

## STUDI KASUS PERILAKU DAKTILITAS STRUKTUR BANGUNAN 20 LANTAI TERHADAP DEFISIENSI MUTU BETON MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER*

Sofian Arissaputra<sup>1\*</sup>, Josia Irwan<sup>2</sup>

1. Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil dan Infrastruktur, Politeknik Astra, Jl. Gaharu, Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, 17530, Indonesia
2. Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia  
*E-mail: sofian.arissaputra@polytechnic.astra.ac.id\**

**Abstract - Concrete strength deficiencies in building structures can significantly affect structural ductility. This study aims to assess the ductility of building structures when using the design concrete strength and to evaluate the impact of strength reduction. The analysis is conducted on three building models with varying length-to-width ratios: Building A (1:3), Building B (1:4), and Building C (1:5). Four uniform concrete strength levels are used in the analysis: 25 MPa as the design strength, followed by 20, 15, and 10 MPa. A nonlinear static analysis is performed using ETABS software, referring to the seismic code SNI 1726:2019 to determine ductility and the seismic reduction factor (R).**

**The results indicate that a reduction in concrete strength leads to a proportional decrease in ductility. Additionally, a higher span ratio tends to result in lower ductility. The reduction in ductility from 25 MPa to 10 MPa is recorded at 39% for Building A, 46% for Building B, and 50% for Building C. The ductility and R values at 15 MPa and 10 MPa fall below the minimum thresholds specified in SNI 1726:2019.**

**Keywords: concrete deficiency, mid-rise buildings, structural ductility, nonlinear static analysis, structural R-value.**

**Abstrak—** Daktilitas struktur dipengaruhi oleh rendahnya kualitas beton pada struktur bangunan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui daktilitas struktur saat menggunakan mutu beton sesuai desain, serta mengidentifikasi perubahan daktilitas ketika terjadi defisiensi mutu beton. Studi kasus ini menggunakan tiga model bangunan dengan perbedaan perbandingan antara lebar dan panjang bangunan, yaitu bangunan A, B, dan C. Rasio lebar terhadap panjang masing-masing bangunan adalah 1:3, 1:4, dan 1:5. Pada ketiga model tersebut, analisis dilakukan dengan menggunakan empat variasi mutu beton yang seragam, yaitu 25 MPa sebagai desain awal, serta 20 MPa, 15 MPa, dan 10 MPa. Daktilitas struktur dihitung menggunakan analisis statik nonlinier dengan bantuan program ETABS, mengacu pada standar perencanaan gempa SNI 1726:2019. Selanjutnya, nilai faktor reduksi gempa (R) struktur diperoleh dari hasil analisis tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan mutu beton menyebabkan penurunan daktilitas secara sebanding. Selain itu, semakin besar rasio panjang terhadap lebar bangunan, daktilitas cenderung semakin menurun. Penurunan daktilitas akibat penurunan mutu beton dari 25 MPa ke 10 MPa tercatat sebesar 39% pada bangunan A, 46% pada bangunan B, dan 50% pada bangunan C. Nilai daktilitas dan faktor R pada mutu beton 15 dan 10 MPa diketahui berada di bawah standar minimum yang ditetapkan oleh SNI 1726:2019.

**Kata Kunci: defisiensi mutu beton, bangunan tingkat menengah, daktilitas struktur, analisis statik nonlinier, nilai R struktur.**

### I. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan di Indonesia, salah satunya tempat tinggal atau apartemen, semakin gencar dilakukan oleh para perencana teknik sipil. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa Indonesia adalah salah satu negara dengan populasi yang terus meningkat, sehingga kebutuhan akan tempat tinggal meningkat setiap tahunnya [6]. Kendala paling besar dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia adalah ketahanan dari bangunan untuk menerima gaya lateral khususnya gempa. Indonesia adalah negara yang sangat rawan gempa karena Indonesia memiliki

titik gempa terbanyak di antara negara-negara lainnya [5].

Gelombang gempa mengakibatkan permukaan tanah mengalami pergerakan horisontal dan vertikal yang acak, menghasilkan eksitasi berupa percepatan  $\ddot{U}_g$  di lantai dasar struktur [2]. Pergerakan struktur bangunan akibat gempa ini akan dilawan oleh momen inersia dari bangunan itu sendiri untuk menjaga posisi bangunan seperti semula. Hal ini menghasilkan gaya peralihan dan gaya dalam tambahan pada struktur selain gaya dalam dari beban dari luar struktur. Respon dari struktur ini merupakan interaksi percepatan tanah dan karakteristik dinamika struktur [7].

Oleh karena Indonesia sangat rawan gempa, peraturan gempa yang digunakan di Indonesia selalu direvisi dan diperbaharui menjadi lebih baru [1]. Adapun acuan dari peraturan gempa Indonesia yang sekarang yaitu SNI 1726:2019 diambil dari FEMA P-1050-1, 2015, *National earthquake hazards reduction program (NEHRP) recommended gempa provisions for new buildings and other structures*, IBC 2018, *international building code*, dan ASCE/SEI 7-16, *Minimum desain loads for buildings and other structures* (SNI 1726:2019). Sedangkan sebelum SNI 1726:2019, peraturan yang menjadi acuan adalah SNI 1726:2012. Pada SNI 1726:2019 ini diatur mengenai perencanaan bangunan tahan gempa untuk berbagai portal, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yang akan menjadi fokus pada penelitian ini.

Menurut SNI 1726:2019, sistem struktur penahan gempa terdiri dari berbagai macam. Salah satunya adalah sistem rangka pemikul momen. Sistem ini dibedakan lagi berdasarkan bahan material yang digunakan untuk membuat bangunan. Beton dan baja adalah bahan material yang digunakan. Pada analisis tesis ini digunakan bahan material beton dengan mutu yang tidak mencapai mutu desain dengan desain sistem struktur Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan peraturan SNI 1726:2019.

Berbicara mengenai material dari bangunan, material yang sering dipakai di Indonesia adalah material baja dan beton. Pembahasan artikel ini akan difokuskan pada penjelasan mengenai beton karena struktur bangunan yang akan dianalisis adalah struktur beton bertulang.

Beton adalah bahan yang paling umum digunakan untuk konstruksi di Indonesia, dan dikenal sebagai bahan yang tahan terhadap tekanan yang tinggi [2]. Nilai kuat tekan beton biasa disebut dengan mutu beton ( $f_c'$ ). Kuat tekan dari beton adalah pengukuran kinerja paling umum yang sering digunakan oleh desainer teknik sipil untuk mendesain bangunan dan struktur lainnya yang menggunakan bahan material utama beton. Untuk mengukur kuat tekan beton ini, dilakukan sebuah tes kuat tekan beton yaitu dengan cara menekan beton sampai beton itu mengalami retak dan *fail*, biasa disebut uji kuat tekan silinder [9]. Kuat tekan beton dihitung dari beban yang dikenakan kepada beton sampai beton tersebut mengalami *failure* dibagi dengan luasan area beton yang menahan gaya tekan, dan biasanya dilaporkan yang merupakan mutu beton dalam satuan MPa [8]. NRMCA mengatakan bahwa mutu beton ini bervariasi antara 17 MPa sampai dengan 28 MPa. Untuk struktur khusus biasa memakai mutu beton di atas 70 MPa.

Mutu beton seperti yang dijelaskan di atas yang biasa desainer pakai untuk mendesain struktur bangunan atau lainnya. Beton yang digunakan untuk desain biasanya akan berbeda dengan mutu beton struktur yang ada di lapangan. Hal ini karena faktor-faktor pelaksanaan di lapangan, misalnya pekerjaan praktis di lapangan dalam penanganan, penempatan, pemadatan, dan *curing* pada beton. Metode pengujian kuat tekan di lapangan biasa disebut pengujian beton *in-place* yang digunakan untuk mengetahui mutu beton sebenarnya yang telah dicor di lapangan.

Fenomena yang sering terjadi di Indonesia khususnya Jakarta belakangan ini adalah mutu beton aktual pada struktur bangunan yang jauh lebih kecil daripada mutu beton desain sehingga perencanaan struktur harus memiliki kemampuan untuk melakukan evaluasi terhadap struktur-struktur yang telah dibangun di lapangan dengan menggunakan peraturan-peraturan yang ada.

Peraturan gempa SNI 1726:2019 dibuat berdasarkan perencanaan berbasis gaya (*force-based design*). Perhitungan berbasis gaya ini tidak menyatakan secara spesifik kriteria kinerja yang ingin dicapai. Oleh karena itu, munculah perhitungan desain berbasis kinerja (*Performance based design*) yang dapat menunjukkan langsung kinerja struktur di bawah pembebanan rencana, sehingga bisa diprediksi potensi kerusakan struktur. Kinerja ini terkait dengan risiko keselamatan pengguna bangunan (*life*), kesiapan pakai bangunan (*occupancy*), dan kerugian ekonomi yang dapat ditanggung pemilik bangunan.

Prosedur perencanaan berbasis kinerja ini diatur dalam dokumen peraturan rekomendasi NEHRP (BSSC,1995) FEMA-440. Kinerja struktur dapat diketahui melalui evaluasi kinerja dengan berbagai metode analisis. FEMA-440 menyebutkan ada empat analisis terkait dengan perencanaan berbasis kinerja ini, yaitu statis linier, statis nonlinier, dinamis linier, dan dinamis nonlinier.

Berdasarkan studi literatur dari Nasution et al. [5] mengenai Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta menggunakan *Pushover Analysis*, setelah struktur mengalami simpangan pasca elastis yang signifikan karena beban gempa, daktilitas struktur harus diperhitungkan untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan struktur tersebut.

Pada penelitian ini yang akan dibahas adalah analisis perencanaan berbasis kinerja statis pada struktur dengan Sistem Ganda dengan Rangka beton bertulang Pemikul Momen Khusus.

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

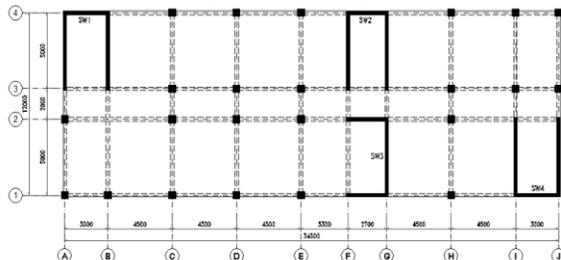
**2.1. Material**

Studi kasus pada penelitian ini adalah bentuk bangunan yang disederhanakan dari gedung rusunawa di Jakarta. Gedung ini adalah gedung bertingkat 20 lantai. *Software* yang digunakan pada penelitian ini adalah AutoCAD 2023, Microsoft Excel, software ETABS. Bahan penelitian yang digunakan adalah mutu beton 25, 20, 15, dan 10 MPa. Kemudian karena objek studi kasus ada di kota Jakarta, maka respon spektrum yang diambil juga mengacu pada kota Jakarta. Penelitian menggunakan acuan peraturan, yaitu SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.

**2.2. Data Model Rencana**

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, pada penelitian ini akan menganalisis tiga model struktur bangunan, yaitu struktur yang disebutkan dengan nama A, B, dan C. Setiap bangunan terdiri dari 20 lantai dengan tinggi setiap lantai adalah 2,8-meter yang didesain menggunakan peraturan SNI 1726:2019 dengan sistem struktur Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus.

Bangunan A merupakan model bangunan pertama dengan rasio lebar dan panjang bangunan 1:3. Denah tipikal struktur bangunan A pada gambar 1 berikut.



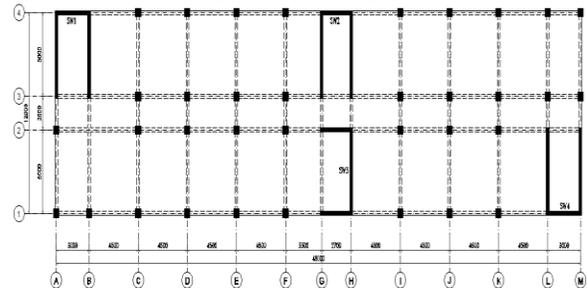
Gambar 1. Denah Tipikal Struktur Bangunan A

Perbedaan geometri dan material yang akan dianalisis dari model bangunan A, B, dan C pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Geometri dan Material Bangunan A, B, dan C

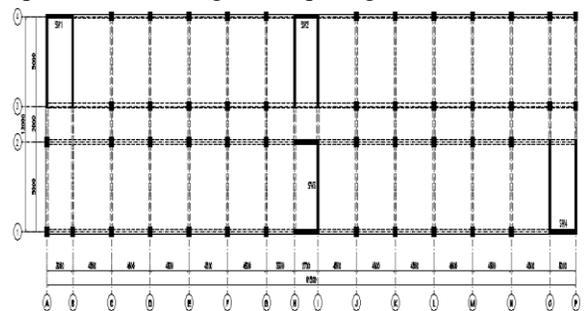
Jumlah Lantai	Dimensi Balok	Dimensi Kolom	Dimensi Shearwall	Fc (Mpa)
20	400x500	700x700 600x600	t = 250	25 20 15 10

Bangunan B merupakan model bangunan kedua dengan rasio lebar dan panjang bangunan 1:4. Denah tipikal struktur bangunan B pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Denah Tipikal Struktur Bangunan B

Bangunan C merupakan model bangunan kedua dengan rasio lebar dan panjang bangunan 1:5. Denah tipikal struktur bangunan C pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Denah Tipikal Struktur Bangunan C

Ketiga bangunan ini didesain dengan mutu beton 25 MPa kemudian dicari daktilitas struktur dengan cara analisis *pushover*, kemudian dievaluasi dengan 3 mutu beton yang tidak mencapai mutu desain, yaitu 20, 15, dan 10 MPa.

**2.3. Spesifikasi Teknik**

Spesifikasi teknik ini terdiri dari properti material, pembebanan, dan kombinasi pembebanan. Spesifikasi teknik untuk ketiga model yang akan dianalisis dalam penelitian ini tercantum di bawah ini.

Material yang digunakan adalah material beton bertulang. Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa mutu beton yang digunakan pada penelitian ini adalah semakin rendah daripada mutu beton desain yaitu 25 Mpa. Klasifikasi dan pembagian mutu beton untuk setiap model pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Properti Material Jenis Model Bangunan

Fc (MPa)	Ec (MPa)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio	Fy (MPa)
25	23500	2400	0,2	400
20	21019			
15	18203			
10	14863			

Adapun beban-beban tambahan yang digunakan untuk ketiga model bangunan, selain beban sendiri

yang telah dihitung otomatis oleh program ETABS, yaitu bangunan A, B, dan C pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Pembebanan Jenis Model Bangunan

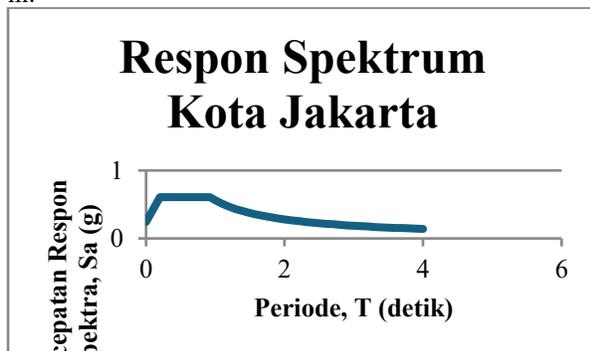
Elemen Struktur	Beban SIDL (kg/m <sup>2</sup> )	Live Load (kg/m <sup>2</sup> )
Pelat	125	250
Tembok	150	-
Tangga	900	500

Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah dari peraturan SNI 1726:2019. Adapun kombinasi pembebanan untuk SNI 1726:2019 bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi Pembebanan SNI 1726:2019

No	Kombinasi Pembebanan
1	$(1,2 + 0,2S_{DS})DL + \rho(\pm 1,0Ex \pm 0,30Ey) + 1,0LL$
2	$(1,2 + 0,2S_{DS})DL + \rho(\pm 0,3Ex \pm 1,0Ey) + 1,0LL$
3	$(0,9 - 0,2S_{DS})DL + \rho(\pm 1,0Ex \pm 0,30Ey)$
4	$(0,9 - 0,2S_{DS})DL + \rho(\pm 0,30Ex \pm 1,0Ey)$

Untuk respon spektrum kota Jakarta pada SNI 1726:2019 bisa langsung diambil pada *website* pusat penelitian dan pengembangan permukiman atau dianalisis sendiri menggunakan persamaan pada pasal 6.4 SNI 1726:2019. Gambar 4 menunjukkan respon untuk kota Jakarta yang akan dipakai pada penelitian ini.



Gambar 4. Respon Spektrum Kota Jakarta

Tabel 5 adalah parameter-parameter yang terkait dengan respon spektrum kota Jakarta yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 5. Parameter Respon Spektrum Kota Jakarta

Parameter	Nilai
$S_{DS}$	0,607
$S_{D1}$	0,560
$T_0$	0,185
$T_s$	0,923

Denah struktur bangunan yang dianalisis terdiri dari kolom, balok, dan *shearwall*. Bangunan berada di lokasi Jakarta dengan asumsi tanah jenis lunak. Berdasarkan SNI 1726:2019, pemilihan sistem struktur bergantung pada Koefisien Desain Seismik

(KDS), sedangkan KDS sendiri dipengaruhi oleh nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , sehingga didapat bahwa sistem struktur dari bangunan ini adalah Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus. Adapun besaran-besaran dari sistem struktur ini bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter Sistem Ganda dengan SRPMK sesuai SNI 1726:2019

R	$\Omega_0$	$C_d$
7	2,5	5,5

### III. HASIL PEMBAHASAN

#### 3.1. Modal Struktur

Analisis eigen-value atau modal diperlukan untuk mengetahui perilaku dinamis bangunan dan periode getar alami. Massa dan kekakuan lateral struktur mempengaruhi analisis modal ini. Modal ketiga bangunan bisa dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 7. Partisipasi Modal untuk Setiap Arah

Item	Bangunan A		Bangunan B		Bangunan C	
	Statis%	Dinamis%	Statis%	Dinamis%	Statis%	Dinamis%
UX	99,99	95,37	99,99	95,78	99,99	95,53
UY	99,99	92,57	99,98	94,14	99,99	93,73
UZ	0	0	0	0	0	0

Menurut analisis, akselerasi arah X dan Y memiliki rasio partisipasi modal beban lebih dari 90%. Ini menunjukkan ragam pertama struktur dominan, sehingga sesuai untuk analisis dengan beban dorong statik (analisis pushover).

#### 3.2. Hasil Daktilitas Struktur Bangunan A

Kenyataan bahwa mutu beton aktual tidak sesuai dengan desain membuat para perencana struktur khawatir akan stabilitas dari bangunan itu sendiri sehingga pada analisis berikut akan dilakukan studi daktilitas mengenai kasus penurunan mutu beton desain dari 25 MPa menjadi 20 MPa, dan yang ekstrim turun sampai 15 dan 10 MPa.

Perbandingan lendutan ketika keruntuhan pertama terjadi, lendutan ketika pelelehan pertama terjadi, dan daktilitas setiap arah serta daktilitas rata-rata dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 5 berikut ini. Pada tabel dan kurva berikut bisa dilihat bahwa semakin kecil mutu beton yang diterapkan tetapi dengan detail struktur ketika desain, daktilitas struktur juga akan semakin turun.

Pada tabel dan gambar berikut didapat juga bahwa daktilitas struktur yang terjadi pada mutu beton 15 dan 10 MPa relatif jauh dibandingkan mutu beton 25 dan 20 MPa.

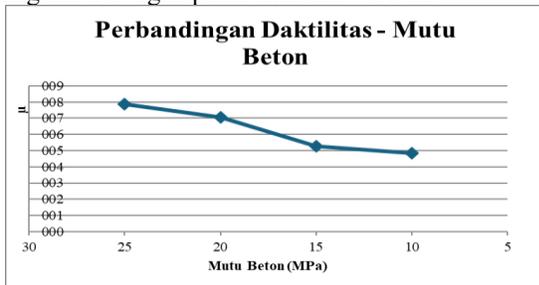
Tabel 8. Perbandingan Daktilitas Struktur Bangunan A

Mutu Beton (MPa)	$\Delta_{max}$ (mm)		$\Delta_{y1}$ (mm)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
25	478,1	183,5	47,8	32
20	312,8	199,4	38,9	33
15	262,9	219,7	44,3	47,6
10	486,8	243,9	77,1	72,7

$\mu$		$\mu$
Arah X	Arah Y	
10,00	5,73	7,87
8,04	6,04	7,04
5,93	4,62	5,28
6,31	3,35	4,83

Gambar 5 berikut menunjukkan penurunan daktilitas yang linier dengan penurunan mutu beton.



Gambar 5. Kurva Penurunan Daktilitas-Mutu Beton Bangunan A

**3.3. Hasil Daktilitas Struktur Bangunan B**

Perbandingan lendutan ketika keruntuhan pertama terjadi, lendutan ketika pelepasan pertama terjadi, dan daktilitas setiap arah serta daktilitas rata-rata pada tabel 9 dan gambar 6 berikut ini.

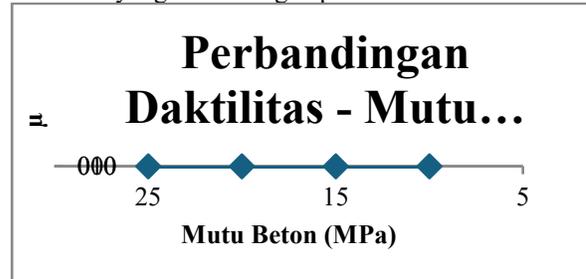
Tabel 9 Perbandingan Daktilitas Struktur Bangunan B

Mutu Beton (MPa)	$\Delta_{max}$ (mm)		$\Delta_{y1}$ (mm)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
25	219,8	245,5	44,1	45,2
20	294,4	272	49,1	75
15	137	291,4	65,2	64,6
10	333,7	229	103,4	96,2

$\mu$		$\mu$
Arah X	Arah Y	
4,98	5,43	5,21
6,00	3,63	4,81
2,10	4,51	3,31
3,23	2,38	2,80

Gambar 6 berikut menunjukkan penurunan daktilitas yang linier dengan penurunan mutu beton.



Gambar 6. Kurva Penurunan Daktilitas-Mutu Beton Bangunan B

**3.4. Hasil Daktilitas Struktur Bangunan C**

Perbandingan lendutan ketika keruntuhan pertama terjadi, lendutan ketika pelepasan pertama terjadi, dan daktilitas setiap arah serta daktilitas rata-rata dapat dilihat pada tabel 10 dan gambar 7 berikut ini.

Tabel 10. Perbandingan Daktilitas Struktur Bangunan C

$\mu$		$\mu$
Arah X	Arah Y	
3,93	8,46	6,20
4,22	7,57	5,90
3,96	5,24	4,60
2,77	3,51	3,14

Gambar 7 berikut menunjukkan penurunan daktilitas yang linier dengan penurunan mutu beton



Gambar 7. Kurva Penurunan Daktilitas-Mutu Beton Bangunan C

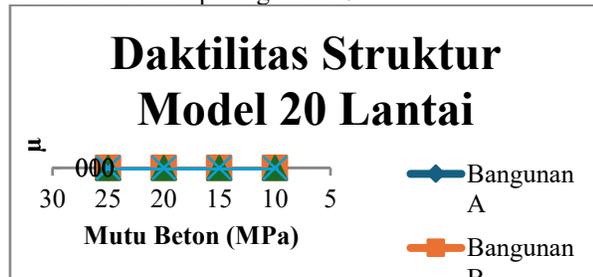
**3.5. Hasil Daktilitas dan nilai R Struktur**

Adapun hasil daktilitas dan nilai R dari semua model bisa dilihat pada tabel 11 berikut. Bisa dilihat bahwa semakin turun mutu betonnya maka semakin turun nilai dari daktilitas dan nilai R strukturnya. Sistem struktur dari analisis adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang sesuai SNI 1726:2019, nilai R adalah 7.

Tabel 11. Hasil Daktilitas dan Nilai R

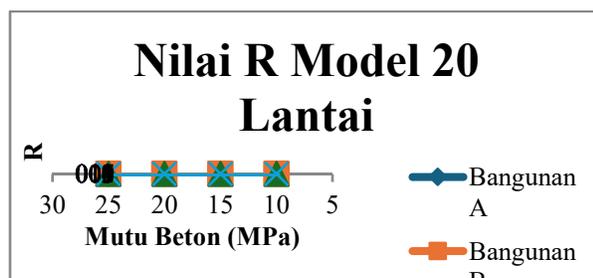
Mutu Beton (MPa)	Bangunan A		Bangunan B		Bangunan C	
	$\mu$	R	$\mu$	R	$\mu$	R
25	7,87	12,59	5,21	8,33	6,20	9,91
20	7,04	11,27	4,81	7,70	5,90	9,44
15	5,28	8,44	3,31	5,29	4,60	7,35
10	4,83	7,74	2,80	4,49	3,14	5,02

Untuk perbandingan nilai daktilitas struktur model 20 lantai bisa dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Nilai Daktilitas Struktur Model 20 Lantai

Nilai R sendiri adalah sangat bergantung dari nilai daktilitas struktur. Pada SNI 1726:2019. Nilai R, yang merupakan nilai daktilitas dikali dengan 1,6, menunjukkan bahwa ada faktor kuat lebih banyak beban dan bahan yang terkandung dalam struktur gedung. Sesuai dengan sistem struktur yang ada pada analisis ini adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dengan nilai R sesuai SNI 1726:2019 yaitu sebesar 7. Perbandingan nilai R teori yaitu 7 dengan nilai R sesuai hasil analisis bisa dilihat pada gambar 9 untuk model 20 lantai.



Gambar 9. Perbandingan Nilai R Struktur Model 20 Lantai

**IV. KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa defisiensi mutu beton secara kuantitatif berdampak signifikan terhadap penurunan daktilitas struktur. Dari 12 model bangunan yang dianalisis, ditemukan bahwa penurunan mutu beton dari 25 MPa menjadi 10 MPa dapat menurunkan daktilitas hingga 50% tergantung

pada rasio bentang struktur. Bangunan dengan rasio panjang-lebar yang lebih besar cenderung mengalami penurunan daktilitas yang lebih tajam.

Penurunan nilai daktilitas ini menyebabkan faktor reduksi gempa (R) struktur menjadi lebih rendah dari nilai minimum yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019, khususnya pada mutu beton 15 MPa dan 10 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa apabila mutu beton aktual di lapangan tidak mencapai mutu desain, maka kapasitas disipasi energi struktur akan sangat berkurang, sehingga struktur lebih rentan terhadap keruntuhan akibat gempa.

**V. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Agung Riyadhi, Wachid Hasyim, dan Nono Suhana. (2021). *Perbandingan Respon Struktur Gedung Menggunakan Respon Spektra SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur, ISSN: 2460-335X, e-ISSN: 2686-6587.
- [2] Fazriyati Utami, Lindung Zalbuin Mase, Fepy Supriani, dan Yoka Mahendra. (2023). *Pemanfaatan Analisis Perambatan Gelombang Seismik dan Implementasinya pada Struktur Bangunan*. Jurnal Potensi Sipil Politeknik. Vol. 25, No. 1, April 2023.
- [3] FEMA 440 (2005). *“Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [4] FEMA P-1050-1, 2015, *National earthquake hazards reduction program (NEHRP) recommended gempa provisions for new buildings and other structures*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [5] Idham Nasution, Erizal, dan Muhammad Fauzan. (2024). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan Pushover Analysis*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Vol. 09 No. 02, Oktober 2024, IPB University, Bogor.
- [6] Liza Hani Agustamara. (2024). *Pengaruh Pertumbuhan Penduduk terhadap Perubahan Penggunaan Lahan Terbangun di Kota Administrasi Jakarta Timur Tahun 2010–2020*. Skripsi, Program Studi Tadris Ilmu Pengetahuan Sosial, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [7] Nelson Hutahean, Janter Napitupulu, dan Silvester Nduru. (2020). *Analisis Dinamis Gaya Gempa pada Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726 2012*. Universitas Darma Agung, Medan.

- Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 9, No. 2, Agustus 2020, hlm. 91–100.
- [8] NRMCA. (2003). CIP 35 – Testing Compressive Strength of Concrete. *Concrete in Practice* (technical bulletin of NRMCA).
- [9] Ocsen Gregorius Talinusa, Ruddy Tenda, dan Winny J. Tamboto. (2014). *Pengaruh Dimensi Benda Uji terhadap Kuat Tekan Beton*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2, No. 7, November 2014, hlm. 344–351
- [10] Rolas Siregar, Ericzon Turnip, dan Rahelina Ginting. (2022). *Perencanaan Kuat Tekan dan Tarik Beton Menggunakan Agregat dari Desa Janji Kab. Labura  $f'c$  30 MPa (Studi Laboratorium)*. Universitas Darma Agung, Medan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 11, No. 1, Februari 2022, hlm. 12–20. SNI 03-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- [11] SNI 03-1726-2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- [12] SNI 03-2847-2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional..