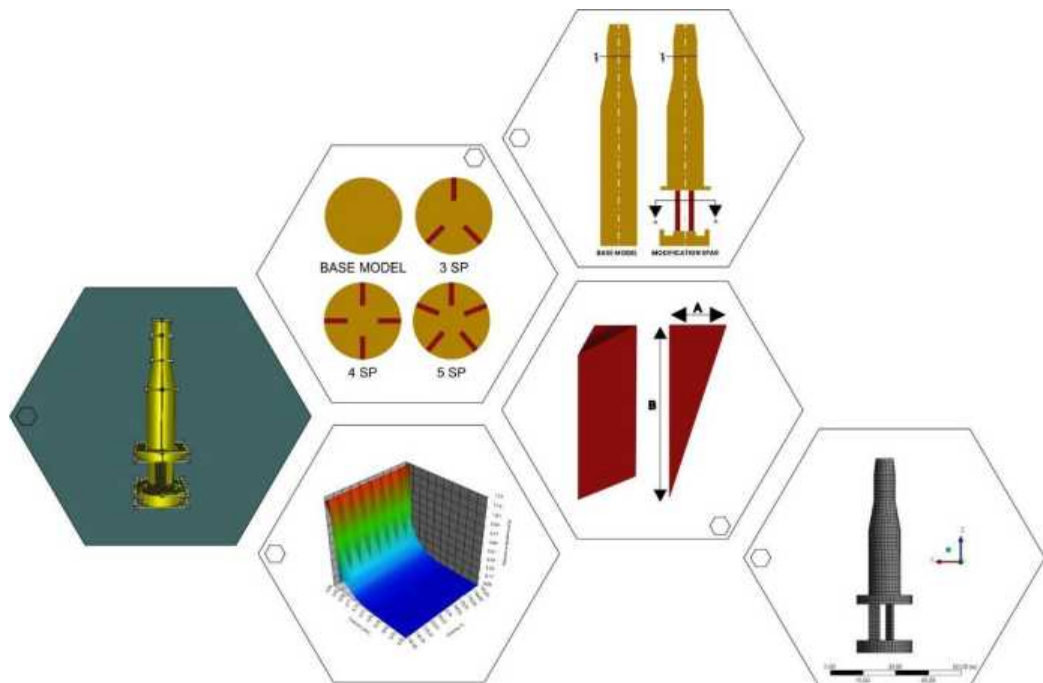


**PENGARUH JUMLAH SWING PLATE TERHADAP RESPON DINAMIS
SPAR WIND FLOATER DALAM GELOMBANG
ACAK**



M. FAJAR FITRA RAMADAN

D081 20 1026



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH JUMLAH SWING PLATE TERHADAP RESPON DINAMIS
SPAR WIND FLOATER DALAM GELOMBANG
ACAQ**

M. FAJAR FITRA RAMADAN

D081201026



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH JUMLAH SWING PLATE TERHADAP RESPON DINAMIS
SPAR WIND FLOATER DALAM GELOMBANG
ACA**

**M. FAJAR FITRA RAMADAN
D081 20 1026**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana
Teknik Kelautan

pada

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH JUMLAH SWING PLATE TERHADAP RESPON DINAMIS
SPAR WIND FLOATER DALAM GELOMBANG
ACAK**

**M. Fajar Fitra Ramadan
D081201026**

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal **20 Juni 2024**
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada



Mengesahkan:

Pembimbing Utama



Mud Assidiq, ST., MT.
92922021015001

Mengetahui:

Ketua Departemen,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa. skripsi berjudul "**Pengaruh Jumlah *Swing Plate Terhadap Respon Dinamis Spar Wind Floater dalam Gelombang Acak***". Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 21 Mei 2024


M. FAJAR FITRA RAMADAN
D081201026





UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul " Pengaruh Jumlah *Swing Plate* Terhadap Respon Dinamis *Spar Wind Floater* dalam Gelombang Acak". Shalawat dan salam tak lupa juga penulis kirimkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua, **Bapak Herman** dan **Ibu Nurjanna** yang telah berjuang dan terus mendoakan sedari awal serta melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang dimudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.
2. Dosen Pembimbing, **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.** Terima kasih atas segala keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya serta dukungan tak terhitung dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dimulai dari awal perkuliahan dan ditahap penelitian, penulisan skripsi sampai dengan hari ini.
3. Bapak **Prof Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D.** dan **Sabarudin Rahman, ST., MT., Ph.D.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. Ibu **Ir. H. Juswan, MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
6. **Dosen - Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.



Teman terdekat penulis, **Hidayatullah, Daffa Batara Agung**, terima kasih untuk an waktu untuk menemani, mengarahkan, memberikan masukan, mangat yang tak henti-hentinya.

Naval20 dan khususnya mahasiswa Teknik Kelautan 2020 yang kebersamaian serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam ak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda- n dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.

10. Teman-teman **Labo DOFLER** yang selalu memberikan semangat kepada saya, penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo DOFLER** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
11. Teman-teman **KIDSHOLE** yang selalu memberikan semangat kepada saya.
12. Dan yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** yang sudah berjuang sampai sejauh ini, terima kasih untuk tubuh yang selalu kuat menahan beban yang sangat berat ini. Kepada diri sendiri terima kasih sekali lagi telah berjuang karna hanya dirimu sendiri yang tau jatuh bangunnya dan susahnya otak berpikir bersatu melawan Overthinking setiap malam. Masalah yang silih berganti mengajarkan saya bahwa nangis dalam penyusunan skripsi itu wajib ada dan itulah bumbu yang sebenarnya yang harus dicoba.
13. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

M. Fajar Fitra Ramadan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

M. Fajar Fitra Ramadan. **Pengaruh jumlah *swing plate* terhadap respon dinamis SPAR wind floater dalam gelombang acak.** (Dibimbing oleh Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.)

SPAR (*Single Point Anchor Reservoir*) merupakan jenis struktur terapung yang beroperasi pada laut sangat dalam (*ultra-deepwater*) mencapai kedalaman lebih dari 1000 m. Tujuan dari skripsi ini untuk mengetahui pengaruh *swing plate* terhadap respon dinamis, serta mengetahui pengaruh jumlah *swing plates* terhadap respon dinamis SPAR *wind floater*. Studi numerik juga dilakukan untuk mempelajari pengaruh pelat peredam tunggal dan ganda terhadap respon gerak SPAR. Hasil diperoleh bahwa respon gerakan *heave* berkurang seiring meningkatnya diameter pelat peredam. Diameter pelat tersebut direkomendasikan berkisar 20% hingga 30% lebih besar dari diameter SPAR untuk mencapai respon gerak yang optimal dimana efek massa tambah dan peningkatan redaman berjalan dengan semestinya. Peningkatan *surge damping*, *heave damping*, dan *pitch damping* menunjukkan bahwa penambahan pelat peredam (*swing plate*) dapat meningkatkan damping yang lebih baik dibandingkan tanpa pelat peredam dan penentuan jumlah pelat peredam dengan jumlah ganjil dan genap berpengaruh besar dan penentuan ukuran *bulb* untuk menambah damping dari struktur SPAR.

Kata Kunci: *Heave Damping, Pitch Damping, SPAR, Surge Damping, Swing Plate.*



ABSTRACT

M. Fajar Fitra Ramadan. **Effect of number of swing plates on dynamic response of SPAR wind floater in random waves.** (Supervised by Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.)

SPAR (Single Point Anchor Reservoir) is a type of floating structure that operates in ultra-deepwater reaching depths of more than 1000 m. The purpose of this thesis is to determine the effect of swing plates on dynamic response. The purpose of this thesis is to determine the effect of swing plates on dynamic response, and to determine the effect of the number of swing plates on the dynamic response of SPAR wind floater. Numerical studies were also conducted to study the effect of single and double damping plates on the motion response of SPAR. It was found that the heave motion response decreases as the diameter of the damping plate increases. It is recommended that the diameter of the plates be about 20% to 30% larger than the SPAR diameter to achieve an optimal motion response where the effects of added mass and increased damping are proper. The increase in surge damping, heave damping, and pitch damping shows that the addition of damping plates (swing plates) can increase the damping better than without damping plates and the determination of the number of damping plates with odd and even numbers has a great effect and the determination of bulb size to increase the damping of the SPAR structure.

Key Words: *Heave Damping, Pitch Damping, SPAR, Surge Damping, Swing Plate.*



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	4
2.2 Jenis Penelitian	4
2.3 Metode Penentuan Sampel.....	4
2.4 Teknik Pengumpulan Data	4
2.5 Studi Literatur.....	4
2.6 Data Struktur	5
2.7 Pemodelan SPAR.....	6
2.8 Perhitungan Hidrostatik.....	9
2.9 Simulasi Numerik	9
2.10 Validasi.....	9
2.11 Respon Struktur	10
2.12 Analisis Hasil	10
2.13 Kesimpulan	10
2.14 Saran	10
2.15 Pembahasan.....	12
2.16 Kesimpulan	12



3.1.1	Pemodelan Model Numerik.....	12
3.1.2	Validasi	14
3.1.3	Analisis Metode Numerik	15
3.1.4	Redaman Viskos.....	20
3.1.5	Pemodelan Sistem Tambat.....	26
3.1.6	Analisis <i>Respons Amplitude Operators Struktural Floater</i>	27
3.1.7	Analisis Respon Gerak Struktur Pada Gelombang Acak	32
3.1.7.1	Analisis Spektrum Gelombang	32
3.1.7.2	Analisis Respon Gerak berbasis <i>Time Domain</i>	33
3.2	Pembahasan	51
3.2.1	Pemodelan Model Numerik.....	51
3.2.2	Validasi	51
3.2.3	Analisis Metode Numerik	51
3.2.4	Analisis redaman viskos	52
3.2.5	Analisis <i>Respon Amplitude Operator Struktur Floater</i>	52
3.2.6	Analisis Respon Gerak Berbasis <i>Time Domain</i>	54
3.2.6.1	Hasil Analisis Gerak <i>Surge</i>	54
3.2.6.2	Hasil Analisis Gerak <i>Heave</i>	55
3.2.6.3	Hasil Analisis Gerak <i>Pitch</i>	55
3.2.7	Perbandingan Hasil Analisis Model.....	56
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
4.1	Kesimpulan	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN		63



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Perbandingan sub-struktur terapung turbin angin lepas Pantai.	2
2. Dimensi 6 MW SPAR	5
3. Dimensi <i>bulb</i> model 3 <i>swing plate</i>	7
4. Dimensi <i>bulb</i> model 4 <i>swing plate</i>	7
5. Dimensi <i>bulb</i> model 5 <i>swing plate</i>	8
6. Dimensi desain <i>swing plate</i>	8
7. Validasi pemodelan volume (m ³) terhadap general	14
8. Validasi pemodelan COG (m) terhadap general	15
9. Validasi pemodelan displasment (m ³)	15
10. Statistik <i>meshing</i> pada simulasi numerik model general.....	17
11. Statistik <i>meshing</i> pada simulasi numerik model 3 <i>swing plate</i>	17
12. Statistik <i>meshing</i> pada simulasi numerik model 4 <i>swing plate</i>	17
13. Statistik <i>meshing</i> pada simulasi numerik model 5 <i>swing plate</i>	18
14. Parameter nilai titik berat (m) setiap model.....	18
15. Parameter nilai jari – jari girasi (m) setiap model	18
16. Parameter nilai hidrostatic model general	19
17. Parameter nilai hidrostatic model 3SP	19
18. Parameter nilai hidrostatic model 4SP	20
19. Parameter nilai hidrostatic model 5SP	20
20. Parameter nilai redaman viskos <i>heave</i> setiap model.....	20
21. Parameter nilai redaman viskos <i>pitch</i> setiap model	21
22. Parameter koordinat fairlend (m)	26
23. Parameter <i>catenary section</i>	26
24. Parameter tali tambat.....	26
25. Data kecepatan arus di selat makassar case 1.....	32
26. Data kecepatan arus berdasarkan regulasi FOWT case 2 dan 3.....	32
27. Data kecepatan angin di selat makassar case 1	32
28. Data kecepatan angin berdasarkan regulasi FOWT case 2 dan 3	32
29. Data lebar lubang di selat makassar case 1	32
30. Data lebar lubang berdasarkan regulasi FOWT case 2 dan 3	33
31. Data s perbandingan gerak <i>surge</i> 0° case 1	33
32. Data s perbandingan gerak <i>heave</i> 0° case 1	34



33. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 0° case 1	34
34. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 45° case 1	35
35. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 45° case 1	36
36. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 45° case 1	36
37. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 90° case 1	37
38. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 90° case 1	38
39. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 90° case 1	38
40. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 0° case 2	39
41. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 0° case 2	40
42. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 0° case 2	40
43. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 45° case 2	41
44. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 45° case 2	42
45. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 45° case 2	42
46. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 90° case 2	43
47. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 90° case 2	44
48. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 90° case 2	44
49. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 0° case 3	45
50. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 0° case 3	46
51. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 0° case 3	46
52. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 45° case 3	47
53. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 45° case 3	48
54. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 45° case 3	48
55. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>surge</i> 90° case 3	49
56. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>heave</i> 90° case 3	50
57. Data hasil analisis perbandingan gerak <i>pitch</i> 90° case 3	50
58. Perbandingan nilai gerak <i>surge</i> semua model berdasarkan model general nilai maksimum.....	56
59. Perbandingan nilai gerak <i>heave</i> semua model berdasarkan model general nilai maksimum.....	57
60. Perbandingan nilai gerak <i>pitch</i> semua model berdasarkan model general nilai	58



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Enam derajat kebebasan (komponen translasi & rotasi) pada turbin angin lepas pantai tipe SPAR.....	1
2. Detail ukuran 6 MW SPAR.....	5
3. Rancangan model SPAR dengan tambahan <i>bulb</i> dan <i>swing plate</i>	6
4. Rancangan model <i>swing plate</i>	8
5. Detai model <i>bulb</i> setiap variasi jumlah <i>swing plate</i>	9
6. Detail variasi jumlah <i>swing plate</i>	9
7. Gambar diagram alir	11
8. Model numerik SPAR.....	14
9. Model SPAR setelah diinput.....	16
10. Hasil <i>meshing</i> pada SPAR.....	16
11. Perbandingan RAO <i>heave</i> dan <i>pitch</i> general	21
12. Perbandingan RAO <i>heave</i> dan <i>pitch</i> 3SP.....	22
13. Perbandingan RAO <i>heave</i> dan <i>pitch</i> 4SP.....	23
14. Perbandingan RAO <i>heave</i> dan <i>pitch</i> 5SP.....	24
15. Grafik perbandingan semua model arah <i>heave</i> dengan tambahan redaman	25
16. Grafik perbandingan semua model arah <i>pitch</i> dengan tambahan redaman	25
17. Hasil pemodelan tali tambat.....	27
18. Grafik perbandingan RAO tiga drajat kebebasan arah 0°	28
19. Grafik perbandingan RAO tiga drajat kebebasan arah 45°	30
20. Grafik perbandingan RAO tiga drajat kebebasan arah 90°	31
21. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 0° case 1.....	33
22. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 0° case 1.....	34
23. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 0° case 1.....	35
24. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 45° case 1.....	35
25. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 45° case 1.....	36
26. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 45° case 1.....	37
27. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 90° case 1.....	37
28. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 90° case 1.....	38
29. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 90° case 1.....	39
30. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 0° case 2.....	39
31. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 0° case 2.....	40



32. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 0° case 2.....	41
33. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 45° case 2.....	41
34. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 45° case 2.....	42
35. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 45° case 2.....	43
36. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 90° case 2.....	43
37. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 90° case 2.....	44
38. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 90° case 2.....	45
39. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 0° case 3.....	45
40. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 0° case 3.....	46
41. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 0° case 3.....	47
42. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 45° case 3.....	47
43. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 45° case 3.....	48
44. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 45° case 3.....	49
45. Grafik perbandingan <i>surge</i> semua model arah 90° case 3.....	49
46. Grafik perbandingan <i>heave</i> semua model arah 90° case 3.....	50
47. Grafik perbandingan <i>pitch</i> semua model arah 90° case 3.....	51
48. Grafik perbandingan gerak <i>surge</i> semua model berdasarkan model general nilai maksimum.....	57
49. Grafik perbandingan gerak <i>heave</i> semua model berdasarkan model general nilai maksimum.....	57
50. Grafik perbandingan gerak <i>pitch</i> semua model berdasarkan model general nilai maksimum.....	58



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Tabel hasil <i>running</i> RAO General gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> tanpa readaman.....	64
2. Tabel hasil <i>running</i> RAO General gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> readaman	65
3. Tabel hasil <i>running</i> adedd mass General, 3SP, 4SP, dan 5SP	66
4. Tabel hasil <i>running</i> RAO 3SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> tanpa redaman.....	67
5. Tabel hasil <i>running</i> RAO 3SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> redaman	69
6. Tabel hasil <i>running</i> RAO 4SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> tanpa redaman.....	71
7. Tabel hasil <i>running</i> RAO 4SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> redaman	73
8. Tabel hasil <i>running</i> RAO 5SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> tanpa redaman.....	75
9. Tabel hasil <i>running</i> RAO 5SP gerak <i>surge</i> , <i>heave</i> , <i>pitch</i> redaman	77
10. Grafik hasil <i>running</i> masing gerak, arah, dan case	79

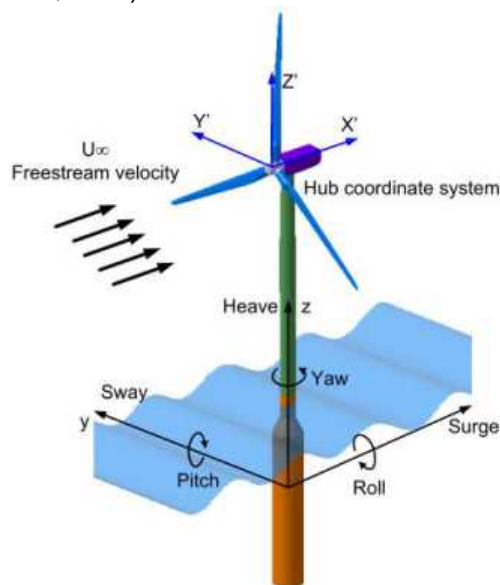


BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber-sumber angin potensial yang signifikan, kebanyakan berada di daerah perairan cukup dalam sehingga menyebabkan munculnya berbagai konsep pengembangan ladang turbin angin terapung untuk area lepas pantai. Salah satu konsep penopangnya yaitu *spar-buoy* yang diadopsi dari konsep teknologi anjungan lepas pantai yang sudah lebih dulu diaplikasikan dalam bidang minyak dan gas lepas pantai (Rofi'uddin, 2009).

SPAR (*Single Point Anchor Reservoir*) merupakan jenis struktur terapung yang beroperasi pada laut sangat dalam (*ultra-deepwater*) mencapai kedalaman lebih dari 1000 m. sehingga struktur jenis terpancang tidak memungkinkan untuk beroperasi di laut dalam karena kurang efektif baik dari sisi teknis maupun ekonomis (Chan, 1990). Pada Gambar 1, gerakan SPAR mencakup tiga komponen translasi (*surge*, *sway*, dan *heave*) dan tiga komponen rotasi (*roll*, *pitch* dan *yaw*) menjadi faktor penting dalam bentuk redaman struktur (*damping*) (Jie et al, 2020).



Gambar 1. Enam derajat kebebasan (komponen translasi & rotasi) pada turbin angin lepas pantai tipe SPAR.

(Sumber : Tran et al, 2014)

Gerakan *roll* ataupun *pitch* diminimalisir dengan pengaturan pusat gravitasi mesti di bawah pusat daya apung. Sub-struktur ini merupakan konsep yang paling terbukti a sub-struktur lainnya seperti proyek *IEA Wind Task OC3*, *Hywind*, 11; Jonkman dan Musial, 2010; Roddier et al, 2009; Hansen, 2006). lebih dan kekurangan SPAR dibandingkan tipe sub-struktur turbin nnya terlampir pada Tabel 1. Namun, terdapat permasalahan umum nerima beban dengan periode gelombang yang panjang sehingga nansi akibat pengaruh *viskositas* air laut besar (Sharman et al, 2019; ain itu, SPAR mempunyai kemampuan gerak pitching yang besar



karena draft yang besar sehingga menimbulkan kinerja berlebih pada komponen sistem turbin angin lepas pantai atau disebut sebagai *vortex ring state* (Peters dan Chen, 1982; Jeon, et al, 2014; Matha et al, 2012; Sebastian, 2012).

Tabel 1. Perbandingan sub-struktur terapung turbin angin lepas Pantai.

	SPAR	TLP	Semi-submersible
Keuntungan	Biaya yang relatif rendah.	Gerakan kecil dan stabilitas yang baik.	Gerakan kecil dan stabilitas yang baik.
	Volume kecil di <i>freeboard</i> , menghasilkan gaya gelombang kecil.	Volume kecil di <i>freeboard</i> , menghasilkan gaya gelombang kecil.	Relatif mudah dirakit.
	Relatif mudah dipasang menggunakan <i>catenary mooring</i>	Menguntungkan pada aspek periode alami.	Gerakan yaw relatif kecil sehingga meminimalisir torsi.
	Menguntungkan pada aspek periode alami.	Gerakan yaw relatif kecil sehingga meminimalisir torsi.	Cocok untuk kedalaman air lebih dari 50 m.
	Cocok untuk kedalaman air lebih dari 150 m	Cocok untuk kedalaman air lebih dari 50 m.	-
Kekurangan	Gerakan yang terjadi relatif besar.	Biaya produksi yang relatif besar.	Gerakan yang terjadi relatif besar.
	Area garis air relatif kecil sehingga stabilitas kurang memadai	Area garis air yang kecil sehingga stabilitas kurang memadai	Biaya produksi yang relatif besar.
	Gerakan yaw relatif besar sehingga kurang meminimalisir torsi.	Dibutuhkan sistem tambatan, dan jangkar yang mahal.	Merugikan pada aspek frekuensi alami.

(sumber : Chen dan Kim, 2022)



meningkatkan redaman paling banyak dengan cara mengurangi gaya *heave* serta menjaga periode alami gerakan *heave* di luar energi gelombang (Haslum dan Faltinsen, 1999). Solusi terbaik untuk itu dengan menggunakan pelat peredam pada SPAR (Bhatta, 2007). Selain itu, pada sub-struktur dengan keunggulan mengurangi respon *heave* dengan meningkatkan massa tambah beserta redaman (Zhao et al, 2020; Jeon et al, 2014). Pelat peredam yang terpasang di berbagai sub-struktur terapung

juga telah dievaluasi lebih mendalam. Sebuah studi dari Rao et al (2021) menemukan bahwa penambahan pelat peredam di alas dasar SPAR mampu meningkatkan redaman gerakan *heave* sepuluh kali dibanding tanpa pelat peredam sekalipun. Peningkatan *pitch* damping antara metode eksperimen dan numerik menunjukkan bahwa penambahan pelat peredam *pitch* di dasar SPAR menambah redaman hingga 12x redaman semula (Sariduddin, 2023) .

Sementara itu, studi numerik juga dilakukan untuk mempelajari pengaruh pelat peredam tunggal dan ganda terhadap respon gerak SPAR. Hasil diperoleh bahwa respon gerakan *heave* berkurang seiring meningkatnya diameter pelat peredam dan peningkatan jarak pelat peredam ganda (Subbulakshmia et al, 2015). Namun, jarak antar pelat peredam yang sangat renggang akan menghasilkan koefisien hidrodinamis lebih besar disebabkan oleh arah pusaran terinduksi sangat dipengaruhi nilai KC serta medan *vortisitas* (Abazari et al, 2020).

Lebih detail lagi, diameter pelat tersebut direkomendasikan berkisar 20% hingga 30% lebih besar dari diameter SPAR untuk mencapai respon gerak yang optimal dimana efek massa tambah dan peningkatan redaman berjalan dengan semestinya (Sudhakar dan Nallayarasu, 2011). (Assidiq et al, 2023a) mempelajari penambahan pelat vertikal pada SPAR dan penambahan berbagai pelat vertikal pada bodi SPAR. Di temukan bahwa penambahan pelat vertikal dengan variasi 4VP-6H, 5VP-3H, dan 4VP-S mengurangi gerakan *pitch* dengan lebih baik. Pelat vertikal berlubang lebih efektif mengurangi gerakan *pitch* dibandingkan pelat padat. Terlebih lagi, rasio volume yang terendam SPAR adalah hal yang paling berpengaruh untuk menilai performa respons *pitch* secara proporsional (Assidiq et al, 2023b). Lunas ke pusat daya apung memiliki dampak yang besar pada koefisien redaman non-dimensional dari *pitch* yang mengalami semua insiden. Koefisien redaman meningkat secara dramatis saat lunas ke pusat daya apung menurun. Pembahasan sebelumnya merupakan pelat peredam dalam arah horisontal guna mereduksi gerakan *heave* saja tanpa menitikberatkan pusat massa serta keseragaman displasemen sehingga sangat terbuka lebar menginvestigasi pelat peredam arah vertikal dan horisontal guna mereduksi gerakan *pitch*.

Atas dasar tersebut, penelitian ini menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *swing plate* terhadap respon dinamis SPAR *wind floater* dalam gelombang acak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya penambahan dan pengaruh jumlah *swing plate* serta perbedaan ukuran *Bulb* terhadap respon dinamis SPAR *wind floater*. Guna memfokuskan dan menghindari melebarnya pembahasan penelitian di luar yang dikehendaki, maka batasan masalah teknis yang ditumpu lebih detailnya meliputi (1) Pemodelan struktur dan pelat peredam pada model SPAR menggunakan perangkat lunak AutoCAD, (2) Data hidrostatik model SPAR menggunakan perangkat lunak MAXSURF, (3) Respon gerak yang dianalisis hanya 3 derajat kebebasan yaitu *surge*, *heave*, *pitch*, (4) Arah digunakan yaitu 0° , 45° , 90° , dan (5) Respon gerak terhadap tahanan melalui aplikasi ANSYS AQWA.



BAB II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Juni 2024, yang di mana penelitian ini dilakukan di *Design and Optimization of Floating Structure Laboratory (DOFLER)* Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yang melibatkan penggunaan angka dalam seluruh proses penelitian, mulai dari pengumpulan data, interpretasi data/penafsiran terhadap data, hingga presentasi hasilnya dengan melakukan penyelidikan untuk mengetahui pengaruh jumlah *swing plate* terhadap respon dinamis *SPAR wind floater* dalam gelombang acak menurut standar aturan API RP 2T (1987).

2.3 Metode Penentuan Sampel

Teknik atau pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode *Boundary Element Method (BEM)* juga dikenal sebagai Metode Boundary Integral atau Metode Singular Integral, adalah pendekatan numerik untuk memecahkan masalah fisika matematis dengan memodelkan domain fisik sebagai batasnya. Ini berbeda dari metode elemen hingga yang membagi domain menjadi elemen-elemen kecil. Sebaliknya, BEM fokus pada batas domain dan mengintegrasikan fungsi fisik melalui batas tersebut untuk memperkirakan solusi.

Pendekatan BEM membagi domain fisik menjadi dua bagian: bagian dalam dan bagian luar. Solusi fisik dicari hanya di sepanjang batas antara kedua bagian ini. Ini memungkinkan representasi domain fisik yang rumit dengan menggunakan batasnya sebagai representasi keseluruhan domain.

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

Observasi, yaitu metode pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan langsung pada objek yang diteliti dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang jelas. Dokumentasi, yaitu melengkapi analisis dan memperkuat kesimpulan, seluruh data dan kegiatan dalam penelitian didokumentasikan dalam bentuk gambar

Teknik kepustakaan adalah suatu teknik penelitian dengan cara membaca dan menelaah buku kepustakaan dan sumber-sumber yang bersifat tekstual yang erat hubungannya dengan masalah yang saat ini sedang diteliti oleh peneliti. Masalah yang akan diteliti oleh penulis.

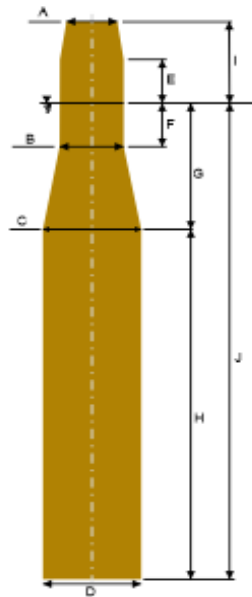
2.5 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari berbagai literasi yang berkaitan dengan ini. Data SPAR yang digunakan adalah data dari model 6 MW SPAR. nunjukkan data dimensi model 6 MW SPAR yang digunakan sebagai



2.6 Data Struktur

Data-data yang dibutuhkan berupa data struktur turbin angin lepas pantai tipe SPAR. Data turbin angin yang digunakan adalah 6 MW SPAR yang diambil dalam penelitian Zheng et al (2020).



Gambar 2. Detail ukuran 6 MW SPAR

Adapun detail ukuran 6 MW SPAR tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi 6 MW SPAR

Deskripsi	Besaran	Satuan
A	8,0	m
B	9,5	m
C	14,6	m
D	14,6	m
E	6,0	m
F	6,0	m
G	20,0	m
H	56,0	m
I	13,0	m
J	76,0	m

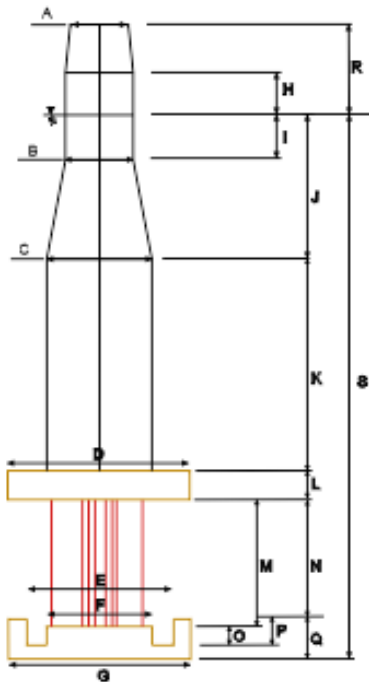


2.7 Pemodelan SPAR

Data yang dikumpulkan dari dimensi SPAR digunakan sebagai acuan untuk membuat model SPAR. Pemodelan SPAR 6 MW dilakukan dengan penskalaan parameter ukuran dan massa. Pertama, proporsi ditentukan dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti persamaan geometri, kinematik, dan dinamis.

Pemodelan pada bagian bodi SPAR dilakukan penambahan diameter yang terletak di atas pelat peredam dan di bagian bawah plat peredam (*swing plate*) dengan ukuran yang berbeda di setiap variasi jumlah *swing plate* atau disebut *bulb*. Dapat dilihat pada Tabel 3 menampilkan dimensi *bulb* untuk 3 *swing plate*, Tabel 4 menampilkan dimensi *bulb* untuk 4 *swing plate* dan Tabel 5 menampilkan dimensi *bulb* untuk 5 *swing plate*.

Pemodelan pelat peredam (*swing plate*) SPAR dibuat dengan skala 1:1 dengan berupa 3, 4, dan 5 buah kisi *vertical* berbentuk *swing* dengan tinggi 17,71 m, ketebalan 1,15 m dan memiliki bentuk segitiga siku - siku. Tabel 6 menampilkan ukuran dari pelat peredam, Gambar 3 menampilkan rancang model SPAR dengan *swing plate*, Gambar 4 menampilkan *swing plate*, Gambar 5 menampilkan rancang detail *bulb* setiap model, dan Gambar 6 menampilkan rancang detail variasi *swing plate* setiap model.



Gambar 3. Rancangan model SPAR dengan tambahan *bulb* dan *swing plate*



Tabel 3. Dimensi *bulb* model 3 *swing plate*

Deskripsi	Besaran	Satuan
D	25,277	m
E	20,148	m
F	14,605	m
G	25,277	m
L	4,150	m
M	17,700	m
N	16,550	m
O	2,530	m
P	3,680	m
Q	5,750	m

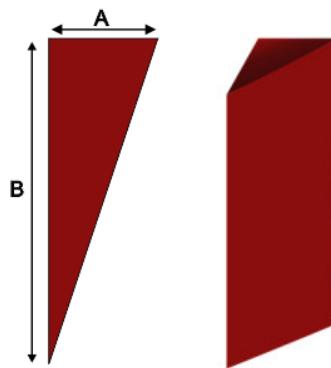
Tabel 4. Dimensi *bulb* model 4 *swing plate*

Deskripsi	Besaran	Satuan
D	25,277	m
E	20,148	m
F	14,605	m
G	25,277	m
L	4,020	m
M	17,700	m
N	16,550	m
O	2,530	m
P	3,550	m
Q	5,620	m



Tabel 5. Dimensi *bulb* model 5 *swing plate*

Deskripsi	Besaran	Satuan
D	25,277	m
E	20,148	m
F	14,605	m
G	25,277	m
L	3,960	m
M	17,700	m
N	16,550	m
O	2,530	m
P	3,310	m
Q	5,380	m

**Gambar 4.** Rancangan model *swing plate***Tabel 6.** Dimensi desain *swing plate*

Deskripsi	Besaran	Satuan
Tinggi pelat	17,710	m
A	1,495	m
B	5,002	m





Gambar 5. Detail model *bulb* setiap variasi jumlah *swing plate*



Gambar 6. Detail variasi jumlah *swing plate*

2.8 Perhitungan Hidrostatik

Perhitungan hidrostatik adalah proses matematika untuk menghitung dan menganalisis distribusi tekanan dan gaya hidrostatika yang diberikan oleh fluida, seperti air, pada suatu benda yang berada di dalam atau di permukaan fluida tersebut. Proses ini melibatkan konsep-konsep dasar dari prinsip hidrostatika dan hukum Archimedes.

Proses perhitungan hidrostatik menggunakan perangkat lunak MAXSURF melibatkan beberapa langkah kunci yang mencakup pemodelan, perhitungan daya apung, pusat apung, dan parameter hidrostatik lainnya.

2.9 Simulasi Numerik

Simulasi numerik akan menggunakan metode elemen hingga, salah satu perangkat lunak menggunakan metode elemen hingga adalah ANSYS AQWA. Dalam simulasi numerik menggunakan ANSYS AQWA dilakukan pemodelan tali tambat dengan model catenary dan umumnya mencakup hasil *displacement*, *hydrostatic* dan *Response Amplitude Operators* (RAO).

2.10 Validasi

Validasi nilai hidrostatik antara keluaran perhitungan perangkat lunak dan data yang dikumpulkan. Apabila model tidak validasi maka akan didesain ulang menyerupai bentuk



is kesalahan yang diperbolehkan sebesar 2% untuk displasmen 03 dan 1% untuk parameter lainnya. Tujuan validasi adalah untuk model yang digunakan layak untuk dianalisis.

2.11 Respon Struktur

Pada tahap ini akan dihitung respon gerakan pada 3 derajat kebebasan struktur pada gelombang acak. Hasil dari tahap ini adalah RAO (*Response Amplitude Operator*) pada tiga derajat kebebasan yaitu *pitch*, *heave*, dan *surge* yang akan ditampilkan dalam bentuk diagram transfer function.

2.12 Hasil dan Pembahasan

Hasil output pemodelan berupa karakteristik gerak struktur pada setiap variasi di analisis dan kemudian dibandingkan untuk melihat redaman terkecil yang dihasilkan dari komponen *pitch*, *heave*, dan *surge* berdasarkan grafik RAO (*Response Amplitude Operator*).

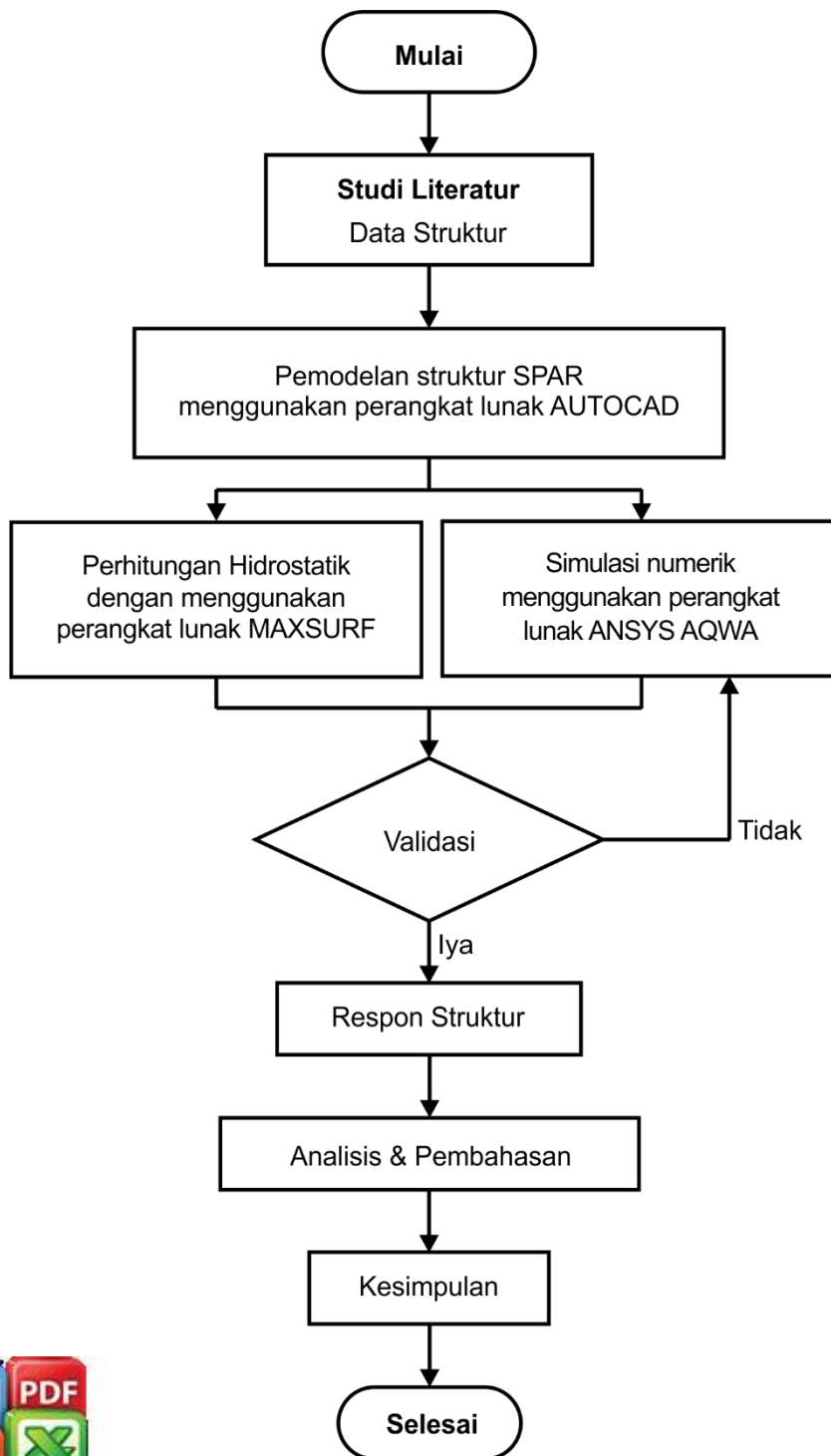
2.13 Kesimpulan

Semua analisis yang dilakukan akan dibandingkan dan kesimpulan perbandingan dibuat supaya kesimpulan menjawab semua rumusan masalah.

2.14 Diagram Alir

Adapun alur penelitian atau diagram alir dalam penelitian pengaruh jumlah *swing plate* terhadap respon dinamis spar wind floater dalam gelombang acak yaitu :





liagram alir