

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR	
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI	
PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI	
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Pendahuluan .....	7
2.2 <i>Structural Health Monitoring System</i> .....	7
2.3 Anemometer Bola ( <i>Ball Anemometer</i> ) .....	7
2.4 Transformasi Kecepatan Angin menjadi Gaya .....	8
2.5 <i>Non-Destructive Test</i> .....	9
2.6 <i>Degrees of Freedom</i> .....	15
2.7 Model Sistem Struktur Dinamis .....	15
2.7.1 <i>Sistem Single Degree of Freedom</i> .....	15
2.7.2 <i>Undamped Free Vibration</i> .....	16
2.8 Kekakuan ( <i>stiffness</i> ) pada Balok .....	17
2.9 Frekuensi dan Periode Natural .....	21
2.9.1 Frekuensi Natural pada Balok .....	22
2.10 <i>Fast Fourier Transform</i> .....	24
2.11 Aplikasi MATLAB dan SAP2000 .....	27
BAB III METODE PENELITIAN .....	28
3.1 Pendahuluan .....	28
3.2 Metode Simulasi SAP2000 Model Asumsi Kantilever <i>Single Degree of Freedom</i> .....	29
3.3 Metode Penentuan Lokasi Sensor <i>Vibration Based Non Destructive Testing</i> .....	29

3.4 Metode Simulasi Pengaruh Jenis Tumpuan pada Sistem SDOF terhadap Frekuensi Natural .....	30
3.5 Pengolahan Data Lendutan Baling-Baling <i>Wind Turbine</i> .....	32
3.5.1 Identifikasi Data Getaran Berbasis Waktu dan Frekuensi.....	32
3.5.2 Spesifikasi Model Prototipe Baling-Baling <i>Wind Turbine</i> ....	34
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Pendahuluan .....	35
4.2 Analisa Metode Evaluasi Struktur .....	35
4.2.1 Hasil Simulasi Hubungan Modulus Elastisitas Sistem <i>Single Degree of Freedom</i> pada Balok Kantilever dengan Kekakuan, Frekuensi Natural, dan Periode .....	36
4.2.2 Analisa Modulus Elastisitas Kritis dengan Model Simulasi Eksperimen .....	41
4.2.3 Hubungan Jarak Massa terhadap Tumpuan dengan $K$ , $\omega_n$ , $F_n$ , dan $T_n$ .....	43
4.2.4 Hasil Perbandingan Frekuensi Natural dengan Titik Distribusi Massa yang Berbeda.....	45
4.3 Hubungan Penurunan Modulus Elastisitas Sistem <i>Free Vibration</i> Teredam dengan Amplitudo Getaran .....	49
4.4 Hubungan Jenis Kombinasi Tumpuan terhadap Frekuensi Natural dari Balok .....	53
4.5 Perolehan Hasil Pengolahan Data Model Balok dengan Keadaan Baik, Diberikan <i>Treatment</i> , dan Terdegradasi.....	59
4.5.1 Hasil Pengolahan Data Balok dengan Keadaan Baik .....	59
4.5.2 Hasil Pengolahan Data Balok yang Diberikan <i>Treatment</i> .....	63
4.5.3 Hasil Pengolahan Data Balok yang Terdegradasi .....	68
4.5.4 Hasil Penentuan Kondisi Sistem NDT Berbasis Vibrasi.....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran.....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anemometer Bola .....	8
Gambar 2.2 Simulasi Model dengan Bantuan Anemometer dan Alat <i>Converter</i> . 12	12
Gambar 2.3 <i>Converter</i> Digital-Wandler DT9816-A.....	13
Gambar 2.4 Pemodelan Baling-Baling Kincir Angin ( <i>Wind Turbine</i> ) .....	13
Gambar 2.5 Hubungan Jumlah Sensor (Akselerometer) terhadap <i>Degree of Freedom</i> Sistem.....	14
Gambar 2.6 Model Dinamis Sistem <i>Single Degree of Freedom</i> .....	15
Gambar 2.7 Sistem <i>Undamped Free-Vibration</i> .....	17
Gambar 2.8 Perbedaan Respon Vibrasi .....	21
Gambar 2.9 Periode Natural Getaran .....	22
Gambar 2.10 Grafik Sinyal Berdomain Waktu ( <i>Time-domain Signal</i> ) .....	25
Gambar 2.11 Grafik Sinyal Berdomain Frekuensi ( <i>Frequency-domain Signal</i> ) ..	25
Gambar 2.12 Nilai $\omega$ pada Grafik Berdomain Frekuensi.....	26
Gambar 2.13 Metode <i>Quadrature Peak Picking</i> .....	26
Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian .....	28
Gambar 3.2 Model <i>Single Degree of Freedom</i> Simulasi Balok Kantilever.....	29
Gambar 3.3 Model Balok dengan Massa di Tengah .....	30
Gambar 3.4 Grafik Getaran Berdomain Waktu: (a) Belum Dilakukan Penyesuaian (b) Telah Dilakukan Penyesuaian.....	32
Gambar 3.5 Data <i>Frequency Domain</i> Getaran yang Belum Terkalibrasi.....	33
Gambar 3.6 Data <i>Frequency Domain</i> Getaran yang Telah Disesuaikan .....	34
Gambar 4.1 Hasil Frekuensi Natural dan Periode Model Simulasi ( $f_n = 1,67764$ Hz dan $T = 0,59608$ detik) .....	36
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kekakuan Struktur ..	39
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dengan $\omega_n$ Struktur .....	39
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dengan T Struktur .....	40
Gambar 4.5 Letak Sensor Anemometer pada Umumnya.....	42
Gambar 4.6 Lendutan pada Model Simulasi dalam mm dengan $E = 200$ GPa.....	42
Gambar 4.7 Hubungan Lokasi Titik Massa dengan Kekakuan Sistem.....	44
Gambar 4.8 Hubungan Lokasi Titik Massa dengan Frekuensi Natural .....	45
Gambar 4.9 Model Pertama dengan Massa 20000 kg pada Ujung Kantilever .....	46
Gambar 4.10 <i>Deformed Shape</i> Model Pertama pada SAP2000.....	46
Gambar 4.11 Model Kedua dengan Massa 10000 kg Terbagi Dua .....	47
Gambar 4.12 <i>Deformed Shape</i> Model Kedua pada SAP2000 .....	47
Gambar 4.13 Model Ketiga dengan Massa 6666,67 Terbagi pada Tiga Titik.....	48
Gambar 4.14 <i>Deformed Shape</i> Model Ketiga pada SAP2000 .....	48
Gambar 4.15 Perbedaan Amplitudo Getaran pada Tiga Sistem dengan Modulus Elastisitas Berbeda.....	50
Gambar 4.16 Grafik FFT Elemen Struktur dengan $E = 200$ GPa .....	51
Gambar 4.17 Grafik FFT Elemen Struktur dengan $E = 160$ GPa .....	51
Gambar 4.18 Grafik FFT Elemen Struktur dengan $E = 120$ GPa .....	52
Gambar 4.19 Hubungan E dengan $f_n$ pada Tiga Beberapa Kombinasi Tumpuan. 58	58

Gambar 4.20 Grafik FFT Balok Keadaan Baik dengan Kecepatan Angin 7 mps ( $f = 39,43$ Hz) .....	62
Gambar 4.21 Grafik FFT Balok Keadaan Baik dengan Kecepatan Angin 10 mps ( $f = 39,2867$ Hz) .....	62
Gambar 4.22 Grafik FFT Balok Keadaan Baik dengan Kecepatan Angin 17 mps ( $f = 39,2733$ ).....	62
Gambar 4.23 Grafik FFT Balok Keadaan Baik dengan Kecepatan Angin 20 mps ( $f = 39,0783$ ).....	63
Gambar 4.24 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 7 mps) yang Diberi <i>Treatment</i> ( $f = 40,3433$ ) .....	66
Gambar 4.25 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 10 mps) yang Diberi <i>Treatment</i> ( $f = 40,32$ Hz) .....	67
Gambar 4.26 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 17 mps) yang Diberi <i>Treatment</i> ( $f = 40,29$ Hz) .....	67
Gambar 4.27 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 20 mps) yang Diberi <i>Treatment</i> ( $f = 40,285$ Hz) .....	67
Gambar 4.28 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 7 mps) yang Terdegradasi ( $f = 38,4333$ Hz) .....	71
Gambar 4.29 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 10 mps) yang Terdegradasi ( $f = 38,3583$ Hz) .....	71
Gambar 4.30 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 17 mps) yang Terdegradasi ( $f = 38,2867$ Hz) .....	71
Gambar 4.31 Grafik FFT Balok (Kecepatan Angin 20 mps) yang Terdegradasi ( $f = 38,1967$ Hz) .....	72
Gambar 4.32 Pemodelan Baling-Baling <i>Wind Turbine</i> dengan SAP2000 .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Contact Methods NDT</i> .....	9
Tabel 2.2 <i>Non-contact Methods NDT</i> .....	10
Tabel 2.3 Rumus Perhitungan Defleksi Maksimum Balok Kantilever.....	19
Tabel 2.4 Rumus Perhitungan Defleksi Maksimum Balok Sederhana .....	20
Tabel 2.5 Frekuensi Natural Tiga Mode Pertama Balok Kantilever.....	23
Tabel 3.1 Model-Model Kombinasi Tumpuan yang Dilakukan Simulasi .....	31
Tabel 4.1 Representasi Penurunan Modulus Elastisitas terhadap Kekakuan, Frekuensi Natural, dan Periode .....	37
Tabel 4.2 Representasi Penurunan Modulus Elastisitas terhadap Kekakuan, Frekuensi Natural, dan Periode .....	38
Tabel 4.3 <i>Trial and Error</i> Defleksi Maksimum.....	43
Tabel 4.4 Hubungan Antara Jarak Massa dengan Parameter $K$ , $\omega_n$ , $F_n$ , dan $T_n$ ....	44
Tabel 4.5 Komparasi Frekuensi Natural dengan Perbedaan Distribusi Massa .....	48
Tabel 4.6 Frekuensi Natural Mode Pertama Beberapa Kombinasi Tumpuan beserta <i>Deformed Shape</i> pada Kondisi Balok Normal ( $E = 200000$ MPa).....	53
Tabel 4.7 Frekuensi Natural Mode Pertama Beberapa Kombinasi Tumpuan beserta <i>Deformed Shape</i> pada Kondisi Balok Normal ( $E = 200000$ MPa).....	54
Tabel 4.8 Frekuensi Natural Mode Pertama Beberapa Kombinasi Tumpuan beserta <i>Deformed Shape</i> pada Kondisi Balok ( $E = 150000$ MPa).....	55
Tabel 4.9 Frekuensi Natural Mode Pertama Beberapa Kombinasi Tumpuan beserta <i>Deformed Shape</i> pada Kondisi Balok Rusak ( $E = 100000$ MPa).....	56
Tabel 4.10 Analisa Persentase Penurunan Frekuensi Natural Mode Pertama pada Beberapa Kombinasi Tumpuan.....	57
Tabel 4.11 Getaran Berdomain Waktu Balok dengan Keadaan Baik (Belum Disesuaikan).....	59
Tabel 4.12 Nilai Rata-Rata Lendutan Balok Keadaan Baik .....	61
Tabel 4.13 Getaran Berdomain Waktu Balok Keadaan Baik (Disesuaikan) .....	61
Tabel 4.14 Getaran Berdomain Waktu Balok yang Diberikan Treatment (Belum Disesuaikan).....	64
Tabel 4.15 Nilai Rata-Rata Lendutan Balok yang Diberi <i>Treatment</i> .....	65
Tabel 4.16 Getaran Berdomain Waktu Balok yang Diberi <i>Treatment</i> (Telah Disesuaikan).....	65
Tabel 4.17 Getaran Berdomain Waktu Balok yang Terdegradasi (Belum Disesuaikan).....	68
Tabel 4.18 Nilai Rata-Rata Lendutan Balok Terdegradasi .....	69
Tabel 4.19 Getaran Berdomain Waktu Balok Terdegradasi (Disesuaikan).....	70
Tabel 4.20 Frekuensi Natural (Hz) Model Baling-Baling <i>Wind Turbine</i> .....	73
Tabel 4.21 Lendutan Maksimum Sistem Berkecepatan Angin 7 mps dengan Nilai E yang Berbeda-beda .....	74
Tabel 4.22 Lendutan Maksimum Sistem Berkecepatan Angin 20 mps dengan Nilai E yang Berbeda-beda .....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Material Properties</i> Awal ( $E = 200000$ MPa).....	A-1
Lampiran 2. Properti Penampang Asumsi dengan <i>Section General</i> .....	A-1
Lampiran 3. <i>Section Properties</i> untuk Model Asumsi.....	A-2
Lampiran 4. Properti Penampang Prototipe Baling-Baling <i>Wind Turbine</i> .....	A-2
Lampiran 5. <i>Section Properties</i> Model Prototipe Baling-Baling .....	A-3
Lampiran 6. <i>Mass Source Data</i> .....	A-3
Lampiran 7. Opsi Analisis dalam Sumbu XZ (Dua Dimensi) .....	A-3
Lampiran 8. <i>Load Cases Modal Analysis</i> dalam <i>Eigen Vectors</i> .....	A-4

