

TUGAS AKHIR

KAPASITAS LENTUR KOLOM PRACETAK BETON BERTULANG



DISUSUN OLEH:

ANDI MUHAMMAD ARSYAL N.

D111 14 010

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2019





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
http://civil.unhas.ac.id civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

KAPASITAS LENTUR KOLOM PRACETAK BETON BERTULANG

Disusun oleh

ANDI MUH. ARSYAL N.

D111 14 010

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng
NIP: 197011081994121001

Dr. Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng
NIP: 198702282018073001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardj Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292001121002



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil‘aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata’ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Kapasitas Lentur Kolom Pracetak Beton Bertulang**”, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini berkat bantuan dari berbagai pihak, utamanya dosen pembimbing kami:

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.

Pembimbing 2 : Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.

Selain itu, dengan segala kerendahan hati, kami juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua Ayahanda A. Nataluddin B. dan Ibunda tercinta A. Nurmiati atas kesabaran, pengorbanan, doa, serta dorongannya selama ini. Serta seluruh keluarga yang selalu mengingatkan untuk cepat lulus dan mencari pekerjaan.
2. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T. M.Eng., selaku Ketua Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing I dan Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam mendampingi jalannya penelitian ini.
5. Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing II yang senantiasa membantu tidak hanya dalam penyusunan tugas akhir ini tetapi atas semua bimbingan moril yang bermanfaat. Terima kasih atas kemurahan hatinya



yang senantiasa ingin membantu adik-adik mahasiswa untuk menuntut ilmu.

6. Dr. Eng. Rita Irmawati, S.T., M.T., selaku Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendampingi sekaligus memotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Serta bimbingannya selama penulis menjadi asisten, terlebih karena telah menjadi ibu kedua bagi teman-teman asisten di laboratorium.
7. Bapak Sony Jakob Kudubun selaku mahasiswa S2, yang telah berperan penting dalam jalannya penelitian ini.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.
9. Teman-teman seperjuangan Michael Hamdany, Naufal Abdul Wahid, dan Andi Husnatunnisa yang selalu hadir menemani dalam pengerjaan penelitian ini.
10. Teman – teman seperjuangan anak panti mawang yang senantiasa saling mengingatkan untuk masuk kuliah dan kerja tugas sama-sama. Terutama “*ma be the best friend*” saudara Muh. Sarafuddin TP. yang selalu menjadi pengingat kearah yang benar.
11. Kakak-kakak dan teman-teman Laboratorium Riset se-Struktur yang telah membimbing dan membantu penelitian ini.
12. Kanda-kanda senior, adik-adik, HMS FT-UH, dan teman-teman seperjuangan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin angkatan 2014 yang telah membimbing dan membantu selama penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada para pembaca, kiranya dapat memberikan sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.



Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat-Nya kepada kita dan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 10 April 2019

Penyusun



DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Beton.....	5
2.1.1. Kuat Tekan	6
2.1.2. Modulus Elastisitas	8
2.2. Baja Tulangan	10
2.3. Beton pracetak	11
2.3.1. Keuntungan dan Kerugian Beton <i>Precast</i>	12
2.3.2. Perbedaan Analisa Beton Pracetak dengan Beton Konvensional	14
2.3.3. Jenis Komponen Beton Pracetak (<i>Precast</i>)	14
2.4. Kolom	15
2.4.1. Definisi Kolom	15
2.4.2. Jenis Kolom	15
2.4.3. Perencanaan Kolom	16
2.4.4. Kapasitas Kolom	17
2.4.5. Kegagalan Pada Kolom	20



2.4.6.	Daktalitas Struktur Beton	23
2.4.7.	Perhitungan Analitik	24
2.5.	Sistem Sambungan Pracetak (<i>Precast</i>)	26
2.5.1.	Studi Penelitian Lainnya	26
2.5.2.	Metode Sambungan Kolom – Pondasi Beton <i>Precast</i>	28
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1.	Rancangan Penelitian	36
3.2.	Perhitungan Analitik	38
3.2.1.	Perhitungan <i>Footing</i>	38
3.2.2.	Kapasitas Kolom	38
3.2.3.	Perhitungan Sepatu Kolom	38
3.3.	Persiapan Alat dan Bahan	39
3.4.	Pembuatan Benda Uji	42
3.5.	Pengujian Benda Uji	45
3.5.1.	Pembebanan Statik Monotonik	45
3.5.2.	Pembebanan Siklik	46
3.5.3.	Tahapan Pengujian	46
3.5.4.	<i>Set-up</i> Benda Uji Statik monotonik	49
3.5.5.	<i>Set-up</i> Benda Uji Siklik	50
3.6.	Metode Analisa Hasil Penelitian	51
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1.	Hasil Pengujian Bahan	52
4.1.1.	Hasil Pengujian Karakteristik Beton	52
4.1.2.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	52
4.2.	Perhitungan Analisis	53
4.2.1.	Perhitungan Untuk <i>Footing</i> (Mutu beton $f^c = 32$ MPa) ...	53
4.2.2.	Perhitungan Kolom	56
4.2.3.	Perhitungan Sepatu Kolom	61
4.3.	Pengujian Pembebanan Statik Monotonik	62
4.3.1.	Kapasitas Lentur Kolom	62
4.3.2.	Rasio Perbandingan Tinggi Sepatu Kolom terhadap	



Beban	65
4.3.3. Perilaku Lentur Kolom	66
4.3.4. Pola Retak dan Mode Kegagalan	67
4.3.5. Daktilitas	71
4.3.6. Perbandingan Metode Eksperimendan dengan Studi Lainnya	72
4.4. Pengujian Pembebanan Siklik	73
4.4.1. Kapasitas Lentur	73
4.4.2. Perbandingan Ketiga Variasi Benda Uji	83
4.4.3. Pola Retak dan Mode Kegagalan	86
4.4.4. Perbandingan Metode Eksperimental dengan Studi Lainnya	91
BAB V PENUTUP	94
5.1. Kesimpulan	94
5.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	99



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton	6
Tabel 2.2. Jenis Tulangan ulir dan Ukurannya	10
Tabel 3.1. Variasi Benda Uji	43
Tabel 3.2. Daftar Benda Uji	45
Tabel 4.1. Karakteristik Beton Umur 28 hari	52
Tabel 4.2. Hasil pengujian tarik baja tulangan	53
Tabel 4.3. Distribusi forizontal statik ekuivalen	60
Tabel 4.4. Tabel benda uji, beban, dan lendutan	63
Tabel 4.5. Daktilitas kolom	66
Tabel 4.6. Data Hasil Pengujian Studi (1) sambungan kolom – pondasi	72
Tabel 4.7. Nilai beban maksimum untuk tiap sub siklus SPTK 12.5	73
Tabel 4.8. Nilai beban maksimum untuk tiap sub siklus SPTK 25-2	76
Tabel 4.9. Nilai beban maksimum untuk tiap sub siklus SPTK 25-3	78
Tabel 4.10. Nilai beban maksimum untuk tiap sub siklus SPTK 37.5-2	80
Tabel 4.11. Nilai beban maksimum untuk tiap sub siklus SPTK 37.5-3	82
Tabel 4.12. Kapasitas momen dan <i>drift ratio</i> rata-rata (siklik)	84
Tabel 4.13. Data Hasil Pengujian Studi (2) sambungan kolom – pondasi	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Material penyusun beton	5
Gambar 2.2. Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton	7
Gambar 2.3. Sebaran Hasil Uji uat Tekan Beton	8
Gambar 2.4. Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tekan Beton	9
Gambar 2.5. Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan	11
Gambar 2.6. Jenis – jenis kolom	16
Gambar 2.7. Gedung Bertingkat yang Mengalami Kegagalan Kolom	21
Gambar 2.8. Mode keruntuhan kolom akibat beban aksial	22
Gambar 2.9. Mode keruntuhan akibat kombinasi pembebanan	23
Gambar 2.10. <i>Buckling</i> akibat beban aksial	23
Gambar 2.11. Studi (1) sambungan kolom – pondasi	26
Gambar 2.12. Studi (2) sambungan kolom – pondasi	27
Gambar 2.13. Studi (3) sambungan kolom – pondasi	28
Gambar 2.14. Tipe sambungan kolom – pondasi	29
Gambar 2.15. Hubungan antara kolom dengan pondasi menggunakan <i>Socket</i> <i>Base</i>	30
Gambar 2.16. Detail sambungan <i>Knockdown system</i>	31
Gambar 2.17. <i>Pocket foundation</i>	32
Gambar 2.18. Gaya – gaya yang bekerja pada <i>pocket foundation</i>	33
Gambar 2.19. <i>Precast concrete baseplate</i>	33
Gambar 2.20. Ilustrasi sambungan <i>Projecting steel bar</i>	34
3.1. Diagram alir prosedur penelitian	37



Gambar 3.2. Tulangan baja polos Ø10	39
Gambar 3.3. Tulangan baja ulir D13	39
Gambar 3.4. Sambungan las	40
Gambar 3.5. <i>Strain gauge</i> baja dan beton serta <i>CN Adhesive</i>	40
Gambar 3.6. LVDT	41
Gambar 3.7. <i>Set-up data loger</i>	41
Gambar 3.8. <i>Actuator</i>	42
Gambar 3.9. Dimensi sepatu kolom untuk ketiga variasi tinggi	43
Gambar 3.10. Detail Kolom	44
Gambar 3.11. Detail <i>footing</i>	44
Gambar 3.12. Tahapan Pengujian Siklik	46
Gambar 3.13. Sketsa <i>footing</i>	46
Gambar 3.14. Pemasangan <i>footing</i>	47
Gambar 3.15. Sketsa Pemasangan SPTK ke <i>footing</i>	47
Gambar 3.16. Pemasangan SPTK ke <i>footing</i>	47
Gambar 3.17. Sketsa pembebanan dengan <i>actuator</i>	48
Gambar 3.18. Pemasangan kolom pada SPTK dan <i>actuator</i>	48
Gambar 3.19. Pengujian pembebanan satu arah	49
Gambar 3.20. Pengujian pembebanan Siklik	50
Gambar 3.21. <i>Set-up strain gauge</i> beton dan baja	50
Gambar 4.1. Sketsa perencanaan struktur bangunan	56
Gambar 4.2. Gaya lateral pada kolom	60
Gambar 4.3. Beban Maksimum	63



Gambar 4.4. Hubungan tinggi sepatu kolom dengan kapasitas momen	64
Gambar 4.5. Hubungan antara beban dan lendutan pada LVDT 1	66
Gambar 4.6. Detail daerah sisi tekan, tarik, dan samping	67
Gambar 4.7. Pola Retak SPTK 12.5 akibat beban statik lateral.....	68
Gambar 4.8. Pola Retak SPTK 25 akibat beban statik lateral.....	69
Gambar 4.9. Pola retak SPTK 37.5 akibat beban statik lateral	70
Gambar 4.10. Kondisi SPTK setelah pengujian	71
Gambar 4.11. Hubungan antara beban dan lendutan SPTK 12.5	73
Gambar 4.12. Kurva <i>backbone</i> SPTK 12.5	74
Gambar 4.13. <i>Drift ratio</i>	75
Gambar 4.14. Hubungan antara beban dan lendutan SPTK 25-2	75
Gambar 4.15. Terlepasnya baut sepatu kolom	76
Gambar 4.16. Kurva <i>backbone</i> SPTK 25-2	77
Gambar 4.17. Hubungan antara beban dan lendutan SPTK 25-3	78
Gambar 4.18. Kurva <i>backbone</i> SPTK 25-3	79
Gambar 4.19. Hubungan antara beban dan lendutan SPTK 37.5-2	80
Gambar 4.20. Kurva <i>backbone</i> SPTK 37.5-2	81
Gambar 4.21. Hubungan antara beban dan lendutan SPTK 37.5-3	82
Gambar 4.22. Kurva <i>backbone</i> SPTK 37.5-3	83
Gambar 4.23. Hubungan tinggi sepatu kolom dengan kapasitas momen akibat beban siklik	84
Gambar 4.24. Perbandingan <i>drift ratio</i> akibat beban siklik	85
Gambar 4.25. Pola retak siklik SPTK 12.5	86
Gambar 4.26. Pola retak siklik SPTK 25 – 2	87



Gambar 4.27. Pola retak siklik SPTK 25 – 3	88
Gambar 4.28. Pola retak siklik SPTK 37.5 – 2	89
Gambar 4.29. Pola retak siklik SPTK 37.5 – 3	90
Gambar 4.30. Kegagalan pada sepatu kolom	91



DAFTAR NOTASI

A_s	Luas tulangan total, mm ²
b_c	Lebar penampang kolom, mm
B	Lebar <i>footing</i> , m
e	Eksentrisitas
f'_c	Kuat tekan beton, N/mm ²
f_y	Tegangan leleh baja, N/mm ²
h	Tebal <i>footing</i> , m
h_c	Panjang penampang kolom, mm
L	Panjang <i>footing</i> , m
M_u	Momen ultimit, ton.m
s	Jarak antar tulangan, mm
γ	Berat jenis beton, kg/m ³
σ_{maks}	Tegangan maksimum <i>footing</i> , kN/m ²
σ_{maks}	Tegangan minimum <i>footing</i> , kN/m ²
V_u	Gaya geser ultimit, kN
V_c	Gaya geser pada beton, kN
ρ_{min}	Rasio tulangan minimum
ρ_{maks}	Rasio tulangan maksimum



KAPASITAS LENTUR KOLOM PRACETAK BETON BERTULANG

Andi Muhammad Arsyal N.
D111 14 010
Mahasiswa S1 Jurusan Sipil
Fakultas Teknik Univeritas Hasanuddin
Jl. Poros Malino Km. 6
Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan
Email : andiarsyal08@gmail.com

Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng.

Dr. Eng. Fakhruddin, ST., M.Eng.

Pembimbing I

Pembimbing II

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino Km. 6

Jl. Poros Malino Km. 6

Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan

Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan

ABSTRAK

Dewasa ini, pembangunan infrastruktur masih didominasi oleh konstruksi beton bertulang. Berbagai inovasi muncul dalam tahapan pengembangan untuk mendapatkan hasil yang efisien dan efektif. Salah satu sistem yang berkembang adalah metode pracetak. Permasalahan yang menjadi umum ditemukan dalam sistem pracetak adalah sistem sambungan antara komponen struktur. Berkaitan dengan hal tersebut, maka dilakukan penelitian menggunakan sepatu kolom sebagai sistem sambungan pada kolom pracetak. Variasi tinggi sepatu kolom yang digunakan sebesar 12.5 cm, 25 cm, dan 37.5 cm. Kolom yang digunakan berukuran 25 cm x 25 cm, tinggi 240 cm. Pengujian sepatu kolom dilakukan dengan memberikan beban lateral monotonik dan beban siklik yang merupakan simulasi dari beban gempa. Hasil pengujian beban lateral monotonik dengan tinggi 12,5, 25, dan 37,5 cm menghasilkan kapasitas lentur masing-masing sebesar 7.14, 9.03 dan 14.3 kN. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi sepatu kolom, maka semakin tinggi kapasitas lentur yang dihasilkan. Hasil pengujian beban siklik untuk tinggi sepatu kolom 12.5 cm adalah sebesar 4.71 kN untuk siklus positif dan 3.6 kN untuk siklus negatif. Untuk tinggi 25 cm, menghasilkan beban maksimum sebesar 9.18 kN untuk siklus positif dan 13.59 kN untuk siklus negatif. Untuk tinggi 37.5 cm, menghasilkan beban maksimum sebesar 11.33 kN untuk siklus positif dan 12.9 kN untuk siklus negatif. Ini menunjukkan bahwa sepatu kolom dengan tinggi 25 cm memiliki kekuatan yang hampir sama dengan tinggi 37.5 cm sehingga sepatu kolom dengan tinggi 25 cm lebih efektif dibandingkan dengan kedua variasi tinggi sepatu kolom yang lain.



nci: beban lateral monotonik, beban siklik, sambungan kolom pracetak, lom.

ABSTRACT

Nowadays, infrastructure development is still dominated by reinforced concrete construction. Various innovations appear in the development stage to get efficient and effective results. One of the developing systems is the precast method. The problem that is commonly found in precast systems is the system of connections between structural components. In this regard, the research was conducted using column shoes as a connection system in the precast column. Variations in column shoe height used were 12.5 cm, 25 cm, and 37.5 cm. The column dimensions used is 25 cm x 25 cm and 240 cm high. Column-shoe testing is done by giving monotonic lateral loads and cyclic loads which are simulations of earthquake loads. The monotonic lateral load test results with a height of 12.5, 25, and 37.5 cm produce flexural capacities of 7.14, 9.03 and 14.3 kN respectively. This indicates that the higher the column-shoes, the higher the flexural capacity produced. The results of cyclic loads testing for 12.5 cm column-shoes height are 4.71 kN for positive cycles and 3.6 kN for negative cycles. For a height of 25 cm, it produces a maximum load of 9.18 kN for a positive cycle and 13.59 kN for a negative cycle. For a height of 37.5 cm, it produces a maximum load of 11.33 kN for a positive cycle and 12.9 kN for a negative cycle. This shows that column-shoes with a height of 25 cm have almost the same strength as 37.5 cm in height so that column shoes with a height of 25 cm are more effective compared to the other two variations of column-shoes height.

Keywords: *flexural capacity, monotonic lateral load, cyclic load, precast column connection, column-shoes.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Melihat dari pertumbuhan penduduk di dunia saat ini mengharuskan pembangunan infrastruktur berjalan lebih efektif dan efisien. Jumlah penduduk Indonesia berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2017 sebanyak 258.704.900 jiwa. Jumlah penduduk Indonesia akan bertambah besar jika rata-rata laju pertumbuhan penduduk masih tinggi yaitu sekitar 4.5 juta kelahiran pertahun. Kondisi ini menuntut pemenuhan pangan, pelayanan kesehatan, pelayanan pekerjaan, pendidikan, dan yang pasti memerlukan pemukiman dan perumahan. Seiring pertumbuhan penduduk yang sangat pesat maka kebutuhan suatu tempat tinggal atau perumahan akan meningkat. Hal ini akan mendorong perlunya metode pelaksanaan pembangunan yang cepat, mudah, berkualitas baik, dan ekonomis.

Menanggapi permasalahan tersebut berbagai inovasi khususnya dibidang konstruksi beton telah banyak dikembangkan. Salah satu inovasi yang cukup pesat perkembangannya saat ini adalah rekayasa konstruksi sistem beton pracetak (*precast*). Teknologi beton pracetak diketahui dapat menggantikan operasi pembetonan tradisional yang dilakukan di lokasi proyek pada beberapa jenis konstruksi karena beberapa potensi manfaatnya. Beberapa prinsip yang dipercaya dapat memberikan manfaat lebih dari teknologi beton pracetak ini antara lain terkait dengan waktu, biaya, kualitas, keandalan, produktivitas, serta *relocatability*.

Struktur beton pracetak merupakan elemen bangunan yang menggunakan beton bertulang/tak bertulang yang dibuat/dicetak di pabrik atau tempat lain dan telah jadi sebelum dipasang. Pada dasarnya sistem ini melakukan pengecoran komponen di tempat khusus di permukaan tanah (pabrikasi), lalu dibawa ke lokasi (transportasi) untuk disusun menjadi suatu struktur utuh (ereksi) yang dimana pemasangannya ditentukan oleh para ahli untuk teknis perilaku pracetak dalam hal

hubungan antara elemen.

Sistem pracetak terus dikembangkan dan disesuaikan dengan kondisi, salah satunya pada rumah susun dan rumah sederhana. Penerapan sistem



pracetak ini terbukti handal diterapkan di lapangan yang dapat mengatasi berbagai permasalahan teknis di lapangan dan telah menghasilkan puluhan sistem pracetak yang telah dipatenkan dan diterapkan secara aktif sampai ke daerah terpencil.

Bagian kritis suatu sistem struktur beton pracetak pada saat menerima beban lateral adalah sistem sambungan. Sistem sambungan yang digunakan untuk menghubungkan elemen-elemen pracetak harus direncanakan agar dapat berperilaku monolit dalam mentransfer beban gravitasi maupun beban lateral. Bila tidak direncanakan dengan baik dari segi penempatan sambungan maupun kekuatannya maka sambungan dapat menyebabkan keruntuhan secara dini pada struktur.

Dewasa ini pembangunan rumah maupun gedung kebanyakan masih menggunakan cara konvensional dimana daerah *joint* pada kolom masih terhubung dengan *sloef* yang monolit dengan *pile cap* dan pondasi. Adapun *joint* pada kolom beton bertulang yang menggunakan baut masih jarang ditemukan. Rancangan sepatu kolom dimaksudkan sebagai inovasi baru dalam sambungan kolom beton pracetak dengan pondasi telapak (*footing*). Dalam skala pembangunan yang cukup besar, penggunaan sepatu kolom dapat mengefisiensikan waktu pengerjaan karena pemasangannya yang cukup mudah.

Berdasarkan uraian di atas, sepatu kolom yang merupakan inovasi dalam penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif dalam sistem sambungan pracetak. Namun, sebelum produk tersebut dapat digunakan di lapangan, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perilaku dari sepatu kolom tersebut. Salah satu parameter yang perlu ditinjau adalah kapasitas lentur dari kolom tersebut. Maka dari itu, penelitian tersebut bertujuan untuk menginvestigasi bagaimana **Kapasitas Lentur Kolom Pracetak Beton Bertulang**.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian

adalah:



1. Bagaimana pengaruh tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas lentur sambungan kolom-pondasi akibat beban lateral dan beban siklik.
2. Bagaimana tipe kegagalan pada sepatu kolom akibat pembebanan lateral dan siklik.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari kegiatan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas lentur sambungan kolom-pondasi akibat beban lateral monotonik.
2. Menganalisa pengaruh variasi tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas sambungan kolom-pondasi akibat beban siklik.

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah ;

1. Dimensi sampel kolom yang dibuat adalah kolom dengan ukuran penampang 250 x 250 mm dan tinggi 2400 mm.
2. Tebal pelat sepatu kolom yang digunakan adalah 10 mm.
3. Mutu beton yang dipakai adalah $f'_c = 18$ Mpa.
4. Pembebanan yang dipakai ialah pembebanan lateral monotonik dan siklik.

1.5. Sistematika Penulisan

Gambaran umum mengenai keseluruhan isi tulisan ini dapat diuraikan secara singkat pada tiap babnya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memberikan penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan terhadap studi empiris mengenai kolom, beton pracetak, jenis-jenis sambungan kolom dengan sloef.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan metode penelitian yang meliputi tinjauan umum penelitian, pengumpulan data, pengujian eksperimental, dan variabel penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengujian bahan, pengujian kolom, perbandingan nilai beban-lendutan tiap variasi SPTK (Sepatu Kolom) serta kapasitas lentur kolom.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bab terakhir dari tulisan ini yang memberikan kesimpulan dan saran-saran yang penulis kemukakan terkait pengembangan hasil penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari agregat kasar yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1.a)**, agregat halus yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1.b)**., bahan semen hidrolik (*portland cement*) yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1.c)**, air, dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Menurut SNI 2847-2013, beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Macam dan jenis beton menurut bahan pembentukannya adalah beton normal, bertulang, pra-cetak, pra-tekan, beton ringan, beton tanpa tulangan, beton fiber dan lainnya.

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai berumur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil.. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari.



a) Agregat Kasar



b) Agregat Halus



c) Semen Portland

Gambar 2.1. Material penyusun beton



2.1.1. Kuat Tekan (f'_c)

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 pada umur 28 hari.

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

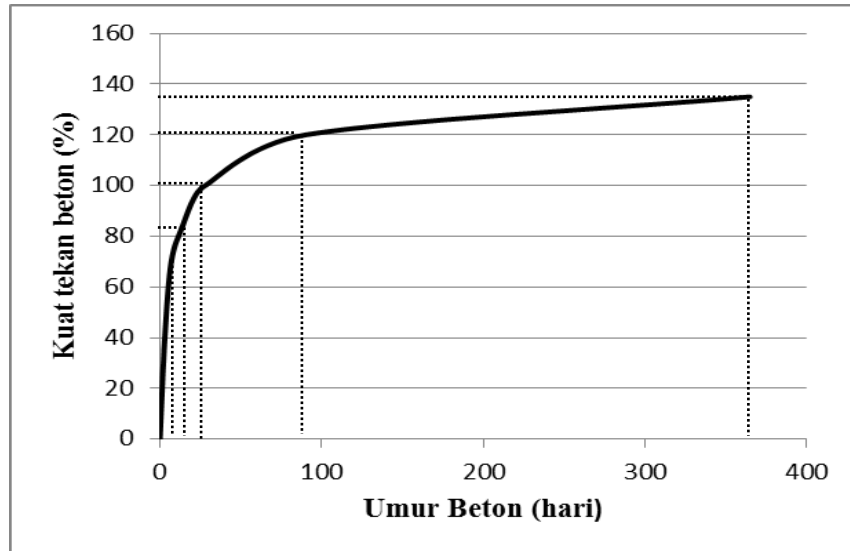
- a. Permukaan dan bentuk agregat.
- b. Gradasi agregat.
- c. Ukuran maksimum agregat

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Karena beton ini termasuk bahan yang awet (ditinjau dari segi pemakaiannya), maka sebagai standar kuat tekan ditetapkan pada waktu beton berumur 28 hari. Menurut SNI 2847-2013, hubungan antara kuat tekan beton dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** dan **Gambar 2.4.** berikut.

Tabel 2.1. Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton

Umur beton (Hari)	Kuat tekan beton (%)
3	40
7	70
14	84
21	95
28	100
90	120
365	135





Gambar 2.2. Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 10 cm dan tingginya 20 cm ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

σ = tegangan tekan beton, MPa

P = besar beban tekan, N

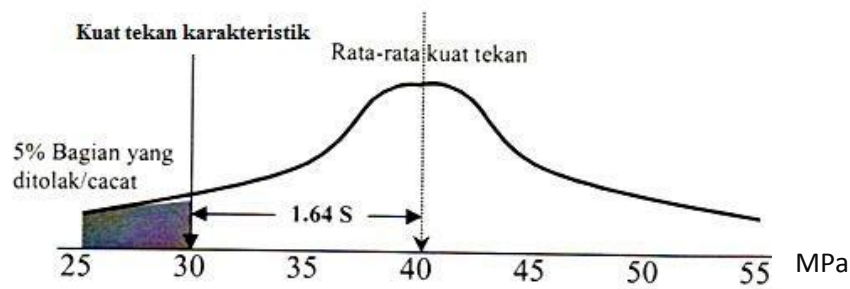
A = Luas penampang beton, mm²

Berdasarkan faktor-faktor yang menentukan kuat tekan beton seperti telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa jika dilakukan uji tekan atas sejumlah benda uji silinder beton yang dibuat dari suatu massa beton segar maka hasil pengujiannya akan berfluktuasi dan tersebar mengikuti suatu pola sebaran.

Jika hasil pengujian tekan sejumlah benda uji beton tersebut digambarkan dalam bentuk grafik sebaran hasil kuat tekan maka grafik ini akan berbentuk seperti

Gambar 2.3., sebagai contoh untuk kuat tekan rerata 40 MPa.





Gambar 2.3. Sebaran hasil uji kuat tekan beton

Pola sebaran hasil uji kuat tekan beton ini maka diasumsikan mengikuti kurva distribusi normal. Kuat tekan yang digunakan dalam perancangan struktur beton adalah kuat tekan karakteristik, yaitu kuat tekan rencana dimana kuat tekan lain yang lebih rendah dari kuat tekan rencana ini tersebar sebanyak 5%. Kuat tekan karakteristik ini merupakan kuat tekan minimal dari kuat tekan yang berada pada daerah 95%. Secara statistik kuat tekan karakteristik ini dirumuskan:

$$f'c \text{ rerata rencana} = f'c \pm 1,64S \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

$f'c$ = kuat tekan karakteristik

S = Standar deviasi

Dalam perancangan campuran beton standar deviasi ditentukan terlebih dahulu, kemudian menetapkan kuat tekan rerata rencana untuk mencapai kuat tekan karakteristik.

2.1.2. Modulus Elastisitas

Elastisitas adalah sifat material yang dapat kembali ke dimensi awal setelah beban dihilangkan. Sangat sulit menentukan nilai tepat elastisitas. Yang bisa dilakukan adalah menentukan rentang elastisitas atau batas elastisitas. Ketika sampel silinder beton ditekan dengan beban P, maka beban tersebut juga akan mengakibatkan bentuk fisik silinder beton berubah menjadi lebih pendek,

timbul regangan tekan pada beton (ϵ_c') sebesar perpendekan beton (ΔL) dengan tinggi awal silinder beton (L_0), ditulis dengan rumus:

$$\epsilon_c' = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2.3)$$



dengan:

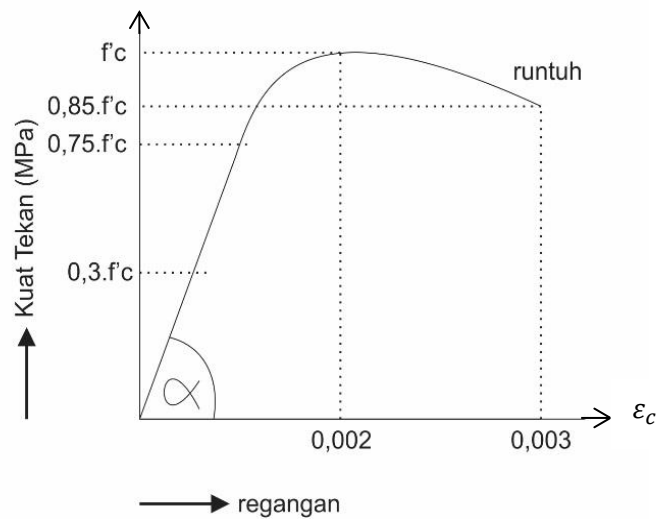
ϵ_c' = regangan tekan beton.

ΔL = perpendekan beton, mm.

L_0 = tinggi awal silinder beton.

Grafik hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dilihat pada

Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tekan Beton

Dari hubungan tegangan dan regangan tekan beton terlihat sudut α yaitu sudut antara garis lurus kurva yang di tarik dari kondisi nol sampai tegangan tekan sebesar $0,75 f'c$ dan garis regangan ϵ . Modulus elastisitas merupakan tangen dari sudut tersebut. Menurut pasal 8.5.1 SNI 2847-2013, modulus elastisitas beton E_c dapat di tentukan berdasarkan berat beton normal W_c dan kuat tekan beton $f'c$, dengan rumus:

$$E_c = (W_c^{1.5}) \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan W_c = Berat Satuan Beton (kg/m^3). Untuk beton normal, nilai E_c boleh diambil, $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$.



2.2. Baja Tulangan

Menurut SNI 1729-2015, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada tulangan baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan lain. Baja tulangan yang tersedia di pasaran ada 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau *deformed* (BJTD). Tulangan polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/senggang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 MPa (disebut BJTP-24) dengan ukuran $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 14$, dan $\emptyset 16$ (dengan \emptyset adalah simbol yang menyatakan diameter tulangan polos). Tulangan ulir / *deform* digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa (disebut BJTD-30). Ukuran diameter nominal tulangan ulir di pasaran dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

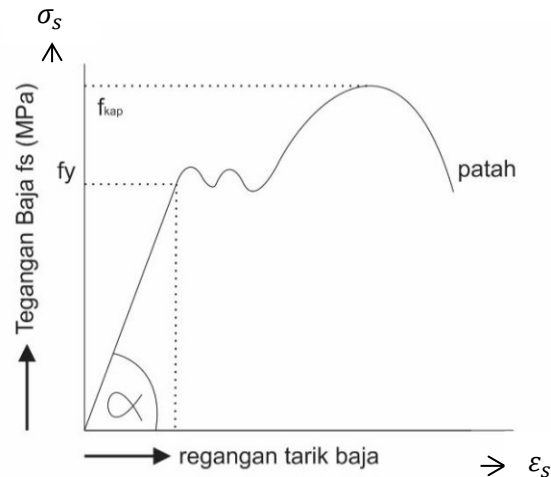
Tabel 2.2. Jenis Tulangan Ulir dan Ukurannya

Jenis tulangan	Diameter nominal (mm)	Berat per meter (kg)
D10	10	0,617
D13	13	1,042
D16	16	1,578
D19	19	2,226
D22	22	2,984
D25	25	3,853
D29	29	5,185
D32	32	6,313
D36	36	7,990

Meskipun baja tulangan mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena mahal harganya maka baja tulangan ini hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup di tahan oleh beton.

ngan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dilukiskan pada
2.5.





Gambar 2.5. Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan

Dari hubungan tegangan-regangan tarik baja tulangan pada **Gambar 2.5.**, terlihat sudut α yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai batas tegangan leleh f_y dan sumbu regangan. Modulus elastisitas baja tulangan (E_s) merupakan tangens dari sudut α tersebut. Menurut SNI 1729-2015, modulus elastisitas baja tulangan nonprategang diizinkan untuk diambil sebesar 200000 MPa.

2.3 Beton Pracetak

Beton pracetak (*precast*) dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast-in-situ*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan ditempatkan (Wulfram I. Ervianto, 2006).

Precast concrete (beton pracetak) adalah suatu metode pencetakan komponen secara mekanisasi dalam pabrik atau *workshop* dengan memberi waktu pengerasan dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang. Karena proses pengecorannya di tempat khusus (bengkel pabrikan), maka mutunya dapat terjaga dengan baik. Tetapi agar dapat menghasilkan keuntungan, maka beton pracetak

an diproduksi jika jumlah bentuk *typical*-nya mencapai angka minimum bentuk *typical* yang dimaksud adalah bentuk-bentuk repetitif dalam jumlah (Batubara, 2012).



Sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan (Siti Aisyah Nurjannah, 2011).

2.3.1. Keuntungan dan Kerugian Beton *Precast*

Hendrawan Wahyudi dan Hery Dwi Hanggoro (2010) menjelaskan bahwa struktur elemen pracetak memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan struktur konvensional, antara lain :

- a. Penyederhanaan pelaksanaan konstruksi.
- b. Waktu pelaksanaan yang cepat.
- c. Waktu pelaksanaan struktur merupakan pertimbangan utama dalam pembangunan suatu proyek karena sangat erat kaitannya dengan biaya proyek. Struktur elemen pracetak dapat dilaksanakan di pabrik bersamaan dengan pelaksanaan pondasi di lapangan.
- d. Penggunaan material yang optimum serta mutu bahan yang baik.
- e. Salah satu alasan mengapa struktur elemen pracetak sangat ekonomis dibandingkan dengan struktur yang dilaksanakan di tempat (*cast in-situ*) adalah penggunaan cetakan beton yang tidak banyak variasi dan biasa digunakan berulang-ulang, mutu material yang dihasilkan pada umumnya sangat baik karena dilaksanakan dengan standar-standar yang baku, pengawasan dengan sistem komputer yang teliti dan ketat.
- f. Penyelesaian *finishing* mudah.
- g. Variasi untuk permukaan *finishing* pada struktur elemen pracetak dapat dengan mudah dilaksanakan bersamaan dengan pembuatan elemen tersebut di pabrik, seperti: warna dan model permukaan yang dapat dibentuk sesuai dengan rancangan.
- h. Tidak dibutuhkan lahan proyek yang luas, mengurangi kebisingan, lebih bersih dan ramah lingkungan.
- i. Dengan sistem elemen pracetak, selain cepat dalam segi pelaksanaan, juga tidak membutuhkan lahan proyek yang terlalu luas serta lahan proyek lebih bersih dan pelaksanaan elemen pracetaknya dapat dilakukan dipabrik. Sebelum pelaksanaan berikut pengujian di pabrik.



- k. Elemen pracetak yang dihasilkan selalu melalui pengujian laboratorium di pabrik untuk mendapatkan struktur yang memenuhi persyaratan, baik dari segi kekuatan maupun dari segi efisiensi.
- l. Sertifikasi untuk mendapatkan pengakuan Internasional. Apabila hasil produksi dari elemen pracetak memenuhi standarisasi yang telah ditetapkan, maka dapat diajukan untuk mendapatkan sertifikasi ISO yang diakui secara internasional.
- m. Secara garis besar mengurangi biaya karena pengurangan pemakaian alat-alat penunjang, seperti: *scaffolding* dan lain-lain.
- n. Kebutuhan jumlah tenaga kerja dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi.

Namun demikian, selain memiliki keuntungan, struktur elemen pracetak juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain :

- a. Tidak ekonomis bagi produksi tipe elemen yang jumlahnya sedikit.
 - b. Perlu ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi deviasi yang besar antara elemen yang satu dengan elemen yang lain, sehingga tidak menyulitkan dalam pemasangan di lapangan.
 - c. Panjang dan bentuk elemen pracetak yang terbatas, sesuai dengan kapasitas alat angkat dan alat angkut.
 - d. Jarak maksimum transportasi yang ekonomis dengan menggunakan truk adalah antara 150 sampai 350 km, tetapi ini juga tergantung dari tipe produknya. Sedangkan untuk angkutan laut, jarak maksimum transportasi dapat sampai di atas 1000 km.
 - e. Hanya dapat dilaksanakan didaerah yang sudah tersedia peralatan untuk *handling* dan *erection*.
 - f. Di Indonesia yang kondisi alamnya sering timbul gempa dengan kekuatan besar, konstruksi beton pracetak cukup berbahaya terutama pada daerah sambungannya, sehingga masalah sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.
 - g. Diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.
- Diperlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (*stock yard*).



2.3.2. Perbedaan Analisa Beton Pracetak dengan Beton Konvensional

Pada dasarnya mendesain konvensional ataupun pracetak adalah sama, beban-beban yang diperhitungkan juga sama, faktor-faktor koefisien yang digunakan untuk perencanaan juga sama, hanya mungkin yang membedakan adalah (Hendrawan Wahyudi dan Hery Dwi Hanggoro 2010) :

- a. Desain pracetak memperhitungkan kondisi pengangkatan beton saat umur beton belum mencapai 24 jam. Apakah dengan kondisi beton yang sangat muda saat diangkat akan terjadi retak (*crack*) atau tidak. Di sini dibutuhkan analisa desain tersendiri, dan tentunya tidak pernah diperhitungkan kalo kita menganalisa beton secara konvensional.
- b. Desain pracetak memperhitungkan metode pengangkatan, penyimpanan beton pracetak di *stock yard*, pengiriman beton pracetak, dan pemasangan beton pracetak di proyek. Kebanyakan beton pracetak dibuat di pabrik.
- c. Pada desain pracetak menambahkan desain sambungan. Desain sambungan di sini, didesain lebih kuat dari yang disambung.

2.3.3. Jenis Komponen Beton Pracetak (*Precast*)

Ada beberapa jenis komponen beton pracetak untuk struktur bangunan gedung dan konstruksi lainnya yang biasa dipergunakan, yaitu :

- a. Tiang pancang.
- b. *Sheet pile* dan dinding diapragma.
- c. *Half slab, hollow core slab, single-T, double-T, triple-T, channel slabs* dan lain-lain.
- d. Balok beton pracetak dan balok beton pratekan pracetak (*PC I Girder*).
- e. Kolom beton pracetak satu lantai atau multi lantai.
- f. Panel-panel dinding yang terdiri dari komponen yang solid, bagian dari *single-T* atau *double-T*. Pada dinding tersebut dapat berfungsi sebagai pendukung beban (*shear wall*) atau tidak mendukung beban.
- g. Jenis komponen pracetak lainnya, seperti : tangga, balok parapet, panel-panel

up dan unit-unit beton pracetak lainnya sesuai keinginan atau imajinasi dari arsipil dan arsitek (Hendrawan Wahyudi dan Hery Dwi Hanggoro 2010).



2.4 Kolom

2.4.1 Definisi Kolom

Kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

SNI 2847 – 2013 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Kolom merupakan bagian vertikal dari suatu struktur rangka yang menerima beban tekan dan lentur. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Nawy,1998).

Berdasarkan SNI 2847 – 2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung maka kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.

2.4.2 Jenis Kolom

Dalam buku struktur beton bertulang (Dipohusodo, 1994), ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu :

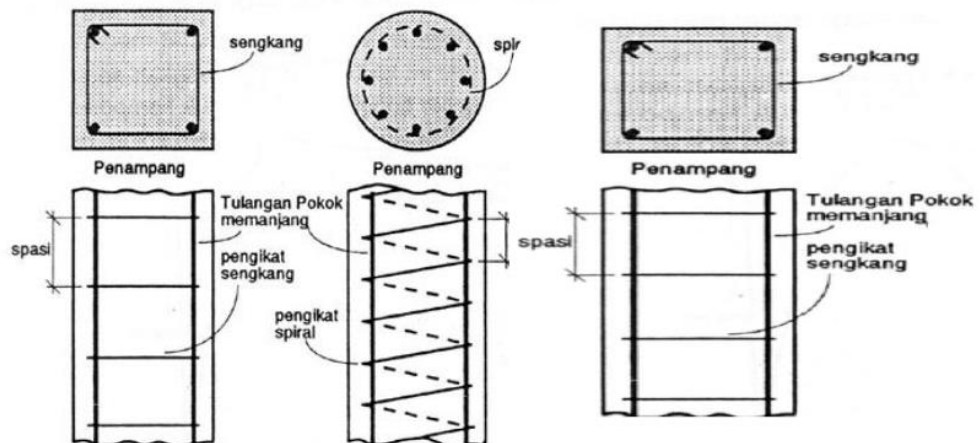
- a. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
- b. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral

melilitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap energi torsi yang cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya



kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.

- c. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.6. Jenis – jenis kolom

2.4.3 Perencanaan Kolom

Dalam perencanaan kolom yang dibebani beban aksial dan lentur harus memenuhi peraturan pada SNI 03-2847-2013, hal 74-75, yaitu sebagai berikut :

- Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas regangan dan tegangan dengan menggunakan asumsi dalam pasal 10.2 SNI 03-2847-2013.
- Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh f_y pada saat yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0.003 pada bagian beton yang tertekan.
- Penampang adalah terkendali tekan jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauih, sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol tarik bila beton mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Batas regangan terkendali adalah regangan tarik neto dalam tulangan pada kondisi regangan



- seimbang. Untuk tulangan mutu 420 MPa dan untuk semua tulangan prategang, diizinkan untuk menetapkan batas regangan terkendali tekan sama dengan 0,002.
- d. Penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neton dalam baja. Tarik terjauh sama dengan atau lebih besar dari 0,005 bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Penampang antara batas regangan terkendali tekan dan 0,005 membentuk daerah transisi antara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik.
 - e. Untuk komponen struktur lentur non-prategang dan komponen struktur nonprategang dengan beban tekan aksial terfaktor kurang dari $0.10 f_c' A_g$, pada kekuatan nominal tidak boleh kurang dari 0,004. Pemakaian tulangan tekan diizinkan terkait dengan tulangan tarik tambahan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur lentur.

2.4.4 Kapasitas Kolom

Berdasarkan posisi beban, kolom dibedakan menjadi 2 yaitu kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom dengan beban sentris mengalami gaya aksial dan tidak mengalami momen lentur. Keruntuhan kolom dapat terjadi pada beton hancur karena tekan atau baja tulangan leleh karena tarik. Kolom pendek adalah kolom yang runtuh karena materialnya, yaitu lelehnya baja tulangan atau hancurnya beton. Kolom langsing adalah kolom yang runtuh karena tekuk yang besar. Perencanaan kolom didasarkan pada dua kondisi yaitu :

1. Kolom Pendek dengan Beban Sentris

Kapasitas beban sentris maksimum diperoleh dengan menambah kontribusi beton yaitu $(A_g - A_{st}) 0,85 f'_c$ dan kontribusi baja tulangan yaitu $A_{st} f_y$, dimana A_g luas penampang bruto dan A_{st} luas total tulangan baja. Kapasitas beban sentris maksimum yaitu :

$$P_o = (A_g - A_{st}) 0,85 f'_c + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.1)$$

Pada kenyataannya, beban eksentrisitas sebesar nol sangat sulit terjadi dalam struktur aktual. Hal tersebut disebabkan karena ketidak tepatan ukuran, tebal plat yang berbeda dan ketidaksempurnaan lainnya. Batas eksentrisitas minimal untuk kolom sengkang dalam arah tegak lurus sumbu



lentur adalah 10% dari tebal kolom dan 5% untuk kolom bulat (E.G Nawy., 1998)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 tentang tata cara perencanaan beton untuk bangunan gedung, kuat rencana kolom tidak boleh lebih dari :

- a. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat yang memenuhi (pasal 10.3.6.2)

$$\phi P_n = 0,80 \phi (A_g - A_{st}) 0,85 f'_c + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.2)$$

- b. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang memenuhi (pasal 10.3.6.1)

$$\phi P_n = 0,85 \phi (A_g - A_{st}) 0,85 f'_c + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan faktor reduksi kekuatan ϕ untuk kolom sengkang sebesar 0,65 dan ϕ untuk kolom spiral 0,70. Persyaratan detail penulangan kolom bulat antara lain:

- a. Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,06 kali luas penampang bruto (pasal 12.9(1)).
- b. Jumlah tulangan longitudinal minimum adalah 4 untuk kolom persegi empat atau lingkaran, 3 untuk kolom sengkang segitiga dan 6 untuk kolom pengikat spiral (pasal 12.9(2)).
- c. Rasio penulangan spiral untuk $f_y \leq 400$ tidak boleh kurang dari (pasal 12.9(3)) :

$$\rho_{\min} = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Kolom Dengan Beban Eksentris

Kolom yang menahan beban eksentris mengakibatkan baja pada sisi yang tertarik akan mengalami tarik dengan garis netral dianggap kurang dari tinggi efektif penampang (d). Apabila angka kelangsingan $kl_u/r \leq 22$ maka tergolong kolom pendek. Berdasarkan regangan yang terjadi pada baja tulangan yang tertarik, kondisi awal keruntuhan digolongkan menjadi dua yaitu :

- a. Keruntuhan tarik yang diawali dengan luluhnya tulangan tarik dimana $P_n <$

keruntuhan tekan yang diawali dengan kehancuran beton dimana $P_n > P_{nb}$.



Kondisi *balance* terjadi saat baja tulangan mengalami luluh bersamaan dengan regangan beton. Beton mencapai kekuatan maksimum f'_c pada saat regangan desak beton maksimal mencapai 0,003. Perencanaan kolom eksentris diselesaikan dengan dua cara antara lain :

1. Metode Pendekatan Diagram $P_n - M_n$

Diagram $P_n - M_n$ yaitu suatu grafik daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban aksial dan momen yang dapat ditahan oleh kolom secara aman. Diagram interaksi tersebut dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah keruntuhan tekan dan daerah keruntuhan tarik dengan pembatasnya adalah titik *balance*. Tulangan dipasang simetris untuk mempermudah pelaksanaan, mencegah kekeliruan dalam penempatan tulangan tarik atau tulangan tekan dan mengantisipasi perubahan tegangan akibat beban gempa. Analisis kolom dengan diagram $P_n - M_n$ diperhitungkan pada tiga kondisi yaitu :

a. Pada Kondisi Eksentrisitas Kecil

Prinsip-prinsip pada kondisi ini dimana kuat tekan rencana memiliki nilai sebesar kuat rencana maksimum.

$$\phi P_n = \phi P_{n \max} = 0,80 \phi (A_g - A_{st}) 0,85 f'_c + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.5)$$

sehingga kuat tekan kolom maksimum yaitu :

$$P_n = \frac{\phi P_{u \max}}{\phi} \dots\dots\dots (2.6)$$

b. Pada Kondisi Momen Murni

Momen murni tercapai apabila tulangan tarik belum luluh sedangkan tulangan tekan telah luluh dimana f_s adalah tegangan tulangan tekan pada kondisi luluh. Pada kondisi momen murni keruntuhan terjadi saat hancurnya beton ($P_n = P_u = 0$). Keseimbangan pada kondisi momen murni yaitu :

$$N_{D1} + N_{D2} = N_T \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$$N_{D1} = 0,85 f'_c b a \dots\dots\dots (2.8)$$

$$N_{D2} = f'_s A'_s \dots\dots\dots (2.9)$$

$$N_T = f_y A_s \dots\dots\dots(2.10)$$



Selisih akibat perhitungan sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Persamaan yang diperoleh dari segitiga sebangun dengan tinggi sumbu netral pada c yaitu :

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \frac{0,003(c-d')}{c} \dots\dots\dots (2.11)$$

c. Pada Kondisi *Balance*

Kondisi keruntuhan *balance* tercapai apabila tulangan tarik luluh dan beton mengalami batas regangan dan mulai hancur. Persamaan yang diperoleh dari segitiga yang sebangun dengan persamaan sumbu netral pada kondisi *balance* (C_b) yaitu :

$$\frac{C_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} \dots\dots\dots (2.12)$$

atau dengan $E_s = 200000$, maka :

$$C_b = \frac{600 d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan kesetimbangan pada kondisi *balance* :

$$P_b = N_{D1} + N_{D2} - N_T \dots\dots\dots (2.14)$$

Sehingga eksentrisitas *balance* (e_b) dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_b (e_b + d/2) = M_{nb} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$M_{nb} = \phi P_b e_b \dots\dots\dots (2.16)$$

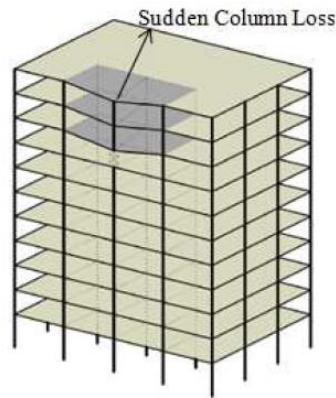
2.4.5 Kegagalan Pada Kolom

Menurut Izzuddin, Vlassis, Elghazouli, dan Nethercot (2008), ketika suatu gedung bertingkat mengalami kegagalan pada salah satu kolomnya, terjadi suatu respons dinamik pada elemen di sekitarnya, yang umumnya memiliki karakteristik yang ditandai dengan adanya nonlinearity pada geometrik dan material bangunan tersebut. Kegagalan pada kolom menyebabkan terjadinya deformasi pada sambungan struktur di atasnya (**Gambar 2.7**) dengan mengasumsikan struktur kolom lainnya dapat menahan beban gravitasi dari kolom yang gagal. Kegagalan

pada bagian bawah struktur, yaitu awal kegagalan suatu bangunan sangat dipengaruhi oleh deformasi pada sambungan yang mengalami respons dinamik. Batasan tersebut dievaluasi dengan menghitung respons dinamik



maksimum akibat beban gravitasi yang diikuti dengan kegagalan kolom secara tiba-tiba dan juga memperhitungkan daktilitas pada sambungan sehingga mampu dalam menahan deformasi yang terjadi. Perhitungan yang paling akurat adalah dengan menggunakan analisis elemen hingga nonlinear dinamik.



Gambar 2.7. Gedung Bertingkat yang Mengalami Kegagalan Kolom

Hal di atas juga diutarakan oleh Tsai dan Lin (2008), Ketika suatu bangunan yang memiliki mekanisme *strong column-weak beam*, mengalami kegagalan di salah satu kolom interior pada lantai dasar, kedua bentang balok akan mendistribusi beban pada kolom yang gagal tersebut ke kolom lainnya. Dalam kondisi elastis, lentur akan terjadi pada bagian sambungan balok-kolom ketika tidak dapat menahan lagi beban yang terjadi. Jika tahanan plastis sambungan balok-kolom tersebut tidak dapat menahan beban, defleksi pada balok akan menghasilkan aksi tarik beruntun yang merupakan proteksi terakhir dalam mencegah keruntuhan bangunan.

Kolom merupakan elemen penting pada suatu struktur, baik itu bangunan gedung maupun bangunan lainnya. Kolom memiliki fungsi utama untuk menyalurkan beban dari struktur menuju fondasi untuk kemudian disalurkan ke tanah. Sehingga suatu kolom harus mampu menahan beban-beban dari balok, pelat lantai, dan kolom itu sendiri. Kolom terbagi atas dua jenis, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Kolom pendek memiliki sifat dimana keruntuhan kolom

an kegagalan material kolom tersebut. Sedangkan untuk kolom langsing
 ggalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*) yang terjadi. Dalam dunia
 si, pada umumnya kolom langsing jarang digunakan. Hal ini dikarenakan

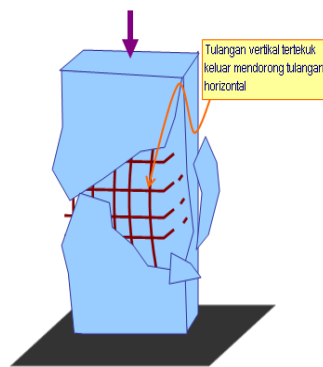


kolom langsing akan mengalami tekuk pada arah lateral akibat beban aksial yang terjadi. Hal ini akan meningkatkan momen yang terjadi pada kolom sehingga memperlemah kekuatan kolom terhadap gaya aksial yang dapat diterimanya (McCormac & Brown, 2013; Wight & MacGregor, 2012).

Kolom yang materialnya berupa beton bertulang, batas regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003 (SNI 2847-2013). Sehingga dalam perencanaan suatu struktur dengan material utamanya berupa beton, regangan yang dialami oleh material beton tidak boleh melampaui 0,003. Menurut Mishra (2014), berdasarkan rasio kelangsingan suatu kolom, ada tiga mode keruntuhan yang terjadi pada kolom, yaitu:

1. Mode 1 - Keruntuhan kolom akibat beban aksial

Ketika suatu kolom mengalami beban aksial, beton dan tulangan mengalami tegangan. Ketika beban mencapai titik maksimal yang mampu ditahan kolom, beton dan tulangan akan mengalami kegagalan leleh tanpa adanya deformasi arah lateral. Kolom hancur dan mengalami kegagalan material. Mode ini tidak terjadi pada kolom langsing karena kolom langsing akan mengalami tekuk ketika mengalami beban aksial.



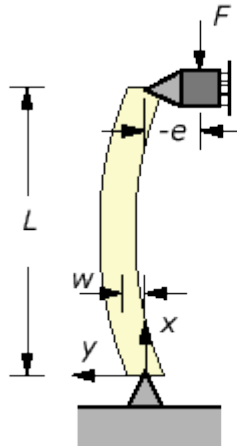
Gambar 2.8. Mode keruntuhan kolom akibat beban aksial

2. Mode 2 - Keruntuhan kolom akibat kombinasi pembebanan dan kegagalan lentur

Pada saat kolom pendek mengalami pembebanan aksial, lateral, dan momen, pada saat tertentu beton dan tulangan akan mengalami titik leleh dan

alami kegagalan. Untuk kolom langsing, kolom akan mengalami defleksi lateral dan lentur hanya saat diberikan beban aksial.

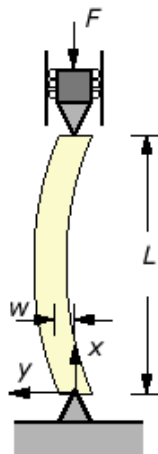




Gambar 2.9. Mode keruntuhan akibat kombinasi pembebanan

3. Mode 3 - Keruntuhan kolom akibat ketidakstabilan elastik

Kolom langsing yang memiliki rasio panjang dibandingkan dimensi lateral yang besar, pada saat diberikan beban aksial yang kecil akan menjadi tidak stabil dan mengalami *buckling* (tekuk). Sehingga beton dan tulangan mengalami titik leleh pada beban yang kecil dan gagal akibat tekuk elastik arah lateral. Mode ini tidak terjadi pada kolom pendek, karena kolom pendek tidak memiliki resiko terhadap tekuk.



Gambar 2.10. *Buckling* akibat beban aksial

2.4.6. Daktilitas Struktur Beton

idalam mendesain suatu struktur, selain kekuatan (*strength*) dan an layan (*serviceability*), hal yang tidak boleh diabaikan adalah daktilitas kstruktur tersebut. Daktilitas adalah suatu besaran yang mencerminkan



kemampuan suatu struktur atau elemen struktur untuk mengalami deformasi (perubahan bentuk) elasto-plastis (plastik) tanpa runtuh. Nilai daktilitas biasanya dinyatakan sebagai suatu rasio Antara deformasi elasto-plastis total (ultimit) sebelum runtuh dengan deformasi pada batas elastis (leleh) (Wangsadinata dalam Candra, 2015).

Deformasi suatu elemen struktur dapat dinyatakan sebagai defleksi (simpangan), rotasi dan kurvatur. Sehingga factor daktilitas dapat dinyatakan dalam tiga istilah, yaitu daktilitas simpangan ($\mu\Delta$), daktilitas rotasi ($\mu\theta$) serta daktilitas kurvatur ($\mu\phi$). Adapun persamaan untuk ketiga daktilitas tersebut adalah sebagai berikut, (Naaman dkk dalam Candra, 2015)

$$\mu\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\mu\theta = \frac{\theta u}{\theta y} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\mu\phi = \frac{\phi u}{\phi y} \dots\dots\dots(2.19)$$

Daktilitas merupakan syarat yang sangat penting dalam mendesain struktur terhadap beban gempa. Suatu struktur harus mempunyai daktilitas yang cukup untuk menyerap dan memencarkan energi dengan baik sampai ke daerah leleh akibat deformasi post elastis pada saat terjadi beban bolak balik akibat beban gempa.

2.4.7 Perhitungan Analitik

Dalam penelitian ini, perhitungan analitis akan meninjau tiga hal, yaitu perhitungan kapasitas *footing*, perhitungan kapasitas kolom, dan perhitungan kapasitas sepatu kolom.

a. Perhitungan *footing*

Footing atau pondasi telapak dalam penelitian ini sebagai dudukan untuk sepatu kolom dan kolom. Tegangan maksimal dan minimal pada *footing* penting untuk diketahui karena *footing* yang digunakan adalah *footing* yang akan dipakai secara terus menerus untuk ketiga benda uji, sehingga tegangan *footing* harus lebih besar daripada tegangan yang didapatkan kolom pada pembebanan berlangsung agar tetap aman.



- Kontrol eksentrisitas

$$e < \frac{B}{6} \quad , \quad e = \frac{M_u}{P_u} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Tegangan maksimal dan minimal *footing*

$$\sigma = \frac{P_u}{BL} \pm \frac{M_u}{\frac{1}{6}BL^2} + q \dots\dots\dots(2.21)$$

- Kontrol tegangan geser

$$V_u = 3 \cdot a_f \cdot q_u \dots\dots\dots(2.22)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} B \cdot d \quad , \quad \phi V_c > V_u \dots\dots\dots(2.23)$$

b. Kapasitas Kolom

Dalam perhitungan kapasitas kolom, yang diperlukan adalah R_n yaitu kuat rencana dengan $\phi R_n \geq R_u$ (kuat perlu) atau $\phi M_n > M_u$, nilai M_u ditentukan sebesar 1.96342 tm nilai ini diambil dari hasil perhitungan SAP 2000. Dimensi kolom sebesar 250 x 250 mm dengan tinggi 2400 mm menggunakan tulangan utama 8 – D13 dan tulangan geser $\phi 10 - 100$.

c. Perhitungan sepatu kolom

Sepatu kolom merupakan variabel penelitian yang memiliki variasi tinggi pada pengujian ini. Hal-hal yang penting dalam mendesain sepatu kolom ialah kuat geser baut yang menjadi penghubung antara sepatu kolom dan *footing*, kuat tumpu baut, kuat tarik baut yaitu ketika benda uji diberi beban apakah baut dalam kondisi leleh atau tidak, panjang penjangkaran baut dari sepatu kolom ke *footing*, dan persyaratan pengelasan sepatu kolom yang akan memengaruhi pengujian nantinya.

- Kuat geser baut

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi \cdot r1 \cdot fu \cdot Ab} \dots\dots\dots(2.24)$$

- Kuat tumpu baut

$$n = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{P_u}{\phi \cdot 2,4 \cdot db \cdot tp \cdot fu} \dots\dots\dots(2.25)$$

- Kuat tarik baut

$$n = \frac{T_u}{\phi R_n} = \frac{T_u}{\phi \cdot 0,75 \cdot fu \cdot Ab} \dots\dots\dots(2.26)$$

Panjang penjangkaran

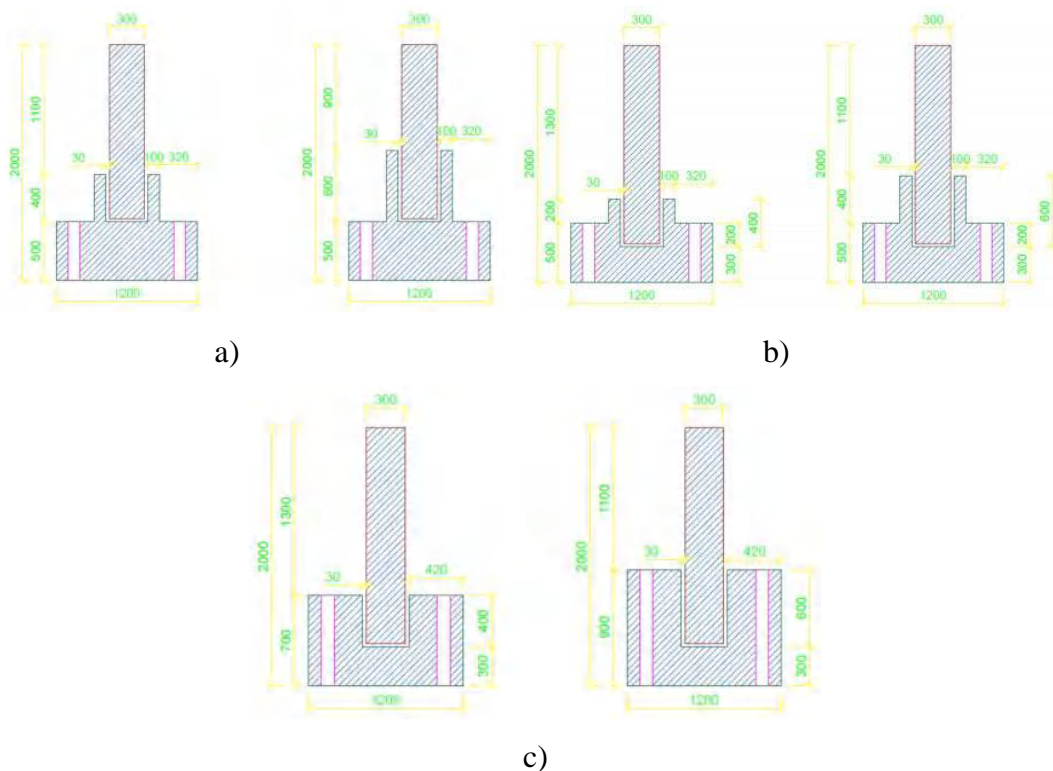
$$L = \frac{P}{\pi d \tau} \dots\dots\dots(2.27)$$



2.5. Sistem Sambungan Pracetak (*Precast*)

2.5.1. Studi Penelitian Lainnya

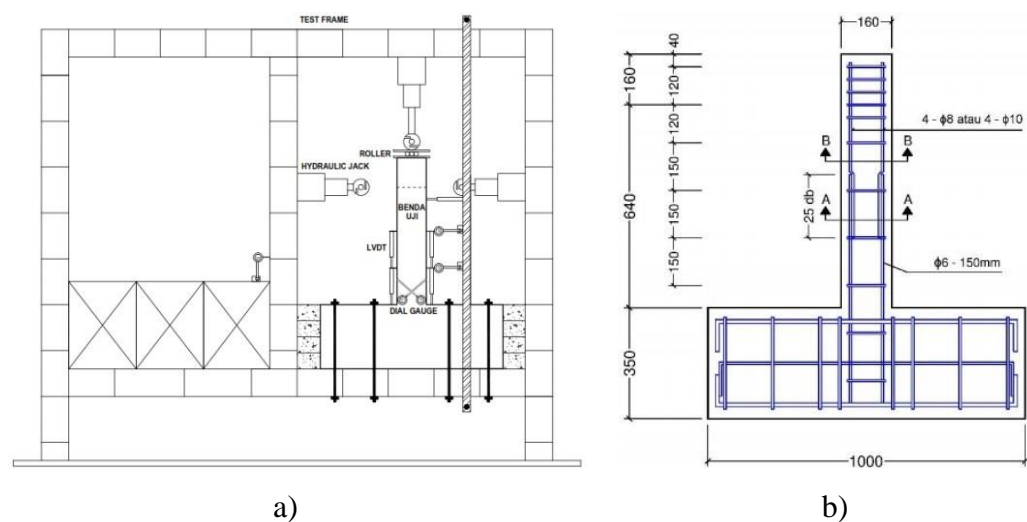
Mahmoud A. Aboukifa, Khaled H. Reyad, dan Fathy A. Saad (2017) melakukan penelitian tentang perilaku sambungan kolom *precast* dengan pondasi saku (*base pocket*) yang memiliki permukaan beton yang halus. Dalam penelitian ini mengutamakan metode sambungan pondasi saku dengan memvariasikan model pondasi saku tersebut. Terdapat 3 rancangan pondasi saku yang diajukan sesuai dengan kondisi penanaman kolom. Pertama, kolom yang tertanam diluar dari dimensi utama pondasi. Kedua, kolom yang tertanam sebagian pada pondasi. Ketiga, kolom yang tertanam dalam pada pondasi. Dengan simulasi pembebanan aksial dan lateral, penelitian ini mendapatkan hasil bahwa model kedua yang paling efektif dan efisien secara ekonomis dalam menahan kapasitas momen dan model ketiga memiliki sifat hampir sama dengan sistem monolit dimana tidak ada kegagalan terjadi pada pondasi saku itu sendiri. Rancangan model uji dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11. Studi (1) sambungan kolom – pondasi, a) Rancangan 1, b) Rancangan 2, c) Rancangan 3



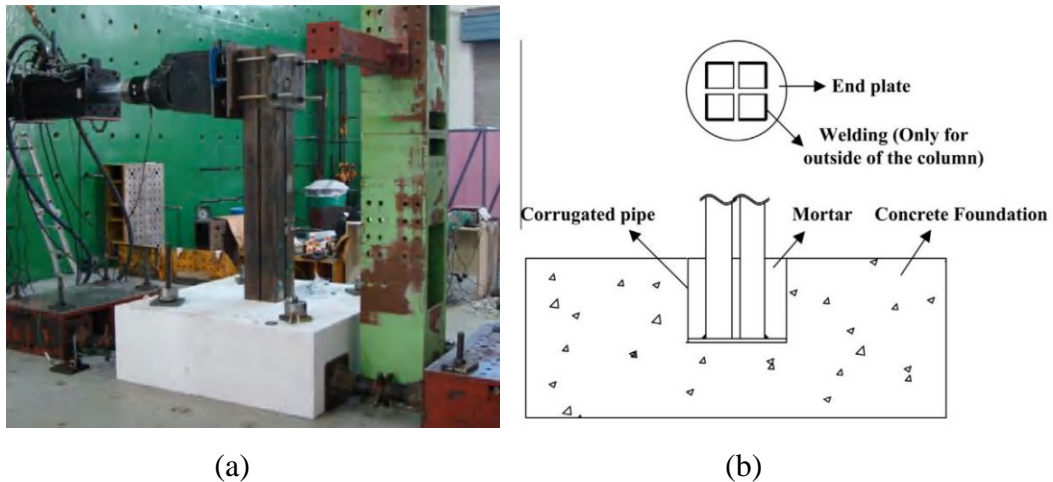
Rizki A. T. Cahyani, A. Wibowo, Wisnumurti (2018) melakukan penelitian pada sambungan kolom-pondasi beton bertulang monolit dengan memperhatikan penempatan sambungan lewatan tulangan pada kolom. Pengujian eksperimental dilakukan dengan beban lateral siklik dan mendapatkan perilaku kolom yang dapat mempertahankan kapasitas aksial dengan nilai *drift* yang tinggi meskipun kolom mengalami kerusakan yang parah dan telah kehilangan kapasitas lateralnya dalam artian bahwa kegagalan sambungan lewatan tidak menimbulkan bahaya keruntuhan kolom secara tiba-tiba. Pemodelan dan perancangan benda uji dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12. Studi (2) sambungan kolom – pondasi, a) Set up Pengujian, b) Rancangan benda uji.

Keum-Sung Park, Jiho Moon, Sang-Sup Lee, Kyu-Woong Bae, Charles W. Roeder (2014) meneliti tentang perilaku sambungan kolom-pondasi dengan metode penanaman pada struktur sistem modular menggunakan pondasi beton dan kolom baja dapat dilihat pada **Gambar 2.13.a**). Penelitian ini berfokus pada perilaku sambungan kolom-pondasi terhadap kedalaman penanaman kolom. Metode penanaman kolom pada pondasi dilakukan dengan cara sambungan basah (*wet joint*), dimana terdapat lubang pada pondasi dengan ukuran lebih lebar dari penanaman kolom sebagai tempat penanaman kolom. Kemudian kolom didirikan dan menyatukan kolom dan pondasi menggunakan sistem grouting dapat dilihat pada **Gambar 2.13.b**).





Gambar 2.13. Studi (3) sambungan kolom – pondasi, (a) Set up Pengujian, (b) Rancangan benda uji.

2.5.2. Metode Sambungan Kolom – Pondasi Beton *Precast*

Berdasarkan beberapa hasil penelitian terkait sambungan kolom – pondasi beton precast dan kajian pustaka, berikut adalah beberapa macam sambungan kolom – pondasi beton *precast* ;

1. *Socket Base Connection*

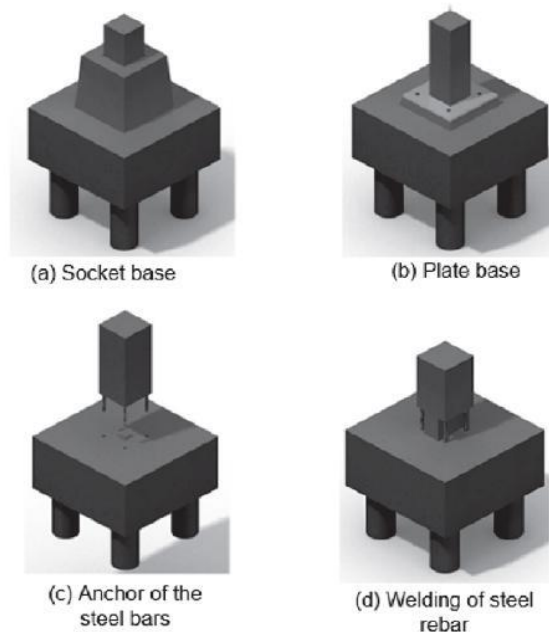
Saat ini tujuan dari konstruksi sipil adalah untuk mengurangi sampah dan memperbaiki kualitas dan produktivitas. Para insinyur mengombinasikan konstruksi yang ekonomis, energi konservatif dan konstruksi yang efisien. Dalam hal ini, perbedaan metode dan prosedur telah dipelajari dan digunakan selama beberapa tahun terakhir. Struktur *precast* yang telah digunakan, hadir dengan konstruksi yang rapi konstruksi yang cepat dan memperbaiki efisiensi dari penggunaan material.

Berdasarkan *trend* global di Brazil, struktur *precast* juga sangat terkenal, terutama digunakan dalam pembangunan gudang industri, pusat perbelanjaan dan supermarket. Perbedaan utama antara struktur beton bertulang cor in situ dan pracetak adalah bahwa yang terakhir memiliki elemen, sebagian atau seluruhnya, dibuang keluar dari lokasi konstruksi akhir. Dengan demikian,

struktur pracetak menyajikan langkah yang berbeda: pengecoran, pencetakan, penyimpanan, transportasi dan perakitan.



Perakitan, di mana koneksi antara elemen struktural dibuat, adalah salah satu langkah yang paling penting. Sementara struktur beton yang dituang secara in situ bekerja dengan cara monolitik, tingkat monolitik struktur pracetak bergantung pada efisiensi sambungan untuk memastikan transmisi tegangan yang baik di antara elemen-elemen yang berbeda. Jika koneksi tidak dirancang dengan baik dan diimplementasikan, mereka dapat membahayakan efisiensi konstruksi dan memodifikasi perilaku struktur. Seperti yang dibahas oleh (El Debs dalam Perialisi, 2006), ada metode yang berbeda untuk melakukan koneksi antara kolom pracetak dan pondasi, di antaranya menonjol metode yang diilustrasikan pada **Gambar 2.14**. Koneksi dengan 'socket base' (**Gambar 2.14.a**) tersebar luas di Brasil, karena proses implementasi yang mudah. Ada beberapa variasi pada jenis soket, itu dapat sepenuhnya atau sebagian tertanam di blok pondasi, atau bahkan eksternal ke blok fondasi. **Gambar 2.14.a** mengilustrasikan kasus di mana soket ditempatkan di luar blok fondasi. Menurut Delalibera & Giongo (dalam Perialisi, 2006) soket ditempatkan eksternal dan sebagian tertanam ke blok pondasi lebih umum dalam konstruksi Brasil. Sambungan oleh 'plat dasar' (lihat **Gambar 2.14.b**) mirip dengan yang digunakan dalam koneksi kolom metalik.

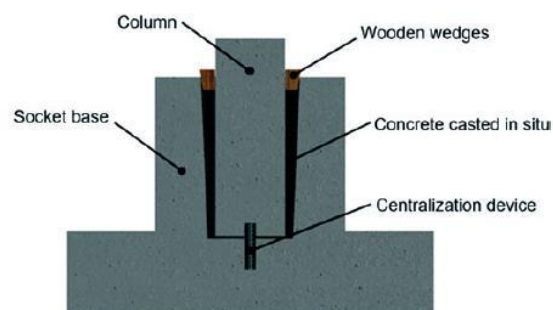


Gambar 2.14. Tipe ambungan kolom – pondasi

Penelitian yang dilakukan oleh Perialisi dan Machado dari Universidade Federal do Paraná, Brazil, mengenai sambungan kolom – pondasi dengan menggunakan metode *Socket Base Connection*. Jenis sambungan ini tersebar luas di Brazil karena proses implementasinya yang mudah. Beberapa variasi dari *socket*, ada yang seluruhnya atau hanya sebagian (*partially*) yang tertanam pada pondasi bahkan ada yang berada di luar pondasi.

Dalam penelitian tersebut, sambungan antara kolom – pondasi menggunakan kolom precast yang terhubung kedalam pondasi dengan menggunakan *socket base* eksternal dengan dinding internal yang halus. Biasanya, *socket base* merupakan *precast* dan langsung menyatu dengan pondasi. *Socket base* juga dapat dibuat dengan cara monolit dengan pondasi, atau bahkan pondasi juga dapat dibuat dengan sistem *precast*.

Pengerjaan hubungan antara kolom dan pondasi dimulai dari peletakan kolom kedalam *socket* dengan meletakkan tepat di tengah pada dasar *socket base*. Pada proses ini pemasangan kayu sebagai penyangga untuk menghindari terjadinya penyimpangan atau geseran dari kolom. Ruang kosong antara *socket* dengan kolom kemudian di grouting yang mutunya harus sama atau lebih tinggi dari mutu kolom atau pondasi. Gambar berikut menunjukkan potongan melintang dari *Socket Base Connection*. Pada **Gambar 2.15** berikut bagian-bagian berbeda dari sambungan diamati. Perangkat kolom terletak di bagian dalam bawah. Beton yang *cast in situ* digunakan untuk mengkonsolidasikan kolom dengan *socket* juga kayu sebagai penyangga sementara.



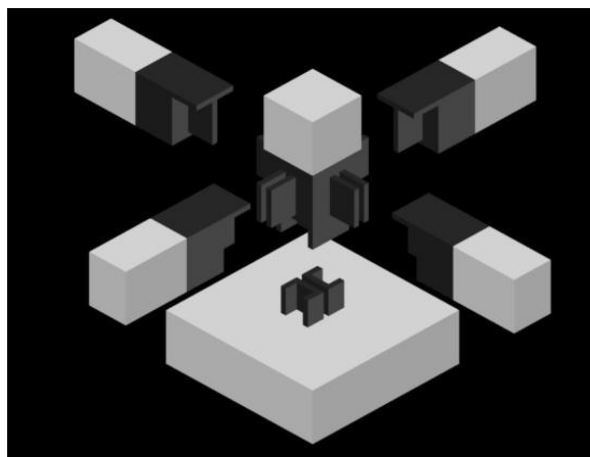
2.15. Hubungan antara kolom dengan pondasi menggunakan *Socket Base*



2. Knockdown system

Untuk kondisi saat ini dimana Indonesia sangat membutuhkan teknik membangun perumahan tahan gempa yang cepat dipakai serta praktis untuk dibangun, diperlukan suatu sambungan yang cocok dan efektif yaitu *Knockdown System* seperti pada **Gambar 2.16**. Sebenarnya sistem ini sudah banyak di pakai di pengusaha-pengusaha *furniture* dan rumah dari kayu, akan tetapi hal ini juga menyebabkan semakin sedikitnya jumlah kayu di Indonesia bila *Knockdown System* di terapkan dalam konsep perumahan skala besar. Diperlukan suatu bahan rumah yang mudah didapat dan banyak tersedia di wilayah Indonesia seperti beton precast.

Inovasi yang dimiliki oleh Fachrul Rizal dan Tavio (2014) yaitu *Knockdown System* memiliki 1 kelebihan utama daripada tipe pembangunan perumahan yang lain yaitu cepat dan juga bisa di bongkar kembali. *Knockdown System* ini terfokus kepada jenis-jenis sambungan yang praktis dan bisa dibongkar kembali (tidak permanen) agar suatu saat jika ingin dipindahkan. *Knockdown system* ini bisa menghemat waktu pengerjaan meskipun harga bisa lebih mahal daripada design beton konvensional biasa. Salah satu kekurangan dari perpaduan beton precast serta *knockdown system* ini yaitu sulit menentukan dan mempresisikan lokasi baut ataupun jarak masuk tulangan serta ketepatan awal dalam mendesain kepala sambungan pada beton *precast* yang terbuat dari baja.



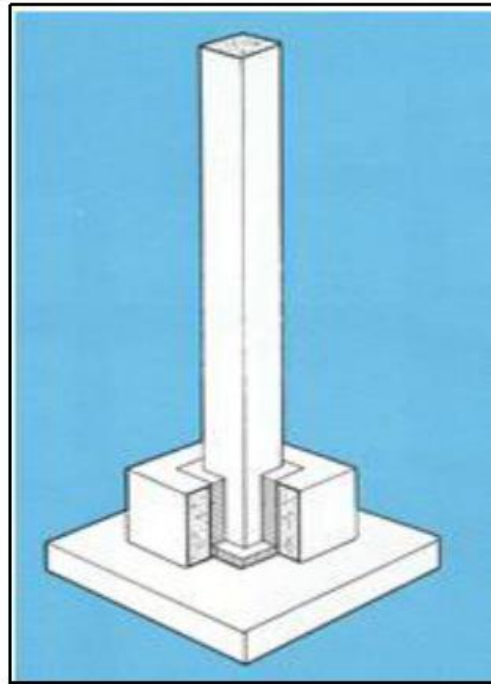
Gambar 2.16. Detail sambungan *Knockdown system*



3. *Pocket foundation*

Menurut Tovey dalam Louwerns (2014), beberapa karakteristik yang umumnya terkait dengan *pocket foundation* pracetak adalah sebagai berikut ;

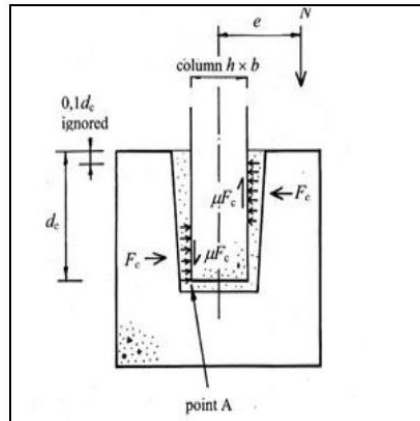
- a. Momen tahanan pondasi.
- b. Memiliki toleransi minimum.
- c. Pekerjaan pondasi harus lebih dalam untuk *precast pocket* dipasang.



Gambar 2.17. *Pocket foundation*

Dari **Gambar 2.17** dapat dilihat bahwa koneksi dipasang di bagian bawah *pocket*. Ini memastikan stabilitas dalam struktur dan mengurangi kekuatan yang biasanya diperlukan. Kolom seharusnya tertanam ke dalam fondasi oleh setidaknya jarak 1,5 kali dimensi kolom. Masalah umum dengan *pocket foundation* adalah jika ukuran kolom menjadi terlalu besar dan kemudian menjadi tidak ekonomis dan tidak efisien untuk digunakan. **Gambar 2.18** menunjukkan gaya-gaya dan momen-momen biasanya bekerja pada kolom dan juga *pocket foundation*. Penguatan di kolom dan pondasi itu sendiri harus mampu menahan semua gaya dan momen yang bekerja pada sambungan.





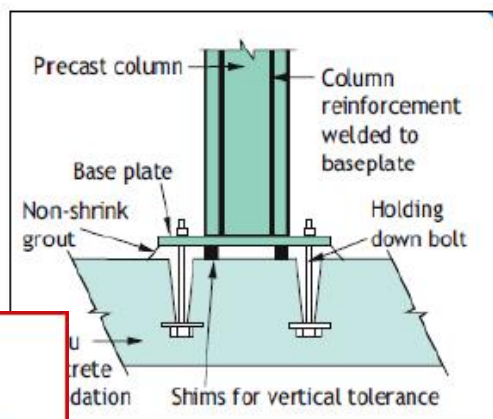
Gambar 2.18. Gaya – gaya yang bekerja pada *pocket foundation*

Pengecatan kekosongan *pocket* juga harus dipantau secara ketat untuk memastikan bahwa itu sepenuhnya dipadatkan dan rongga udara yang berlebihan telah dihilangkan untuk menghindari rongga udara yang dapat menyebabkan kerusakan pada sambungan juga sebagai struktur keseluruhan.

4. *Baseplate Connection*

Sambungan menggunakan *baseplate* digunakan sebagai metode alternatif yang ada hubungannya dan sering digunakan pada sambungan rangka baja. Ditemukan bahwa sambungan jenis ini adalah sambungan yang lebih mudah dikerjakan dibandingkan *pocket foundation* dan *projecting steel bar connection*.

Baseplate Connection digunakan terutama karena menyediakan stabilitas instan dari kolom kestruktur itu sendiri. Ukuran dari *baseplate* tergantung juga dari perbedaan beban yang bekerja pada kolom serta sambungan di ujung lain dari kepala kolom (Lewis dalam Louwerns, 2014).



Gambar 2.19. *Precast concrete baseplate*

Gambar 2.19 menunjukkan tipe *base plate connection* dan juga mengindikasikan perbedaan komponen dari sambungan menggunakan *base plate*. Selama proses desain dari *baseplate* sangat penting untuk mengidentifikasi semua gaya yang bekerja pada kolom untuk menentukan kondisi batas dan untuk menghitung ukuran *base plate* yang akan digunakan.

5. *Projecting steel bar connections*

Projecting steel bar connections terdiri dari tulangan yang diproyeksikan dari pondasi dasar dengan kolom pracetak pas di atas pondasi. Tulangan dibuat pada pondasi sementara lubang dibuat pada kolom sehingga tulangan pada pondasi dapat tepat memasuki lubang yang dibuat pada kolom. Adapun gambar dari sambungan tersebut sebagai berikut,



Gambar 2.20. Ilustrasi sambungan *Projecting steel bar*

Berdasarkan Lewis, A.F.G. and British Precast Concrete Federation dalam Louwerns (2014). Karakteristik dari *Projecting steel bar connections* dapat dilihat sebagai berikut;

- a. Tulangan harus diposisikan dengan sempurna.
- b. Pemasangan dan perakitan harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya pembengkokan pada tulangan.
- c. Sambungan tidak terlihat setelah pemasangan,
- d. Celah antara kolom dan pondasi harus di grouting dengan benar.

Tulangan yang pertama dipasangkan ke dalam pondasi oleh kontraktor sesuai dengan spesifikasi dan persyaratan. Ukuran dan jumlah dari an ditentukan dari desain perencana untuk memenuhi persyaratan



struktural yang diperlukan. Beton kolom pracetak yang dipasang pada pondasi dengan pemasangan tulangan ke dalam lubang yang telah disediakan pada kolom seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.20**. Lubang yang di sebelah kiri di isi dengan grouting atau mortar untuk memastikan kontinuitas dari struktur dapat tercapai sebab sangat penting untuk mentransfer beban.

Projecting steel bar connections umumnya digunakan untuk bangunan bertingkat menengah hingga bertingkat tinggi dimana seluruh kerangka dari struktur didesain untuk dikaitkan dan disematkan sesuai yang disyaratkan. Masalah dari sambungan ini adalah pemasangannya lebih kompleks sebagai tulangan yang dapat dengan mudah dibengkokkan dan mengarah kepada ketidakakuratan penempatan pada kolom.

