

**TESIS**  
**STUDI DAKTILITAS DAN KEKAKUAN KOLOM RETROFIT**  
**MENGGUNAKAN WIRE MESH DAN SCC AKIBAT BEBAN**  
**SIKLIK LATERAL**

***STUDY OF DUCTILITY AND STIFFNESS OF RETROFITTED***  
***COLUMN USING WIRE MESH AND SELF COMPACTING***  
***CONCRETE DUE TO LATERAL CYCLIC LOAD***

**SYAHRUL SATAR**  
**D012 192 007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**MAKASSAR**  
**2022**

**STUDI DAKTILITAS DAN KEKAKUAN KOLOM RETROFIT  
MENGUNAKAN WIRE MESH DAN SCC AKIBAT BEBAN SIKLIK  
LATERAL**

***STUDY OF DUCTILITY AND STIFFNESS OF RETROFITTED COLUMN  
USING WIRE MESH AND SELF COMPACTING CONCRETE DUE TO  
LATERAL CYCLIC LOAD***

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

SYAHRUL SATAR

D012192007

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

# TESIS

## STUDI DAKTILITAS DAN KEKAKUAN KOLOM RETROFIT MENGUNAKAN *WIRE MESH* DAN *SELF-COMPACTING CONCRETE* AKIBAT BEBAN SIKLIK LATERAL

**SYAHRUL SATAR**

**NIM : D012192007**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

pada tanggal 18 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

**Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.**  
NIP. 19620729 198703 1 001

Pembimbing Pendamping

**Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST. MT**  
NIP. 19791226 200501 1 001



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

**Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil

**Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**  
NIP. 19720619 200012 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syahrul Satar

Nomor mahasiswa : D012192007

Program studi : Teknik Sipil

Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa tulisan saya berjudul:

### **STUDI DAKTILITAS DAN KEKAKUAN KOLOM RETROFIT MENGUNAKAN *WIRE MESH* DAN *SELF-COMPACTING CONCRETE* AKIBAT BEBAN SIKLIK LATERAL**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Agustus 2022

Yang menyatakan,

  
Syahrul Satar

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Daktilitas dan Kekakuan Kolom Retrofit Menggunakan *Wire mesh* dan SCC Akibat Beban Siklik Lateral**” ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami karakter

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta atas segala doa, kasih sayang dan motivasinya.
2. Rektor Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T.,M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Bapak Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Rita Irmawaty, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr.-Ing. Herman Parung, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penelitian ini.
7. Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dan Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penelitian ini.
8. Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng., selaku Sekretaris Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Seluruh Dosen, Staf, dan Karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
10. Bapak Hence Michael Wuaten selaku ketua tim penelitian Kolom Retrofit, Serta Muh. Amrin Kahar, Masnia, dan William Jonathan Anugerah selaku anggota tim penelitian Kolom Retrofit.

11. Seluruh member gempa dan rekan KKD Rekayasa Struktur yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
12. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2015 yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu yang senantiasa memberikan bantuan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 18 Agustus 2022

**Penulis**

## ABSTRAK

**SYAHRUL SATAR.** Studi Daktilitas dan Kekakuan Kolom Retrofit Menggunakan *Wire mesh* dan SCC Akibat Beban Siklik Lateral (Dibimbing Oleh **Herman Parung** dan **Andi Arwin Amiruddin**)

Retrofit adalah salah satu cara memperbaiki kerusakan dan meningkatkan daktilitas kolom akibat gempa bumi. Pemilihan *wire mesh* dan *self-compacting concrete* sebagai material retrofit, karena mudah diproses dan mudah diperoleh. Penelitian ini merupakan hasil studi eksperimental menggunakan benda uji kolom yang diretrofit menggunakan *wire mesh* dan *Self-Compacting Concrete (SCC)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku daktilitas dan kekakuan kolom retrofit menggunakan *wire mesh* dan SCC. Benda uji terdiri dari tiga tipe kolom, yaitu kolom kontrol (KK) tanpa diretrofit, kolom yang diretrofit penuh (KR-1) dan kolom yang diretrofit pada daerah sendi plastis (KR-2). Benda uji kemudian diuji dengan beban siklik berdasarkan metode *displacement control*. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom yang diretrofit menggunakan *wire mesh* dan SCC yaitu, benda uji KR-1 dan KR-2 menghasilkan daktilitas dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan kolom yang tidak diretrofit (KK). Selain itu, nilai daktilitas dan kekakuan yang dihasilkan oleh benda uji KR-1 dan KR-2 hampir sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa kolom yang diretrofit dengan *wire mesh* dan SCC pada daerah sendi plastis, akan menghasilkan kemampuan yang sama dengan kolom yang diretrofit dengan *wire mesh* dan SCC pada seluruh badan kolom.

**Kata kunci:** Retrofit, *Wire mesh*, Beban Siklik, Daktilitas, Kekakuan.

## ABSTRACT

**SYAHRUL SATAR.** *Study Of Ductility And Stiffness Of Retrofitted Column Using Wire mesh And Self-Compacting Concrete Due To Lateral Cyclic Load* (Supervised By **Herman Parung** And **Andi Arwin Amiruddin**)

Retrofit is one way to repair damage and increase column ductility due to earthquakes. Selection of wire mesh and self-compacting concrete as retrofit materials, because they are easy to process and easy to obtain. This research is the result of an experimental study using retrofitted column specimens using wire mesh and Self-Compacting Concrete (SCC). This study aims to analyze the ductility and stiffness behavior of retrofit columns using wire mesh and SCC. The specimens consisted of three types of columns, namely control column (KK) without retrofitting, fully retrofitted column (KR-1) and retrofitted column in the plastic hinge area (KR-2). The test item is then tested with a cyclical load according to the displacement control method. The test results show that the retrofitted support with wire mesh and SCC, namely the samples KR-1 and KR-2, had a higher ductility and stiffness than the non-retrofitted (KK) support. In addition, the ductility and stiffness values of the test specimens KR-1 and KR-2 are almost the same, so that it can be concluded that the column retrofitted with wire mesh and SCC in the plastic hinge area has the same capability, with the retrofitted column with wire mesh and SCC on the entire column body.

**Keywords:** Retrofit, Wire mesh, Cyclic Load, Ductility, Stiffness.

## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Batasan Masalah .....	3
E. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
A. Kolom.....	6
1. Definisi Kolom .....	6
2. Kekuatan Kolom .....	6
3. Degradasi Kekuatan Pada Kolom Dengan Beban Siklik .....	8
B. Tipe Metode Retrofit Kolom.....	9

1.	Jaket Beton .....	9
2.	Jaket Baja.....	11
3.	Kekangan <i>Fiber Reinforced Polymer</i> .....	14
4.	Jaket Laminasi <i>Ferrocement</i> .....	16
C.	Self Compacting Concrete .....	17
D.	Wire mesh.....	19
E.	Daktilitas .....	20
F.	Titik Leleh ( <i>Yield Point</i> ) .....	23
G.	Kekakuan .....	25
H.	Sendi Plastis .....	26
1.	Mekanisme Sendi Plastis.....	27
2.	Pengekangan Pada Daerah Sendi Plastis .....	28
3.	Panjang Sendi Plastis.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....		33
A.	Diagram Alir Penelitian.....	33
B.	Material dan Peralatan .....	34
1.	Material Penelitian.....	34
2.	Peralatan Penelitian .....	34
C.	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	34
D.	Desain Benda Uji .....	35
1.	Dimensi Benda Uji.....	35
2.	Penulangan Benda Uji.....	36
3.	Retrofit.....	37
E.	Tahap Penelitian .....	39
1.	Persiapan .....	39

2.	Tahap Pengujian Material.....	39
3.	Tahap Pembuatan dan Perawatan Benda uji.....	40
4.	Tahap <i>Setting Up</i> Peralatan Pengujian.....	43
5.	Tahap Pengujian Benda uji.....	44
6.	Pengumpulan dan Pelaporan .....	47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		48
A.	Karakteristik Material.....	48
1.	Komposisi Material .....	48
2.	Kuat Tekan Beton.....	49
3.	Kuat Tarik Baja .....	50
B.	Hubungan Beban dan Lendutan.....	51
1.	Hubungan Beban dan Lendutan Benda uji KK.....	51
2.	Hubungan Beban dan Lendutan Benda uji KR-1 .....	53
3.	Hubungan Beban dan Lendutan Benda uji KR-2 .....	54
4.	Hubungan Beban dan Lendutan Semua Benda uji .....	56
	Beban Maksimum (kN) .....	57
	Perbandingan ke Monolit .....	57
	(%).....	57
C.	Distribusi Regangan Tulangan .....	58
1.	Distribusi Regangan Pada Tulangan Longitudinal .....	59
2.	Distribusi Regangan Pada Tulangan Transversal .....	60
D.	Beban Leleh dan Perpindahan Leleh .....	61
E.	Daktilitas .....	66
F.	Kekakuan .....	70
1.	Kekakuan Kolom Kontrol (KK) .....	70

2.	Kekakuan Kolom Retrofit 1 (KR-1).....	72
3.	Kekakuan Kolom Retrofit 2 (KR-2).....	74
4.	Perbandingan Kekakuan Pada Semua Benda uji .....	76
5.	Kekakuan Awal.....	78
G.	Pola Retak .....	80
1.	Pola Retak Benda uji KK .....	80
2.	Pola Retak Benda uji KR-1 .....	81
3.	Pola Retak Benda uji KR-2 .....	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		85
A.	Kesimpulan .....	85
B.	Saran .....	86
DAFTAR PUSTAKA.....		87
LAMPIRAN .....		93

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Diagram Interaksi Kolom M-P.....	7
<b>Gambar 2.</b> Variasi metode concrete jacketing pada kolom.....	10
<b>Gambar 3.</b> Contoh metode <i>steel jacketing</i> pada kolom.....	12
<b>Gambar 4.</b> Model benda uji penelitian Wu, dkk (2003).....	13
<b>Gambar 5.</b> Model benda uji penelitian Xiao dan Wu (2003).....	13
<b>Gambar 6.</b> Contoh metode Fiber Reinforced Polymer jacketing pada kolom.....	15
<b>Gambar 7.</b> Contoh metode ferrocement laminate jacketing pada kolom..	16
<b>Gambar 8.</b> Komposisi campuran <i>Self-Compacting Concrete</i> .....	19
<b>Gambar 9.</b> Material Wire mesh M6.....	19
<b>Gambar 10.</b> Daktilitas Regangan.....	21
<b>Gambar 11.</b> Daktilitas Kelengkungan.....	21
<b>Gambar 12.</b> Daktilitas Perpindahan.....	22
<b>Gambar 13.</b> Titik leleh kurva Beban-displacemen (Chen et al).....	24
<b>Gambar 14.</b> Titik leleh pada kurva Beban-displacemen (Mander).....	24
<b>Gambar 15.</b> Titik leleh pada kurva Beban - displacemen (Park, R).....	25
<b>Gambar 16.</b> Kekakuan struktur (Sumber: Park dan Eom, 2004).....	26
<b>Gambar 17.</b> Letak Sendi Plastis.....	27
<b>Gambar 18.</b> Diagram Alir Penelitian.....	33
<b>Gambar 19.</b> Penulangan benda uji.....	36
<b>Gambar 20.</b> Dimensi retrofit pada benda uji KR-1.....	37
<b>Gambar 21.</b> Dimensi retrofit pada benda uji KR-2.....	38
<b>Gambar 22.</b> Perakitan Tulangan dan Pemasangan Strain Gauge.....	41
<b>Gambar 23.</b> Pengecoran Benda Uji.....	41
<b>Gambar 24.</b> Setting up pengujian.....	44
<b>Gambar 25.</b> Siklus pembebanan menurut SNI 7834:2012.....	45
<b>Gambar 26.</b> Siklus pembebanan benda uji.....	45
<b>Gambar 27.</b> Hubungan beban dan lendutan benda uji KK.....	51
<b>Gambar 28.</b> Hubungan beban dan lendutan benda uji KR-1.....	54

<b>Gambar 29.</b> Hubungan beban dan lendutan benda uji KR-2 .....	55
<b>Gambar 30.</b> Grafik Hubungan Beban Maksimum dengan <i>Displacement</i> .....	57
<b>Gambar 31.</b> Perbandingan Kekuatan Benda uji .....	58
<b>Gambar 32.</b> Distribusi regangan pada tulangan longitudinal .....	59
<b>Gambar 33.</b> Distribusi regangan pada tulangan transversal .....	60
<b>Gambar 34.</b> Kurva titik leleh KK metode General Yield .....	61
<b>Gambar 35.</b> Kurva titik leleh KR-1 metode General Yield .....	62
<b>Gambar 36.</b> Kurva titik leleh KR-2 metode General Yield .....	62
<b>Gambar 37.</b> Kurva titik leleh KK metode Mander .....	63
<b>Gambar 38.</b> Kurva titik leleh KR-1 metode Mander .....	63
<b>Gambar 39.</b> Kurva titik leleh KR-2 metode Mander .....	64
<b>Gambar 40.</b> Kurva titik leleh KK metode Luas Area .....	64
<b>Gambar 41.</b> Kurva titik leleh KR-1 metode Luas Area .....	65
<b>Gambar 42.</b> Kurva titik leleh KR-2 metode Luas Area .....	65
<b>Gambar 43.</b> Perbandingan nilai daktilitas akibat beban tekan .....	67
<b>Gambar 44.</b> Perbandingan nilai daktilitas akibat beban tekan .....	67
<b>Gambar 45.</b> Perbandingan nilai rata-rata daktilitas benda uji .....	69
<b>Gambar 46.</b> Kekakuan benda uji kolom kontrol (KK) .....	72
<b>Gambar 47.</b> Kekakuan benda uji kolom retrofit 1 (KR-1) .....	74
<b>Gambar 48.</b> Kekakuan benda uji kolom retrofit 2 (KR-2) .....	76
<b>Gambar 49.</b> Perbandingan kekakuan pada benda uji kondisi tekan .....	77
<b>Gambar 50.</b> Perbandingan kekakuan pada benda uji kondisi tarik .....	77
<b>Gambar 51.</b> Pola retak pada benda uji KK .....	81
<b>Gambar 52.</b> Pola retak pada benda uji KR-1 .....	82
<b>Gambar 53.</b> Pola retak pada benda uji KR-2 .....	83

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Material Penelitian .....	34
<b>Tabel 2.</b> Dimensi benda uji .....	35
<b>Tabel 3.</b> Penulangan benda uji kolom dan retrofit.....	36
<b>Tabel 4.</b> Dimensi retrofit pada benda uji .....	37
<b>Tabel 5.</b> Perkiraan Sendi Plastis.....	39
<b>Tabel 6.</b> Komposisi campuran beton normal.....	48
<b>Tabel 7.</b> Komposisi campuran beton memadat sendiri .....	49
<b>Tabel 8.</b> Hasil uji kuat tekan beton normal.....	49
<b>Tabel 9.</b> Hasil uji kuat tekan self-compacting concrete .....	50
<b>Tabel 10.</b> Hasil uji kuat tarik baja tulangan .....	50
<b>Tabel 11.</b> Hasil uji kuat tarik wire mesh.....	51
<b>Tabel 12.</b> Beban-Displacement Benda Uji KK .....	52
<b>Tabel 13.</b> Beban-Displacement Benda Uji KR-1 .....	53
<b>Tabel 14.</b> Beban-Displacement Benda Uji KR-2 .....	55
<b>Tabel 15.</b> Perbandingan tingkat kekuatan pada benda uji .....	57
<b>Tabel 16.</b> Rekapitulasi Beban Leleh dan Perpindahan Leleh.....	66
<b>Tabel 17.</b> Daktilitas Benda uji .....	68
<b>Tabel 18.</b> Klasifikasi daktilitas benda uji berdasarkan ASCE 41-17 .....	69
<b>Tabel 19.</b> Kekakuan benda uji KK .....	71
<b>Tabel 20.</b> Kekakuan benda uji KR-1 .....	73
<b>Tabel 21.</b> Kekakuan benda uji KR-2 .....	75
<b>Tabel 22.</b> Perbandingan kekakuan pada semua benda uji .....	78
<b>Tabel 23.</b> Pemenuhan syarat kekakuan awal .....	79

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara dengan intensitas kegempaan yang aktif di dunia, karena negara ini terletak di kawasan Cincin Api Pasifik. Diantara beberapa kejadian gempa tersebut, banyak menimbulkan korban jiwa. Hal itu terjadi karena rusak atau runtuhnya suatu konstruksi saat terjadi gempa.

Menurut Parung (2012), ribuan orang meninggal secara langsung atau tidak langsung akibat gempa setiap tahun. Selain itu, gempa bumi tidak hanya menyebabkan kerusakan pada struktur, tetapi juga menyebabkan ledakan gas dan kebakaran, dan dalam beberapa tahun terakhir, gempa bumi di Jepang, Cina, dan Indonesia telah menelan banyak korban jiwa.

Menurut Park dan Paulay (1975), perencanaan dan daktilitas yang buruk merupakan penyebab utama kerusakan struktur selama gempa. Dimana kedua hal tersebut merupakan syarat penting dan pertimbangan ekonomis untuk mencapai agar energi seismik dapat diserap dan disalurkan melalui mekanisme inelastis namun masih dalam kondisi terkontrol.

Struktur kolom yang berperan sebagai portal dominan untuk memikul beban aksial harus mempunyai kekuatan, stabilitas, dan daktilitas untuk mentransfer beban dari balok melalui pondasi ke tanah. Sebagai komponen dari suatu struktur dengan fungsi dan peran tersebut, struktur kolom sangat

esensial karena kegagalan kolom secara langsung menyebabkan runtuhnya komponen struktur lain yang terhubung dengan kolom.

Menurut Williams dkk. (1997), struktur yang mengalami kerusakan sedang dapat diperbaiki dengan berbagai cara. Konsep retrofit merupakan salah satu cara memperbaiki dan memperkuat suatu struktur untuk berfungsi meningkatkan atau mengembalikan kekuatan dan daktilitas. Umumnya, metode perbaikan kolom dikategorikan berdasarkan bahan yang digunakan. Ini termasuk penggunaan pelapis beton (*concrete jacketing*), pelapis baja (*steel jacketing*), pelapis laminasi ferrocement (*ferrocement laminate jacketing*), pemasangan pengekangan fiber reinforced polymer (FRP), dan kombinasi material lainnya (Ma, et al., 2016).

Setiap metode retrofit kolom memiliki kelebihan dan kelemahannya masing-masing. Karena metode implementasi yang sederhana dan praktis serta biaya yang terjangkau, penelitian yang langka tentang perkuatan kolom dengan wire mesh membuka ruang untuk penelitian lebih lanjut atau modifikasi dengan menggunakan wire mesh dan self-compacting concrete sebagai bahan retrofit, yang dipasang pada kolom beton bertulang persegi. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka disusunlah tugas akhir dengan judul:

**“Studi Daktilitas dan Kekakuan Kolom Retrofit Menggunakan *Wire mesh* dan *Self Compacting Concrete* Akibat Beban Siklik Lateral”.**

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas maka rumusan masalah penelitian ini yakni:

1. Bagaimana perilaku daktilitas kolom retrofit yang menggunakan *wire mesh* dan SCC akibat beban siklik ?
2. Bagaimana perilaku kekakuan kolom retrofit yang menggunakan *wire mesh* dan SCC akibat beban siklik ?

## C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis perilaku daktilitas kolom retrofit yang menggunakan *wire mesh* dan beton SCC akibat beban siklik
2. Untuk menganalisis perilaku kekakuan kolom retrofit yang menggunakan *wire mesh* dan beton SCC akibat beban siklik

## D. Batasan Masalah

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model benda uji adalah kolom persegi beton bertulang yang terbuat dari beton normal dan beton memadat sendiri (*self-compacting concrete*) sebagai bahan retrofit. Mutu Beton  $f'c = 25$  Mpa
2. Benda uji yang digunakan yakni kolom bujur sangkar dengan dimensi 300mm x 300 mm, tulangan pokok (longitudinal) menggunakan tulangan ulir 8D13 dan tulangan sengkang (transversal) menggunakan tulangan polos  $\varnothing 8 - 150$ .

3. Bahan retrofit menggunakan *Self-Compacting Concrete* dengan mutu  $f'c$  25 Mpa dan *wire mesh* M6 yang dipasang di seluruh badan kolom dan dipasang pada area perkiraan sendi plastis kolom.
4. Model benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolom kantiliver (*single curvature*) dengan bentang geser yang konstan.
5. Beban kerja horisontal adalah sebagai beban siklik dengan riwayat beban yang sama pada semua model benda uji berdasarkan SNI 7834:2012.

#### **E. Sistematika Penulisan**

Proses penulisan tugas akhir ini akan dijabarkan dalam sebuah sistematika penulisan yang terbagi dalam lima bab utama sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan secara singkat.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menyajikan kerangka konseptual singkat penelitian dan gambaran umum sampel yang akan diteliti.

#### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menyajikan metode penelitian yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian dari awal persiapan penelitian hingga mencapai hasil penelitian

**BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang dilaksanakan.

**BAB V PENUTUP**

Kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran peneitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Kolom**

##### **1. Definisi Kolom**

Menurut SNI 2847-2019 sehubungan dengan persyaratan beton struktural bangunan gedung, kolom adalah elemen struktur yang harus dirancang untuk memenuhi beban aksial izin yang bekerja pada setiap lantai atau atap dan momen maksimum akibat beban terfaktor pada lantai atau bentang atap terdekat yang ditinjau. Kolom yang digunakan sebagai bagian dari sistem rangka struktur menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser.

Menurut Wang dan Ferguson (1986), berdasarkan susunan tulangnya, kolom-kolom tersebut diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu kolom tarik, kolom spiral dan kolom komposit. Sedangkan menurut Nawy (1990), Kolom dapat dikategorikan berdasarkan bentuk penempatan tulangan, letak beban yang bekerja pada penampang kolom, dan panjang kolom relatif terhadap dimensi lateralnya.

##### **2. Kekuatan Kolom**

Untuk kolom yang memikul beban sentris, kapasitas beban yang dapat dipikul kolom pendek ( $P_o$ ) dan kemampuan kolom bersengkang untuk memikul beban aksial kerja maksimum ( $P_{n \max}$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (1)$$

$$P_{n \max} = 0,8 \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \quad (2)$$

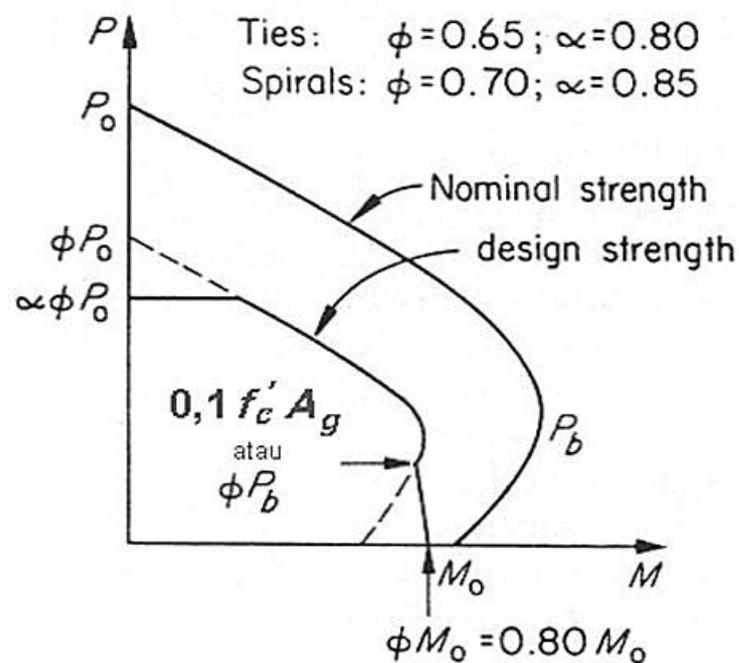
Dimana :

$A_g$  = luas bruto penampang beton.

$A_{st}$  = luas penampang tulangan longitudinal total.

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa).

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan (MPa).



**Gambar 1.** Diagram Interaksi Kolom M-P

Pengekangan merupakan cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan aksial pada kolom, sehingga kapasitas aksial teoritis kolom persegi dengan pengekangan dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_{n \max} = 0,80 \cdot [0,85 \cdot \psi_f \cdot f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (3)$$

dengan :

$\psi_f$  = faktor reduksi material pengekangan.

$f'_{cc}$  = kuat tekan beton terkekang.

Nilai kuat tekan beton dalam pengekangan ( $f'_{cc}$ ) pada persamaan di atas dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan oleh Mander, dkk. (1988) persamaan yang diusulkan dapat dihitung dalam bentuk berikut:

$$f'_{cc} = f'_c \left( 2,25 \sqrt{1 + 7,9 \cdot \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \cdot \frac{f_l}{f'_c} - 1,25 \right) \quad (4)$$

Dimana persamaan tersebut dipengaruhi oleh faktor tekanan pengekangan ( $f_l$ ), faktor efisiensi bentuk kolom persegi ( $k_a$ ) dan perbandingan perkuatan kotor untuk kolom persegi ( $\rho_g$ ).

### 3. Degradasi Kekuatan Pada Kolom Dengan Beban Siklik

Menurut SNI 7834:2012, kolom tidak boleh mengalami degradasi kekuatan saat diberikan beban siklik. Degradasi kekuatan dapat terjadi apabila gaya puncak ( $P_f$ ) yang bekerja pada kolom kurang dari 75% beban lateral maksimum ( $E_{\max}$ ) pada arah pembebanan yang sama.

Dengan demikian evaluasi degradasi kekuatan pada kolom yang dibebani dengan beban siklik dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$D = 1 - P_f/E_{\max} \quad (5)$$

dengan :

D = degradasi kekuatan kolom yang dibebani beban siklik.

$P_f$  = gaya puncak akibat beban siklik yang bekerja pada kolom.

Kolom yang dibebani beban siklik dinyatakan tidak mengalami degradasi kekuatan apabila memenuhi persyaratan dalam persamaan berikut :

$$P_f > 0,75.E_{max} \quad (6)$$

## **B. Tipe Metode Retrofit Kolom**

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, metode retrofit berdasarkan bahan yang digunakan sebagai kekangan pada kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa metode antara lain: kekangan beton (*concrete jacketing*), kekangan baja (*steel jacketing*), kekangan lapisan ferrocement (*ferrocement laminate jacket*), kekangan *Fibre Reinforced Polymer (FRP confinement)* dan kekangan kombinasi.

### **1. Jaket Beton**

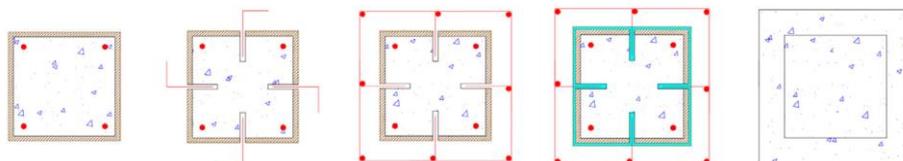
Pemakaian kekangan beton dianggap sebagai metode pertama yang digunakan dan dikembangkan untuk mengatasi kerusakan kolom. Cara ini dilakukan dengan menambahkan lapisan tulangan baru untuk menutupi bagian kolom yang rusak dan beton baru yang mengelilinginya. (Ma, dkk., 2017).

Secara umum efektifitas penggunaan pelapis beton sangat erat kaitannya dengan perilaku komposit kedua bahan tersebut, sehingga dengan metode ini perhatian harus diberikan pada perawatan antar muka atau permukaan beton lama dengan lapisan pelapis beton yang baru. Berbagai bahan telah dicoba untuk meningkatkan daya rekat antar muka,

seperti penggunaan epoksi dan pengencang baja. Sedangkan untuk mengurangi ketebalan lapisan jaket beton dapat digunakan beton mutu tinggi, dan untuk mengatasi sulitnya memadatkan beton dapat digunakan beton self-compacting (SCC) dan *short concrete* sebagai lapisan selimut beton (Ma, dkk, 2017).

Bett, et.al (1988), studi pada kolom yang rusak akibat beban aksial dan lateral serta perkuatan dengan kolom beton menunjukkan bahwa kekakuan dan ketahanan terhadap beban lateral kolom perkuatan lebih tinggi daripada kemampuan kolom tanpa perkuatan. Sedangkan penelitian yang sama dilakukan Ersoy, et. al (1993) dengan parameter yaitu, kemampuan kolom yang diretrofit menggunakan jaket beton terhadap beban uniaksial dan beban siklik. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kolom yang diperkuat menggunakan jaket beton lebih baik dari pada kolom yang tanpa perkuatan dengan jaket beton.

Eduardo, dkk (2005) melakukan penelitian terhadap 7 pilar kolom skala penuh yang diuji menggunakan beban monotonik dengan parameter yaitu pengaruh lekatan pada permukaan lapisan jaket beton. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kemampuan perilaku komposit pada kolom yang diperkuat langsung dengan kekangan beton lebih baik dari pada kolom yang telah rusak, kemudian diperbaiki.



**Gambar 2.** Variasi metode concrete jacketing pada kolom

Yuce, dkk. (2007) melakukan penelitian pada kolom bertulang dengan beton self-compacting sebagai bahan pengekan dan kemudian mengujinya dengan beban aksial konstan dan beban siklik. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa kolom yang diperkuat dengan jaket beton yang terbuat dari beton self-compacting dapat meningkatkan kekakuan lateral kolom dan mengembalikan kekuatan dan daktilitas bagian kolom yang rusak.

Selain memiliki kelebihan, penggunaan jaket beton pada kolom juga memiliki kelemahan yakni membutuhkan biaya yang tinggi saat proses pembersihan permukaan beton lama dan kekasaran antarmuka mempengaruhi kompatibilitas penampang komposit. Selain itu, pengeboran untuk pemasangan konektor baja dapat merusak struktur yang ada, menambah dimensi kolom yang diperbaiki, dan mengurangi nilai estetika penampang kolom (Ma et al, 2017).

## **2. Jaket Baja**

Proses retrofit kolom jaket baja dimulai ketika Sakino dan Ishibashi melakukan penelitian tahun 1985 dengan menggunakan model spesimen pipa baja isi beton yang memiliki tujuan untuk mengetahui peningkatan kekuatan dan daktilitas kolom. Hasil penelitian yang didapatkan bahwa kolom mengalami tekuk pada daerah sendi plastis ketika kolom tersebut dikenai gaya lateral (Ma, dkk, 2017).



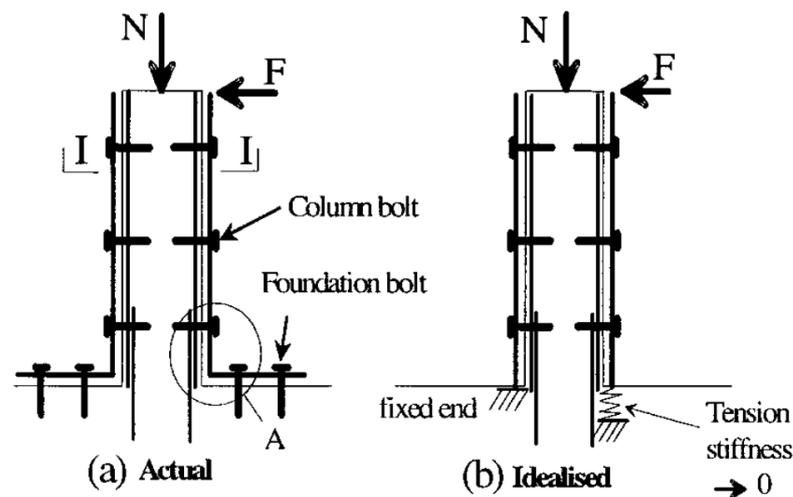
**Gambar 3.** Contoh metode *steel jacketing* pada kolom

(Sumber : [www.horsen.com](http://www.horsen.com))

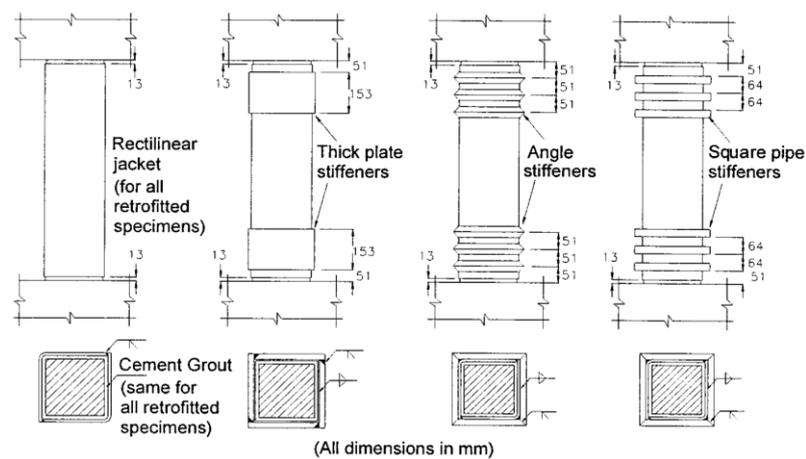
Ghobarah, dkk. (1997), menggunakan baja bergelombang (*corrugated steel*) sebagai material pengekang yang dipasang pada daerah sendi plastis kolom untuk meningkatkan kuat geser dan daktilitas lateral kolom. Hasil dari penelitian ini yaitu pemasangan *corrugated steel* sebagai kekangan atau *steel jacket* pada kolom uji dengan beban aksial dan beban siklik konstan, dapat meningkatkan kapasitas kekuatan kolom terhadap pengaruh beban gempa dan menentukan efektifitas beban gempa. penggunaan jaket baja.

Wu, dkk. (2003) melakukan penelitian dengan memakai pelat baja dan konektor baja yang dipasang sebagai kekangan pada kolom beton bertulang persegi panjang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jaket baja sebagai kekangan dapat secara signifikan meningkatkan daktilitas kolom. Xiao dan Wu (2003) melakukan penelitian yang sama dengan menggunakan 4 variasi benda uji, yaitu kolom dengan perkuatan penuh dengan pelat baja dengan setiap sudutnya dilas, pelat baja, baja siku, dan pipa persegi yang dipasang hanya di area sendi plastis tumpuan sebagai

sebuah pengaku. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa penggunaan steel jacketing merupakan cara yang paling efisien untuk meningkatkan daktilitas penampang kolom yang rusak.



**Gambar 4.** Model benda uji penelitian Wu, dkk (2003)



**Gambar 5.** Model benda uji penelitian Xiao dan Wu (2003)

Sarno dkk. (2005), penelitian menggunakan kekangan baja yang terbuat dari pelat baja tahan karat yang dipasang sebagai kerangka pada kolom beton bertulang persegi. Penggunaan pelat baja tahan karat sebagai penopang baja dapat secara signifikan meningkatkan deformabilitas plastis

dan kapasitas disipasi energi kolom. Selain itu, penggunaan pelat baja tahan karat sebagai rangka dapat menghindari kegagalan akibat tekuk lokal. Selain kelebihan, hasil penelitian ini juga menemukan kelemahan yaitu efektifitas penampang yang sangat rendah pada sudut-sudut atau lengkungan, sehingga kemampuan lentur kolom menjadi tidak efektif sehingga membatasi deformabilitas kolom.

### **3. Kekangan *Fiber Reinforced Polymer***

Menurut Saadatmanesh, dkk. (1994), Seible, dkk. (1997), metode perkuatan kolom telah berkembang sejak awal tahun 1990-an dengan penggunaan material *fiber reinforced polymer* (FRP) sebagai pelapis luar kolom yang mengalami kerusakan. Penggunaan *fiber reinforced polymer* (FRP) sebagai sistem penahan merupakan metode yang sangat populer hingga saat ini (Ma, et.al, 2016).

Sebuah studi yang bertujuan untuk memperbaiki kolom yang rusak dengan FRP juga dilakukan oleh Tastani et al. (2004). Dilakukan dengan menggunakan kriteria perbaikan untuk kolom yang rusak oleh suhu rendah, Liu, et.al (2005) dengan kriteria perbaikan pada kolom akibat beban aksial dan Green, et.al (2006) kriteria perbaikan pada kolom akibat pengaruh korosi elektrokimia yang dipercepat.

Sebuah studi tentang perbaikan kolom yang rusak dengan FRP juga diterbitkan oleh Tastani, et.al. (2004). Dilakukan dengan menggunakan parameter perbaikan untuk kolom yang rusak akibat temperatur rendah, Liu, et.al (2005) dengan parameter perbaikan pada kolom akibat beban aksial

dan Green, et.al (2006) dengan parameter perbaikan pada kolom akibat pengaruh percepatan korosi elektrokimia.

Wu, dkk. (2006) melakukan penelitian lebih lanjut pada sampel kolom beton bertulang persegi yang diperkuat dengan FRP. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh radius sudut pada tepi kolom persegi sangat mempengaruhi efektifitas pemasangan kekangan pada kolom. Xiao dan Wu (2000) melakukan studi polimer yang diperkuat serat karbon (CFRP) pada spesimen silinder beton yang dilapisi dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan diuji dengan beban aksial. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa penggabungan CFRP sebagai kekangan dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton, namun hal ini sangat tergantung pada kualitas beton yang digunakan dan nilai modulus kekangan.



**Gambar 6.** Contoh metode *Fiber Reinforced Polymer* jacketing pada kolom

(Sumber : [www.theconstructor.org](http://www.theconstructor.org))

Valdmanis, dkk. (2007) melakukan penelitian serupa dengan menganalisis sifat mekanik beton CFRP dan menemukan bahwa penggunaan CFRP dapat menurunkan kekuatan hingga 50%. Penelitian

yang sama juga dipublikasikan oleh Panjehpour, et.al. (2016) dilakukan pada sampel berbentuk silinder yang rusak akibat beban aksial dan beban uniaksial, dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa sampel yang ditopang dengan CFRP memiliki kemampuan menyerap energi 3 kali lebih besar dibandingkan sampel yang tidak dapat ditahan dengan CFRP (Ma, dkk, 2016).

#### 4. **Jaket Laminasi *Ferrocement***

Menurut Baston dkk. (1988), ferrocement dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis beton bertulang yang terbuat dari kombinasi mortar dan kawat atau bahan berserat lainnya. Dari hasil pengujian dilaporkan bahwa penggunaan material ferrocement dapat meningkatkan kekuatan, tahan terhadap retak, daktilitas dan durabilitas komponen struktur. Selain itu, ferrocement juga sangat tipis, biasanya tebalnya kurang dari 25mm.



**Gambar 7.** Contoh metode *ferrocement* laminate jacketing pada kolom

(Sumber: [www.theconstructor.org](http://www.theconstructor.org))

Penelitian penggunaan ferrocement sebagai perkuatan kolom dimulai pada tahun 2001 oleh Takiguchi dan Abdullah. Dalam studi ini, mereka menganalisis empat sampel kolom yang diperkuat dengan kawat pengukur

yang berbeda dan dua sampel kolom yang tidak diperkuat dengan ferrocement. Selanjutnya, benda uji kolom diuji dengan kombinasi beban berulang dan beban aksial. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom yang diperkuat dengan ferrocement memiliki kemampuan geser yang lebih baik dibandingkan dengan kolom yang tidak diperkuat dengan ferrocement.

### **C. Self Compacting Concrete**

Pengembangan *self-compacting concrete* (SCC) merupakan salah satu kemajuan paling inovatif dalam sejarah perkembangan beton (Efnarc, 2005). Beton memadat sendiri atau dikenal dengan *self-compacting concrete* (SCC) pertama kali dikembangkan di Jepang pada tahun 1986. Hal ini diawali dengan studi pendahuluan untuk mengetahui kinerja dari beton *self-compacting*.

Menurut Okamura dan Ouchi (2003), beton *self-compacting* adalah beton segar, sangat cair yang dapat mengalir dengan sendirinya dan mengisi ruang dalam cetakan dengan sedikit atau tanpa getaran. Menurut Federasi Eropa Spesialis Kimia dan Sistem Konstruksi Beton (EFNARCS), beton pepadatan sendiri adalah bahan beton inovatif yang tidak memerlukan getaran atau kompresi karena beton dapat mengalir dan rongga dapat mencakup tempat-tempat yang sulit dijangkau, misalnya dalam struktur dengan penulangan yang kompleks (Efnarcs, 2005).

Menurut Nagataki dan Fujiwara (1995), karakteristik beton yang dapat dipadatkan sendiri adalah memiliki slump pada kisaran 500-700 mm. Menurut Okamura dan Ouchi (2003), nilai slump pada *self compacting*

concrete menunjukkan bahwa campuran atau pasta beton memiliki nilai kuat geser dan lentur yang rendah, memungkinkan beton mudah menembus dan mengalir, dan kuat pisah yang tinggi antara agregat dengan pasta beton (segregasi) sementara beton mengalir untuk mengisi zona tulangan. Menurut *European Federation of Specialist Chemicals and Concrete Constructions Systems* (2005), untuk mencapai workability yang baik dari self-compacting concrete, beton harus memiliki pencampuran (fillability) yang baik ketika mengisi ruang, zona atau ruang sempit, dan harus memiliki pencampuran yang baik (passability) saat melewati dan memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap segregasi.

Menurut Hela dan Hubertova (2007), kemampuan alir pada ketahanan segregasi yang tinggi pada beton self-compacting sangat dipengaruhi oleh penggunaan superplasticizer yang sesuai, komposisi agregat, faktor air-semen yang rendah dan diameter agregat pengisi beton 0,125. mm. Menurut Okumura dan Ouchi (2003), proporsi campuran beton yang dapat memadatkan sendiri terdiri dari agregat kasar dengan batas 50% volume padatan, agregat halus dengan batas 40% volume mortar,

rasio volume rendah untuk *flyash* dan penggunaan dosis superplasticizer.



**Gambar 8.** Komposisi campuran *Self-Compacting Concrete*

#### D. Wire mesh

Wire mesh adalah jaring tulangan baja berbentuk bujur sangkar yang dapat digunakan untuk memperkuat beton, terutama pada struktur lantai beton bertulang. Wire mesh cukup fleksibel dalam membentuk pola pembatas seperti persegi, heksagonal, melingkar, dan instalasi Wire mesh dengan jumlah lapisan tertentu dapat menghasilkan nilai daktilitas yang signifikan pada kolom yang dibebani beban siklik dan meningkatkan kekuatan geser kolom (Kadir, dkk, 2016).



**Gambar 9.** Material *Wire mesh* M6

Pemakaian *wire mesh* sebagai material retrofit dapat menjadi solusi dan alternatif material untuk material retrofit pada bangunan gedung di daerah tahan gempa terutama daerah terpencil, mengingat material ini mudah didapatkan di pasaran dan harganya yang cukup terjangkau serta mudah ditangani karena tidak diperlukan keahlian khusus dalam proses pengerjaan.

### **E. Daktilitas**

Menurut Park dan Paulay (1975), daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk menerima lendutan yang cukup pada beban maksimum tanpa mengurangi kekuatannya secara signifikan sebelum terjadi patah.

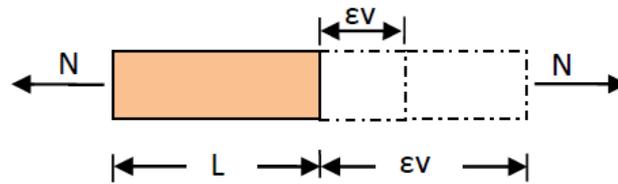
Faktor daktilitas ( $\mu$ ) struktur gedung adalah simpangan maksimum ( $\delta_m$ ) struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana saat mencapai keadaan sesaat sebelum keruntuhan dan waktu pelepasan awal ( $\delta_y$ ). Dalam keadaan elastis penuh, nilainya = 1,0. Derajat daktilitas struktur dipengaruhi oleh pola retak atau sendi plastis. Struktur bangunan diharapkan memiliki sendi plastis pada ujung balok daripada kolom atau dinding yang menopang balok. Menurut Paulay & Priestley (1992), daktilitas dapat dibagi sebagai berikut:

#### 1. Daktilitas Regangan (*Strain Ductility*)

Daktilitas regangan ( $\mu_\varepsilon$ ) adalah rasio antara regangan maksimum ( $\varepsilon_u$ ) dengan regangan leleh ( $\varepsilon_y$ ) pada balok di bawah tegangan aksial atau beban tekan.

$$\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \quad (6)$$

Seperti terlihat pada gambar berikut:



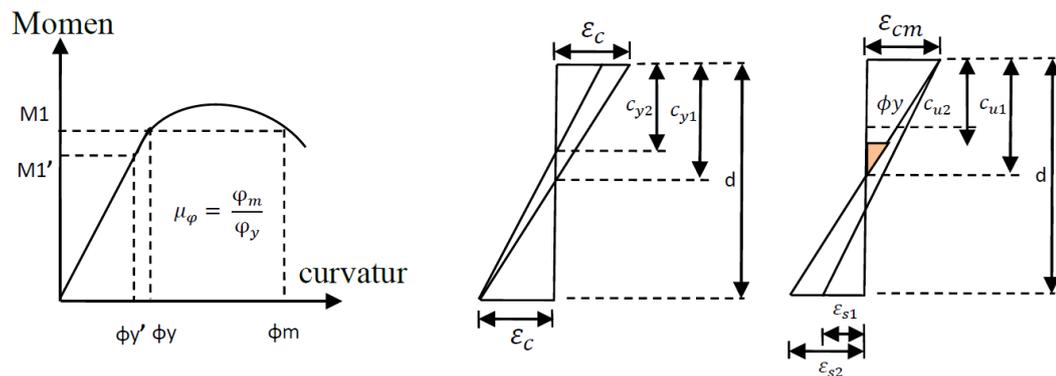
**Gambar 10.** Daktilitas Regangan

## 2. Daktilitas Kelengkungan (*Curvature Ductility*)

Daktilitas kelengkungan ( $\mu_\phi$ ) merupakan rasio antara sudut kelengkungan (putaran sudut per unit panjang) maksimum ( $\phi_u$ ) dengan sudut kelengkungan leleh ( $\phi_y$ ) dari suatu elemen akibat gaya lentur.

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (7)$$

Dimana  $\phi$  = sudut kelengkungan (putaran sudut per unit panjang)



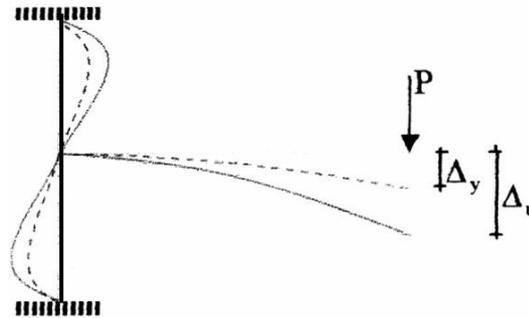
**Gambar 11.** Daktilitas Kelengkungan

## 3. Daktilitas Perpindahan (*Displacement Ductility*)

Daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) adalah rasio antara perpindahan struktur maksimum ( $\Delta_u$ ) pada arah lateral terhadap perpindahan struktur saat leleh ( $\Delta_y$ ).

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (8)$$

Seperti terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 12.** Daktilitas Perpindahan

Menurut SNI 1726-2019, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk berulang kali mengalami defleksi pasca-elastis yang besar akibat beban gempa sehingga menyebabkan terjadinya leleh pertama, dengan tetap mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga tetap berdiri meskipun pada ambang kehancuran. Sedangkan faktor daktilitas adalah perbandingan antara simpangan maksimum pada saat ambang keruntuhan tercapai dan simpangan pada saat pelelehan pertama.

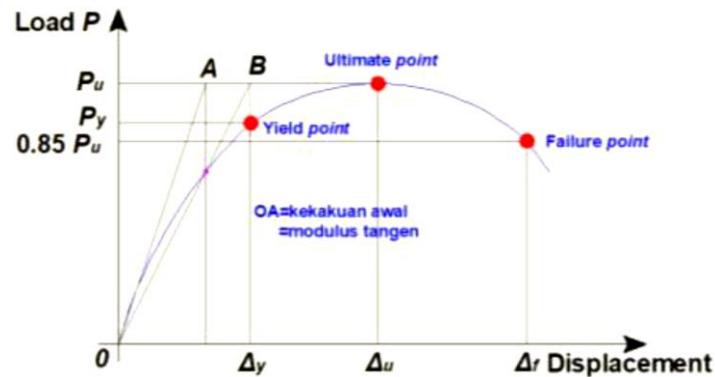
Menurut SNI 17262019, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk berulang kali mengalami deformasi pasca-elastis yang besar akibat beban gempa yang mengakibatkan leleh awal, dengan tetap mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk tetap berada di ambang keruntuhan. Faktor daktilitas, di sisi lain, adalah rasio displacement maksimum ketika ambang kegagalan tercapai dengan displacement pada pelelehan pertama.

## F. Titik Leleh (*Yield Point*)

Menentukan titik *yield* (perpindahan, putaran, atau kelengkungan) seringkali sulit untuk dijabarkan karena hubungan regangan versus gaya mungkin tidak memiliki titik *yield* yang terdefinisi dengan baik. Hal ini dapat terjadi, misalnya, karena perilaku non-linier material, atau karena perbedaan penampang balok memanjang dari beton bertulang menghasilkan tingkat momen yang berbeda, atau karena sambungan plastis terbentuk di berbagai bagian struktur pada tingkat beban yang berbeda. Berbagai definisi alternatif telah digunakan oleh para peneliti untuk memperkirakan titik leleh ini. Diantaranya adalah;

### 1. Metode General Yield Moment (Zhu 1989).

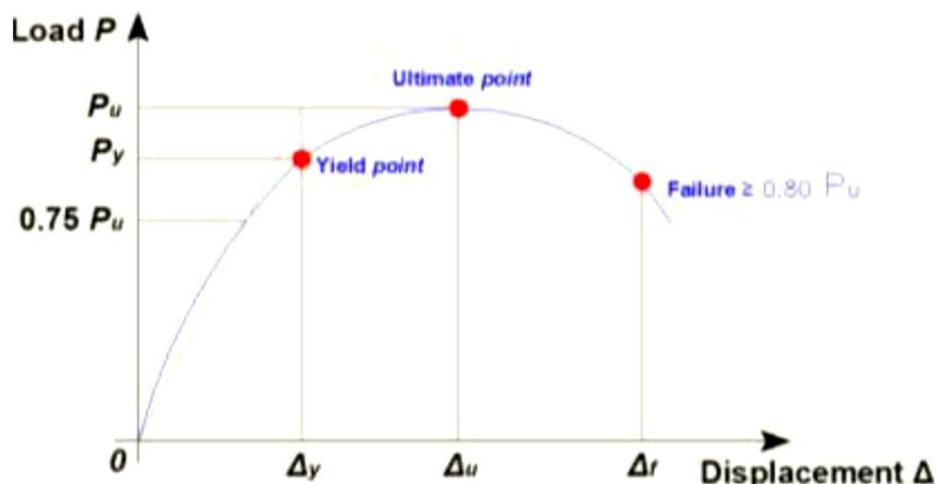
Titik leleh ( $P_y$ ,  $\Delta_y$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan metode grafis yang dilaporkan oleh Zhu (1989), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Beban ultimate  $P_u$  dipilih sebagai beban maksimum, dan displacement runtuh  $\Delta_r$  didefinisikan sebagai displacement maksimum yang sesuai dengan beban tidak kurang dari  $0,85P_u$  sesuai beban karakteristik dan perpindahan yang diturunkan dari kurva skeleton.



**Gambar 13.** Titik leleh kurva Beban-displacemen (Chen et al)

## 2. Mander et al (1988)

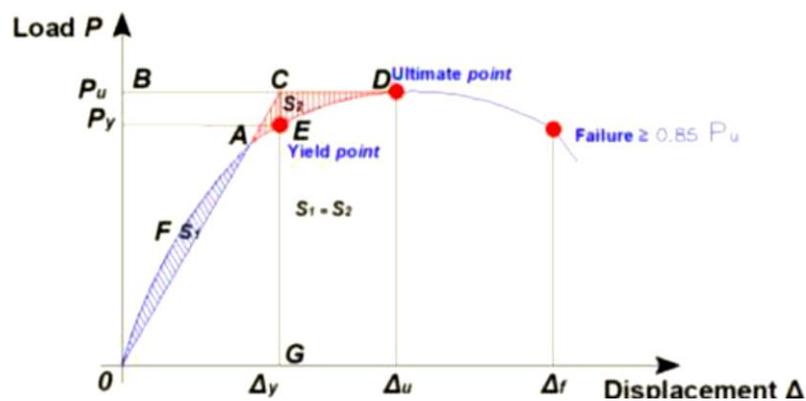
Berdasarkan pada pengurangan kekakuan setara leleh elastoplastik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Displacement leleh didefinisikan dengan menggunakan kekakuan garis potong yang menghubungkan sumber dan 75% beban ultimate (Mander et al. 1988). Displacement maksimum  $\Delta_f$  didefinisikan sebagai displacement yang sesuai dengan 80% dari beban ultimate (Mander et al., 1988).



**Gambar 14.** Titik leleh pada kurva Beban-displacemen (Mander)

## 3. Metode Persamaan Area (Park, R (1988))

Seperti ditunjukkan pada Gambar 15, displacement leleh didefinisikan dengan menyamakan luas  $S_1$  dengan luas  $S_2$ , posisi titik C ditentukan. Garis CG yang tegak lurus sumbu transversal memotong kurva  $P - \Delta$  di titik E. Perpindahan yang bersesuaian dengan titik E digunakan sebagai  $\Delta_y$ . Displacement maksimum  $\Delta_f$  didefinisikan sebagai displacement yang sesuai dengan 80% dari beban putus



**Gambar 15.** Titik leleh pada kurva Beban - displacement (Park, R)

### G. Kekakuan

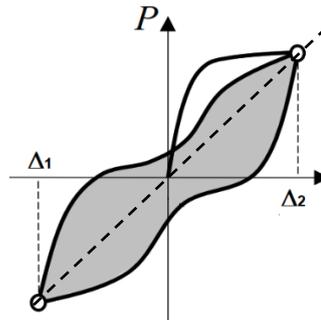
Untuk struktur yang dibebani berulang kali, kekakuan didefinisikan sebagai kemiringan garis yang menghubungkan puncak beban maksimum dalam arah positif dan negatif dari beban dan kurva defleksi (Tsonos, 1999). Berdasarkan Gambar 14, kekakuan ( $K$ ) dari struktur beban berulang dapat dinyatakan dengan:

$$K = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \quad (10)$$

dengan :

$P$  = beban yang bekerja arah lateral.

$\Delta$  = defleksi yang terjadi.



**Gambar 16.** Kekakuan struktur (Sumber: Park dan Eom, 2004)

Untuk kolom atau benda uji yang dibebani beban siklik, SNI 7834:2012 mensyaratkan bahwa benda uji harus memenuhi persyaratan kekakuan awal, yaitu benda uji harus mencapai nilai tahanan lateral minimum ( $E_n$ ) sebelum rasio simpangan 2% melebihi nilai yang bertepatan dengan batas rasio simpangan yang diperbolehkan berupa:

$$r_1 = \Delta_y/h < (1 + 0,02).r_2 \quad (11)$$

dengan :

$r_1$  = rasio simpangan tahanan lateral (%).

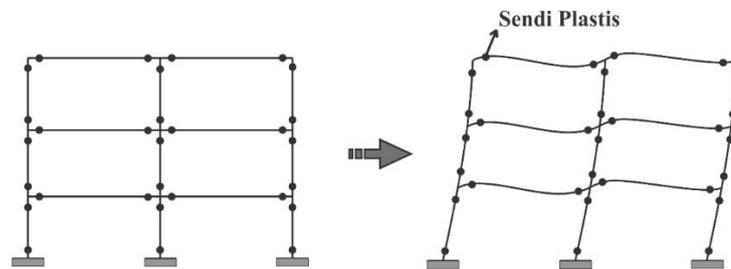
$\Delta_y$  = nilai simpangan pada saat leleh (mm).

$r_2$  = simpangan minimum sebesar 0,035 (%).

#### H. Sendi Plastis

Mekanisme kerusakan struktur harus dirancang pada titik tertentu sehingga dapat dengan mudah diperbaiki setelah gempa kuat. Titik putus yang diberikan harus dilakukan dengan balok dan penyangga yang disebut sendi plastis. *Hinge* atau sendi plastis adalah jenis kondisi dimana elemen struktur (balok dan kolom) tidak dapat menahan gaya dalam. Konsep struktur harus konsisten dengan *Strong Column-Weak Beam*. Jika struktur

runtuh, balok harus runtuh terlebih dahulu, tetapi jika penyangga runtuh terlebih dahulu, struktur cepat runtuh. Sendi plastis terletak pada muka kolom dan ujung muka balok. Lihat Gambar 15 untuk informasi lebih lanjut. (Reza, dkk., 2016)



**Gambar 17.** Letak Sendi Plastis

### 1. Mekanisme Sendi Plastis

Menurut Paulay dan Priestley (1992), Hines, dkk. (2004) dan Yuan, dkk. (2013) bahwa area sendi plastis dalam struktur beton bertulang merupakan tempat yang memungkinkan terjadinya deformasi plastis dan kerusakan akibat gempa, sehingga daerah ini perlu dirancang dengan baik untuk mencegah terjadinya kerusakan struktur akibat gempa (Yuan dan Wu, 2017). Menurut Park (1989), daktilitas mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup selama gempa sehingga struktur tetap berdiri bahkan ketika akan runtuh. Struktur dengan tingkat daktilitas tertentu memungkinkan munculnya sendi plastis secara bertahap pada komponen struktur tertentu, dan pembentukan sendi plastis, struktur akan mampu memikul beban gempa maksimum tanpa memberikan kekuatan yang berlebihan pada energi kinetik komponen struktur karena gerakan tanah yang diserap oleh struktur kemudian didistribusikan langsung pada

sambungan plastis. Semakin banyak sendi plastis yang terbentuk pada suatu komponen struktur, energi gempa semakin berkurang, dan setelah sendi plastis terjadi pada suatu komponen struktur, defleksi dan rotasi plastis terus meningkat (Park, 1989).

## **2. Pengekangan Pada Daerah Sendi Plastis**

Daktalitas kolom beton bertulang sangat ditentukan oleh mekanisme pembentukan sambungan plastis pada kedua ujung kolom, terutama pada saat terjadi gempa. Untuk mendapatkan kolom yang berperilaku daktail, dapat dilakukan dengan memasang pengekan dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi pengekan lateral, yaitu persentase tulangan lateral yang terpasang, kuat luluh tulangan lateral, kuat tekan beton, spasi lateral tulangan. dan susunan tulangan melintang, khususnya pada beton bertulang penampang persegi (Bayrak dan Sheikh, 2002).

Menurut Jiang, et.al (2014), cara lain untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada daerah sendi plastis beton bertulang adalah dengan memasang tumpuan pada daerah di mana tumpuan dipasang pada daerah sendi plastis memerlukan pengetahuan tentang panjang sendi plastis. dan perhitungan perpindahan yang terjadi pada sendi plastis.

Menurut Karimah dan Wahyudi (2010), untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada daerah sendi plastis kolom, merapatkan jarak tulangan sengkang berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas beban lateral yang bekerja pada kolom. Ketika beban lateral kolom meningkat, maka kekuatan kolom juga meningkat. Selain itu, interval sengkang sempit dengan beban

tekan aksial  $0.2.f_c \cdot A_g$  atau kurang dapat meningkatkan daktilitas dan kemampuan kolom untuk menyerap energi tanpa mengurangi kekuatan dan kekakuan secara signifikan. Dapat disimpulkan bahwa penurunan daktilitas dan disipasi energi kolom beton bertulang terutama disebabkan oleh bertambahnya jarak sengkang dan bertambahnya beban aksial yang bekerja pada kolom. Sedangkan menurut Wu dan Wang (2008) dan Wu dan Wei (2010), efek menahan atau menempelkan jaket pada daerah sendi plastis penampang lingkaran lebih baik daripada penampang persegi. Dimana penampang persegi sangat dipengaruhi oleh luas penampang dan bentuk tidak seragam.

### **3. Panjang Sendi Plastis**

Menurut Jiang, et.al (2014) bahwa daerah konsentrasi kelengkungan dapat didefinisikan sebagai daerah sendi plastis, dimana untuk menentukan panjang sendi plastis bukan hal yang mudah, karena distribusi dari kelengkungan terjadi di sepanjang penampang kolom. Sejauh ini, belum ada literatur atau hasil konsensus di dunia yang mendefinisikan dan menyepakati persamaan untuk menentukan panjang sendi plastis (Jiang, et.al., 2014). Beberapa peneliti percaya bahwa tulangan yang diterapkan akan menyebabkan peningkatan panjang. Sendi plastis yang terjadi (Ozbakkaloglu dan Saatcioglu, 2006), di lain pihak, Priestley, et.al. (1996), Elsanadedy dan Haraoun (2005), ketika tulangan diterpasang, panjang sendi plastis yang terjadi berkurang.

Studi pertama tentang panjang sendi plastis dilakukan oleh Park dan Paulay pada tahun 1975. Pada penelitian ini dilakukan pemisahan profil kelengkungan daerah elastik dan plastis serta menghitung perpindahan plastis yang terjadi pada penampang menggunakan balok persegi panjang. Dalam perhitungan ini, tinggi balok persegi dinyatakan sebagai panjang sendi plastis ( $L_p$ ), dan lebar yang diambil sesuai dengan kelengkungan plastis yang terjadi di daerah kritis (Goodnight, et.al, 2016).

Selanjutnya, berdasarkan hasil penelitian Park dan Paulay (1982), panjang sendi plastis yang terjadi pada kolom penampang persegi didefinisikan dengan persamaan :

$$L_p = 0,42 \cdot h \quad (12)$$

dengan :

$h$  = tinggi kolom.

Selanjutnya berdasarkan hasil uji eksperimen Mander (1983), panjang sendi dipengaruhi oleh regangan yang terjadi pada penulangan yang terpasang pada kolom (Goodnight, et.al, 2016) dan panjang sendi plastis dapat ditentukan dengan persamaan:

$$L_p = 32 \cdot \sqrt{d_{bl}} + 0,06 \cdot L_c \quad (13)$$

dengan :

$d_{bl}$  = diameter tulangan longitudinal kolom (mm).

$L_c$  = tinggi kolom (mm).

Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Priestley dan Park (1987) dengan menggunakan model kolom kantilever, dan hasil penelitian ini

menyimpulkan panjang ( $L_p$ ) daerah sendi plastis dari struktur kolom beton bertulang tanpa Kekangan luar, dimana dibebani dengan beban aksial dan geser dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris berikut:

$$L_p = 0,08. L + 6. d_b \quad (14)$$

dengan :

$L$  = tinggi kolom.

$d_b$  = diameter tulangan longitudinal kolom.

Oleh Paulay dan Priestley (1992) persamaan di atas, kemudian disempurnakan dengan menambahkan parameter baru yaitu, pengaruh variasi kuat leleh baja ( $f_y$ ) sehingga persamaan di atas menjadi :

$$L_p = 0,008. L + 0,022. d_b f_y \quad (15)$$

dengan :

$L$  = tinggi kolom.

$d_b$  = diameter tulangan longitudinal kolom.

$f_y$  = kuat leleh baja.

Sedangkan berdasarkan hasil penelitian Sheikh dan Khoiry (1993), Sheikh, et.al (1994), Bayrak dan Sheikh (1998) pada model kolom yang dibebani dengan beban aksial tinggi yang hanya mempertimbangkan pengaruh lebar kolom ( $H$ ) dan mengabaikan semua faktor lainnya (Jiang, et.al, 2014), persamaan panjang sendi plastis pada kolom dapat dihitung dengan persamaan yang lebih sederhana :

$$L_p = 1,0. H \quad (16)$$

dengan :

H = lebar kolom.

Panagiotakos dan Fardis (2001) juga mengusulkan persamaan yang hampir serupa, seperti yang diusulkan oleh Paulay (1992), yaitu:

$$L_p = 0,018. L + 0,021. d_b. f_y \quad (17)$$

dengan :

L = tinggi kolom.

$d_b$  = diameter tulangan longitudinal kolom.

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan.

Priestley, et.al (2007) kemudian merevisi persamaan panjang sendi plastis yang diusulkan oleh Paulay dan Priestley (1992), dimana nilai  $\alpha = 0,08$  pada persamaan tersebut, diganti dengan nilai k sebesar :

$$k = 0,2. \left( \frac{f_u}{f_y} - 1 \right) < 0,08 \quad (18)$$

$$L_p = k. L + 0,022. d_b. f_y \quad (19)$$

Berdasarkan penelitian Biskinis dan Fardis (2009), model persamaan baru untuk menentukan panjang sendi plastis di bawah kondisi beban siklik diusulkan. Itu kemudian diadopsi oleh *Federation Internationale du Beton* (FIB) untuk menjadi standar yang tertuang dalam FIB Model Code Tahun 2010, yaitu :

$$L_p = 0,2. H. \frac{1 + [\min(9; \frac{L}{H})]}{3} \quad (20)$$

dengan :

H = lebar kolom

L = tinggi kolom