

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pernyataan Keaslian	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	vi
<i>Abstract</i>	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xvi
Daftar Lampiran	xvii
Daftar Notasi	xviii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Metodologi Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	7

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Matriks Kekakuan dan Matriks Massa	9
2.1.1 Elemen Struktur Batang	9

2.1.2 Elemen Struktur Rangka dan Portal	12
2.2 Sistem Struktur <i>Multi Degree of Freedom</i> (MDOF)	14
2.2.1 Persamaan Gerak	14
2.2.2 Persamaan Karakteristik	17
2.2.3 Normalisasi Pola Ragam Getar Struktur	17
2.2.4 Normalisasi Frekuensi Natural Struktur	18
2.3 Pengukuran Modal (<i>Modal Testing</i>)	19
2.3.1 Jenis Pengukuran Modal	20
2.3.2 Ekstraksi Parameter Modal	21
2.3.3 Pengaruh <i>Noise</i> dalam Pengujian	22
2.4 Teori Kerusakan Struktur	23
2.4.1 Indeks Kerusakan Struktur	24
2.4.2 Klasifikasi Kerusakan Struktur	26
2.4.3 Pemodelan Kerusakan Struktur	27
2.4.4 Perkembangan Metode untuk Mendeteksi Kerusakan Struktur.....	27
2.4.5 Metode untuk Mendeteksi Lokasi Kerusakan Struktur	31
2.4.5.1 Konsep Gaya Residu	31
2.4.5.2 Konsep Rank Matriks	34
2.4.6 Metode untuk Menentukan Tingkat Kerusakan Struktur	39
2.4.6.1 Persamaan Reduksi Kekakuan Struktur	39
2.4.6.2 <i>First-order Sensitivity Matrix of Natural Frequency</i>	43
2.4.6.3 Konsep <i>Singular Value Decomposition (SVD) Matrix</i> dan <i>Pseudo – invers Matrix</i>	45

2.5 <i>Matrix Condition Number</i>	49
2.5.1 <i>Vector Norm</i>	49
2.5.2 <i>Matrix Norm</i>	50
2.5.3 <i>Condition Number</i>	51

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian	52
3.1.1 Modelisasi Struktur	54
3.1.2 Input Data	55
3.1.3 Variasi Model	56
3.2 Diagram Alir Penelitian	61

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan	64
4.2 Penelitian Awal	67
4.3 Analisis terhadap Sistem Struktur <i>2D Truss</i> (Analisis 1)	70
4.3.1 Hasil Simulasi untuk Metode Lokalisasi Kerusakan	71
4.3.2 Analisis terhadap Metode Lokalisasi Kerusakan	74
4.3.3 Hasil Simulasi untuk Metode Penentuan Tingkat Kerusakan	75
4.3.4 Analisis terhadap Metode Penentuan Tingkat Kerusakan	85
4.4 Analisis terhadap Sistem Struktur <i>2D Frame</i> (Analisis 2)	88
4.4.1 Hasil Simulasi untuk Metode Lokalisasi Kerusakan	88
4.4.2 Analisis terhadap Metode Lokalisasi Kerusakan	92
4.4.3 Hasil Simulasi untuk Metode Penentuan Tingkat Kerusakan	94

4.4.4 Analisis terhadap Metode Penentuan Tingkat Kerusakan	107
4.5 Analisis terhadap Kondisi Matriks (Analisis 3)	110
4.5.1 Hasil Simulasi untuk Kondisi Matriks pada <i>2D Truss</i>	111
4.5.2 Hasil Simulasi untuk Kondisi Matriks pada <i>2D Frame</i>	111
4.5.3 Analisis Kondisi Matriks	112
4.6 Analisis terhadap Jumlah Moda Pengukuran yang Dibutuhkan	114
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran	117
 DAFTAR PUSTAKA	 118
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.5.1. Diagram alir metodologi penelitian	8
Gambar 2.1.1. Satu buah elemen batang.....	10
Gambar 3.1.1. Contoh model struktur <i>2D truss</i>	55
Gambar 3.1.2. Contoh model struktur <i>2D frame</i>	55
Gambar 3.1.3. Variasi rasio R_H dan R_B untuk meninjau pengaruh iregularitas ..	60
Gambar 3.2.1. Diagram penelitian untuk Analisis 1	62
Gambar 3.2.2. Diagram penelitian untuk Analisis 2	62
Gambar 3.2.3. Diagram penelitian untuk Analisis 3	63
Gambar 4.2.1. Pemodelan <i>2D truss</i>	68
Gambar 4.2.2. Grafik hubungan antara besarnya simulasi kerusakan dengan perubahan matriks massa yang terjadi menggunakan Metode 1 untuk kasus kerusakan 1 elemen	68
Gambar 4.2.3. Grafik hubungan antara besarnya simulasi kerusakan dengan perubahan matriks massa yang terjadi menggunakan Metode 1 untuk kasus kerusakan 3 elemen	69
Gambar 4.3.1. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen horizontal (elemen 6)	71
Gambar 4.3.2. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen vertikal (elemen 12)	71
Gambar 4.3.3. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen diagonal (elemen 11)	72

Gambar 4.3.4. Grafik untuk <i>multiple site damage</i> sebesar 20%, pada elemen 6 dan elemen 12	72
Gambar 4.3.5. Grafik untuk <i>multiple site damage</i> sebesar 20%, pada elemen 6, elemen 11, dan elemen 12	73
Gambar 4.3.6. Hasil simulasi berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode, (N_d = jumlah elemen rusak dan N = jumlah total elemen)	76
Gambar 4.3.7. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode.....	77
Gambar 4.3.8. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode.....	78
Gambar 4.3.9. Hasil simulasi berdasarkan variasi H/B untuk setiap metode	79
Gambar 4.3.10. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi H/B untuk setiap metode..	80
Gambar 4.3.11. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi H/B untuk setiap metode..	81
Gambar 4.3.12. Model struktur untuk simulasi berdasarkan variasi bentang horizontal	82
Gambar 4.3.13. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi jumlah bentang untuk setiap metode	83
Gambar 4.3.14. Grafik untuk jenis kerusakan 3 elemen, dengan rasio $N_d/N = 0.1$	84
Gambar 4.3.15. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi simulasi tingkat kerusakan untuk setiap metode pada jenis kerusakan 3 elemen untuk kasus <i>same severity</i>	85
Gambar 4.4.1. Pemodelan <i>2D frame</i>	88

Gambar 4.4.2. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen horizontal (elemen 21)	89
Gambar 4.4.3. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen vertikal (elemen 6)	90
Gambar 4.4.4. Grafik untuk <i>single site damage</i> sebesar 20%, pada elemen diagonal (elemen 33)	90
Gambar 4.4.5. Grafik untuk <i>multiple site damage</i> sebesar 20%, pada elemen 6 dan elemen 21	91
Gambar 4.4.6. Grafik untuk <i>multiple site damage</i> sebesar 20%, pada elemen 6 elemen 21, dan elemen 7	91
Gambar 4.4.7. Hasil simulasi untuk besarnya persentase kerusakan pada <i>false detection element</i> (elemen 33)	94
Gambar 4.4.8. Hasil simulasi berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode, dengan N_d = jumlah elemen rusak dan N = jumlah total elemen	97
Gambar 4.4.9. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode	98
Gambar 4.4.10. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi N_d/N untuk setiap metode	99
Gambar 4.4.11. Hasil simulasi berdasarkan variasi H/B untuk setiap metode .	100
Gambar 4.4.12. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi jumlah bentang untuk setiap metode	102

Gambar 4.4.13. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi jumlah tingkat untuk setiap metode	103
Gambar 4.4.14. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi tingkat kerusakan pada jenis kerusakan 4 elemen ($N_d/N = 0.1$) untuk kasus <i>same severity</i>	103
Gambar 4.4.15. Grafik untuk jenis kerusakan 4 elemen, dengan rasio $N_d/N = 0.1$	104
Gambar 4.4.16. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi iregularitas vertikal untuk setiap metode pada jenis kerusakan 1 elemen dengan tingkat kerusakan 20%	105
Gambar 4.4.17. Persentase <i>error</i> berdasarkan variasi iregularitas vertikal untuk setiap metode pada jenis kerusakan 1 elemen dengan tingkat kerusakan 40%	106
Gambar 4.5.1. Grafik <i>matrix condition number</i> pada berbagai rasio N_d/N	111
Gambar 4.5.2. Grafik <i>matrix condition number</i> pada berbagai rasio N_d/N	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.4.1. Kategori kerusakan struktur lokal	26
Tabel 2.4.2. Kategori kerusakan struktur global (<i>for non-collapse building</i>).....	27
Tabel 2.4.3. Rangkuman mengenai kategori dan metode yang dilakukan untuk deteksi kerusakan	28
Tabel 4.3.1. Matriks E ($\times 10^3$) untuk <i>multiple site damage</i> sebesar 20%, pada elemen 6, elemen 11, dan elemen 12	74
Tabel 4.4.1. Hasil simulasi yang menunjukkan <i>false detection</i> pada nomor elemen 33	94
Tabel 4.5.1. Hasil Simulasi untuk Identifikasi Kondisi Matriks pada <i>2D</i> <i>Truss</i>	111
Tabel 4.5.2. Hasil Simulasi untuk Identifikasi Kondisi Matriks pada <i>2D</i> <i>Frame</i>	112

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	HASIL SIMULASI UNTUK KOMBINASI METODE <i>RESIDUAL NODE VECTOR</i> DENGAN KONSEP <i>MINIMUM RANK MATRIX</i>	L-1
LAMPIRAN B	HASIL SIMULASI UNTUK TAHAP LOKALISASI KERUSAKAN DENGAN PENGARUH <i>NOISE</i>	L-4
LAMPIRAN C	VARIASI MODEL STRUKTUR <i>2D FRAME</i>	L-7
LAMPIRAN D	DATA SIMULASI UNTUK MENENTUKAN TINGKAT KERUSAKAN STRUKTUR (<i>2D TRUSS</i>) ..	L-11
LAMPIRAN E	HASIL SIMULASI YANG MENUNJUKKAN ADANYA <i>FALSE DETECTION</i>	L-15
LAMPIRAN F	DATA SIMULASI UNTUK MENENTUKAN TINGKAT KERUSAKAN STRUKTUR (<i>2D FRAME</i>).	L-18
LAMPIRAN G	KODE PROGRAM MATLAB	L-23

DAFTAR NOTASI

- \mathbf{k}_e^l : matriks kekakuan elemen pada sumbu lokal
- \mathbf{k}_e^g : matriks kekakuan elemen pada sumbu global
- \mathbf{T} : matriks transformasi
- \mathbf{m}_e^l : matriks massa setiap elemen pada sumbu lokal
- \mathbf{m}_e^g : matriks massa setiap elemen pada sumbu global
- \mathbf{K} : matriks kekakuan struktur
- \mathbf{C} : matriks redaman struktur
- \mathbf{M} : matriks massa struktur
- ρ : massa jenis material
- ω_n : frekuensi natural struktur (radian) pada moda ke-n
- ϕ_n : pola ragam getar struktur pada moda ke-n
- n_d : jumlah total DOF struktur
- ζ : rasio redaman struktur
- \mathbf{I} : matriks identitas
- $\hat{\Phi}$: pola ragam getar setelah normalisasi
- ω_{u-i} : frekuensi natural moda ke-i pada struktur awal (*undamage*), dalam satuan radian
- ω_{d-i} : frekuensi natural moda ke-i pada struktur setelah rusak (*damage*), dalam satuan radian
- λ_n : nilai eigen untuk moda ke-n ($\lambda_n = \omega_n^2$)

- ϕ_n : vektor eigen (pola ragam getar untuk moda ke-n)
 \mathbf{R}_n : vektor gaya residu pada moda getar ke-n
 \mathbf{A} : *stiffness connectivity matrix*
 $\Delta\mathbf{P}$: *elemental damage parameters matrix*
 κ_i : *static eigenvector matrix*
 \mathbf{E} : *damage localization matrix*
 \mathbf{L} : matriks kekakuan dan matriks massa, sesuai dengan elemen-elemen struktur yang mengalami kerusakan
 \mathbf{G} : matriks kekakuan sesuai dengan elemen-elemen struktur yang mengalami kerusakan
 \mathbf{S} : matriks sensitivitas frekuensi, dengan frekuensi dalam satuan Hz
 E : modulus elastisitas
 A : luas penampang elemen
 L : panjang elemen
 N : jumlah total elemen struktur
 N_d : jumlah elemen yang rusak
 m : jumlah pengukuran moda yang dibutuhkan
 $\|\mathbf{A}\|_i$: norm pada matriks atau vektor \mathbf{A} dengan jenis norm i .
 c : *matrix condition number*