

PERANCANGAN DAN ANALISIS
**STRUKTUR BETON
BERTULANG I**

HENRICUS PRIYOSULISTYO



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

*Buku ini dipersembahkan untuk istriku tersayang,
M.E. Sulistyowati, dan anakku semata wayang, B. Hema Ariborta, S.E.,
dan istrinya, M. Lindi Cistia Prabha, S.Psi.
serta cucu-cucuku, M. Chelynamarvella A. dan G. Arceliasavella A.*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar **R.W. Prodjosiswojo** dan **S.H. Sutopo** yang telah mendorong karier saya dan menjadi tumpuan keluh kesah serta suka cita bagi keluarga saya. Ucapkan terima kasih ditujukan pula kepada setiap orang yang pernah saya jumpai dan kenali dan secara khusus kepada **Prof.Ir. Ahmad Antono** dan **Prof.Ir. Rachmat Purwono** yang pemikirannya selalu konsisten dengan tindakannya dan telah mendorong saya untuk belajar lebih banyak tentang Struktur Beton Bertulang. Secara khusus saya ucapkan terima kasih pula kepada saudara **Wahyu Dwiyantoro, S.T.**, yang telah membantu dalam menyempurnakan isi (menyesuaikan dengan SNI 2847-2013) dan tampilan dari buku ini.

PENGANTAR

Buku *Perancangan dan Analisis Struktur Beton Bertulang I* ini dibuat dalam rangka meningkatkan pemahaman analitik atas perancangan dan analisis balok, kolom, dan plat, yang dibuat dari beton bertulang menggunakan prinsip kuat batas (***ultimate strength design and analisis***), dengan berbagai gaya-dalam, seperti momen lentur, geser lentur, dan geser puntir. Bab I membahas tentang sifat-sifat bahan beton dan baja, beban mati (DL), beban hidup (LL), faktor beban, konsep dasar perimbangan, dan gaya-luar serta gaya-dalam. Bab II membahas tentang perancangan balok terhadap lentur dan analisis kekuatan balok terhadap lentur, baik untuk tulangan tunggal maupun rangkap. Bab III membahas tentang perancangan dan analisis balok tampang T dan L terhadap lentur. Bab IV membahas tentang perancangan dan analisis geser lentur dan geser puntir balok tampang persegi empat. Bab V membahas tentang kolom pendek dan kolom langsing serta pengaruh goyangan pada perancangan kolom tampang persegi dengan cara eksak dan pendekatan. Bab VI membahas tentang plat yang dirancang dengan metode koefisien momen. Materi terkait dengan fondasi, tangga, dinding geser, balok berkaki, konsol pendek, redistribusi momen, prategang, metode *strut and tie*, dan kolom biaksial akan dibahas dalam buku tersendiri.

Buku ini disusun berdasarkan pada **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)** dan dalam hal tertentu mengacu pula pada ACI 318M-11. Buku ini juga disusun berdasarkan pada pengalaman dan pendalaman pemikiran/penelitian penulis dalam perancangan kolom dan balok seperti terlihat di dalam daftar pustaka. Secara khusus buku ini ditujukan bagi para mahasiswa yang belajar di Departemen Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, dan tidak menutup kemungkinan diberikan di universitas lainnya, serta para praktisi lapangan yang bergerak dalam bidang perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan pembangunan

gedung dan jembatan. Agar mudah dipahami, di dalam buku ini banyak disajikan contoh persoalan dan jawabannya.

Penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa Indonesia.

Yogyakarta, Oktober 2019
Prof.Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH	vii
PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SIMBOL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. UMUM.....	1
B. KEKUATAN STRUKTUR	3
1. Kuat Perlu/Kuat Terfaktor (U)	3
2. Kuat Rencana (R).....	4
C. ASUMSI DALAM PERENCANAAN	6
D. PRINSIP PERENCANAAN	8
E. LUASAN TULANGAN MINIMUM	9
BAB II PERANCANGAN DAN ANALISIS LENTUR BALOK	
TAMPANG PERSEGI EMPAT.....	11
A. UMUM.....	11
B. PRINSIP PERANCANGAN DAN ANALISIS	
LENTUR.....	12
C. BALOK PERSEGI DENGAN TULANGAN	
TUNGGAL.....	16
1. Perancangan	16
2. Analisis.....	25
D. BALOK PERSEGI DENGAN TULANGAN	
RANGKAP.....	31
1. Perancangan	31
2. Analisis.....	42

BAB III	PERANCANGAN DAN ANALISIS LENTUR BALOK TAMPANG T/L	65
	A. UMUM.....	65
	B. BALOK T/L DENGAN TULANGAN TUNGGAL	66
	1. Perancangan	66
	2. Analisis.....	78
	C. BALOK T/L DENGAN TULANGAN RANGKAP	90
	1. Perancangan	90
	2. Analisis.....	100
BAB IV	PERANCANGAN DAN ANALISIS GESER LENTUR DAN GESER PUNTIR PADA BALOK	123
	A. UMUM.....	123
	B. GESER LENTUR PADA BALOK	126
	1. Perancangan	126
	2. Analisis.....	135
	C. GESER PUNTIR PADA BALOK.....	137
BAB V	KOLOM UNIAKSIAL.....	159
	A. ANALISIS RANGKA STRUKTUR.....	159
	B. INDEKS STABILITAS (<i>STABILITY INDEX</i>).....	160
	C. FAKTOR KELANGSINGAN (<i>SLENDERNESS RATIO</i>)	161
	D. FAKTOR PEMBESARAN MOMEN (<i>MOMENT MAGNIFICATION FACTOR</i>)	166
	E. DIAGRAM INTERAKSI KOLOM UNIAKSIAL	174
	1. Kolom Tampang Persegi Empat.....	174
	2. Kolom Tampang Bujur Sangkar dengan Tulangan Utama Tersebar Melingkar.....	194
BAB VI	PERANCANGAN DAN ANALISIS PLAT.....	199
	A. UMUM.....	199
	B. SYARAT KELAIKAN	200
	1. Kenyamanan.....	200
	2. Keawetan.....	202
	3. Kekuatan	202
	C. PERANCANGAN PLAT	203

1. Metode Koefisien Momen.....	203
2. Prosedur	205
DAFTAR PUSTAKA DAN BIBLIOGRAFI	235
INDEKS	239
BIOGRAFI.....	243

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Beberapa kemungkinan terjadinya sendi plastik akibat beban gempa.....	2
Gambar 1.2	Variasi ϕ dengan regangan tarik neto dalam baja tarik terluar, ϵ_s , dan c/d_s untuk tulangan mutu 420 dan untuk baja prategang sesuai SNI 2847-2013.....	5
Gambar 1.3	Ilustrasi distribusi tegangan tekan ekuivalen pada beton.....	7
Gambar 1.4	Asumsi distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok beserta gaya-gaya dalamnya	8
Gambar 2.1	Hubungan momen dan rasio luasan tulangan.....	15
Gambar 2.2	Penampang balok dan diagram regangan-tegangan tulangan tunggal	16
Gambar 2.3	Bagan alir perancangan balok lentur.....	21
Gambar 2.4	Dimensi balok dan penulangan	24
Gambar 2.5	Bagan alir analisis balok persegi.....	27
Gambar 2.6	Pengaruh penambahan tulangan tarik (A_1), variasi tulangan rangkap ($A' = A_2$) pada momen lentur nominal balok $250 \times 400 \text{ mm}^2$, $f'_c = 20 \text{ MPa}$, $f_y = 320 \text{ MPa}$	32
Gambar 2.7	Bagan alir perancangan balok tulangan rangkap	36
Gambar 2.8	Detail peletakan/letak tulangan	42
Gambar 2.9	Tampang balok tulangan rangkap	43
Gambar 2.10	Bagan alir analisis balok lentur tulangan rangkap	46
Gambar 3.1	Balok tampang-T terhubung.....	66
Gambar 3.2	Balok tampang-T terisolasi	67

Gambar 3.3	Blok tekan beton di dalam sayap	68
Gambar 3.4	Blok tekan beton di dalam badan	68
Gambar 3.5	Bagan alir perancangan balok T/L	71
Gambar 3.6	Dimensi tampang hasil hitungan.....	74
Gambar 3.7	Letak blok beton di dalam badan	76
Gambar 3.8	Detail penggambaran tulangan.....	78
Gambar 3.9	Blok beton tekan di dalam sayap	79
Gambar 3.10	Blok beton di dalam badan.....	80
Gambar 3.11	Bagan alir analisis balok T/L.....	83
Gambar 3.12	Blok beton di dalam sayap	85
Gambar 3.13	Tampang balok-T	87
Gambar 3.14	Bagan alir perancangan balok T/L tulangan rangkap	93
Gambar 3.15	Detail penulangan rangkap balok tampang T.....	100
Gambar 3.16	Bagan alir analisis balok T/L tulangan rangkap	104
Gambar 3.17	Tampang balok T.....	105
Gambar 3.18	Tampang balok T (<i>interior</i>).....	110
Gambar 3.19	Tampang balok berkaki (<i>beam ledge</i>)	114
Gambar 3.20	Posisi blok beton tekan dengan mengabaikan tulangan tekan	115
Gambar 3.21	Posisi blok beton tekan dengan memperhitungkan tulangan tekan	116
Gambar 3.22	Posisi blok beton tekan dengan memperhitungkan tulangan tekan	118
Gambar 4.1	Balok tinggi.....	124
Gambar 4.2	Balok langsing.....	125
Gambar 4.3	Tipikal kerusakan geser lentur	125
Gambar 4.4	Diagram gaya geser balok.....	129
Gambar 4.5	Perhitungan luas tampang efektif A_{cp} dan keliling tampang efektif P_{cp}	131
Gambar 4.6	Pembagian daerah geser lentur.....	133

Gambar 4.7	Penulangan geser lentur	135
Gambar 4.8	Momen puntir keseimbangan balok menahan plat luifel ($\Delta M^- = M^-_{plat}$).....	139
Gambar 4.9	Momen puntir keserasian balok menahan plat bordes	139
Gambar 4.10	Gaya geser puntir pada balok.....	140
Gambar 4.11	Prinsip keseimbangan gaya pada sistem rangka (<i>truss</i>)	141
Gambar 4.12	Luas tampang inti A_{oh} dan keliling inti p_h	145
Gambar 4.13	Denah plat-balok	146
Gambar 4.14	Tampang efektif balok.....	147
Gambar 4.15	Proses redistribusi pada balok.....	148
Gambar 4.16	Tampang balok berkaki	151
Gambar 4.17	Diagram momen punter.....	152
Gambar 4.18	Notasi dimensi balok berkaki.....	154
Gambar 4.19	Detail sengkang tulangan puntir dan tulangan memanjang	158
Gambar 5.1	Rangka struktur bergoyang dan tidak bergoyang.....	159
Gambar 5.2	Pengaruh faktor kelangsingan pada gaya tekuk.....	161
Gambar 5.3	Pengaruh faktor kelangsingan pada kemampuan kolom.....	162
Gambar 5.4	Diagram alir hitungan kolom	164
Gambar 5.5	Panjang kolom bersih.....	165
Gambar 5.6	Portal dengan tumpuan jepit.....	169
Gambar 5.7	Portal dengan tumpuan sendi	171
Gambar 5.8	Faktor panjang efektif kolom sesuai SNI 2847-2013 (BSN, 2847-2013).....	173
Gambar 5.9	Keseimbangan gaya pada kolom.....	175
Gambar 5.10	<i>Single</i> dan <i>double curvature</i>	179
Gambar 5.11	Garis netral di antara tulangan tarik dan tekan.....	180
Gambar 5.12	Garis netral di sisi kiri tulangan	182

Gambar 5.13	Garis netral di antara tulangan tarik dan tekan.....	184
Gambar 5.14	Garis netral di antara tulangan tarik dan tekan.....	187
Gambar 5.15	Garis netral di antara tulangan tarik dan tekan.....	190
Gambar 5.16	Diagram interaksi utk $b/h = 460/460$, $f'_c = 35$ MPa, $f_y = 420$ MPa.....	193
Gambar 5.17	Diagram tegangan-regangan dan gaya pada kolom bujur sangkar dengan tulangan melingkar	195
Gambar 5.18	Diagram interaksi kolom bujur sangkar tulangan melingkar $b = 600$ mm, $f_y / f'_c = 420/20$ MPa, 8D25 .	197
Gambar 6.1	Jenis tumpuan sesuai Tabel 6.1	201
Gambar 6.2	Koefisien momen untuk balok yang menumpu plat satu arah	204
Gambar 6.3	Panjang bentang teoretis sesuai dengan lebar perletakan	206
Gambar 6.4	Contoh plat ditumpu satu arah	214
Gambar 6.5	Pembebanan plat per meter panjang	215
Gambar 6.6	Gambar tulangan plat dengan panjang tulangan negatif ($L / 5$) dan ($L / 4$).....	223
Gambar 6.7	Pemutusan dan pembengkokan tulangan momen negatif dan positif.....	224
Gambar 6.8	Contoh plat tumpu dua arah	225
Gambar 6.9	Letak tulangan (d_x dan d_y) pada potongan melintang plat.....	229
Gambar 6.10	Skema tulangan bawah contoh pelat 2 arah	235
Gambar 6.11	Skema tulangan atas contoh pelat 2 arah	235
Gambar 6.12	Gambar tulangan contoh pelat 2 arah.....	236

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kriteria kerusakan menurut <i>Applied Technology Council</i>	1
Tabel 4.1	Redistribusi pada balok	150
Tabel 5.1	Inersia efektif	163
Tabel 5.2	Hasil analisis struktur	172
Tabel 5.3	Hasil hitungan	173
Tabel 6.1	Tebal minimum plat berdasarkan jenis tumpuannya.....	201
Tabel 6.2	Luas tulangan minimal berdasarkan jenis tulangan (BSN, SNI 2847-2013).....	203
Tabel 6.3	Jenis tumpuan berdasarkan kekakuan lentur tepi	205
Tabel 6.4	Jenis tumpuan berdasarkan kekakuan puntir tepi.....	205
Tabel 6.5	Tebal penutup beton minimal pada pelat.....	208
Tabel 6.6	Momen yang menentukan per meter lebar dalam jalur tengah pada plat 2 arah akibat beban terbagi rata	211
Tabel 6.7	Syarat jarak maksimal tulangan (S_{maks}), berkaitan dengan retak.....	213
Tabel 6.8	Komponen beban Contoh 6.1.....	215
Tabel 6.9	Hasil rekapitulasi tulangan Contoh 6.1	222
Tabel 6.10	Hasil rekapitulasi tulangan Contoh 6.2	234