



# **STRUKTUR BETON GEDUNG LANJUTAN**

**Rilya Rumbayan, ST., M.Eng., Ph.D  
Ir. Julius E. Tenda, MT**

## BIODATA PENULIS



**Rilya Rumbayan** dilahirkan di Manado, Sulawesi Utara pada 2 Juni 1979. Menyelesaikan pendidikan S1 (Sarjana Teknik) di Universitas Sam Ratulangi tahun 2002, S2 (*Master of Engineering*) di *The University of Tokyo, Japan* tahun 2006, dan S3 (Ph.D) di *University of Missouri, USA* tahun 2013. Pada tahun 2018 mengikuti program *Retooling* Dosen Pendidikan Tinggi Vokasi di *Melbourne Polytechnic* selama 2 bulan. Sejak tahun 2002 menjadi Tenaga Pendidik di Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, dengan pengajaran pada mata kuliah: Mekanika Rekayasa, Rekayasa Beton, dan Struktur Beton Gedung Lanjutan.

**Julius Everhart Tenda** dilahirkan di Langsot Tareran Minahasa Selatan, Sulawesi Utara, 11 Juli 1962. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 Teknik Sipil di Universitas Sam Ratulangi, Manado dengan Skripsi Perhitungan Panjang Efektif Pada Struktur Rangka Bertingkat Banyak, dan Thesis berjudul Panjang Efektif dan Aplikasinya pada Desain Awal Kolom Beton Bertulang dengan Memperhitungkan Gaya Gempa. Sejak tahun 1994 menjadi Tenaga Pendidik di Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, dengan pengajaran pada mata kuliah: Rekayasa Gempa, Struktur Beton, dan Desain Struktur Bangunan Gedung.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Allah yang telah mengaruniakan kemampuan dan hikmat kepada Tim Penulis untuk dapat menyelesaikan buku ajar ini dengan judul *Struktur Beton Gedung Lanjutan*.

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengembangan Pembelajaran dan Penjaminan Mutu Pendidikan, Politeknik Negeri Manado tahun 2019 yang telah mendanai pembuatan buku ajar ini. Selain itu Tim Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu pelaksanaan pembuatan buku ajar ini mulai dari tahap persiapan sampai pada tahap penyusunan buku ajar.

Buku ajar Struktur Beton Gedung Lanjutan yang meliputi dua topik yaitu Beton Pracetak dan Beton Prategang ini merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas layanan akademik dalam hal ini mengoptimalisasi kualitas proses belajar mengajar dalam memberikan perkuliahan Struktur Beton Gedung Lanjutan. Buku ini diharapkan dapat memberikan perubahan yang signifikan terhadap proses belajar mengajar sehingga mempercepat pemahaman mahasiswa terhadap matakuliah yang berhubungan dengan teknologi struktur beton gedung lanjutan untuk mahasiswa program studi Sarjana Terapan Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado.

Harapan Tim Penulis, buku ajar ini dapat bermanfaat bagi kemajuan proses pengajaran di Politeknik Negeri Manado.

**Tim Penulis**

Rilya Rumbayan, ST., M.Eng., PhD.

Ir. Julius Everhart Tenda, MT.

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
BAB 2 TINJAUAN UMUM BETON PRACETAK.....	5
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	5
PENGANTAR.....	5
2.1. PERKEMBANGAN SISTEM BETON PRACETAK DI INDONESIA .....	6
2.2. PENGERTIAN BETON PRACETAK .....	7
2.3. KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN BETON PRACETAK .....	8
2.4. KOMPONEN BANGUNAN GEDUNG BETON PRACETAK .....	10
2.5. PRINSIP DASAR BETON PRACETAK PADA KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG .....	15
RINGKASAN .....	20
LATIHAN SOAL .....	21
TES FORMATIF .....	21
REFERENSI.....	21
BAB 3 PERENCANAAN BETON PRACETAK.....	23
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	23
PENGANTAR.....	23
3.1. FAKTOR PERENCANAAN.....	24
3.2. PROSES PENERAPAN TEKNOLOGI PRACETAK .....	25
3.3. <i>PLANNING</i> .....	26

RINGKASAN .....	33
LATIHAN SOAL .....	33
TES FORMATIF .....	33
REFERENSI.....	34
<b>BAB 4 SISTEM STRUKTUR BETON PRACETAK .....</b>	<b>35</b>
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	35
PENGANTAR.....	35
4.1. STRUKTUR RANGKA KOLOM MENERUS.....	36
4.2. STRUKTUR RANGKA DENGAN KOLOM SAMBUNGAN .....	40
4.3. STRUKTUR RANGKA DENGAN UNIT BERUPA PORTAL.....	43
4.4. <i>LIFT SLAB</i> METHOD .....	48
RINGKASAN .....	49
LATIHAN SOAL .....	49
TES FORMATIF .....	49
REFERENSI.....	50
<b>BAB 5 PRODUKSI, SISTEM TRANSPORTASI DAN METODE ERACTION STRUKTUR BETON PRACETAK.....</b>	<b>51</b>
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	51
PENGANTAR.....	51
5.1. PRODUKSI BETON PRACETAK .....	52
5.2. SISTEM TRANSPORTASI BETON PRACETAK .....	60
5.3. METODE <i>ERECTION</i> STRUKTUR BETON PRACETAK	64
RINGKASAN .....	70
LATIHAN SOAL .....	71
TES FORMATIF .....	71
REFERENSI.....	72

BAB 6 SISTEM SAMBUNGAN STRUKTUR BETON PRACETAK.....	73
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	73
PENGANTAR.....	73
6.1. PEMILIHAN SAMBUNGAN.....	74
6.2. SAMBUNGAN KOMPONEN BETON PRACETAK .....	75
6.3. PERBANDINGAN JENIS-JENIS ALAT SAMBUNG.....	81
6.4. SISTEM SAMBUNGAN PRACETAK DI INDONESIA ...	83
6.5. PERBAIKAN KOMPONEN PRACETAK .....	84
RINGKASAN .....	85
LATIHAN SOAL .....	85
TES FORMATIF .....	86
REFERENSI.....	86
BAB 7 KONSEP DASAR STRUKTUR BETON PRATEGANG..	87
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	87
PENGANTAR.....	87
7.1 SEJARAH PERKEMBANGAN BETON PRATEGANG ...	88
7.2 KONSEP BETON BIASA, BETON BERTULANG DAN BETON PRATEGANG .....	90
7.3 KEUNTUNGAN BETON PRATEGANG .....	93
7.4 METODE PRATEGANG .....	96
7.5 TAHAP PEMBEBANAN .....	98
7.6. PROSEDUR PERENCANAAN.....	100
7.7. MATERIAL BETON PRATEGANG .....	104
7.8. TULANGAN NON-PRATEGANG.....	111
RINGKASAN .....	114
LATIHAN SOAL .....	114
TES FORMATIF .....	115

REFERENSI.....	115
BAB 8 PERENCANAAN BALOK PRATEGANG.....	116
TUJUAN PEMBELAJARAN.....	116
PENGANTAR.....	116
8.1. ASUMSI DASAR.....	116
8.2. PENGARUH PRATEGANG.....	117
8.3. GAYA-GAYA PADA TENDON.....	126
8.4. METODE LOAD BALANCING.....	129
8.5. DESAIN AWAL LENTUR.....	132
8.6. MOMEN RETAK.....	136
RINGKASAN.....	139
LATIHAN SOAL.....	139
TES FORMATIF.....	141
REFERENSI.....	141
DAFTAR PUSTAKA.....	142
GLOSARIUM.....	143
INDEX.....	146

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komponen balok beton pracetak .....	12
Gambar 2. Komponen kolom beton pracetak .....	13
Gambar 3. Komponen pelat atap beton pracetak .....	13
Gambar 4. Komponen pelat lantai beton pracetak jenis <i>Hollow Core Slab (HCS)</i> .....	14
Gambar 5. Komponen <i>cladding</i> beton pracetak .....	14
Gambar 6. Komponen tangga beton pracetak .....	15
Gambar 7. Sistem struktur rangka, kolom menerus, sambungan kaku .....	36
Gambar 8. Sistem struktur rangka, kolom menerus .....	37
Gambar 9. Sistem struktur rangka kolom menerus sambungan <i>pin joint</i> .....	38
Gambar 10. Sistem struktur rangka, kolom menerus, (1) kolom menerus dengan <i>cantilever</i> ; (2) balok; (3) plat lantai .....	38
Gambar 11. Sistem struktur rangka, kolom menerus, <i>pin joint</i> sebagai alat sambung kolom-unit lantai .....	39
Gambar 12. Sistem struktur rangka, kolom menerus, (1) kolom menerus dengan <i>cantilever</i> ; (2) unit lantai .....	40
Gambar 13. Sistem struktur rangka, kolom sambungan setiap satu lantai .....	41
Gambar 14. Sistem struktur rangka, (1) kolom sambungan tiap lantai; (2) balok; (3) unit lantai .....	41
Gambar 15. Sistem struktur rangka, kolom sambungan setiap dua lantai .....	42
Gambar 16. Sistem struktur rangka, kolom sambungan, (1) kolom; (2) kolom sambungan tiap dua lantai; (3) kolom; (4) internal kolom; (5) balok; (6) unit lantai .....	42
Gambar 17. Sistem struktur rangka berupa portal berbentuk H .....	43
Gambar 18. Sistem struktur rangka portal, (1) portal H; (2) unit lantai; dan (3) dinding .....	44
Gambar 19. Sistem struktur rangka berupa portal, alat sambung <i>pin joint</i> .....	45
Gambar 20. Sistem struktur rangka portal .....	45



Gambar 21. Sistem struktur rangka portal berbentuk T .....	46
Gambar 22. Sistem struktur rangka portal berbentuk T .....	46
Gambar 23. Sistem struktur rangka portal berbentuk T dan L .....	47
Gambar 24. Sistem struktur rangka portal berbentuk T dan L, (1) rangka L; (2) rangka T; dan (3) unit lantai .....	47
Gambar 25. Metode <i>lift slab</i> .....	48
Gambar 26. Proses produksi beton pracetak .....	53
Gambar 27. Metode pabrikasi komponen beton pracetak .....	55
Gambar 28. Cetakan untuk komponen beton pracetak .....	58
Gambar 29. Produksi komponen beton pracetak .....	60
Gambar 30. <i>Typical two point support</i> .....	62
Gambar 31. <i>Rocker system</i> .....	62
Gambar 32. Sistem pengangkutan horizontal .....	63
Gambar 33. Sistem pengangkutan vertikal .....	63
Gambar 34. Sistem pengangkatan komponen pracetak .....	64
Gambar 35. Metode erection arah vertical .....	66
Gambar 36. Metode erection arah horizontal .....	67
Gambar 37. Peralatan <i>erection</i> komponen pracetak .....	69
Gambar 38. Sambungan antar kolom dengan balok dengan cara <i>in-situ concrete</i> .....	77
Gambar 39. Sambungan kolom dengan menggunakan <i>couper</i> sebagai alat sambung tulangan baja .....	78
Gambar 40. Sambungan kaku antar balok dengan kolom menerus dengan alat sambung las .....	79
Gambar 41. Sambungan <i>pin-joint</i> pada kolom dengan baut sebagai alat sambung .....	80
Gambar 42. Kombinasi tegangan tekan beton dan tegangan tarik baja untuk keseimbangan balok .....	87
Gambar 43. Model retak pada struktur beton bertulang .....	88
Gambar 44. Struktur beton prategang pertama .....	89
Gambar 45. Struktur beton bertulang .....	91
Gambar 46. Struktur beton prategang .....	93
Gambar 47. Proses pembuatan beton prategang pratarik .....	97
Gambar 48. Proses pembuatan beton prategang pascatarik .....	98
Gambar 49. Tipikal diagram tegangan-regangan beton .....	105
Gambar 50. Tulangan non-prategang penahan tarik di tengah bentang .....	112

Gambar 51. Tulangan non-prategang penahan tarik di tepi bentang. .....	112
Gambar 52 Tulangan non-prategang penahan tekan. ....	112
Gambar 53. Tulangan non-prategang penahan lentur.....	113
Gambar 54. Tulangan non-prategang penahan retak. ....	113
Gambar 55. Prategang dengan eksentrisitas.....	118
Gambar 56. Diagram Tegangan .....	118
Gambar 57. Elevasi contoh kasus-1 .....	119
Gambar 58. Diagram tegangan kasus - 1 .....	120
Gambar 59. Penggambaran diagram tegangan .....	120
Gambar 60. Elevasi dan penampang contoh kasus-2 .....	121
Gambar 61. Elevasi dan penampang contoh kasus-3 .....	122
Gambar 62. Elevasi dan penampang contoh kasus-4 .....	123
Gambar 63. Gambar diagram tegangan contoh kasus-4 .....	124
Gambar 64. Penampang dan elevasi contoh kasus-5 .....	124
Gambar 65. Elevasi suatu balok prategang .....	127
Gambar 66. Gaya yang dihasilkan dari prategang .....	127
Gambar 67. Diagram momen akibat prategang.....	127
Gambar 68. Elevasi dan penampang contoh kasus – 6 .....	128
Gambar 69. Diagram tegangan contoh kasus – 6.....	129
Gambar 70. Diagram gaya pada kabel .....	129
Gambar 71. Elevasi dan penampang contoh kasus – 7 .....	130
Gambar 72. <i>Balanced Load</i> contoh kasus – 7 .....	131
Gambar 73. Momen akibat prategang contoh kasus – 7.....	131
Gambar 74. Momen akibat berat sendiri contoh kasus – 7.....	131
Gambar 75. Diagram tegangan cara biasa contoh kasus – 7 .....	132
Gambar 76. Diagram tegangan cara <i>Load Balancing</i> contoh kasus – 7 .....	132
Gambar 77. Elevasi dan penampang contoh kasus – 8 .....	133
Gambar 78. Diagram tegangan transfer contoh kasus – 8.....	135
Gambar 79. Diagram tegangan servis contoh kasus – 8 .....	136
Gambar 80. Penampang dan elevasi contoh kasus – 9.....	137
Gambar 81. Penampang dan elevasi latihan soal – 1 .....	140
Gambar 82. Elevasi dan penampang latihan Soal – 2 .....	140
Gambar 83. Penampang dan elevasi latihan soal – 3 .....	141

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pembiayaan pembuatan metode pracetak dibandingkan dengan metode konvensional .....	29
Tabel 2. Perbandingan metode penyambungan .....	81
Tabel 3. Tipikal baja prategang .....	108
Tabel 4. Luas penampang tulangan biasa .....	109

## BAB 1 PENDAHULUAN

Kondisi infrastruktur yang baik mempunyai peranan yang sangat besar dalam meningkatkan daya saing dan mendorong pertumbuhan ekonomi suatu negara. Infrastruktur bangunan gedung dengan sistem **beton pracetak** (*precast concrete*) dan **beton prategang** (*prestressed concrete*) telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di Indonesia dalam dekade terakhir ini. Sistem ini mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem konstruksi beton konvensional dalam aspek mutu yang terjaga, waktu pelaksanaan yang cepat, biaya yang ekonomis, bahan baku terdapat di Indonesia, dan memenuhi konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development/green construction*).

Sistem **beton pracetak** adalah metode konstruksi yang mampu menjawab kebutuhan di era revolusi industri 4.0. Umumnya sistem ini dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*off site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi (*installation*). Selain untuk komponen bangunan gedung seperti pelat lantai, kolom, balok, tangga, dan dinding *fascade*, sistem pracetak telah banyak juga diaplikasikan di Indonesia dalam bentuk komponen tiang pancang, turap, jalan, jembatan, saluran, kanstin, jalan rel kereta api, pagar beton, dan konstruksi lepas pantai. Beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang berbeda dengan konstruksi monolit terutama pada aspek perencanaan yang tergantung oleh

metoda pelaksanaan dari pabrikasi, penyatuan dan pemasangannya, serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar komponen.

Selain itu, pengembangan **beton prategang** (*prestressed concrete*) dalam konstruksi bangunan gedung berlantai banyak semakin meningkat aplikasinya, terutama pada struktur dengan bentang yang panjang. Menurut SNI 7833:2012, beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban. Pemberian gaya prategang pada beton akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini akan menahan beban luar yang bekerja pada penampang. Pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum atau sesudah beton dicor. Pemberian gaya prategang yang dilakukan sebelum pengecoran disebut sistem pratarik (*pre-tension*), sedangkan pemberian gaya prategang yang dilakukan sesudah pengecoran disebut sistem pascatarik (*post-tension*).

Penyusunan buku ajar **Struktur Beton Gedung Lanjutan** ini **bertujuan** untuk memberikan referensi sumber belajar tambahan tentang **beton pracetak** dan **beton prategang** dalam memenuhi capaian pembelajaran mata kuliah Struktur Beton Gedung Lanjutan pada mahasiswa Semester 6, Program Studi Sarjana Terapan Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado.

Buku ajar ini **bermanfaat** dalam mempersiapkan mahasiswa untuk memiliki pengetahuan dan konsep teoritis tentang teknologi beton pracetak dan beton prategang terkini dibidang konstruksi bangunan

gedung. Buku ini diharapkan akan memberikan perubahan yang signifikan terhadap dunia pendidikan, sehingga mempercepat pemahaman mahasiswa terhadap matakuliah yang berhubungan dengan teknologi beton pracetak dan beton prategang, yang merupakan dua topik besar pada matakuliah **Struktur Beton Gedung Lanjutan**.

**Ruang lingkup** buku ajar ini mencakup tinjauan umum beton pracetak, perencanaan beton pracetak, sistem struktur beton pracetak, produksi, sistem transportasi dan metode *erection* struktur beton pracetak, sistem sambungan struktur beton pracetak, konsep dasar beton prategang, dan perencanaan beton prategang. Bab kedua dari buku ini berisi perkembangan sistem beton pracetak di Indonesia, pengertian beton pracetak, keunggulan dan kelemahan beton pracetak, komponen bangunan gedung beton pracetak, serta prinsip dasar beton pracetak pada konstruksi bangunan gedung. Bab ketiga berisi faktor perencanaan, proses penerapan teknologi pracetak, dan *planning*. Bab keempat mencakup topik struktur rangka kolom menerus, struktur rangka dengan kolom sambungan, struktur rangka dengan unit berupa portal, dan *lift slab method*. Bab kelima berisi produksi beton pracetak, sistem transportasi beton pracetak, dan metode erection struktur beton pracetak. Dilanjutkan dengan bab keenam berisi pemilihan sambungan, sambungan komponen beton pracetak, perbandingan jenis-jenis alat sambung, sistem sambungan pracetak di Indonesia, dan perbaikan komponen pracetak. Bab ketujuh mencakup topik sejarah perkembangan beton prategang, konsep beton biasa, beton bertulang dan beton prategang, keuntungan beton prategang, metode prategang, tahap pembebanan, prosedur

perencanaan, material beton prategang, tulangan non-prategang. Bab kedelapan berisi asumsi dasar, pengaruh prategang, gaya-gaya pada tendon, metode load balancing, desain awal lentur, dan momen retak.

Selain itu, buku ini dilengkapi dengan soal latihan dan tes formatif untuk menjadi bahan latihan dan evaluasi pemahaman mahasiswa.

**Penggunaan buku ajar** ini akan maksimal apabila mahasiswa mempelajari setiap bab secara berurutan, dan membaca tujuan pembelajaran pada setiap bab, serta mengerjakan latihan soal yang sudah disiapkan. Mahasiswa dapat juga menggunakan referensi yang ada untuk memperkaya bahan mteri terkait dengan topik setiap bab.