

SKRIPSI

**“REDESIGN GEDUNG LABORATORIUM DASAR BERSAMA UNIVERSITAS
MATARAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA BETON KOMPOSIT”**

**Diajukan sebagai bagian dari persyaratan untuk mencapai derajat
study strata satu (S-1) pada Fakultas Teknik
Program Study Rekayasa Sipil
Universitas Muhammadiyah Mataram**



Disusun oleh :

Nama : FAIZAL AMIR

NIM : 412 11A 0015

**PROGRAM STUDI REKAYASA SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

“REDESIGN GEDUNG LABORATORIUM DASAR BERSAMA
UNIVERSITAS MATARAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA
BETON KOMPOSIT”



Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing :

1. Pembimbing I

Maya Saridevi Pascanawati, ST., MT.

Tanggal : 19 Agustus 2019

2. Pembimbing II

Yulia Putri Wijaya, ST., MT.

Tanggal : 19 Agustus 2019

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram

Ir. ISFANARI, ST., MT
NIDN. 0830086701

Ketua Program Studi Rekayasa Sipil
Universitas Muhammadiyah Mataram

TITIK WAHYUNINGSIH, ST., MT
NIDN. 0819097401

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI
“REDESIGN GEDUNG LABORATORIUM DASAR BERSAMA
UNIVERSITAS MATARAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA
BETON KOMPOSIT”

Yang Dipersiapkan Dan Disusun Oleh :

Nama : FAIZAL AMIR

NIM : 41211A0015

Telah dipertahankan di depan tim penguji


Pada tanggal : 23 Agustus 2019

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan tim penguji :

Susunan Tim Penguji

1. Maya Saridewi Pascanawati, ST.,MT. (..........Ketua)

2. Agustini Ernawati, ST., M. Tech. (..........Anggota 1)


3. Yulia Putri Wijaya, ST.,MT. (..........Anggota 2)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram


Ir. ISFANARI, ST., MT
NIDN. 0830086701

Ketua Program Studi Rekayasa Sipil
Universitas Muhammadiyah Mataram


TITIK WAHYUNINGSIH, ST., MT
NIDN. 0819097401

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : FAIZAL AMIR

NIM : 41211A0015

Jurusan : Rekayasa Sipil

Program Studi : S1

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“REDESIGN GEDUNG LABORATORIUM DASAR BERSAMA UNIVERSITAS MATARAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA BETON KOMPOSIT”** ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian dan karya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Apabila dibelakang hari pernyataan karya tulis ini tidak asli, saya siap gelar dan ijazah yang telah diberikan oleh Universitas Muhammadiyah Mataram batal saya terima.

Mataram, Agustus 2019

A rectangular adhesive stamp with a yellow background and a green border. The text on the stamp includes "METERAI TEMPEL" at the top, "75C3" in the middle, and "6000 ENAM RIBURUPAH" at the bottom. A black ink signature is written over the stamp.

(FAIZAL AMIR)



MOTTO

Kesuksesan dunia sejatinya adalah ujian

Maka janganlah mudah berbangga hati dengan kesuksesan dunia sebab

kesuksesan dunia bukanlah kesuksesan yang sebenarnya

Imbangi usaha dengan do'a sebab do'a adalah senjata utama bagi orang beriman

Jangan terlalu yakin dengan usaha sebab

usaha tanpa pertolongan-Nya tak akan ada hasilnya.

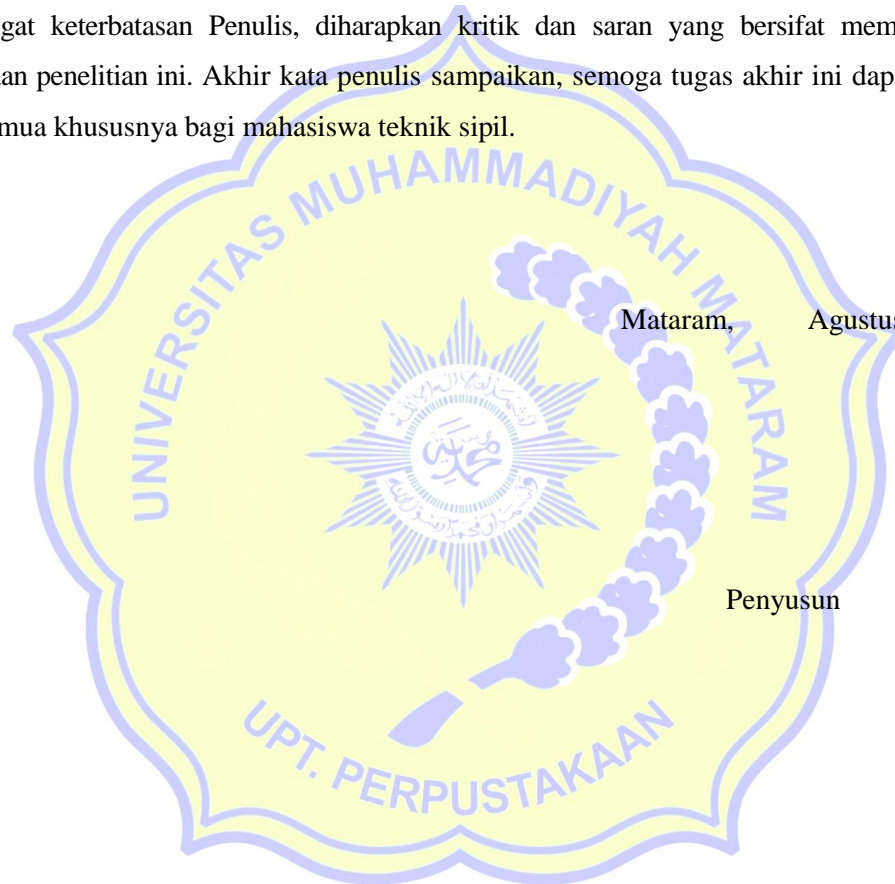


KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala berkat, rahmat, bimbingan, dan karunianya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul “*Redesign* Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram Menggunakan Struktur Baja Beton Komposit” ini dapat diselesaikan sebagaimana mestinya.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan wajib akademis bagi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram dalam menyelesaikan program pendidikan untuk mencapai tingkat kesarjanaan Strata 1 (S-1).

Mengingat keterbatasan Penulis, diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis sampaikan, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi mahasiswa teknik sipil.



Mataram, Agustus 2019

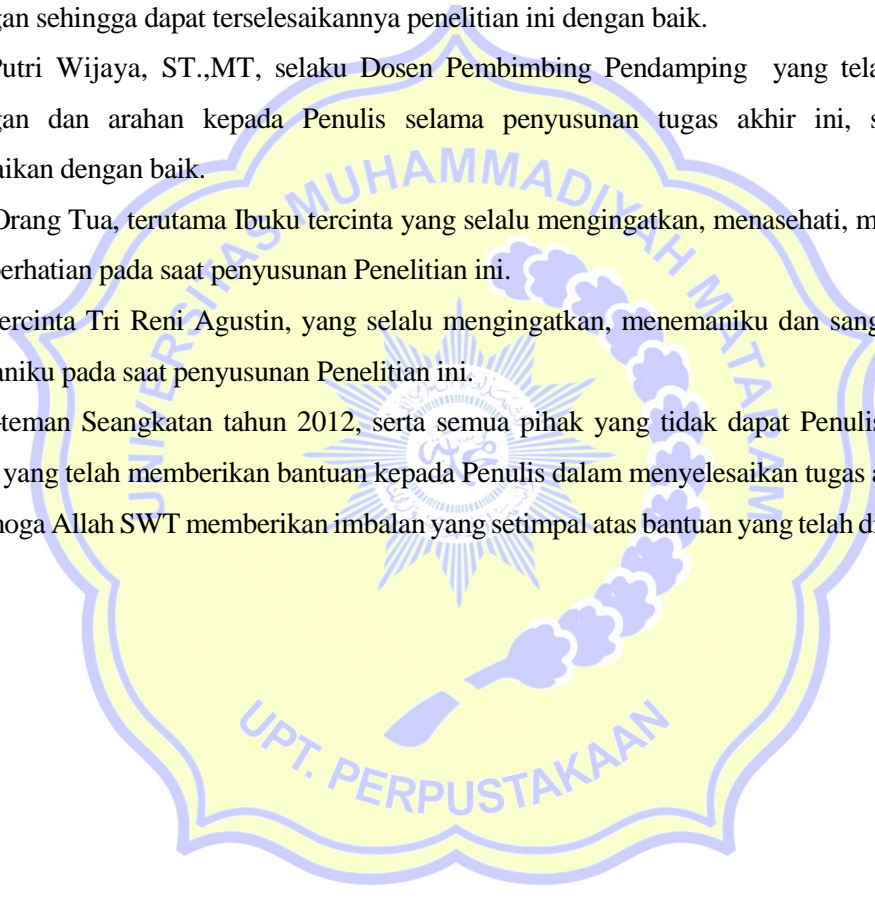
Penyusun

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat penulis selesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moril maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. H. Arsyad Abd. Gani, M.Pd. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Isfanari, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku Ketua Program Study Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Maya Saridewi Pascanawaty, ST.,MT., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan sehingga dapat terselesaikannya penelitian ini dengan baik.
5. Yulia Putri Wijaya, ST.,MT, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada Penulis selama penyusunan tugas akhir ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
6. Kedua Orang Tua, terutama Ibuku tercinta yang selalu mengingatkan, menasehati, menemaniku dan sangat perhatian pada saat penyusunan Penelitian ini.
7. Istriku tercinta Tri Reni Agustin, yang selalu mengingatkan, menemaniku dan sangat sabar dalam menemaniku pada saat penyusunan Penelitian ini.
8. Teman-teman Seangkatan tahun 2012, serta semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan kepada Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan yang telah diberikan kepada Penulis.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xvi
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Perencanaan.....	2
1.4 Batasan Perencanaan	2
1.5 Manfaat Perencanaan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	3
2.2 Landasan Teori	3
2.2.1 Bangunan tinggi tahan gempa	3
2.2.2 Struktur komposit.....	4
2.2.3 Kriteria perencanaan.....	5
2.2.3.1 Sistem struktur.....	5
2.2.3.2 Persyaratan desain.....	5
2.2.3.3 Kombinasi beban terfaktor	6
2.2.3.4 Analisis beban dinamik respon spectrum	

SNI 1726:2012.....	6
2.2.4 Metode analisa langsung “ <i>Direct Analysis Method (DAM)</i> ”	
<i>AISC 2010</i> ”.....	7
2.2.4.1 Perancangan stabilitas	7
2.2.4.2 Persyaratan analisis struktur	8
2.2.4.3 Penyesuaian kekakuan.....	10
2.2.5 Perencanaan struktur komposit	10
2.2.5.1 Perencanaan pelat.....	10
2.2.5.2 Perencanaan balok komposit.....	15
2.2.5.3 Perencanaan kolom komposit.....	17
2.2.5.4 Persyaratan pendetailan komponen struktur komposit terbungkus beton.....	23
2.2.5.5 Batang portal (balok-kolom)	25
BAB III METODE ANALISIS	
3.1 Lokasi dan Deskripsi Model Struktur	30
3.2 Data Perencanaan	36
3.2.1 Data umum bangunan.....	36
3.2.2 Data redesign	37
3.2.3 Data bahan	37
3.3 Preliminary Desain dan Pembebanan	37
3.3.1 Preliminary desain	37
3.3.2 Pembebanan	37
3.3.2.1 Beban mati	37
3.3.2.2 Beban hidup lantai dan atap.....	38
3.3.2.3 Beban gempa	38
3.3.2.4 Kombinasi pembebanan	38
3.3.3 Analisa Struktur dengan SAP 2000 v.14	38

3.4 Perencanaan Struktur	39
3.4.1 Perencanaan pelat	39
3.4.2 Perencanaan balok.....	39
3.4.3 Perencanaan kolom	39
3.4.4 Bagan alir.....	39

BAB IV HASIL ANALISIS DAN PERENCANAAN

4.1 Umum	41
4.2 Data Perencanaan	41
4.2.1 Material struktur	41
4.2.2 Dimensi komponen struktur.....	41
4.2.2.1 Dimensi balok.....	42
4.2.2.2 Dimensi kolom	43
4.2.2.2 Pelat.....	44
4.2.3 Pembebanan struktur.....	44
4.2.3.1 Kombinasi pembebanan	44
4.2.3.2 Perhitungan beban mati	45
4.2.3.3 Beban hidup	46
4.2.3.4 Beban gempa	46
4.3 Perencanaan Komponen Struktur	47
4.3.1 Perencanaan pelat beton bertulang.....	47
4.3.2 Perencanaan balok komposit	58
4.3.2.1 Data material dan penampang.....	58
4.3.2.2 Klasifikasi penampang terhadap tekuk lokal.....	60
4.3.2.3 Batas tulangan memanjang dan baja structural tercantum di SNI 1729 Pasal I1.1(4), I2.1 dan SNI 2847.....	60
4.3.2.4 Menghitung ϕM_n	61
4.3.2.5 Kuat geser yang tersedia	62

4.3.2.6 Batasan tulangan transversal yang tercantum dalam SNI 1729 Pasal I1.1(3), I2.1a(2) dan SNI 2847.....	63
4.3.3 Perencanaan kolom komposit.....	64
4.3.3.1 Data material dan penampang.....	64
4.3.3.4 Menghitung ϕM_n	70
4.3.3.5 Kombinasi aksial dan lentur.....	72
4.3.3.6 Kuat geser yang tersedia.....	72
4.3.2.6 Batasan tulangan transversal yang tercantum dalam SNI 1729 Pasal I1.1(3), I2.1a(2) dan SNI 2847.....	73
4.4 Perbandingan Hasil Dimensi Elemen Struktur Sebelum Dan Sesudah Menggunakan Struktur Baja Beton Komposit.....	73
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	76
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

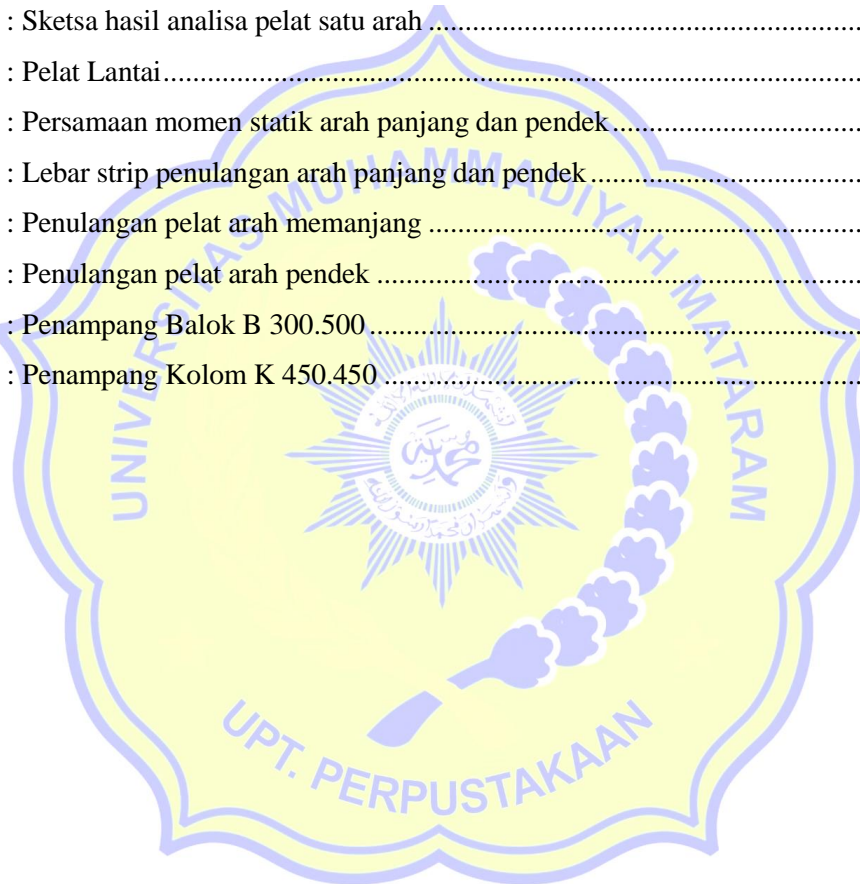
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Tebal Minimum Pelat sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013	11
Tabel 2.2	: Batasan Lendutan Pelat sumber: Tabel 9.5(b) SNI 2847:2013	11
Tabel 2.3	: Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat	12
Tabel 2.4	: Distribusi pada plat ujung	14
Tabel 2.5	: Persyaratan Penulangan Badan Balok Beton Bertulang	24
Tabel 4.1	: <i>Preliminary</i> desain profil balok baja komposit	42
Tabel 4.2	: <i>Preliminary</i> profil baja berdasarkan luas lantai maksimum (<i>sumber: Building Construction Principles, Material, and System 2nd Edition, 2013</i>)	43
Tabel 4.3	: Ukuran profil baja kolom berdasarkan luas lantai lantai maksimum kumulatif pada tiap lantai	43
Tabel 4.4	: Kombinasi beban analisa struktur	44
Tabel 4.5	: Hasil perhitungan momen dan tulangan	48
Tabel 4.6	: Presentase Momen pada Lajur kolom untuk pelat dalam (SNI 2847: 2013, Pasal 13.6.4) (<i>sumber: Muhamad Ikbal, Perencanaan Ulang Struktur Gedung Amarsvati Dengan Portal Baja Beton Komposit "Encese Composite Members" (Berdasarkan SNI 2847: 2013)</i>)	53
Tabel 4.7	: Penulangan pelat arah Memanjang	54
Tabel 4.8	: Penulangan pelat arah Pendek	56
Tabel 4.9	: Properti Penampang baja IWF	60
Tabel 4.10	: Properti Penampang baja IWF	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Macam-macam struktur komposit	4
Gambar 2.2 : Spektrum respon desain (<i>Sumber: SNI 1726:2012</i>)	7
Gambar 2.3 : Momen yang dipengaruhi efek P-delta <i>sumber : Dewobroto,2014</i>	9
Gambar 2.4 : Distribusi momen pada suatu pelat dalam, dengan bentang $l_1 > l_2$ (sumber: Setiawan, A. Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)).....	14
Gambar 2.5 : Distribusi momen static total menjadi momen positif dan negative (sumber: Setiawan, A. Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)).....	14
Gambar 2.6 : Kapasitas Plastis untuk persegi panjang, profil WF terbungkus beton melentur di sumbu x-x (<i>Sumber: Petunjuk Teknis Penggunaan SNI 1729</i>).....	15
Gambar 2.7 : Kapasitas plastis penampang komposit terbungkus beton arah X-X (<i>sumber: Design Example 4.2 AISC 7-16</i>)	21
Gambar 2.8 : Kapasitas plastis penampang komposit terbungkus beton arah Y-Y (<i>sumber: Design Example 4.2 AISC 7-16</i>)	22
Gambar 2.9 : Detail kolom komposit terbungkus beton “encased composite members	23
Gambar 2.10 : Peulangan Badan Balok Beton Bertulang (<i>sumber: Nasution, Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang</i>).....	23
Gambar 3.1 : Lokasi pembangunan Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram (<i>Sumber: Google Earth 2018</i>)	30
Gambar 3.2 : Denah kolom lantai 1.....	31
Gambar 3.3 : Denah kolom lantai 2.....	31
Gambar 3.4 : Denah kolom lantai 3.....	31
Gambar 3.5 : Denah kolom lantai 4.....	32
Gambar 3.6 : Denah kolom lantai 5.....	32
Gambar 3.7 : Detail penulangan kolom lantai 1 dan 2	33
Gambar 3.8 : Detail penulangan kolom lantai 3	33
Gambar 3.9 : Detail penulangan kolom lantai 4 dan 5	34
Gambar 3.10 : Detail portal melintang	35
Gambar 3.11 : Detail portal memanjang	36
Gambar 3.12 : Bagan alir studi <i>Redesign</i> Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram	40

Gambar 4.1 : Preliminary ukuran balok baja profil (sumber: Appendix B; Preliminary Sizing of Structural Members - Building Construction; Principles, Materials, and Systems).....	42
Gambar 4.2 : Penampang Balok Komposit	43
Gambar 4.3 : Penampang Kolom Komposit.....	44
Gambar 4.4 : Grafik Respon Spektrum Tanah Lunak Lokasi Gedung Laboratorium Bersama Universitas Mataram (sumber: Website Puskim PUPR).....	47
Gambar 4.5 : Sketsa hasil analisa pelat satu arah	49
Gambar 4.6 : Pelat Lantai.....	50
Gambar 4.7 : Persamaan momen statik arah panjang dan pendek.....	52
Gambar 4.8 : Lebar strip penulangan arah panjang dan pendek.....	53
Gambar 4.9 : Penulangan pelat arah memanjang	57
Gambar 4.10 : Penulangan pelat arah pendek	57
Gambar 4.11 : Penampang Balok B 300.500.....	58
Gambar 4.12 : Penampang Kolom K 450.450	65



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A_c	luas bersih penampang beton
A_g	luas bruto komponen struktur komposit
A_v	luas tulangan geser
A_{gv}	luas utuh (tanpa lubang) potongan mengalami gaya geser
A_{nt}	luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya tarik
A_{nv}	luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser
A_s	luas profil baja
A_{sr}	luas seluruh batang tulangan menerus
A_{srs}	luas batang tulangan menerus pada centerline
A_1	luas beton yang dibebani gaya tekan konsentris, mm ²
A_2	luas permukaan beton landasan mm ²
cs	selimut beton
C_1	koefisien untuk perhitungan kekuatan dari suatu komponen struktur tekan komposit terbungkus beton
D	beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen
d_b	diameter baut
d_{br}	diameter tulangan utama
d_{bs}	diameter tulangan sengkang
e	eksentrisitas
E	beban gempa
E_c	modulus elastisitas beton
EI_{eff}	kekakuan efektif penampang komposit
E_s	modulus elastisitas baja
f_p	tegangan tumpu beton
F_a	Getaran periode pendek
F'_c	kekuatan tekan beton yang disyaratkan
F_v	Percepatan periode 1 detik

F_y	Tegangan leleh profil baja
F_{yc}	tegangan leleh pelat sayap kolom
F_{ysr}	tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari batang tulangan
G	Modulus geser
I_c	momen inersia dari penampang beton di sumbu netral elastis dari penampang komposit
I_s	momen inersia profil baja disumbu netral elastis dari penampang komposit
I_{sr}	momen inersia batang tulangan disumbu netral elastis dari penampang
L	beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
L_r	beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap
N_i	beban notional yang digunakan pada level i dari kombinasi beban DFBK
n_s	jumlah permukaan yang menimbulkan bidang kontak
R_n	Kekuatan nominal
R_u	Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK
S_{DS}	parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5%
S_{D1}	parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5%
S_{MS}	parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	parameter sepkrum respon percepatan pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

ABSTRAK

Gedung laboratorium dasar bersama universitas mataram yang terdiri dari 4 lantai berada di Mataram tepatnya di dalam lingkungan kampus Universitas Mataram, sistem struktur gedung eksisting yang digunakan dalam pembangunan gedung laboratorium ini menggunakan struktur beton bertulang dengan keadaan eksisting elemen struktur relatif berukuran besar. Kemudian untuk merencanakan gedung dengan kemampuan struktur yang lebih kuat, maka dilakukan perencanaan ulang menggunakan struktur portal baja beton komposit yaitu desain elemen profil baja yang diselubungi beton “encased composite members” baik pada elemen balok maupun kolom. Kelebihan dari struktur komposit tersebut dapat menghasilkan dimensi baja yang lebih efisien dan memberikan ketahanan terhadap api apabila terjadi kebakaran pada struktur bangunan, diharapkan kinerja komposit dapat menambah kekakuan pada struktur dengan elemen struktur yang relatif lebih efisien.

Perencanaan ini menggunakan bantuan program analisa struktur “SAP 2000 v.14 “ yang meliputi permodelan, pembebanan, dan Analisa struktur. Hasil analisis struktur komposit didasarkan pada peraturan perencanaan struktur baja SNI 1729-2015 dan peraturan kegempaan SNI 1726-2012. Material yang digunakan adalah mutu beton $f'c$ 30 MPa, mutu baja profil BJ 41 (f_y 250 MPa), mutu baja tulangan (f_y 400 MPa) dengan tulangan D20 pada kolom komposit, D16 pada Balok Komposit dan sengkang \varnothing 10.

Perencanaan sistem struktur baja beton komposit menghasilkan dimensi elemen struktur relatif lebih kecil sehingga penggunaan fungsi ruang menjadi lebih luas. Adapun dimensi balok sebelum menggunakan struktur komposit antara lain pada balok 250/600 setelah menggunakan struktur komposit menjadi balok 300/500, pada balok 200/300 setelah menggunakan struktur komposit menjadi balok 250/450, pada balok 250/300 setelah menggunakan struktur komposit menjadi balok 150/250. Sementara dimensi pada kolom 500/500 setelah menggunakan struktur komposit menjadi kolom 450/450.

Kata kunci : *encased composite members*, SNI 1729-2015, SNI 1726-2012

ABSTRACT

The basic laboratory building with Mataram University, which consists of 4 floors, is located in Mataram, precisely within the Mataram University campus environment, the existing building structure system used in the construction of this laboratory building uses reinforced concrete structures with existing relatively large structural elements. Then to plan the building with a stronger structural capability, then re-planning using a composite concrete steel portal structure that is the design of steel profile elements covered with concrete "encased composite members" both in the beam and column elements. The advantages of the composite structure can produce steel dimensions that are more efficient and provide resistance to fire in the event of a fire in the building structure, it is expected that the composite performance can add rigidity to structures with relatively more efficient structural elements.

This planning uses the help of the structural analysis program "SAP 2000 v.14" which includes modeling, loading, and structural analysis. The results of the composite structure analysis are based on SNI 1729-2015 steel structure planning regulations and SNI 1726-2012 seismic regulations. The materials used are concrete quality $f'c$ 30 MPa, quality steel profile BJ 41 (f_y 250 MPa), quality steel reinforcement (f_y 400 MPa) with reinforcement D20 in composite columns, D16 in Composite Beams and stirrups $\emptyset 10$.

Composite steel structure planning system produces relatively smaller structural element dimensions so that the use of space functions becomes wider. The dimensions of the beam before using a composite structure include, among others, 250/600 beams after using a composite structure into a 300/500 beam, 200/300 beams after using a composite structure into a 250/450 beam, 250/300 beams after using a composite structure into a beam 150/250. While the dimensions in the 500/500 column after using a composite structure become a 450/450 column.

Keywords: encased composite members, SNI 1729-2015, SNI 1726-2012



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material baja dan beton umumnya menjadi material utama pada bangunan gedung, dengan perbedaan kedua material tersebut mempengaruhi karakteristik pada bangunan gedung. Material baja secara alami mempunyai rasio kuat berbanding berat- volume yang tinggi, sehingga dihasilkan bangunan yang relatif ringan. Selain itu, material baja punya karakter kekuatan tinggi, relatif kaku dan sangat daktail. Pada satu sisi penggunaan material baja memerlukan detail sambungan yang baik karena sulit dihasilkan struktur yang monolit. Material beton berbeda dari segi kekuatan, kekakuan atau daktilitasnya, masih kurang jika dibandingkan material baja. Material beton punya rasio kuat dibanding berat-volume yang rendah, hasilnya sistem strukturnya relatif lebih berat. Sisi lain, secara alami beton punya karakter lebih awet, ketahanan lingkungan yang baik, tidak korosi, tahan panas (tidak terbakar), dan mudah untuk dibentuk. Ini yang menyebabkan konstruksi beton lebih monolit atau menerus.

Karakter berbeda oleh material beton dan baja pada kondisi tertentu memiliki sifat yang saling melengkapi, gabungan antara kedua material baja dan beton dapat menghasilkan elemen struktur komposit yang menggabungkan keunggulan beton-bertulang dengan pemakaian profil baja, yang biasa dipakai pada konstruksi baja, untuk bersama-sama memikul gaya-gaya yang bekerja sehingga pemakaian material menjadi efisien.

Salah satu alternatif penggunaan struktur baja beton komposit yaitu dengan komposit profil baja diselubungi beton "*encased composite members (AISC)*" baik pada elemen kolom maupun balok. Selain menambah kekakuan pada elemen struktur, penggunaan komposit tersebut juga memberikan ketahanan terhadap api apabila terjadi kebakaran pada struktur bangunan.

Sebagai bahan studi perencanaan, struktur baja beton komposit "*encased composite members*" akan dijadikan struktur utama dalam perencanaan ulang struktur bangunan gedung yaitu pada perencanaan ini dipilih Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram. Komposit kolom dan balok yang diselubungi beton akan direncanakan untuk menggantikan struktur utama Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram yang menggunakan struktur beton bertulang.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang ada dalam redesign Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram dengan struktur baja beton komposit adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penggunaan material elemen struktur komposit “*encased composite members*” yang meliputi pelat lantai, balok komposit dan kolom komposit.
2. Bagaimana perbandingan dimensi elemen struktur sebelum menggunakan struktur baja beton komposit dan setelah menggunakan struktur baja beton komposit .

1.3 Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan dari redesign gedung Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram dengan struktur baja beton komposit adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui penggunaan elemen struktur komposit “*encased composite members*” yang meliputi balok dan kolom komposit.
- b. Mengetahui perbandingan dimensi elemen struktur sebelum menggunakan struktur baja beton komposit dan setelah menggunakan struktur baja beton komposit.

1.4 Batasan Perencanaan

Batasan perencanaan dalam studi kasus ini yaitu :

1. Perencanaan struktur gedung meliputi balok, kolom dan pelat.
2. Perencanaan tidak meliputi instalasi mekanikal, elektrik dan plumbing.
3. Tidak meninjau dari segi metode pelaksanaan, analisa biaya, arsitektural dan manajemen konstruksi.
4. Program permodelan struktur komposit menggunakan program SAP 2000 v.14, sedangkan gambar detail hasil perencanaan menggunakan program AutoCAD.

1.5 Manfaat Perencanaan

Manfaat yang bisa didapatkan dari perencanaan ini adalah :

1. Dapat merencanakan struktur komposit yang memenuhi persyaratan keamanan struktur.
2. Hasil perencanaan ini dapat dijadikan acuan untuk perencanaan bangunan dengan struktur komposit selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem struktur komposit sendiri terbentuk akibat adanya interaksi antara komponen struktur baja dengan beton, yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Beberapa karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton adalah ketahanan yang baik terhadap api, mudah dibentuk, dan murah. (*Dong Keon Kim (2005) dalam Insan Wiseso (2010)*).

Balok profil baja yang dicor dalam beton banyak digunakan sejak awal abad ke-19 sampai ditemukannya bahan berbobot ringan untuk perlindungan terhadap api pada 25 tahun terakhir. Beberapa balok seperti ini direncanakan secara komposit, sedangkan lainnya tidak. Pada awal dekade 1930, konstruksi jembatan mulai menggunakan penampang komposit. Sebelum awal dekade 1960, konstruksi komposit untuk gedung tidak ekonomis. Namun praktek dewasa ini memanfaatkan aksi komposit pada hampir semua keadaan dimana profil baja dan beton saling melekat, baik pada perencanaan jembatan maupun pada gedung. (*Salmon & Johnson 1991*).

Ketentuan perencanaan Lantai komposit pada bangunan gedung pertama kali diberlakukan dalam spesifikasi *AISC 1952*. Bentuk komposit pada sistem ini baja dapat diselubungi beton secara keseluruhan, atau tanpa diselubungi beton yaitu menggunakan penghubung geser. Pada kondisi komposit baja diselubungi beton, kondisi geser diterima oleh ikatan dan gesekan antara profil baja dan beton. (*McCormac & Cserneck 2012*).

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Bangunan Tinggi Tahan Gempa

Pada dasarnya terdapat tiga filosofi bangunan tahan gempa. Pertama, apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun struktural. Kedua, apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-struktural, akan tetapi komponen struktur tidak boleh rusak. Ketiga, apabila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat. Artinya, sebelum bangunan runtuh masih ada waktu bagi penghuni untuk mengungsi ke tempat aman (*Tular, 1984*).

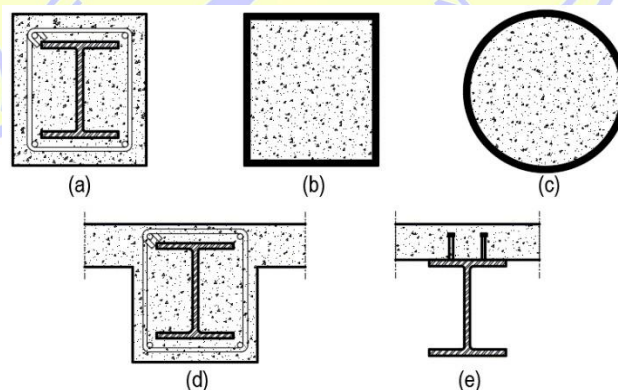
Bangunan yang dikatakan tahan gempa adalah bangunan yang merespon gempa dengan sifat daktilitas yang mampu bertahan dari keruntuhan, fleksibilitas dalam meredam getaran gempa. Prinsip-prinsip perencanaan bangunan tahan gempa: (Tular, 1984).

- a. Daktilitas
- b. Konfigurasi bentuk bangunan
- c. Diagfragma dan ikatan lantai
- d. Hubungan dinding antar lantai dan atap
- e. Hubungan antar pondasi
- f. Bobot yang ringan
- g. Ketahanan terhadap kebakaran

2.2.2 Struktur Komposit

Batang komposit adalah batang yang terdiri dari profil baja dan beton yang digabung bersama untuk memikul beban tekan dan atau lentur. Batang yang memikul lentur umumnya disebut dengan balok komposit. Sedangkan batang yang memikul beban tekan umumnya disebut dengan kolom komposit.

Perpaduan baja dengan beton juga dapat menjadi salah satu material konstruksi sistem komposit. Dengan asumsi bahwa baja dan beton bekerja secara bersamaan dalam memikul beban yang bekerja pada suatu struktur, sehingga diharapkan akan menghasilkan desain profil atau elemen yang lebih ekonomis. Konstruksi komposit balok dan kolom komposit dapat memikul berat sendiri, berbeda dengan beton bertulang maupun beton prategang karena tulangan bajanya tidak secara struktur memikul beban. Umumnya struktur komposit dapat berupa, sebagai berikut:



Gambar 2.1 Macam-macam struktur komposit *Ikbal M, 2017*

- 1) Kolom baja terbungkus beton atau balok baja terbungkus beton (Gambar 1.a & 1.d)
- 2) Kolom baja terisi beton atau tiang pancang (Gambar 1.b & 1.c)
- 3) Balok baja yang menahan slab beton (Gambar 1.e)

2.2.3 Kriteria Perencanaan

2.2.3.1 Sistem Struktur

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem pemikul momen dapat dibagi menjadi:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah (zona 1 dan 2)

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan di daerah dengan zona gempa 1 hingga zona 4.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem ini memiliki daktilitas penuh dan diterapkan pada wilayah gempa zona 5 dan 6.

Pada perencanaan Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram ini akan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah karena wilayah bangunan termasuk pada wilayah gempa kuat zona 4.

2.2.3.2 Persyaratan Desain

SNI 1729:2015 Pasal B1 tentang ketentuan umum persyaratan desain yaitu desain dari komponen struktur dan sambungan harus konsisten dengan perilaku dimaksud dari sistem portal dan asumsi yang dibuat dalam analisis struktur, kecuali dibatasi oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku, ketahanan terhadap beban lateral dan stabilitas bisa menggunakan setiap kombinasi komponen struktur dan sambungan.

Desain harus dibuat sesuai dengan ketentuan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) atau dengan ketentuan untuk Desain Kekuatan Izin (DKI). Pada tugas akhir ini dalam perencanaannya didasarkan pada ketentuan DFBK, persyaratan DFBK pada SNI 1729:2015 Pasal B3.3 bahwa persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK. Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan 2.1 :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

Keterangan :

R_u = kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

R_n = kekuatan nominal

Φ = faktor ketahanan

ΦR_n = kekuatan desain

2.2.3.3 Kombinasi Beban Terfaktor

Kombinasi beban nominal yang digunakan dalam metode desain kekuatan (DFBK) menurut SNI 1727:2013 pasal 2.3.2 sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D \pm 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2 D \pm 1,0 E + L + 0,2 S$
6. $0,9 D \pm 1,0 W$
7. $0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung

L_r = beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

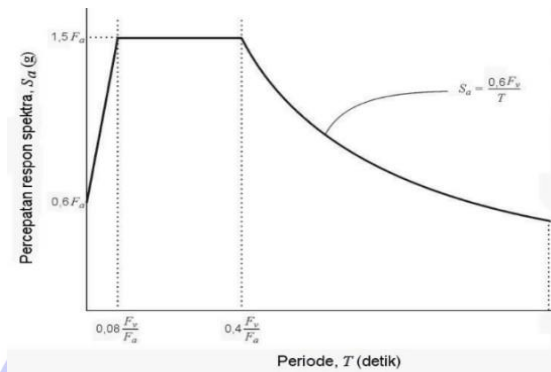
S = beban salju

2.2.3.4 Analisis Beban Dinamik Respon Spectrum SNI 1726:2012

Response Spectrum adalah suatu *spectrum* yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral displacement, SD*), Kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral acceleration, SA*) dari massa struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing masing arah. Sedangkan parameter respon ragam menurut SNI

1726:2012. Nilai untuk masing masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing masing ragam respon. Adapun Gambar response spectrume bisa dilihat pada Gambar 2.2 di bawah :



Gambar 2.2 Spektrum respon desain Sumber: SNI 1726:2012

2.2.4 Metode Analisa Langsung “Direct Analysis Method (DAM) AISC 2010”

Perencanaan struktur baja yang umumnya langsing, memerlukan analisis stabilitas. Hasilnya dipengaruhi adanya *imperfection* (non-linier geometri) dan kondisi inelastis (non-linier material). Oleh sebab non-linier, analisisnya dikerjakan secara *incremental* dan iterasi. Sekarang ini dukungan teknologi komputer canggih tetapi terjangkau menyebabkan cara analisis non-linier bukan kendala. Sehingga berbagai jenis analisis berbasis komputer berkembang mulai analisis tekuk elastis, analisis elastis orde-2, analisis plastis, analisis elastis-plastis, dan analisis inelastis orde-2 juga disebut *Advance Analysis*. Umumnya jenis analisis seperti itu sudah tersedia sebagai opsi pada program analisis struktur modern.

AISC (2010) menetapkan *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai cara analisis baru pada struktur baja yang telah memasukkan prinsip modern dalam analisis stabilitas. Memang untuk itu diperlukan analisis struktur berbasis komputer. Tetapi analisis yang dipilih bukan yang rumit seperti *Advanced Analysis*, cukup yang minimalis, yaitu *second- Order Elastic Analysis*. (Dewobroto, 2016)

2.2.4.1 Perancangan Stabilitas

Cara perancangan struktur baja saat ini, *Effective Length Method*, didasarkan analisa struktur elastis-linear. Pemakaiannya terbatas pada struktur yang rasio pembesaran momen akibat perpindahan titik nodal, $\Delta_{2nd} \text{ order} / \Delta_{1st} \text{ order} \leq 1,5$ (AISC 2005). Jika melebihi batasan tersebut berarti strukturnya relatif langsing, yang mana pengaruh non-linier

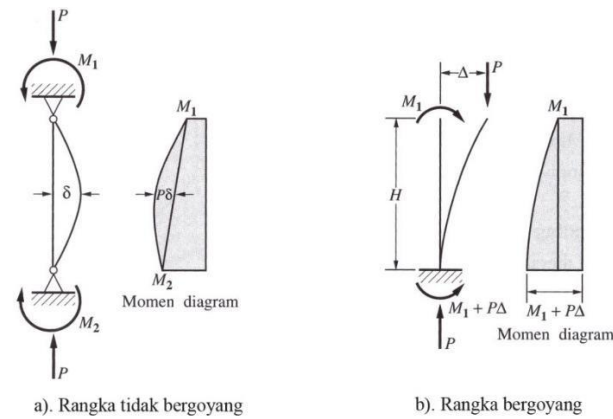
geometri akan menjadi signifikan. Sedangkan cara DAM tidak ada pembatasan, sehingga cocok digunakan untuk perancangan struktur baja modern, yang pada umumnya langsing akibat proses optimasi atau mengikuti estetika bangunan. (Dewobroto, 2016).

2.2.4.2 Persyaratan Analisis Struktur

Dalam desain stabilitas harus disediakan untuk struktur secara keseluruhan dan untuk setiap elemennya. Desain yang digunakan dalam ketentuan ini adalah kombinasi dari analisis untuk menentukan kekuatan perlu dari komponen dan memproporsikan komponen agar kekuatan cukup. Istilah *Direct Analysis Method* (DAM) mulai muncul di *Chapter C-Design for Stability* (AISC 2010), yang mensyaratkan bahwa stabilitas adalah hal penting pada perencanaan struktur baja, dan harus ditinjau secara keseluruhan, baik sebagai struktur (global) atau sebagai elemen-elemen penyusunya (lokal). Dalam memperhitungkan stabilitas, perlu dimasukkan juga faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu:

- Deformasi elemen akibat momen lentur, gaya aksial atau gaya geser, juga bentuk deformasi lain yang dapat mempengaruhi perilaku struktur
- Pengaruh orde-kedua baik efek $P-\Delta$ (global-struktur) atau $P-\delta$ (lokal-elemen)
- Ketidaktepatan geometri
- Reduksi kekakuan akibat inelastisitas
- Ketidakpastian dalam kekakuan dan kekuatan. Semua efek yang bergantung beban harus dihitung dilevel pembebanan sesuai dengan kombinasi DFBK. Analisa struktur dengan metode matrik kekakuan menunjukkan bahwa perilaku

Struktur yang dievaluasi terbatas pada kondisi elastik-linier. Agar valid, salah satu persyaratan yang harus dipenuhi adalah deformasi struktur relatif kecil sedemikian sehingga geometri sebelum dan sesudah pembebanan dianggap tidak berubah. Itulah mengapa salah satu syaratnya adalah evaluasi terhadap deformasi maksimum yang terjadi. Jika deformasinya relatif besar sedemikian sehingga konfigurasi geometri berubah, maka hasil analisis menjadi tidak valid. Kasusnya menjadi non-linier geometri, jika demikian cara analisis elastis-linier yang biasa dipakai akan memberikan hasil yang tidak tepat. Untuk mengatasi, penyelesaiannya harus memasukkan pengaruh deformasi struktur. Analisisnya lebih kompleks dibanding analisis elastik-linier, untuk itu umumnya perlu iterasi dan tahapan beban. Oleh sebab itu analisa strukturnya disebut sebagai analisis struktur order ke-2. Istilah lain yang sepadan adalah analisis non-linier geometri. (Dewobroto, 2014).



Gambar 2.3 Momen yang dipengaruhi efek P-delta sumber : Dewobroto,2014

Dalam SNI 1729 2015 pasal bagian C2 bahwa harus menggunakan analisis orde-kedua memperhitungkan efek $P-\Delta$ dan $P-\delta$, kecuali boleh mengabaikan $P-\delta$ pada respon struktur apabila kondisi pada pasal bagian C2.1.2 terpenuhi. Selain itu analisis harus mempertimbangkan semua beban gravitasi dan beban-beban lainnya yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur termasuk beban pada kolom-kolom miring dan elemen-elemen lainnya yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral.

Ketidaktepurnaan geometri disebutkan dalam SNI 1729 2015 pasal bagian C2.2 bahwa ketidaktepurnaan pada lokasi titik perpotongan dari komponen struktur atau pengaruh cacat bawaan. Pada struktur bangunan gedung tipikal, ketidaktepurnaan dari tipe ini adalah kemiringan kolom dan ketidaktepurnaan pemodelan langsung. Ketidaktepurnaan geometri diwakili dengan penggunaan beban nasional. Beban nasional harus digunakan sebagai beban lateral pada semua level. Beban nasional harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban. Besar beban nasional tersebut seperti persamaan 2.2 :

$$N_i = 0,002 \cdot \alpha \cdot Y_i \quad (2.2)$$

Keterangan:

$$\alpha = 1,0 \text{ (DFBK)}$$

N_i = beban notional yang digunakan pada level i dari kombinasi beban DFBK dengan satuan Newton

Beban notional merupakan beban lateral yang diberikan pada titik nodal di semua level, berdasarkan prosentasi beban vertikal yang bekerja di level tersebut, dan diberikan pada sistem struktur penahan beban gravitasi melalui rangka atau kolom vertikal, atau dinding, sebagai simulasi pengaruh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*). (Dewobroto, 2014)

Dengan catatan, untuk struktur dimana rasio dari simpangan orde-kedua maksimum terhadap simpangan orde-pertama maksimum pada semua tingkat adalah sama dengan atau kurang dari 1,7 maka diizinkan menggunakan beban national N hanya dalam kombinasi beban gravitasi saja dan bukan dalam kombinasi yang dimasukkan beban-beban lateral lainnya.

2.2.4.3 Penyesuaian Kekakuan

Adanya leleh setempat (partial yielding) akibat tegangan sisa pada profil baja (*hot rolled* atau *welded*) akan menyebabkan pelemahan kekuatan saat mendekati kondisi batasnya. Kondisi tersebut pada akhirnya menghasilkan efek destabilizing seperti yang terjadi akibat adanya *geometry imperfection*. Kondisi tersebut pada *Direct Analysis Method* (DAM) akan diatasi dengan penyesuaian kekakuan struktur, yaitu memberikan faktor reduksi kekakuan. Nilainya diperoleh dengan cara kalibrasi dengan membandingkannya dengan analisa distribusi plastisitas maupun hasil uji test empiris (*Galambos 1998*). Faktor reduksi kekakuan, $EI^*=0.8\tau bEI$ dan $EA^*=0.8E$.

untuk kondisi, $P_r \leq 0,5P_y$, maka dapat digunakan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 :

$$\tau b = 1,0 \quad (2.3)$$

Jika gaya tekannya besar, yaitu $P_r > 0,5P_y$, maka

$$\tau b = 4 \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{P_r}{P_y} \right) \quad (2.4)$$

Pemakaian reduksi kekakuan hanya berlaku untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja, dan tidak digunakan pada perhitungan *drift* (pergeseran), lendutan, vibrasi dan penentuan periode getar. Untuk kemudahan pada kasus $\tau b = 1,0$, reduksi EI^* dan EA^* dapat diberikan dengan cara memodifikasi nilai E dalam analisis. Tetapi jika komputer program bekerja semi otomatis, perlu diperhatikan bahwa reduksi E hanya diterapkan pada *2nd order analysis*. Adapun nilai modulus elastis untuk perhitungan kuat nominal penampang tidak boleh dikurangi, seperti misal saat perhitungan tekuk torsi lateral pada balok tanpa tumpuan lateral. (*Dewobroto,2014*).

2.2.5 Perencanaan Struktur Komposit

2.2.5.1 Perencanaan Pelat

Pelat beton bertulang yaitu struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur tersebut. Sistem perencanaan tulangan pelat beton pada dasarnya dibagi

menjadi 2 macam yaitu sistem perencanaan pelat beton dengan tulangan satu arah (*one way slab*) dan perencanaan pelat beton dengan tulangan dua arah (*two way slab*).

Perencanaan pelat tulangan satu arah (*one way slab*) yaitu tulangan pokoknya dipasang satu arah saja dengan syarat jarak terpanjang pelat dibagi jarak terpendek lebih besar dari pada dua ($L_y/L_x > 2$), contohnya pelat kantilever dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan sejajar. Sedangkan perencanaan pelat tulangan dua arah (*two way slab*) yaitu tulangan pokoknya dipasang dua arah dengan syarat jarak terpanjang pelat dibagi jarak terpendek kurang dari atau sama dengan dua ($L_y/L_x \leq 2$), contohnya pelat yang ditumpu oleh 4 sisi yang saling sejajar.

a) Batasan desain pelat satu arah SNI 2847:2013

1. Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
2. Ketebalan minimum pelat satu arah yang menggunakan $f_y = 400$ MPa sesuai SNI 2847:2013

Tabel 2.1 Tebal Minimum Pelat sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
 (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

3. Lendutan harus diperiksa apabila pelat memikul konstruksi yang akan mengalami kerusakan akibat lendutan yang besar. Batasan lendutan ditentukan sesuai dengan Tabel 2.17 berikut.

Tabel 2.2 Batasan Lendutan Pelat sumber: Tabel 9.5(b) SNI 2847:2013

	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/180$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/360$
Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan		

komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural	$l/480$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak rusak oleh lendutan yang besar.	(jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup)	$l/240$

- 4) Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- 5) Struktur pelat satu arah, harus disediakan tulangan susut dan suhu yang memiliki arah tegak lurus terhadap tulangan lentur. Persyaratan ini diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 7.12. Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton seperti ditunjukkan dalam tabel 2.18 berikut.

Tabel 2.3 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat

Pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan mutu $f_y = 280$ atau 350 MPa	0.002
pelat yang menggunakan tulangan ulir atau jaring kawat las dengan mutu $f_y = 420$ MPa	0.0018
pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan luluh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%	0.0018 (420/ f_y)

- 6) Kecuali untuk pelat rusuk, maka jarak antar tulangan utama pada pelat tidak boleh lebih dari 3 kali ketebalan pelat atau tidak lebih dari 450 mm (SNI 2847:2013, pasal 7.6.5)
- b) Perencanaan Pelat Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3 terhadap ketebalan minimum pelat dua arah dapat digunakan persamaan 2.5 dan 2.6 :

- (1) Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$

$$h = \frac{\ln\left(0,8 \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2.5)$$

- (2) Untuk $\alpha_{fm} > 2,0$

$$h = \frac{\ln\left(0,8 \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2.6)$$

- (3) Untuk $\alpha_{fm} < 2,0$

$h =$ ketebalan minimum pelat tanpa balok

dengan:

l_n panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya (mm)

β rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat dua arah

α_{fm} nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu pelat

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I} \quad (2.7)$$

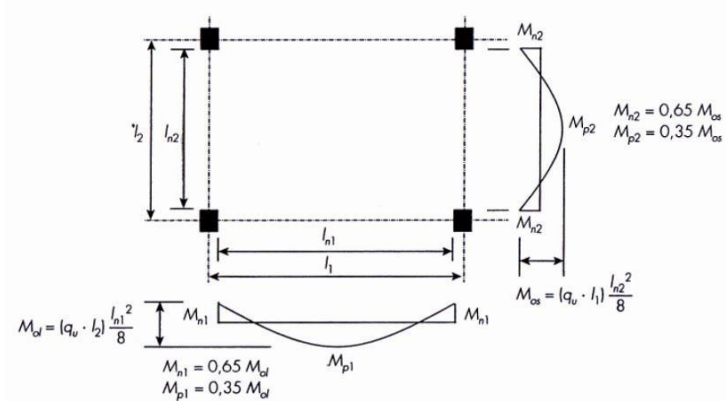
I_b momen inersia bruto dari penampang balok

I_s momen inersia bruto dari penampang pelat

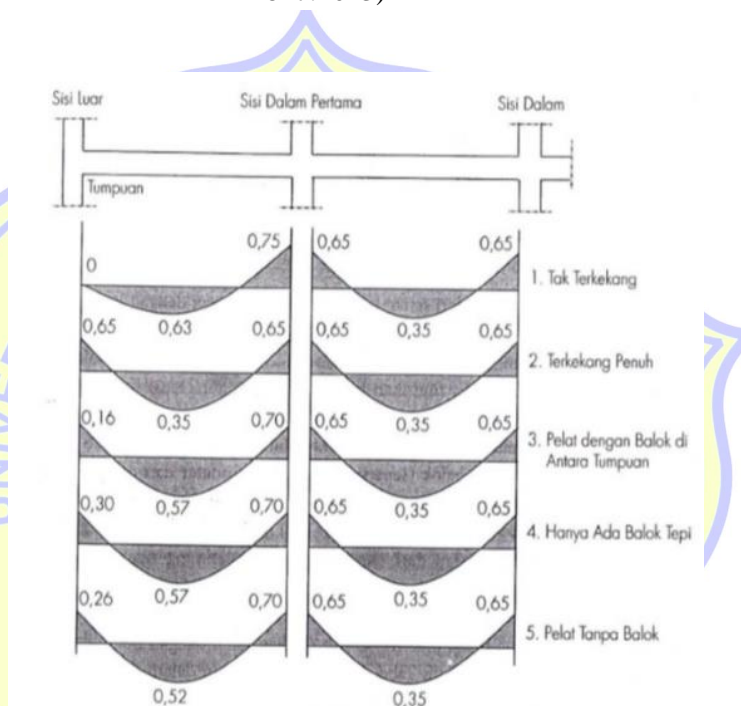
Batasan dalam perencanaan langsung pada system pelat dua arah berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 13.6.1 adalah sebagai berikut:

- (1) Paling sedikit ada 3 bentang menerus dalam setiap arah.
- (2) Pelat berbentuk persegi, dengan perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek diukur sumbu ke sumbu tumpuan, tidak lebih dari 2.
- (3) Panjang bentang yang bersebelahan, diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan, dalam masing-masing arah tidak berbeda lebih dari sepertiga bentang terpanjang.
- (4) Posisi kolom boleh menyimpang maksimum sejauh 10% panjang bentang dari garis-garis yang menghubungkan sumbu-sumbu kolom yang berdekatan.
- (5) Beban yang diperhitungkan hanyalah beban gravitasi dan terbagi merata pada seluruh panel pelat, sedangkan beban hidup tidak boleh melebihi 2 kali beban mati.
- (6) Untuk suatu panel pelat dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya, kekakuan relatif balok dalam dua arah tegak lurus,

$$\frac{\alpha_{f1} l_2^2}{\alpha_{f2} l_1^2} \text{ tidak boleh kurang dari } 0,2 \text{ dan tidak lebih daripada } 5,0 \quad (2.8)$$



Gambar 2.4 Distribusi momen pada suatu pelat dalam, dengan bentang $l_1 > l_2$
 sumber: Setiawan, A. Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)



Gambar 2.5 Distribusi momen static total menjadi momen positif dan negative
 sumber: Setiawan, A. Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)

Tabel 2.4 Distribusi pada plat ujung

	Tepi luar tak terkekang	Pelat dengan balok di antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok di antara tumpuan-tumpuan dalam		Tepi luar terkekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Momen Terfaktor Negatif Dalam	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65
Momen Terfaktor Positif	0.63	0.57	0.52	0.5	0.35
Momen Terfaktor Negatif Luar	0	0.16	0.26	0.3	0.65

2.2.5.2 Perencanaan Balok Komposit

a. Persyaratan dan Analisis Balok Komposit SNI 1729:2015

Dalam perencanaan struktur komposit khususnya untuk balok komposit terbungkus beton pada SNI 1729:2015 pasal I3.3 terdapat ketentuan-ketentuan terhadap kekuatan lentur dan kekuatan geser.

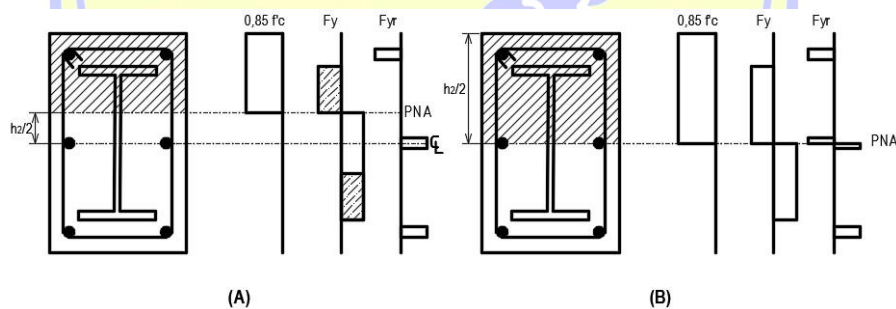
Kekuatan lentur nominal, M_n , harus ditentukan dengan menggunakan satu dari metode yang berikut:

- a) Superposisi dari tegangan elastis pada penampang komposit, yang memperhitungkan efek penopangnya, untuk keadaan batas dari leleh (momen leleh).
- b) Distribusi tegangan plastis pada penampang baja sendiri, untuk keadaan batas dari leleh (momen plastis) pada penampang baja.

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \phi_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

- c) Distribusi tegangan plastis pada penampang komposit atau metode kompatibilitas-regangan, untuk keadaan batas dari leleh (momen plastis) pada penampang komposit. Untuk komponen struktur terbungkus beton, angkur baja harus disediakan.

Momen yang berkerja ditahan oleh kuat lentur dari penampang komposit terhadap sumbu kuat ($x-x$). Kekuatan penampang lentur murni dihitung menggunakan persamaan dari Gambar 2.5 Desain untuk penampang A pada gambar A. Harap dicatat bahwa perhitungan kuat lentur pada penampang A memerlukan terlebih dahulu perhitungan kuat lentur pada penampang B pada gambar B sesuai dengan persamaan 2.9, 2.10 dan 2.11 :



Gambar 2.6 Kapasitas Plastis untuk persegi panjang, profil WF terbungkus beton melentur di sumbu x-x Sumber: Petunjuk Teknis Penggunaan SNI 1729

$$M_B = Z_{SX} \cdot F_y + Z_r \cdot f_y + \frac{Z_c}{2} \cdot 0,85 f'_c \quad (2.9)$$

$$Z_r = (A_{sr} - A_{srs}) \left(\frac{h_2}{2} - C_s \right) \quad (2.10)$$

$$Z_c = \frac{h_1 h_2^2}{4} - Z_{sx} - Z_r \quad (2.11)$$

Untuk perhitungan kuat lentur pada penampang A yaitu dengan persamaan 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 dan persamaan 2.19 :

$$M_A = M_B - F_y \cdot Z_{sri} - \frac{0,85 f'_c \cdot Z_{cn}}{2} \quad (2.12)$$

$$Z_{cn} = h_1 h_n^2 - Z_{sn} \quad (2.13)$$

Untuk h_n dibawah sayap $\left(h_n \leq \frac{d}{2} - t_f \right)$

$$h_n = \frac{0,85 f'_c (A_c + A_{srs}) - 2 \cdot A_{srs}}{2[0,85 f'_c (h_1 - t_w) + 2 f_y \cdot t_w]} \quad (2.14)$$

$$Z_{sn} = t_w h_n^2 \quad (2.15)$$

Untuk h_n disayap $\left(\frac{d}{2} - t_f < h_n \leq \frac{d}{2} \right)$

$$h_n = \frac{0,85 f'_c (A_c + A_s - db_f + A_{srs}) - 2 f_y (A_s - db_f) - 2 f_y \cdot A_{srs}}{2[0,85 f'_c (h_1 - b_f) + 2 f_y \cdot b_f]} \quad (2.16)$$

$$Z_{sn} = Z_{sn} - b_f \left(\frac{d}{2} - h_n \right) \left(\frac{d}{2} + h_n \right) \quad (2.17)$$

Untuk h_n diatas sayap $\left(h_n > \frac{d}{2} \right)$

$$h_n = \frac{0,85 f'_c (A_c + A_s + A_{srs}) - 2 f_y \cdot A_s - 2 f_y \cdot A_{srs}}{2 \times 0,85 f'_c \cdot h_1} \quad (2.18)$$

$$Z_{sn} = Z_s \quad (2.19)$$

Dengan:

A_s = luas profil baja

A_{sr} = luas seluruh batang tulangan menerus

A_c = $h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$

Z_s = modulus penampang plastis dari profil baja

A_{srs} = luas batang tulangan menerus pada centerline

Persyaratan SNI 1729:2015 I4.1 Kekuatan geser desain, $\phi_v V_n$, dan kekuatan geser yang diizinkan, V_n / ϕ_v , harus ditentukan berdasarkan satu dari yang berikut:

- 1) Kekuatan geser penampang baja yang tersedia

Profil ini memenuhi kriteria SNI 1729 Pasal G2.1(a) sesuai dengan catatan pengguna akhir pasal. sesuai dengan persamaan 2.20 , 2.21 dan 2.22 :

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (2.20)$$

$$C_v = 1 \quad (2.21)$$

$$A_w = d t_w \quad (2.22)$$

- 2) Kekuatan geser yang tersedia dari bagian beton bertulang (beton ditambah Tulangan baja) sendiri seperti yang dijelaskan oleh ACI 318 dengan $\phi_v = 0,75$ (DFBK) dan $\Omega_v = 2,00$ (DKI) sesuai dengan persamaan 2.23 :

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.23)$$

Dimana :

$\lambda = 1,0$ untuk beton normal dari persamaan SNI 2847 Pasal 8.6.1

$b_w = h_1$

$d = h_2 - c_s$

- 3) Kekuatan geser yang tersedia dari profil baja dan tulangan
Kekuatan geser nominal dari penampang baja seperti dijelaskan dalam Bab G SNI 1729:2015 ditambah kekuatan nominal dari baja tulangan seperti dijelaskan oleh ACI 318 dengan kombinasi ketahanan atau faktor keamanan dari $\phi_v = 0,75$ (DFBK) dan $\Omega_v = 2,00$ (DKI)

Penggunaan penampang baja saja adalah merupakan cara yang sangat berguna untuk menghitung kekuatan geser yang tersedia dan memperbolehkan penggunaan jarak sengkang ikat yang mungkin lebih besar dari pada tahanan geser dari SNI 2847. Ketika kekuatan penampang baja saja tidak kuat, pada opsi 3 perhitungan kekuatan geser yang tersedia dari profil baja dan tulangan umumnya menghasilkan reduksi persyaratan tulangan geser dibandingkan opsi 2.

Sesuai dengan SNI 1729 Pasal I1.2, efek tekuk lokal tidak perlu dipertimbangkan untuk batang komposit terbungkus beton, maka semua penampang komposit yang terbungkus beton diperlakukan sebagai penampang kompak untuk perhitungan kekuatan.

2.2.5.3 Perencanaan Kolom Komposit

- a. Persyaratan SNI 1729:2015 Kolom Komposit

SNI 1729:2015 membagi kolom komposit menjadi 2 macam, yaitu kolom baja profil yang dibungkus dengan beton dan kolom baja profil berongga yang didalamnya diisi dengan beton. Dalam penulisan tugas akhir ini pembahasan difokuskan pada kolom

komposit tipe kolom baja profil yang dibungkus beton yaitu gabungan dari kekuatan tekan aksial komponen-komponen material penyusunnya, yaitu baja profil, baja tulangan, dan beton.

Untuk komponen struktur komposit terbungkus beton, pembatasan yang berikut harus dipenuhi berdasarkan SNI 1729:2015 bab 11.3 dan 12.1a adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menentukan kekuatan tersedia, beton harus memiliki kekuatan tekan f'_c tidak kurang dari 3 ksi (21 MPa) atau tidak lebih dari 10 ksi (70 MPa) untuk beton normal dan tidak kurang dari 3 ksi (21 MPa) atau tidak lebih dari 6 ksi (42 MPa) untuk beton ringan.
- b. Tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari baja struktural dan batang tulangan perkuatan dalam perhitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 75 ksi (525 MPa).
- c. Luas penampang melintang ini baja harus terdiri dari sedikitnya 1% dari penampang melintang komposit total.
- d. Selongsong beton dan inti baja harus ditulangi dengan batang tulangan longitudinal menerus dan sengkang pengikat lateral atau spiral.
 - Bila digunakan pengikat lateral, batang tulangan No.3 (10 mm) berspasi maksimum 12 in. (315 mm) pusat ke pusat, atau batang tulangan No.4 (13 mm) atau lebih besar harus digunakan spasi maksimum 16 in. (406 mm) pusat ke pusat. Boleh digunakan tulangan kawat ulir atau kawat dilas dengan luas ekuivalen.
 - Spasi maksimum dari pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.
- e. Rasio tulangan minimum ρ_{sr} sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus, di mana ρ_{sr} adalah seperti persamaan 2.24 di bawah:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \quad (2.24)$$

keterangan:

A_g = luas bruto komponen struktur komposit, in.² (mm²)

A_{sr} = luas batang tulangan menerus, in.² (mm²)

- f. Spasi bersih antara baja inti dan tulangan longitudinal harus diambil minimum sebesar 1,5 diameter batan tulangan, tetapi tidak lebih dari 1,5 in. (38 mm). Jika penampang melintang komposit tersusun dari dua atau lebih profil baja terbungkus beton, profil tersebut harus saling dihubungkan dengan pelat pengikat diagonal, pelat pengikat,

pelat kopel atau komponen semacamnya untuk mencegah tekuk setiap profil akibat beban-beban yang diterapkan sebelum pengerasan beton.

b. Analisa Kolom Komposit SNI 1729:2015

Menurut SNI 1729 Pasal I1.2, efek tekuk lokal tidak perlu dipertimbangkan pada kasus batang komposit tipe ini, jadi diperlakukan sebagai penampang kompak.

Kekuatan tekan desain, $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan yang diizinkan, P_n / ϕ_c , komponen ini dibebani secara aksial simetris ganda harus ditentukan untuk keadaan batas tarik dari tekuk lentur berdasarkan kelangsingan komponen struktur sebagai berikut:

$$\phi_c = 0,75 \text{ (DFBK)} \quad \phi_c = 2,00 \text{ (DKI)}$$

Kekuatan tekan aksial nominal tanpa mempertimbangkan efek kelangsingan, P_{no} dihitung sesuai dengan persamaan 2.25,

$$P_{no} = F_y \cdot A_s + F_{ysr} \cdot A_{sr} + 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \quad (2.25)$$

Karena panjang tak terbreis terhadap sumbu $x-x$ dan $y-y$, kolom akan tertekuk terhadap sumbu yang memiliki kekakuan komposit terkecil, EI_{eff} . Telah tercatat bahwa nilai momen inersia yang dihitung sebelumnya untuk beton dan tulangan adalah sama untuk kedua sumbu lentur, kolom akan tertekuk terhadap sumbu lemah dari profil baja. I_{cy} , I_{sy} dan I_{sry} akan digunakan untuk perhitungan efek kelangsingan menurut SNI 1729 Pasal I2.1b seperti pada persamaan 2.26 dan persamaan 2.27 berikut:

$$\text{a) Untuk, } \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25, \text{ maka } P_n = P_{no} \left(0,658 \sqrt{\frac{P_{no}}{P_e}} \right) \quad (2.26)$$

$$\text{b) Untuk, } \frac{P_{no}}{P_e} > 2,25, \text{ maka } P_n = 0,877 P_e \quad (2.27)$$

Kekuatan Tarik yang tersedia dan komponen struktur ini yang dibebani secara aksial harus ditentukan untuk keadaan batas leleh berdasarkan SNI 1729:2015 Pasal Ic sesuai dengan persamaan 2.28 berikut:

$$P_n = F_y \cdot A_s + F_{ysr} \cdot A_{sr} \quad (2.28)$$

dengan $\phi_t = 0,9$

Keterangan :

P_e = beban tekuk kritis elastis = $\pi^2 \cdot (EI_{eff}) / (KL)^2$ dalam satuan Newton

A_c = luas bersih penampang beton, mm²

A_s = luas profil baja, mm²

A_{sr} = luas batang tulangan baja, mm²

E_c = modulus elastisitas beton = $W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$ ksi atau $0,043W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$ Mpa

EI_{eff} = kekuatan efektif penampang komposit (N-mm²)

$$= E_s \cdot I_s + 0,5 \cdot E_s \cdot I_{sr} + C_1 \cdot E_c \cdot I_c$$

C_1 = koefisien untuk perhitungan kekuatan dari suatu komponen struktur tekan komposit terbungkus beton

E_s = modulus elastisitas baja = 29000 ksi atau 200000 Mpa

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari batang penampang baja (Mpa)

F_{ysr} = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari batang tulangan (Mpa)

I_c = momen inersia dari penampang beton di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm⁴)

I_s = momen inersia profil baja di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm⁴)

I_{sr} = momen inersia batang tulangan di sumbu netral elastis dari penampang (mm⁴)

K = factor panjang efektif

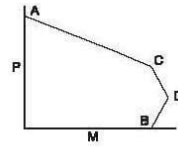
L = panjang tanpa breising secara lateral dari komponen (mm)

F'_c = kekuatan tekan beton yang disyaratkan (Mpa)

W_c = berat beton perunit volume ($90 \leq W_c \leq 155$ lbs/ft³) atau ($1500 \leq W_c \leq 2500$) kg/m³

Pada perencanaan struktur komposit SNI Baja 1729:2015, Analisa elemen komposit terbungkus beton ditunjukkan dalam gambar 2.7 dan 2.8.

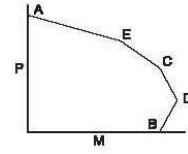
Plastic Capacities for Rectangular, Encased W-Shapes Bent About the X-X Axis



Section	Stress Distribution	Pt.	Defining Equations	
<p>A</p>			$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + 0.85 f'_c A_c$ $M_A = 0$ $A_s = \text{area of steel shape}$ $A_{sr} = \text{area of all continuous reinforcing bars}$ $A_c = h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$	
			<p>C</p>	$P_C = 0.85 f'_c A_c$ $M_C = M_B$
				<p>D</p>
			<p>B</p>	
<p>For h_n below the flange $\left(h_n \leq \frac{d}{2} - t_r \right)$</p> $h_n = \frac{0.85 f'_c (A_c + A_{srs}) - 2 F_{yr} A_{srs}}{2 [0.85 f'_c (h_1 - t_w) + 2 F_y t_w]}$ $Z_{sn} = t_w h_n^2$				
<p>B</p>			<p>For h_n within the flange $\left(\frac{d}{2} - t_r < h_n \leq \frac{d}{2} \right)$</p> $h_n = \frac{0.85 f'_c (A_c + A_s - db_r + A_{srs}) - 2 F_y (A_s - db_r) - 2 F_{yr} A_{srs}}{2 [0.85 f'_c (h_1 - b_r) + 2 F_y b_r]}$ $Z_{sn} = Z_s - b_r \left(\frac{d}{2} - h_n \right) \left(\frac{d}{2} + h_n \right)$	
			<p>For h_n above the flange $\left(h_n > \frac{d}{2} \right)$</p> $h_n = \frac{0.85 f'_c (A_c + A_s + A_{srs}) - 2 F_y A_s - 2 F_{yr} A_{srs}}{2 (0.85 f'_c h_1)}$ $Z_{sn} = Z_s$	

Gambar 2.7 Kapasitas plastis penampang komposit terbungkus beton arah X-X
sumber: Design Example 4.2 AISC 7-16

Plastic Capacities for Rectangular, Encased W-Shapes Bent About the Y-Y Axis

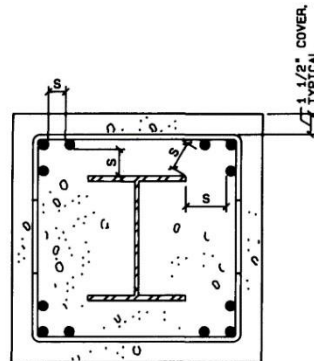


Section	Stress Distribution	Pt.	Defining Equations
<p style="text-align: center;">A</p>	$0.85f'_c$ F_y F_{yr}	A	$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + 0.85f'_c A_c$ $M_A = 0$ $A_s = \text{area of steel shape}$ $A_{sr} = \text{area of continuous reinforcing bars}$ $A_c = h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$
<p style="text-align: center;">E</p>		E	$P_E = A_s F_y + (0.85f'_c) \left[A_c - \frac{h_1}{2} (h_2 - b_1) + \frac{A_{sr}}{2} \right]$ $M_E = M_D - Z_{sE} F_y - \frac{Z_{cE}}{2} (0.85f'_c)$ $Z_{sE} = Z_s = \text{full y-axis plastic section modulus of steel shape}$ $Z_{cE} = \frac{h_1 b_1^2}{4} - Z_{sE}$
<p style="text-align: center;">C</p>		C	$P_C = 0.85f'_c A_c$ $M_C = M_B$
<p style="text-align: center;">D</p>		D	$P_D = \frac{0.85f'_c A_c}{2}$ $M_D = Z_s F_y + Z_r F_{sr} + \frac{Z_{cD}}{2} (0.85f'_c)$ $Z_r = A_{sr} \left(\frac{h_2}{2} - c \right)$ $Z_{cD} = \frac{h_1 h_2^2}{4} - Z_s - Z_r$
<p style="text-align: center;">D</p>			$P_B = 0$ $M_B = M_D - Z_{sr} F_y - \frac{Z_{cB}}{2} (0.85f'_c)$ $Z_{cB} = h_1 h_n^2 - Z_{sB}$
<p style="text-align: center;">D</p>			<p>For h_n below the flange $\left(\frac{t_w}{2} < h_n \leq \frac{b_f}{2} \right)$</p> $h_n = \frac{0.85f'_c (A_c + A_s - 2t_f b_f) - 2F_y (A_s - 2t_f b_f)}{2[4t_f F_y + (h_1 - 2t_f) 0.85f'_c]}$ $Z_{sB} = Z_s - 2t_f \left(\frac{b_f}{2} + h_n \right) \left(\frac{b_f}{2} - h_n \right)$
<p style="text-align: center;">B</p>			<p>For h_n above the flange $\left(h_n > \frac{b_f}{2} \right)$</p> $h_n = \frac{0.85f'_c (A_c + A_s) - 2F_y A_s}{2[0.85f'_c h_1]}$ $Z_{sB} = Z_s$

Gambar 2.8 Kapasitas plastis penampang komposit terbungkus beton arah Y-Y
sumber: Design Example 4.2 AISC 7-16

2.2.5.4 Persyaratan Pendetailan Komponen Struktur Komposit Terbungkus Beton

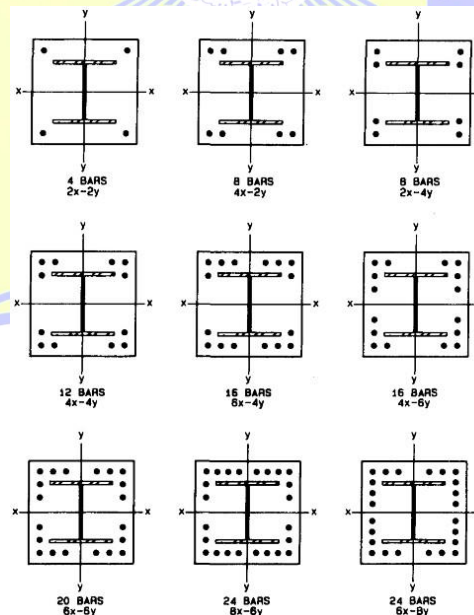
Persyaratan detail terhadap penempatan tulangan terhadap inti profil baja pada kolom komposit seperti yang terlihat pada gambar 2.13 berikut,



S=CLEAR DISTANCE BETWEEN BARS OR CLEAR DISTANCE BETWEEN ANY BAR AND FACE OF W SHAPE
 $S \geq 1 \frac{1}{2} x d_b$ OR $1 \frac{1}{2}$ ", WHICHEVER IS GREATER
 d_b =BAR DIAMETER

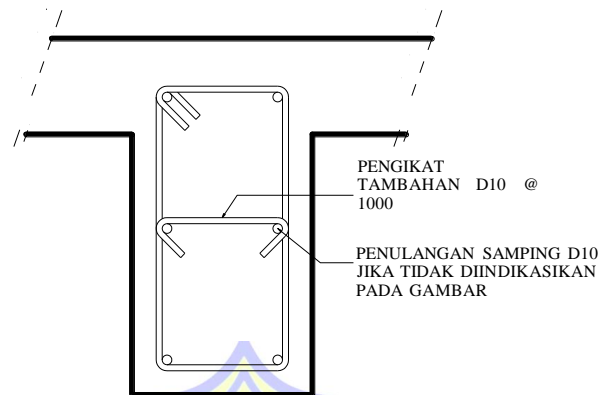
Gambar 2.9 Detail kolom komposit terbungkus beton "encased composite members"

Tulangan longitudinal kolom komposit seperti yang disyaratkan dalam *Steel Design Guide Series 06 "Load and Resistance Factor Design of W-Shape Encased in Concrete"*, penulangan kolom komposit terhadap tulangan memanjang dapat disesuaikan terhadap konfigurasi sambungan balok baja seperti yang terlihat pada gambar 2.14 berikut,



Gambar 2.9 Konfigurasi tulangan memanjang kolom komposit

Persyaratan penulangan badan pada pendetailan struktur balok dalam literatur perencanaan yaitu dijelaskan pada gambar dan table berikut,



Gambar 2.10 Peulangan Badan Balok Beton Bertulang sumber: Nasution, Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang

Tabel 2.5 Persyaratan Penulangan Badan Balok Beton Bertulang sumber: Nasution, Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang

TINGGI BALOK	PENULANGAN BADAN
$H < 600$	-
$600 \leq H < 900$	2 X 1 X D10 *)
$900 \leq H < 1200$	2 X 2 X D10 *)
$1200 \leq H < 1500$	2 X 3 X D13
$1500 \leq H < 1800$	2 X 4 X D13
$1800 \leq H < 2100$	2 X 5 X D13

Batasan tulangan transversal yang tercantum dalam SNI 1729 Pasal II.1(3), I2.1a(2) dan SNI 2847 sebagai berikut:

a) Ukuran dan jarak tulangan pengikat:

SNI meminta baik tulangan ikat atau spiral yang digunakan sebagai tulangan transversal. Ketika digunakan sengkang ikat lateral, diameter minimum adalah 10 mm yang berjarak maksimum 300 mm pusat ke pusat atau diameter 13 mm dengan berjarak maksimum 400 mm.

b) Pembatasan tambahan untuk ukuran sengkang ikat

Sengkang ikat dengan diameter 13 mm atau lebih besar diperlukan bila digunakan tulangan memanjang diameter 29 mm atau lebih besar sesuai SNI 2847 Pasal 10.5.1

c) Jarak antara sengkang ikat seharusnya tidak melampaui 0,5 kali ukuran penampang kolom terkecil.

d) Selimut beton:

SNI 2847 Pasal 7.7 berisi persyaratan selimut beton. Untuk beton yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca atau dengan tanah, selimut beton untuk sengkang ikat adalah 40 mm.

- e) Sengkang ikat diperlukan untuk menumpu tulangan memanjang yang ditempatkan lebih dari 150 mm jarak bersih pada masing masing sisi dari tulangan yang ditumpu lateral. Untuk tulangan sudut, tumpuan secara tipikal diberikan oleh sengkang ikat keliling yang utama. Untuk tulangan di tengah, dapat digunakan sengkang ikat bentuk miring.

Batas Tulangan memanjang dan baja struktural tercantum di SNI 1729 Pasal I1.1(4), I2.1 dan SNI 2847 sebagai berikut:

- a) Rasio minimum luas baja structural

Pada kolom komposit, Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas total penampang melintang kolom komposit, jika kurang maka komponen struktur tekan akan bereaksi sebagai kolom beton biasa. Rasio maksimum secara eksplisit untuk profil baja komposit tidak tersedia di SNI; walaupun demikian, telah dicatat di literatur sekira 8 % - 12% agar diperoleh batang komposit yang ekonomis terhadap beban gravitasi (*Leon and Hajjar, 2008 dalam Pedoman Teknis Penggunaan SNI 1729:2015*).

- b) Rasio tulangan memanjang minimum: $A_{sr} / A_g > 0,004$ c) Rasio tulangan memanjang maksimum: $A_{sr} / A_g < 0,08$ d) Jumlah minimum tulangan memanjang:

SNI 2847 Pasal 1.9.2 mensyaratkan jumlah minimum 4 tulangan untuk komponen persegi atau bundar dengan sengkang ikat dan 6 tulangan untuk kolom berspiral.

- c) Jarak bersih antara tulangan memanjang:

SNI 2847 Pasal 7.6.3 mensyaratkan jarak bersih antara tulangan adalah $1,5 d_b$.

- d) Jarak bersih antara tulangan memanjang dan inti baja:

$$s_{\min} = \max(1.5 d_b)$$

- e) SNI 2847 Pasal 7.7 memberikan persyaratan selimut beton minimum untuk tulangan. Persyaratan selimut beton untuk sengkang ikat kolom dan tulangan utama adalah sama.

2.2.5.5 Batang Portal (Balok-Kolom)

Interaksi momen lentur dan gaya aksial pada penampang simetri ganda atau simetri tunggal dengan $0,1 \leq I_{yc} / I_y \leq 0,9$ yang momennya dapat dipaksa melentur pada sumbu

simetrinya, harus memenuhi persamaan H1-1a dan H1-1b (AISC 2010). Adapun I_{yc} adalah momen inersia sayap dengan tegangan desak terhadap sumbu y atau sumbu lemahnya. Persamaan interaksinya adalah seperti pada persamaan 2.29 dan 2.30 : (Dewobroto, 2016).

a) Jika $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.29)$$

b) Jika $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$ maka

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.30)$$

Dimana :

$P_r = P_u$ = kuat aksial perlu elemen struktur, hasil analisa struktur rangka secara menyeluruh (global)

$P_c = \phi P_n$ = kuat rencana elemen struktur

$M_r = M_u$ = kuat lentur perlu elemen, hasil analisis struktur yang telah memperhitungkan efek ke-2 atau efek P- Δ pada rangka secara menyeluruh (global)

$M_c = \phi M_n$ = kuat rencana elemen struktur sebagai balok lentur

x = subskrip simbol untuk momen lentur terhadap sumbu kuat penampang

y = subskrip simbol untuk momen lentur terhadap sumbu lemah penampang

Direct Analysis Method (DAM) sebagai cara utama dalam analisis stabilitas rangka baja memerlukan program komputer analisis struktur elastis non-linier, dengan efek P- Δ . Jika hanya tersedia analisis struktur elastis linier, yang umum, maka cara metode panjang efektif *Effective Length Method (ELM)* dapat dipilih.

Adapun struktur yang terdiri lebih dari satu elemen, berarti harus dievaluasi terhadap kondisi global, maka selama masih bisa didekati dengan faktor $K=1$, maka dengan dua cara tersebut tidak akan berbeda. Secara umum cara alternatif ELM dapat dipilih jika besarnya rasio drift orde ke-2 terhadap drift orde ke-1 adalah $\leq 1,5$, jika tidak dipenuhi maka cara DAM harus dipilih (AISC 2005). Rasio drift dapat diwakili oleh nilai B_2 . (Dewobroto, 2016).

a. Faktor Pembesaran Momen

Faktor pembesaran momen adalah cara manual untuk memasukkan efek P-Δ atau orde ke-2 (terdiri dari P-Δ dan P-δ) terhadap hasil analisis elastis linier struktur dengan beban terfaktor pada batang portal. Ketentuan tentang hal itu ada di Chapter C (AISC 2005) atau di Appendix 8 (AISC 2010) adalah seperti pada persamaan 2.31 dan 2.32 . (Dewobroto, 2016)

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (2.31)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (2.32)$$

dimana,

$M_r = M_u$ = Momen lentur perlu elemen, memperhitungkan efek orde ke-2 atau efek P-Δ pada rangka secara menyeluruh (global)

B_1 = faktor pengali untuk memperhitungkan efek P-δ, terhadap momen pada elemen struktur yang tidak bergoyang, dan hanya diterapkan untuk elemen dengan beban tekan saja

M_{nt} = momen lentur perlu elemen, hasil analisis struktur elastis linier (global) untuk elemen struktur yang titik nodalnya tidak berpindahan (atau rangka tidak bergoyang)

B_2 = faktor pengali untuk memperhitungkan efek P-Δ, terhadap momen pada elemen struktur yang titik nodalnya mengalami perpindahan (bergoyang)

M_{lt} = momen lentur perlu hasil analisis elastis linier elemen struktur yang titik nodalnya berpindah (bergoyang)

$P_r = P_u$ = gaya aksial perlu yang telah memperhitungkan efek orde ke-2 atau efek P-Δ pada rangka secara menyeluruh (global)

P_{nt} = gaya aksial perlu hasil analisis struktur elastis linier (global) untuk elemen struktur yang titik nodalnya tidak berpindahan (atau rangka tidak bergoyang)

P_{lt} = kuat aksial perlu elemen, hasil analisis struktur elastis linier (global) untuk elemen struktur yang titik nodalnya mengalami perpindahan lateral (atau rangka bergoyang)

b. Faktor B1 untuk P-δ

Faktor B_1 adalah faktor pengali untuk pembesaran momen untuk mengantisipasi terjadinya efek P-δ atau efek orde ke-2 pada momen langsing, sesuai dengan persamaan 2.33, 2.34 dan 2.35. (Dewobroto, 2016)

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (2.33)$$

Dimana :

$\alpha = 1,0$ = jika digunakan ketentuan DFBK

C_m = koefisien untuk elemen yang tidak bergoyang. Ada dua kondisi, jika hanya ada momen pada ujung-ujung elemennya, maka:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (2.34)$$

M_1 adalah momen absolut terkecil, Sedangkan M_2 adalah momen absolut terbesar

P_e = Kapasitas tekuk kritisbatang pada arah lentur yang ditinjau didasarkan pada perhitungan tanpa terjadi translasi pada titik nodal elemen strukturnya.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} \quad (2.35)$$

EI^* = EI tanpa reduksi kekuatan

K_1 = 1,0 faktor untuk panjang tekuk arah yang ditinjau

L = panjang tekuk arah yang ditinjau

c. Faktor B2 untuk P- Δ

Faktor B_2 adalah faktor pengali pada pembesaran momen untuk mengantisipasi terjadinya efek P- Δ atau efek orde ke-2 pada struktur portal atau sistem rangka bergoyang, seperti pada persamaan 2.36, 2.37 dan 2.38. (Dewobroto, 2016)

$$B_2 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story}}{P_{estory}}} \geq 1 \quad (2.36)$$

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta H} \quad (2.37)$$

$$R_M = 1 - 0,15 \left(\frac{P_{mf}}{P_{story}} \right) \quad (2.38)$$

dimana,

α = 1,0 untuk DFBK karena sudah kondisi batas (*ultimate*)

P_{story} = total beban vertikal yang didukung pada tingkat tersebut berdasarkan ketentuan beban DFBK, yang terjadi termasuk beban pada kolom yang tidak termasuk pada sistem struktur penahan lateral, (N)

$P_{e\ story}$ = kuat tekuk kritis elastis pada tingkat dalam arah perpindahan yang ditinjau (N)

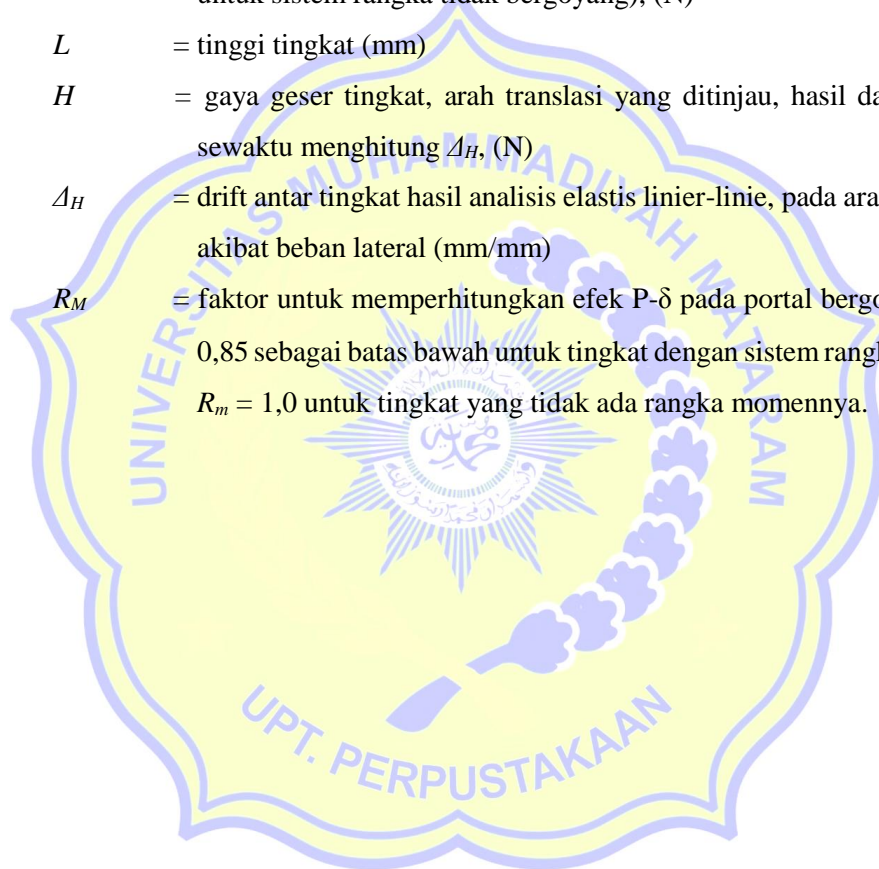
P_{mf} = beban vertikal total pada kolom pada tingkat yang merupakan bagian rangka momen (portal), jika ada, pada arah translasi yang ditinjau (= 0 untuk sistem rangka tidak bergoyang), (N)

L = tinggi tingkat (mm)

H = gaya geser tingkat, arah translasi yang ditinjau, hasil dari gaya lateral sewaktu menghitung Δ_H , (N)

Δ_H = drift antar tingkat hasil analisis elastis linier-linie, pada arah yang ditinjau akibat beban lateral (mm/mm)

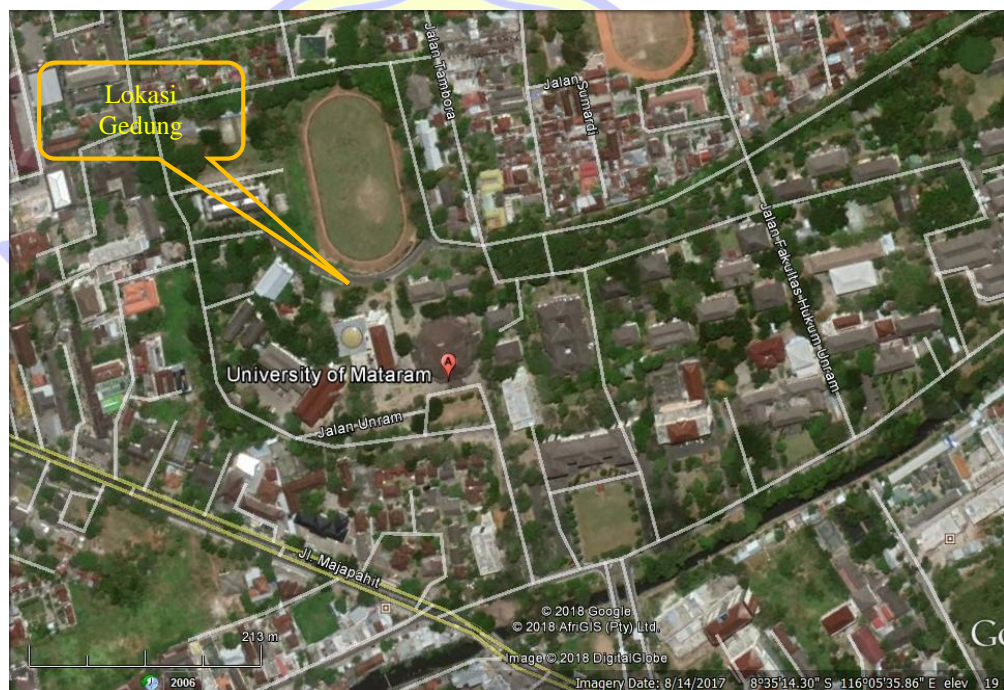
R_M = faktor untuk memperhitungkan efek P- δ pada portal bergoyang, nilai R_M 0,85 sebagai batas bawah untuk tingkat dengan sistem rangka momen, dan $R_m = 1,0$ untuk tingkat yang tidak ada rangkanya.



BAB III METODE ANALISIS

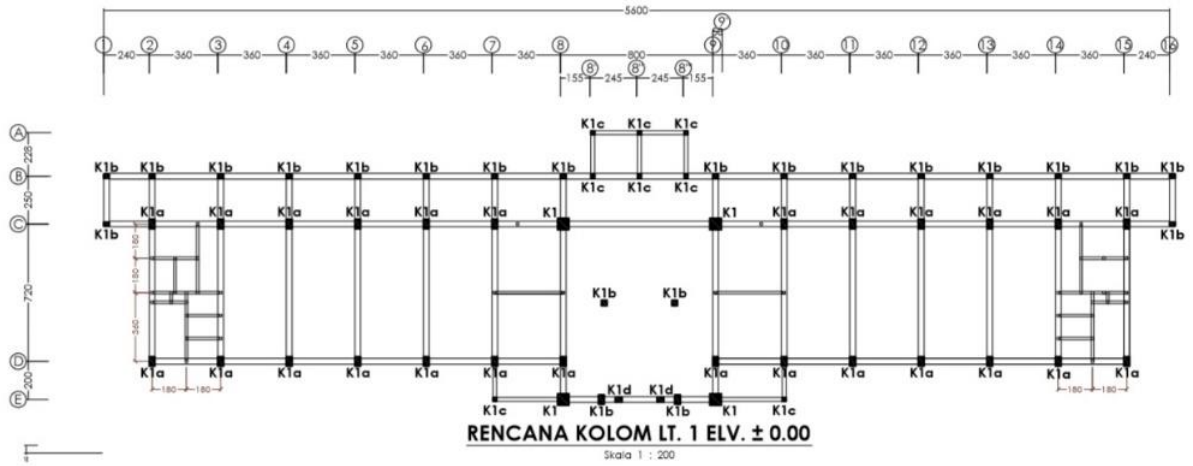
3.1. Lokasi dan Deskripsi Model Struktur

Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram terdiri dari 4 lantai + 1 lantai dak atap. Struktur bangunan ini dirancang dengan menggunakan konstruksi beton yang dalam tugas akhir ini akan dilakukan perencanaan ulang menggunakan sistem portal baja beton komposit. Bangunan Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram berada di Kota Mataram. Lokasi gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram dapat dilihat pada gambar 3.1.

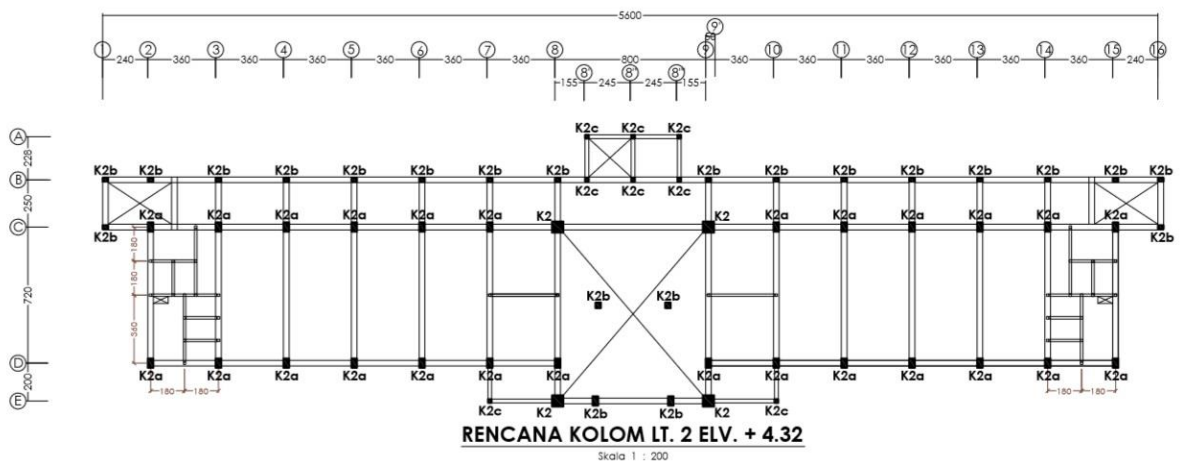


Gambar 3.1 Lokasi pembangunan Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram
Sumber: *Google Earth 2018*

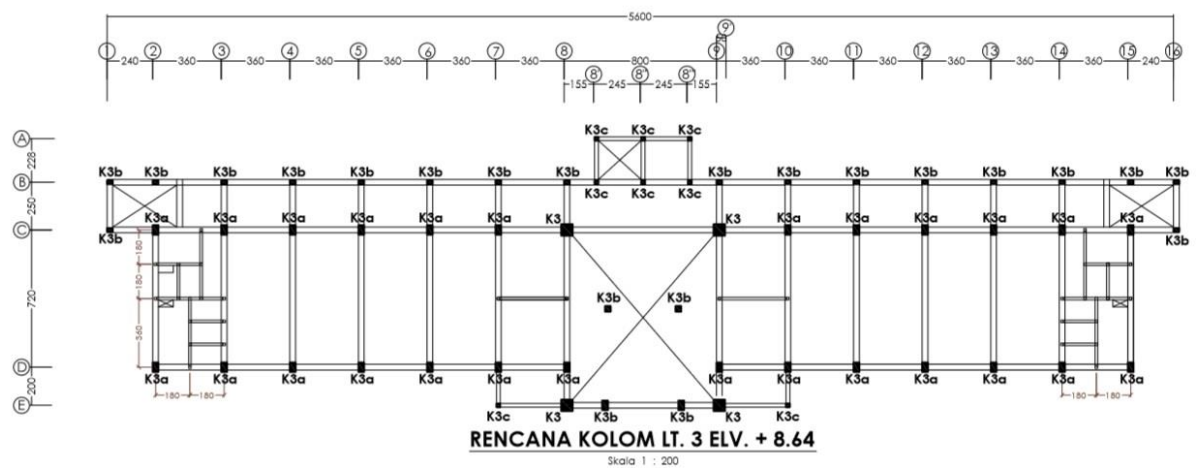
Model struktur berupa gambar rencana sebagai acuan untuk perencanaan gedung ini diantaranya denah kolom, potongan melintang dan memanjang portal struktur dan detail kolom dan balok seperti yang ditampilkan pada gambar 3.2 sampai dengan gambar 3.11:



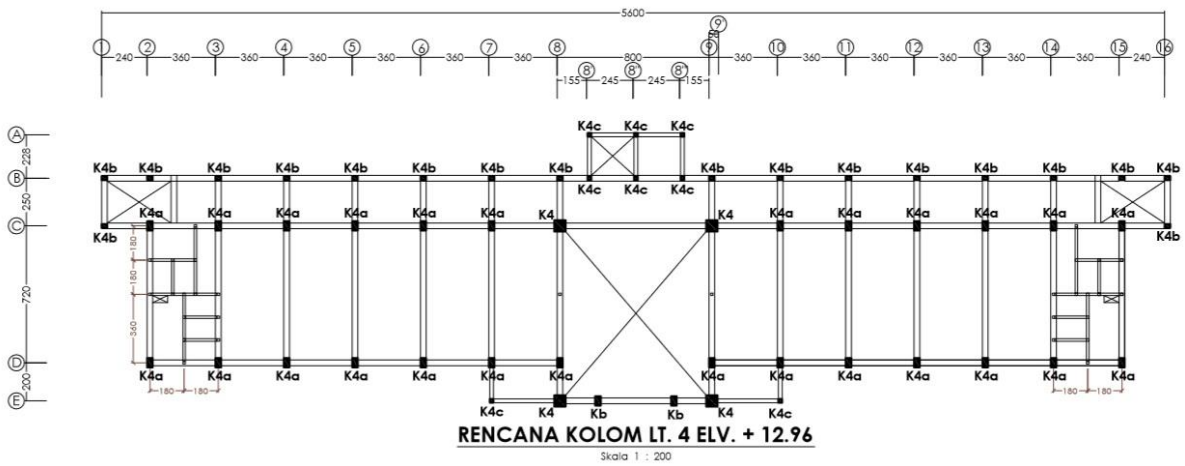
Gambar 3.2 Denah kolom lantai 1



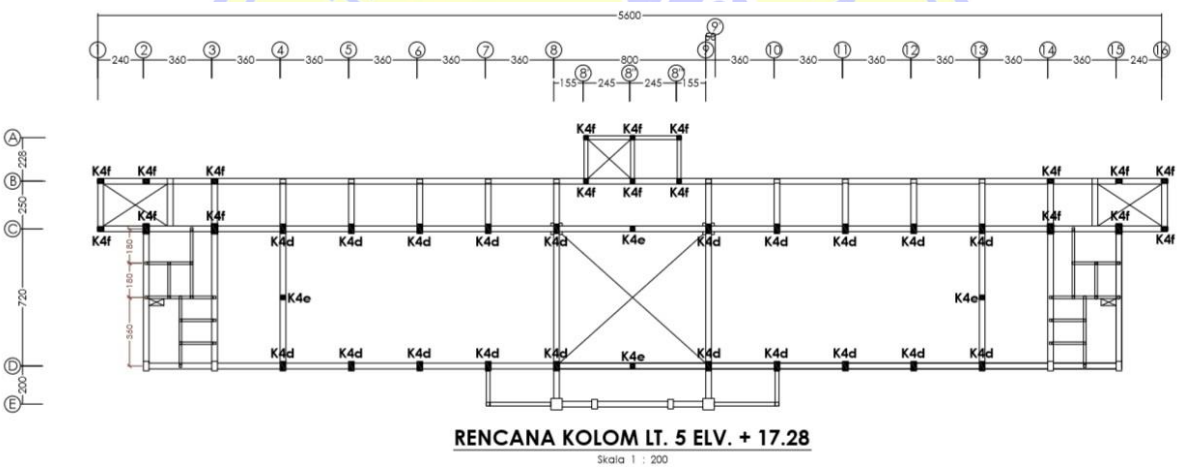
Gambar 3.3 Denah kolom lantai 2



Gambar 3.4 Denah kolom lantai 3



Gambar 3.5 Denah kolom lantai 4



Gambar 3.6 Denah kolom lantai 5

KOLOM LT.1	TYPE	K1	K1a	K1b	K1c	kp
	Pensaampang (cm)					
Dimensi (b x h) cm	50 x 50	25 x 50	25 x 25	25 x 25	10 x 10	
Tulangan Pokok (mm)	20 D 19	14 D 19	12 D 16	8 D 16	4 Ø 10	
Tulangan Ekstra (mm)	-	2 D 16	-	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

KOLOM LT.2	TYPE	K2	K2a	K2b	K2c	kp
	Pensaampang (cm)					
Dimensi (b x h) cm	50 x 50	25 x 50	25 x 25	25 x 25	10 x 10	
Tulangan Pokok (mm)	20 D 19	14 D 19	10 D 16	8 D 16	4 Ø 10	
Tulangan Ekstra (mm)	-	2 D 16	-	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

Gambar 3.7 Detail penulangan kolom lantai 1 dan 2

KOLOM LT.3	TYPE	K3	K3a	K3b	K3c	kp
	Pensaampang (cm)					
Dimensi (b x h) cm	50 x 50	25 x 50	25 x 25	25 x 25	10 x 10	
Tulangan Pokok (mm)	20 D 19	12 D 19	10 D 16	8 D 16	4 Ø 10	
Tulangan Ekstra (mm)	-	2 D 16	-	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

Gambar 3.8 Detail penulangan kolom lantai 3

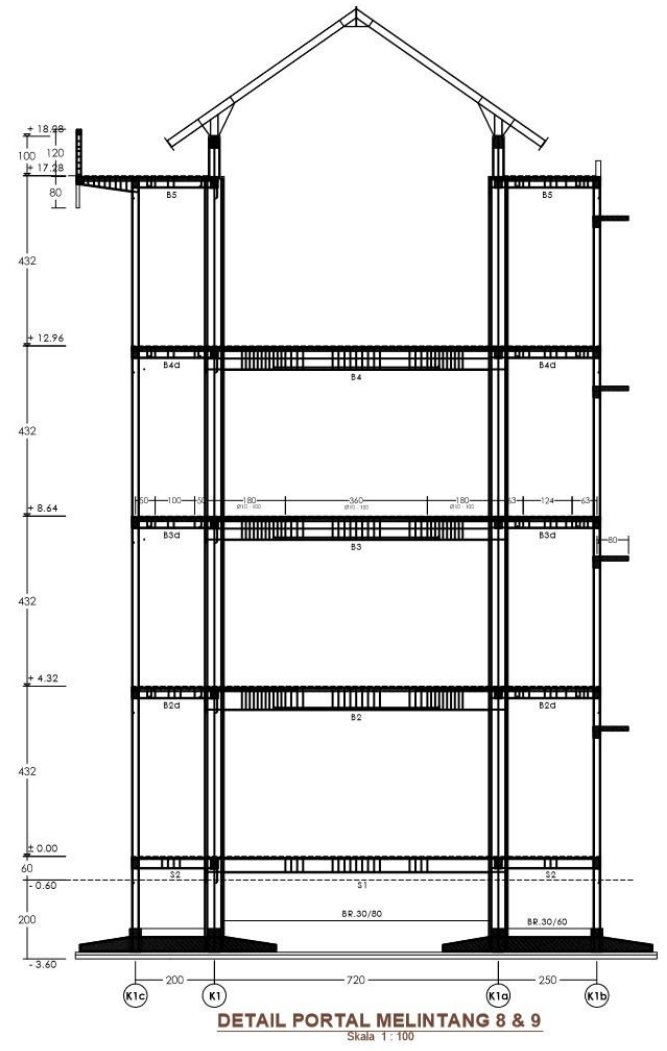
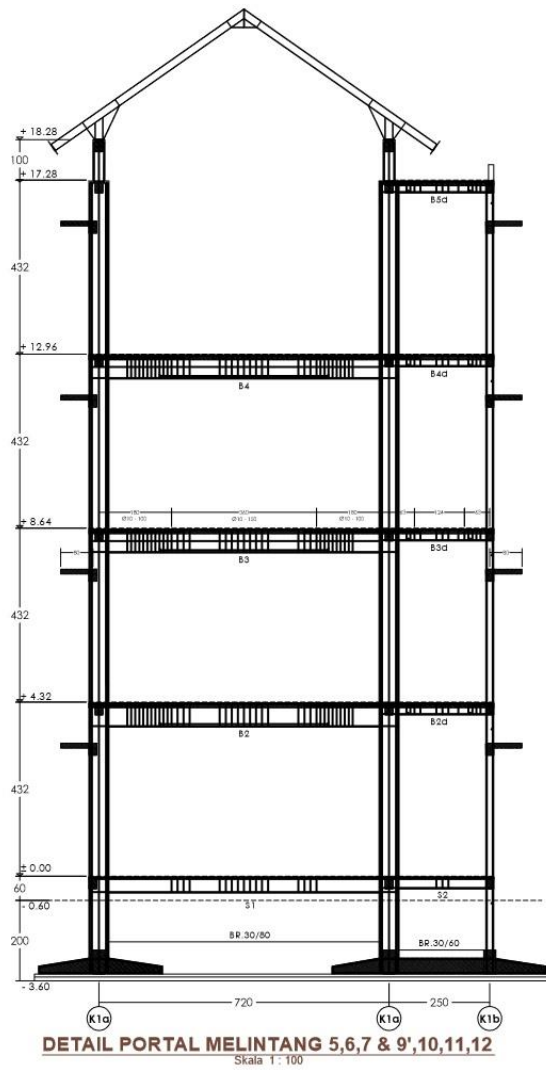
KOLOM LT.4	TYPE	K4	K4a=K4d=1m	K4b	K4e=1m=K4f=3m	kp
	Penaampang (cm)					
Dimensi (b x h) cm	50 x 50	25 x 50	25 x 25	25 x 25	10 x 10	
Tulangan Pokok (mm)	20 D 19	12 D 19	10 D 16	10 D 16	4 Ø 10	
Tulangan Ekstra (mm)	-	2 D 16	-	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

KOLOM LT.5	TYPE	K4c	kp
	Penaampang (cm)		
Dimensi (b x h) cm	25 x 25	10 x 10	
Tulangan Pokok (mm)	8 D 16	4 Ø 10	
Tulangan Ekstra (mm)	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

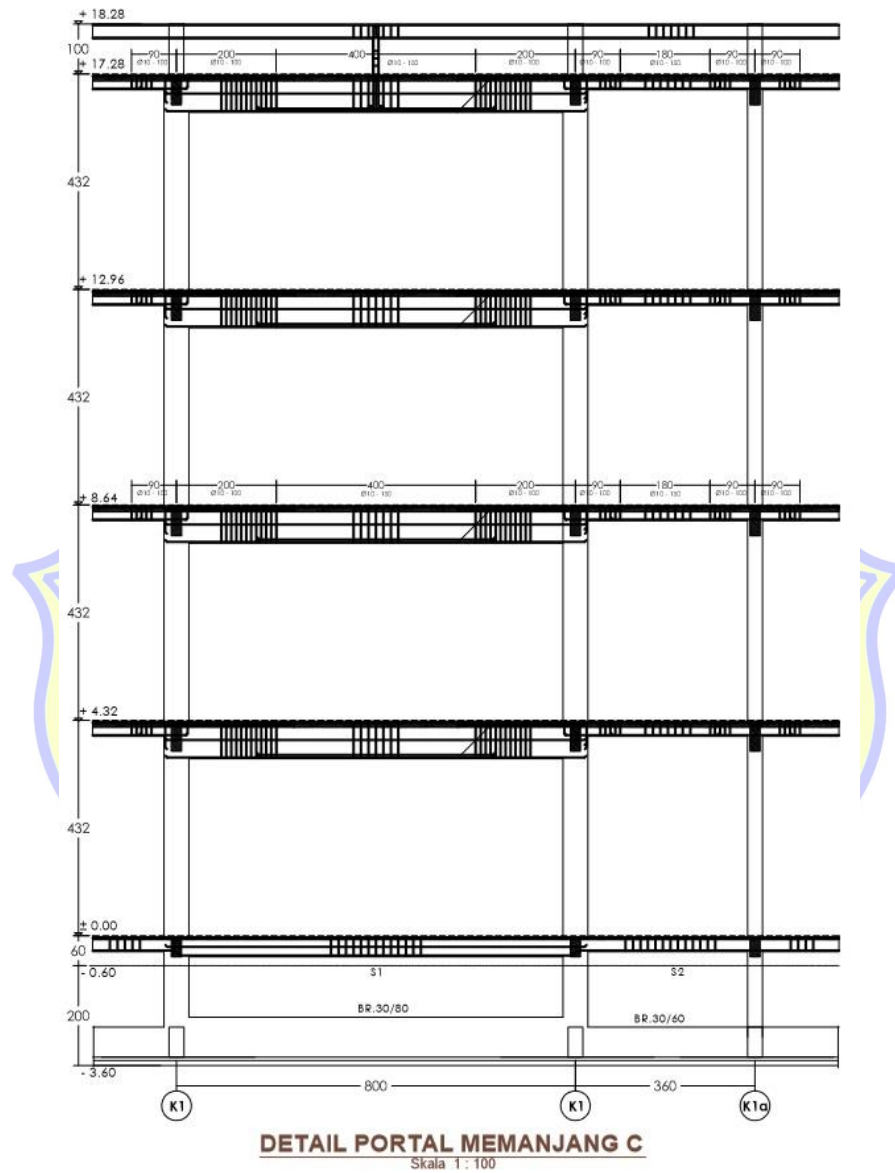
SLOOF	TYPE	S1	S2
	Penaampang (cm)		
Dimensi (b x h) cm	25 x 40	20 x 30	
Tulangan Pokok (mm)	8 D 16	6 D 16	
Tulangan Ekstra (mm)	-	-	
Sengkang (mm)	Ø10 - 150	Ø6 - 150	

Gambar 3.9 Detail penulangan kolom lantai 4 dan 5





Gambar 3.10 Detail portal melintang



Gambar 3.11 Detail portal memanjang

3.2. Data Perencanaan

3.2.1. Data Umum Bangunan

- a) Nama Gedung : Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram
- b) Fungsi gedung : Gedung pendidikan
- c) Zona Gempa : 4
- d) Jumlah Lantai : 4

- e) Tinggi gedung : +17,28 m
- f) Struktur Utama : Struktur beton bertulang

3.2.2 Data Redesign

- a) Nama Gedung : Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram
- b) Fungsi gedung : Gedung pendidikan
- c) Zona Gempa : 5
- d) Jumlah Lantai : 4
- e) Tinggi gedung : +17,28 m
- f) Struktur Utama : Struktur baja beton komposit “*encased composite members*”

3.2.3 Data Bahan

Material yang digunakan dalam merencanakan ulang struktur bangunan ini yaitu beton dan baja dengan mutu sebagai berikut:

- a) Mutu Beton ($f'c$) : 30 Mpa
- b) Mutu Baja (f_y) : 250 Mpa (BJ 41)
- c) Mutu Baja Tulangan (f_{yr}) : 400 Mpa

3.3. Preliminary Desain dan Pembebanan

3.3.1 Preliminary Desain

Komponen Struktur bangunan gedung ini meliputi pelat lantai beton bertulang, balok komposit, dan kolom komposit. Perencanaan dimensi awal dari komponen struktur bangunan dilakukan terlebih dahulu menggunakan program SAP 2000 v.14.

3.3.2 Pembebanan

3.3.2.1. Beban Mati

Beban mati adalah seluruh bagian dari komponen struktur bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisahkan dari bangunan tersebut selama masa layannya. Beban mati yang diperhitungkan untuk struktur bangunan ini yaitu berdasarkan (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, 1987) yaitu:

1. Beban lantai (spesi + keramik) = 90 kg/m²
2. Beban plafond dan penggantung = 18 kg/m²
3. Beban dinding bata = 250kg/m²
4. Beton bertulang = 2400 kg/m³
5. Baja = 7850 kg/m³

3.3.2.2. Beban Hidup Lantai dan Atap

Beban hidup merupakan beban yang juga mempengaruhi pembebanan struktur gedung. Beban hidup struktur gedung direncanakan pada pelat lantai berdasarkan standar pembebanan SNI 1727:2013.

3.3.2.3. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan pengaruh gempa bumi. Untuk perencanaan Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram ini, direncanakan terhadap pembebanan gempa akibat pengaruh gempa rencana dalam arah pembebanan sesuai SNI 1726-2012. Beban gempa dikaji dengan metode dinamik respon spektrum.

3.3.2.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban nominal yang digunakan dalam metode desain kekuatan (DFBK) menurut SNI 1727:2013 pasal 2.3.2 sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D \pm 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2 D \pm 1,0 E + L + 0,2 S$
6. $0,9 D \pm 1,0 W$
7. $0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

- D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen
 L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
 L_r = beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap
 R = beban hujan
 W = beban angin
 E = beban gempa
 S = beban salju

3.3.3 Analisa Struktur dengan SAP 2000 v.14

Analisa struktur dalam perencanaan ini digunakan aplikasi struktur *SAP 2000 v.14*, penggunaan aplikasi ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur.

3.4. Perencanaan Struktur

3.4.1. Perencanaan Pelat

Langkah-langkah dalam perencanaan pelat lantai sebagai berikut:

- a. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
- b. Menentukan tebal pelat.
- c. Menghitung beban yang bekerja berupa beban mati dan beban hidup terfaktor.
- d. Menghitung momen-momen yang menentukan.
- e. Menghitung tulangan pelat.

3.4.2. Perencanaan Balok

Langkah-langkah perencanaan balok komposit sebagai berikut:

- a. Menentukan lebar efektif pelat lantai.
- b. Menghitung penampang balok komposit
- c. Menghitung kuat lentur balok.
- d. Menghitung kuat geser balok.
- e. Memeriksa persyaratan keamanan dan detail balok komposit.

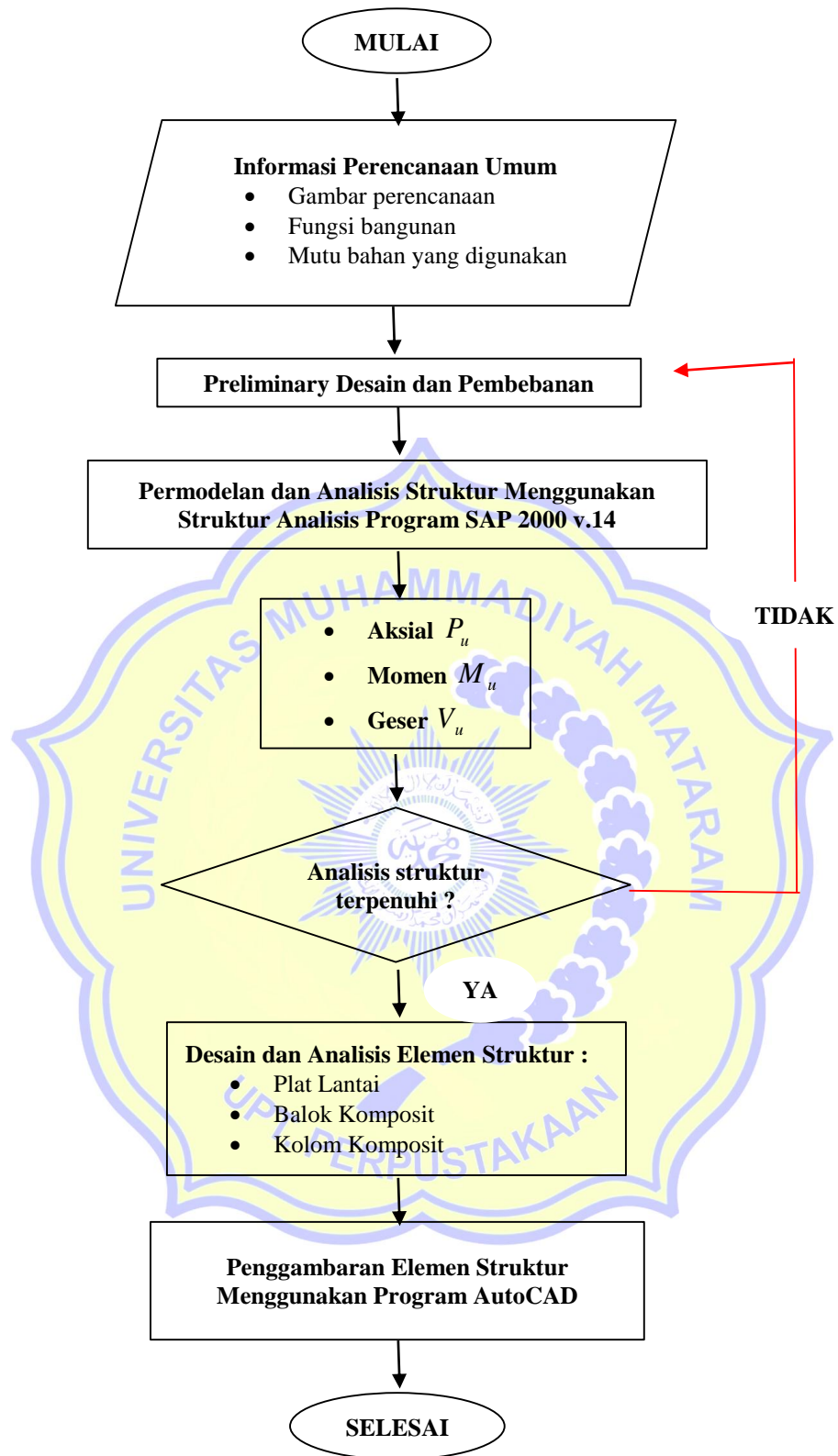
3.4.3. Perencanaan Kolom

Langkah-langkah perencanaan kolom komposit dengan profil baja terselubung beton sebagai berikut:

- a) Periksa terhadap syarat luas minimum profil baja.
- b) Periksa syarat jarak sengkang/pengikat lateral.
- c) Periksa syarat luas tulangan longitudinal.
- d) Periksa syarat tulangan lateral.
- e) Menghitung kuat tekan kolom komposit.
- f) Menghitung kuat tekan aksial rencana dari baja profil.
- g) Mengecek kuat rencana maksimum yang dipikul oleh kolom.

3.4.4. Bagan Alir

Untuk lebih jelasnya proses perencanaan bangunan dengan struktur beton komposit, berikut adalah bagan alir yang memuat tahapan-tahapan dalam menganalisis dan merencanakan bangunan :



Gambar 3.12 Bagan alir studi *Redesign* Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram