

**PEMODELAN NUMERIK RESPON DINAMIK STRUKTUR
TURBIN ANGIN AKIBAT PEMBEBANAN GELOMBANG AIR
DAN ANGIN**

**Medianto
NRP : 0321050**

Pembimbing : Olga Pattipawaej, Ph.D

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG**

ABSTRAK

Energi yang diperoleh selama ini untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia bersumber dari fosil. Mengingat bertambah langkanya sumber tersebut maka salah satu alternatif sebagai sumber energi cadangan adalah dengan mengembangkan turbin angin sebagai pembangkit listrik, dimana struktur dari turbin angin itu sendiri berupa beton prategang.

Dalam Tugas Akhir struktur turbin angin yang dipilih adalah *Horizontal-axis Wind Turbine*. Turbin angin ini terletak didaerah laut dangkal dengan kedalaman hingga 15 meter. Beban-beban yang bekerja pada turbin angin antara lain, beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban gelombang air. Beban gelombang air dan angin merupakan beban dinamik yang dirumuskan menjadi persamaan Morison.

Data struktur turbin angin diambil dari Kiyomiya, Rikiji, dan van Gelder tahun 2002 dengan ketinggian struktur adalah 55 meter. Gelombang acak berdasarkan spektrum Jonswap yang kemudian ditransformasikan ke riwayat waktu dengan menggunakan *Fast Fourier Transform*. Penyelesaian persamaan dinamik menggunakan iterasi Newmark dengan menggunakan program MATLAB. Respon dinamik yang ditinjau adalah peralihan setiap titik nodal. Berdasarkan hasil analisis, nilai peralihan maksimum terjadi di titik nodal terbesar atau dipuncak menara turbin angin dengan ketinggian 55 meter.

DAFTAR ISI

SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR.....	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK.....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan.....	3
1.4 Sistematika Pembahasan.....	4
1.5 Sistematika Pemikiran.....	5
BAB 2 BANGUNAN TURBIN ANGIN	
2.1 Sejarah Bangunan Turbin Angin.....	6
2.2 Jenis-jenis Turbin Angin.....	11
2.3 Karakteristik Bangunan Turbin Angin.....	13
2.3.1 Karakteristik Fisik Bangunan Turbin Angin.....	13
2.3.2 Karakteristik Operasional Bangunan Turbin Angin.....	15
2.4 Kelas Kepadatan Daya Angin (<i>Wind Power Density</i>).....	18

2.5"	Lokasi Turbin Angin.....	19
2.6"	Jenis Pondasi Turbin Angin.....	20
BAB 3	GAYA YANG BEKERJA PADA STRUKTUR	
3.1	Pemodelan Beban Gelombang.....	21
3.2	Pemodelan Beban Angin.....	29
BAB 4	METODOLOGI PEMBAHASAN	
4.1	Penerapan Model Matematika.....	34
4.2	Data Berat dan Massa tiap Elemen.....	36
4.3	Perhitungan Momen Inersia dan Kekakuan tiap Elemen.....	36
4.4	Matriks Massa dan Kekakuan.....	42
4.4.1	Matriks Massa.....	43
4.4.2	Matriks Kekakuan.....	44
4.5	Perhitungan Matriks Redaman (<i>Damping</i>).....	46
BAB 5	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
5.1"	Persamaan Keseimbangan Dinamik.....	49
5.2"	Hasil <i>Running</i> Program MATLAB.....	51
5.2.1	Berdasarkan Perhitungan Momen Inersia dengan cara <i>Tributary Area</i>	51
5.2.2"	Berdasarkan Perhitungan Momen Inersia dengan cara Momen Inersia Rata-rata.....	53
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan.....	55
6.2	Saran.....	56
	DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	= Amplitudo gelombang, m
$[C]$	= Matriks redaman, kg / det
C_A	= Koefisien <i>added mass</i>
C_D	= Koefisien seret
C_M	= Koefisien inersia
D	= Diameter silinder, m
$D_{D,j}$	= Luas dari segmen yang ditinjau, m ²
$D_{I,j}$	= Volume dari segmen yang ditinjau, m ³
$\left\{ F \left(t, \dot{x} \right) \right\}$	= Vektor dari gaya luar
f	= Frekuensi gelombang, Hz
f_0	= Frekuensi gelombang awal, Hz
g	= Gravitasi, m ² / s
H	= Tinggi gelombang, m
h	= Kedalaman laut rata-rata, m
$[K]$	= Matrik kekakuan struktur, kg / m
k	= Bilangan gelombang, <i>wave number</i> , rad / m
L	= Panjang gelombang, m
$[M]$	= Matrik massa total, kg sec ² / m
MWL	= Muka air laut rata-rata, m
T	= Periode gelombang, det

u	= Kecepatan partikel air, m / det
\dot{u}	= Percepatan air, m / s ²
\bar{u}_j	= Kecepatan di bagian atas segmen yang ditinjau, m / det
$\frac{\dot{}}{u}_j$	= Percepatan rata-rata di bagian atas segmen yang ditinjau, m / det ²
\dot{x}	= Kecepatan silinder, m / det
\ddot{x}	= Percepatan silinder, m / det ²
\dot{x}_j	= Kecepatan di titik tengah dari segmen yang ditinjau, m / det
\ddot{x}_j	= Percepatan di titik tengah dari segmen yang ditinjau, m / det ²
$\left\{ x \right\}$	= Perpindahan titik nodal, m
$\left\{ \dot{x} \right\}$	= Kecepatan titik nodal, m / det
$\left\{ \ddot{x} \right\}$	= Percepatan titik nodal, m / det ²
η	= Jarak vertikal dari permukaan laut rata-rata hingga permukaan air pada saat tertentu, m
ρ	= Kepadatan massa air, N / m ³
ζ_m	= Rasio redaman pertama
ζ_n	= Rasio redaman kedua
ω_m	= Frekuensi natural pertama, rad / det
ω_n	= Frekuensi natural kedua, rad / det

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin Angin Pertama di Dunia dengan Kapasitas Megawatt yang terletak di Grandpa's Knob.....	7
Gambar 2.2	Tiga Turbin Angin Mod-2 NASA/DOE berkekuatan 7,5 megawatt di Goodnoe Hills, Washington (1981).....	9
Gambar 2.3	<i>Horizontal-axis Wind Turbine</i> (HAWT).....	12
Gambar 2.4	<i>Vertical-axis Wind Turbine</i> (VAWT).....	12
Gambar 2.5	Bangunan Turbin Angin.....	13
Gambar 2.6	Wilayah Zona Perairan Laut.....	19
Gambar 3.1	Gelombang Berjalan dengan Amplitudo Kecil.....	22
Gambar 3.2	Energi <i>Density</i> Spektrum Gelombang di Permukaan.....	26
Gambar 3.3	Gelombang pada Permukaan Air dengan Riwayat Waktu.....	27
Gambar 3.4	Spektrum Turbulen yang diusulkan oleh Harris, 1968.....	31
Gambar 3.5	Simulasi Turbulen dengan menggunakan Spektrum yang telah ditentukan.....	32
Gambar 4.1	Pemodelan Struktur Turbin Angin dengan Titik Nodal.....	35
Gambar 4.2	Potongan Melintang Menara (<i>Tower</i>).....	36
Gambar 4.3	Perhitungan Momen Inersia per-elemen pada Struktur Turbin Angin dengan cara <i>Tributary Area</i>	37
Gambar 4.4	Perhitungan Momen Inersia per-elemen pada Struktur Turbin Angin dengan cara Momen Inersia Rata-rata.....	39
Gambar 5.1	Grafik Respon/Peralihan Maksimum pada Titik Nodal 11 dengan Riwayat Waktu.. ..	52

Gambar 5.2	Grafik Peralihan vs Kedalaman Titik Nodal.....	52
Gambar 5.3	Grafik Respon/Peralihan Maksimum pada Titik Nodal 11 dengan Riwayat Waktu.....	54
Gambar 5.4	Grafik Peralihan vs Kedalaman Titik Nodal.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen Bangunan Turbin Angin.....	14
Tabel 2.2	Kelas dari Kepadatan Daya Angin 10 m dan 50 m diatas permukaan tanah/air.....	19
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Berat dan Massa tiap Elemen.....	36
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Momen Inersia dan Kekakuan dengan cara <i>Tributary Area</i>	38
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Momen Inersia dan Kekakuan dengan cara Momen Inersia rata-rata.....	41
Tabel 5.1	Peralihan Maksimum Struktur dengan Perhitungan Momen Inersia cara <i>Tributary Area</i>	51
Tabel 5.2	Peralihan Maksimum Struktur dengan Perhitungan Momen Inersia cara Momen Inersia Rata-rata.....	53