

TUGAS AKHIR

**PENGARUH TINGGI SEPATU KOLOM TERHADAP KAPASITAS
LENTUR SAMBUNGAN KOLOM PONDASI**



**DISUSUN OLEH :
ANDI HUSNATUNNISA**

D111 14 327

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2018



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Jalan Poros Malino Km. 6 Gowa, 92171, Sulawesi Selatan

Tel (0411) 586015, 586262 Fax (0411) 586015.

http://civil.eng.unhas.ac.id. E-mail:teknik@unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul : Pengaruh Tinggi Sepatu Kolom Terhadap Kapasitas Lentur Sambungan Kolom Pondasi

Disusun Oleh :

Nama : Andi Husnatunnisa

D111 14 327

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 13 November 2018

Pembimbing I

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

NIP. 197011081994121001

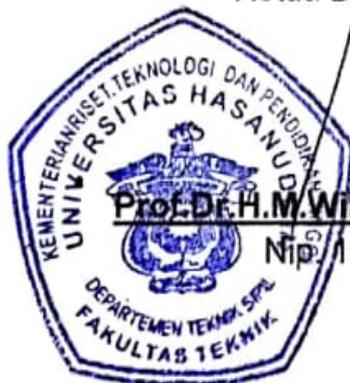
Pembimbing II

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

NIP 197206192000122001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Sipil,



Prof. Dr. H.M. Winardi Tiaronge, 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, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir yang sederhana ini terdapat banyak kekurangan dan sangat memerlukan perbaikan secara menyeluruh. Tentunya hal ini disebabkan keterbatasan ilmu serta kemampuan yang dimiliki penulis, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak.

Tentunya tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu dengan segala kerendahan hati, ucapan terima kasih, penghormatan serta penghargaan yang setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda Andi Mukhsin, dan Ibu Andi Rahma, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik sprititual maupun materi, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

3. Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T.,M.Eng., selaku dosen pembimbing I, atas s waktu serta nasihat yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan dan masukan, serta selama ini telah menjadi ibu dari segenap asisten Lab Struktur dan Bahan. Terima kasih banyak ibu atas kebaikan ibu selama penulis menjabat jadi asisten.
6. Kak Dr.Eng. A. Fachruddin., S.T., M.Eng., selaku pembimbing yang telah banyak membantu penulis mulai dari awal penelitian hingga akhir penyusunan laporan ini. Semoga Lab Riset Perkuatan Struktur semakin jaya.
7. Seluruh dosen, *staff* dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
8. Kakak-kakak dan teman-teman, di Laboratorium struktur dan bahan Kak Ans, Kak Ikhsan, Kak Arif, Kak Ibnu, Kak Ammar, Kak Yanni, Rifdah, Arsyal, Taka, dan Evan yang telah memberikan waktu dan kesempatannya untuk penulis dan memberi warna kebersamaan tersendiri di Lab.
9. Kepada Arsyal, Naufal, dan Michael komponen partner TA terbaik.
10. Untuk Fathan, Renal, Anry, Ode, Utta, Suyu, Anto, Abi, Faisal, Iccang, yang telah menyempatkan waktu untuk membantu selama proses pengujian. Terima kasih ☺

11. Teman – teman yang selalu ada dan memberi *support* Nur Aulia Misiro, Rifdah Rofifah Z, Nunuk Tri Rezka, Tiara Ayuanisa, Zuhartina Zainuddin, Utami Pratiwi, Devita Sari, Sri San Yuni, Julieth Yospa - yang punya toraja ½'', Najemawati Muchsin, dan Nirfadillah Nahrir.
12. Saudara, sahabat, dan keluarga S & K yang dari semester awal menemani hingga saat ini, terimakasih ☺
13. Saudara-saudariku seangkatan 2014 Teknik Sipil, terkhusus Alvin Amartya NH, Rizkyanto M Taher, dan Nabila Shahnaz, yang senantiasa memberikan candaan sampai lupa kapan harus sarjana. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*
14. Kepada teman-teman KKN Tematik Miangas 96, terima kasih atas canda tawa, jalan-jalan, dan pengalamannya.
15. Kepada yang suka hidroponik, *spiderman*, kucing, dan warna ungu. Terima kasih atas kesabaran, menjadi *support system*, dan waktu yang disempatkan untuk penulis.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Allah Subhanahu Wata'ala, melimpahkan karunia-Nya kepada kita, Aaamiin. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Sepetember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kolom	5
2.1.1. Definisi Kolom	5
2.1.2. Jenis Kolom	5
2.1.3. Perencanaan Kolom	6
2.1.4. Kapasitas Kolom	7
2.1.5. Kegagalan Pada Kolom	11
2.1.6. Daktilitas Struktur Beton	14
2.2. Beton Pracetak	15
2.2.1. Keuntungan dan Kerugian Beton <i>Precast</i>	15
2.2.2. Perbedaan Analisa Beton Pracetak dengan Beton Konvensional	17
2.2.3. Jenis Komponen Beton Pracetak (<i>Precast</i>)	18
2.3. Metode Sambungan Kolom – Pondasi Beton Precast	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Rancangan Penelitian	27

3.2. Perhitungan Analitik	28
3.2.1. Perhitungan <i>Footing</i>	28
3.2.2. Kapasitas Kolom	29
3.2.3. Perhitungan Sepatu Kolom	29
3.3. Persiapan Alat dan Bahan	30
3.4. Pembuatan Benda Uji	33
3.5. Pengujian Benda Uji	36
3.5.1. Pembebanan Monotonik	36
3.5.2. Tahapan Pengujian	36
3.5.3. <i>Set-up</i> Benda Uji	39
3.6. Metode Analisa Hasil Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Hasil Pengujian Bahan	42
4.1.1. Hasil Pengujian Karakteristik Beton	42
4.1.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	42
4.2. Perhitungan Analisis	43
4.2.1. Perhitungan Untuk <i>Footing</i> (Mutu beton $f'c = 32$ MPa) ...	43
4.2.2. Perhitungan Kolom	46
4.2.3. Perhitungan Sepatu Kolom	46
4.3. Kapasitas Lentur Kolom	47
4.4. Perilaku Lentur Kolom	49
4.4.1. Hubungan Beban dan Lendutan	49
4.4.1.1. Hubungan Antara Beban dengan Lendutan pada LVDT 1	49
4.4.1.2. Hubungan Antara Beban dengan Lendutan pada LVDT 3	50
4.4.2. Hubungan Beban – Regangan	51
4.4.2.1. Hubungan Beban – Regangan Beton	51
4.4.2.2. Hubungan Beban – Regangan Baja (Tulangan) 52	
4.4.2.3. Hubungan Beban – Regangan Baja (Sepatu Kolom)	53
4.5. Daktilitas	54

4.6. Pola Retak dan Mode Kegagalan	54
BAB V PENUTUP	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Daftar benda uji	35
Tabel 4.1. Karakteristik beton umur 28 hari	42
Tabel 4.2. Hasil pengujian tarik baja tulangan	43
Tabel 4.3. Tabel benda uji, beban, dan lendutan	48
Tabel 4.3. Daktilitas kolom	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis – jenis kolom	6
Gambar 2.2. Gedung Bertingkat yang Mengalami Kegagalan Kolom	11
Gambar 2.3. Mode keruntuhan kolom akibat beban aksial	13
Gambar 2.4. Mode keruntuhan akibat kombinasi pembebanan	13
Gambar 2.5. <i>Buckling</i> akibat beban aksial	14
Gambar 2.6. Tipe sambungan kolom – pondasi	20
Gambar 2.7. Hubungan antara kolom dengan pondasi menggunakan <i>Socket Base</i>	21
Gambar 2.8. Detail sambungan <i>Knockdown system</i>	22
Gambar 2.9. <i>Pocket foundation</i>	23
Gambar 2.10. Gaya – gaya yang bekerja pada <i>pocket foundation</i>	24
Gambar 2.11. <i>Precast concrete baseplate</i>	25
Gambar 2.12. Ilustrasi sambungan <i>Projecting steel bar</i>	25
Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian	27
Gambar 3.2. Tulangan baja polos Ø10	30
Gambar 3.3. Tulangan baja ulir D13	30
Gambar 3.4. Sambungan las	31
Gambar 3.5. <i>Strain gauge</i> baja dan beton serta <i>CN Adhesive</i>	31
Gambar 3.6. LVDT	32
Gambar 3.7. <i>Set-up data logger</i>	32
Gambar 3.8. <i>Actuator</i>	33
Gambar 3.9. (a). kolom	34
(b). sepatu kolom	34

(c). <i>footing</i>	34
Gambar 3.10. Sketsa <i>footing</i>	36
Gambar 3.11. Pemasangan <i>footing</i>	37
Gambar 3.12. Sketsa Pemasangan SPTK ke <i>footing</i>	37
Gambar 3.13. Pemasangan SPTK ke <i>footing</i>	37
Gambar 3.14. Sketsa pembebanan dengan <i>actuator</i>	38
Gambar 3.15. Pemasangan kolom pada SPTK dan <i>actuator</i>	38
Gambar 3.16. <i>Set-up</i> pengujian pembebanan satu arah	39
Gambar 3.17. <i>Set-up strain gauge</i> beton dan baja	40
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara benda uji dan beban maksimum	48
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada LVDT 1	49
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada LVDT 3	50
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara beban dan regangan beton	51
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara beban dan regangan tulangan	52
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara beban dan regangan baja sepatu kolom	53
Gambar 4.7. Detail daerah sisi tekan, tarik, dan samping	55
Gambar 4.8. Pola Retak SPTK 12.5	56
Gambar 4.9. Pola Retak SPTK 25	57
Gambar 4.10. Pola retak SPTK 37.5	58
Gambar 4.11. (a). Pelat melendut dan baut terlepas	59
(b). Baut membengkok	59
(c). Sepatu kolom terangkat	59

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

ABSTRAK

Sistem sambungan kolom pracetak dan sloef yang ada saat ini masih memiliki kekurangan yaitu diperlukannya pengecoran dan pengelasan di lapangan. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dikembangkan suatu sistem sambungan yang tanpa memerlukan pengecoran dan pengelasan. Sistem tersebut dinamakan sepatu kolom yang terbuat dari pelat baja dengan angkur yang nantinya akan dicor bersamaan dengan sloef. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas sambungan kolom pondasi. Total benda uji adalah tiga buah yang memiliki variasi tinggi sepatu kolom. Tinggi sepatu kolom divariasikan dari 12.5 cm, 25 cm dan 37.5 cm dengan pembebanan statik monotonik. Parameter yang diteliti adalah kapasitas dan perilaku lentur kolom, daktilitas, pola retak dan mode kegagalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi sepatu kolom, semakin besar beban yang dapat dipikul dan semakin kecil lendutan yang terjadi, SPTK 12.5, 25, dan 37.5 masing-masing dapat memikul beban sebesar 7.14 kN, 9.03 kN dan 14.3 kN. Selain itu, daktilitas sepatu kolom menurun dengan penambahan tinggi sepatu kolom. Pola kegagalan pada kolom berupa retak lentur sedangkan pada sepatu kolom yaitu sistem sambungan las antara baut dan pelat sepatu kolom terlepas.

Kata Kunci : kapasitas lentur, monotonik, pracetak, sepatu kolom

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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.

Salah satu sistem yang dapat digunakan untuk pelaksanaan pembangunan yang efisien adalah sistem pracetak. Sistem pracetak ini telah banyak digunakan pada gedung bertingkat seperti hotel dan rumah susun sederhana, karena telah terbukti dapat mendukung pembangunan yang berkualitas, cepat, dan ekonomis. Pada sistem pracetak, pengecoran komponen dilakukan di tempat khusus (*fabrication*), lalu dibawa ke lokasi (*transportation*) untuk disusun menjadi suatu struktur utuh (*erection*). Keunggulan sistem ini antara lain mutu yang terjamin, produksi cepat dan massal, pembangunan yang cepat, ramah lingkungan dan rapi dengan kualitas produk yang baik.

Pada sistem pracetak, seluruh komponen bangunan dapat difabrikasi lalu dipasang di lapangan. Sistem sambungan antar elemen struktur pracetak merupakan unsur yang sangat penting dalam desain bangunan pracetak. Sistem sambungan ini memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan kekuatan dari elemen struktur. Desain komponen struktur pracetak dan sambungannya harus melibatkan semua kondisi pembebanan dan kekangan mulai dari fabrikasi awal sampai penggunaan akhir pada struktur, termasuk pembongkaran bekisting, penyimpanan, transportasi, dan ereksi. Kelemahan yang sering terjadi pada bagian sambungan adalah sulitnya mendapatkan kualitas sambungan yang sama dengan struktur monolit (bukan pracetak).

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 ke pondasi telapak (*footing*). Dalam skala pembangunan yang cukup besar, penggunaan sepatu kolom dapat mengefisiensikan waktu pengerjaan karena pemasangannya yang cukup mudah.

Untuk itu maka dilakukan penelitian mengenai sistem sambungan beton pracetak. Dengan melakukan inovasi sambungan kolom pracetak ke *sloef*. Sambungan ini menggunakan plat baja atau disebut sepatu kolom yang dapat menghubungkan kolom dengan pondasi telapak (*footing*) dengan menggunakan baut. Sepatu kolom berbentuk persegi mengikuti bentuk dari kolom. Bagian bawah dari sepatu kolom tersebut dihubungkan dengan *footing*, sementara setiap sisinya memiliki variasi tinggi yang berbeda-beda per tiga benda uji kolom. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui **Pengaruh Tinggi Sepatu Kolom Terhadap Kapasitas Lentur Sambungan Kolom-Pondasi**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas lentur pada sambungan kolom-pondasi akibat beban lateral.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari kegiatan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas sambungan kolom-pondasi.
2. Mengidentifikasi tipe kegagalan pada sepatu kolom yang terjadi saat proses pembebanan lateral.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah ;

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

1.5. Sistematika Penulisan

Gambaran umum mengenai keseluruhan isi tulisan ini, dapat diuraikan secara singkat pada tiap bab yang akan dibahas 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 Kolom

2.1.1 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.

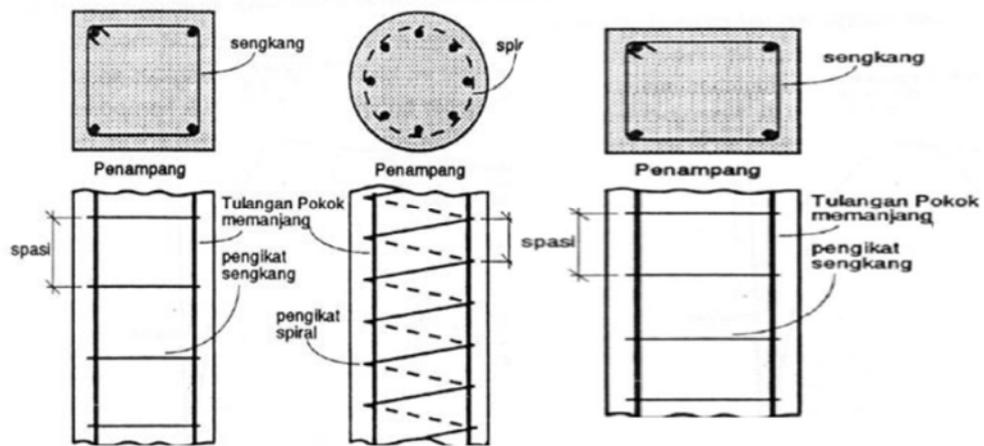
2.1.2 Jenis Kolom

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

yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi 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 2.1. Jenis – jenis kolom

2.1.3 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 terjauh, sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol tarik bila beton

- tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Batas regangan terkendali tekan 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 neto 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.

2.1.4 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 kolom, 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 $kl/r \leq 22$ 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 $P_n < P_{nb}$.

b. 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 :

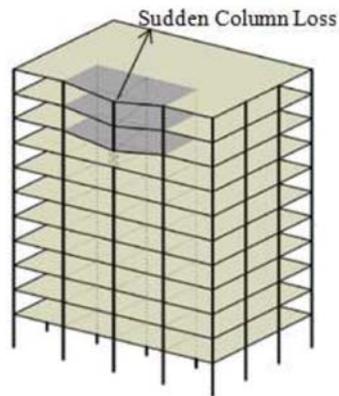
$$P_b (e_b + d/2) = M_{nb} \dots\dots\dots (2.15)$$

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

2.1.5 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 2.2**) dengan mengasumsikan struktur kolom lainnya dapat menahan beban gravitasi dari kolom yang gagal. Kegagalan kolom pada bagian bawah struktur, yaitu awal kegagalan suatu bangunan sangat dipengaruhi oleh deformasi pada sambungan yang mengalami respons dinamik maksimum. 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 2.2. 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.

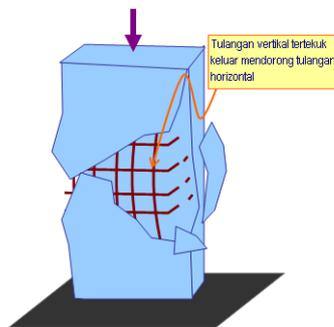
Kolom merupakan elemen penting pada suatu struktur, baik itu bangunan gedung maupun bangunan lainnya. Kolom memiliki fungsi utama untuk menyalurkan beban dari struktur menuju fondasi untuk kemudian disalurkan ke tanah. Sehingga suatu kolom harus mampu menahan beban-beban dari balok, pelat lantai, dan kolom itu sendiri. Kolom terbagi atas dua jenis, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Kolom pendek memiliki sifat dimana keruntuhan kolom diakibatkan kegagalan material kolom tersebut. Sedangkan untuk kolom langsing tipe kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*) yang terjadi. Dalam dunia konstruksi, 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

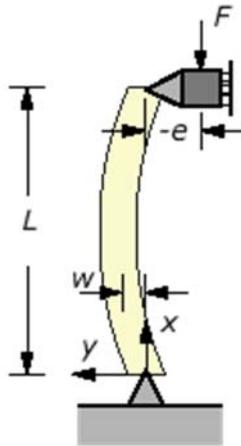
Ketika suatu kolom mengalami beban aksial, beton dan tulangan mengalami tegangan. Ketika beban mencapai titik maksimal yang mampu ditahan kolom, beton dan tulangan akan mengalami kegagalan leleh tanpa adanya deformasi arah lateral. Kolom hancur dan mengalami kegagalan material. Mode ini tidak terjadi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



Gambar 2.3. Mode keruntuhan kolom akibat beban aksial

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

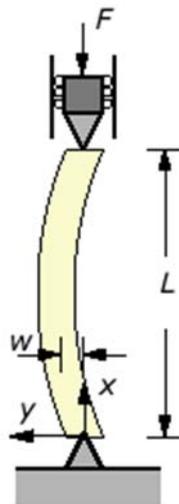
Pada saat kolom pendek mengalami pembebanan aksial, lateral, dan momen, pada saat tertentu beton dan tulangan akan mengalami titik leleh dan mengalami kegagalan. Untuk kolom langsing, kolom akan mengalami defleksi arah lateral dan lentur hanya saat diberikan beban aksial.



Gambar 2.4. 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 2.5. *Buckling* akibat beban aksial

2.1.6. Daktilitas Struktur Beton

Didalam mendesain suatu struktur, selain kekuatan (*strength*) dan kemampuan layan (*serviceability*), hal yang tidak boleh diabaikan adalah daktilitas

dar struktur 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.

2.1.6 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 pada *footing* harus lebih besar daripada tegangan yang didapatkan kolom pada saat 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

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

- Kuat tumpu baut

$$n = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{P_u}{\phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u} \dots \dots \dots (2.25)$$

- Kuat tarik baut

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

- Panjang penjangkaran

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

2.2 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 percetakan komponen secara mekanisasi dalam pabrik atau *workshop* dengan memberi waktu pengerasan dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang. Karena proses pengecorannya di tempat khusus (bengkel pabrikasi), maka mutunya dapat terjaga dengan baik. Tetapi agar dapat menghasilkan keuntungan, maka beton pracetak hanya akan diproduksi jika jumlah bentuk *typical*-nya mencapai angka minimum tertentu, bentuk *typical* yang dimaksud adalah bentuk-bentuk repetitif dalam jumlah besar (Iqbal 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).

2.2.1. 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 karena pelaksanaan elemen pracetaknya dapat dilakukan dipabrik.
- j. Perencanaan 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 :

- d. Tidak ekonomis bagi produksi tipe elemen yang jumlahnya sedikit.
- e. 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.

- f. Panjang dan bentuk elemen pracetak yang terbatas, sesuai dengan kapasitas alat angkat dan alat angkut.
- g. 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.
- h. Hanya dapat dilaksanakan didaerah yang sudah tersedia peralatan untuk *handling* dan *erection*.
- i. 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.
- j. Diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.
- k. Memerlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (*stock yard*).

2.2.2. 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.

2.2.3. 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 penutup dan unit-unit beton pracetak lainnya sesuai keinginan atau imajinasi dari insinyur sipil dan arsitek (Hendrawan Wahyudi dan Hery Dwi Hanggoro 2010).

2.3 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 ;

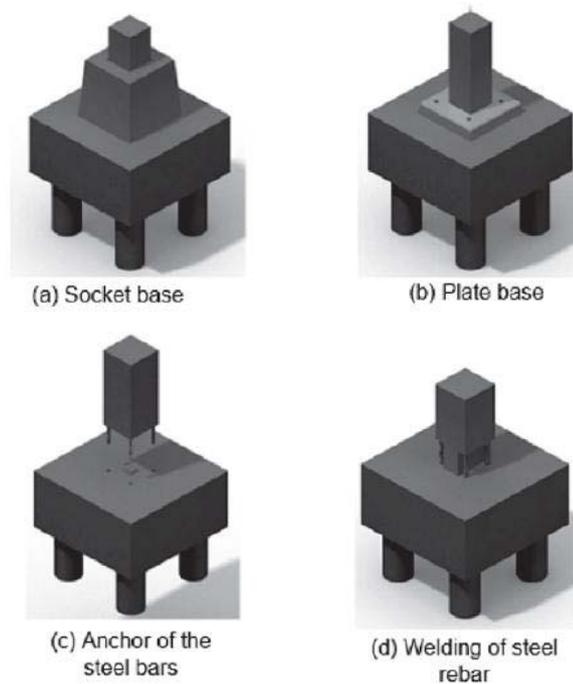
1. *Socket Base Connection*

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 2.6**. Koneksi dengan 'socket base' (**Gambar 2.6a**) 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 1a 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 2.6b**) mirip dengan yang digunakan dalam koneksi kolom metalik.

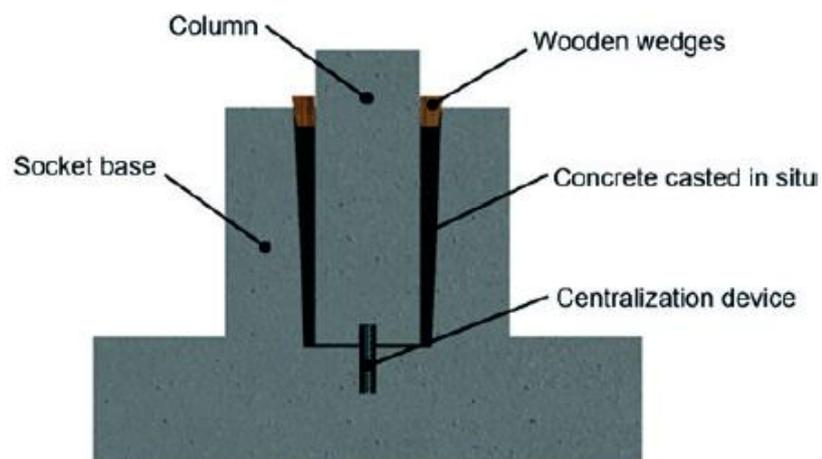


Gambar 2.6. Tipe sambungan kolom – pondasi

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 ke dalam 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 2.7** 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.



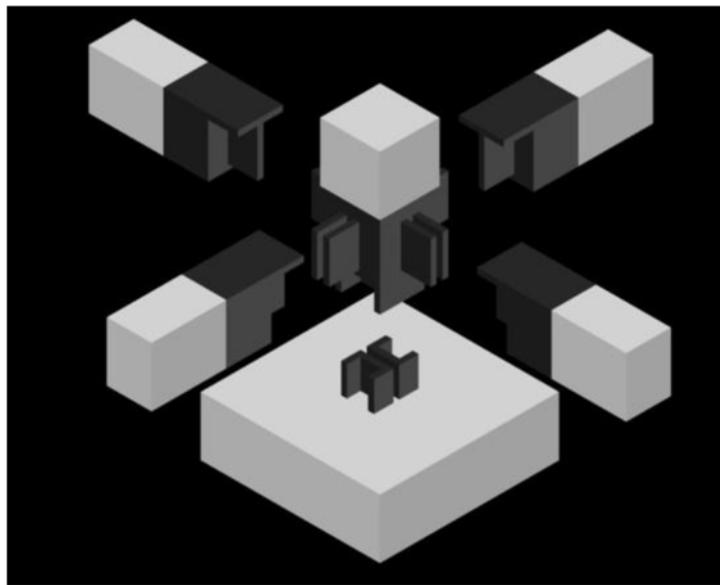
Gambar 2.7. Hubungan antara kolom dengan pondasi menggunakan *Socket Base*

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*. 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.



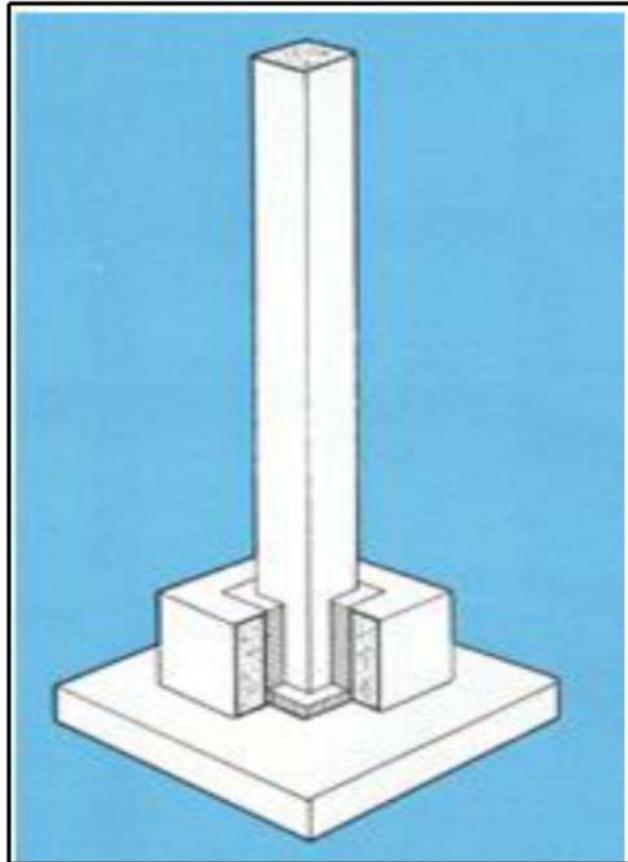
Gambar 2.8. Detail sambungan *Knockdown system*

3. *Pocket foundation*

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

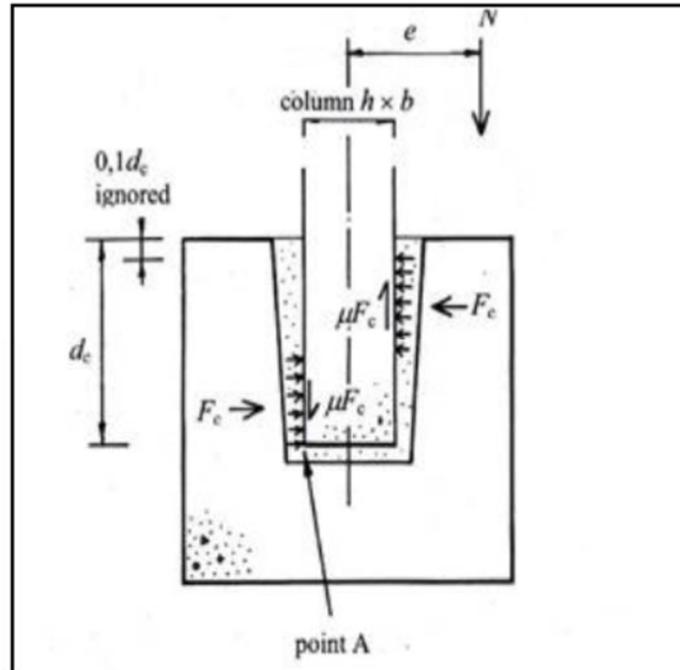
- a. Momen tahanan pondasi.
- b. Memiliki toleransi minimum.

c. Pekerjaan pondasi harus lebih dalam untuk *precast pocket* dipasang.



Gambar 2.9. *Pocket foundation*

Dari **gambar 2.9** 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 5 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.



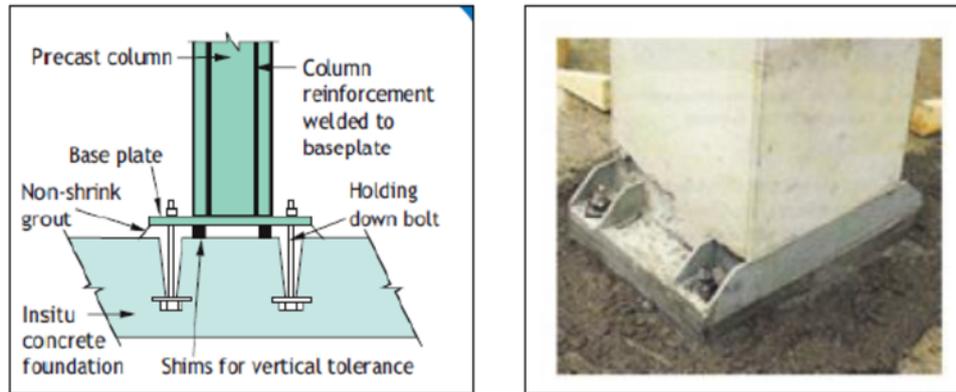
Gambar 2.10. Gaya – gaya yang bekerja pada *pocket foundation*

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 2.11. *Precast concrete baseplate*

Gambar 2.11 menunjukkan tipe *baseplate connection* dan juga mengindikasikan perbedaan komponen dari sambungan menggunakan *baseplate*. Selama proses desain dari *baseplate* sangat penting untuk mengidentifikasi semua gaya yang bekerja pada kolom untuk menentukan kondisi batas dan untuk menghitung ukuran *baseplate* 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 2.12. 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 dipasang ke dalam pondasi oleh kontraktor harus sesuai dengan spesifikasi dan persyaratan. Ukuran dan jumlah dari tulangan ditentukan dari desain perencana untuk memenuhi persyaratan structural 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 2.12**. 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.

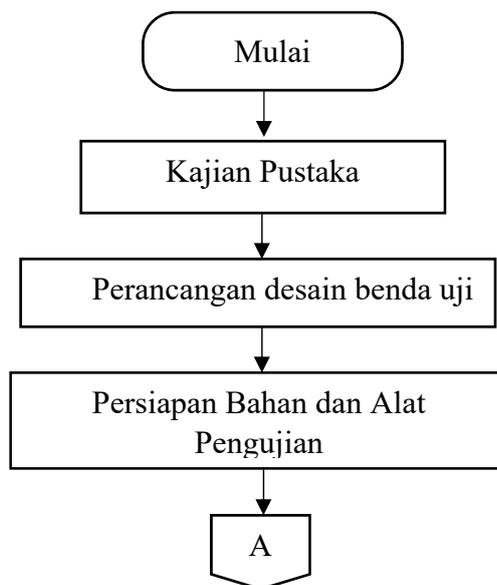
BAB III METODE PENELITIAN

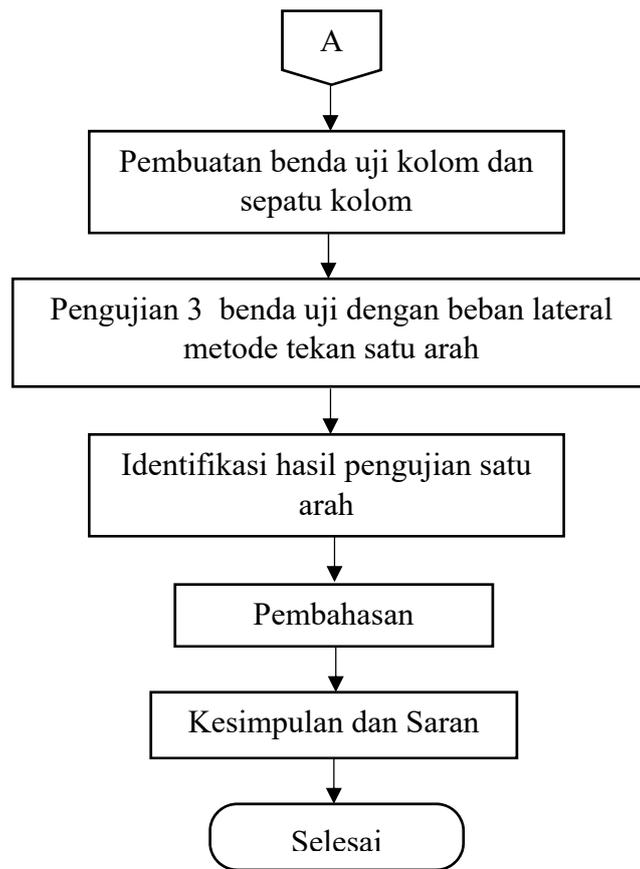
3.1. Rancangan Penelitian

Kegiatan penelitian ini akan dilakukan beberapa tahapan, yaitu 1). Perhitungan analitis, 2). Perancangan benda uji, 3). Penyiapan alat dan bahan, 4). Pembuatan benda uji, 5). Pengujian benda uji di laboratorium, dan 6). Analisis hasil. Keenam tahap penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi sepatu kolom terhadap kapasitas lentur beton pracetak.

Tahap pertama penelitian ini adalah perhitungan analitis yang mencakup tiga hal yaitu 1). Perhitungan *footing*, 2). Perhitungan kapasitas kolom, dan 3). Perhitungan kapasitas sepatu kolom.

Tahap kedua penelitian ini adalah perancangan benda uji. Benda uji dirancang berdasarkan hasil perhitungan analitis sehingga menghasilkan dimensi kolom dan sepatu kolom. Selanjutnya, penyiapan alat dan bahan berupa material yang digunakan untuk pembuatan benda uji. Tahap keempat adalah pembuatan benda uji. Setelah pembuatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil, kemudian tahap terakhir dari penelitian ini adalah menganalisis hasil pengujian yang telah dilakukan. Berikut adalah diagram alir prosedur penelitian yang tertera pada **gambar 3.1**





Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian

Variabel benda uji pada penelitian ini adalah perbedaan tinggi sepatu kolom yang digunakan. Adapun variasi tinggi sepatu kolomnya adalah 12.5 cm, 25 cm, dan 37.5 cm. Tinggi variasi sepatu kolom berdasarkan lebar (b) dimensi dari penampang kolom yaitu 0.5b, b, dan 1.5b.

3.2. Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian kolom pracetak menggunakan sepatu kolom adalah sebagai berikut :

1. Tulangan baja polos diameter 10 mm ($\varnothing 10$) sebagai tulangan geser.



Gambar 3.2. Tulangan baja polos $\varnothing 10$

2. Tulangan baja ulir diameter 13 mm (D13) sebagai tulangan utama.



Gambar 3.3. Tulangan baja ulir D13

3. Jenis baja sepatu kolom

- a. Permukaan polos
- b. Ketebalan nominal sebesar 10 mm.

4. Las yang digunakan

Tipe sambungan las yang digunakan adalah sambungan sudut (*corner joint*) dengan jenis las sudut (*fillet welds*) pada sepatu kolom.



Gambar 3.4. Sambungan Las

5. Alat ukur regangan tulangan baja dan beton

Alat ukur regangan tulangan baja yang dipakai dalam penelitian ini adalah *strain gauge* tipe FLK 6-11-5LJC dengan *factor gauge* 2.12 ± 1 , *strain gauge* untuk regangan beton tipe PL 60-11-5LJC-F dengan *factor gauge* 2.08 ± 1 .

- a. Untuk pengujian sample pembebanan satu arah menggunakan tiga *strain gauge* baja. Dipasangkan pada tengah bentang tulangan dan pada ujung bawah bentang tulangan kolom. keduanya di letakkan pada daerah tarik serta satu pada sepatu kolom. Untuk *strain gauge* beton, diletakkan 40 cm dari permukaan sepatu kolom.

- b. Untuk pengujian sampel dengan pembebanan siklik (bolak-balik) hanya menggunakan dua *strain gauge* yang diletakkan pada ujung bawah bentang tulangan kolom dan pada sepatu kolom. pemakaian *strain gauge* beton sama dengan pengujian sampel satu arah. Untuk menempelkan *strain gauge* pada baja tulangan dan beton digunakan *CN Adhesive* seperti pada gambar



Gambar 3.5. *strain gauge* baja dan beton serta *CN Adhesive*

6. Alat ukur lendutan Alat yang digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi pada balok uji selama pembebanan adalah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) kapasitas 10 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm.



Gambar 3.6. LVDT

7. Alat Uji Pembebanan

Alat uji pembebanan terdiri dari beberapa komponen diantaranya sebagai berikut ;

- a. Data logger THS-1100, untuk merekam secara otomatis data yang diukur oleh *strain gauge* dan LVDT seperti pada gambar



Gambar 3.7. *Set-up* Data Loger

- b. Alat uji siklik untuk memberikan beban lateral baik monotonic maupun siklik. Seperti pada **gambar 3.8**



Gambar 3.8. *Actuator*

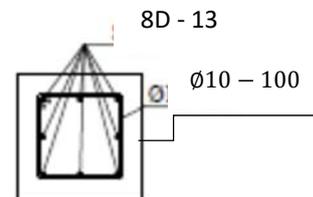
8. Bahan

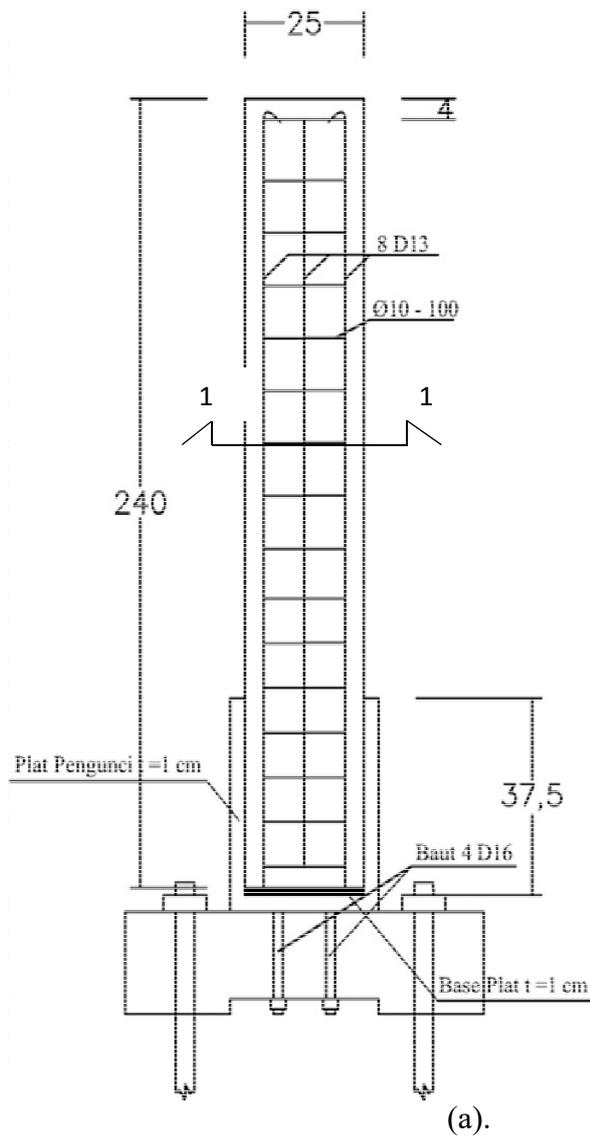
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Semen Portland Komposit (*Portland Composite Cement, PCC*).
- b. Agregat halus dan kasar (pasir dan batu pecah), berasal dari Bili-Bili (sesuai standar SII.0052-80).
- c. Air yang digunakan untuk campuran adalah air bersih.

3.3. Pembuatan Benda Uji

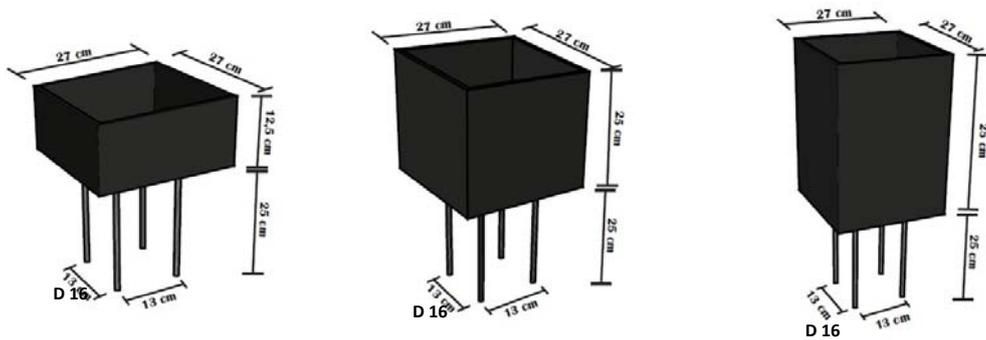
Setelah persiapan alat dan bahan selanjutnya pembuatan benda uji yang dimulai dengan pencucian material yang digunakan yaitu kerikil dan pasir, perakitan baja tulangan kolom dan *footing*, perakitan bekisting, dan persiapan sepatu kolom. Benda uji kolom menggunakan beton normal $f'c = 18$ MPa sebanyak 3 sampel. Yang memiliki variasi berbeda dalam penelitian ini adalah sepatu kolom. Pemilihan tinggi sepatu kolom berdasarkan lebar (b) dari penampang kolom, yaitu $0.5b$, b , dan $1.5b$. Adapun penjelasan mengenai ketiga variasi tersebut adalah sebagai berikut :



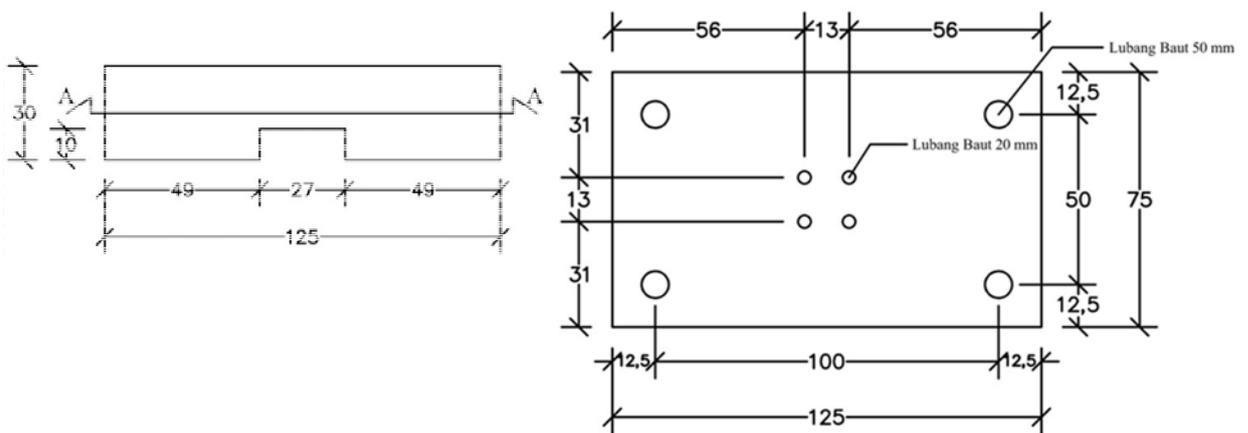


Potongan 1-1

***Unit dalam satuan cm**



(b).



Potongan A-A

(c).

Gambar 3.9. Detail benda uji, (a). kolom dan (b). sepatu kolom, (c). *footing*

Tabel 3.1 Daftar benda uji

No.	Kode	Keterangan
1.	SPTK 12.5 	Tebal pelat : 10 mm Panjang : 250 mm Lebar : 250 mm Tinggi : 125 mm Jumlah baut angkur 4, D : 16 mm

No.	Kode	Keterangan
2.	SPTK 25 	Tebal pelat : 10 mm Panjang : 250 mm Lebar : 250 mm Tinggi : 250 mm Jumlah baut angkur 4, D : 16 mm
3.	SPTK 37.5 	Tebal pelat : 10 mm Panjang : 250 mm Lebar : 250 mm Tinggi : 375 mm Jumlah baut angkur 4, D : 16 mm

3.4. Pangujian Benda Uji

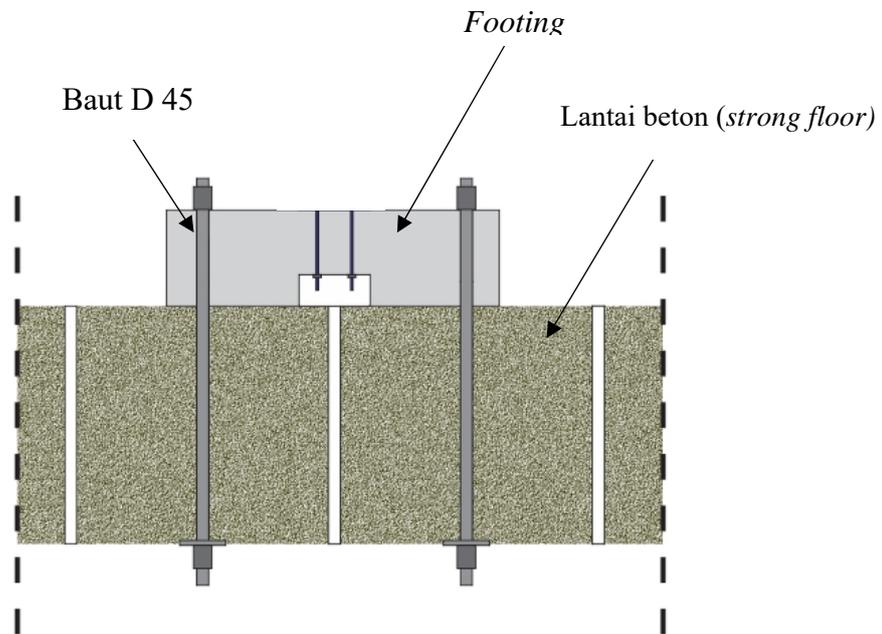
3.5.1. Pembebanan Monotonik

Sampel yang terdiri dari 3 buah yaitu SPTK 12.5, SPTK 25, dan SPTK 37.5, diuji dengan memberikan beban secara satu arah hingga terjadi kegagalan pada benda uji.

3.5.2. Tahapan pengujian

Secara garis besar tahapan-tahapan pengujian ini sebagai berikut

1. Pemasangan *footing* dengan 4 buah angkur yang menghubungkan *footing* dengan lantai. *Footing* berfungsi sebagai dudukan benda uji.

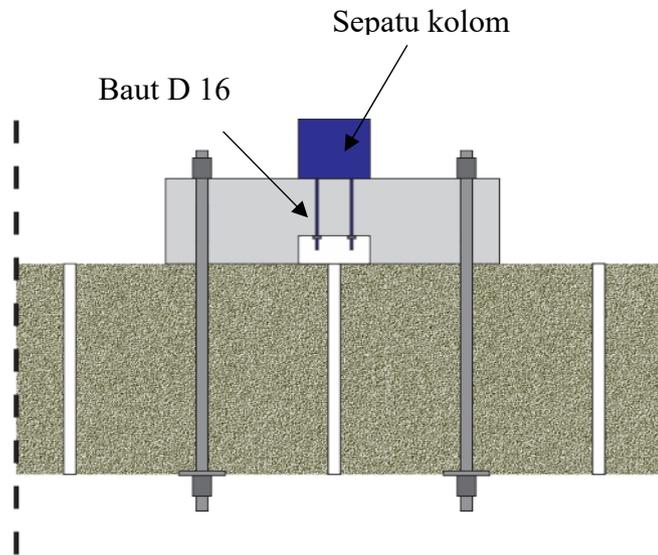


Gambar 3.10. Sketsa *footing*



Gambar 3.11. Pemasangan *footing*

2. Pemasangan sepatu kolom pada footing yang dihubungkan dengan 4 buah baut dan mur.

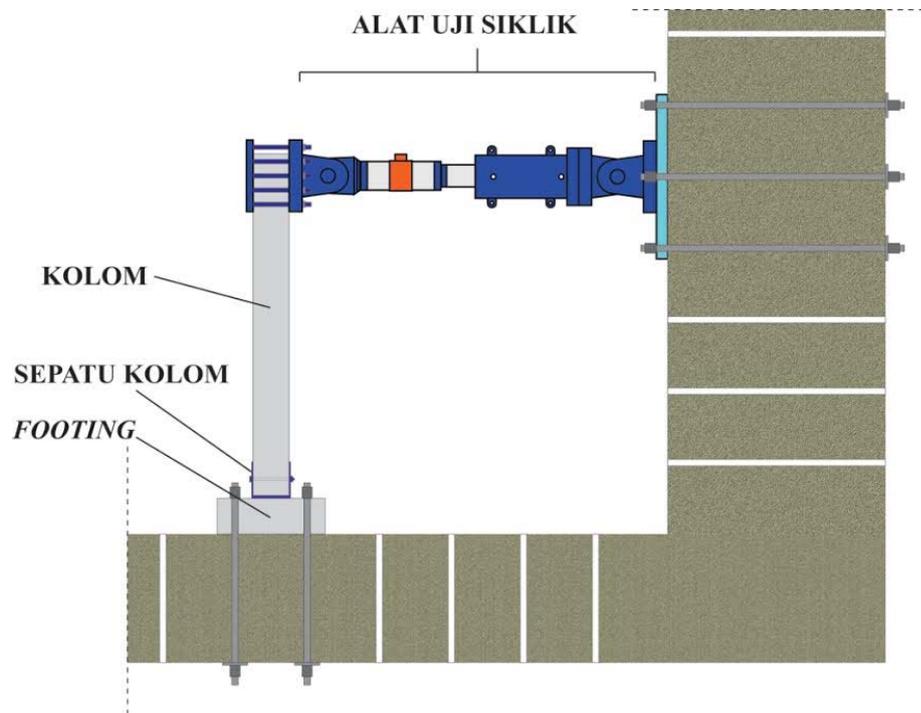


Gambar 3.12. Sketsa pemasangan SPTK ke *footing*



Gambar 3.13. Pemasangan SPTK ke *footing*

3. Pemasangan kolom dimana bagian atasnya di hubungkan dengan kepala *actuator* menggunakan plat dan dihubungkan dengan baut dan mur.



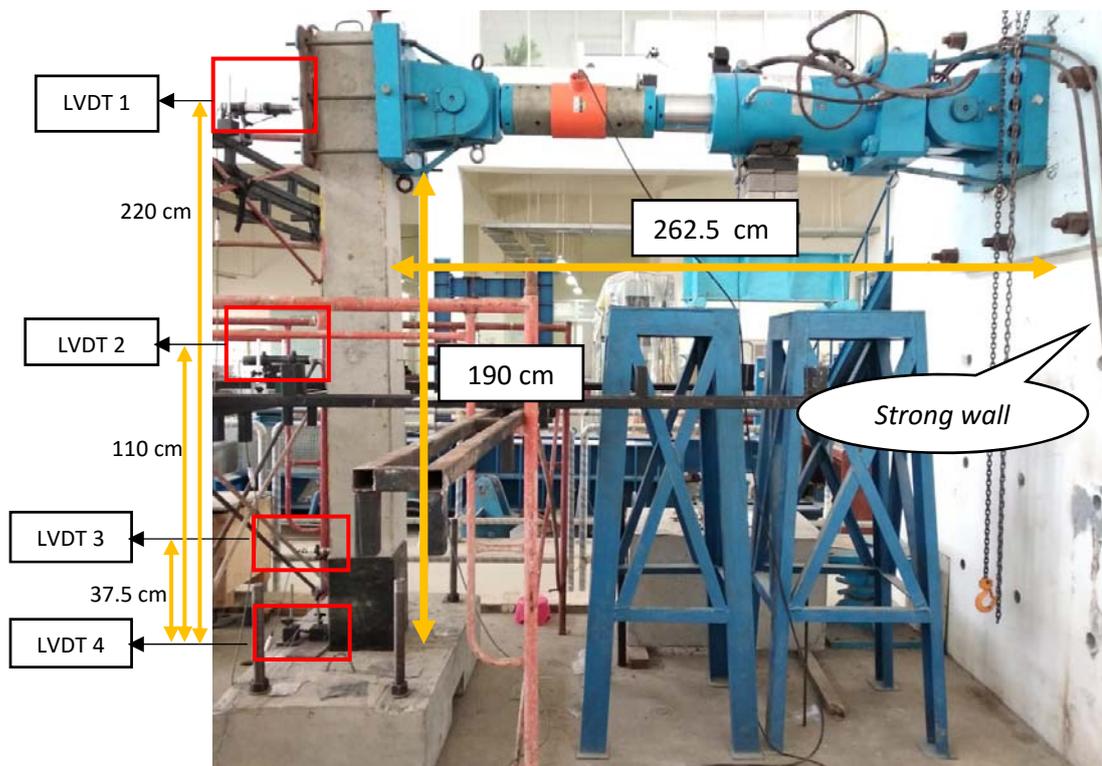
Gambar 3.14. Sketsa pembebanan dengan *actuator*



Gambar 3.15. pemasangan kolom pada SPTK dan *actuator*

3.4.3. Set-up Benda Uji

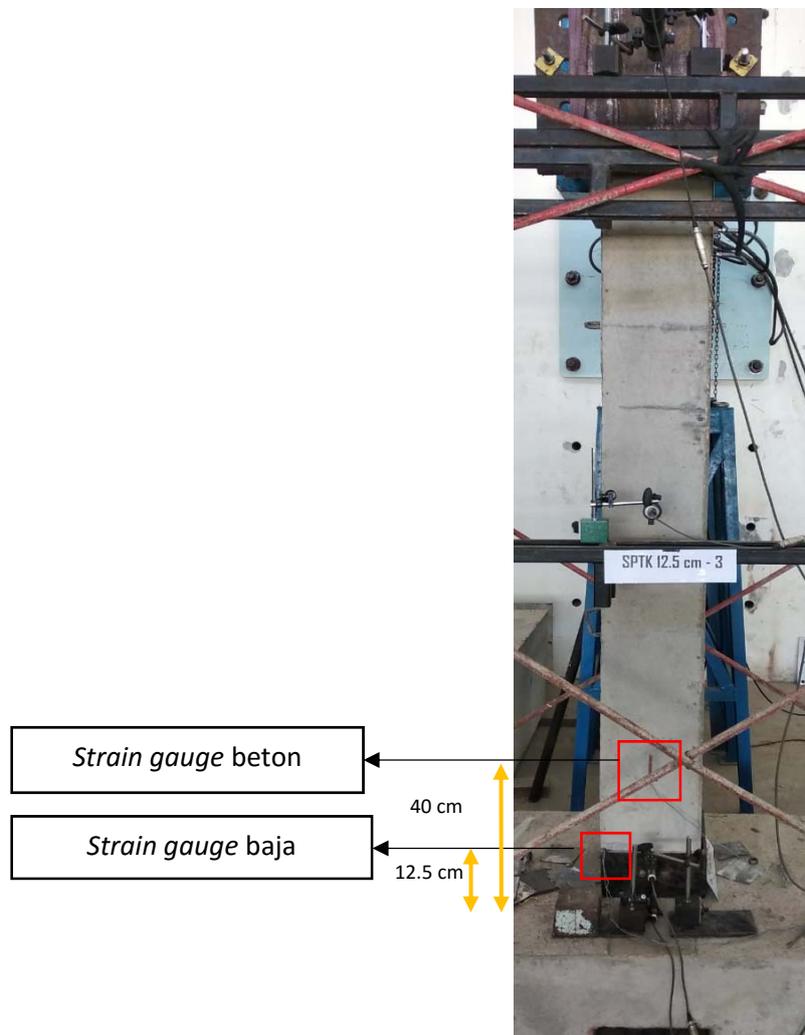
Gambar 3.16. menunjukkan kondisi *set-up* benda uji untuk mengetahui kemampuan kolom memikul beban horizontal atau lateral. Pembacaan *load cell* untuk pengujian kolom dilaksanakan setiap pembebanan 1 kN. Untuk mencatat lendutan yang terjadi pada kolom di pasang LVDT yang di tempatkan pada permukaan kolom, nilai regangan di ukur dengan menggunakan alat *strain gauge* , kemudian pembacaan direkam melalui *data logger* TDS 1100.



Gambar 3.16. Set-up Pengujian pembebanan satu arah

Pengujian ini menggunakan 4 LVDT. LVDT 1 terletak pada titik pembebanan bagian ujung atas kolom untuk membaca lendutan terbesar pada kolom. LVDT 2 di letakkan tepat di tengah bentang kolom terhitung dari dasar permukaan kolom dan as pembebanan. LVDT 3 terletak pada tepi bagian atas seputu kolom untuk mengetahui regangan pada seputu kolom. Untuk jarak LVDT 3 dan 4 tergantung tinggi dari variasi seputu kolom yang digunakan. Pada **gambar 3.16.** digunakan SPTK 37.5 sehingga jarak antara LVDT 3 dan 4 adalah 37.5 cm . LVDT

4 diletakkan di ujung bawah permukaan sepatu kolom, semua LVDT di letakkan pada daerah tekan.



Gambar 3.17. *Set – up strain gauge beton dan baja*

Pemasangan *strain gauge* baja terletak pada ujung sepatu kolom, pada **gambar 3.17** jarak antara *strain gauge* baja ke dasar permukaan sepatu kolom adalah 12.5 cm karena pada gambar digunakan SPTK 12.5, letak *strain gauge* baja berdasarkan tinggi sepatu kolom. Untuk *strain gauge* beton 40 cm dari permukaan sepatu kolom bagian bawah, hal ini berlaku untuk semua benda uji. *Strain gauge* baja dan beton keduanya dipasang pada sisi tekan.

3.5. Metode Analisa Hasil Penelitian

Hasil yang akan menjadi fokus dalam analisa hasil pengujian kolom akibat pembebanan satu arah adalah sebagai berikut :

1. Hubungan beban-lendutan yang didapatkan dari hasil pengujian berdasarkan hasil pengolahan data beban (kN) dan pembacaan LVDT 1 untuk lendutan (mm).
2. Pengaruh tinggi sepatu kolom (SPTK) terhadap regangan beton, tulangan, dan baja sepatu kolom. Hal ini disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara beban dan regangan.
3. Daktilitas yang didapatkan dari pengolahan data beban dan defleksi (Δ)
4. Pola retak dan mode kegagalan. Akibat adanya beban yang diberikan ke kolom, maka terjadi retak yang dapat dilihat pada permukaan kolom. Pola retak ditinjau pada retak pertama (*crack*) yang terjadi pada saat serat tarik penampang kolom mencapai kapasitas tarik beton.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Bahan

4.1.1. Hasil Pengujian Karakteristik Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah umur 28 hari dan di hari yang sama dengan pengujian benda uji utama. Hal ini dimaksudkan agar dapat mengetahui kuat tekan beton yang lebih aktual. Sampel beton berupa silinder dengan ukuran 10 cm x 20 cm berjumlah 6 Buah. Pengujian ini menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa. Hasil pengujian ditunjukkan dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Karakteristik beton umur 28 hari.

No.	Sampel	Beban	Kuat Tekan	Modulus Elastisitas
		kN	MPa	MPa
1	28 Hari	187.00	23.82	22939.49
2	28 Hari	146.50	18.66	20304.01
3	28 Hari	182.50	23.25	22661.80
4	90 hari	237.40	30.24	25846.60
5	90 hari	160.00	20.38	21218.91
6	113 hari	227.20	28.94	25285.25
7	113 hari	270.80	34.50	27604.98
8	114 hari	187.00	23.82	22939.49
9	114 hari	240.00	30.57	25987.75
Rata-rata		204.27	26.02	23865.36
Standar Deviasi				5.27
Mutu Beton				17.38

4.1.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Hasil rekapitulasi pengujian kuat tarik tulangan baja yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan yang dapat dilihat dalam **Tabel 4.2**. Berdasarkan tabel, kuat tarik leleh baja tulangan polos diameter 10 mm ($\emptyset 10$) sebesar 399.91 MPa dan baja tulangan ulir diameter 13 mm (D13) sebesar 389.73 MPa. Hasil ini

kemudian digunakan sebagai parameter untuk mengetahui apakah pada saat pengujian tulangan telah mengalami leleh atau belum.

Tabel 4.2. Hasil pengujian tarik baja tulangan

No.	Diameter (mm)	fy (Mpa)	fmax (Mpa)	Klasifikasi
1	Ø10	399.91	561.02	BJTP 30 SNI 07-2052-2014
2	D13	389.73	547.36	BJTS 35 SNI 07-2052-2014

4.2. Perhitungan Analisis

4.2.1. Perhitungan Untuk *Footing* (Mutu beton $f'c = 32$ MPa)

- Kontrol Eksentrisitas

$$e < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1,96324}{19,376} = 0,101$$

$$0,101 < \frac{B}{6}$$

$$B > 0,608 \text{ m}$$

Diambil B = 1.25 m

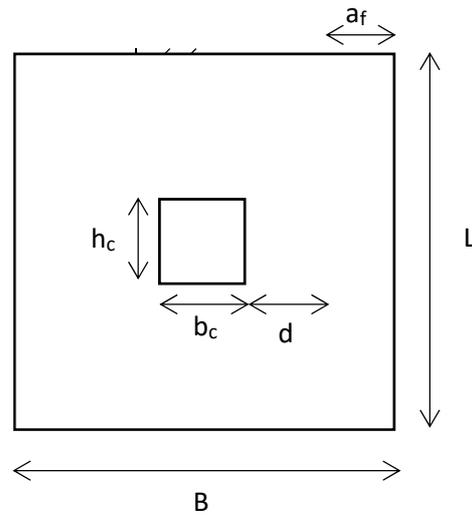
- Tegangan Maksimal dan Minimal Footing

$$q = h \cdot \gamma_{\text{beton}} = 0,3 \cdot 24 = 7,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{maks} &= \frac{P_u}{BL} + \frac{M_u}{\frac{1}{6}BL^2} + q \\ &= \frac{193,76}{0,75 \cdot 1,25} + \frac{19,6324}{\frac{1}{6} \cdot 0,75 \cdot 1,25^2} + 7,2 = 381,41 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{min} &= \frac{P_u}{BL} - \frac{M_u}{\frac{1}{6}BL^2} + q \\ &= \frac{193,76}{0,75 \cdot 1,25} - \frac{19,6324}{\frac{1}{6} \cdot 0,75 \cdot 1,25^2} + 7,2 = 46,35 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- **Kontrol Tegangan Geser 1 arah**



Selimut beton = $d' = 40$ mm

$h = 300$ mm

$d = 300 - 40 = 260$ mm

ukuran kolom $b_c \times h_c = 250$ mm x 250 mm

$$a_f = \left(\frac{B}{2} - \left(\frac{b}{2} + d \right) \right) \cdot L = \left(\frac{1,25}{2} - \left(\frac{0,25}{2} + 0,26 \right) \right) \cdot 1,25 = 0,18 \text{ m}^2$$

$$a = B/2 - (b/2 + d) = 1,25/2 - (0,25/2 + 0,26) = 0,24 \text{ m}$$

$$\sigma_a = \sigma_{min} + (B-a) (\sigma_{maks} - \sigma_{min}) / B = 46,35 + (1,25-0,24) (381,41 - 46,35) / 1,25 = 307,81 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = \frac{\sigma_{maks} + \sigma_a}{2} = \frac{381,41 + 307,81}{2} = 344,61 \text{ kN/m}^2$$

$$V_u = 3 \cdot a_f \cdot q_u = 3 \cdot 0,18 \cdot 344,61 = 186,09 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} B \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{32} \cdot 1,25 \cdot 0,26 = 306,41 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$245,13 > 186,09 \text{ (aman)}$$

- **Perhitungan Tulangan**

$$f_c = 32 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$M_u = 1,96324 \text{ tm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1,96324 \cdot 10^7}{0,8 \cdot 1250 \cdot 260^2} = 0,29$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = 14,71$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \beta_1 \left(\frac{0,85 f'_c}{f_y} \right) \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \left(\frac{0,85 \cdot 32}{400} \right) \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,02601$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{14,71} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,71 \cdot 0,29}{400}} \right)$$

$$= 0,0007$$

$\rho < \rho_{min}$ maka diambil $\rho_{min} = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1250 \cdot 260 = 1137,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D13 $\rightarrow A_{13} = 132,73 \text{ mm}^2$

$$\text{jumlah tulangan} = \frac{A_s}{A_{13}} = \frac{1137,5}{132,73} = 8,57 \approx 9 \text{ batang}$$

$$s = \frac{B - 2d'}{n - 1} = \frac{1250 - 2 \cdot 40}{9 - 1} = 146,25 \approx 100 \text{ mm}$$

Dipakai D13 – 100

4.2.2. Perhitungan Kolom

Mutu beton yang digunakan adalah $f'c = 18$ MPa dengan Mu sebesar 1.96324 tm. Untuk luas penampang 250 mm x 250 mm, penentuan luas penampang ini didasarkan pada dimensi kolom pada umumnya. Adapun untuk nilai Mu didapatkan dari hasil perhitungan SAP 2000

4.2.3. Perhitungan Sepatu Kolom

- Menentukan jumlah baut

$$Pu = 19,376 \text{ ton}$$

$$Vu = 1,58056 \text{ ton}$$

$$\text{Baut A825 D13, } fu = 825 \text{ MPa}$$

• Kuat Geser Baut

$$\phi Rn = \phi \cdot r1 \cdot fu \cdot Ab = 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) = 32851,24 \text{ N} = 3,285 \text{ ton / baut}$$

$$n = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{1,58056}{3,285} = 0,48$$

• Kuat Tumpu Baut

$$\phi Rn = \phi \cdot 2,4 \cdot db \cdot tp \cdot fu = 0,75 \cdot 2,4 \cdot 13 \cdot 10 \cdot 825 = 193050 \text{ N} = 19,305 \text{ ton / baut}$$

$$n = \frac{Pu}{\phi Rn} = \frac{19,376}{19,305} = 1,004 \approx 2 \text{ baut} \longrightarrow \text{Dipakai 4 baut (aman)}$$

• Kuat Tarik Baut

$$\phi Rn = \phi \cdot 0,75 \cdot fu \cdot Ab = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) = 61596,08 \text{ N} = 6,16 \text{ ton / baut}$$

$$n = \frac{Tu}{\phi Rn} = \frac{\frac{Mu}{h}}{6,16} = \frac{\frac{1,96324}{2,75}}{6,16} = 0,12$$

- **Panjang Penjangkaran**

$$M_u = 1,96324 \text{ tm} = 1,96324 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$\tau_b = 12 \text{ MPa}$$

$$P = \frac{M_u}{a} / 2$$

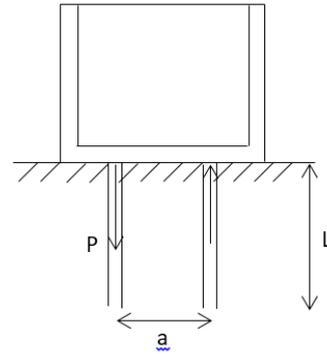
$$P = \frac{1,96324 \cdot 10^7}{130 \cdot 2}$$

$$P = 75509,23 \text{ N}$$

$$L = \frac{P}{\pi d \tau}$$

$$L = \frac{75509,23}{3,14 \cdot 13 \cdot 12}$$

$$L = 154,07 \text{ mm} \longrightarrow \text{Digunakan panjang 250 mm (aman)}$$



Las yang digunakan adalah las sudut.

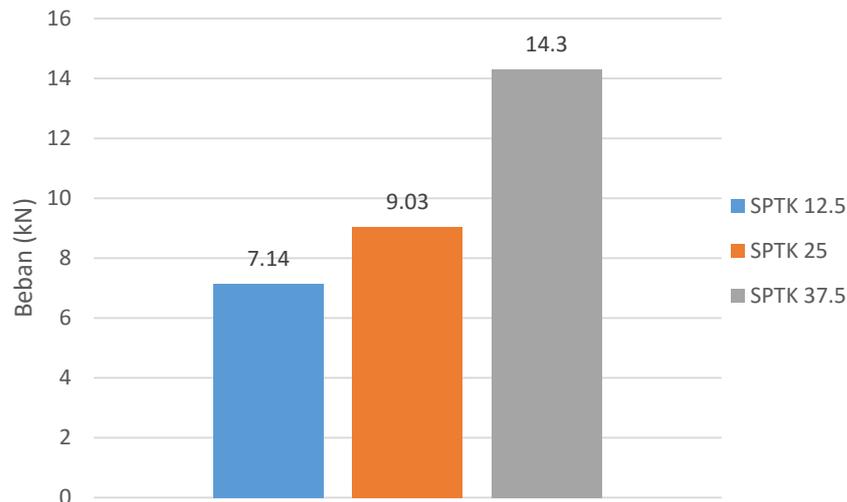
4.3. Kapasitas Lentur Kolom

Pelaksanaan uji kolom yang dibebani secara lateral bertujuan untuk mengetahui kemampuan kolom dalam memikul beban jika menggunakan sepatu kolom dengan variasi tinggi 12.5 cm, 25 cm, dan 37.5 cm. Hasil pengujian kapasitas beban diamati pada kondisi awal retak, leleh, hingga kondisi ultimit baik pada kolom maupun sepatu kolom.

Untuk SPTK 12.5 didapatkan beban maksimum sebesar 7.14 kN dengan lendutan maksimum 241.03 mm. Untuk variasi SPTK 25, memiliki beban maksimum sebesar 9.03 kN dengan lendutan maksimum sebesar 236.95 mm. Sementara untuk variasi SPTK 37.5, melendut sebesar 132 mm, dengan beban maksimum yang diperoleh paling besar diantara variasi sepatu kolom yang lain yaitu 14.3 kN. Berikut tabel dan diagram batang yang menunjukkan benda uji dengan beban dan lendutan masing-masing.

Tabel 4.3. Tabel benda uji, beban, dan lendutan

Benda Uji	Beban (kN)	Lendutan (mm)
SPTK 12.5	7.14	241.03
SPTK 25	9.03	236.09
SPTK 35.7	14.3	132



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara benda uji dan beban maksimum

Dari uraian di atas maka dapat diketahui bahwa tinggi sepatu kolom memengaruhi besar beban yang dapat diterima oleh kolom serta lendutan yang terjadi pada kolom. Lendutan terbesar terjadi pada SPTK 12.5, kemudian SPTK 25, dan yang terendah adalah SPTK 37.5. Sementara untuk beban maksimum yang dapat dipikul terjadi pada SPTK 37.5, dan beban minimum pada SPTK 12.5. Hal ini menunjukkan bahwa lendutan berbanding terbalik dengan variasi tinggi SPTK. Semakin tinggi Sepatu Kolom maka semakin rendah nilai lendutan yang terjadi, dan sebaliknya. Adapun hubungan antara beban lateral yang dapat dipikul dengan variasi tinggi Sepatu Kolom didapatkan hasil semakin tinggi Sepatu Kolom maka semakin besar pula beban yang dapat dipikul.

4.3.1. Rasio Perbandingan Tinggi Sepatu Kolom Terhadap Beban

Pada **gambar 4.1.** menunjukkan nilai beban maksimum masing-masing yang dapat dipikul untuk setiap variasi tinggi sepatu kolom. Berikut ditampilkan rasio perbandingan antara tinggi sepatu kolom terhadap beban maksimum untuk

melihat perbedaan masing-masing sepatu kolom serta mengetahui variasi yang lebih efektif untuk digunakan

$$\text{Rasio} = \frac{\text{Variasi Tinggi Sepatu Kolom}}{\text{Beban maksimum}}$$

$$\begin{aligned} \text{SPTK 12.5} : \text{SPTK 25} : \text{SPTK 37.5} &= \frac{12.5}{7.14} : \frac{25}{9.03} : \frac{37.5}{14.30} \\ &= 1.75 : 2.76 : 2.62 \end{aligned}$$

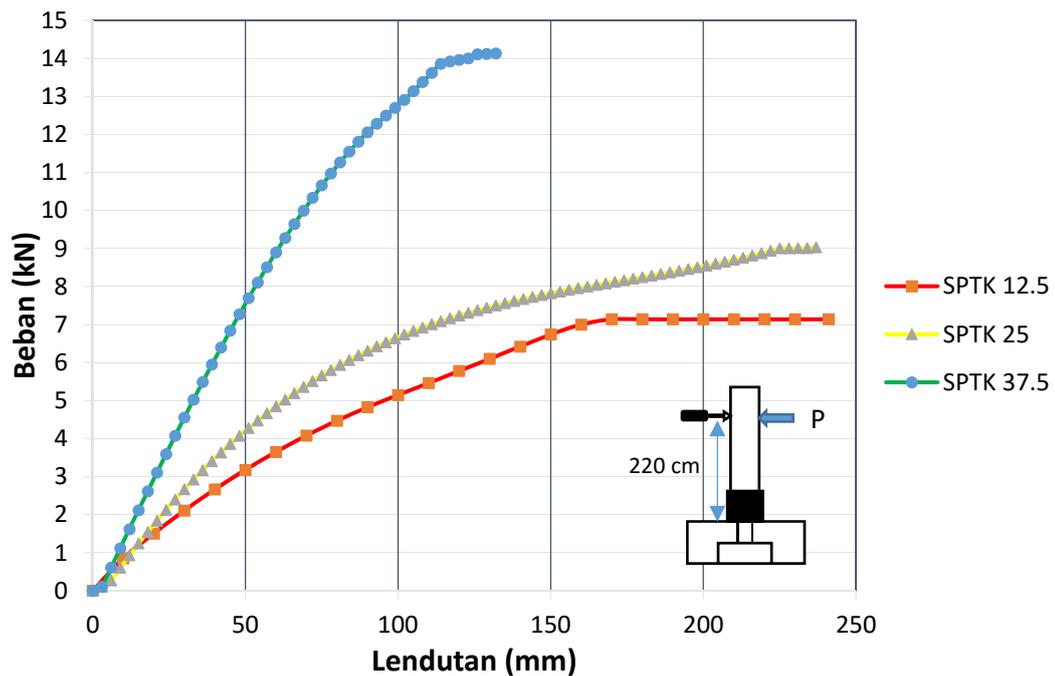
Rasio tinggi sepatu kolom terhadap beban maksimum untuk SPTK 12.5, SPTK 25, dan SPTK 37.5 didapatkan hasil masing-masing 1.75, 2.76, 2.62. Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa penggunaan sepatu kolom dengan tinggi 37.5 cm lebih kecil rasionya dibandingkan dengan sepatu kolom tinggi 25 cm sehingga penggunaan SPTK 25 lebih efektif dibandingkan SPTK 37.5.

4.4. Perilaku Lentur Kolom

4.4.1. Hubungan Beban dan Lendutan

4.4.1.1. Hubungan antara beban dengan lendutan pada LVDT 1

Data pengukuran lendutan yang digunakan pada pengujian ini adalah data hasil *output* dari LVDT 1. Pemasangan LVDT terletak pada empat bagian. Namun, dalam hal hubungan beban-lendutan yang diambil adalah nilai dari LVDT 1 yang letaknya tepat di titik pembebanan 250 mm dari ujung bentang kolom yang mengenai *actuator*. Berikut grafik hubungan antara beban dan lendutan untuk setiap variasi tinggi SPTK.



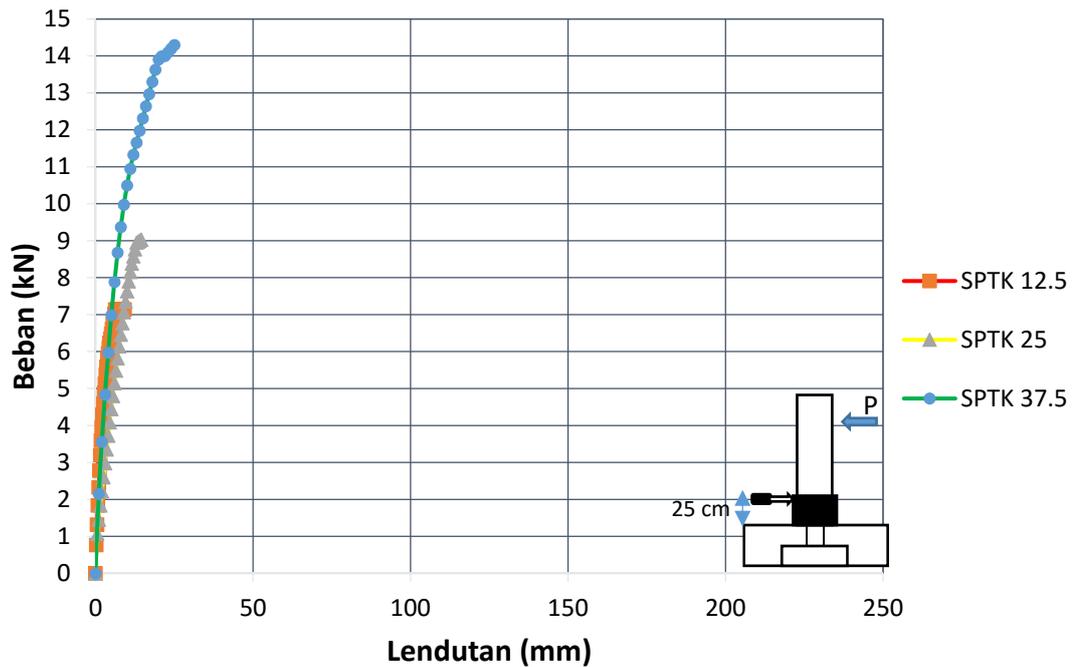
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada LVDT 1

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara beban dan lendutan untuk masing-masing variasi sepatu kolom. Berdasarkan grafik di atas, untuk SPTK 12.5 nilai beban maksimum yang didapatkan ialah 7.14 kN dengan lendutan maksimum 241.03 mm. Untuk variasi SPTK 25, memiliki beban maksimum sebesar 9.03 kN dengan lendutan maksimum sebesar 236.95 mm. Variasi SPTK 37.5, melendut sebesar 132 mm, dengan beban maksimum yang diperoleh paling besar diantara variasi sepatu kolom yang lain yaitu 14.3 kN.

Untuk SPTK 12.5, pada saat lendutan sebesar 170 mm, mulai terjadi kegagalan pada sambungan baut sepatu kolom ke *footing* sehingga beban tidak lagi bertambah yang menyebabkan grafik cenderung lurus, hingga kemudian pada saat lendutan maksimum sebesar 241.03 pengujian dihentikan karena telah terdengar bunyi patah dari baut sepatu kolom.

4.4.1.2. Hubungan antara beban dengan lendutan pada LVDT 3

Pada **gambar 4.3.** dapat dilihat grafik hubungan antara beban dengan lendutan yang terjadi pada ujung sepatu kolom dengan menggunakan LVDT. Posisi LVDT 3 pada tepi bagian atas sepatu kolom di bagian tengah penampang sepatu kolom.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada LVDT 3

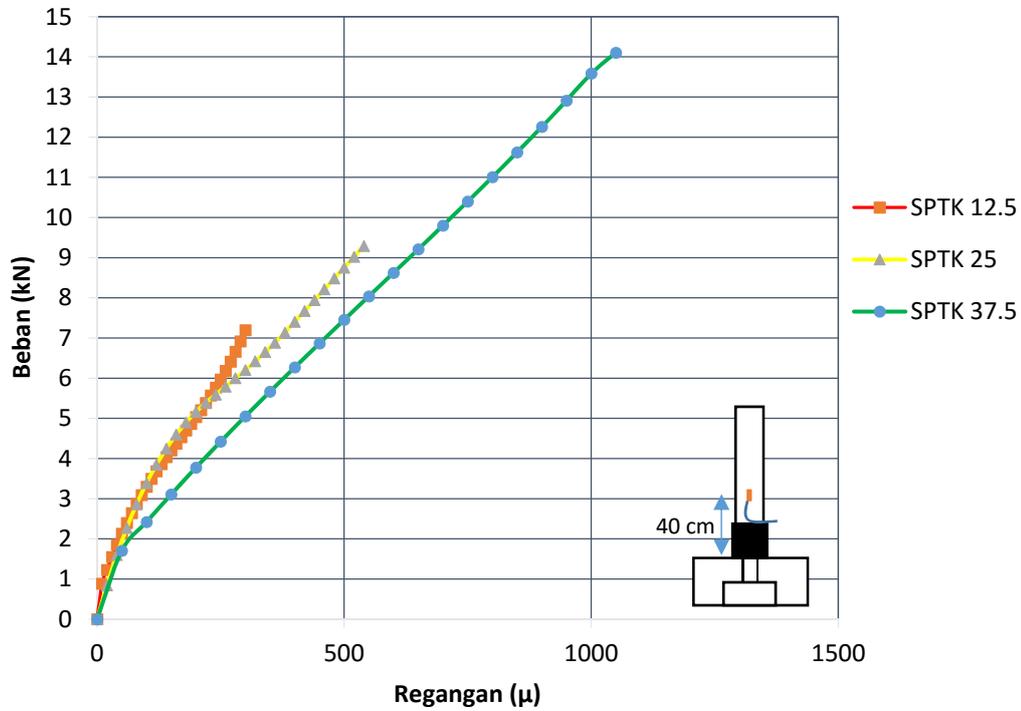
Berdasarkan gambar di atas, pada saat terjadi beban maksimum untuk masing-masing sepatu kolom nilai lendutan yang didapatkan pada LVDT 3 adalah SPTK 12.5 kolom melendut sebesar 9.25 mm, SPTK 25 lendutannya sebesar 14.5 mm, dan SPTK 37.5 sebesar 25 mm.

4.4.2. Hubungan Beban – Regangan

4.4.2.1. Hubungan Beban – Regangan Beton

Nilai regangan beton yang didapatkan pada penelitian ini diukur dengan menggunakan alat *strain gauge* tipe PL 60-11-5LJC-F. Posisi *strain gauge* berada 40 cm dari ujung atas sepatu kolom yang dipasang pada penampang kolom.

Peningkatan regangan direkam melalui *data logger* THS 1100. Berikut grafik hubungan antara beban – regangan beton SPTK 12.5, 25, dan 37.5.



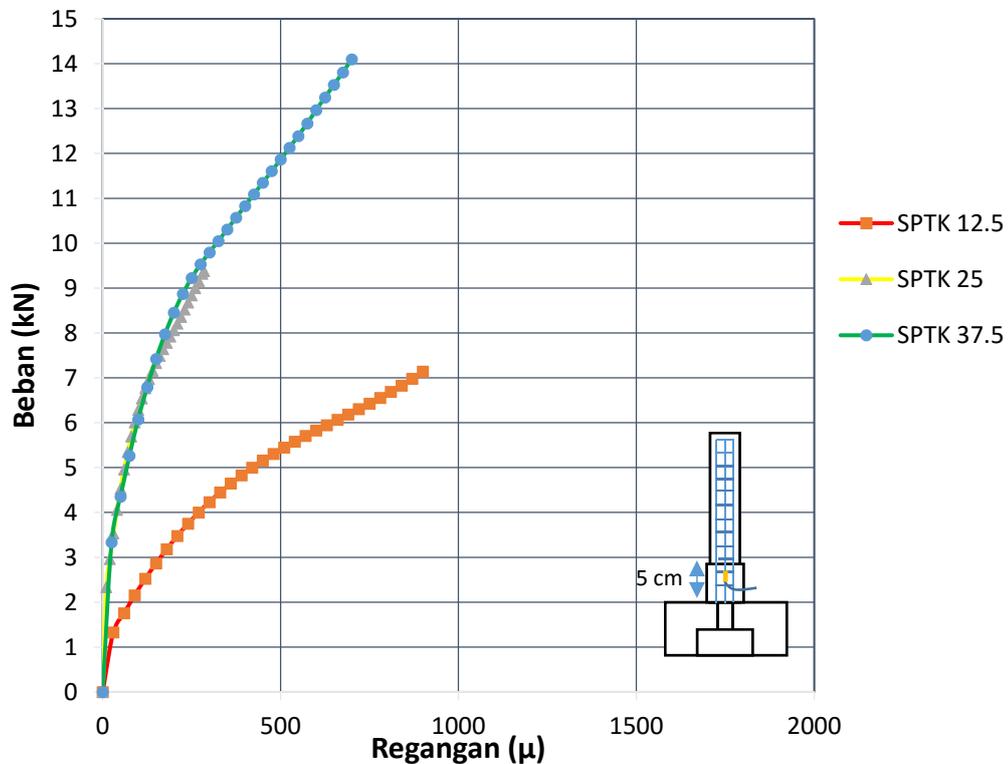
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara beban dan regangan beton

Gambar diatas menunjukkan grafik hubungan beban dan regangan pada beton untuk setiap variasi sepatu kolom. Berdasarkan grafik di atas, untuk SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.195 kN dengan regangan sebesar 300 $\mu\epsilon$. Untuk variasi SPTK 25 didapatkan beban ultimit sebesar 9.29 kN dan regangan sebesar 540 $\mu\epsilon$. Sementara untuk variasi SPTK 37.5 didapatkan nilai beban ultimit sebesar 14.1 kN dan regangan sebesar 1050 $\mu\epsilon$. Nilai regangan beton menjadi lebih tinggi jika menggunakan variasi sepatu kolom yang paling besar yaitu 37.5. Sehingga dapat diketahui bahwa, semakin tinggi sepatu kolom maka semakin besar beban dan regangan yang terjadi pada beton.

4.4.2.2. Hubungan Beban – Regangan Baja (Tulangan).

Nilai regangan baja yang didapatkan pada penelitian ini diukur dengan menggunakan alat *strain gauge* tipe FLK 6-11-5LJC. Posisi *strain gauge* dipasang pada tulangan utama daerah tarik pada saat sebelum pengecoran di bagian bawah

bentang kolom. Peningkatan regangan direkam melalui *data logger* TDS 1100. Berikut grafik hubungan antara beban – regangan beton SPTK 12.5, 25, dan 37.5.



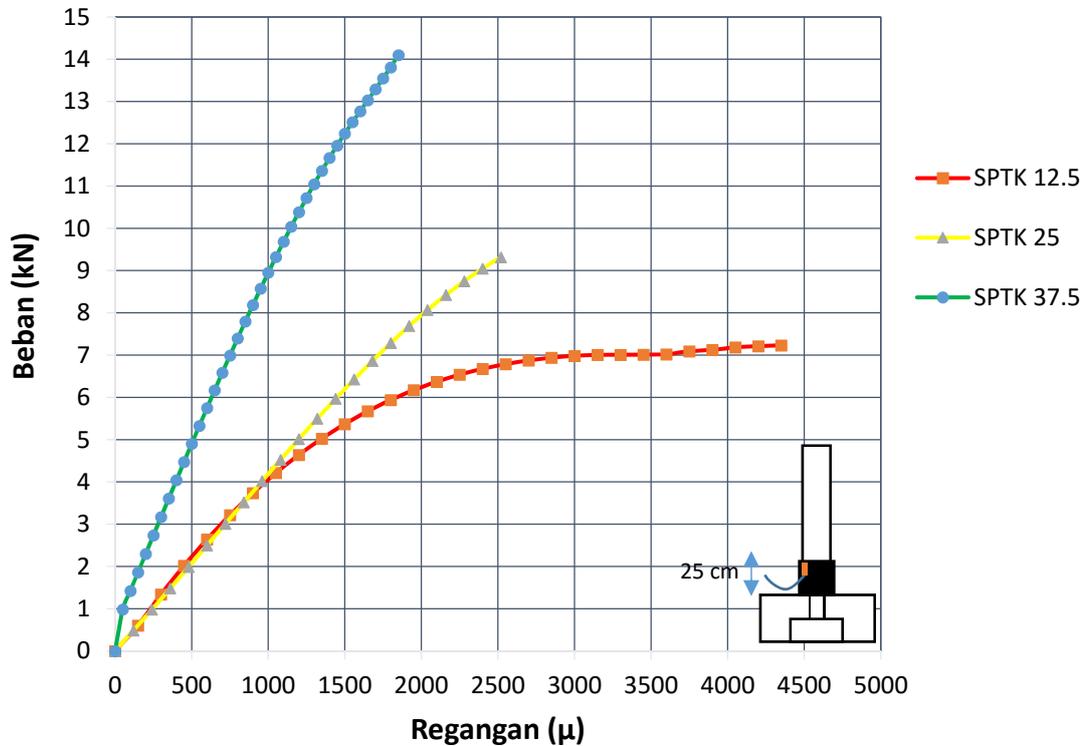
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara beban dan regangan tulangan

Gambar diatas menunjukkan grafik hubungan antara beban dan regangan yang terjadi pada tulangan utama. Dari grafik di atas, untuk variasi SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.14 kN dengan regangan 900 $\mu\epsilon$. Untuk variasi SPTK 25 didapatkan beban ultimit sebesar 9.38 kN dengan regangan sebesar 285 $\mu\epsilon$. Sementara nilai beban ultimit pada variasi SPTK 37.5 adalah 14.1 kN dengan regangan sebesar 1050 $\mu\epsilon$.

4.4.2.3. Hubungan Beban – Regangan Baja (Sepatu Kolom).

Nilai regangan baja yang didapatkan pada penelitian ini diukur dengan menggunakan alat *strain gauge* tipe FLK 6-11-5LJC. Posisi *strain gauge* dipasang pada ujung atas sepatu kolom untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi

pada sepatu kolom. Peningkatan regangan direkam melalui *data logger* THS 1100. Berikut grafik hubungan antara beban – regangan baja SPTK 12.5, 25, dan 37.5.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara beban dan regangan baja sepatu kolom

Gambar di atas menunjukkan grafik hubungan antara beban dan regangan baja pada sepatu kolom. Berdasarkan grafik di atas, untuk SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.23 kN dengan regangan sebesar 4350 $\mu\epsilon$. Nilai beban ultimit untuk variasi SPTK 25 sebesar 9.31 kN dengan regangan sebesar 2520 $\mu\epsilon$. Sedangkan Nilai beban ultimit untuk SPTK 37.5 sebesar 14.1 kN dengan nilai regangan sebesar 1050 $\mu\epsilon$. Regangan baja terbesar terjadi pada variasi SPTK 12.5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi sepatu kolom maka semakin rendah regangan yang terjadi pada sepatu kolom ataupun sebaliknya.

4.5. Daktilitas

Ketika menghitung faktor daktilitas penentuan deformasi (lendutan) saat leleh sering menyebabkan kesulitan karena hubungan gaya-deformasi mungkin tidak memiliki titik leleh yang jelas. Hal ini mungkin terjadi karena beberapa hal

berikut, misalnya akibat perilaku nonlinear material atau karena tulangan longitudinal pada posisi penampang beton bertulang dengan kedalaman berbeda mencapai leleh pada tingkat momen yang berbeda (Park, 1988). Alternatif yang digunakan dalam penentuan titik leleh disini adalah mendapatkan *displacement* leleh yang merupakan titik perpotongan antara garis kekakuan elastik dengan beban ultimit. Berdasarkan grafik hubungan antara beban – lendutan maka didapatkan nilai daktilitas sebagai berikut.

Tabel 4.3. Daktilitas kolom

Sampel	Pyield	Pult	Δ_{yield}	Δ_{ult}	μ
	kN	kN	mm	mm	
SPTK 12.5	4.82	7.14	90	241.03	2.68
SPTK 25	7.00	9.03	111	236.95	2.14
SPTK 37.5	11.81	14.3	87	132	1.51

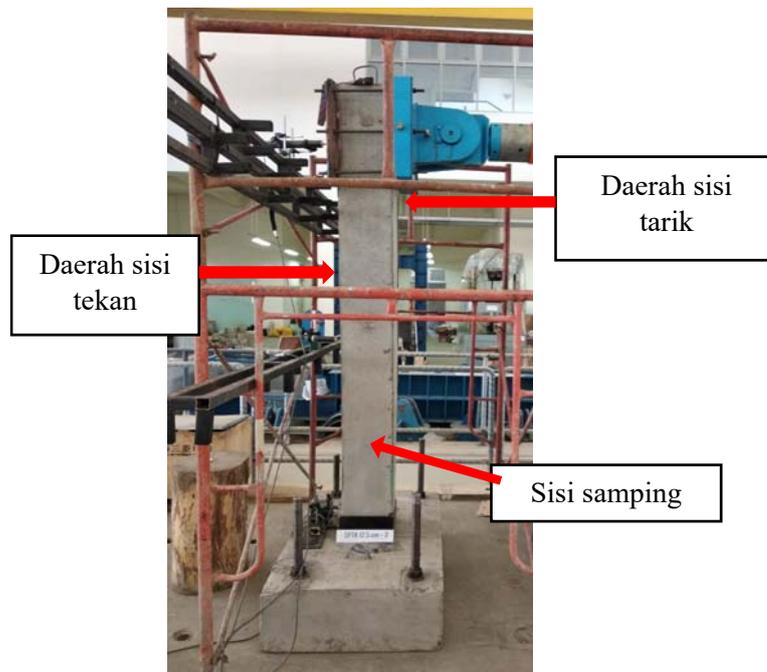
Berdasarkan **Tabel 4.3.** didapatkan nilai daktilitas untuk SPTK 12.5 sebesar 2.68, untuk SPTK 25 sebesar 2.14 dan untuk SPTK 37.5 sebesar 1.51. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 3.14 mengklasifikasikan daktilitas menjadi daktilitas penuh, parsial, dan elastik penuh. Baik SPTK 12.5, SPTK 25, SPTK 37.5, ketiganya termasuk dalam daktilitas parsial ($\mu = 1.0 - 5.9$).

4.6. Pola Retak dan Mode Kegagalan

Pengamatan pola retak dilakukan terhadap benda uji pada saat beban retak pertama sampai beban retak maksimum. Pengamatan pola retak umumnya dilakukan pada daerah tarik sebab retak keseluruhan terjadi pada daerah tarik kolom.

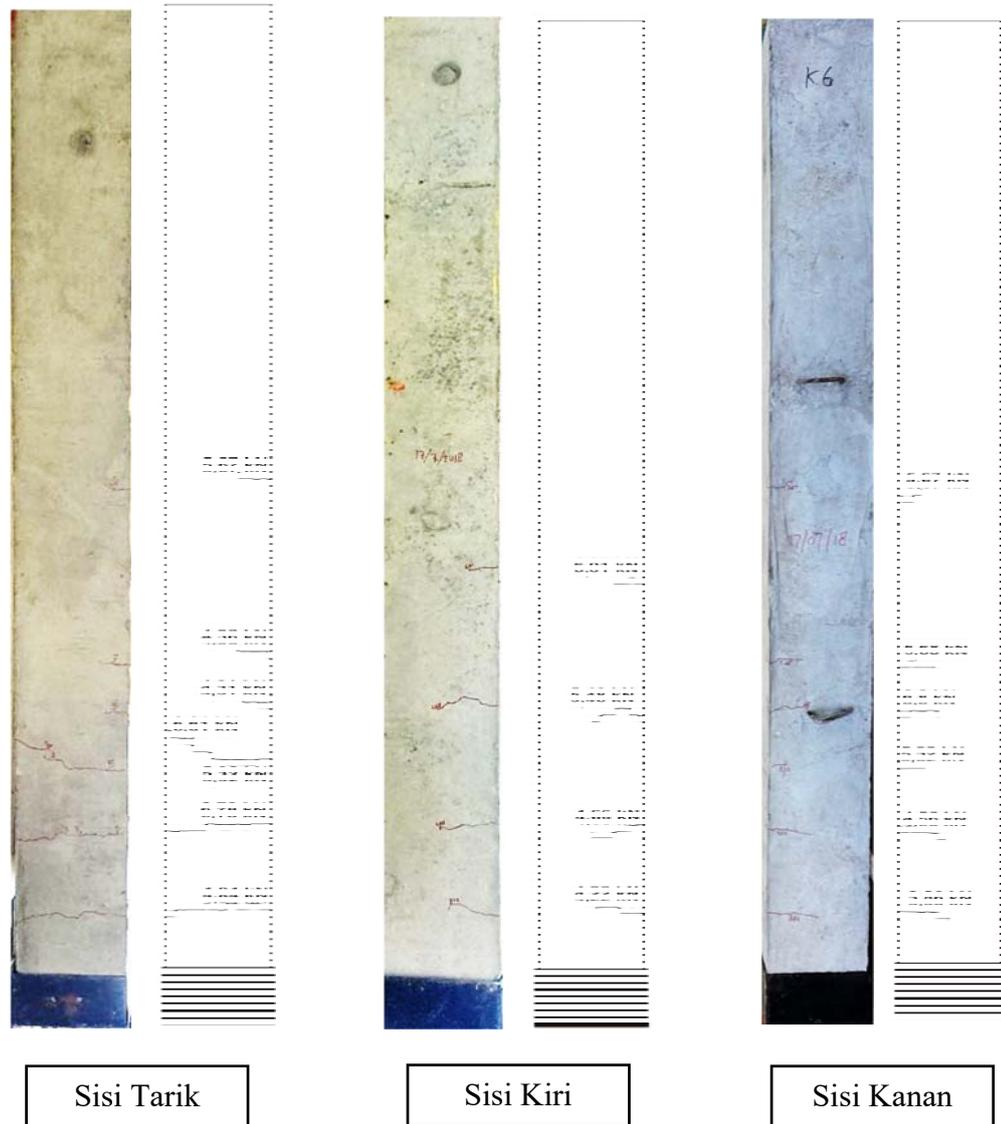
Pada pengujian ini, secara umum kolom mengalami retak lentur. Menurut Mc Cormack (2001), retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netral.

Hal ini dapat dilihat dari pola retak yang arah rambatannya horizontal terhadap sumbu memanjang kolom. Kegagalan ini berawal dari ketidakmampuan kolom menerima beban yang melampaui kekuatannya. Retak awal pada umumnya terjadi pada daerah 1/4 bentang. Apabila beban terus bertambah dan retak-retak awal yang telah terjadi semakin lebar sehingga mengurangi kekakuan dari kolom.



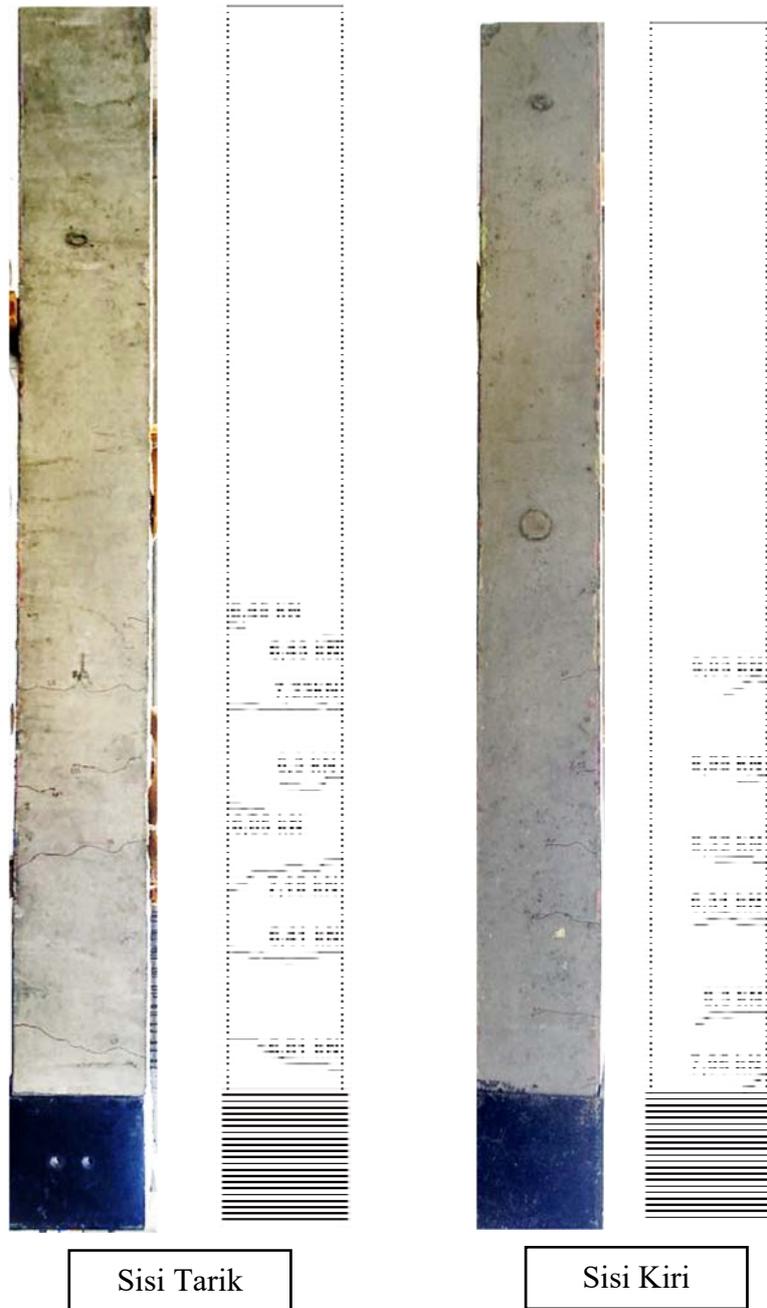
Gambar 4.6. Detail daerah sisi tekan, tarik, dan samping

Untuk SPTK 12.5, retak awal terjadi sekitar 10 cm dari sepatu kolom, pada saat beban 3.86 kN. Seiring dengan pembebanan yang terus berlanjut retakan pada sisi tarik semakin merambat hingga pada beban ultimit 7.14 kN. Retak tidak terjadi pada daerah tekan. Retak umumnya terjadi di sekitar sepatu kolom dan di tengah bentang kolom. Pada saat beban sebesar 6.07 kN, sepatu kolom mulai terangkat di daerah tarik, hingga mencapai beban ultimit sepatu kolom terus terangkat sebesar 4.5 cm yang mengakibatkan baut pada sepatu kolom bengkok. Hingga diakhir pengujian, terdengar bunyi patah dari baut sepatu kolom sehingga pengujian dihentikan.



Gambar 4.7. Pola Retak SPTK 12.5

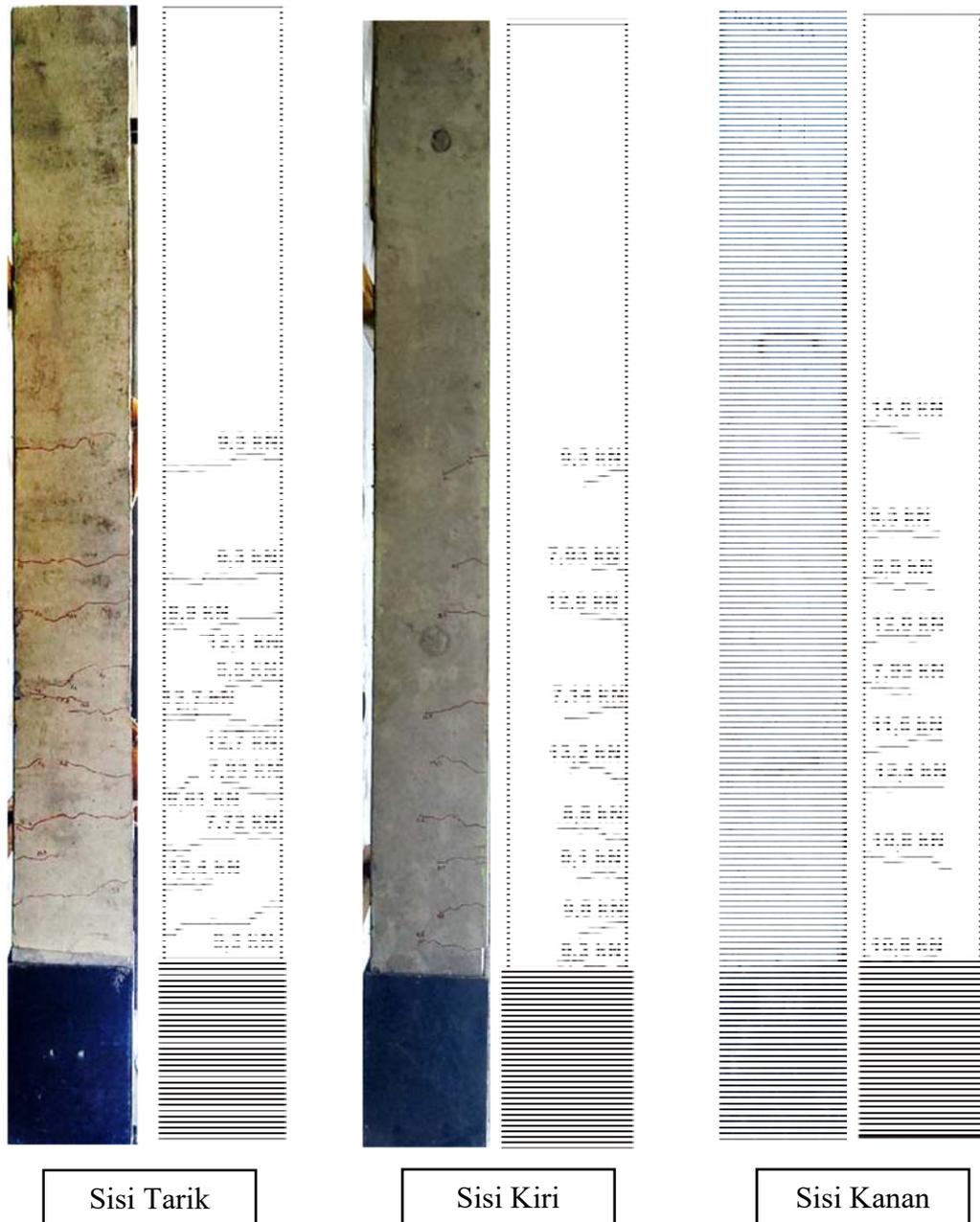
Untuk SPTK 25, mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 6.05 kN di sekitar tengah bentang kolom. Retak di sekitar sepatu kolom baru terjadi pada saat beban sebesar 6.81 kN. Retak pada umumnya terjadi di tengah bentang kolom (di bawah letak LVDT 2) dan daerah sekitar sepatu kolom. Sepatu kolom mulai terangkat sekitar 1.5 cm pada saat beban sebesar 7.2 kN hingga pada saat beban ultimit sebesar 9.03 kN, sepatu kolom terangkat 2.3 cm.



Gambar 4.8. Pola Retak SPTK 25

Untuk SPTK 37.5, retak awal terjadi pada saat beban sebesar 7.14 kN di tengah bentang kolom, kemudian pada saat beban 7.93 kN retak baru terjadi di sekitar daerah sepatu kolom. Retak umumnya terjadi di daerah tengah bentang kolom ke bawah. Sepatu kolom terangkat sekitar 1 cm pada saat beban sebesar 12 kN hingga pada saat beban ultimit sepatu kolom terangkat sebesar 2.8 cm. Untuk

ketiga benda uji, perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik ke sisi tekan balok dengan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*). Pada umumnya, kegagalan terjadi pada baut yang menghubungkan antara sepatu kolom dengan footing karena pengujian dihentikan pada saat kondisi sudah bengkok.



Gambar 4.9. Pola retak SPTK 37.5

Berikut gambar yang menunjukkan kegagalan pada sepatu kolom.



(a).



(b).



(c).

→ SPTK Terangkat

Gambar 4.10. Kondisi SPTK setelah pengujian. (a). Pelat melendut dan baut terlepas (b). Baut membengkok, (c). Sepatu kolom terangkat

Dari pembahasan mengenai hasil pengujian dari penggunaan masing-masing variasi SPTK baik 12.5, 25, maupun 37.5 dapat disimpulkan bahwa kriteria pemilihan sepatu kolom yang efektif yaitu;

- a. Memenuhi syarat dari penyambungan pada sendi plastis yaitu panjang minimal sambungan adalah sesuai dengan dimensi terbesar penampang kolom.
- b. Tidak terjadi kegagalan pada sambungan las.
- c. Tidak terjadi leleh pada baja sepatu kolom.

Berdasarkan kriteria tersebut, maka SPTK 12.5 tidak efektif untuk digunakan karena tinggi sepatu kolom tidak memenuhi persyaratan sendi plastis, terjadi kegagalan pada sambungan las, dan terjadi leleh pada baja sepatu kolom. Selain itu rasio perbandingan antara tinggi sepatu kolom dan beban yang dapat dipikul SPTK 12.5 hanya 1.75.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan :

1. Perilaku lentur kolom dengan menggunakan sepatu kolom dengan variasi tinggi 12.5 cm (SPTK 12.5) , 25 cm (SPTK 25) dan 37.5 cm (SPTK 37.5) mampu menahan beban maksimum masing – masing sebesar 7.14 kN, 9.03 kN, dan 14.3 kN. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi sepatu kolom maka semakin besar beban monotonik yang dapat dipikul. Dari tinjauan daktilitas, ketiga variasi tinggi sepatu kolom dapat dikategorikan kedalam daktilitas parsial.
2. Berdasarkan rasio perbandingan untuk variasi tinggi sepatu kolom terhadap nilai beban maksimum masing-masing dapat dilihat untuk SPTK 12.5 sebesar 1.75, SPTK 25 sebesar 2.76, dan SPTK 37.5 sebesar 2.62. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan SPTK 25 lebih efektif dibandingkan SPTK 37.5.
3. Pola kegagalan pada kolom berupa retak horizontal di daerah tarik sedangkan pada sepatu kolom umumnya terjadi pada sambungan baut dengan sepatu kolom. Sepatu kolom terangkat dari *footing* setinggi 4.5 cm pada SPTK 12.5, 2.3 cm pada SPTK 25, serta 1 cm pada SPTK 37.5.
4. Pengaruh tinggi sepatu kolom terhadap mode keruntuhan pada beton tidak berpengaruh signifikan karena tidak ada yang mengalami leleh begitupun dengan tulangan pada kolom. Untuk baja sepatu kolom, yang mengalami leleh adalah SPTK 12.5 dan 25.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Sebaiknya ada baut yang menghubungkan antara sepatu kolom dengan kolom. Kesalahan desain sambungan baut pada kolom
2. Baut yang digunakan pada sepatu kolom ke *footing* sebaiknya ditambah atau diameter yang digunakan lebih besar.

3. Karena kegagalan yang terjadi umumnya pada sambungan las, untuk itu pada pembuatan sepatu kolom berikutnya digunakan mur pada baut bagian dalam di sepatu kolom agar memperluas bidang kontak sehingga dapat menahan tegangan geser dan tarik.
4. Keamanan dalam pengerjaan penelitian ini sangat diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, Ikbal. 2012. *Bahan Kuliah: Teknologi Bahan (Beton Precast)*. Departemen Teknik Sipil
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia pustaka utama: Jakarta
- Ervianto, Wulfram I .2006. *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi (Beton Pracetak dan Bekisting)*. Andi: Yogyakarta.
- Fachrul Rizal dan Tavio. 2014. Desain Pemodelan Sambungan Model *Precast* pada perumahan tahan gempa di Indonesia berbasis *Knockdown system*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Izzuddin, B., Vlassis, A., Elghazouli, A., & Nethercot, D. (2008). *Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework*. *Engineering structures*, 30(5), 1308-1318.
- Louwrens, Hubert Mostert. 2014. *Design and construction preferences for connections in the precast concrete industry of South Africa*. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Engineering (Research) in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. 2013. *Design of reinforced concrete*. Wiley Global Education.
- Mishra, G. 2014. *The Constructor - Civil Engineering Home*. Diakses pada 5 Agustus 2018, dari <http://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-of-concrete-columns/8933/>
- Nurjannah, Siti Aisyah. 2011. *Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif Pada Teknologi Konstruksi Indonesia Yang Mendukung Efisiensi Energi Ramah lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Palembang.

Standar Nasional Indonesia (SNI). 2013. tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2013. Badan Standardisasi Nasional.

Tsai, M.-H., & Lin, B.-H. (2008). *Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure*. Engineering structures, 30(12), 3619-3628.

LAMPIRAN

Proses Perakitan Tulangan dan Bekisting



Perakitan Bekisting



Perakitan Tulangan

Proses Pemasangan Strain Gauge



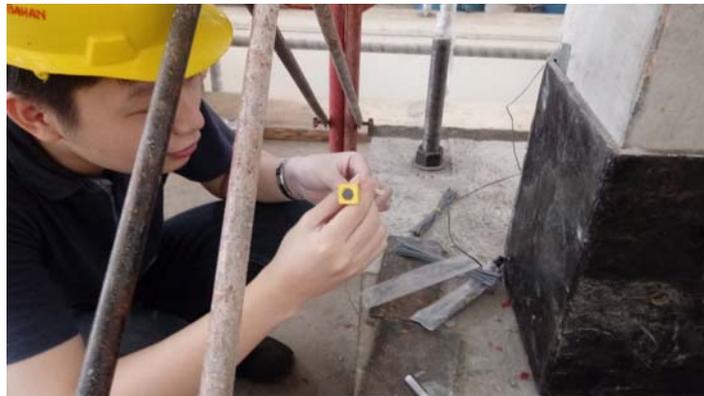
Cyanoacrylate Adhesive



SB Tape



Strain Gauges



Pemasangan Strain Gauge

Proses Pengecoran Beton



Pengambilan Agregat



Penyaringan dan Pencucian Agregat



Mix Beton Menggunakan Concrete Mixer



Uji Slump



Nilai



Hasil Campuran Beton dalam *Mould*



Penuangan dan Penggunaan *Vibrator* pada Campuran Beton

Proses Pengujian Laboratorium



Pengujian Kuat Tekan Beton



Pengujian Kekuatan Sepatu Kolom

