

KEANDALAN KOMPONEN STRUKTUR KOLOM GEDUNG DENGAN KERUSAKAN DAN PENURUNAN PONDASI

(Studi Kasus : Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra, Indramayu)

Wachid Hasyim^{*)}

^{*)} Prodi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Indramayu
E-mail: wachidhasyim@unwir.ac.id

ABSTRAK

Bangunan gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu yang telah digunakan selama 8 tahun sejak tahun 2006, mengalami beberapa kerusakan di beberapa bagian. Kerusakan yang terjadi didominasi oleh kerusakan arsitektural pada beberapa bagian gedung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui volume kerusakan yang terjadi dan nilai indek keandalan komponen struktur pada kondisi eksisting.

Tahapan penelitian dilakukan dengan pengukuran volume kerusakan dan kekuatan komponen struktur pada kondisi eksisting. Pengukuran kuat material komponen struktur dan penurunan yang terjadi pada pondasi gedung dianalisis untuk mengetahui nilai tahanan dan efek beban struktur. Nilai tahanan komponen struktur didapatkan dari kapasitas dengan nilai statistik dari faktor kuat material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional. Nilai beban didapatkan dari besaran efek beban dan nilai parameter statistik dari masing-masing beban yang bekerja. Indek keandalan dihitung secara analitis (FOSM) dengan menghitung fungsi kinerja antara tahanan dan beban pada kondisi batas ultimit, sedangkan indek keandalan dengan simulasi Monte Carlo dihitung berdasarkan nilai rata-rata dan simpangan baku dari kurva hubungan antara tahanan dan beban dalam kondisi kuat batas yang menggunakan sejumlah sampel percobaan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa volume kerusakan non struktural terbesar terjadi pada pintu geser utama dengan kerusakan sebesar 66.67% sedangkan kerusakan struktural terbesar terjadi pada kolom K2 sebesar 25% berupa kerusakan pengelupasan spesi. Indek keandalan terkecil pada kolom terjadi pada kolom K3 dengan nilai sebesar 0,41.

Kata kunci: *Volume kerusakan, penurunan pondasi, indek keandalan, FOSM, simulasi Monte Carlo.*

PENDAHULUAN

Kondisi komponen struktur Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu saat ini telah mengalami beberapa kerusakan pada komponen arsitektur dan struktur. Kerusakan yang terjadi pada komponen arsitektural berupa pengelupasan lapisan spesi, berjamur, pecah, dan rusak yang dapat menyebabkan komponen arsitektur menjadi tidak dapat beroperasi. Selain itu, Kerusakan struktural yang terjadi berupa penurunan pondasi sebagai akibat penurunan tanah yang tidak seragam.

Menurut Das(2007), Penurunan yang tidak seragam pada pondasi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur atas gedung, sehingga perlu untuk menentukan

Latar belakang

paramater-parameter yang dapat mengukur penurunan tak seragam. Hal tersebut disebabkan pada sebagian besar konstruksi gedung, lapisan tanah pada pondasi seringkali tidak homogen sehingga beban pada pondasi dangkal dari struktur dapat mengalami penurunan yang tidak seragam.

Kerusakan-kerusakan yang terjadi menunjukkan kualitas material gedung pada kondisi eksisting kurang baik, sedangkan kondisi struktur gedung secara keseluruhan harus dapat menjamin keselamatan dan kenyamanan pengguna. Struktur gedung dengan komponen yang mengalami kerusakan harus dapat diketahui pengaruh terhadap pengaruh dan keamanannya

sehingga gedung masih dapat berfungsi sesuai umur layan yang direncanakan.

Dari uraian tersebut maka diperlukan penelitian tentang pengukuran volume

kerusakan dan analisa keandalan struktur atas pada Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu.

TINJAUAN PUSTAKA

Penurunan pondasi

Pondasi dapat bergerak yang disebabkan oleh beban yang bekerja. Pergerakan ini disebut sebagai penurunan (*settlement*). Menurut Douglas and Noy, (2011), Penurunan pondasi disebabkan aktivitas di dalam tanah, berupa:

1. Erosi tanah yang disebabkan aliran air tanah.
2. Perubahan muka air tanah.
3. Pengaruh beban bangunan-bangunan yang berdiri di atas tanah.

4. Pergerakan di dalam tanah akibat kegiatan penambangan atau lubang di tanah berkapur.
5. Pergerakan akibat kembang susut tanah lempung (*clay*).
6. Daya dukung yang tidak seragam pada lapisan tanah.

Pada tahun 1956, Skempton dan MacDonald mengusulkan beberapa nilai batasan penurunan maksimum untuk gedung (Das, 2007), seperti berikut:

Tabel 1. Parameter penurunan pondasi gedung

Penurunan maksimum	ST max (mm)
Pasir	32
Lempung	45
Penurunan differential maksimum	□ ST max (mm)
Pondasi terisolasi di pasir	51
Pondasi terisolasi di lempung	76
Pondasi rakit di pasir	51 – 76
Pondasi rakit di lempung	76 – 127
Sudut distorsi maksimum	□ max = 1/300

Sumber : Das, 2007

Sedangkan parameter penurunan pondasi menurut Standar Komite Eropa

(Das, 2007), direkomendasikan seperti berikut:

Tabel 2. Parameter penurunan pondasi dalam fungsi layanan

Item	Parameter	Besaran	Keterangan
atas nilai maksimum alam fungsi ayanan (EC,1994a)	ST	25 mm	Pondasi dangkal terisolasi
		50 mm	Pondasi rakit
	□ ST	5 mm	Rangka cladding kaku
		10 mm	Rangka cladding fleksibel
		20 mm	Rangka terbuka
	□	1/500	-
Batas nilai maksimum pergerakan pondasi layanan (EC,1994b)	ST	50	Pondasi dangkal terisolasi
	□ ST	20	Pondasi dangkal terisolasi
	□	1/500	-

Sumber: Das, 2007

Analisa struktur

Analisa struktur didefinisikan sebagai respon suatu struktur terhadap suatu pembebanan dan sistem struktur yang digunakan. Respon yang terjadi akibat pembebanan berupa: gaya-gaya dalam dan deformasi struktur. Pada kondisi eksisting, respon struktur dapat mengalami perubahan dari kondisi awal akibat dari deformasi yang terjadi. Sebagai contoh, deformasi struktur bawah yang berupa *displacement* pada pondasi dapat menyebabkan peningkatan nilai gaya-gaya dalam struktur.

Berdasarkan konsep metode elemen hingga (*finite element method*), bahwa gaya didapatkan dari keseimbangan antara kekakuan struktur dan *displacement* ($F=K.U$) sehingga perubahan nilai *displacement* (U) dengan nilai kekakuan struktur (K) tetap, akan mempengaruhi besar gaya (F) yang terjadi. Deformasi struktur pada kondisi eksisting berupa penurunan pondasi (*support displacement*) menyebabkan penambahan beban berupa beban *displacement* pada tumpuan (*support displacement load*). Komponen struktur harus dievaluasi terhadap respon struktur berupa gaya dalam yang terjadi, sehingga komponen tetap mampu dalam menerima beban. Kemampuan komponen dalam menerima beban disebut sebagai aspek kekuatan struktur.

Selain *displacement* pada pondasi, deformasi struktur berupa *displacement* atau simpangan pada lantai (*story drift*) akan menentukan jenis perilaku struktur lainnya. Nilai simpangan lantai (*story drift*) harus dalam batas nilai yang diijinkan sehingga struktur masih dalam kondisi tertentu yang disebut sebagai aspek stabilitas struktur.

Simpangan antar lantai (*interstory drift*, Δ) akan menentukan batasan elastisitas struktur, dimana nilai simpangan antar lantai dalam batas kondisi yang diijinkan menjamin bahwa struktur masih dalam batas kondisi elastis. Sebaliknya, nilai simpangan antar lantai (Δ) yang melebihi nilai yang diijinkan akan membuat struktur dalam kondisi inelastis. Nilai ijin simpangan antar tingkat (*interstory drift*, Δ_a) yang harus dipenuhi yaitu sebesar 30 mm.

Analisa keandalan struktur

Keandalan struktur diukur berdasarkan pada probabilitas kegagalan yang mungkin terjadi. Struktur akan dianggap tidak andal jika nilai probabilitas kegagalan (P_f) besar, dimana nilai keandalan (R) ditentukan dengan besaran normal yang dikurangi dengan p_f ($R=1-P_f$). Selain itu, nilai indeks keandalan dapat diukur berdasarkan hubungan antara probabilitas kegagalan pada kondisi batas fungsi kinerja (*performance function*) tertentu.

Besaran probabilitas kegagalan (P_f) dalam hubungan dengan indeks keandalan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P_f = \Phi(-\beta)$$

(1)

Sehingga indeks keandalan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f)$$

(2)

dimana :

P_f = probabilitas kegagalan

β = indeks keandalan

Φ = fungsi distribusi probabilitas kumulatif (CDF)

ϕ = fungsi distribusi kepadatan (PDF)

Beberapa aspek yang dipertimbangkan dalam memperhitungkan indeks keandalan dan probabilitas kegagalan adalah fungsi kuat batas ultimit yang memperhitungkan variabel-variabel efek beban dan tahanan yang bersifat acak. Variabel-variabel beban dan tahanan memiliki distribusi tertentu sehingga variabel beban dan tahanan dapat dikelompokkan menurut nilai rerata dan simpangan baku.

Metode perhitungan dengan mempertimbangkan nilai statistik variabel disebut dengan metode analitis. Selain itu metode perhitungan menggunakan simulasi dapat digunakan untuk menganalisa hubungan variabel statistik diantaranya yaitu metode simulasi *Monte Carlo*.

Fungsi kuat batas (*limit state function*)

Definisi kegagalan pada konsep probabilitas ditentukan sebagai kondisi dimana struktur tidak dapat mencapai suatu target dalam fungsi kinerja (*performance function*).

Fungsi kinerja yang harus dicapai oleh struktur merupakan kinerja dari komponen yang melebihi batas kemampuan yang diijinkan, sebagai contoh: lendutan yang melebihi lendutan maksimal yang diijinkan. Fungsi kinerja yang terkait dengan kapasitas struktur dalam memikul beban disebut sebagai fungsi kondisi batas ultimit (*ultimate limit states function*). Batas keamanan (*margin of safety*) dari fungsi kondisi batas ultimit berupa tahanan (R) dan beban (S) secara matematis didefinisikan seperti berikut :

$$g(Z) = R - S = 0$$

(3)

Fungsi kondisi batas dalam 3 kondisi dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. kondisi aman (*safe*), jika Nilai $g(Z) > 0$.
2. kondisi batas antara aman dan gagal, jika $g(Z) = 0$.
3. kondisi gagal (*failure*), jika $g(Z) < 0$.

Besarnya probabilitas kegagalan dihitung pada kondisi $z < 0$ sesuai dengan fungsi kondisi batas ultimit atau fungsi kinerja.

Simulai Monte Carlo

Selain cara analitis, indeks keandalan dapat dihitung dengan cara simulasi *Monte Carlo*. Simulasi *Monte Carlo* merupakan metode pengambilan sampel acak yang didapatkan dari bangkitan nilai acak dengan faktor ketidakpastian. Nilai variabel acak dibangkitkan dari parameter-parameter statistik variabel beban dan tahanan.

Dengan demikian, simulasi *Monte Carlo* merupakan suatu teknik untuk mendapatkan sampel secara numerik dengan memanfaatkan distribusi data tanpa

Tabel 3. Nilai indeks keandalan target berdasarkan tingkat kepentingan struktur

Tingkat kepentingan	Desain baru	Eksisting	Historis
Rendah	3.00 - 3.50	2.00 - 2.50	3.25 - 3.50
Sedang	3.50 - 4.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.50
Tinggi	3.75 - 4.50	2.75 - 3.50	3.75 - 4.75

Sumber : Nowaks and Kaszynska (2011)

Variabel tahanan

Untuk mendapatkan nilai variabel statistik tahanan, lebih dahulu perhitungan

melakukan uji secara fisik. Simulasi *Monte Carlo* dapat digunakan ketika dalam kondisi:

1. Kondisi permasalahan yang sangat kompleks, dimana pendekatan lain (*closed form solution*) tidak dapat dilakukan.
2. Kondisi permasalahan yang sangat kompleks dengan penyederhanaan yang rumit.
3. Kondisi permasalahan dalam perhitungan dan penyederhanaan yang perlu diverifikasi hasilnya.

Prosedur pengambilan sampel dalam simulasi monte carlo dapat dilakukan dengan *pseudo random generation* dimana sampel terdistribusi secara ragam antara 0 dan 1 untuk menghasilkan angka acak. Angka acak dari distribusi data dihitung untuk mendapatkan nilai sampel yang dibangkitkan dengan metode sampling.

Indek Keandalan Target

Menurut Nowak dan Kaszynska (2011), Nilai indeks keandalan target untuk balok, plat dan kolom dipertimbangkan terhadap resiko kegagalan dari komponen struktur. Berdasarkan tingkat konsekuensi kegagalan, lentur pada balok dipertimbangkan sebagai komponen struktur dengan memiliki daktilitas yang cukup tinggi. Kegagalan pada kolom lebih membahayakan daripada balok, sehingga nilai indeks keandalan target harus lebih tinggi.

Pada struktur eksisting, nilai indeks keandalan target diperbolehkan lebih rendah dengan alasan ekonomis. Nilai indeks keandalan target menurut tingkat kepentingan, untuk struktur gedung baru, struktur eksisting, dan struktur bernilai historis dapat dilihat pada tabel 3.

kapasitas atau kuat ultimit dari komponen struktur didapatkan dengan proses analisis secara deterministik. Kuat ultimit

komponen dikalikan dengan faktor bias dan koefisien variasi dari komponen struktur akan menghasilkan nilai rata-rata tahanan seperti pada persamaan berikut :

$$\mu_R = \lambda_R \times R_n$$

(4)

Dimana:

- μ_R = rata-rata untuk tahanan
- λ_R = faktor bias untuk tahanan
- R_n = kuat ultimit komponen

Faktor bias untuk tahanan didapatkan dari persamaan berikut :

$$\lambda_R = \lambda_M \times \lambda_F \times \lambda_P$$

(5)

Dimana:

- λ_R = faktor bias untuk tahanan
- λ_M = faktor bias untuk faktor material
- λ_F = faktor bias untuk faktor fabrikasi
- λ_P = faktor bias untuk faktor profesional

Sedangkan untuk masing-masing nilai faktor bias dari faktor-faktor tersebut ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut.

$$\lambda_M = \sqrt{\lambda_{f'c} \times \lambda_{fy}}$$

(6.a)

$$\lambda_F = \sqrt{\lambda_d \times \lambda_{A_s} \times \lambda_\phi}$$

(6.b)

Untuk nilai faktor bias dari faktor profesional berdasarkan komponen struktur menurut Ellingwood, et al (1980), seperti pada tabel 4.

Sedangkan koefisien variasi dinyatakan dalam persamaan :

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2}$$

(7)

Dimana:

- V_R = koefisien variasi untuk tahanan
- V_M = koefisien variasi untuk faktor material
- V_F = koefisien variasi untuk faktor fabrikasi
- V_P = koefisien variasi untuk faktor profesional

Tabel 4. Faktor profesional

Komponen	□	V
Balok beton-Lentur	1.02	0.06
Balok beton-geser tanpa sengkang	1.16	0.11
Balok beton-geser dengan sengkang	1.075	0.10
Kolom aksial, sengkang	1.00	0.08
Kolom aksial, spiral	1.05	0.06
Plat satu arah-Lentur	1.02	0.06
Plat satu arah-Geser	1.16	0.11
Plat dua arah-Geser	1.16	0.11
Kuat tumpu	1.02	0.06

Sumber : Ellingwood, dkk (1980)

Sedangkan untuk masing-masing nilai koefisien variasi dari faktor-faktor tersebut ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut.

$$V_M = \sqrt{V_{f'c}^2 + V_{fy}^2}$$

(7.b)

$$V_F = \sqrt{V_d^2 + V_{A_s}^2 + V_\phi^2}$$

(7.c)

Dimana :

- $f'c$ = kuat tekan beton
- fy = kuat leleh tulangan
- d = jarak spasi tulangan
- A_s = luas tulangan
- = diameter tulangan

Sedangkan untuk koefisien variasi faktor profesional dapat dilihat pada tabel 2.4 di atas.

Nilai simpangan baku dari komponen struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_R = \mu_R \cdot V_R$$

(8)

Dimana :

μ_R = rata-rata untuk tahanan

V_R = koefisien variasi untuk tahanan

Variabel efek beban

Efek pembebanan merupakan gaya dalam dari hasil analisis struktur yang bekerja pada komponen struktur. Gaya aksial, geser, dan momen yang digunakan berupa gaya-gaya dari beban D dan L baik berupa aksial dan momen.

Menurut Alreedy(2013), nilai efek pembebanan didapatkan dari kombinasi beban mati dan beban hidup seperti yang dikemukakan Galambos sebagai berikut :

$$\mu_S = \lambda_D D + \lambda_L L$$

(9)

Tabel 5. Faktor bias dan koefisien variasi beban

Beban	Faktor bias (\square)	Koefisien variasi (V)
Mati	1.05	0.10
Hidup	1.00	0.18

Sumber : Nowak, et al (1980)

Nilai simpangan baku dari beban dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_S = \mu_S \cdot V_S$$

(11)

Dimana :

\square_s = simpangan baku efek beban

μ_S = rata-rata untuk beban

V_S = koefisien variasi untuk beban

Keandalan Komponen Kolom

Kolom berfungsi meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawahnya hingga sampai tanah melalui pondasi. Kolom merupakan struktur tekan sehingga keruntuhan kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Komponen struktur yang menahan tekan atau kolom dapat dibebani oleh beban aksial dan lentur, sehingga kolom dengan beban aksial dan eksentrisitas satu arah disebut sebagai kolom uniaksial sedangkan kolom dengan beban aksial dan

Sedangkan koefisien variasi untuk variabel beban menurut Galambos and Yu (1984), dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V_s = \frac{\sqrt{(V_D D)^2 + (V_L L)^2}}{\mu_S}$$

(10)

Dimana :

\square_S = rata-rata beban

V_S = koefisien variasi beban

\square_D = faktor bias beban mati

\square_L = faktor bias beban hidup

D = beban mati

L = beban hidup

Sedangkan faktor bias untuk beban dapat dilihat pada tabel 5 berikut :

eksentrisitas dua arah disebut kolom biaksial.

Nilai tahanan kolom dapat dihitung menurut persamaan berikut.

$$R = \sqrt{P^2 + \left(\frac{M}{h}\right)^2}$$

(12)

Dimana:

P = gaya aksial kolom

M = gaya lentur kolom

h = tinggi penampang kolom

PEMBAHASAN

Properti komponen struktur

Properti elemen berupa dimensi balok, kolom, dan juga elevasi masing-masing lantai bangunan. Tabel dimensi komponen struktur yang digunakan sebagai masukan data pemodelan seperti ditunjukkan tabel 6 berikut.

Tabel 6. Properti elemen struktur

No	Kolom	b (m)	h (m)	Diameter (m)	Keterangan
1	K1	0,40	0,40		Kolom
2	K2	-		0,45	Kolom
3	K3		-	0,35	Kolom
4	B1	0,15	0,20	-	Balok
5	B2	0,25	0,40	-	Balok
6	B3	0,30	0,60	-	Balok

Sumber : hasil pengukuran

Bobot kerusakan

Sedangkan bobot masing-masing kerusakan yang terjadi pada gedung dapat dilihat pada tabel 7 berikut :

Tabel 7. Bobot kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

No	Komponen pemeriksaan	Jenis kerusakan	Luas kerusakan (m2)	Jumlah total	Bobot
1	Kolom K1	Rusak			
		Cat terkelupas	0.002	158,72 M2	0.001 %
2	Kolom K2	Rusak			
		Lapisan spesi terkelupas	0.002	65,74 M2	0.003 %
3	Kolom K3	Rusak			
		Lapisan spesi terkelupas	0.033	71,58 M2	0.76 %
		Cat terkelupas	0.270		0.38 %
4	Balok B1	Rusak			
		Lapisan spesi terkelupas	0.252	33,08 M2	0.76 %
5	Dinding Dalam	Rusak / Retak rambut	3.158	2024.76 M2	0.16 %
		Spesi terkelupas di sambungan Dinding Balok	0.236		0.01 %
		Spesi terkelupas Sambungan Dinding Kolom	0.241		0.01 %
		Lembab dan Berjamur	2.030		0.10 %
6	Dinding Luar	Rusak / Retak Rambut	4.122	912.55 M2	0.45 %
		Plesteran Terkelupas	1.058		0.12 %
		Spesi terkelupas di sambungan dinding balok	0.024		0.003 %
		Pengapuran	0.285		0.03 %
		Lembab	0.434		0.05 %
		Lumutan	0.589		0.065 %
7	Keramik	Terkelupas	2.400	6208.00 Bh	0.039 %
		Tergores pintu	1.760		0.028 %
		Pecah	0.160		0.003 %
9	Keramik WC warna	Pecah	0.320	396.00 Bh	0.081 %
10	Plafond	Berjamur	2.880	396.00 Bh	0.727 %
		Berlubang	8.640		2.182 %
		Rusak pada sambungan	8.640		2.182 %

		List plafond terlepas	0.800		0.202 %
11	Jendela	Rusak / tidak berfungsi	1.000	71.00 Bh	1.408 %
12	Pintu Geser kaca	Kaca pintu pecah	2	3.00 Bh	66.67 %
13	Pintu Dorong 2 kaca	Kunci slot pintu rusak	2.000	15.00 Bh	13.33 %

Lanjutan Tabel 7. Bobot kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

No	Komponen pemeriksaan	Jenis kerusakan	Luas kerusakan (m ²)	Jumlah total	Bobot
14	Pintu Vynil	Kunci tanam rusak / tidak berfungsi	8.000	8.00 Bh	100. %
15	Stop kontak	Rusak / tidak berfungsi	4.000	61.00 Bh	6.557 %
16	Lisplank Kayu 3/30	Cat terkelupas	18.600	100.36 M'	18.533 %
17	Lisplank beton	Cat terkelupas	21.344	119.44 M'	17.870 %
		Lumutan	16.726		14.00 %
18	Rabat beton	Rusak / pecah	9	72 M2	12.5 %

Penurunan pondasi

Penurunan yang terjadi pada tanah dasar diidealisasikan sebagai beban tambahan pada struktur dengan menganggap struktur bangunan tetap tanpa terjadi penurunan. Penurunan yang terjadi pada joint kolom dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel. 8. Penurunan joint kolom eksterior dan interior

Joint	Penurunan (mm)	Joint	Penurunan (mm)	Joint	Penurunan (mm)
1	-0.236	25	0.050	50	-0.161
2	-0.100	26	-0.190	51	-0.667
3	-0.110	27	-0.459	52	-1.007
4	-0.717	28	-0.794	53	-1.183
5	-1.052	29	-0.989	54	-1.517
6	-0.105	30	-1.309	55	-1.656
7	-0.282	31	-0.104	56	-0.198
8	-0.610	32	-0.104	57	-0.160
9	-0.774	33	-0.104	58	-0.756
10	-1.112	34	-0.104	59	-1.099
11	-1.267	35	-0.104	60	-1.269
12	-0.120	36	-0.105	61	-1.606
13	-0.115	37	-0.105	62	-1.753
14	-0.376	38	-0.274	63	-0.110
15	-0.783	39	-0.556	64	-0.105
16	-1.001	40	-0.886	65	-0.114
17	-1.221	41	-1.086	66	-1.301

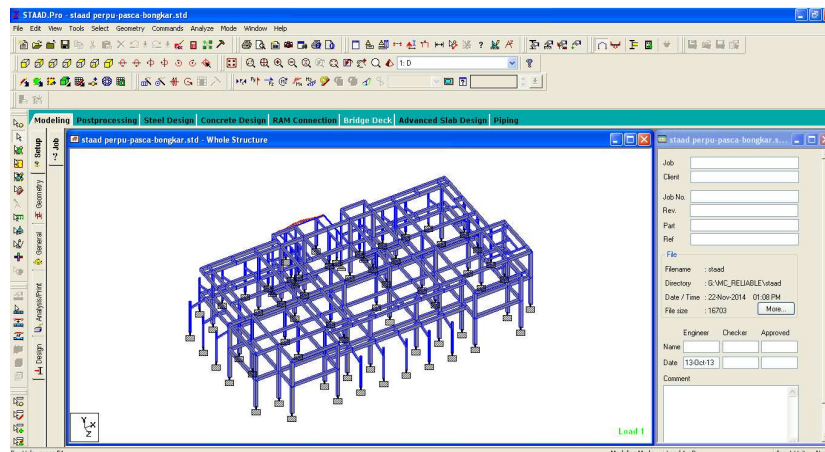
18	-1.364	42	-1.405	67	-1.636
19	-0.100	43	-0.110		
20	-0.119	44	-0.210		
21	-0.410	45	-0.286		
22	-0.623	46	-0.602		
24	-0.100	49	-0.130		

Sumber : hasil pengukuran

Hasil analisis struktur

Analisis struktur bangunan gedung perpustakaan menggunakan asumsi bahwa sistem struktur yang digunakan berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Respon struktur pada komponen balok dan kolom diupayakan menghasilkan gaya internal berupa gaya axial, gaya lintang dan momen dengan mempertimbangkan 6 derajat kebebasan (degree of freedom). Pada komponen balok,

derajat kebebasan diberikan secara penuh di setiap nodal dengan kekangan pada translasi dan rotasi di 3 arah berupa $UX,UY,UZ,RX,RY,RZ = 0$. Sedangkan pada nodal di kaki kolom diberi kekangan (*restrain*) dengan maksud untuk membatasi translasi yang terjadi di 3 arah berupa $UX,UY,UZ,RX,RY,RZ \neq 0$. Penyelesaian tersebut dilakukan dengan program bantu Staad Pro v8.i.



Gambar 1. Pemodelan Struktur Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra

Hasil analisa struktur (output) yang diharapkan dari proses analisa struktur adalah berupa gaya-gaya dalam (gaya aksial, gaya lintang, dan momen), dan reaksi tumpuan dari *column base*. Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan Staad pro v.8i, didapatkan nilai gaya dalam maksimum pada kondisi eksisting seperti pada tabel berikut.

Variabel tahanan

Parameter statistik tahanan didapatkan dari parameter statistik variabel-variabel yang menyumbangkan kuat ultimit komponen struktur. Parameter statistik yang dihitung berupa faktor bias (λ) dan koefisien variasi (V) dari nilai $F'c, fy, \phi$, dan d' .

Nilai-nilai parameter statistik tahanan pada kolom lain dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini :

Tabel 9. Parameter statistik tahanan komponen kolom

Uraian		Nominal	μ	λ	V	Distribusi
KOLOM K1 Lantai 1						
$f'c$	(Mpa)	22.5	23.52	1.40	1.05	0.06 Normal
Fy	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00 Normal
ϕ	(mm)	16	15.58	0.59	0.97	0.04 Normal

As	(mm ²)	201.062	190.64	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	34.70	2.71	1.16	0.08	Normal
KOLOM K1 Lantai 2							
f _c	(Mpa)	22.5	23.62	1.44	1.05	0.06	Normal
F _y	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
□	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm ²)	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	34.70	2.71	1.16	0.08	Normal

Lanjutan Tabel 9. Parameter statistik tahanan komponen kolom

Uraian		Nominal	μ	□	□	V	Distribusi
KOLOM K2 Lantai 1							
f _c	(Mpa)	22.5	23.03	1.65	1.02	0.07	Normal
F _y	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
□	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm ²)	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal
KOLOM K2 Lantai 2							
f _c	(Mpa)	22.5	22.90	1.34	1.02	0.06	Normal
F _y	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
□	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm ²)	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal
KOLOM K3							
f _c	(Mpa)	22.5	17.08	4.27	0.76	0.25	Normal
F _y	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
□	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm ²)	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal

Sumber: hasil analisis

Variabel tahanan kolom didapatkan dari faktor-faktor yang mempengaruhi seperti faktor material, faktor fabrikasi, dan

faktor profesional. Adapun variabel tahanan dari kolom pada gedung perpustakaan UNWIR dapat dilihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. faktor bias (□) dan koefesien variasi (V) komponen kolom

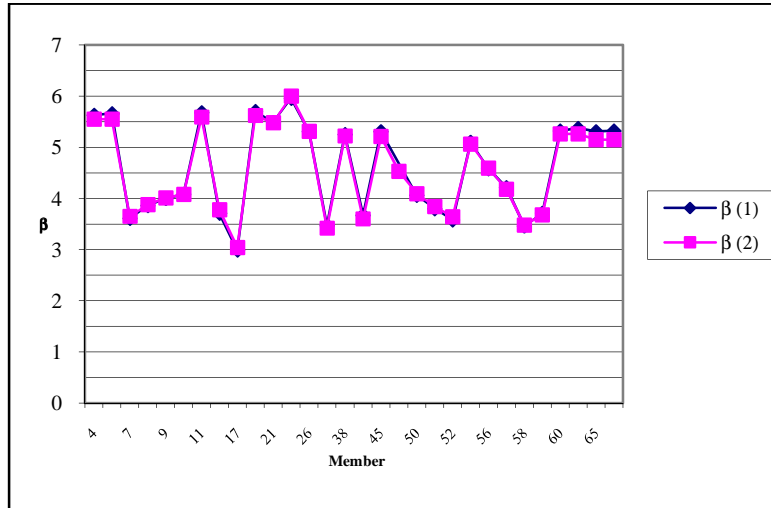
No	Uraian	Faktor bias □ □ □ R	Koefesien variasi (VR)
1	K1 lantai 1	0.92	0.15
2	K1 lantai 2	0.92	0.15
3	K2 lantai 1	0.80	0.17
4	K2 lantai 2	0.80	0.17
5	K3	0.60	0.29

Sumber : hasil analisis

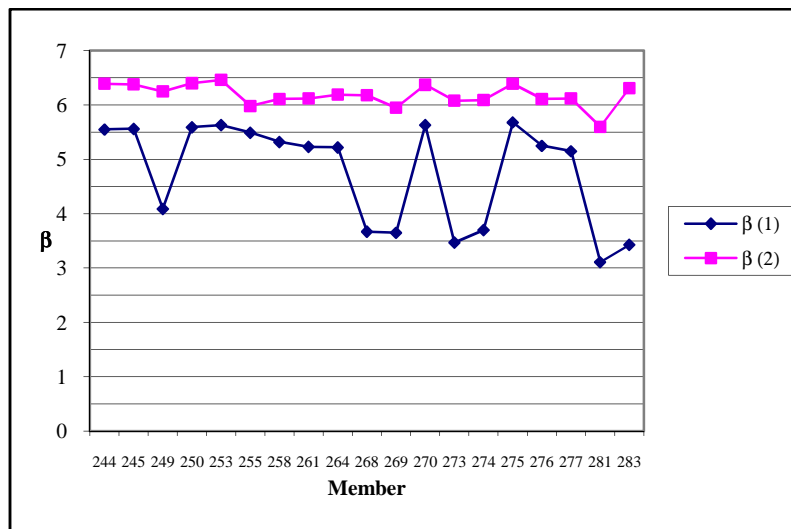
Nilai indek keandalan kolom

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai β sebesar 3.404, sehingga kolom

dianggap masih bisa menerima beban yang bekerja. Nilai β untuk kolom lain dapat dilihat pada beberapa grafik berikut.

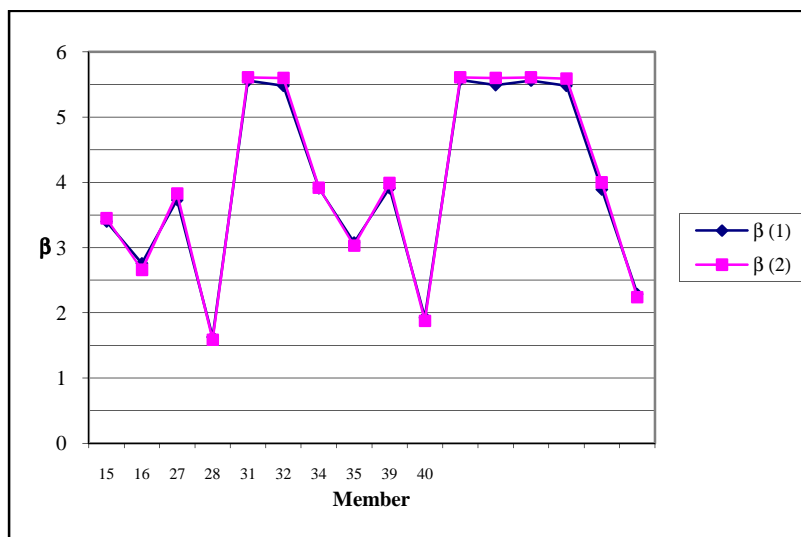


Gambar 2. Grafik indeks keandalan kolom K1 lantai 1



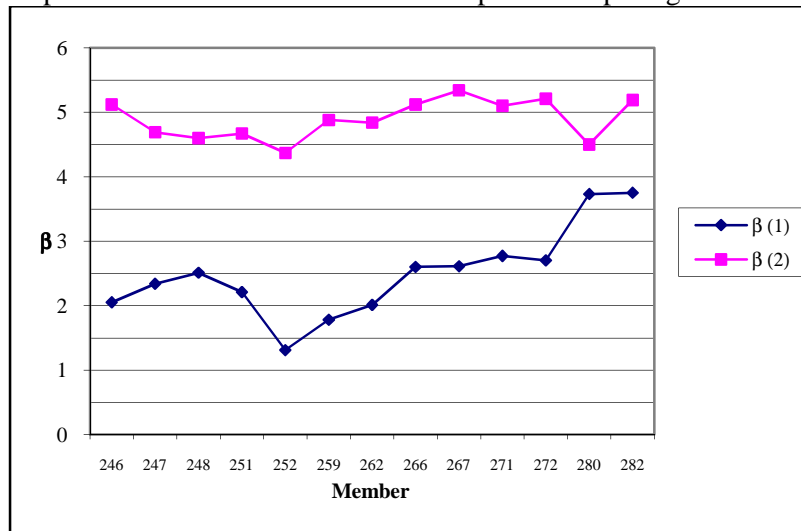
Gambar 3. Grafik indeks keandalan kolom K1 lantai 2

Nilai β berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K2 di lantai 1, dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



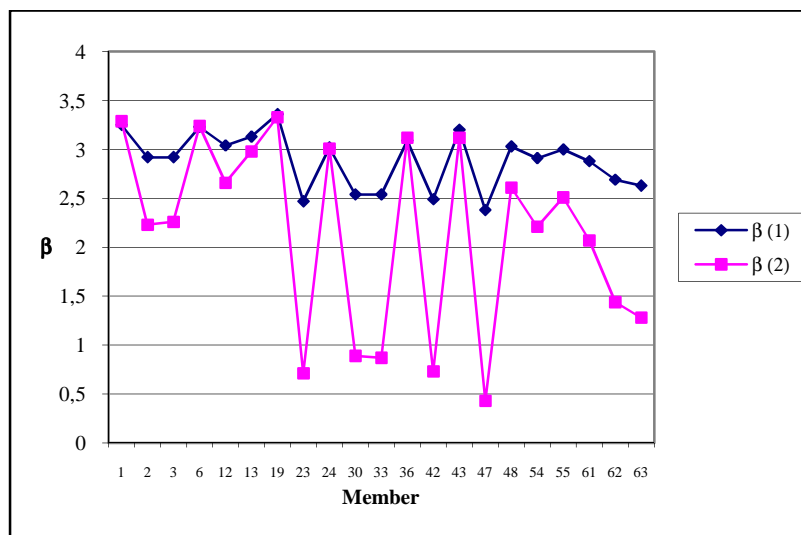
Gambar 4. Grafik indeks keandalan kolom K2 lantai 1

Nilai β pada seluruh kolom K2 di lantai 2 dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik indeks keandalan kolom K2 lantai 2

Nilai β berdasarkan hasil perhitungan pada kolom K3 pada seluruh kolom dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik indeks keandalan kolom K3

Hasil perhitungan dari seluruh kolom yang mempertimbangkan nilai target indeks keandalan ($\beta_T = 2.5$), menghasilkan nilai β bervariasi. Nilai β kurang dari 2,5 menunjukkan bahwa nilai indeks keandalan (β) kurang dari nilai target β_T sehingga kolom dapat mengalami kegagalan.

Nilai indeks keandalan (β) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada kolom member 4

sampai 14 dapat dilihat pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Nilai β kolom K1 lantai 1

Member	Analitis		MCS		Pf	
	\square	\square	\square	\square	\square	\square
4	5.63	5.55	5.67	5.57	4.27E-08	7.11E-08
5	5.66	5.55	5.66	5.56	4.37E-08	7.80E-08
7	3.61	3.65	3.58	3.66	6.59E-04	4.93E-04
8	3.86	3.88	3.88	3.82	2.14E-04	2.67E-04
9	4.00	4.01	4.06	4.00	1.04E-04	1.33E-04
10	4.08	4.08	4.09	4.06	9.28E-05	1.03E-04
11	5.68	5.59	5.73	5.58	3.02E-08	6.78E-08
14	3.71	3.78	3.70	3.73	4.26E-04	3.82E-04

Sumber : hasil analisis

Kolom yang memiliki nilai indek keandalan kurang dari nilai target indek keandalan ($\beta_T = 2,5$) terjadi pada kolom

K2 lantai 1, K2 lantai 2, dan K3. Kolom yang memiliki nilai β kurang dari β target dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Kolom dengan nilai $\beta < \beta_T$

No	Kolom	Member
1	K2 lantai 1	28, 40
2	K2 lantai 2	246,247,251,252,259,262
3	K3	2,3,23,30,33,42,47,54,61,62,63

Sumber : hasil analisis

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pengukuran di lapangan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi penurunan tanah yang tidak seragam dengan nilai penurunan maksimum sebesar 1.656 cm.
2. Volume kerusakan terbesar terdapat pada pintu geser utama sebesar 66,67%, sedangkan kerusakan lain yang paling banyak ditemukan berupa terkelupasnya lapisan spesi.
3. Parameter statistik tahanan pada komponen kolom eksisting dipengaruhi oleh faktor material dan faktor fabrikasi, dimana nilai faktor bias (λ) terkecil dan koefisien variasi (V) terbesar terjadi pada kolom K3 dengan masing-masing sebesar 0,60 dan 0,29.
4. Nilai indek keandalan (β) komponen kolom terkecil dengan nilai 1,32 terjadi pada kolom K2 di lantai 2.

Saran

Berdasarkan hasil analisa dan keterbatasan kajian, maka beberapa hal yang diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Analisa struktur akibat beban lateral dan penurunan pondasi perlu dipertimbangkan sebelum melakukan perbaikan dengan perkuatan.
2. Perbaikan yang dilakukan sebaiknya mempertimbangkan faktor waktu, kemudahan pelaksanaan, ketersediaan tenaga kerja dan teknologi, biaya, dan nilai ekonomi struktur gedung.
3. Penggunaan material perkuatan perlu dipertimbangkan terhadap berat struktur secara keseluruhan, mengingat penambahan beban pada struktur gedung akan menyebabkan penurunan gedung lebih lanjut.