radiasi, yaitu permukaan

beton dipanaskan oleh panas radiasi yang diterimanya. Panas pancaran sangat menjanjikan ketika suhu sumber panas relatif tinggi. Yang kedua adalah konveksi, yaitu beton dipanaskan dengan menghembuskan udara panas atau dengan menyentuh permukaan beton. Semakin kuat angin, semakin banyak panas yang ditransfer secara konveksi”.

Perubahan suhu tinggi seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran sangatlah berpengaruh pada elemen-elemen struktur bangunan dikarenakan pada proses tersebut terjadi sebuah siklus yang dimana yaitu pemanasan serta pendinginan yang bergantian akan menyebabkan terjadinya perubahan fase fisis dan fase kimiawi secara kompleks, dalam hal ini akan sangat berpengaruh pada kekuatan beton itu sendiri dan akan menyebabkan beton menjadi *gets* (Wahyuni,E. Dan Angraini,R. 2011).

Pemanasan beton dalam hubungan utamanya dengan sifat muai suhu adalah *spalling* atau kerontokan, dari beberapa tipe agregat seperti silika akan pecah karena terjadinya perubahan struktur kristalnya meskipun pada proses ini hanya terjadi permukaan beton saja, tapi secara individual partikel ini akan terlepas sendiri dan dapat terjadi efek yang serius yaitu kehancuran pada lapisan permukaan beton karena terjadinya pemuaian suhu serta ditambah oleh tekanan akibat uap air yang terjadi akibat suhu panas tinggi beton akan mengalami keretakan bahkan juga pada beton massif dan tergantung pada lamanya terjadinya kebakaran. Beton yang mengalami suhu tinggi pada 1000°C selama kurun waktu 1 sampai 2 jam beton tersebut tidak dapat lagi menjadi fungsi material struktur, hal ini dapat ditandai dengan luasnya keretakan bahkan pengelupasan pada tulangan utama struktur.

Struktur gedung yang mengalami kebakaran akan pula mengalami penurunan kualitas beton bahkan kerusakan yang bervariasi, dari kerusakan ringan sampai pada kerusakan yang paling berat tergantung pada temperatur suhu tinggi yang dialami beton itu sendiri. Untuk mengetahui seberapa kerusakan yang terjadi akibat kebakaran tersebut dapat dilakukan beberapa penelitian yaitu:

#### 1. Survey Visual

Perubahan fisik pada permukaan beton yang mengalami kebakaran akan mengalami perubahan secara objektif:

- a) Dalam mendeteksi temperatur suhu tinggi yang dialami beton dengan cara melihat perubahan warna pada permukaan beton.
- b) Keretakan pada permukaan beton dapat mendeteksi temperatur suhu tinggi yang dialami beton itu sendiri.
- c) Penentuan kekuatan dan kekakuan beton, serta temperatur tinggi yang pernah dialaminya dapat diketahui melalui adanya deformasi plastis pada elemen struktur.
- d) Untuk mendeteksi temperatur suhu tinggi yang dialami beton dapat juga dilihat dengan adanya pengelupasan/*spalling* pada selimut beton.

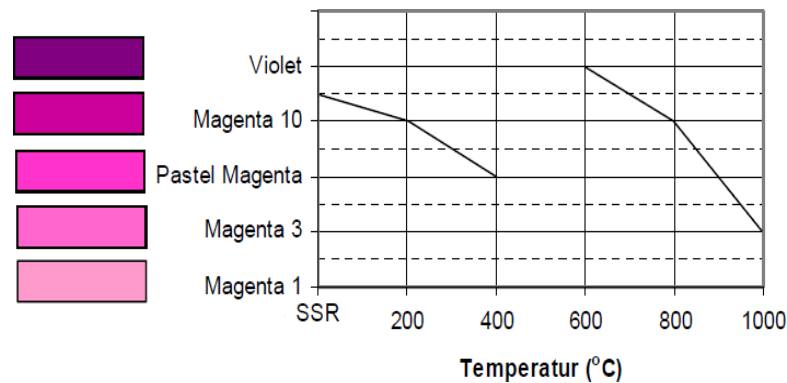
#### 2. *Non-destructive* test (uji tidak merusak)

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah hammer rebound test. Cara ini adalah yang paling sederhana, paling mudah dan paling mudah untuk dilakukan. Jarak pantul dari massa terkalibrasi yang menimpa permukaan beton yang diuji (di bawah aksi pegas) digunakan sebagai ukuran kekerasan beton. Kedua, kekerasan beton berhubungan dengan kuat tekan beton normal, jadi jika



kekerasan beton tidak berhubungan dengan kuat tekan beton normal, hasil pengujian menggunakan alat ini ditampilkan satu per satu. Perlu disesuaikan. Alat ini mengasumsikan bahwa beton cukup homogen, sehingga alat ini tidak dapat menunjukkan adanya perubahan kualitas beton di dalamnya. Semakin banyak stasiun yang Anda miliki, semakin baik hasilnya.

Selain menggunakan alat-alat di atas, juga dapat dilakukan pengujian non-destruktif dengan melakukan pengujian kimia. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara unsur-unsur kimia yang terkandung dalam beton, khususnya kapur bebas (CaO) dengan temperatur yang dialami beton. Mengetahui temperatur beton dapat memprediksi kuat tekan beton. Pengamatan kimia digunakan untuk membandingkan dengan hasil uji fisik. Tes Phenolphthalein (PPTest) dapat digunakan untuk tes ini. Fenolftalein adalah indikator kimia yang biasa digunakan untuk menentukan keasaman atau alkalinitas suatu zat dengan menerapkan/menjatuhkan fenolftalein ke subjek untuk menyebabkan reaksi warna. Jika warna berubah saat diterapkan, itu berarti bahan yang diuji bersifat basa, dan jika warnanya tidak berubah, berarti bahan yang diuji bersifat asam. Menurut Parker (Triwiyono, 2000), kisaran PK fenolftalein adalah 8,4-10, ditunjukkan dengan respon warna. Merah sangat gelap (ungu 3) hingga merah sangat terang (magenta 1). Untuk membuat indikator, larutkan dalam 50 ml (atau 100 ml) alkohol murni untuk setiap gram fenolftalein.



Gambar 2.9 Indikator warna dengan phenolftalein terhadap temperatur  
Sumber : Triwiyono, 2000

### 3. *Semi Destructive Test*/Uji semi merusak

Pengujian dilakukan dengan mengambil sampel menggunakan bor coring (diameter 10 cm) dan coring box (diameter 5 cm), kemudian sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik dan kimia untuk memperkirakan temperatur maksimum (Tjokrodimulyo, 2000). Oleh karena itu pengambilan sampel dengan bor coring/coring box tidak akan memotong tulangan pada beton, gunakan profometer untuk menentukan letaknya. Selain itu, sampel tulangan juga diambil dari beton dan dibawa ke laboratorium untuk diuji kuat tarik ( $f_y$ ).

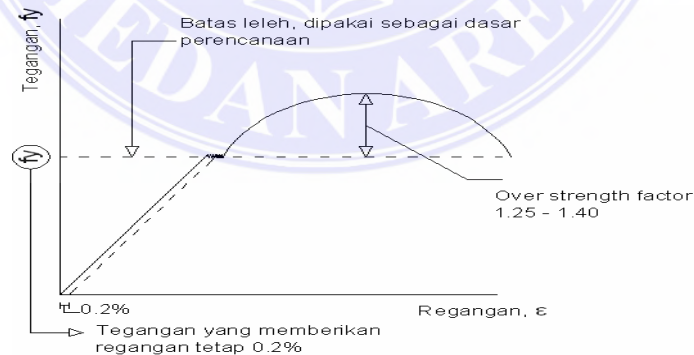
### 4. *Full Scale Loading Test* (Uji pembebanan skala penuh)

Untuk mendapatkan perkiraan kekuatan yang lebih pasti, jika perlu, lakukan pengujian beban skala penuh dari komponen struktur paling parah secara langsung di lapangan, hingga 2 kali beban desain, dan catat di beberapa titik kritis, perkiraan kekuatan yang tersisa, kekakuan, stabilitas dan batas respon elastis, baik statis menggunakan beban reservoir atau dinamis menggunakan ejektor mekanis (jika diperlukan).

Ada 5 prinsip yang harus disertakan dalam melakukan penelitian lapangan: penelitian lapangan, pengetahuan tingkat kerusakan, pengujian laboratorium, pengamatan dari hasil laboratorium dengan tingkat kerusakan, dan evaluasi non-destruktif (A. Boenig, 2009).

### 2.3 Baja Tulangan

Beton tidak dapat menahan gaya tarik di atas nilai tertentu tanpa retak. Oleh karena itu, agar beton dapat berfungsi dengan baik dalam suatu sistem struktur, maka harus didukung oleh tulangan yang terutama melakukan tugas menahan gaya-gaya tarik yang terjadi pada sistem tersebut. Sifat fisik yang paling penting dari baja batang untuk perhitungan beton bertulang adalah kekuatan luluh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ). Kekuatan luluh adalah tegangan baja dimana kenaikan regangan tidak lagi disertai dengan kenaikan tegangan, sedangkan modulus Young ditentukan dari kemiringan awal kurva tegangan-regangan. (Lihat gambar di bawah):



Gambar 2.10 Diagram Regangan – Tegangan Baja  
 Sumber : Tjokrodimulyo, 2000

Makin besar  $f_y$ , makin kecil  $\epsilon \rightarrow$  Baja keras  $\rightarrow$  bersifat getas

Makin kecil  $f_y$ , makin besar  $\epsilon \rightarrow$  Baja lunak  $\rightarrow$  bersifat liat (daktail)

## 2.4 Perhitungan Struktur

### 2.4.1 Peraturan Perhitungan Kekuatan Struktur

- a. Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung (SNI 1726 – 2012).
- b. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847 – 2013).
- c. Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727 – 2013).
- d. Spesifikasi untuk banhunan gedung baja struktural (SNI 1729 – 2015).
- e. Standar dan tata cara perhitungan struktur untuk bangunan gedung (SKSNI T-15-1991-03).
- f. Pedoman peraturan pembebanan untuk rumah dan gedung 1987.
- g. Persyaratan Kode Bangunan untuk Beton Struktural (ACI 318 – 99) dan (ACI 318R – 99).
- h. Bulding code requerements for reinforced concrete, American Concrete institute 1995. (ACI 318M-95).
- i. Software aplikasi yang digunakan dala perancangan struktur adalah software SAP 2000 ink 14.1.0.
- j. Pedoman perencanaan pembebanan untuk gedung (SKBI-1.3.53.1987)
- k. Peraturan beton bertulang indonesia 1971
- l. Pedoman perencanaan bangunan baja indonesia (PPBBI-1987).

### 2.4.2 Pembebanan

Pembebanan pada struktur bangunan adalah beban yang berkerja pada tiap elemen-elemen struktur pada gedung yang meliputi beban mati (dead load) dan

beban hidup (live load). Beban mati yaitu segala jenis berupa material serta bahan-bahan dan alat-alat yang tidak dapat di pisahkan dari struktur tersebut. Beban hidup berupa beban bergerak yang dapat berpindah-pindah pada struktur seperti penghuni pada struktur bangunan tersebut. Beban-beban tersebut harus mengacu pada peraturan pembebanan struktural sesuai dengan tabel persyaratan dan peraturan pembebanan dibawah ini:

Tabel 2.2 Peraturan Beban Mati Berdasarkan Bahan Material Bangunan

<b>Bahan bangunan</b>	<b>Besarnya beban</b>
Baja	7.858 kg/m <sup>3</sup>
Batu alam	2.600 kg/m <sup>3</sup>
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m <sup>3</sup>
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m <sup>3</sup>
Batu pecah	1.450 kg/m <sup>3</sup>
Besi tuang	7.250 kg/m <sup>3</sup>
Beton	2.200 kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang	2.400 kg/m <sup>3</sup>
Kayu (kelas 1)	1.000 kg/m <sup>3</sup>
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu merah	1.700 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu karang	1.450 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.650 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m <sup>3</sup>
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung, dan lanau (basah)	2.000 kg/m <sup>3</sup>
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m <sup>3</sup>

Sumber: PPURG 1987 halaman 5

Tabel 2.3 Peraturan Berat Beban Mati Komponen Struktur Gedung

<b>Komponen gedung</b>	<b>Besarnya beban</b>
Adukan per cm tebal dari semen	21 kg/m <sup>2</sup>
Adukan per cm tebal dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m <sup>2</sup>
Aspal termasuk bahan-bahan mineral penambah per cm tebal	14 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan bata merah satu batu	450 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan bata merah satu batu	250 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 20 cm	200 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 10 cm	120 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal dinding 15 cm	300 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal dinding 10 cm	200 kg/m <sup>2</sup>
Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m <sup>2</sup>
Kaca dengan tebal 3-5 mm	10 kg/m <sup>2</sup>
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	50 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	40 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25)	10 kg/m <sup>2</sup>
Punutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m <sup>2</sup>

Sumber: PPURG 1987 halaman 5 sampai dengan 6

Tabel 2.4 Peraturan Beban Hidup Pada Lantai Gedung

<b>Beban hidup pada lantai gedung</b>	<b>Besarnya beban</b>
Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam	200 kg/m <sup>2</sup>
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m <sup>2</sup>
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ruang olahraga	400 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ruang dansa	500 kg/m <sup>2</sup>
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan lain-lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pegelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m <sup>2</sup>
Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500 kg/m <sup>2</sup>
Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam c	300 kg/m <sup>2</sup>
Tangga, bordes tangga, gang yang disebut dalam d, e, f, dan g	500 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ruang pelengkap yang disebut dalam c, d, e, f, dan g	250 kg/m <sup>2</sup>
Lantai untuk pabrik, bengkel; gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri, dengan minimum	400 kg/m <sup>2</sup>
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah	800 kg/m <sup>2</sup>
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m <sup>2</sup>
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap lantai hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300 kg/m <sup>2</sup>

Sumber: PPURG 1987 halaman 12

Pembebanan pada struktur bangunan dalam perencanaan pembebanan harus mengacu pada persyaratan peraturan pembebanan di atas, adapun pembebanan yang meliputi beban kombinasi pada struktur gedung yang saling berkerja.

Kombinasi pembebanan :

1.  $1.4D$
2.  $1.2D + 1.6L + 0.5$
3.  $1.2D + 1.6$
4.  $1.2D + 1.0W + L + 0.5$
5.  $1.2D + 1.0E + L + 0.25$
6.  $0.9D + 1.0W$
7.  $0.9D + 1.0E$

## 2.5 Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur gedung yaitu dengan pertemuan antara frame elemen struktur antara balok dan kolom.

### 2.5.1 Balok

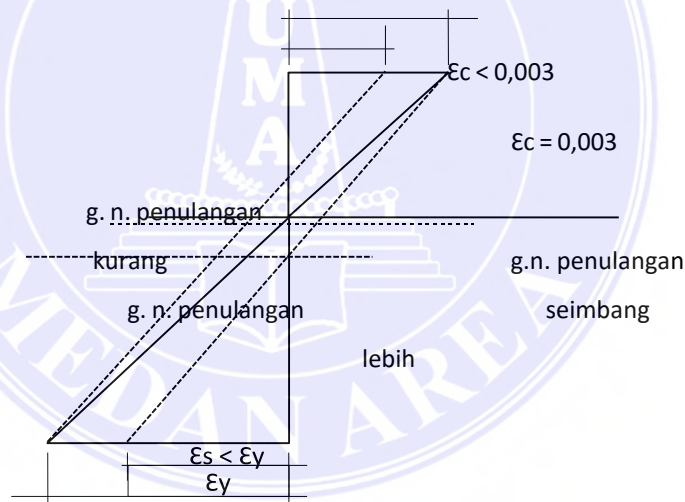
Balok adalah salah satu elemen struktural yang paling umum dalam struktur apa pun. Balok, juga dikenal sebagai bagian lentur, adalah bagian struktural utama yang meneruskan gaya dalam bentuk momen lentur dan geser. Balok dirancang untuk menahan tegangan tekan dan tarik akibat beban pada balok. Karena kuat tekan dan kuat tarik balok berbanding terbalik, kuat tekan balok tinggi dan kuat tarik beton rendah. Ada tiga syarat untuk memperkuat beton bertulang:

1. Penampang beton bertulang seimbang, kondisi penampang di mana garis netral diatur sehingga tegangan tekan yang diijinkan beton dan tegangan tarik yang



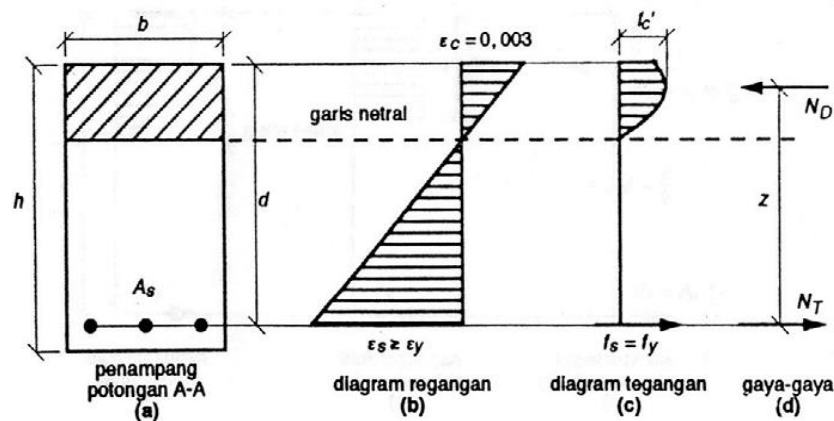
dijinkan dari baja tercapai pada saat yang bersamaan.

2. Bagian bawah tulangan, Penampang yang menutupi luas total tulangan yang dikencangkan lebih kecil dari penampang ideal tulangan, sehingga posisi garis netral naik saat serat ujung terkompresi mendekat dan beban maksimum mencapai gaya tarik yang diizinkan. Tegangan baja hingga tegangan tekan beton yang diizinkan.
3. Pada penampang yang diperkuat lebih, penampang yang berisi lebih banyak luas total tulangan tarik daripada penampang yang diperkuat ideal, posisi garis netral diturunkan di dekat serat tepi tarik dan beban maksimum memberikan tegangan ijin tekan. Beton sebelum tegangan tarik yang diizinkan dari baja.



Gambar 2.11 Gambar Variasi Letak Garis Netral  
Sumber : Istimawan Dipohusodo, 2011

Kuat tekan beton pada penampang seperti pada gambar tegangan-tegangan dan renggangan beton yang terjadi dibawah ini :



Gambar 2.12 Gambar tungan distribusi renggangan pada beton tekan.  
Sumber : Istimawan Dipohusodo, 2011

Bentuk distribusi tegangan adalah kurva dengan nol pada garis netral, dan beton mutu yang berbeda akan memiliki kurva yang berbeda. Dapat dilihat bahwa tegangan maksimum, tegangan tekan  $f_c'$ , sedikit di dalam serat, bukan di ujung tekan luar.

Proses balok memikul beban sedemikian rupa sehingga regangan tekan lentur maksimum ( $\epsilon'_{bmax}$ ) beton mencapai 0,003 dan tegangan tarik tulangan mencapai kekuatan leleh  $f_y$ . Dalam hal ini, penampang dikatakan telah mencapai keseimbangan regangan atau dikatakan sebagai penampang tulanganseimbang. Oleh karena itu, ini juga berarti bahwa keadaan hancur tertentu dapat diperoleh dalam proses produksi beton yang mengandung baja dalam jumlah tertentu.

## 2.5.2 Faktor Reduksi Untuk Kekuatan Balok

Kekuatan tak tentu bahan struktur akibat beban yang diberikan pada elemen struktur diambil sebagai faktor reduksi kekuatan, yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 SNI 03-2847-2002 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Faktor Reduksi Kekuatan (SNI 03-2847-2002, Hal 61-62)

No	Kondisi Gaya	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1	Lentur, tanpa beban aksial	0,80
2	Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,80
3	Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :	
	- Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,70
	- Komponen struktur lainnya	0,65
4	Geser dan Torsi	0,75
5	Geser pada komponen struktur penahan gempa	0,55
6	Geser pada hubungan balok kolom pd balok perangkai	0,80
7	Tumpuan beton kecuali daerah pengangkuran pasca Tarik	0,65
8	Daerah pengangkuran pasca tarik	0,85
9	Lentur tanpa beban aksial pd struktur pratarik	0,75
10	Lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos struktural	0,55

Sumber : SNI 03-2847-2002

Kuat momen dinyatakan dengan momen-momen yang digunakan  $M_R$  atau kapasitas momen sama dengan kuat momen ideal  $M_N$  dikalikan dengan faktor  $\phi$ .

$$M_R = \phi M_N$$

### 2.5.3 Analisis Balok

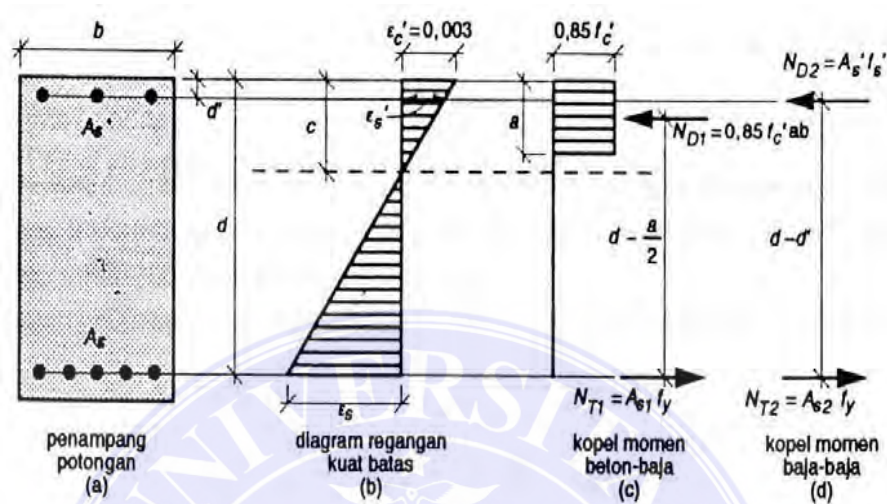
Kapasitas momen balok dianalisis secara manual hingga mencapai 0,75 b.p. penguatan tarik. Dengan kata lain, ini adalah metode yang mengabaikan jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan dengan kekuatan baja melebihi 75 °.

Tulangan rangkap juga dapat meningkatkan modulus penampang balok. Hal ini dapat dilakukan dengan menambahkan tulangan dan menambahkan baja pada daerah tekan penampang balok melebihi batas maksimum. Hasilnya adalah tulangan rangkap dengan tulangan tarik ditempatkan di zona tarik dan tulangan tekan ditempatkan di zona tekan. Dalam hal ini, ini berarti bahwa tulangan tekan membantu meningkatkan kekuatan balok.

Namun cara tersebut terbukti kurang efisien dibandingkan dengan keuntungan yang diperoleh, dari berbagai penggunaan tulangan tekan dalam meningkatkan kekuatan lentur penampang terutama ditinjau dari segi ekonomi tulangan dan pelaksanaannya. Telah. Secara umum, pengurangan ukuran balok sulit dipasang karena menimbulkan masalah defleksi dan membutuhkan lebih banyak tulangan geser di daerah tumpuan. Penambahan tulangan tekan yang tujuan utamanya untuk meningkatkan kekuatan lentur suatu penampang biasanya jarang dilakukan kecuali dalam keadaan darurat. Evaluasi balok ganda akan menemukan dua kasus umum. Yang pertama adalah ketika beton mencapai regangan maksimum 0,003, tulangan tekan akan menyerah pada tulangan tarik. Sedangkan kasus kedua adalah ketika tulangan tarik luluh dan beton mencapai regangan 0,003, tulangan tekan belum luluh.

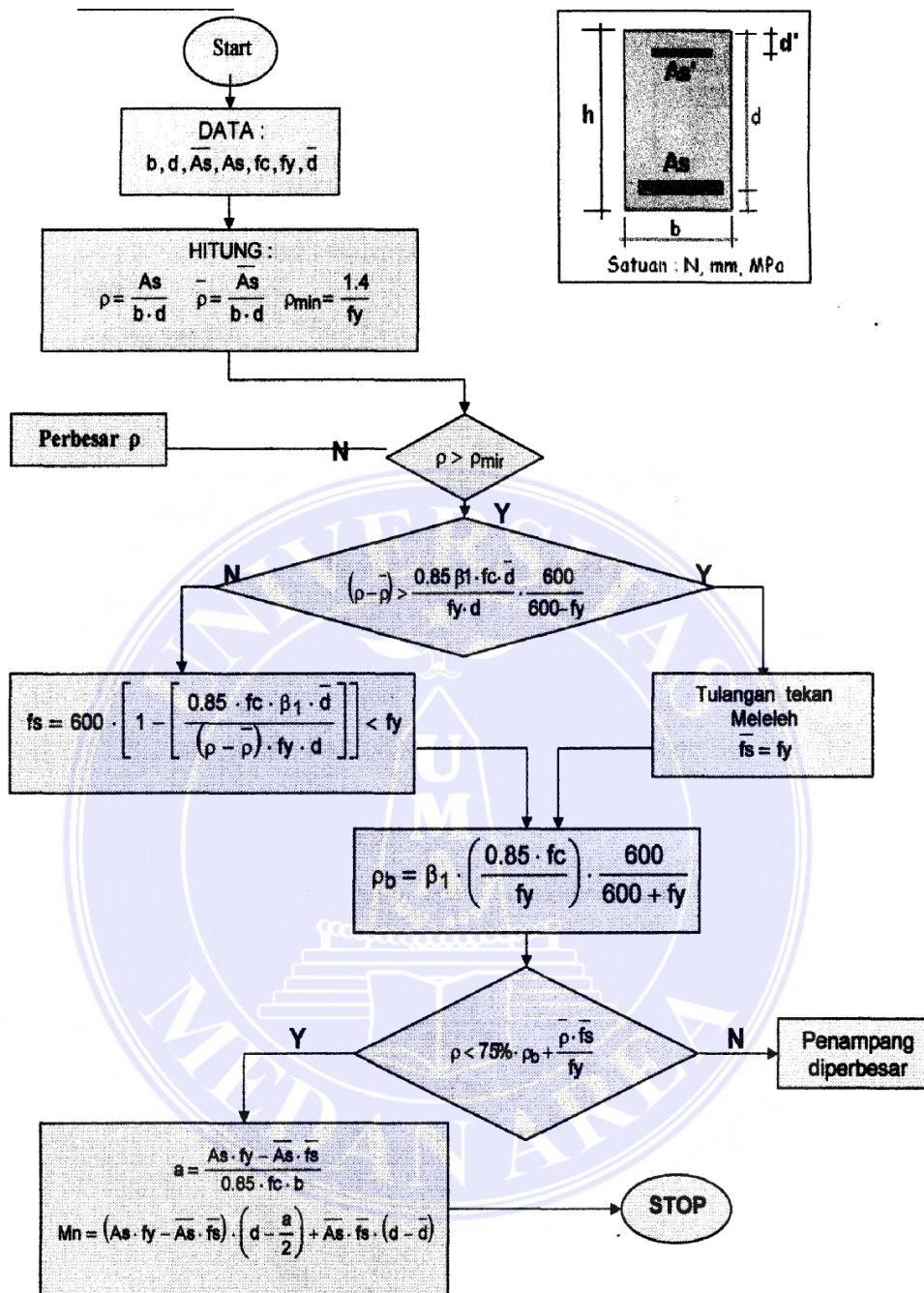
Jika regangan tekan ( $\epsilon$ ) baja lebih besar atau sama dengan regangan pada leleh ( $f_y$ ), batas maksimumnya adalah bahwa tegangan tekan baja sama dengan tegangan leleh ( $f_y$ ). Sebaliknya, jika regangan baja yang dihasilkan lebih kecil dari regangan leleh, tegangan tekan baja akan menjadi  $f_s = f_s \cdot E_s$ . dimana  $E_s$  adalah

modulus elastisitas baja. Pencapaian masing-masing kondisi ini tergantung pada garis lintang bagian.



Gambar 2.13 Gambar Analisis Balok Bertulangan Rangkap  
Sumber : Istimawan Dipohusodo, 2011

Langkah – langkah mengevaluasi balok bertulang rangkap ditunjukkan pada flow chart berikut ini :



Gambar 2.14 Analisis Balok  
 Sumber : Istimawan Dipohusodo, 2011

## 2.6 Klasifikasi kerusakan yang terjadi pada beton pasca kebakaran

Pengamatan yang dilakukan terhadap berbagai kasus kerusakan gedung pasca bakar, dapat dikelompokkan menjadi:

### a. Kerusakan beton ringan

Kerusakan ini memanifestasikan dirinya sebagai pengelupasan plester beton eksternal dan perubahan warna hitam pada permukaan karena asap, yang mungkin disertai dengan retakan pada plester.

### b. Kerusakan beton sedang

Kerusakan ini berupa retakan kecil (kedalaman kurang dari 1 mm) pada bagian luar beton pada garis-garis yang sempit dan tidak terlalu panjang dengan pola melebar. Karena kenaikan suhu, agregat mengembang, dan ketika suhu kembali ke ukuran semula, ukuran agregat kembali ke ukuran aslinya. Pada saat yang sama, mortar hanya memuai hingga suhu  $200^{\circ}\text{C}$ , kemudian menyusut, berlanjut ke suhu normal. Adanya perbedaan sifat pemuaian ini dapat menimbulkan tegangan lokal pada batas kedua bahan, dan jika tegangan ikat terlampaui dapat terjadi keretakan atau bahkan spalling. Retakan ini disebabkan oleh susut beton saat terjadi kebakaran.

### c. Kerusakan beton berat

Celah yang muncul datang dalam dimensi yang lebih dalam dan lebih luas, baik sendiri-sendiri maupun berkelompok. Jika terjadi pada balok, terkadang disertai dengan pinjaman yang dapat dilihat dengan mata telanjang.

### d. Kerusakan beton total

Beton retak atau terkelupas sehingga tulangan terlihat, dan ada kerusakan yang

cukup untuk menghancurkan beton inti sampai tulangan patah atau bengkok.

## 2.7 Evaluasi struktur gedung dengan menggunakan Software SAP 2000

Tahapan evaluasi struktur gedung dengan menggunakan aplikasi software SAP 2000 versi 14.1.0 yaitu dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan kualitas beton dan tulangan dengan Satuan MPa sesuai dengan Nmm, jadi pertama-tama ubah satuan menjadi Nmm lalu masukkan datanya ke *define-Material-Concrete-Modify/Show Material*.

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The dialog is divided into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color is set to 'CONC'. Material Type is set to 'Concrete'. There is a 'Modify/Show Notes...' button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is 2.354E-05. Mass per Unit Volume is 2.399E-09. Units are set to 'N, mm, C'.
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 18203.022. Poisson's Ratio, U is 0.2. Coefficient of Thermal Expansion, A is 9.900E-06. Shear Modulus, G is 7584.5924.
- Other Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub> is 15. There is a checkbox for 'Lightweight Concrete' which is unchecked. There is a field for 'Shear Strength Reduction Factor' which is empty.
- At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' which is unchecked, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

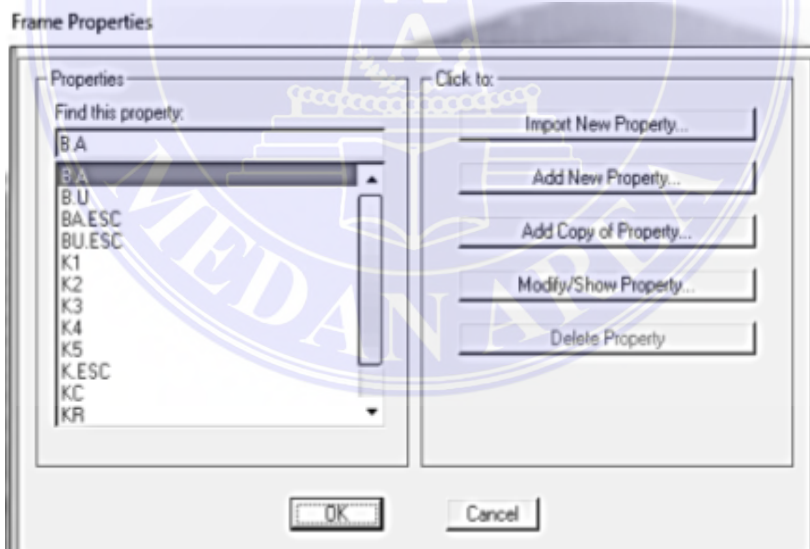
Gambar 2.15 Input Data Balok  
Sumber : Progran SAP 2000





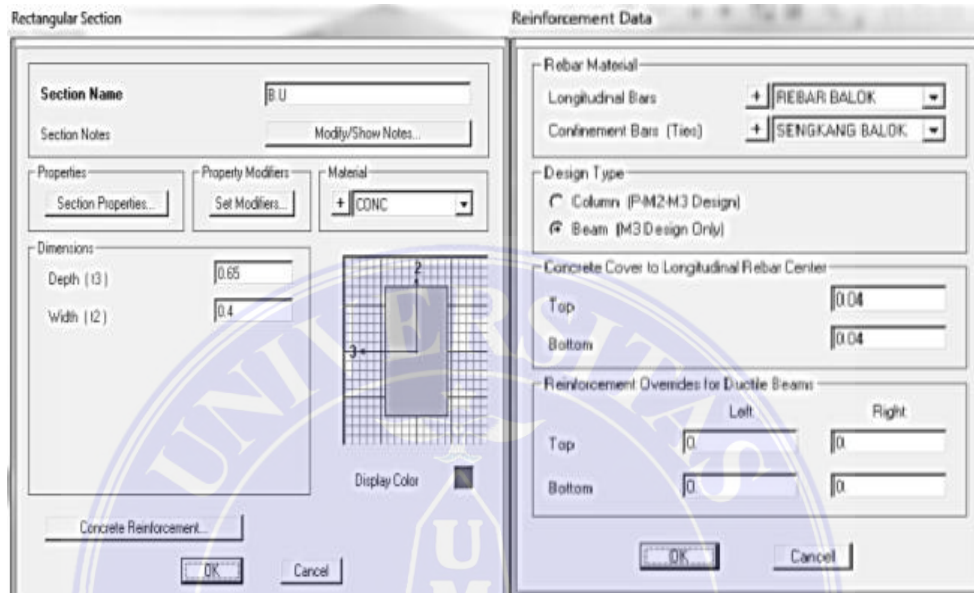
Gambar 2.16 Input Data Tulangan Balok  
Sumber : Progran SAP 2000

2. Penginputan material penampang *Define-Section Properties-Frame Sections*.



Gambar 2.17 Input Data Material  
Sumber : Progran SAP 2000

3. Pemodelan Penampang struktur bangunan *Define-Frame Sections-Add Rectangular*.

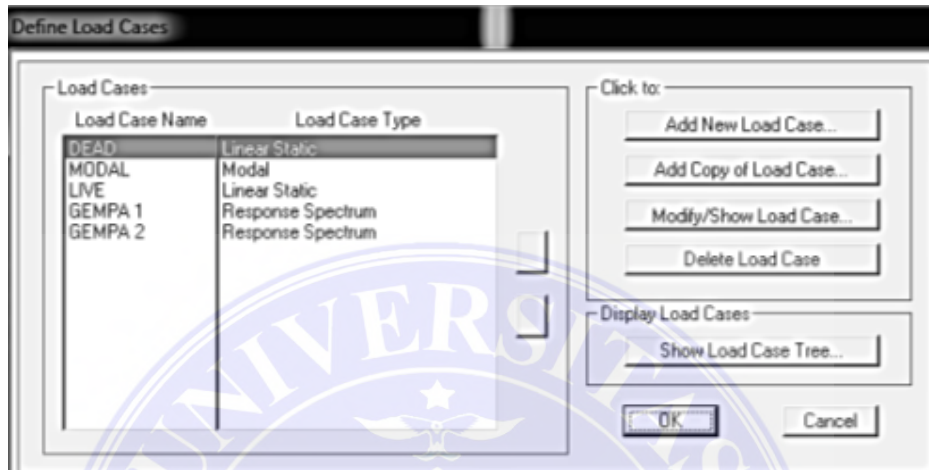


Gambar 2.18 Input Data Penampang  
Sumber : Program SAP 2000

4. Penginputan beban-beban pada pemodelan *Assign-Frame Loads-Distributed*
- Beban dimasukkan sebagai beban terdistribusi Berat penampang itu sendiri juga diperhitungkan.
- SAP 2000 akan melakukan perhitungan *self-weight* secara otomatis (*default*) dengan parameter *self-weight multiplier* = 1.
  - Beban dinding 780 kg/m<sup>3</sup> (gunakan bata ringan pada semua balok primer dan sekunder. Tebal 15 cm, beban = 0,468 t/m').
  - Beban mati sebesar 100 kg/m untuk pelat atap dan 100 kg/m untuk pelat lantai.
  - Menurut PBI 1981, beban hidup lantai sebuah department adalah 250 kg/m.

e) Zona Pemikul diambil pada beban seismik II (SNI - 1726 - 2002)

5. Berikutnya dengan mendefenisikan jenis-jenis beban, *Define-Load Case-Define Load*



Gambar 2.19 Input Data Pembebanan  
Sumber : Progran SAP 2000

- Mendefenisikan kombinasi pembebanan dengan *Define-Load Combination*.
- Pembebanan tersebut kemudian diinput pada frame yang telah di tentukan sebelumnya serta menseleksi area frame yang akan diberikan pembebanan dengan cara *Assign-Frame Loads*.
- Kemudian pada tahap terakhir dengan melakukan analisa model *Running* dengan memilih menu *Analyze-Run Analysis-Run Now* kemudian pastikan tidak ada frame yang overloads atau warning pada tampilan SAP 2000.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini penulis memperoleh data dengan cara pengumpulan data sekunder dari pihak pengelola bangunan gedung The Riez Condominium Medan. Adapun data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Lokasi Bangunan Gedung The Riez Condominium Medan
2. Data informasi bangunan
3. Data sistem struktur
4. Data hasil pengujian Core Drill, UPV Test dan Hammer Test
5. Hasil Pengujian Uji Tarik Statis
6. Hasil Survey Leveling dan Lendutan
7. Hasil Pengamatan Visual
8. Data Konfigurasi Bangunan

#### **3.2 Sistem Pengelolaan Data**

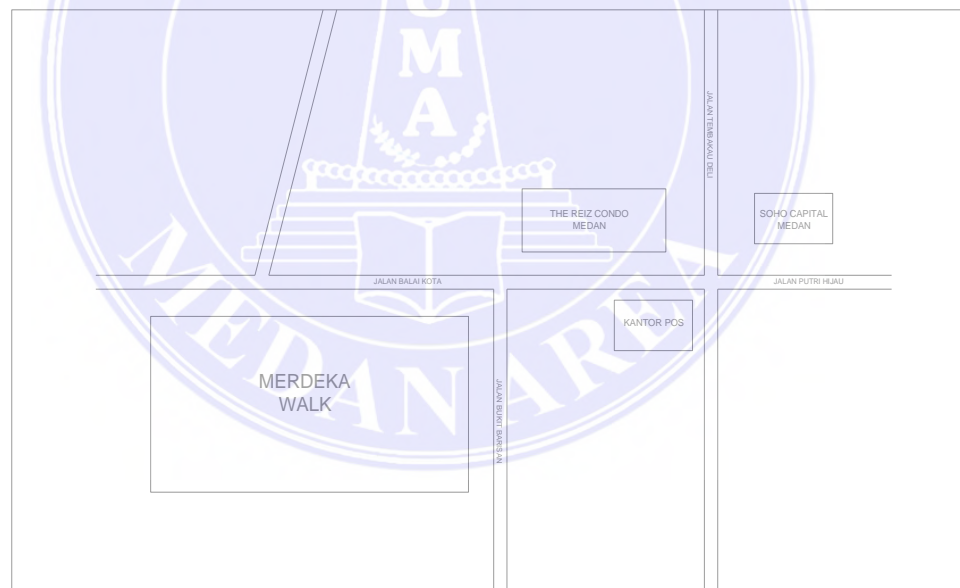
Sistem pengelolaan data dalam penelitian ini dengan mengevaluasi struktur balok pasca kebakaran dengan menggunakan software SAP 2000 versi 14.1.0. Pengelolaan data dengan menginput data-data yang dibutuhkan dalam software SAP 2000 versi 14.1.0 untuk mengevaluasi kekuatan struktur balok pasca kebakaran dalam memikul beban.

### 3.3 Data Struktur Gedung

Penelitian ini mengambil data-data yang diperoleh penulis dari pihak pengelola bangunan gedung The Reiz Condominium Medan, sebagai landasan kebutuhan dalam mengevaluasi struktur balok pasca kebakaran. Data-data tersebut adalah sebagai berikut :

#### 3.3.1 Data Lokasi Bangunan Gedung The Reiz Condominium Medan

Penelitian ini penulis mengambil objek penelitian pada, bangunan Gedung The Reiz Condominium yang berlokasi di Jalan Tembakau Deli, Medan Sumatera Utara.



Gambar 3.1 Lokasi Bangunan Gedung The Reiz Condominium Medan

Sumber : *Software autocad*

### 3.3.2 Data Informasi Bangunan

Berdasarkan informasi yang di peroleh dari tim Waskita Karya pada proyek The Reiz Condominium bahwa bangunan ini mengalami kebakaran adalah sebagai berikut:

- a. Area yang mengalami kebakaran adalah lantai P6 (As 1-6/A-F)
- b. Kebakaran terjadi pada siang sekitar pukul 13:00-15:00 WIB (sekitar  $\pm$  2 jam) dan pukul 15:30 WIB proses pendinginan.
- c. Fungsi area yang terbakar adalah gedung penyimpanan material sanitair, *hardware* aksesoris pintu kayu, dan homogeneous tile (keramik).
- d. Bangunan memiliki jumlah tingkatan lantai yaitu 23 lantai tower berfungsi sebagai hunian dan 5 lantai podium berfungsi sebagai parkir.
- e. Fungsi Lt. P6 direncanakan areanya parkir sementara lantai 6 (struktur pelatnya terdampak kebakaran signifikan) sebagai area hunian/unit, taman dan kolam renang (beda level).

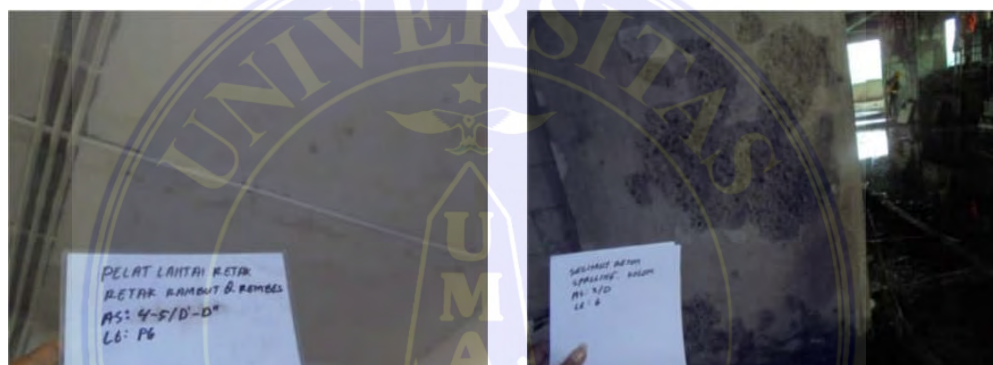
Adapun dokumentasi visual situasi area kebakaran dan area struktur P6 dan Lt. 6 yang terdampak adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Visual Area Kebakaran  
Sumber : Dokumentasi Survey Lapangan



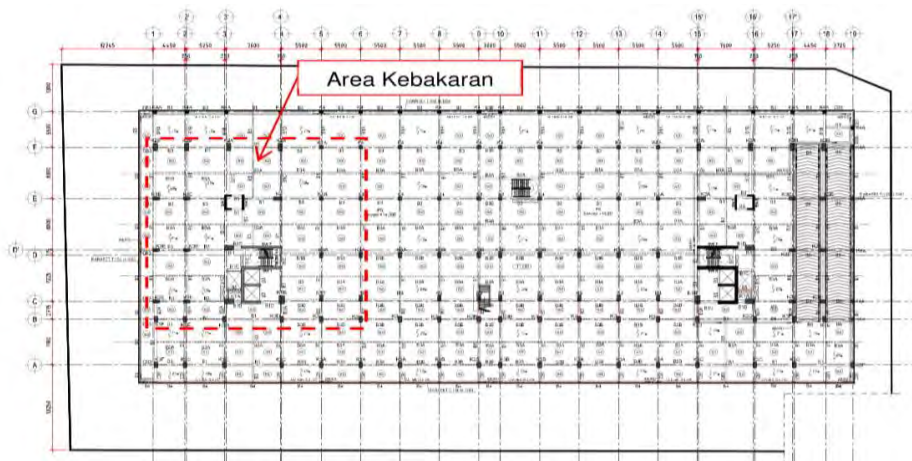
Gambar 3.3 Visual Area Struktur Lt. 6 Terdampak Kebakaran  
Sumber : Dokumentasi Survey Lapangan



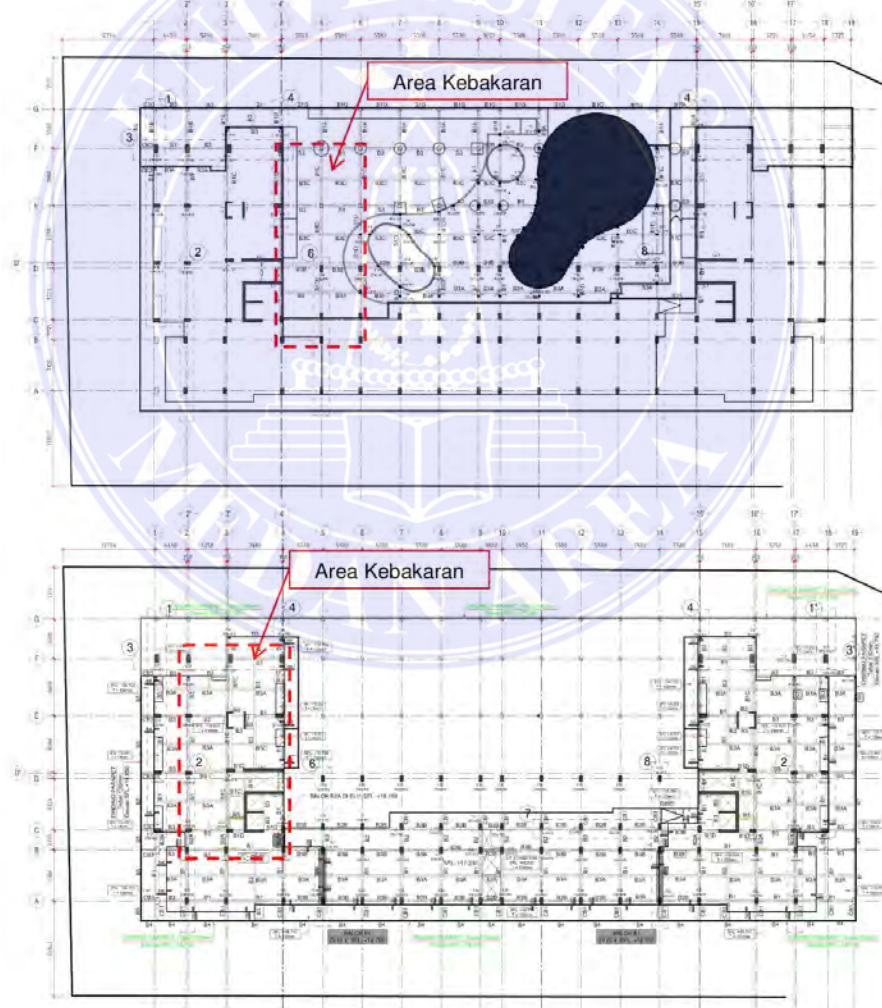
Gambar 3.4 Visual Area Struktur Lt. P6 Terdampak Kebakaran  
Sumber: Dokumentasi Survey Lapangan

### 3.3.3 Data Sistem Struktur

Sistem struktur gedung ini adalah struktur beton bertulang. Gedung The Reiz Condo ini menggunakan konstruksi struktur beton konvensional (pelat lantai, kolom, *shear wall*, balok dan pondasi). Menggunakan konfigurasi kolom menerus dari lantai P1 sampai dengan atap dan konfigurasi *shear wall* yang diletakkan pada lift dan tangga darurat, berikut denah struktur lantai P6 dan Lt.6:



Gambar 3.5 Denah Struktur Lantai P6  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Gambar 3.6 Denah Struktur Lantai 6  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



### 3.3.4 Data Hasil Pengujian Core Drill, UPV Test dan Hammer Test

Mutu kuat tekan beton lapangan didapat dari uji Core Drill, UPV dan Hammer Test. Sementara untuk mutu beton rencana untuk balok k-350 dan untuk kolom K-500. Hasil dari ketiga pengujian tersebut digunakan sebagai dasar data kuat tekan beton dalam evaluasi struktur. Resume hasil pengujian Core Drill, UPV dan Hammer Test tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Hasil Uji Mutu Beton berdasarkan Core Drill

No.	Struktur	As	Hasil (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
1	Balok Lt. 6	4/D-E'	353,02	
2	Balok Lt. 6	2/D"-E	446,53	
3	Balok Lt. 6	2/C-D	390,84	
4	Balok Lt. 6	3-4/E	393,99	
5	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>2-3/D"-E</b>	<b>317,56</b>	
6	Pelat Lt. 6	4-5/C'-D	513,95	
7	Pelat Lt. 6	4-5/E'-F	399,05	
8	Pelat Lt. 6	5-6/D'-E	442,44	
9	Pelat Lt. 6	3-4/A-B	400,96	
10	<b>Pelat Lt. P6</b>	<b>5-6/C-C'</b>	<b>325,15</b>	

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.2 Hasil Uji Mutu Beton berdasarkan UPV

No.	Struktur	As	Hasil (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
1	<b>Shear Wall Lt. P6 (SW3)</b>	<b>3/D"-E</b>	<b>334.6</b>	
2	<b>Shear Wall Lt. P6 (SW2)</b>	<b>3"-4/D'</b>	<b>396.1</b>	
3	Shear Wall Lt. P6 (SW1)	3"-4/C"	488.3	
4	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>4/C</b>	<b>464.8</b>	
5	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>3/B</b>	<b>448.0</b>	
6	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>3/D'</b>	<b>362.4</b>	
7	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>2/D'</b>	<b>313.0</b>	
8	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>2/E</b>	<b>436.0</b>	
9	<b>Kolom Lt. P6</b>	<b>4/E</b>	<b>447.5</b>	
10	Kolom Lt. P6	5/E	489.6	
11	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>4-5/E-E'</b>	<b>255.0</b>	
12	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>4-5/D-D''</b>	<b>232.0</b>	
13	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>4-5/A'-B</b>	<b>278.7</b>	
14	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>2-3/C'-D</b>	<b>265.5</b>	
15	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>1-2/D'-E</b>	<b>258.8</b>	
16	<b>Pelat Lt. 6</b>	<b>2'-3'/E'-F</b>	<b>287.6</b>	

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.3 Hasil Uji Mutu Beton Berdasarkan Hammaer Test

No.	Struktur	As	Hasil (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
1	Pelat Lt. P6	4-5/C-D	331.90	No. Test 27
		4-5/E-F	234.35	No. Test 28
		3-4/E-F	343.63	No. Test 29
		3-4/D'-E	232.85	No. Test 30
		1-2/A-B	227.20	No. Test 31
2	Kolom Lt. P6	4/C	456.06	No. Test 1
		5/C	461.43	No. Test 2
		3/B	525.42	No. Test 3
		3/D'	448.63	No. Test 4
		2/D'	429.76	No. Test 5
3	Pelat Lt. 6	5-6/D'-D''	349.00	No. Test 8
		5-6/C-C'	259.12	No. Test 10
		4-5/C'-D	181.35	No. Test 12
		4-5/D'-E	174.36	No. Test 14
		3'-4/A'-B	323.36	No. Test 16
		2-3/A-A'	297.71	No. Test 18
		2-3/B-C	334.13	No. Test 20
		2-3/D''-E	211.34	No. Test 22
4	Balok Anak Lt. 6	5-6/C'	358.37	No. Test 11
		4-5/C'	193.56	No. Test 13
		3'/A'-B	347.17	No. Test 15
		2-3/D''	301.16	No. Test 21
		3-4/D''	313.98	No. Test 25
5	Balok Induk Lt. 6	5/D-E	355.00	No. Test 9
		2/A-B	338.39	No. Test 17
		2-3/C	315.59	No. Test 19
		2/E-F	148.07	No. Test 23

Sumber : Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Adapun dokumentasi pelaksanaan pengujian Core Drill, UPV dan Hammer

Test dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.7 Pelaksanaan *Hammer Test*  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Gambar 3.8 Pelaksanaan UPV  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Gambar 3.9 Pelaksanaan *Core Drill*  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Berdasarkan pengujian mutu beton (UPV Test) terdapat 4 buah kolom dan SW yang mutu beton mengalami penurunan 20% (K-396,1) sampai dengan 37% (K-313,0) dari mutu beton rencana awal K-500. Pada pelat lantai dan balok hanya pada Lt. 6 As 4-5 menjadi (K-232) sampai dengan (K-255) dari mutu beton rencana awal (K-350) mengalami penurunan berkisar 33.72% sampai dengan 29%.

### 3.3.5 Data Hasil Pengujian Uji Tarik Statis

Mutu besi tulangan di lapangan dari uji tarik statis dengan mengambil sampel potongan besi eksisting diuji di laboratorium. Hasil dari pengujian tersebut digunakan sebagai dasar data mutu besi tulangan dalam evaluasi struktur. Hasil pengujian tarik statis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.4 Hasil Uji tarik Tulangan

No.	Identifikasi Spesimen	Nominal Diameter (mm)	Luas area (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (kgf)	Kuat Luluh (kgf/mm <sup>2</sup> )	Nominal Kuat Tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
1	SAMPLE 01 ( Plat Lantai L6 AS 4-4/C'-D )	12,40	120,64	7852,04	42,89	65,09	25,25
2	SAMPLE 02 ( Plat Lantai L6 AS 2-3/D''-E )	12,28	118,38	8539,80	49,65	72,14	28,46
3	SAMPLE 03 (Shear Wall 2(SW2)) Lantai P6	12,62	125,09	7646,94	46,50	61,13	26,53

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Berdasarkan hasil uji mutu besi tulangan, diketahui bahwa nilai  $f_u$  dan  $f_y$  untuk baja sebagian masih memenuhi nilai rencananya. Mutu besi tulangan ulir berdasarkan SNI 07-2052-2014 yang umum digunakan untuk perencanaan bangunan adalah BjTS 40 dengan nilai  $f_u = 5600$  MPa dan  $f_y = 390$  MPa.



Gambar 3.10 Pengambilan Sampel Tulangan Uji Tarik  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

### 3.3.6 Data Hasil *Survey Leveling* dan Lendutan

Hasil survey leveling berguna untuk mengetahui kemiringan pelat lantai kesatu sisi. Dibawah ini adalah pelaksanaan leveling lantai sebagai berikut:



Gambar 3.11 Pelaksanaan *Survey Leveling* Lantai  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Perhitungan leveling lantai menggunakan satuan persen (%) yang dihitung dari formula:

$$\% \text{ kemiringan} = \Delta H / L$$

$\Delta H$  = beda tinggi maksimum (m)

L = Panjang bangunan yang ditinjau (m)

Tabel 3.5 Hasil *Survey Leveling* Lt. P6

As	Nilai (m)				$\Delta H$ (m)	$\Delta H$ (mm)	Bentang (mm)	% Kemiringan	Keterangan
	Tertinggi	(As)	Terendah	(As)					
Arah x									
As 1	0,015	1/G	-0,035	1/C'	0,050	50	25100	0,20	Relatif Datar
As 1'	-0,001	1'/G	-0,051	1'/D''	0,050	50	17500	0,29	Relatif Datar
As 2	-0,015	2/G	-0,035	2/D''	0,020	20	17500	0,11	Relatif Datar
As 2'	-0,006	2'/F'	-0,035	2'/D''	0,029	29	17500	0,17	Relatif Datar
As 3	-0,002	3/G	-0,042	3/A'	0,040	40	35700	0,11	Relatif Datar
As 3'	0,006	3'/G	-0,052	3'/A'	0,058	58	35700	0,16	Relatif Datar
As 4	0,003	4/G	-0,059	4/D''	0,062	62	17500	0,35	Relatif Datar
As 4'	0,008	4'/G	-0,061	4'/D''	0,069	69	17500	0,39	Relatif Datar
As 5	0,000	5/G	-0,046	5/D	0,046	46	21500	0,21	Relatif Datar
As 5'	0,000	5'/G	-0,052	5'/D''	0,052	52	17500	0,30	Relatif Datar
As 6	-0,011	6/G	-0,039	6/D''	0,028	28	17500	0,16	Relatif Datar
As 6'	-0,002	6'/G	-0,048	6'/A'	0,046	46	35700	0,13	Relatif Datar
As 7	0,000	7/F'	-0,058	7/A'	0,058	58	35700	0,16	Relatif Datar
Arah y									
As A	0,012	1/A	-0,049	7/A	0,061	61	34450	0,18	Relatif Datar
As A'	-0,018	1/A'	-0,058	7/A'	0,040	40	34450	0,12	Relatif Datar
As B	-0,010	1/B	-0,039	6/B	0,029	29	28950	0,10	Relatif Datar
As C	0,013	0/C	-0,051	4''/C	0,064	64	20700	0,31	Relatif Datar
As C'	-0,035	0/C'	-0,059	4''/C'	0,024	24	20700	0,12	Relatif Datar
As D	-0,027	0/D	-0,060	4''/D	0,033	33	20700	0,16	Relatif Datar
As D''	-0,013	0/D''	-0,061	4''/D''	0,048	48	20700	0,23	Relatif Datar
As E	0,000	1/E	-0,051	4''/E	0,051	51	20700	0,25	Relatif Datar
As E'	-0,021	1/E'	-0,041	4''/E'	0,020	20	20700	0,10	Relatif Datar
As F	-0,003	1/F	-0,026	5/F	0,023	23	23450	0,10	Relatif Datar
As F'	-0,002	1/F'	-0,022	6'/F'	0,020	20	31700	0,06	Relatif Datar
As G	0,015	1/G	-0,011	6/G	0,026	26	28950	0,09	Relatif Datar

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.6 Hasil *Survey Leveling* Lt. 6

As	Nilai (m)				$\Delta H$ (m)	$\Delta H$ (mm)	Bentang (mm)	% Kemiringan	Keterangan
	Tertinggi	(As)	Terendah	(As)					
Arah x									
As 1	0,008	1/B	-0,013	1/G	0,021	21	32275	0,07	Relatif Datar
As 1'	0,005	1'/G	-0,012	1'/D''	0,017	17	17500	0,10	Relatif Datar
As 2	0,005	2/F'	-0,018	2/D''	0,023	23	14750	0,16	Relatif Datar
As 2'	0,000	2''/G	-0,023	2'/C'	0,023	23	21500	0,11	Relatif Datar
As 3	0,008	3/G	-0,014	3/A	0,022	22	39350	0,06	Relatif Datar
As 3'	0,005	3''/A	-0,020	3'/G	0,025	25	39350	0,06	Relatif Datar
As 5'	0,022	5'/E'	-0,010	5'/B	0,032	32	22775	0,14	Relatif Datar
Arah y									
As A	0,005	5/A	-0,017	0/A	0,022	22	25700	0,09	Relatif Datar
As A'	0,006	1/A'	-0,012	6/A'	0,018	18	29200	0,06	Relatif Datar

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.7 Hasil *Survey Leveling* Lt. 6

As	Nilai (m)				$\Delta H$ (m)	$\Delta H$ (mm)	Bentang (mm)	% Kemiringan	Keterangan
	Tertinggi	(As)	Terendah	(As)					
Arah y									
As B	0,008	1/B	-0,012	6'/B	0,020	20	31950	0,06	Relatif Datar
As C	0,032	6'/C	-0,013	2'/C	0,045	45	24500	0,18	Relatif Datar
As C'	0,005	4'/C'	-0,027	0'/C'	0,032	32	22950	0,14	Relatif Datar
As D	0,010	6'/D	-0,010	1'/D	0,020	20	31950	0,06	Relatif Datar
As D''	0,005	6'/D''	-0,012	0'/D''	0,017	17	31200	0,05	Relatif Datar
As E	0,023	6'/E	-0,020	0'/E	0,043	43	31200	0,14	Relatif Datar
As E'	0,019	6'/E'	-0,013	0'/E'	0,032	32	31200	0,10	Relatif Datar
As F	0,022	5'/F	-0,005	0'/F	0,027	27	28450	0,09	Relatif Datar
As G	0,000	6'/G	-0,015	0'/G	0,015	15	31200	0,05	Relatif Datar

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Berdasarkan hasil survey leveling pada setiap lantai diatas dapat disimpulkan bahwa kecenderungan kemiringan rata-rata masih kurang dari 1%. Kondisi lantai saat survey sebagian ada keramik, screed dan sebagian masih cor beton (belum finishing).

Perhitungan lendutan balok menggunakan aturan/persyaratan pada Tata cara Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk bangunan Gedung yakni SK SNI 03-2847-2002, dengan formula:

$$\delta_{izin} = L_{netto} / 250 \text{ (m atau mm)}$$

Keterangan:

$L_{netto}$  = Bentang Bersih struktur yang ditinjau (m atau mm)

$\delta_{izin}$  = Lendutan izin > Lendutan maksimum

Tabel 3.8 Hasil Survey Lendutan Balok Lt. P6

As	Bentang	$\Delta H$ (mm)	L (mm)	$\delta$ maks (mm)	$\delta$ izin (mm)	Keterangan
A	3-4	21,0	8000	21,00	32,00	Lendut lokal
B	2-3	16,0	5500	16,00	22,00	Lendut lokal
C	5-6	7,0	5500	7,00	22,00	Lendut lokal
C'	4-5	41,5	5500	41,50	22,00	Finishing Tidak Rata
D'	2'-3'	7,0	5500	7,00	22,00	Lendut lokal
E	2'-3'	28,5	8000	28,50	32,00	Lendut lokal
	3'-4	6,0	5450	6,00	21,80	Lendut lokal
	4-5	17,0	5500	17,00	22,00	Miring ke As 4
E'	3'-4	8,5	7750	8,50	31,00	Lendut lokal
2'	C-D	14,5	8000	14,50	32,00	Lendut lokal
4	A-B	25,0	8000	25,00	32,00	Miring ke As B
	D'-E	<b>36,5</b>	<b>8000</b>	<b>36,50</b>	<b>32,00</b>	<b>Melendut</b>
	E-F	21,0	8000	21,00	32,00	Lendut lokal
5	D-E	17,5	8000	17,50	32,00	Lendut lokal

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.9 Hasil Survey Lendutan Balok Lt. 6

As	Bentang	$\Delta H$ (mm)	L (mm)	$\delta$ maks (mm)	$\delta$ izin (mm)	Keterangan
A	2-3	<b>39,0</b>	<b>8000</b>	<b>39,00</b>	<b>32,00</b>	<b>Melendut</b>
B	2-3	7,0	5500	7,00	22,00	Lendut lokal
	3-4	10,0	8000	10,00	32,00	Miring ke As 4
C	2-3	11,5	5500	11,50	22,00	Lendut lokal
	4-5	5,0	5500	5,00	22,00	Lendut lokal
	5-6	7,5	5500	7,50	22,00	Lendut lokal
C'	4-5	4,5	5500	4,50	22,00	Lendut lokal
	5-6	7,0	5500	7,00	22,00	Lendut lokal
D''	2-3	12,0	5500	12,00	22,00	Lendut lokal
	3-4	27,0	7600	27,00	30,40	Lendut lokal
	4-5	<b>27,0</b>	<b>5500</b>	<b>27,00</b>	<b>22,00</b>	<b>Miring ke As 5</b>
E	2-3	18,0	5500	18,00	22,00	Lendut lokal
	4-5	10,5	5500	10,50	22,00	Lendut lokal
E'	2-3	18,0	5500	18,00	22,00	Miring ke As 2
F	5-6	16,0	5500	16,00	22,00	Lendut lokal
2'	A-B	19,0	7100	19,00	28,40	Lendut lokal
	C-D	19,0	8000	19,00	32,00	Miring ke As D'
	D'-E	9,0	8000	9,00	32,00	Lendut lokal
	E-F	14,5	8000	14,50	32,00	Lendut lokal
3	D'-D''	5,5	5900	5,50	23,60	Lendut lokal
4	A-B	24,0	7100	24,00	28,40	Lendut lokal
	D-E	7,0	8000	7,00	32,00	Lendut lokal
	E-F	6,5	8000	6,50	32,00	Lendut lokal
5	C-D	19,0	7225	19,00	28,90	Miring ke As D
	D-E	24,0	8000	24,00	32,00	Lendut lokal
	E-F	25,0	8000	25,00	32,00	Lendut lokal
6	D-E	12,0	8000	12,00	32,00	Miring ke As E

Sumber : Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Tabel 3.10 Hasil Survey Lendutan Pelat Lt. P6

As	Bentang	$\Delta H$ arah x (mm)	$\Delta H$ arah y (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)	$\delta$ maks (mm)	$\delta$ izin (mm)	Keterangan
1-2	D'-D''	6,0	12,0	4450	4000	12,00	16,00	Lendut lokal
	D''-E	10,0	20,0	4450	4000	<b>20,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Melendut</b>
2-3	A'-B	5,5	11,5	5250	3512	11,50	14,05	Lendut lokal
	C'-D'	15,5	20,0	5500	3975	<b>20,00</b>	<b>15,90</b>	<b>Miring ke As 2</b>
	D'-D''	23,0	9,5	5500	4000	<b>23,00</b>	<b>22,00</b>	<b>Melendut</b>
	D''-E	25,0	20,0	5500	4000	<b>25,00</b>	<b>22,00</b>	<b>Melendut</b>
	E'-E'	3,0	20,0	5500	4000	<b>20,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Miring ke As E'</b>
	E'-F	17,0	17,0	5500	4000	<b>17,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Miring ke As E'</b>
3''-4	D'-D''	11,0	20,5	4000	4000	<b>20,50</b>	<b>16,00</b>	<b>Melendut</b>
4-5	C-C'	21,5	12,0	5500	4000	21,50	22,00	Lendut lokal
	D'-D''	6,5	2,0	5500	4000	6,50	22,00	Lendut lokal
	E'-E'	24,0	12,0	5500	4000	<b>24,00</b>	<b>22,00</b>	<b>Miring ke As 4</b>
5-6	E'-F	10,0	20,0	5500	4000	<b>20,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Miring ke As E'</b>

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Tabel 3.11 Hasil Survey Lendutan Pelat Lt. 6

As	Bentang	$\Delta H$ arah x (mm)	$\Delta H$ arah y (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)	$\delta$ maks (mm)	$\delta$ izin (mm)	Keterangan
1-2	E-E'	9,0	20,0	4450	4000	<b>20,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Melendut</b>
2-3	C'-D	18,5	34,0	5500	4000	<b>34,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Miring ke As C'</b>
	D'-D''	7,0	13,0	5500	4000	13,00	16,00	Miring ke As D'
	D''-E	13,5	12,0	5500	4000	13,50	22,00	Lendut lokal
3-3''	D'-D''	7,0	6,0	4000	3550	7,00	16,00	Lendut lokal
	D''-E	9,5	5,0	4000	4000	9,50	16,00	Lendut lokal
3''-4	E-E'	8,0	11,0	4000	4000	11,00	16,00	Miring ke As D'
	E'-F	11,0	33,0	4000	4000	33,00	16,00	Miring ke As D'
4-5	D'-D''	17,0	17,0	5500	4000	17,00	16,00	Miring ke As C'
	C-C'	25,0	20,0	5500	4000	<b>25,00</b>	<b>22,00</b>	<b>Melendut</b>
	D'-D''	12,5	9,0	5500	4000	12,50	22,00	Lendut lokal
	E-E'	20,0	13,5	5500	4000	20,00	22,00	Lendut lokal
	E'-F	21,0	23,0	5500	4000	<b>23,00</b>	<b>16,00</b>	<b>Melendut</b>
5-6	D'-D''	12,0	6,0	5500	3550	12,00	22,00	Lendut lokal
	D''-E	2,5	12,0	5500	4000	12,00	16,00	Lendut lokal

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Hasil survey lendutan balok (Tabel 3.8 dan Tabel 3.9) diperoleh bahwa terjadi kecenderungan balok mengalami lendut lokal dan terdapat beberapa balok yang lendutannya melebihi lendutan izin dan miring terutama balok Lt. 6 (area Planter/Kolam renang) pada area As 4-5/C-E'.

Lendutan pelat lantai P6 (Tabel 3.10) kecenderungan pelat mengalami lendutan yang melebihi lendutan izin terutama pada Lt.6 (Tabel 3.11) pada area As 4-5/C-E' (area Planter/Kolam renang).

### 3.3.7 Data Hasil Pengamatan Visual

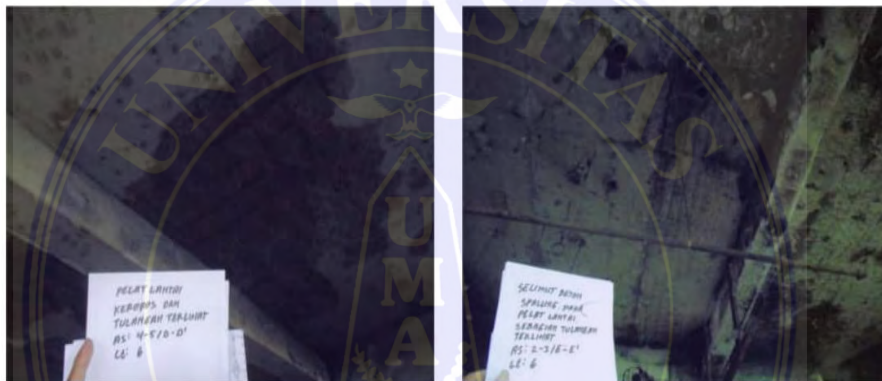
Pengamatan visual pasca kebakaran antara lain:

1. Permukaan beton Lt. 6 (bagian bawah) As 1-5/B-F pada elemen pelat lantai dan balok mengalami perubahan warna dan mengalami retak menyebar seperti retak kulit telur/buaya (*crazing*). Dari segi warna pasca kebakaran dari abu-abu (normal) sampai dengan putih keabu-abuan (*white grey*).
2. Terdapat beberapa elemen struktur yang selimut betonnya terkelupas (*spalling*) dan mengalami retak menyebar seperti retak kulit telur/buaya (*crazing*) seperti berikut:
  - a. Kolom: As 2'/D', 3'/D', 3'/B', 4/C dan 5/C
  - b. *Shear Wall*: SW2, SW3, dan SW4
  - c. Balok: As 2/C-E, 3'/D'-E, 3''/D'-D'', 3-4/D'', dan 3''-4/D'.
  - d. Pelat: 4-5/C-E' dan 2'-3'/C'-E.

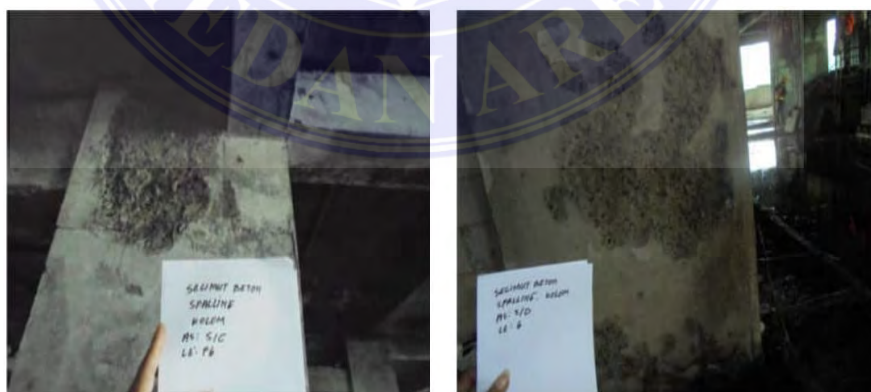
Lokasi *mapping* kerusakan struktur pasca kebakaran ditampilkan dalam dokumentasi kerusakan tipikal yang terjadi pada elemen struktur seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.12 Kerusakan Tipikal Pada Balok Lt.6  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Gambar 3.13 Kerusakan Tipikal Pada Pelat Lt.6  
(Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan)



Gambar 3.14 Kerusakan Tipikal Pada Kolom Lt.6  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

Hasil pengamatan visual dilapangan diketahui bahwa kebakaran yang terjadi bersifat lokal pada lantai P6 dan Lt.6 area As 1-6/B-F. Pada area kebakran permukaan beton Lt.6 (bagian bawah) mengalami keropos, retak menyebar seperti retak kulit telur/buaya (crazing) dan mengalami perubahan warna menjadi hitam sampai dengan putih keabu-abuan (*white grey*).

### 3.3.8 Data Konfigurasi Bangunan

#### a. Data Tinggi lantai tipikal

Tabel 3.12 Tinggi Lantai Tipikal

No	Lantai	Tinggi Bangunan (m)
1	Lantai Lt.6	18,85
2	Lantai P6	14,35
3	Lantai P5	11,35
4	Lantai P4	8,35
5	Lantai P3	5,35
6	Lantai P2	2,35
7	Lantai Dasar	0,00

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

#### b. Data Dimensi Balok

Tipe dan jenis balok yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.13 Tipe Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1.	Balok B1	350 x 700
2.	Balok B1A	350 x 700
3.	Balok B1B	350 x 700
4.	Balok B1C	350 x 700
5.	Balok B1D	350 x 700

Lanjutan Tabel 3.13

6.	Balok B1E	350 x 700
7.	Balok CB1	350 x 700
8.	Balok B2	350 x 350
9.	Balok B2A	350 x 350
10.	Balok B3	250 x 500
11.	Balok B3A	250 x 500
12.	Balok CB3	250 x 500
13.	Balok B4	200 x 700
14.	Balok B5	200 x 500
15.	Balok B6	350 x 700
16.	Balok CB1A	350 x 1000
17.	Balok CB1A	350 x 700

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

T :	B1 Balok Induk		T :	B1C Balok Induk	
P :	Tumpuan	Lapangan	P :	Tumpuan	Lapangan
UB:	350 x 700		UB:	350 x 700	
TA:	4D22	3D22	TA:	4D25	3D25
TB:	5D22	5D22	TB:	5D25	5D25
SK:	D10-150	D10-200	SK:	D10-150	D10-200

T :	B3 Balok Anak		T :	B3C Balok Anak	
P :	Tumpuan	Lapangan	P :	Tumpuan	Lapangan
UB:	250 x 500		UB:	250 x 500	
TA:	4D19	2D19	TA:	4D16	2D16
TB:	3D19	4D19	TB:	3D25	4D16
SK:	D10-150	D10-200	SK:	D10-150	D10-200

Gambar 3.15 Detail Penulangan Balok  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

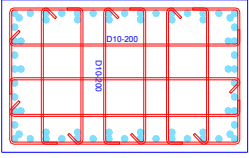
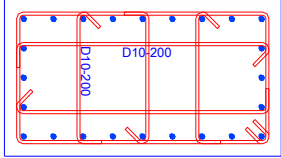
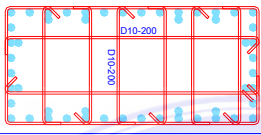
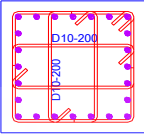
## c. Data Dimensi Kolom

Tipe dan jenis kolom yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.14 Tipe Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1.	Kolom K1	750 x 1250
2.	Kolom K1A	750 x 1250
3.	Kolom K1B	750 x 1250
4.	Kolom K2	600 x 1200
5.	Kolom K2A	600 x 1200
6.	Kolom K2B	600 x 1200
7.	Kolom K3	500 x 900
8.	Kolom K3A	500 x 900
9.	Kolom K3B	500 x 900
10.	Kolom K3C	500 x 900
11.	Kolom K3D	500 x 900
12.	Kolom K3E	500 x 900
13.	Kolom K3F	500 x 900
14.	Kolom K4	500 x 500
15.	Kolom K4A	500 x 500
16.	Kolom K4B	700 x 700

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

P1 s/d Lt.6	K1 750 x 1250			P1 s/d Lt.6	K3 500 x 900		
							
	Tulangan 68D32				Tulangan 24D16		
Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Sengkang	2D13-100	2D13-200	2D13-100	Sengkang	D10-100	D10-200	D10-100
P1 s/d Lt.6	K2 600 x 1200			P1 s/d Lt.6	K4 500 x 500		
							
	Tulangan 52D32				Tulangan 24D19		
Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Sengkang	2D13-100	2D13-200	2D13-100	Sengkang	2D10-150	2D10-200	2D10-150

Gambar 3.16 Detail Penulangan Kolom  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

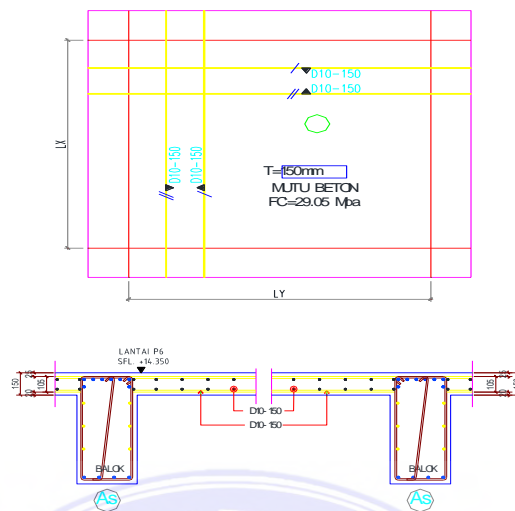
#### d. Data Pelat Lantai

Tipe dan jenis pelat lantai yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.15 Konfigurasi Lantai

No	Tipe Pelat Lantai	Dimensi (mm)
1.	Pelat Lantai Lt. 6	200
2.	Pelat Lantai P6	200
3.	Pelat Lantai P5	200
4.	Pelat Lantai P4	200
5.	Pelat Lantai P3	200
6.	Pelat Lantai P2	200

Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan



Gambar 3.17 Detail Penulangan Pelat Lantai  
Sumber: Pihak Pengelola The Reiz Condo Medan

#### e. Data Mutu Bahan

##### 1. Mutu Beton:

- Balok : K-350 ( $f^c = 29,05$  MPa)
- Pelat : K-350 ( $f^c = 29,05$  MPa)
- Kolom : K-500 ( $f^c = 41,5$  MPa)

##### 2. Mutu Beton (pasca kebakaran):

- Balok : K-250 ( $f^c = 21,7$  MPa)
- Pelat : K-258 ( $f^c = 21,9$  MPa)
- Kolom : K-362 ( $f^c = 33,2$  MPa)

##### 3. Mutu Baja Tulangan:

- Baja tulangan longitudinal dan sengkang U-40 ( $f_y = 400$  MPa)
- Baja tulangan polos U-24 ( $f_y = 240$  MPa)

##### 4. Mutu Baja Tulangan (pasca kebakaran):

- Baja tulangan longitudinal dan sengkang U-40 ( $f_y = 390$  MPa)

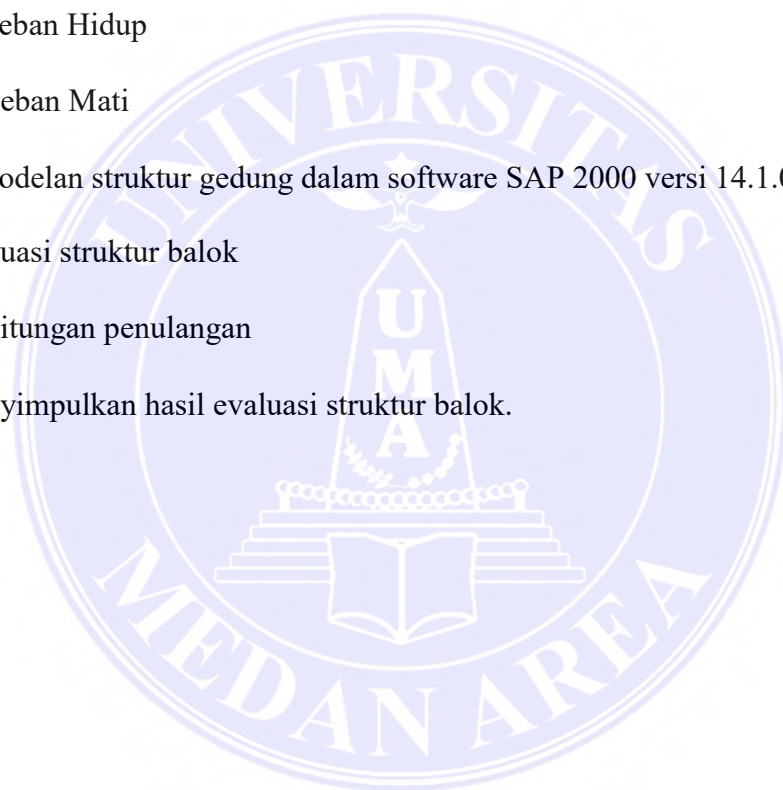


(diketahui nilai  $f_u$  dan  $f_y$  untuk baja sebagian masih memenuhi nilai rencana berdasarkan SNI 07-2052-2014).

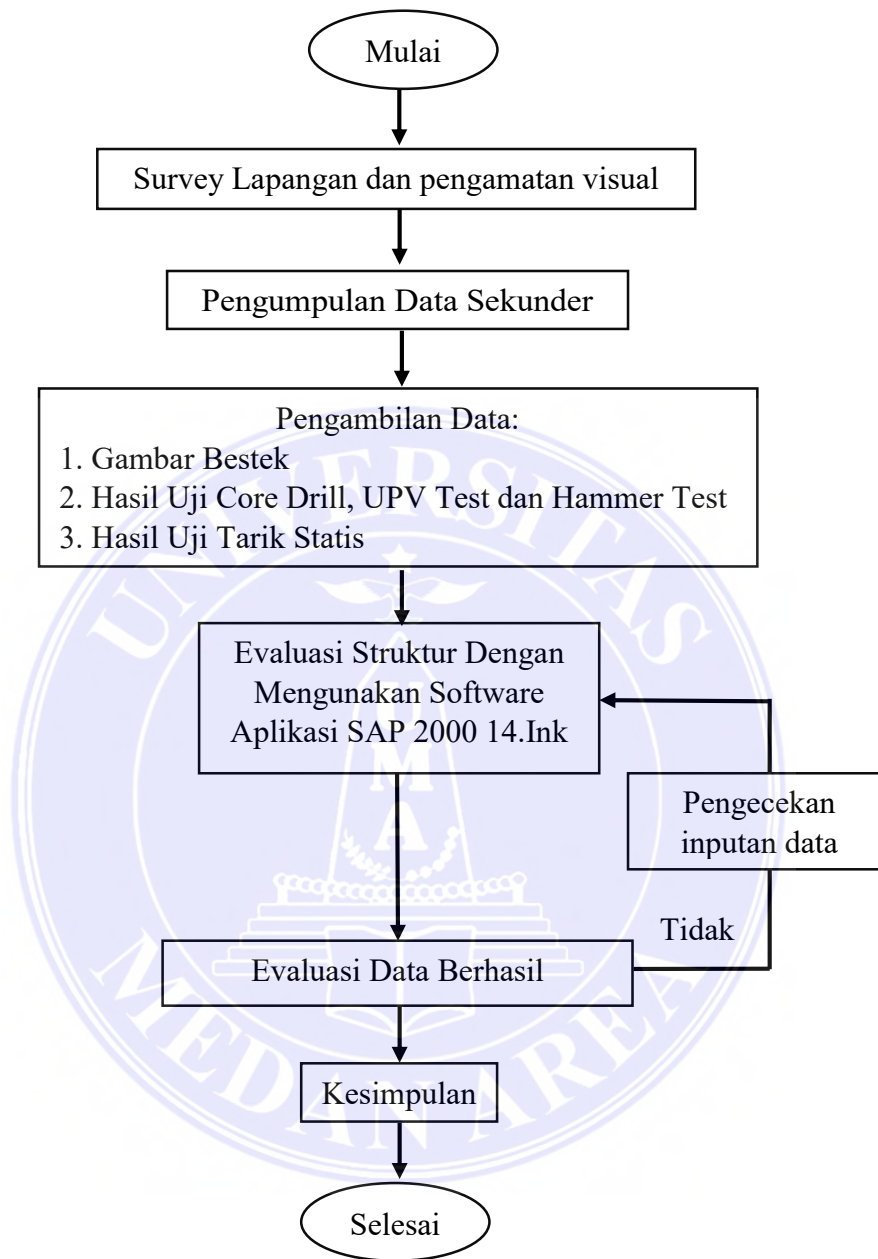
### 3.4 Tahapan Evaluasi

Tahapan evaluasi yang akan dilakukan penulis dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Perhitungan pembebanan struktur bangunan yaitu :
  - a. Beban Hidup
  - b. Beban Mati
2. Pemodelan struktur gedung dalam software SAP 2000 versi 14.1.0
3. Evaluasi struktur balok
4. Perhitungan penulangan
5. Menyimpulkan hasil evaluasi struktur balok.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- Andiyarto, Cahyo H.T. & Chotimah, C., 2015, Short Course Aplikasi SNI Terbaru untuk Mahasiswa Tugas Akhir, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Asroni, A., 2003, Buku Ajar Struktur Beton Lanjut, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas. Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Asroni, A., 2017, Teori Dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI. 2847-2013, Muhammadiyah Universtiy Press, Surakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1991, SNI T-15-1991-03. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002, Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI03-2847-2002, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 2847:2013, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2014, SNI 2052:2014 Baja Tulangan Beton, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015, SNI 03-1729-2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

- Badan Standarisasi Nasional, 2019, SNI - 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Boenig, A., Funez, L.M., Memberg, L., Roche, J., Tinkey, B., Klingner, R.E. & Fowler, T.J., 2009, Structural Assesment of Bridges with Premature Concrete Deterioration due to Expansive Reaction, *ACI Structural Journal*, 106(2).
- Dipohusodo, I., 1996, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ingham, J., 2009, Forensic engineering of fire-damaged structures, *Proceeding of ICE Civil Engineering*, 162, 12-17.
- Istimawan, D., 1999, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kusuma, G & Andriono, T., 1993, *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang Di Daerah Rawan Gempa*, Erlangga, Jakarta.
- Mulyono, T., 2005, *Teknologi Beton*, ANDI. Yogyakarta.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, 2020, *Desain Spektra Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum. <http://puskim.pu.go.id/> (diakses 24 April 2021).
- Suhendro, B., 2000, *Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sumardi, P.C., 2000, *Aspek Kimia Beton Pasca Kebakaran*, Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa, 24-25 Maret, Yogyakarta.
- Sutrisno, 2012, *Manajemen Keuangan Teori, Konsep dan Aplikasi*, EKONISIA, Yogyakarta.
- Taylor, 2002, *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Science Ltd, Oxford.
- Tjokodimulyo, K., 2000, *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Kebakaran*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Tjokrodumuljo, K., 1992, *Bahan Bangunan*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triwiyono, A., 2000, *Kerusakan Struktur gedung Pasca Kebakaran*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Wahyuni, E. & Anggraini,R., 2010, Pengaruh Perbedaan Proses Pendinginan Terhadap Perubahan Fisik Dan Kuat Tekan Beton Pasca Bakar, Jurnal Rekayasa Sipil, 4(1): 1-9.

## UNIVERSITAS MEDAN AREA

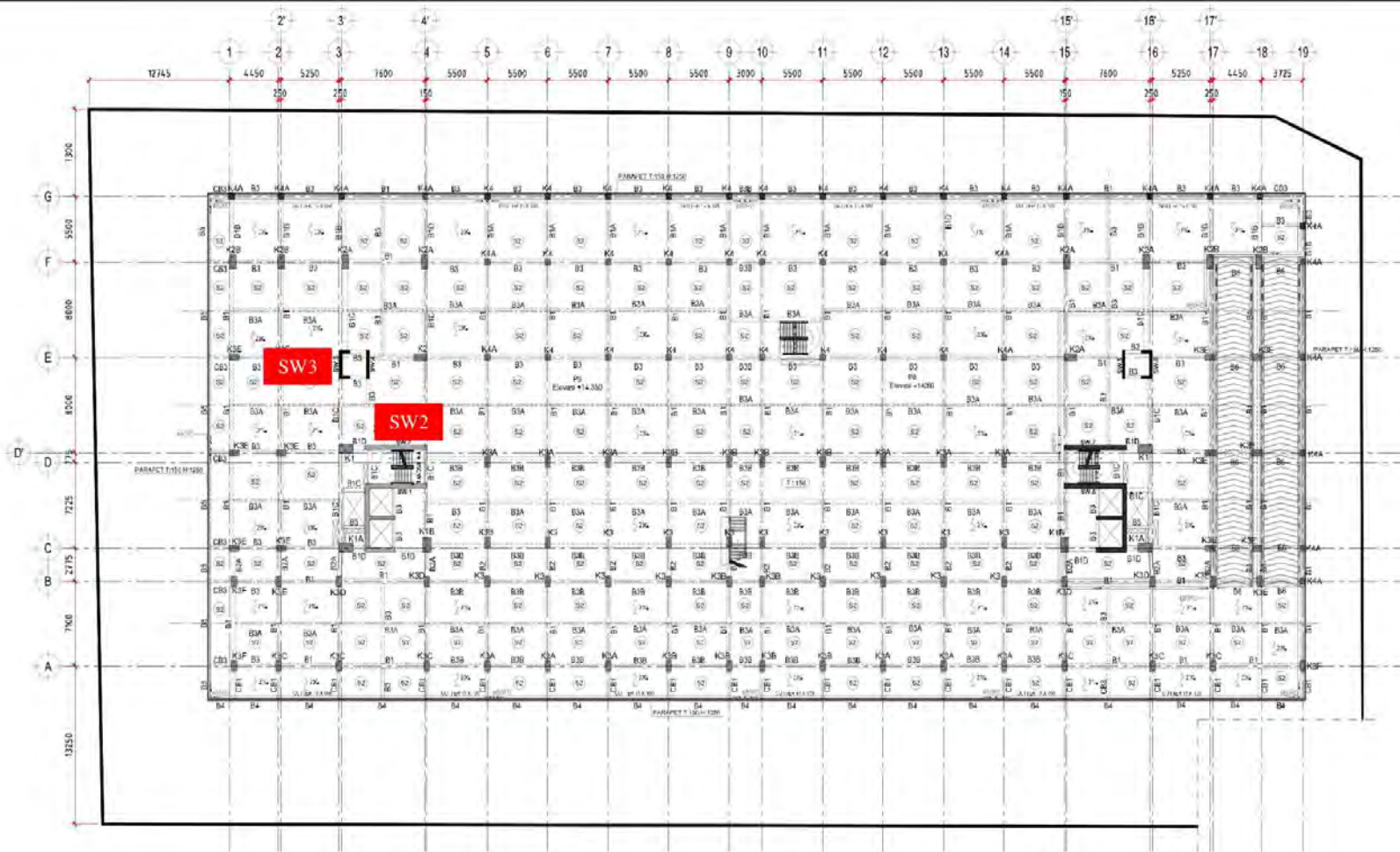
-----  
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang  
-----

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 27/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)27/6/22

Lampiran I Denah Struktur Lantai P6



UNIVERSITAS MEDAN AREA

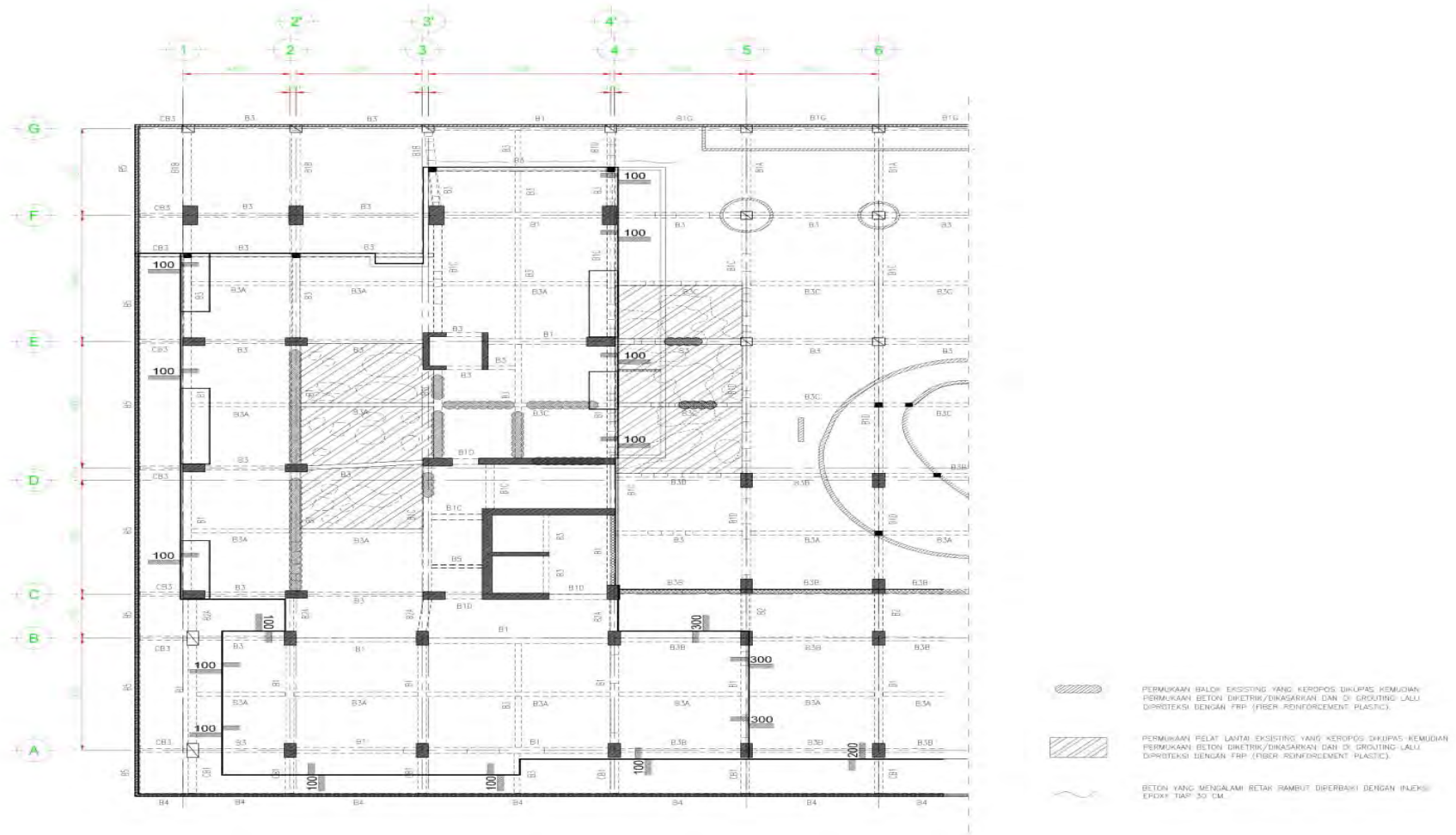
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 27/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)27/6/22

### Lampiran 2 Denah Balok dan Pelat Lantai 6 yang Diproteksi dengan FRP





## Lampiran 3



# KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

## MUTU BETON BERDASARKAN HAMMER TEST

Proyek : THE REIZ CONDO  
Lokasi : MEDAN

TANGGAL : 19/07/18

Jenis	Pelat Lantai P. 6						
	As	4-5/C-D	4-5/E-F	3-4/E-F	3-4/D'-E		
$\alpha$	-90	-90	-90	-90	-90		
No. Test	27	28	29	30	31		
1	370	310	370	320	310		
2	370	310	370	320	310		
3	370	290	370	280	350		
4	370	250	370	250	310		
5	400	250	400	310	280		
6	370	280	340	280	425		
7	380	250	400	280	238		
8	490	250	400	370	290		
9	380	310	380	250	310		
10	370	350	340	310	370		
11	350	250	425	260	425		
12	380	280	370	250	280		
13	370	320	380	250	320		
14	370	260	400	290	340		
15	370	260	410	280	380		
16	340	280	370	280	220		
17	370	280	350	280	238		
18	400	280	370	290	250		
19	370	310	370	370	310		
20	320	210	340	220	260		
$\sigma_{BM}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	395,26	293,68	396,05	302,11	327,16		
SD (kg/cm <sup>2</sup> )	38,64	36,18	31,97	42,23	60,95		
$\sigma_{BK}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	331,90	234,35	343,63	232,85	227,20		
$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	27,55	19,45	28,52	19,33	18,86		

## Lampiran 4



## KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

### MUTU BETON BERDASARKAN HAMMER TEST

Proyek : THE REIZ CONDO  
Lokasi : MEDAN

TANGGAL : 19/07/18

Jenis	Balok Anak Lantai 6					Balok Induk Lantai 6			
	5-6/C'	4-5/C'	3/A'-B	2-3/D''	3-4/D''	5/D-E	2/A-B	2-3/C	2/E-F
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No. Test	11	13	15	21	25	9	17	19	23
1	430	250	380	320	420	350	400	380	238
2	420	250	420	380	400	400	320	350	238
3	380	250	350	350	350	420	420	320	180
4	400	220	350	320	420	420	350	350	210
5	430	260	320	340	380	450	420	350	238
6	350	260	380	350	310	350	370	320	260
7	400	280	370	350	350	450	400	310	220
8	430	290	380	350	350	380	380	350	210
9	400	260	370	290	340	350	380	350	180
10	430	290	420	290	320	380	350	350	158
11	350	290	400	350	340	350	370	340	180
12	400	280	380	350	340	370	380	350	180
13	350	310	380	350	380	400	420	350	110
14	370	320	400	290	320	420	420	350	158
15	400	260	400	350	320	420	420	350	180
16	380	250	400	380	320	420	380	320	180
17	380	260	380	320	340	420	380	310	210
18	420	180	370	320	380	420	350	320	238
19	420	140	420	350	370	400	340	320	238
20	380	210	370	370	370	420	350	350	238
$\sigma_{BM}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	416,84	268,95	402,11	356,32	374,74	420,53	400,00	357,37	212,84
SD (kg/cm <sup>2</sup> )	35,66	45,97	33,50	33,63	37,05	39,96	37,56	26,69	39,50
$\sigma_{BK}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	358,37	193,56	347,17	301,16	313,98	355,00	338,39	313,59	148,07
f'c (N/mm <sup>2</sup> )	29,74	16,07	28,81	25,00	26,06	29,46	28,09	26,03	12,29

## Lampiran 5



# KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

## MUTU BETON BERDASARKAN HAMMER TEST

Proyek : THE REIZ CONDO  
Lokasi : MEDAN

TANGGAL : 19/07/18

Jenis	Kolom Lantai P.6					Shear wall			
	4/C	5/C	3/B	3/D'	2/D'	Sw 3	Sw 2		
$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0		
No. Test	1	2	3	4	5	6	7		
1	480	500	550	500	530	420	450		
2	450	515	550	450	465	350	350		
3	515	480	550	500	450	380	480		
4	480	480	550	480	480	450	480		
5	580	580	565	480	465	380	480		
6	515	530	565	480	450	370	565		
7	500	500	580	465	450	450	450		
8	600	515	550	480	480	370	400		
9	600	580	580	480	450	370	480		
10	515	530	565	465	480	380	515		
11	515	480	580	515	420	400	350		
12	465	515	550	500	465	430	430		
13	600	420	565	515	465	450	480		
14	480	550	565	450	465	430	480		
15	600	530	515	465	465	420	480		
16	565	600	480	465	450	420	500		
17	500	550	550	465	450	420	480		
18	515	515	550	465	465	420	500		
19	500	580	600	465	430	370	465		
20	480	480	600	450	450	380	500		
$\sigma_{BM}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	550,26	548,95	587,37	501,84	485,53	424,21	490,26		
SD (kg/cm <sup>2</sup> )	57,44	53,37	37,77	32,45	34,00	39,30	58,80		
$\sigma_{BK}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	456,06	461,43	525,42	448,63	429,76	359,76	393,84		
$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	37,85	38,30	43,61	37,24	35,67	29,86	32,69		

## Lampiran 6



# KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

## MUTU BETON BERDASARKAN HAMMER TEST

Proyek : THE REIZ CONDO  
Lokasi : MEDAN

TANGGAL : 19/07/18

Jenis	Pelat Lantai 6										
	As	5-6/D'-D''	5-6/C-C'	4-5/C'-D	4-5/D'-E	3'-4/A'-B	2-3/A-A'	2-3/B-C	2-3/D'-E	2-3/E-E'	3-4/D'-E
$\alpha$	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90	+ 90
No. Test	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
1	360	430	260	230	390	390	340	260	325	295	
2	410	325	230	200	390	360	360	230	360	280	
3	480	260	260	218	390	360	360	260	325	325	
4	410	390	230	190	390	340	360	260	360	325	
5	430	280	230	200	325	390	360	260	360	245	
6	410	280	260	200	340	295	340	280	375	245	
7	360	325	200	190	360	340	360	295	375	260	
8	390	390	200	260	375	390	340	245	360	295	
9	430	325	200	260	325	375	340	245	360	360	
10	360	325	230	190	360	375	360	260	375	360	
11	375	325	200	260	375	295	360	230	360	260	
12	360	410	260	260	390	325	340	295	325	170	
13	360	295	230	190	325	360	375	230	360	310	
14	410	360	218	230	375	375	375	230	360	325	
15	430	295	218	260	360	375	375	245	360	295	
16	390	390	190	200	360	325	375	230	390	310	
17	430	295	200	260	360	360	340	218	340	260	
18	430	325	200	190	360	295	360	230	360	260	
19	430	360	200	218	325	325	360	295	375	260	
20	430	390	200	245	360	340	340	230	360	310	
$\sigma_{BM}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	404,25	338,75	220,80	222,55	361,75	349,50	356,00	251,40	358,25	287,50	
SD (kg/cm <sup>2</sup> )	33,69	48,55	24,06	29,38	23,41	31,58	13,34	24,42	17,49	44,53	
$\sigma_{BK}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	349,00	259,12	181,35	174,36	323,36	297,71	334,13	211,34	329,56	214,47	
$f'c$ (N/mm <sup>2</sup> )	28,97	21,51	15,05	14,47	26,84	24,71	27,73	17,54	27,35	17,80	

Lampiran 7



Head Office & Laboratory  
 Jl. Sultan Iskandar Muda I (Praja Dalam B1/4), Jakarta 12240 INDONESIA  
 ☎ : (021) 723 8978 • 723 8979 • Fax. : (021) 724 6455

**CORING TEST RESULT**

Client : PT. KETIRA ENGINEERING  
 Project : Reiz Condo Medan  
 Location : Medan

No	LOKASI	Date of Testing	Sample Dimension			Weight (gram)	Load (kN)	Crushing Strength (ka/cm <sup>2</sup> )	Cylinder Strength * (ka/cm <sup>2</sup> )	Cube Strength ** (kg/cm <sup>2</sup> )
			H (cm)	D (cm)	H/D ratio					
1	Balok Lt.6 As 4/D'E'	24-Jul-18	11,25	7,50	1,50	1.130,6	140,0	323,53	293,01	353,02
2	Balok Lt.6 As 2/D'E'	24-Jul-18	15,00	7,50	2,00	1.517,0	170,0	392,85	370,62	446,53
3	Balok Lt.6 As 2/CD	24-Jul-18	11,25	7,50	1,50	1.138,6	155,0	358,19	324,40	390,84
4	Balok Lt.6 As 3-4/E	24-Jul-18	15,00	7,50	2,00	1.478,4	150,0	346,64	327,01	393,99
5	Plat Lt.6 As 2-3/D'E'	24-Jul-18	9,38	7,50	1,25	912,6	130,0	300,42	263,57	317,56
6	Plat Lt.6 As 4-5/CD	24-Jul-18	11,90	6,80	1,75	1.014,8	165,0	463,84	426,58	513,95
7	Plat Lt.6 As 4-5/EF	24-Jul-18	8,50	6,80	1,25	726,6	135,0	379,51	331,21	399,05
8	Plat Lt.6 As 5-6/D'E'	24-Jul-18	10,20	6,80	1,50	867,2	145,0	407,62	367,22	442,44
9	Plat Lt.6 As 3-4/AB	24-Jul-18	6,80	6,80	1,00	599,6	145,0	407,62	332,80	400,96
10	Plat P6 As 5-6/CC'	24-Jul-18	8,50	6,80	1,25	714,2	110,0	309,23	269,88	325,15

Cylinder Strength = (a x Crushing Strength) / b  
 Cube Strength = Cylinder Strength / 0.83

a = Strength correction factor (based on ASTM C 42)

H/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
a	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

b = Diameter correlation to normal diameter of 15 cm  
 (Adopted from "Properties of Concrete"; by A.M. Neville)

D (cm)	5,00	7,50	10,00	15,00
b	1,08	1,06	1,04	1,00

Core samples received from PT. Ketira Engineering on July 23, 2018

JAKARTA, July 24, 2018



IR. INDRAMATI HADIAN

Lampiran 8



**KETIRA ENGINEERING  
CONSULTANTS**

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

**ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST**

Project : RIEZ CONDO MEDAN

No.	STRUCTURE	Test	Distance (cm)	Time (µsec)	Velocity (m/sec)	Equiv. Cube Compr. Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Equiv. Cyl. Compr. Strength (Mpa)	AVERAGE STRENGTH Cube (kg/cm <sup>2</sup> )	AVERAGE STRENGTH Cyl. (Mpa)
1	LT. P6 SW - 3	1	43,0	123,9	3.470,5	358,5	29,2	334,6	27,2
		2	43,0	130,0	3.307,7	337,6	27,5		
		3	43,0	139,8	3.075,8	310,0	25,2		
		4	43,0	137,0	3.138,7	317,2	25,8		
		5	43,0	126,4	3.401,9	349,5	28,5		
2	LT. P6 SW - 2	1	20,0	56,8	3.521,1	365,2	29,7	396,1	32,3
		2	20,0	50,9	3.929,3	424,5	34,6		
		3	20,0	52,3	3.824,1	408,3	33,3		
		4	20,0	54,1	3.696,9	389,6	31,7		
		5	20,0	53,8	3.717,5	392,6	32,0		
3	LT. P6 SW - 1	1	20,0	44,8	4.464,3	517,0	42,1	488,3	39,8
		2	20,0	45,0	4.444,4	513,2	41,8		
		3	20,0	46,1	4.338,4	493,5	40,2		
		4	20,0	46,4	4.310,3	488,5	39,8		
		5	20,0	50,5	3.960,4	429,4	35,0		
4	LT. P6 Kolom 4 / C	1	60,0	145,0	4.137,9	458,4	37,3	464,8	37,9
		2	60,0	143,5	4.181,2	465,8	37,9		
		3	60,0	141,3	4.246,3	477,1	38,9		
		4	60,0	142,3	4.216,4	471,8	38,4		
		5	60,0	146,6	4.092,8	450,8	36,7		
5	LT. P6 Kolom 3 / B	1	50,0	124,3	4.022,5	439,3	35,8	448,0	36,5
		2	50,0	122,8	4.071,7	447,3	36,4		
		3	50,0	119,9	4.170,1	463,9	37,8		
		4	50,0	120,8	4.139,1	458,6	37,4		
		5	50,0	125,9	3.971,4	431,1	35,1		
6	LT. P6 Kolom 3 / D'	1	42,0	116,7	3.599,0	375,8	30,6	362,4	29,5
		2	42,0	120,4	3.488,4	360,8	29,4		
		3	42,0	116,5	3.605,2	376,7	30,7		
		4	42,0	124,1	3.384,4	347,3	28,3		
		5	42,0	122,9	3.417,4	351,5	28,6		
7	LT. P6 Kolom 2 / D'	1	50,0	156,4	3.196,9	324,1	26,4	313,0	25,5
		2	50,0	180,3	2.773,2	277,2	22,6		
		3	50,0	174,8	2.860,4	286,3	23,3		
		4	50,0	157,0	3.184,7	322,6	26,3		
		5	50,0	145,2	3.443,5	354,9	28,9		
8	LT. P6 Kolom 2 / E	1	51,0	126,9	4.018,9	438,7	35,7	436,0	35,5
		2	51,0	128,3	3.975,1	431,7	35,2		
		3	51,0	126,4	4.034,8	441,3	35,9		
		4	51,0	128,5	3.968,9	430,7	35,1		
		5	51,0	127,1	4.012,6	437,7	35,7		

Lampiran 9



**KETIRA ENGINEERING  
CONSULTANTS**

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id

ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST

Project : RIEZ CONDO MEDAN

No.	STRUCTURE	Test	Distance (cm)	Time (µsec)	Velocity (m/sec)	Equiv. Cube Compr. Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Equiv. Cyl. Compr. Strength (Mpa)	AVERAGE STRENGTH Cube (kg/cm <sup>2</sup> )	AVERAGE STRENGTH Cyl. (Mpa)
9	LT. P6 Kolom 4 / E	1	60,0	146,0	4.109,6	453,6	36,9	447,5	36,4
		2	60,0	147,9	4.056,8	444,9	36,2		
		3	60,0	146,6	4.092,8	450,8	36,7		
		4	60,0	148,4	4.043,1	442,7	36,1		
		5	60,0	147,8	4.059,5	445,3	36,3		
10	LT. P6 Kolom 5 / E	1	50,0	116,3	4.299,2	486,5	39,6	489,6	39,9
		2	50,0	116,1	4.306,6	487,8	39,7		
		3	50,0	116,5	4.291,8	485,1	39,5		
		4	50,0	115,9	4.314,1	489,1	39,8		
		5	50,0	114,4	4.370,6	499,4	40,7		

## Lampiran 10



## KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS

JALAN TANAH ABANG V/56-56A JAKARTA 10160 TELEPON : 3800052 (HUNTING SYSTEM) 4 LINES FAX : (021) 3446386 e-mail : ketira@indo.net.id





### ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST

Project : RIEZ CONDO MEDAN

No.	STRUCTURE	Test	Distance (cm)	Time (µsec)	Velocity (m/sec)	Equiv. Cube Compr. Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Equiv. Cyl. Compr. Strength (Mpa)	AVERAGE STRENGTH Cube (kg/cm <sup>2</sup> )	AVERAGE STRENGTH Cyl. (Mpa)
1	LT. 6 Plat 4 - 5 / E - E'	1	20,0	70,0	2.857,1	255,9	20,8	255,0	20,8
		2	20,0	72,6	2.754,8	246,4	20,1		
		3	20,0	83,2	2.403,8	216,5	17,6		
		4	20,0	71,6	2.793,3	249,9	20,4		
		5	20,0	59,8	3.344,5	306,2	24,9		
2	LT. 6 Plat 4 - 5 / D - D'	1	20,0	69,1	2.894,4	259,4	21,1	232,0	18,9
		2	20,0	81,9	2.442,0	219,6	17,9		
		3	20,0	87,6	2.283,1	207,1	16,9		
		4	20,0	71,7	2.789,4	249,6	20,3		
		5	20,0	79,9	2.503,1	224,6	18,3		
3	LT. 6 Plat 4 - 5 / A' - B	1	20,0	64,7	3.091,2	278,9	22,7	278,7	22,7
		2	20,0	62,5	3.200,0	290,3	23,6		
		3	20,0	66,0	3.030,3	272,7	22,2		
		4	20,0	65,8	3.039,5	273,6	22,3		
		5	20,0	64,9	3.081,7	277,9	22,6		
4	LT. 6 Plat 2 - 3 / C' - D	1	20,0	70,1	2.853,1	255,5	20,8	265,5	21,6
		2	20,0	67,3	2.971,8	266,9	21,7		
		3	20,0	68,4	2.924,0	262,2	21,4		
		4	20,0	64,0	3.125,0	282,4	23,0		
		5	20,0	68,8	2.907,0	260,6	21,2		
5	LT. 6 Plat 1 - 2 / D' - E	1	20,0	68,3	2.928,3	262,7	21,4	258,8	21,1
		2	20,0	68,1	2.936,9	263,5	21,5		
		3	20,0	68,7	2.911,2	261,0	21,3		
		4	20,0	70,3	2.845,0	254,7	20,7		
		5	20,0	71,0	2.816,9	252,1	20,5		
6	LT. 6 Plat 2' - 3' / E' - F	1	20,0	65,7	3.044,1	274,1	22,3	287,6	23,4
		2	20,0	64,1	3.120,1	281,9	23,0		
		3	20,0	60,5	3.305,8	301,8	24,6		
		4	20,0	62,6	3.194,9	289,8	23,6		
		5	20,0	62,5	3.200,0	290,3	23,6		



## Lampiran 11

	Sertifikat No. 21406/DBBPAL Tanggal: 31 Juli 2018	 <b>SUCOFINDO</b> Kantor Penerbit: Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520 Telp./Faksimili: 021 88321176/88321166 Email: jum.cbt@sucofindo.co.id
<b>LAPORAN HASIL UJI</b>		
Sample dikirim oleh klien dengan informasi sebagai berikut :		
APLIKAN / PEMOHON	:	PT. KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS
ALAMAT	:	JL. TANAH ABANG V/56-56A PETOJO SELATAN, PETOJO SELATAN, GAMBIR, JAKARTA PUSAT – DKI JAKARTA RAYA - 10160
NAMA SAMPEL	:	BESI BETON D13
PROYEK	:	The Reiz Condo Medan
KODE	:	- Plat Lantai L6 AS 4-4/C'-D - Plat Lantai L6 AS 2-3/D''-E - Shear Wall 2(SW2)
JENIS PENGUJIAN	:	UJI TARIK
STANDAR	:	SNI 07-2052-2014
CONTOH DITERIMA	:	24 Juli 2018
CONTOH DIUJI	:	26 Juli 2018
KETERANGAN	:	Lihat Lembar Lampiran
Lampiran yang ada merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sertifikat ini.		
Hasil uji ini hanya terkait dengan contoh uji yang diserahkan saat itu saja dan laporan / sertifikat hasil uji tidak dapat di reproduksi dengan cara apapun, kecuali dalam konteks penuh dengan persetujuan tertulis sebelumnya dari Laboratorium Sucofindo. Penerbitan Sertifikat/Laporan ini tunduk pada Syarat dan Ketentuan Umum layanan jasa PT. SUCOFINDO (PERSERO), yang salinannya dapat diperoleh atas permintaan atau dapat diakses pada <a href="http://www.sucofindo.co.id">www.sucofindo.co.id</a>		
CBT200174918-000	 SBU Laboratorium SUCOFINDO Nanang Yulianto	
 942542 C I - 2 0 0 7 A		

## Lampiran 12

Lampiran  
Sertifikat No. 21406/DBBPAL  
Tanggal: 31 Juli 2018

Halaman 1 dari 2



SUCOFINDO

Kantor Penerbit:  
Telp./Faksimili: 021 88321176/88321166  
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520  
Email: jum.cbt@sucofindo.co.id

## LAPORAN HASIL UJI

Nama Sampel : BESI BETON D13  
Kondisi Pengujian :  
- Temperatur : 24.9 4C  
- Kelembapan : 58 %  
Peralatan Uji : - Universal Testing Machine  
S/N 20171217001

## I. UJI TARIK

No.	Identifikasi Spesimen	Nominal Diameter (mm)	Luas area (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (kgf)	Kuat Luluh (kgf/mm <sup>2</sup> )	Nominal Kuat Tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
1.	SAMPLE 01 (Plat Lantai L6 AS 4-4/C'-D)	12,40	120,64	7852,04	42,89	65,09	25,25
2.	SAMPLE 02 (Plat Lantai L6 AS 2-3/D''-E)	12,28	118,38	8539,80	49,65	72,14	28,46
3.	SAMPLE 03 (Shear Wall 2(SW2)) Lantai P6	12,62	125,09	7646,94	46,50	61,13	26,53

## Standarisasi Sifat Mekanik Baja Tulangan SNI 07-2052-2014

Kelas baja tulangan	Nomor batang uji	Uji tarik			Uji lengkung		TS/YS
		Kuat luluh minimum	Kuat tarik minimum	Regangan minimum	Sudut lengkung	Diameter pelengkung	
		N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	%			
BJTP 24	No. 2	235	380	20	180°	3 x d	-
	No. 3	(24)	(39)	24			
BJTP 30	No. 2	295	440	18	180°	d ≤ 16 = 3xd d > 16 = 4xd	-
	No. 3	(30)	(45)	20			
BJTS 30	No. 2	295	440	18	180°	d ≤ 16 = 3xd d > 16 = 4xd	-
	No. 3	(30)	(45)	20			
BJTS 35	No. 2	345	490	18	180°	16 < d ≤ 40 = 4xd d ≥ 40 = 5xd	-
	No. 3	(35)	(50)	20			
BJTS 40	No. 2	390	560	16	180°	5 x d	Min 1,2
	No. 3	(40)	(57)	18			
BJTS 50	No. 2	490	620	12	90°	d ≤ 25 = 5xd d > 25 = 6xd	Min 1,2
	No. 3	(50)	(63)	14			

## CATATAN:

- Hasil uji lengkung tidak boleh retak pada sisi luar lengkung
- Untuk baja tulangan sirip ≥ S.32 dikurangi 2 % dari nilai regangan
- Untuk baja tulangan sirip S.40 dan S.50 dikurangi 4 % dari nilai regangan
- 1 kgf/mm<sup>2</sup> = 9,81 N/mm<sup>2</sup>
- Regangan adalah regangan total panjang yang dihitung setelah sample uji putus
- Metode penentuan batas ulur dapat menggunakan metode *offset* dengan nilai *offset* 0,2%
- Batang uji tarik No. 2 untuk diameter ≤ 22 mm dan batang uji tarik No. 3 untuk diameter ≥ 25 mm



1368327

SCI-2007P



Lampiran 13

Lampiran  
Sertifikat No. 21406/DBBPAL  
Tanggal: 31 Juli 2018

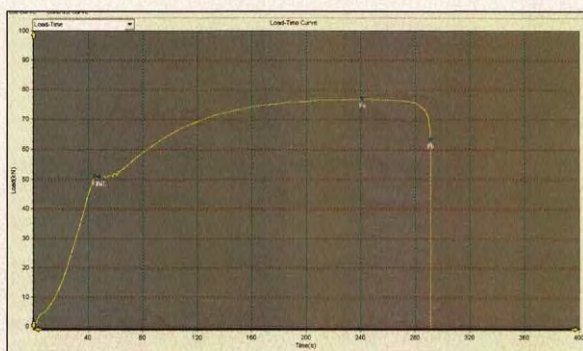
Halaman 2 dari 2



Kantor Penerbit:  
Telp./Faksimili: 021 88321176/88321166  
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520  
Email: jum.cbt@sucofindo.co.id

LAMPIRAN SERTIFIKAT

TANGGAL	NAMA SAMPEL	JENIS PENGUJIAN	STANDAR
26 Juli 2018	BESI BETON D13	UJI TARIK	SNI 07-2052-2014



GRAFIK UJI TARIK






BESI BETON D13



1368328

SCI-2007P

Lampiran 14

 <b>PT MEKTAN BABAKAN TUJUH KALIBRASI</b> Jl. Muara Indah I No. 35 - Leuwipanjang - Bandung - 40234 Telp./Fax. (022) 522-0072 ; e-mail : mbt-kal@indo.net.id	
Sertifikat Akreditasi Sistem Akreditasi Laboratorium - Komite Akreditasi Nasional (KAN) Laboratorium Kalibrasi LK-011-IDN	
<b>Halaman 1 dari 2</b> Page 1 of 2	
<b>SERTIFIKAT KALIBRASI</b> <i>CALIBRATION CERTIFICATE</i>	
No. : 342 / 730-1 / VIII / 17	
<b><u>Dibuat Untuk</u></b> <i>Calibrated for</i>	: PT. KETIRA ENGINEERING CONSULTANTS Jl. Tanah Abang V No. 56 - 56 A Jakarta Pusat
<b><u>Identitas Alat</u></b> <i>Device Identification</i>	: Concrete Test Hammer, Merk : Krisbow Type : N, No. Seri : 479570
<b><u>Tanggal Kalibrasi</u></b> <i>Calibration Date</i>	: 9 Agustus 2017
<b><u>Standard Acuan</u></b> <i>Reference Standard</i>	: ASTM C-805
<b><u>Identitas Standard Fisik</u></b> <i>Physical Standard Identification</i>	: Calibration Test Anvil - KH 01
<b><u>Lokasi Kalibrasi</u></b> <i>Calibrated on</i>	: PT. Mektan Babakan Tujuh Kalibrasi Jl. Muara Indah I No. 35 - Leuwipanjang - Bandung
<b><u>Kondisi Lingkungan</u></b> <i>Environmental Conditions</i>	: Suhu : 23,2 °C, Kelembaban Relatif : 52 %
Bandung, 9 Agustus 2017 <b>PT MEKTAN BABAKAN TUJUH KALIBRASI</b>	
 Ir. P. Sugianto K  Direktur	
Dilarang menggandakan sebagian dari isi Sertifikat Kalibrasi ini	

Lampiran 15

**MBT**  
KALIBRASI

PT MEKTAN BABAKAN TUJUH KALIBRASI  
Jl. Muara Indah I No. 35 - Leuwipanjang - Bandung - 40234  
Telp./Fax. (022) 522-0072 ; e-mail : mbt-kal@indo.net.id

Sertifikat Akreditasi  
Sistem Akreditasi Laboratorium - Komite Akreditasi Nasional (KAN)  
Laboratorium Kalibrasi LK-011-IDN

**Halaman 2 dari 2**  
Page 2 of 2


**SERTIFIKAT KALIBRASI**  
CALIBRATION CERTIFICATE

No. : 342 / 730-1 / VIII / 17 \*

Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil Ukur	80	80	80	80	80	80	81	80	80	80

Kesimpulan : Hasil pengukuran masih dalam batas toleransi  $80 \pm 2$

Bandung, 9 Agustus 2017  
PT MEKTAN BABAKAN TUJUH KALIBRASI



Ir. P. Sugianto K.  
Direktur

Dilarang menggandakan sebagian dari isi Sertifikat Kalibrasi ini

## Lampiran 16

### Zeroing the Pundit Lab

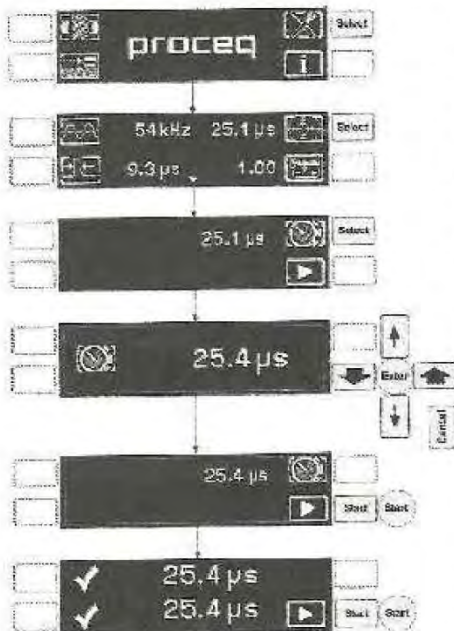


The Pundit Lab should be zeroed using the calibration rod on a regular basis and in particular if the transducer frequency is changed or if the cables are changed. The expected calibration value ( $\mu\text{s}$ ) is marked on the calibration rod.

Couple the transducers to the calibration rod by applying couplant to the transducers and both ends of the rod and pressing firmly together as shown.



**Note:** When zeroing the exponential transducers the dedicated calibration rod (325 40 174) should be used.



Select System Settings (See chapter 3 for more info)

Check Tx/Rx matches transducer frequency. Pulse width requires no adjustment. Correction factor set to 1.0. Select Calibration.

If necessary, select to enter the transit time as marked on the calibration rod.

Variable parameter; set as follows:  
Up/down keys - fine adjustment  
Left/right keys - coarse adjustment  
Center key - enters the value and returns to the previous menu.  
Cancel key - cancels the input and returns to the previous menu.

Press "Start" to begin the calibration sequence.

The final display shows the expected transit time and below it the measured transit time. This should match the value on the calibration rod.

Lampiran 17



**PT. EXSOL INNOVINDO**  
CALIBRATION OF SURVEYING INSTRUMENT TOPCON "AUTHORIZED SERVICE CENTER"

- Pulo Gadung Trade Center (PTC), Blok 8A No. 55, Jl. Bekasi Raya KM 21 - Cakung, Jakarta Timur, Kodepos 13920  
Tlp./Fax. : +62 21 460 6484, email : workshop@exsol-innovindo.com  
- Ruko Citra Town Square No. 127, Jl. DI Panjaitan, Samarinda - Kalimantan Timur  
Tel/Fax : +62 541 7283404, email : exsol-service.smrd@gmail.com

Halaman : 1 dari 2  
Page : of

**SERTIFIKAT KALIBRASI**

*Certificate of Calibration*

Nomor: SK180875

Nomor WO: SC181284

IDENTITAS ALAT (Instrument Identity)

Nama Alat : Auto Level  
*Instrument Name*  
Merk Pabrik : Topcon  
*Manufacturer*  
Model / Tipe : AT-B4  
*Model / Type*  
Nomor Seri : X27398  
*Serial Number*

IDENTITAS PEMILIK (Owner Identity)

Nama : PT . Ketira Engineering  
*Name*  
Alamat : Jl. Tanah Abang V 27-E Petojo Selatan Gambir Jakarta Pusat DKI  
*Address* Jakarta, 10160

IDENTITAS STANDAR (Standard Identity)

Nama : Auto Level AT-B2, No Seri : MS2630  
*Name* Total Station ES-103, No Seri : GY0831  
Ketertelusuran : Hasil Kalibrasi ini menggunakan Collimator yang telah tertelusur  
*Traceability* ke SI melalui LK-186-IDN

Tanggal Penerimaan : 08 Maret 2018  
*Received Date*  
Tanggal Kalibrasi : 12 Maret 2018  
*Calibration Date*  
Tempat Kalibrasi : PT Exsol-Innovindo Service Center  
*Place of Calibration*  
Kondisi Lingkungan : Temperatur : 26,3°C Kelembaban Udara : 64,0% RH  
*Environment Condition*  
Metoda Kalibrasi : Sesuai dengan IK No. LWI SC-02-03-R1  
*Calibration Method*  
Hasil Kalibrasi : Lihat Lampiran  
*Calibration Result*  
Diterbitkan Tanggal : 12 Maret 2018  
*Issue Date*  
Kalibrasi Ulang : 12 September 2018  
*Recalibration*

Disetujui oleh,  
*Approved By*

**Dwi Irianto**  
Kepala Bagian Teknis

Nomor FT FT QC 01-00-02 R0

Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap PT. Exsol-Innovindo, dan ditandatangani oleh pejabat yang berwenang  
*This certificate is valid if has been approved and signed by authorized person*  
Form sertifikat ini berlaku sejak tanggal 15 Februari 2015 sebagai pengganti form sebelumnya  
*This version of certificate issued since February 15 2015 as replacement of the previous version.*

**No. : 21265**

Lampiran 18



**PT. EXSOL INNOVINDO**  
 CALIBRATION OF SURVEYING INSTRUMENT TOPCON "AUTHORIZED SERVICE CENTER"

- Pulo Gadung Trade Center (PTC), Blok 8A No. 55, Jl. Bekasi Raya KM 21 - Cakung, Jakarta Timur, Kodepos 13920  
 Tlp./Fax : +62 21 460 6484, email : workshop@exsol-innovindo.com  
 - Ruko Citra Town Square No. 127, Jl. DI Panjaitan, Samarinda - Kalimantan Timur  
 Tel/Fax : +62 541 7283404, email : exsol-service.smrd@gmail.com

**Lampiran Sertifikat**  
 Attachment of Certificate

Halaman : 2 dari 2  
 Page of  
 Nomor : SK180875  
 Number

**HASIL KALIBRASI**  
 Calibration Result

Auto Level

No	Performance	Measurement Before Calibrated	Measurement After Calibrated	Allowance
1	Circular Bubble	30"	15"	15"
2	Collimation of Horizontal Line of Sight	10"	10"	10"
3	Accuracy Leveling	1mm	0mm	2mm
4	Compensator Range	+/-15'	+/-15'	+/-15'

Ketidakpastian Kalibrasi : 2,08 mm

Catatan:

Ketidakpastian kalibrasi dengan faktor cakupan (k)=2 dan Tingkat Kepercayaan (CL)=95%

Sertifikat ini sah bila telah ditandatangani oleh pejabat yang berwenang  
 This certificate is valid if has been approved and signed by authorized person  
 Form sertifikat ini berlaku sejak tanggal 15 Februari 2015 sebagai pengganti form sebelumnya  
 This version of certificate issued since February 15 2015 as replacement of the previous version

No. : 21266

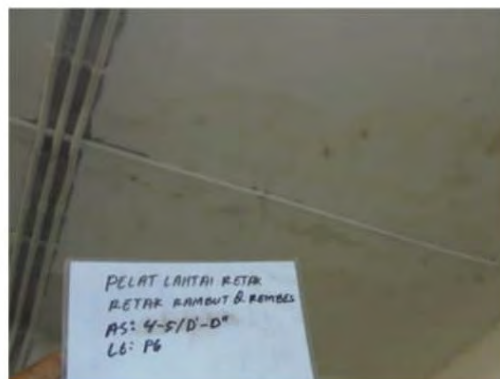
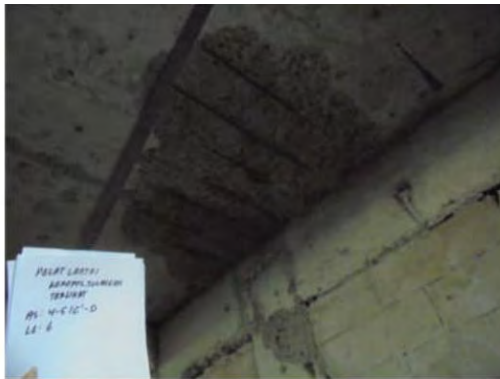


## Lampiran 19

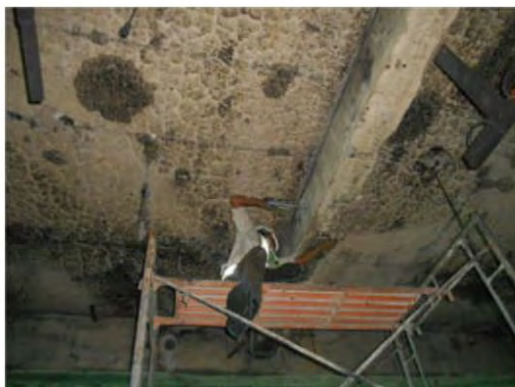
### Dokumentasi



### Visual Area Kebakaran



### Visual Area Struktur Lt. P6 Terdampak Kebakaran



Pelaksanaan Hammer Test



Pelaksanaan UPV



Pelaksanaan Core Drill



Pengambilan Sampel Tulangan untuk Uji Tarik



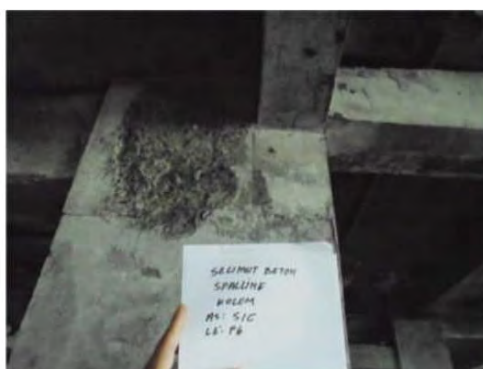
Pelaksanaan Survey Leveling Lantai



Kerusakan Tipikal pada Balok Lt. 6



Kerusakan Tipikal pada Pelat Lt. 6



Kerusakan Tipikal pada Kolom Lt. 6

*Lampiran 20*

**Perhitungan Manual Penulangan Balok Rencana**

**Balok B1C**

$f_c'$ (Mutu Beton)	= 29,05 MPa
$f_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 350 x 700 mm
Ukuran balok	= 8 m
Tulangan balok	= D25 dan D10
$M_u^+$	= 362,5041 KNm
$M_u^-$	= -381,094 KNm
$V^+$	= 191,599 KN
$V^-$	= -197,432 KN

Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ )	= 40 mm.
Tinggi efektif balok ( $d$ )	= $h - d' = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$ .
$\phi = 0,80$	faktor aksial tarik dan lentur
$\beta_1 = 0,85$	faktor pembentuk tegangan beton

a. Tulangan Lentur Tumpuan

R (koefisien kuat rencana)	$= \frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{381,094}{362,5041} = 1,051$
K (faktor momen pikul)	$= \frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{381,094 \times 10^6}{0,80 \cdot 350 \cdot 660^2} = 3,1245$
$K_{maks}$ (momen pikul maks)	$= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c' (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$ $= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$ $= 7,638$
$\rho_{perlu}$	$= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot f_c'}} \right)$ $= \frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3,1245}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0083 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600+F_y} \right) \\
 &= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right) \\
 &= 0,0236
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0083 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3,1245}{0,85 \cdot 29,05}} \right) \cdot 660 = 89,76 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 89,76 \cdot 350}{400} = 1939,348 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0083 \cdot 350 \cdot 660 = 1917,3 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang terbesar yaitu  $A_s = 1939,348 \text{ mm}^2$

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{1939,348}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2} = 3,9528 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{4 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b-2 \cdot Ds_1}{D+Sn} + 1 = \frac{350-2 \cdot 62,5}{25 \text{ mm}+40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{4,46 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 4 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu^-$

Luas tulangan terbesar  $As = 4 \text{ D25} = 4 (1/4 \cdot 3,14 \cdot 25^2) 1962,5 \text{ mm}^2$

$$Mn = As \cdot Fy \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1962,5 \cdot 400 \left( 660 - \frac{89,76}{2} \right) = 482869200 \text{ Nmm}$$

$$= 482,869 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 482,869 \text{ KNm} = 386,2952 \text{ KNm} > -381,094 \text{ KNm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot Mn \geq Mu^-$ ), dengan demikian kebutuhan D25 aman untuk dipakai.

#### b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{Mu^+}{Mu^-} = \frac{362,5041}{381,094} = 0,951$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{Mu^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{362,5041 \times 10^6}{0,80 \cdot 350 \cdot 660^2} = 2,972$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot Fc' (600+Fy-225 \cdot \beta_1)}{(600+Fy)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600+400-225 \cdot 0,85)}{(600+400)^2}$$

$$= 7,638$$

$$\rho_{pertu} = \frac{0,85 \cdot Fc'}{Fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot Fc'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,972}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$$

$$= 0,0079$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Ry}, \text{ jika } Fc' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot Fc' \cdot \beta_1}{Fy} \times \frac{600}{600+Fy} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0236$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0079 > 0,0035$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

Mencari nilai  $ds_1 = \text{penutup beton} + \emptyset_{begele} + D/2 = 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F'c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,972}{0,85 \cdot 9,05}}\right) \cdot 660 = 85,14 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F'c \cdot a \cdot b}{Fy} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 85,14 \cdot 350}{400} = 1839,529 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0079 \cdot 350 \cdot 660 = 1824,9 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 1839,529 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{1839,529}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2} = 3,749 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{4 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{350 - 2 \cdot 62,5}{25 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{4,46 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

Luas tulangan terbesar  $As = 4 D25 = 4 (1/4 \cdot 3,14 \cdot 25^2) = 1962,5 \text{ mm}^2$

$$Mn = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1962,5 \cdot 400 \left(660 - \frac{85,14}{2}\right) = 484682550 \text{ Nmm}$$



$$= 484,682 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 484,682 \text{ KNm} = 387,7456 \text{ KNm} > -381,094 \text{ KNm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot Mn \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D25 aman untuk dipakai.

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 191,599$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\phi = 0,6$  Faktor reduksi geser

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{29,05} \cdot 350 \cdot 660 = 207,507 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 207,507 \text{ KN} = 103,7535 \text{ KN}$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{V^+}{\phi} - V_c = \frac{191,599}{0,60} - 103,7535 \text{ KN} = 215,578 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (sengkang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{s_{sengk}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak sengkang adalah:}$$

$$S_{jarak} = \frac{A_{s_{sengk}} \cdot F_y \cdot d}{V_{S_{perlu}}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 660}{215,578 \times 10^3} = 96,132 \text{ mm}$$

### Balok B3

$F_c'$ (Mutu Beton)	= 29,05 MPa
$F_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 250 x 500 mm
Ukuran balok	= 8 m
Tulangan balok	= D19 dan D10
$M_u^+$	= 82,3173 KNm
$M_u^-$	= -86,4509 KNm
$V^+$	= 48,076 KN
$V^-$	= -32,519 KN

#### Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ )	= 40 mm.
Tinggi efektif balok ( $d$ )	= $h - d' = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 460 \text{ mm}$ .
$\phi = 0,80$	faktor aksial tarik dan lentur
$\beta_1 = 0,85$	faktor pembentuk tegangan beton

#### a. Tulangan Lentur Tumpuan

R (koefisien kuat rencana)	$= \frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{86,4509}{82,3173} = 1,0502$
K (faktor momen pikul)	$= \frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{86,4509 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 2,0427$
$K_{maks}$ (momen pikul maks)	$= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$ $= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$ $= 7,638$
$\rho_{pertu}$	$= \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$ $= \frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,0427}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$ $= 0,0053$
$\rho_{min}$	$= \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
$\rho_{maks}$	$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0236$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0053 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F'c}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,0427}{0,85 \cdot 29,05}} \right) \cdot 460 = 39,698 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F'c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 39,698 \cdot 250}{400} = 612,651 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0053 \cdot 250 \cdot 460 = 609,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 612,651 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} = \frac{612,651}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2} = 2,16 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{3 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 59,5}{19 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{2,89 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 3 \text{ D19} = 3 \left( \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \right) = 850,155 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 850,155 \cdot 400 \left( 460 - \frac{39,698}{2} \right) = 102142321,362 \text{ Nmm}$$

$$= 102,142 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 102,142 \text{ KNm} = 81,7136 \text{ KNm} > -86,4509 \text{ KNm} \dots \dots \dots \text{ (Aman)}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq M_u$ ), dengan demikian kebutuhan D19 aman untuk dipakai.

b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{M_u^+}{M_u^-} = \frac{82,3173}{86,4509} = 0,9521$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{M_u^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{82,3173 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,945$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$$

$$= 7,638$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,945}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$$

$$= 0,0051$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0236$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0051 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{begel} + D/2 = 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,945}{0,85 \cdot 29,05}}\right) \cdot 460 = 38,18 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 38,18 \cdot 250}{400} = 589,224 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0051 \cdot 250 \cdot 460 = 586,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $A_s = 589,224 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{589,224}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2} = 2,079 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{3 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 59,5}{19 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,22 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 3 D19 = 3 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2\right) = 850,155 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 850,115 \cdot 400 \left(460 - \frac{38,18}{2}\right) = 149929681,86 \text{ Nmm}$$

$$= 149,929 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 149,929 \text{ KNm} = 119,9432 \text{ KNm} > -86,4509 \text{ KNm} \dots\dots\dots (\mathbf{Aman})$$

*Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D19 aman untuk dipakai.*

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 48,076$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\emptyset = 0,6$  Faktor reduksi geder

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{29,05} \cdot 250 \cdot 460 = 103,304 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 103,304 \text{ KN} = 51,652 \text{ KN}$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{V^+}{\emptyset} - V_c = \frac{48,076}{0,60} - 103,304 \text{ KN} = -23,177 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (sengkang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{sengk} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak sengkang adalah:}$$

$$S_{jarak} = \frac{A_{sengk} \cdot F_y \cdot d}{V_{S_{perlu}}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 460}{-23,177 \times 10^3} = -623,204 \text{ mm}$$

### Balok B3C

$F_c'$ (Mutu Beton)	= 29,05 MPa
$F_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 250 x 500 mm
Ukuran balok	= 7,6 m
Tulangan balok	= D16 dan D10
$M_u^+$	= 78,6202 KNm
$M_u^-$	= -51,9264 KNm
$V^+$	= 39,944 KN
$V^-$	= -39,22 KN

#### Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ ) = 40 mm.

Tinggi efektif balok ( $d$ ) =  $h - d' = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 460 \text{ mm}$ .

$\phi = 0,80$  faktor aksial tarik dan lentur

$\beta_1 = 0,85$  faktor pembentuk tegangan beton

#### a. Tulangan Lentur Tumpuan

R (koefisien kuat rencana) =  $\frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{51,9264}{78,6202} = 0,6604$

K (faktor momen pikul) =  $\frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{51,9264 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,226$

$K_{maks}$  (momen pikul maks) =  $\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$   
 =  $\frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$

= 7,638

$\rho_{pertu}$  =  $\frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$   
 =  $\frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,226}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$

= 0,0031

$\rho_{min}$  =  $\frac{1,4}{R_y}$ , jika  $F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{maks}$  =  $0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0236$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} = 0,0031 < 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \emptyset_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_{ct}}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,226}{0,85 \cdot 29,05}} \right) \cdot 460 = 23,46 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F'_{ct} \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 23,46 \cdot 250}{400} = 362,053 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0031 \cdot 250 \cdot 460 = 356,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $A_s = 362,053 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{362,053}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 1,801 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{2 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 58}{16 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,39 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$



$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 2 \text{ D16} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \right) = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 401,92 \cdot 400 \left( 460 - \frac{23,46}{2} \right) = 72067471,36 \text{ Nmm}$$

$$= 72,067 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 72,067 \text{ KNm} = 57,6536 \text{ KNm} > -51,9264 \text{ KNm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq M_u$ ), dengan demikian kebutuhan D16 aman untuk dipakai.

b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{M_u^+}{M_u^-} = \frac{78,6202}{51,9264} = 1,514$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{M_u^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{78,6202 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,857$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 29,05 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$$

$$= 7,638$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 29,05}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,857}{0,85 \cdot 29,05}} \right)$$

$$= 0,0048$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0236$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} = 0,0048 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{begel} + 19/2 = 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,857}{0,85 \cdot 29,05}}\right) \cdot 460 = 36,34 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 36,34 \cdot 250}{400} = 560,828 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0048 \cdot 250 \cdot 460 = 552 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $A_s = 560,828 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{560,828}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 2,79 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{3 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 58}{16 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,39 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 3 \text{ D16} = 3 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2\right) = 602,88 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 602,88 \cdot 400 \left(460 - \frac{36,34}{2}\right) = 106548188,16 \text{ Nmm}$$

$$= 106,548 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 106,548 \text{ KNm} = 85,2384 \text{ KNm} > -51,9264 \text{ KNm} \dots \dots \dots (\mathbf{Aman})$$

*Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D16 aman untuk dipakai.*

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 39,944 \text{ KN}$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\emptyset = 0,6$  Faktor reduksi geder

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{29,05} \cdot 250 \cdot 460 = 103,304 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 103,304 \text{ KN} = 51,652 \text{ KN}$$

$$V_{S\text{perlu}} = \frac{V^+}{\emptyset} - V_c = \frac{39,944}{0,60} - 51,652 \text{ KN} = 14,921 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (sengkang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{\text{sengk}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak sengkang adalah:}$$

$$S_{\text{jarak}} = \frac{A_{\text{sengk}} \cdot F_y \cdot d}{V_{S\text{perlu}}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 460}{14,921 \times 10^3} = 968,031 \text{ mm}$$

## Perhitungan Manual Penulangan Balok Pasca Kebakaran

### Balok B1C

$F_c'$ (Mutu Beton)	= 21,7 MPa
$F_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 350 x 700 mm
Ukuran balok	= 8 m
Tulangan balok	= D25 dan D10
$M_u^+$	= 346,0314 KNm
$M_u^-$	= -364,316 KNm
$V^+$	= 183,915 KN
$V^-$	= -189,12 KN

### Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ )	= 40 mm.
Tinggi efektif balok ( $d$ )	= $h - d' = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$ .
$\phi = 0,80$	faktor aksial tarik dan lentur
$\beta_1 = 0,85$	faktor pembentuk tegangan beton

#### a. Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}
 R \text{ (koefisien kuat rencana)} &= \frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{364,316}{346,0314} = 1,052 \\
 K \text{ (faktor momen pikul)} &= \frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{364,316 \times 10^6}{0,80 \cdot 350 \cdot 660^2} = 2,986 \\
 K_{\text{maks}} \text{ (momen pikul maks)} &= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2} \\
 &= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2} \\
 &= 5,70 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,986}{0,85 \cdot 21,7}} \right) \\
 &= 0,0082 \\
 \rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right) \\ &= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0176\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0082 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \emptyset_{begele} + D/2 = 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,986}{0,85 \cdot 21,7}} \right) \cdot 660 = 117,48 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 117,48 \cdot 350}{400} = 1896,05 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0082 \cdot 350 \cdot 660 = 1894,2 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 1896,05 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} = \frac{1896,05}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2} = 3,864 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{4 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{350 - 2 \cdot 62,5}{25 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{4,46 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu^-$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 4 \text{ D25} = 4 (1/4 \cdot 3,14 \cdot 25^2) = 1962,5 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1962,5 \cdot 400 \left( 660 - \frac{117,48}{2} \right) = 471989100 \text{ Nmm}$$

$$= 471,989 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 471,989 \text{ KNm} = 377,5912 \text{ KNm} > -364,316 \text{ KNm} \dots \dots \dots (\text{Aman})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq Mu^-$ ), dengan demikian kebutuhan D25 aman untuk dipakai.

b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{Mu^+}{Mu^-} = \frac{346,0314}{364,316} = 0,949$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{Mu^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{346,0314 \times 10^6}{0,80 \cdot 350 \cdot 660^2} = 2,837$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$$

$$= 5,70$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,837}{0,85 \cdot 21,7}} \right)$$

$$= 0,0077$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0176$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0077 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,837}{0,85 \cdot 21,7}}\right) \cdot 660 = 110,88 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F_c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 110,88 \cdot 350}{400} = 1789,53 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0077 \cdot 350 \cdot 660 = 1778,7 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 1789,53 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{1789,53}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2} = 3,647 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{4 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{350 - 2 \cdot 62,5}{25 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{4,46 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } As = 4 D25 = 4 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2\right) = 1962,5 \text{ mm}^2$$

$$Mn = As \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1962,5 \cdot 400 \left(660 - \frac{110,88}{2}\right) = 474579600 \text{ Nmm}$$

$$= 474,579 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 474,579 \text{ KNm} = 379,6632 \text{ KNm} > -364,316 \text{ KNm} \dots \dots \dots (\mathbf{Aman})$$

*Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot Mn \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D25 aman untuk dipakai.*

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 183,915 \text{ KN}$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\emptyset = 0,6$  Faktor reduksi geser

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{21,7} \cdot 350 \cdot 660 = 179,345 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 179,345 \text{ KN} = 89,672 \text{ KN}$$

$$V_{Sperlu} = \frac{V^+}{\emptyset} - V_c = \frac{183,915}{0,60} - 179,345 \text{ KN} = 127,18 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (sengkang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{sengk} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak sengkang adalah:}$$

$$S_{jarak} = \frac{A_{sengk} \cdot F_y \cdot d}{V_{Sperlu}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 660}{127,18 \times 10^3} = 162,95 \text{ mm}$$



### Balok B3

$F_c'$ (Mutu Beton)	= 21,7 MPa
$F_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 250 x 500 mm
Ukuran balok	= 8 m
Tulangan balok	= D19 dan D10
$M_u^+$	= 76,5387 KNm
$M_u^-$	= -81,1518 KNm
$V^+$	= 45,307 KN
$V^-$	= -30,938 KN

#### Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ )	= 40 mm.
Tinggi efektif balok ( $d$ )	= $h - d' = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 460 \text{ mm}$ .
$\phi = 0,80$	faktor aksial tarik dan lentur
$\beta_1 = 0,85$	faktor pembentuk tegangan beton

#### a. Tulangan Lentur Tumpuan

R (koefisien kuat rencana)	$= \frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{81,1518}{76,5387} = 1,0602$
K (faktor momen pikul)	$= \frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{76,5387 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,808$
$K_{maks}$ (momen pikul maks)	$= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$ $= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$ $= 5,70$
$\rho_{pertu}$	$= \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$ $= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,808}{0,85 \cdot 21,7}} \right)$ $= 0,0047$
$\rho_{min}$	$= \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
$\rho_{maks}$	$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0176$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0047 > 0,0035$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

Mencari nilai  $ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm}$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F'c}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,808}{0,85 \cdot 21,7}} \right) \cdot 460 = 47,53 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F'c \cdot a \cdot b}{Fy} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 47,53 \cdot 250}{400} = 547,93 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 250 \cdot 460 = 540,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 547,93 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} = \frac{547,93}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2} = 1,933 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{2 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b-2 \cdot Ds_1}{D+Sn} + 1 = \frac{250-2 \cdot 59,5}{19 \text{ mm}+40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,22 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 2 \text{ D19} = 2 (1/4 \cdot 3,14 \cdot 19^2) = 566,77 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 566,77 \cdot 400 \left( 460 - \frac{47,53}{2} \right) = 98897964,38 \text{ Nmm}$$

$$= 98,897 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 98,862 \text{ KNm} = 79,1176 \text{ KNm} > -81,1518 \text{ KNm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq M_u$ ), dengan demikian kebutuhan D19 aman untuk dipakai.

b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{Mu^+}{Mu^-} = \frac{76,5387}{81,1518} = 0,943$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{Mu^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{76,5387 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,808$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$$

$$= 5,70$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,808}{0,85 \cdot 21,7}} \right)$$

$$= 0,0047$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0176$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0047 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{begel} + D/2 = 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,808}{0,85 \cdot 21,7}}\right) \cdot 460 = 47,53 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 47,53 \cdot 250}{400} = 547,93 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 250 \cdot 460 = 540,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $A_s = 547,93 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{547,93}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2} = 1,933 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{2 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 59,5}{19 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,22 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 2 \text{ D19} = 2 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2\right) = 566,77 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 566,77 \cdot 400 \left(460 - \frac{47,53}{2}\right) = 98897964,38 \text{ Nmm}$$

$$= 98,897 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 98,862 \text{ KNm} = 79,1176 \text{ KNm} > -81,1518 \text{ KNm} \dots \dots \dots (\mathbf{Aman})$$

*Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D19 aman untuk dipakai.*

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 45,307 \text{ KN}$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\emptyset = 0,6$  Faktor reduksi geder

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{21,7} \cdot 250 \cdot 460 = 89,284 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 89,284 \text{ KN} = 44,642 \text{ KN}$$

$$V_{S\text{perlu}} = \frac{V^+}{\emptyset} - V_c = \frac{45,307}{0,60} - 89,284 \text{ KN} = -13,772 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (sengkang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{\text{sengk}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak sengkang adalah:}$$

$$S_{\text{jarak}} = \frac{A_{\text{sengk}} \cdot F_y \cdot d}{V_{S\text{perlu}}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 460}{-13,772 \times 10^3} = 1048,79 \text{ mm}$$

**Balok B3C**

$F_c'$ (Mutu Beton)	= 21,7 MPa
$F_y$ (Mutu Beton)	= 400 MPa
Dimensi balok	= 250 x 500 mm
Ukuran balok	= 7,6 m
Tulangan balok	= D16 dan D10
$M_u^+$	= 70,6757 KNm
$M_u^-$	= -50,0619 KNm
$V^+$	= 37,363 KN
$V^-$	= -35,629 KN

Menghitung Kebutuhan Balok

Taksiran penutup beton ( $d'$ )	= 40 mm.
Tinggi efektif balok ( $d$ )	= $h - d' = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 460 \text{ mm}$ .
$\phi = 0,80$	faktor aksial tarik dan lentur
$\beta_1 = 0,85$	faktor pembentuk tegangan beton

a. Tulangan Lentur Tumpuan

R (koefisien kuat rencana)	$= \frac{M_u^-}{M_u^+} = \frac{50,0619}{70,6757} = 0,708$
K (faktor momen pikul)	$= \frac{M_u^-}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{50,0619 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,182$
$K_{maks}$ (momen pikul maks)	$= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$ $= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$ $= 5,70$
$\rho_{pertu}$	$= \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$ $= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,182}{0,85 \cdot 21,7}} \right)$ $= 0,0030$
$\rho_{min}$	$= \frac{1,4}{R_y}$ , jika $F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
$\rho_{maks}$	$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0176$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0030 < 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \emptyset_{bege} + D/2 = 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c r}} \right) \cdot d = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,182}{0,85 \cdot 21,7}} \right) \cdot 460 = 30,452 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 30,452 \cdot 250}{400} = 351,054 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0030 \cdot 250 \cdot 460 = 345 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 351,054 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{351,054}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 1,746 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{2 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b-2 \cdot Ds_1}{D+S_n} + 1 = \frac{250-2 \cdot 58}{16 \text{ mm}+40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,39 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } A_s = 2 \text{ D16} = 2 (1/4 \cdot 3,14 \cdot 16^2) = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 401,92 \cdot 400 \left( 460 - \frac{30,452}{2} \right) = 71505426,432 \text{ Nmm}$$

$$= 71,505 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 71,505 \text{ KNm} = 57,204 \text{ KNm} > -50,0619 \text{ KNm} \dots \dots \dots \text{ (Aman)}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot M_n \geq M_u$ ), dengan demikian kebutuhan D16 aman untuk dipakai.

### b. Tulangan Lentur Lapangan Melintang

$$R \text{ (koefisien kuat rencana)} = \frac{Mu^+}{Mu^-} = \frac{70,6757}{50,0619} = 1,4117$$

$$K \text{ (faktor momen pikul)} = \frac{Mu^+}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{70,6757 \times 10^6}{0,80 \cdot 250 \cdot 460^2} = 1,670$$

$$K_{maks} \text{ (momen pikul maks)} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot F_c' (600 + F_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + F_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 21,7 (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2}$$

$$= 5,70$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot F_c'}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 21,7}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,670}{0,85 \cdot 21,7}} \right)$$

$$= 0,0043$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{R_y}, \text{ jika } F_c' \leq 30 \text{ Mpa} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot F_c' \cdot \beta_1}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0176$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya dimana nilai:

Syarat : **Jika  $K \leq K_{maks}$  (Tulangan Tunggal), Jika  $K \geq K_{maks}$  (Tulangan Rangkap)**

$K \leq K_{maks}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

$\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$ , maka dapat digunakan tulangan tunggal untuk balok yang ditinjau

Syarat :  $\rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$



$$\rho_{perlu} > \rho_{min} = 0,0043 > 0,0035$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{perlu}$

$$\text{Mencari nilai } ds_1 = \text{penutup beton} + \phi_{begel} + 19/2 = 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

Mencari nilai a (tinggi tegangan balok beton)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot F'c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,670}{0,85 \cdot 21,7}}\right) \cdot 460 = 43,746 \text{ mm}$$

Luas Tulangan Perlu As

$$As = \frac{0,85 \cdot F'c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 21,7 \cdot 43,746 \cdot 250}{400} = 504,309 \text{ mm}^2$$

$$As' = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0043 \cdot 250 \cdot 460 = 494,5 \text{ mm}^2$$

*Dipilih yang terbesar yaitu  $As = 504,309 \text{ mm}^2$*

Maka Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{As}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{504,309}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 2,509 \rightarrow \text{dipakai } \mathbf{3 \text{ batang}}$$

Jumlah tulangan maksimum perbaris (m) :

$$m = \frac{b - 2 \cdot Ds_1}{D + S_n} + 1 = \frac{250 - 2 \cdot 58}{16 \text{ mm} + 40 \text{ mm}} + 1 = \mathbf{3,39 \text{ batang}}$$

Jadi, tulangan dapat dipasang 1 baris.

Kontrol Keamanan Terhadap  $M_{rencana}$  :

Syarat :  $M_{rencana} \geq Mu$

$$\text{Luas tulangan terbesar } As = 3 \text{ D16} = 3 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2\right) = 602,88 \text{ mm}^2$$

$$Mn = As \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 602,88 \cdot 400 \left(460 - \frac{43,746}{2}\right) = 105655202,304 \text{ Nmm}$$

$$= 105,655 \text{ KNm}$$

$$\phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 105,655 \text{ KNm} = 84,524 \text{ KNm} > -50,0619 \text{ KNm} \dots \dots \dots (\mathbf{Aman})$$

*Berdasarkan perhitungan tersebut struktur memenuhi syarat ( $\phi \cdot Mn \geq Mu$ ), dengan demikian kebutuhan D16 aman untuk dipakai.*

c. Perencanaan Tulangan Geser Balok Melintang

$$V^+ = 37,363 \text{ KN}$$

Taksiran diameter yang digunakan = D-10 untuk Beugel

$\emptyset = 0,6$  Faktor reduksi geder

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{21,7} \cdot 250 \cdot 460 = 89,284 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 89,284 \text{ KN} = 44,642 \text{ KN}$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{V^+}{\emptyset} - V_c = \frac{37,636}{0,60} - 89,284 \text{ KN} = -26,557 \text{ KN}$$

Jika digunakan tulangan D-10 untuk geser (senggang), alasan menggunakan D-10 karena sangat gampang untuk dibengkokkan menjadi Beugel.

$$A_{seng} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2\right) = 78,5 \text{ mm}^2, \text{ maka jarak senggang adalah:}$$

$$S_{jarak} = \frac{A_{seng} \cdot F_y \cdot d}{V_{S_{perlu}}} = \frac{78,5 \cdot 400 \cdot 460}{26,557 \times 10^3} = 543,886 \text{ mm}$$