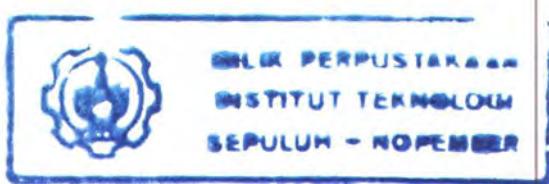


24774/H/06



TUGAS AKHIR LL 1327

PEMILIHAN SPM DARI ASPEK KONDISI DASAR LAUT
UNTUK PEMBONGKARAN BBM PERTAMINA
DI PERAIRAN TANJUNG AWAR-AWAR TUBAN



RSKe
627.98
San
P-1
2005

OLEH :

FARDIAN SANTOSO

Nrp : 4399 100 039

| PERPUSTAKAAN ITS | |
|---------------------|---------------|
| Tgl. Terima | 10 - 8 - 2005 |
| Terima Dari | H |
| No. Agenda Prp. | 773254 |

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005

LEMBAR PENGESAHAN

PEMILIHAN SPM DARI ASPEK KONDISI DASAR LAUT
UNTUK PEMBONGKARAN BBM PERTAMINA
DI PERAIRAN TANJUNG AWAR-AWAR TUBAN



OLEH :

FARDIAN SANTOSO

NRP : 4399 100 039

Surabaya,

2005

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

A blue ink signature of a name, likely Ir. Yusuf Sutomo, M.Sc., written in a stylized cursive script.

Ir. Yusuf Sutomo, M.Sc

NIP. 131 287 547

Dosen Pembimbing II

A blue ink signature of a name, likely Dr. Ir. Handayani, M.Sc., written in a stylized cursive script.

Dr. Ir. Handayani, M.Sc

NIP. 131 782 032

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



A blue ink signature of a name, likely Ir. Imam Rochani, M.Sc., written in a stylized cursive script.

Ir. Imam Rochani, M.Sc

NIP. 131 417 209

Abstrak

Cipta Karya
(031) 5941926

ABSTRAK

Oleh :

Fardian Santoso

Dosen Pembimbing :

Ir. Yusuf Sutomo, MSc

Dr. Ir. Handayanu, MSc

Tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan desain struktur SPM (SALM atau CALM) yang tepat yang akan digunakan berdasarkan kondisi tanah pada perairan tanjung, awar – awar, tuban yaitu dengan menentukan jenis pondasi, meliputi penentuan kapasitas daya dukung tanah, penentuan kedalaman pondasi pada SALM pada kondisi operasional dan ekstrim dan jenis anchor pada CALM dengan safety factor 1.5 dan 2 pada tiap – tiap konfigurasi 4, 6, 8 dan 12 mooring dengan menggunakan API RP2A WSD untuk pile dan pondasi dangkal, ACI untuk deadweight anchor dan US NAVY untuk jenis anchor pada CALM, mencari RAO pada struktur SALM dan struktur CALM untuk gerakan uncoupled surge dan heave pada sudut $\theta = 0^\circ$ dan 30° pada tiap – tiap konfigurasi 4, 6, 8 dan 12 mooring pada tiap variasi diameter tali tambat. Dari hasil analisa didapatkan jenis pondasi yang digunakan untuk struktur SALM adalah pile dan deadweight anchor. Pile yang digunakan memiliki diameter 0.9144 m dan tebal 0.016 m dengan material ASTM A53 grade B pada kedalaman 5 m pada kondisi operasional dan ekstrim dengan daya dukung tanah sebesar 143.11 kN dan 190.82 kN. Deadweight anchor yang digunakan memiliki luas permukaan 30.4 m^2 dan tebal 1.17 m dengan beton C35, baja tulangan #55 grade 400 dan baja tulangan untuk anchor # 55, memiliki daya dukung tanah 616339.57 N. RAO untuk gerakan surge terendah adalah 4.77 pada tali tambat dengan diameter 157 mm dan RAO untuk gerakan heave adalah 0.488 pada semua diameter tali tambat. Jenis anchor yang dapat digunakan pada konfigurasi mooring 4 dengan safety factor 2 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast.Pada konfigurasi mooring 6 dengan safety factor 2 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).Pada konfigurasi mooring 8 dengan safety factor 2 adalah stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).Pada konfigurasi mooring 12 dengan safety factor 2 adalah flipper delta, stevin, danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah danforth, G. S. L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).RAO pada sudut 0° ($\theta = 0^\circ$) dengan konfigurasi mooring 4, untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.554 pada diameter 48 mm. Pada konfigurasi mooring 6, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.84 pada diameter 177 mm. Pada konfigurasi mooring 8, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.65 pada diameter 44 mm. Pada konfigurasi mooring 12, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 1.47 pada diameter 167 mm. Sedangkan pada sudut 30° ($\theta = 30^\circ$) dengan konfigurasi mooring 4, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.85 pada diameter 90 mm. Pada konfigurasi mooring 6, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.63 pada diameter 28 mm. Pada konfigurasi mooring 8, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 1.31 pada diameter 40 mm. Pada konfigurasi mooring 12, RAO untuk gerakan surge tertinggi adalah 0.45 pada diameter 44 mm. Dari RAO SALM dan CALM tersebut dapat ditentukan jenis SPM yang dapat digunakan yaitu jenis CALM, karena respon dari SALM melebihi offset max yang ditentukan dalam desain.

Kata kunci : SPM, SALM, CALM, RAO, pile, deadweight anchor, anchor

ABSTRACT

By :

Fardian Santoso

Under Supervision :

Ir. Yusuf Sutomo, MSc

Dr. Ir. Handayanu, MSc

This final project aim to determine desain structure of correct SPM between SALM and CALM to be used pursuant to condition of ground at territorial water of foreland awar – awar Tuban i.e by determining the foundation type, covering determination ground ultimate capacities, determination foundation deepness of SALM at operational and extreme condition and anchor type of CALM with safety factor 1.5 and 2 for every configuration 4, 6, 8, 12 mooring by use code of API RP2A WSD for pile and shallow foundation, code ACI for deadweight anchor and US Navy for anchor type at CALM, find RAO SALM and CALM structure for uncoupled surge and heave movement at 0° and 30° degree every configuration 4, 6, 8, 12 mooring for variation of diameter hawser. From result analyse got foundation type for SALM structure are pile and deadweight anchor, for pile have diameter 0.9144 m and thick 0.016 m use ASTM A53 material grade B at 5 m depth for operational and extreme condition with ground ultimate capacities 143.11 kN and 190.82 kN, for deadweight anchor have wide surface 30.4 m^2 and thick 1.17 m use concrete C35, reinforced steel #55 grade 400 with ground ultimate capacities 616339.57 N. RAO for lower surge movement is 4.77 at diameter hawser 157 mm and RAO for heave movement is 0.488 same for all diameter hawser. Anchor type at configuration mooring 4 with safety factor 2 are stevmud, statonavmoor, boss, stevfik, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke); with safety factor 1.5 are equal to safety factor 2 added bruce cast. Anchor type at configuration mooring 6 with safety factor 2 are stevmud, statonavmoor, boss, stevfik, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke); with safety factor 1.5 are equal to safety factor 2 without stevmud. Anchor type at configuration mooring 8 with safety factor 2 are statonavmoor, boss, stevfik, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke); with safety factor 1.5 are flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Anchor type at configuration mooring 12 with safety factor 2 are flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke); with safety factor 1.5 are danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). RAO for highest surge movement at 0° degree with configuration mooring 4 is 0.554 at diameter 48 mm; for configuration mooring 6 is 0.84 at diameter 177 mm; for configuration mooring 8 is 0.65 at diameter 44 mm; for configuration mooring 12 is 1.47 at diameter 167 mm. RAO for highest surge movement at 30° degree with configuration mooring 4 is 0.85 at diameter 90 mm; for configuration mooring 6 is 0.63 at diameter 28 mm; for configuration mooring 8 is 1.31 at diameter 40 mm; for configuration mooring 12 is 0.45 at diameter 44 mm. From RAO SALM and CALM structure determinable type of SPM which can be used i. e CALM type because SALM movement is bigger than code desain.

Keyword : SPM, SALM, CALM, RAO, pile, deadweight anchor, anchor

Kata Pengantar

Cipta Karya
(031) 5941926

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Alhamdullillah akhirnya dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun guna untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-I) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, dengan judul "**Pemilihan SPM Dari Aspek Kondisi Dasar Laut Untuk Pembongkaran BBM PERTAMINA Di Perairan Tanjung Awar-Awar Tuban**".

Penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian dan penulisan mungkin tidak sempurna dan terdapat kekeliruan-kekeliruan yang tidak disengaja. Maka dari itu penulis mohon mengharapkan adanya saran yang membangun sehingga tujuan dari penulisan laporan Tugas Akhir ini.

Atas pertolongan yang diberikan dari berbagai pihak telah memberikan semangat dan bantuan untuk penyelesaian tugas akhir ini. Penulis merasa berterima kasih banyak kepada dosen, teman dan karyawan yang telah mendorong penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir secara baik. Sehubungan hal tersebut, disampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda Hoesin dan Ibunda Rohana tercinta yang telah memberikan segalanya buat penyusun.
2. Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS yang telah memberikan bimbingan serta semangat sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Yusuf Sutomo, M.Sc selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Ir. Handayanu, M.Sc, selaku Seketaris Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS dan dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan serta semangat sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Ir. Murdjito, M.Sc, Eng dan Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
6. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc, Ir Herman Pratikno, M.T, Ir. Roni , M.T selaku dosen penguji yang telah membantu dan mengarahkan saya agar lebih ekstrim untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Prof. Ir. Soegiono, selaku dosen wali yang banyak memberikan nasehat kepada penulis.
8. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Kelautan yang dengan ikhlas mengamalkan ilmunya kepada penulis, semoga limu yang diamalkan menjadi bermanfaat.
9. Segenap pihak yang telah berpatisipasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dan tak mungkin disebutkan satu persatu.

Semoga semua kebaikan menjadi amal yang baik dan Allah SWT membalas budi baik Bapak/Ibu/Saudara, dan semoga juga hasil penulisan Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat

Wassalammualaikum Wr.Wb.

Surabaya, September 2005

Fardian Santoso

Daftar Isi

Cipta Karya
(031) 5941926

DAFTAR ISI

| | | |
|----------------|---|----|
| Halaman Judul | i | |
| Abstrak | ii | |
| Kata Pengantar | iv | |
| Daftar Isi | vi | |
| Daftar Gambar | viii | |
| Daftar Tabel | x | |
| Daftar Notasi | xii | |
| BAB I | PENDAHULUAN | |
| 1.1 | Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 | Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 | Tujuan | 2 |
| 1.4 | Manfaat | 3 |
| 1.5 | Batasan Masalah | 3 |
| 1.6 | Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II | TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | |
| 2.1 | Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2 | Landasan Teori | 6 |
| 2.2.1 | Sistem Tambat | 6 |
| 2.3 | Perhitungan Beban Gelombang | 11 |
| 2.4 | Perhitungan Beban Angin | 17 |
| 2.5 | Perhitungan Beban Arus | 17 |
| 2.6 | Respon Amplitude Operator | 18 |
| 2.7 | Mooring Layout | 18 |
| 2.8 | Evaluasi dari Kondisi Lingkungan dan Beban yang terjadi | 18 |
| 2.9 | Desain Komponen pada Mooring | 20 |
| 2.10 | Desain Anchor | 28 |
| 2.11 | Desain Pondasi Pile dan Kapasitas Dukung Ultimate Tanah | 29 |
| 2.12 | Baja Tulangan | 32 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| 2.13 | Provisi Keamanan | 34 |
| 2.14 | Pondasi Kolom Bujur Sangkar | 35 |
| BAB III | Metodologi Penelitian | 43 |
| BAB IV | Analisa data dan pembahasan | |
| 4.1 | Tipe Tanah pada Lokasi | 56 |
| 4.2 | Penentuan Pondasi | 56 |
| 4.2.1 | Pile | 56 |
| 4.2.2 | Deadweight Anchor | 59 |
| 4.3 | Data Bouy | 60 |
| 4.4 | Data Lingkungan | 60 |
| 4.5 | Penentuan Teori Gelombang | 62 |
| 4.6 | Respon Displacement pada SALM | 63 |
| 4.7 | Analisa Pembebanan pada CALM | 68 |
| 4.8 | Penentuan Jenis Anchor pada CALM | 78 |
| 4.9 | Respon Displacement pada CALM | 80 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 | Kesimpulan | 101 |
| 5.2 | Saran | 102 |
| Daftar Pustaka | | 103 |
| Lampiran I | Lembar asistensi dan revisi | |
| Lampiran II | Lapisan tanah pada terminal proyek TTU tuban | |
| Lampiran III | Perhitungan gaya gelombang, angin dan arus | |
| Lampiran IV | Desain pondasi SALM | |
| Lampiran V | Perhitungan massa struktur, massa tambah, dan kekakuan struktur | |
| Lampiran VI | Perhitungan kekakuan tali tambat pada SALM | |
| Lampiran VII | Perhitungan nilai damping pada SALM | |
| Lampiran VIII | Grafik dan tabel RAO pada SALM | |
| Lampiran IX | Perhitungan beban pada CALM | |
| Lampiran X | Perhitungan konfigurasi mooring pada CALM | |
| Lampiran XI | Perhitungan kekakuan tali tambat pada CALM | |
| Lampiran XII | Perhitungan nilai damping pada CALM | |
| Lampiran XIII | Grafik dan tabel RAO pada CALM | |

Daftar Gambar

Cipta Karya
(031) 5941926

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Catenary Anchor Leg Mooring | 10 |
| Gambar 2.2 | Single Anchor Leg Mooring | 10 |
| Gambar 2.3 | Enam derajat kebebasan gerakan bangunan apung | 11 |
| Gambar 2.4 | Silinder sembarang dengan jari –jari r , panjang L dengan posisi sebarang. | 13 |
| Gambar 2.5 | Grafik Region of Validity | 15 |
| Gambar 2.6 | Tipe jangkar deadweight | 21 |
| Gambar 2.7 | Drag embedment anchor | 22 |
| Gambar 2.8 | Direct-embedment anchor | 23 |
| Gambar 2.9 | Catenary definition sketch | 24 |
| Gambar 2.10 | Catenary definition sketch 2 | 26 |
| Gambar 2.11 | Geometri <i>anchor line</i> | 27 |
| Gambar 2.12 | Tipe batang – batang yang diprofilkan | 33 |
| Gambar 2.13 | Struktur SALM dengan deadweight anchor | 35 |
| Gambar 2.14 | Drag anchor holding capacity - mud bottom | 41 |
| Gambar 2.15 | Drag anchor holding capacity - sand bottom | 42 |
| Gambar 3.1 | Metodologi penyelesaian tugas akhir | 44 |
| Gambar 3.2 | Flowchart perhitungan panjang mooring line dengan $\theta_a = 0^0$ | 45 |
| Gambar 3.3 | Flowchart perhitungan panjang mooring line dengan $\theta_a \neq 0^0$ | 46 |
| Gambar 3.4 | Flowchart perhitungan RAO dengan konfigurasi km | 47 |
| Gambar 3.5 | Flowchart perhitungan koefisien redaman struktur apung | 48 |
| Gambar 3.6 | Flowchart desain deadweight anchor | 50 |
| Gambar 3.7 | Flowchart untuk menentukan tebal kekuatan geser dalam dua arah | 51 |
| Gambar 3.8 | Flowchart untuk menentukan tebal kekuatan geser dalam satu arah | 52 |
| Gambar 3.9 | Flowchart untuk memeriksa pemindahan beban pada dasar anchor | 53 |
| Gambar 3.10 | Flowchart untuk menghitung kekuatan momen lentur | 55 |
| Gambar 4.1 | Penentuan teori gelombang | 62 |
| Gambar 4.2 | Grafik RAO Surge dengan variasi harga km | 66 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.3 | Grafik RAO heave dengan variasi harga km | 67 |
| Gambar 4.4 | Garfik RAO surge 4 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 92 |
| Gambar 4.5 | Garfik RAO surge 6 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 93 |
| Gambar 4.6 | Garfik RAO surge 8 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 93 |
| Gambar 4.7 | Garfik RAO surge 12 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 94 |
| Gambar 4.8 | Garfik RAO heave 4 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 94 |
| Gambar 4.9 | Garfik RAO heave 6 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 95 |
| Gambar 4.10 | Garfik RAO heave 8 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 95 |
| Gambar 4.11 | Garfik RAO heave 12 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km | 96 |
| Gambar 4.12 | Garfik RAO surge 4 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 96 |
| Gambar 4.13 | Garfik RAO surge 6 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 97 |
| Gambar 4.14 | Garfik RAO surge 8 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 97 |
| Gambar 4.15 | Garfik RAO surge 12 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 98 |
| Gambar 4.16 | Garfik RAO heave 4 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 98 |
| Gambar 4.17 | Garfik RAO heave 6 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 99 |
| Gambar 4.18 | Garfik RAO heave 8 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 99 |
| Gambar 4.19 | Garfik RAO heave 12 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km | 100 |

Daftar Tabel

Cipta Karya
(031) 5941926

Daftar Tabel

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Koefisien Bentuk | 17 |
| Tabel 2.2 | Nilai <i>safety factor</i> terhadap <i>load condition</i> | 32 |
| Tabel 2.3 | Grades Penulangan dan tegangan - tegangan | 32 |
| Tabel 2.4 | Ukuran – ukuran dan berat batang tulangan dalam satuan SI menurut standart kanada dan ASTM 615M [52] | 33 |
| Tabel 2.5 | <i>Safety factor</i> tipe pembebanan pada beton | 34 |
| Tabel 4.1 | Perhitungan beban efektif | 57 |
| Tabel 4.2 | Perhitungan Q allowable dalam kondisi ekstrim | 58 |
| Tabel 4.3 | Perhitungan Q allowable dalam kondisi operasional | 58 |
| Tabel 4.4 | Kecapatan Arus pada CM-5 | 61 |
| Tabel 4.5 | Nilai massa struktur, massa tambah struktur dan kekakuan struktur. | 63 |
| Tabel 4.6 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping | 64 |
| Tabel 4.7 | Beban yang diterima tiap konfigurasi mooring | 68 |
| Tabel 4.8 | Konfigurasi mooring 4 sudut 0° | 69 |
| Tabel 4.9 | Konfigurasi mooring 6 sudut 0° | 70 |
| Tabel 4.10 | Konfigurasi mooring 8 sudut 0° | 71 |
| Tabel 4.11 | Konfigurasi mooring 12 sudut 0° | 72 |
| Tabel 4.12 | Konfigurasi mooring 4 sudut 30° | 73 |
| Tabel 4.13 | Konfigurasi mooring 6 sudut 30° | 74 |
| Tabel 4.14 | Konfigurasi mooring 8 sudut 30° | 75 |
| Tabel 4.15 | Konfigurasi mooring 12 sudut 30° | 76 |
| Tabel 4.16 | Anchor holding capacity terhadap konfigurasi mooring | 78 |
| Tabel 4.17 | Penentuan jenis anchor terhadap konfigurasi mooring | 78 |
| Tabel 4.18 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 mooring Pada $\theta = 0^{\circ}$ | 81 |
| Tabel 4.19 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 mooring Pada $\theta = 0^{\circ}$ | 82 |
| Tabel 4.20 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring Pada $\theta = 0^{\circ}$ | 83 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 4.21 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring Pada $\theta = 0^0$ | 85 |
| Tabel 4.22 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 mooring Pada $\theta = 30^0$ | 86 |
| Tabel 4.23 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 mooring Pada $\theta = 30^0$ | 87 |
| Tabel 4.24 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring Pada $\theta = 30^0$ | 89 |
| Tabel 4.25 | Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring Pada $\theta = 30^0$ | 90 |



Daftar Notasi

Cipta Karya
(031) 5941926

DAFTAR NOTASI

| | | |
|----------|---|--|
| A | = | Luas area (m^2) |
| Ag | = | Luas penampang bruto (tanpa tulangan) |
| A_p | = | <i>gross end area of pile</i> |
| A_s | = | <i>side surface area of pile</i> |
| As | = | Luas tulangan tarik |
| b | = | lebar penampang |
| b_0 | = | keliling kritis dari penampang untuk perhitungan kekuatan dalam kerja geser dua arah dalam pelat |
| b_{11} | = | koefisien damping untuk gerakan surge |
| b_{33} | = | koefisien damping untuk gerakan heave |
| Cd | = | Koefisien drag |
| c | = | jarak dari titik awal ke titik tangkap y (panjang <i>mooring line</i> yang menempel pada <i>seabed</i>), tegangan geser tanah basah |
| Cm | = | Koefisien inersia |
| Cs | = | <i>shape coefficient</i> |
| Cu | = | kohesi undrained |
| d | = | diameter rantai (inchi) |
| dv | = | kedalaman / tebal rata – rata |
| db | = | diameter nominal tulangan |
| dm | = | tebal minimum |
| D | = | diameter silinder, (m), Beban mati yang diizinkan |
| f | = | unit friction resistance |
| f'_c | = | kekuatan tekan beton, MPa |
| f_y | = | kekuatan luluh yang ditetapkan dari tulangan |
| F | = | Gaya Gelombang, gaya angina, <i>unit skin friction capacity</i> , in stress units |
| Fd | = | gaya drag, lb/ft (N/m) |
| Fi | = | gaya inersia, lb/ft (N/m) |
| g | = | gaya gravitasi, ft/s ² (m/s^2) |
| H | = | Beban tarik arah horisontal pada <i>mooring chain</i> pada titik (x,y) |
| k_{11} | = | kekakuan tali tambat untuk gerakan surge |
| k_{33} | = | kekakuan tali tambat untuk gerakan heave |

| | | |
|---------------------|---|---|
| KC | = | <i>Keulegan – Carpenter Number</i> |
| L | = | Beban hidup yang diizinkan |
| L ₁ | = | bentang yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan |
| l _{db} | = | panjang penyaluran dasar untuk tulangan lurus |
| L _{hb} | = | panjang penyaluran dasar dari tulangan kait standar dalam tarik |
| ΔL | = | increment setiap f yang berbeda |
| m | = | massa struktur |
| m _{a 11} | = | massa tambah struktur untuk gerakan surge |
| m _{a 33} | = | massa tambah struktur untuk gerakan heave |
| M _u | = | Momen lentur berfaktor |
| M _n | = | Momen nominal |
| p | = | keliling pile |
| P _{0'} | = | tekanan efektif permukaan tanah yang dibuang |
| P _n | = | beban kuat nominal aksial |
| P _u | = | beban aksial berfaktor |
| q | = | <i>units and bearing capacity ; in stress units</i> |
| q' | = | tekanan efektif tanah |
| Q _f | = | <i>skin friction resistance, in force units</i> |
| Q _p | = | <i>total and bearing, in force units</i> |
| Q _{ult} | = | Daya dukung ultimate |
| Q _{all} | = | daya dukung tanah yang diijinkan |
| Re | = | <i>Reynold number</i> |
| S | = | panjang kurva (Panjang rantai)dari (0,c) ke titik (x,y) |
| SF | = | <i>safety factor</i> |
| T | = | Periode gelombang, (s), Gaya tarik maksimum pada <i>mooring chain</i> |
| T _{design} | = | Beban maksimum yang diijinkan untuk <i>mooring chain</i> |
| T _{break} | = | kekuatan yang menyebabkan <i>chain</i> patah |
| u | = | kecepatan partikel gelombang, (m/s) |
| U | = | komponen vektor kecepatan (arus /gelombang), kecepatan partikel pada jarak y dari kedalaman dasar laut, kekuatan –kekuatan yang diperlukan untuk beban – beban yang dikalikan faktor. |
| U | = | harga mutlak U |
| U _o | = | Kecepatan partikel yang telah diperhitungkan pada jarak y _o dari dasar laut |

| | | |
|-----------------|---|---|
| v | = | viskositas kinematis fluida, tegangan geser satuan |
| V | = | kecepatan angin,, gaya vertikal pada titik (x,y), volume <i>cylinder</i> yang tercelup air perunit panjang, |
| V_z | = | Kecepatan angin pada ketinggian z |
| V_{ref} | = | Kecepatan angin pada level 33 ft |
| V_n | = | kuat geser nominal |
| v_c | = | kuat geser nominal yang diakibatkan oleh beton |
| w | = | berat jenis udara, berat dari rantai yang tercelup |
| W_{air} | = | berat rantai di udara (lb/ft) |
| $W_{submerged}$ | = | berat rantai di air (lb/ft) |
| α | = | faktor dimensionless, koefisien faktor adhesi tanah |
| ρ | = | massa jenis air laut = 1025 kg/m ³ |
| θ | = | sudut antara mooring dengan <i>seabed</i> |
| σ_v' | = | tekanan efektif |

BAB I

PENDAHULUAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam suatu proses transportasi produksi minyak dan gas bumi di lepas pantai, terdapat dua alternatif yang biasa digunakan, yaitu disimpan dahulu dalam fasilitas penyimpanan atau dikirim langsung melalui jalur perpipaan. Untuk pilihan yang menggunakan fasilitas penyimpanan diperlukan suatu system untuk sarana menyalurkan minyak dan gas bumi dari kapal tanker. Sistem yang saat ini telah banyak digunakan adalah *Single Point Mooring* (SPM). SPM mulai digunakan dan dikembangkan sejak tahun 1959 dan dalam pengembangannya hingga kini terdapat beberapa bentuk desain dari SPM yang dioperasikan diperairan dalam maupun dangkal. Pada dasarnya terdapat dua tipe SPM yang sering digunakan di perairan Indonesia , yaitu *Single Anchor Leg Mooring* (SALM) dan *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM). Konsep awal dari SPM ini adalah suatu system atau peralatan yang memungkinkan untuk menambat tanker tersebut dan melakukan bongkar muat dilepas pantai tersebut. Sistem ini memungkinkan tanker yang tertambat dapat berputar 360° disekeliling SPM untuk menentukan posisi keseimbangan terbaik akibat beban lingkungan yang terjadi tanpa mengganggu jalannya operasi cargo transfer.

Untuk menjawab permasalahan ini, Pertamina akan membangun fasilitas terminal lepas pantai untuk pembongkaran BBM dari kapal tanker di Perairan Tanjung Awar – Awar, Tuban. Terminal ini akan menggantikan fungsi Instalasi Surabaya Group (ISG) yang berada di Tanjung Perak, Surabaya, yang selama ini merupakan pusat pendistribusian BBM ke seluruh Jawa Timur dengan menggunakan mobil tangki. Dengan fasilitas ini maka BBM nantinya akan dibongkar dari kapal melalui terminal tersebut dan ditimbun di fasilitas penimbunan yang juga akan dibangun didekat perairan tersebut. Selanjutnya BBM akan didistribusikan ke Surabaya dan beberapa kota lain di Jawa Timur dengan melalui pipa. Dengan cara ini maka pendistribusian melalui truk tangki dapat ditekan. Ada dua SPM yang nantinya akan dibangun, yaitu SPM untuk kapal tanker 25.000 dwt dan untuk kapal tanker 150.000 dwt.

Tugas akhir ini mengenai pemilihan SPM dengan tipe SALM atau CALM, berdasarkan kondisi dasar laut untuk pembongkaran BBM lepas pantai pertamina diperairan tanjung awar-awar, tuban.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang hendak diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana memilih struktur yang tepat antara SALM dan CALM yang akan digunakan berdasarkan kondisi dasar laut diperairan tersebut, dengan :

1. Menentukan jenis pondasi, meliputi penentuan kapasitas daya dukung tanah, dan penentuan kedalaman pondasi pada struktur SALM.
2. Mencari RAO pada struktur SALM untuk gerakan *surge* dan *heave*.
3. Menentukan jenis *anchor* yang nantinya akan digunakan pada struktur CALM.
4. Mencari RAO pada struktur CALM untuk gerakan *surge* dan *Heave* pada sudut $\theta = 0^0$ dan 30^0 .
5. Menentukan jenis SPM dengan membandingkan RAO SALM dan CALM.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah mengetahui struktur SPM yang tepat yang akan digunakan berdasarkan kondisi tanah pada perairan tersebut, dengan :

1. Mengetahui jenis pondasi, kapasitas daya dukung tanah, dan kedalaman pondasi pada struktur SALM.
2. Mengetahui RAO pada struktur SALM untuk gerakan *surge* dan *heave*.
3. Mengetahui jenis *anchor*, kapasitas daya dukung tanah pada struktur CALM.
4. Mengetahui RAO pada struktur CALM untuk gerakan *surge* dan *heave*.
5. Mengetahui jenis SPM dari perbandingan RAO SALM dan CALM.

1.4. Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari Tugas akhir ini adalah :

- Mengetahui struktur apa yang tepat yang nantinya dapat digunakan pada perairan di Tanjung Awar – awar, Tuban.
- Dapat digunakan sebagai dasar dan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya

1.5. Batasan Masalah

Untuk mempersempit ruang lingkup dan mempermudah pengerajan Tugas Akhir ini, maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

1. Kontur dasar laut dianggap datar.
2. Data bouy merupakan data sekunder.
3. Tipe mooring chain yang digunakan adalah *Stud-link chain*.
4. Bouy pada SALM dan CALM dianggap berukuran sama dan berbentuk silinder.
5. Jenis SPM yang dibandingkan hanya tipe SALM dan CALM.
6. Tidak ada tanker yang tertambat pada struktur.
7. Kriteria pemilihan terhadap RAO SALM dan CALM menggunakan tipe *mooring* yang sama dan lingkungan perairan yang sama.
8. Tugas akhir ini merupakan kajian dari pemilihan jenis SPM.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diterangkan mengenai studi yang dilakukan, permasalahan yang diangkat, tujuan yang hendak dicapai, manfaat, batasan – batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada *codes / rules* yang biasa digunakan untuk desain suatu bangunan *offshore* seperti API RP 2A, API RP 2P, U.S. NAVY, beberapa penelitian tentang SPM dan beberapa dasar teori.

Dasar teori yang digunakan antara lain mengenai gerakan bangunan apung akibat beban lingkungan, teori tegangan pada joint, dan mooring desain yang terdapat pada Applied Offshore Structural Engineering.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini menerangkan langkah – langkah yang dilakukan, dimulai dengan pengumpulan data, perhitungan gaya untuk pembebanan baik pada SALM maupun CALM, konfigurasi jumlah mooring chain, dan penentuan tipe anchor.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai respon amplitude operator pada SALM, pengaruh gaya dan konfigurasi jumlah mooring line terhadap tegangan dan panjang mooring, serta tipe dari anchor.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mengenai kesimpulan dari pembahasan dan saran terhadap penelitian selanjutnya mengenai mooring desain dan anchor.

BAB II

SINGLE POINT MOORING (SPM)

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB II

SINGLE POINT MOORING

(SPM)

2.1 Tinjauan Pustaka

Lokasi pengeboran minyak bumi yang pada saat ini berada di tengah laut, membuat kapal – kapal tanker pengangkut minyak mentah (*crude oil*) perlu ditambat pada waktu memuat minyak mentah dari suatu platform produksi, maka diperlukan adanya suatu system tambat yang aman bagi kapal – kapal tersebut dilaut untuk mempertahankan posisi akibat pembebasan lingkungan (Tjahjono, 1990).

Sistem tambat pertama kali digunakan di Dolaro swedia pada tahun 1959, dari jenis SPM (Single Point Moring System), pada sistem tambat ini seperti ini kurang cocok jika digunakan pada perairan yang dalam, karena membutuhkan mooring line yang panjang (soegiono, 1990).

Tegangan yang timbul pada tali dari sistem tambat disebabkan pengaruh dari beban lingkungan. Semakin besar kecepatan tarik, maka semakin besar pula tegangan yang timbul pada tali, harga-harga koefisien drag, koefisien inersia , serta koefisien lift. Dalam hal ini kecepatan tarik dari kapal yang bergerak yang menarik pipa dapat dianalogkan pada kecepatan gelombang dan arus pada suatu struktur terapung dengan sistem tambat (Riyanto, 1992).

Pada suatu sistem tambat harus dilakukan pemilihan jenis tali tambat yang sesuai. Pemilihan jenis yang salah dapat menyebabkan terjadinya penambahan berat karena berat tali itu tetapi pada mooring line dengan submersible buoy, penambahan berat pada tali dapat dilakukan jika daya apung pada buoy terlalu besar (Yunita, 2002).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tambat.

Untuk seluruh aktivitas di lepas pantai seperti pengeboran eksplorasi, pemasangan pipa, bongkar muat BBM diperlukan sistem untuk yang dapat menjaga struktur yang digunakan agar tetap pada posisinya, sehingga diperlukan suatu sistem tambat untuk suatu struktur yang melakukan aktivitas dilepas pantai. Pemilihan suatu sistem tambat pada umumnya berdasarkan pada beberapa pertimbangan berikut :

- a. Fungsi atau kegunaan penambatan suatu struktur
- b. Jenis struktur yang akan ditambatkan
- c. Kondisi umum dari lokasi dimana struktur akan ditambatkan.

Beberapa jenis dari pola penambatan suatu struktur di lepas pantai dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Terminal.

Pada umumnya terminal digunakan pada perairan yang dangkal, digunakan untuk bongkar muat BBM. Struktur yang ditambatkan biasanya berupa tanker, bulk carriers, dan LNG carriers. Sistem ini relative sederhana dan hanya membutuhkan sedikit waktu dalam mendirikan sistem tambatnya. Pada dasarnya terdapat 3 jenis terminal, yaitu :

- A. Conventional Piers atau Sea Island
- B. Spread Mooring Sistem
- C. Single Point Mooring (SPM)

Alternatif lain dari fasilitas bongkar/ muat migas yang dipergunakan untuk mengatasi kendala kedalaman perairan & cuaca adalah SPM (Single point Mooring)

SPM adalah suatu struktur yang memiliki sistem penambatan atau Mooring dan cargo transfer yang terintegrasi, dimana tanker dapat bertambat pada haluannya dan memungkinkan loading hose untuk berputar mengikuti posisi tanker yang dipengaruhi oleh angina dan arus selama pelaksanaan bongkar/muat.

Pada kondisi cuaca buruk, tanker lebih dimungkinkan untuk bertambat dan bongkar muat pada struktur ini dibandingkan dengan jenis fasilitas lainnya seperti dermaga atau jetty.

Fungsi utama SPM adalah :

1. Menyalurkan Crude Oil ataupun produk lain dari production platform
2. Menambatkan storage vessel atau eksport tanker dengan system tambat yang memungkinkan alat apung tersebut tidak terganggu keseimbangannya akibat beban lingkungan serta tertambat selama operasi bongkar muat berlangsung

Secara umum ditinjau dari system penjangkarannya , SPM dibedakan dalam dua jenis yaitu :

- CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*)

CALM adalah bouy tunggal yang berukuran besar yang dapat berfungsi sebagai tempat tambat kapal dan sarana bongkar muat minyak sekaligus.

Pada CALM , Mooring Bouy terapung dipermukaan laut dan mempunyai semacam piringan yang dapat berputar 360 derajat, sedang pengikatannya kedasar laut menggunakan rantai – rantai tambat. Kapal ditambatkan pada CALM dengan menggunakan mooring lines (tali tambat) kemudian dari manifold kapal dihubungkan dengan floating hose ke CALM. Dari CALM ke tanki dihubungkan melalui jaringan sub marine pipe (pipa bawah laut) . CALM adalah system mooring yang dibangun pada laut terbuka, dimana kapal yang bertambat dapat berputar sesuai dengan pengaruh angin dan arus. Sistem CALM terdiri dari sebuah bouy yang berbentuk silindris kedap air dengan sarat tertentu yang diikatkan pada dasr laut pada system jangkar dengan beberapa rantai yang membentuk konfigurasi catenari. Flexible floating hose menghubungkan bagian bawah dari bouy dengan pipeline dan manifold pada dasar laut dan dengan tanker (ABS, 1981).

Menurut D. A Fee,1986, Keuntungan dari CALM ini adalah :

1. kapal tanker dapat melakukan bongkar muat walaupun tanker berputar mengelilingi bouy sebagai respon dari kondisi laut dan cuaca.
2. Gaya pada mooring line akibat beban lingkungan dapat diminimalkan karena kemampuan tanker dalam menyesuaikan posisi.
3. Tanker dapat ditambat dan dilepaskan secara tepat.

4. Bouy dapat digunakan kembali (reuse) untuk terminal lepas pantai yang lain, dengan kondisi lingkungan yang tidak jauh berbeda.

5. swivel terletak pada bouy sehingga mempermudah perawatannya.

Adapun kekurangannya adalah :

1. Penambatan hanya dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang tenang.

2. Pada kondisi laut yang buruk tanker dapat bergeser menuju bouy dan dapat mengakibatkan kerusakan pada floating hose.

Pada umumnya bagian – bagian yang ada pada system CALM adalah sebagai berikut :

a. Bouy atau main structure : merupakan struktur utama yang berupa tanki apung yang berbentuk silindris. Secara prinsip kegunaan bouy tersebut adalah untuk menyediakan hubungan yang cukup antara hawser pada kapal dengan system penambatannya (jangkar), bouy harus memiliki buoyancy yang cukup untuk menahan berat dari mooring chain yang ada dibawah permukaan air.

b. Anchoring system : merupakan bagian utama dari system tambat yang berfungsi untuk mempertahankan posisi dan meredam beban lingkungan yang terjadi, yang terdiri dari :

- Rantai atau tali jangkar
- Jangkar / pile
- Chain Stopper / Locker

c. Cargo transfer system : merupakan peralatan untuk menyalurkan muatan meliputi :

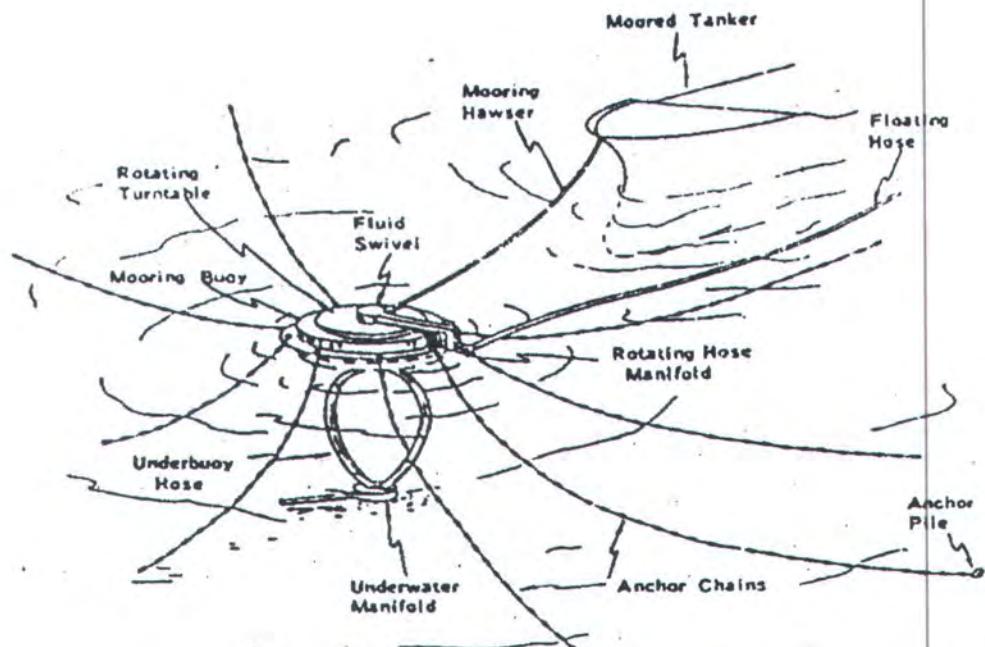
1. Bagian yang ada diatas permukaan air yang menghubungkan CALM dengan tanker, yaitu :

- Floating Hose Pipe
- Multi Production Distribution Unit (MPDU)
- Rotating Assembly
- Production Piping

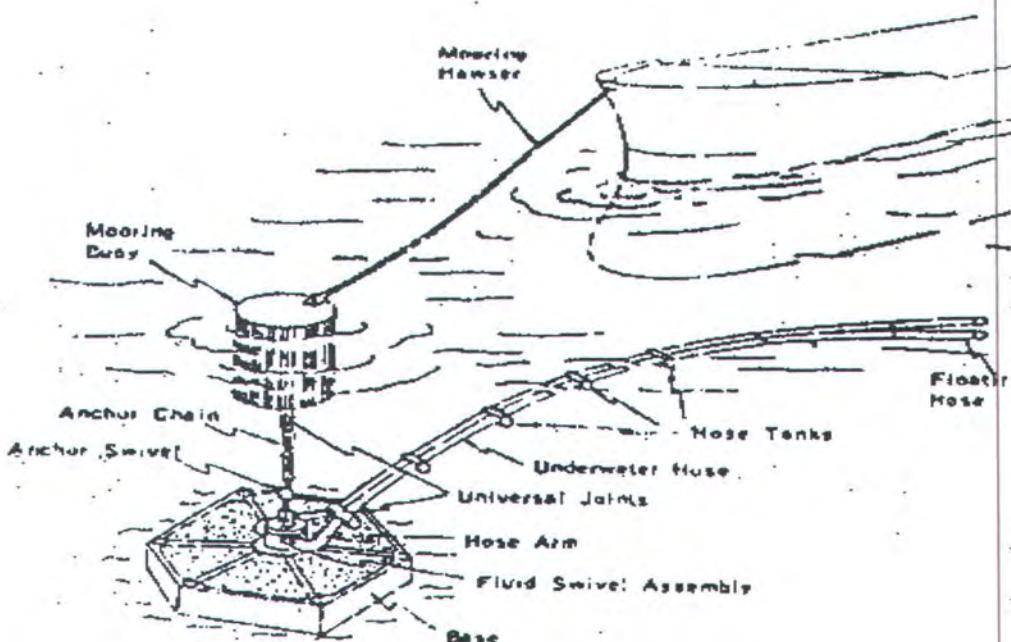
2. Bagian yang ada didasar permukaan air, yang menghubungkan PLEM dengan CALM, yaitu:

- Under Bouy Hose System
- d. Hawser assembly : merupakan system untuk menambat tanker yang menghubungkan tanker dengan bouy.
 - Mooring line, berupa tali yang biasanya berupa nylon rope.
- e. Navigation Aids :
 - Radar Reflector
 - Obstruction Light
 - Fog Signal
- f. Fenders : yang berfungsi untuk menghindari kerusakan pada bouy ketika tanker menabrak bouy
- g. Turntable : merupakan system platform yang memungkinkan kapal dapat bergerak bebas disekeliling CALM untuk meredam beban lingkungan yang terjadi
- h. PLEM (Pie Line End Manifold) : Penghubung antara pipeline dengan under bouy hose system
- i. Cathodic Protection System : Untuk mencegah terjadinya korosi pada bagian bouy yang ada dibawah permukaan air.
- SALM (*Single Anchor Leg Mooring*)

Pada jenis SALM, pengikatan didasar laut dengan menggunakan suatu mooring base dan minyak mentah dialirkan kepermukaan laut melalui riser shaft (poros riser) atau rantai yang dapat berputar 360 derajat pada sumbu tegak dengan bantuan swivel. Kemudian minyak mentah tersebut dialirkan kekapal tanker melalui pipa minyak yang diapungkan diperlukaan laut dengan pelampung – pelampung. Kapal ditambakan pada bouy dengan dengan mooring lines (tali tambat) dan dapat berputar bebas 360 derajat. Hubungan antara kapal dan sistem tambat diperlukaan laut ada yang menggunakan bouy Yoke Structure yang dapat terapung karena mempunyai tanki pelampung (buoyancy tank) serta dapat berputar 360 derajat.



Gambar 2.1. Catenary Anchor Leg Mooring



Gambar 2.2. Single Anchor Leg Mooring

Pada prinsipnya SALM tidak jauh beda dengan CALM dalam hal ini yang membedakannya hanyalah mooring sistemnya, dimana pada CALM umumnya menggunakan 4 atau 6 atau 8 rantai jangkar, tetapi pada SALM hanya menggunakan 1 rantai jangkar.

2. Temporary Mooring System (TMS)

Temporary Mooring System (TMS) digunakan hanya untuk struktur yang ditambat dalam waktu tertentu atau singkat. Struktur ini posisinya dapat berpindah-pindah sesuai dengan kebutuhan. Ini berarti struktur tersebut harus dapat dibongkar dan dipasang lagi pada kondisi lingkungan yang berbeda dengan mudah atau pekerjaan yang dilakukan sedikit. Pada kondisi laut yang ekstrim (terjadi badai) struktur ini dapat meninggalkan lokasinya atau dilepas atau dapat juga dengan menyesuaikan penambatannya agar mampu bertahan pada kondisi badai tersebut.

3. Permanent Mooring System (PMS)

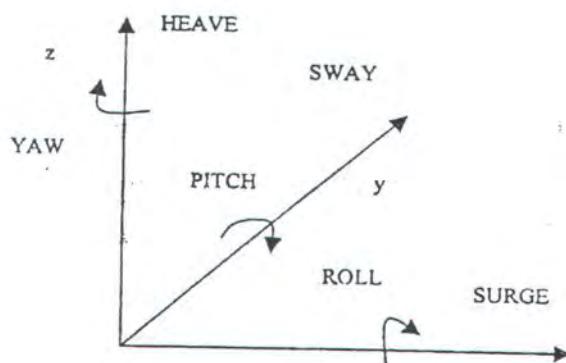
Sistem tambat permanen biasanya digunakan untuk struktur yang ditempatkan selama masa operasinya pada daerah tertentu (biasanya selama 20 – 30 tahun). Sehingga sistem ini memerlukan persyaratan yang lebih berat dalam perancangannya dibandingkan dengan sistem tambat sementara.

Sistem tambat permanen pada dasarnya dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

- Sistem yang tidak mengijinkan struktur untuk berubah arah
- Sistem yang mengijinkan struktur untuk berubah arah

2.3 Perhitungan Beban Gelombang

Bangunan apung memiliki enam derajat kebebasan yang terdiri dari tiga derajat kebebasan translasional, yaitu surge, sway dan heave, dan tiga derajat rotasional rotasional, yaitu Roll, pitch, dan yaw.



Gambar 2.3. Enam derajat kebebasan gerakan bangunan apung

Persamaan gerakan bangunan apung dengan $D/L < 0.2$ secara umum dapat ditulis sebagai berikut :

$$(m + m_a) \ddot{X} + c |\dot{X}| \dot{X} + (k + k_m) = F(t) \quad (2.1)$$

sedangkan untuk bangunan apung tidak memiliki koefisien redaman (c) , sehingga persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$(m + m_a) \ddot{X} + (k + k_m) = F(t) \quad (2.2)$$

dengan :

- Massa (m)

Massa terdiri dari masa struktur (m) dan massa tambah (ma) akibat adanya percepatan relatif antara fluida dan struktur.

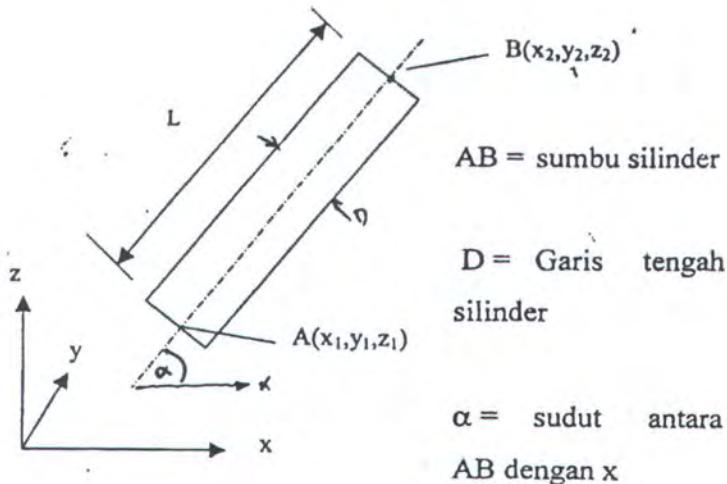
- Kekakuan (k)

Kekakuan (k) timbul akibat gaya hidrostatik dan disebut *hydrostatic stiffness*, dan km adalah kekakuan tali tambat.

- Beban luar (F (t)) pada umumnya adalah beban gelombang (*wave action / loading*) dan tidak diketahui secara eksplisit tetapi harus dihitung dulu.

Untuk perhitungan beban gelombang, sumbu x biasanya dipilih pada permukaan air tenang (SWL) sehingga titik pusat koordinat (x,y,z) juga terletak pada permukaan air tenang. Untuk gerakan titik pusat koordinat yang dipilih pada umumnya berimpit dengan titik berat struktur (titik G) dengan demikian maka gerakan relatif ditinjau terhadap titik tersebut. Dalam penggerjaan tugas akhir ini gaya yang dihitung adalah dalam arah surge, heave dan pitch. Untuk menyelesaikan persamaan diatas maka parameter – parameter disamping ini harus digunakan :





Gambar 2.4. Silinder sembarang dengan jari –jari r , panjang L dengan posisi sebarang.

$$K_1 = \frac{\rho C_d \pi D^2 L}{4} \quad (2.3)$$

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (2.4)$$

$$\cos \alpha = \frac{(x_2 - x_1)}{L} \quad (2.5)$$

$$\cos \beta = \frac{(y_2 - y_1)}{L} \quad (2.6)$$

$$\cos \gamma = \frac{(z_2 - z_1)}{L} \quad (2.7)$$

$$x_m = \frac{(x_1 + x_2)}{L} \quad (2.8)$$

$$y_m = \frac{(y_1 + y_2)}{L} \quad (2.9)$$

$$z_m = \frac{(z_1 + z_2)}{L} \quad (2.10)$$

$$x_n = \frac{(x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2)}{3} \quad (2.11)$$

$$y_n = \frac{(y_1^2 + y_1 y_2 + y_2^2)}{3} \quad (2.12)$$

$$z_n = \frac{(z_1^2 + z_1 z_2 + z_2^2)}{3} \quad (2.13)$$

$$(xy)_n = \frac{(2x_1y_1 + 2x_2y_2 + x_1y_2 + x_2y_1)}{6} \quad (2.14)$$

$$(zx)_n = \frac{(2z_1x_1 + 2z_2x_2 + z_1x_2 + z_2x_1)}{6} \quad (2.15)$$

$$(yz)_n = \frac{(2y_1z_1 + 2y_2z_2 + y_1z_2 + y_2z_1)}{6} \quad (2.16)$$

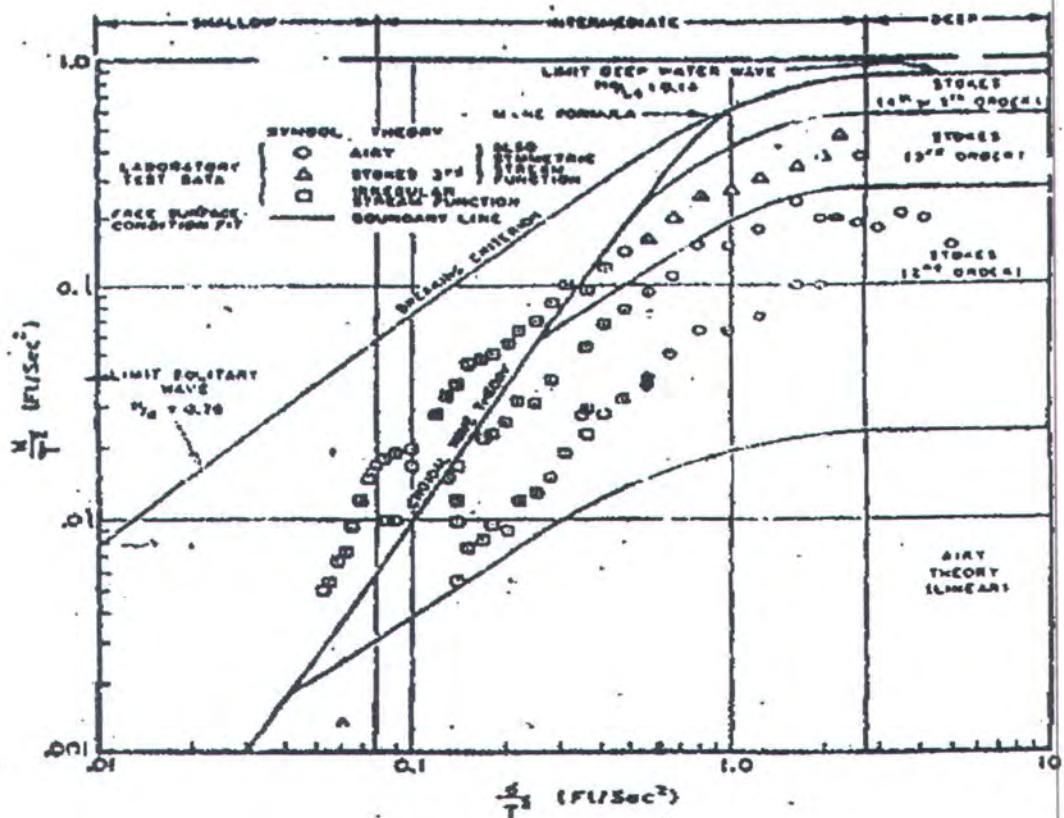
Dalam perhitungan beban gelombang, ada beberapa teori gelombang yang dapat ditentukan. Penentuan teori gelombang disesuaikan dengan grafik *region validity* dengan parameter H/T^2 dan d/T^2 seperti di samping.

Dengan formula untuk beban gelombang menggunakan formula dari API RP 2A adalah sebagai berikut :

$$F = F_d + F_i = C_d \frac{\rho}{2} A |U| U + C_m \rho V \frac{dU}{dt} \quad (2.17)$$

dengan :

| | | |
|--------|---|--|
| F | = | Gaya Gelombang |
| F_d | = | gaya drag, lb/ft (N/m) |
| F_i | = | gaya inersia, lb/ft (N/m) |
| V | = | volume <i>cylinder</i> yang tercelup air perunit panjang, $\text{ft}^2 (\text{m}^2)$ |
| | = | $\pi D^2 / 4$ untuk <i>circular cylinder</i> |
| C_d | = | Koefisien drag |
| C_m | = | Koefisien inersia |
| ρ | = | massa jenis air = 1025 kg/m^3 |
| A | = | Luas area (m^2) |
| U | = | komponen vektor kecepatan (arus /gelombang), ft/sec (m/sec) |
| $ U $ | = | harga mutlak U |



Gambar 2.5 Grafik Region of Validity (chakrabharty, 1987)

Nilai dari C_d dan C_m dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$Re = \frac{uD}{v} \quad (2.18)$$

$$KC = \frac{uT}{D} \quad (2.19)$$

Dengan Re = *Reynold number*

KC = *Keulegan – Carpenter Number*

u = kecepatan partikel gelombang, (m/s)

D = diameter silinder, (m)

T = Periode gelombang, (s)

v = viskositas kinematis fluida, (m^2/s)

= $1.2 \times 10^{-6} m^2/s$

- **Gerakan Surge**

Persamaan umum untuk gerakan surge adalah

$$(m + m_a) \ddot{X} + (k + k_m) X = F_{surge} \quad (2.20)$$

dengan :

- Massa struktur = ρV (2.21)

- Massa tambah untuk silinder (m_{a11}) = $K_1 \sin^2 \alpha$ (2.22)

- Kekakuan struktur untuk gaya surge adalah nol

- Kekakuan tali tambat surge (k_{11})

$$k_{11} = \lambda \cos^2 \alpha + \frac{T}{L} \sin^2 \alpha \quad (2.23)$$

dengan T = Tegangan tali, N

L = Panjang tali tambat, m

λ = axial stiffness tali = 33×10^3 kN/m

- Koefisien damping surge (b_{11})

$$b_{11} = \frac{1}{2} \rho C_d L D | \sin^3 \alpha | \quad (2.24)$$

- $X = X_0 \sin(\omega t)$

$$X_0 = \frac{F_{surge}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2}} \quad (2.25)$$

- **Gerakan Heave**

Persamaan umum untuk gerakan heave adalah

$$(m + m_a) \ddot{Z} + (k + k_m) Z = F_{heave} \quad (2.26)$$

dengan :

- Massa struktur = ρV (2.27)

- Massa tambah untuk silinder (m_{a33}) = $K_1 \sin^2 \gamma$ (2.28)

- Kekakuan struktur untuk gaya heave = $\rho g \sum A_w$ (2.29)

- Kekakuan tali tambat heave (k_{33})

$$k_{33} = \lambda \cos^2 \gamma + \frac{T}{L} \sin^2 \gamma \quad (2.30)$$

- Koefisien damping heave (b_{33})

$$b_{33} = \frac{1}{2} \rho C_d L D \left| \sin^3 \gamma \right| \quad (2.31)$$

- $Z = Z_0 \sin(\omega t)$

$$Z_0 = \frac{F_{heave}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2}} \quad (2.32)$$

2.4 Perhitungan Beban Angin

Prosedur untuk menghitung beban angin pada *bouy* diambil dari API RP 2A, yaitu :

$$F = (w / (2g)) (V)^2 Cs A \quad (2.33)$$

| | | | |
|----------|----|---|---|
| dengan : | F | = | Gaya angin |
| | w | = | berat jenis udara, lb/ft ³ (N/m ³) |
| | | = | 0.0756 lb/ ft ³ (untuk tekanan dan temperatur yang standart) |
| | g | = | gaya gravitasi, ft/s ² (m/s ²) |
| | V | = | kecepatan angin, ft/s (m/s) |
| | Cs | = | <i>shape coefficient</i> |
| | A | = | luas area, ft ² (m ²) |

Dibawah ini merupakan *shape coefficient* yang direkomendasikan oleh API RP 2A :

Tabel 2.1 Koefisien bentuk

| Exposed area | Cs |
|------------------------------------|-----|
| Beams | 1.5 |
| Sides of buildings | 1.5 |
| Cylindrycal sections | 0.5 |
| Overall projected area of platform | 1.0 |

2.5 Perhitungan Beban Arus

Karena *bouy* berbentuk silinder maka untuk perhitungan beban arus juga dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.17). Dengan F = Gaya arus, N. Karena percepatan arus adalah konstan dengan $a = 0$, maka $du/dt = 0$

2.6 Respon Amplitude Operator

Perhitungan RAO untuk SALM bertujuan untuk mencari respon *displacement* dari struktur tersebut akibat pengaruh beban gelombang. Nilai offset maksimum (Sutomo,jusuf) adalah :

$$\text{Offset max} = 8\% d \quad (2.34)$$

dengan d adalah kedalaman perairan.

Teori gelombang yang digunakan berdasarkan dari H_s , T , dan d dari perairan tersebut, kemudian diplotkan ke grafik *region of validity* dengan parameter H/gT^2 sebagai ordinat dan d/gT^2 sebagai absis.

Respon pada struktur offshore baik yang terpanjang maupun yang terapung akibat beban gelombang pada umumnya dapat dihitung dalam tiap – tiap frekuensi dengan menggunakan metode respon \square . Nilai dari suatu respon pada umumnya sama dengan beban gelombang. RAO dapat disebut sebagai transfer function karena mentransfer beban gelombang ke dalam respon struktur.

Untuk gelombang linier, fungsi respon untuk frekuensi gelombang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Respon}(t) = (\text{RAO}) \eta(t) \quad (2.35)$$

dengan : $\eta(t)$ adalah profil gelombang sebagai fungsi waktu, t

2.7 Mooring Layout.

Mooring pada umumnya sering ditempatkan pada lokasi yang terlindungi, seperti di dermaga dengan tujuan untuk meminimalisir beban lingkungan. Pada bagian yang lain, beberapa mooring justru ditempatkan pada lautan terbuka dimana penempatan *ship-mooring* terbuka dengan lebar terhadap beban gelombang.

Bagian mooring, vessel, dan konfigurasi moring pada umumnya memberikan detail desain yang lebih awal. Konfigurasi mooring yang digunakan bergantung pada Penggunaan mooring; Ruang yang tersedia untuk mooring; Beban – beban pada mooring; Kekuatan , ketersediaan dan biaya komponen – komponen mooring; Pergerakan vessel yang diijinkan.

2.8 Evaluasi dari kondisi – kondisi lingkungan dan beban yang terjadi.

Kondisi – kondisi lingkungan sangat penting dalam desain mooring termasuk karakteristik tanah pada dasar laut, kedalaman air , arus dan gelombang.

- Kondisi tanah.

Pemilihan dari jangkar sering ditinjau dari tipe tanah pada dasar laut, sebagai contoh, akan dipertimbangkan untuk dasar laut batu karang sedangkan jangkar tipe drag tidak akan dipertimbangkan. Maka, investigasi tanah secara detail termasuk gerakan tanah dan pengujian di laboratorium digunakan untuk mengembangkan desain jangkar.

- Angin.

Menurut ABS, 1996. Pada umumnya kecepatan angin bervariasi terhadap ketinggian diatas permukaan air dan terhadap waktu. Untuk data angin, ketinggian standart yang digunakan biasanya sekitar 33 ft. Untuk kecepatan angin yang bertiup selama kurang lebih 1 menit atau lebih pada ketinggian yang berbeda dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_z = \left(\frac{z}{33} \right)^{0.1} V_{ref} \quad (2.36)$$

dengan V_z = Kecepatan angin pada ketinggian z
 V_{ref} = Kecepatan angin pada level 33 ft

Kecepatan dan arah angin dinyatakan dalam harga rata – rata. Periode selama harga rata – rata tersebut bervariasi antara 3 detik sampai 60 menit. Berdasarkan pada pertimbangan analitis dan pada pengalaman yang terdahulu, maka kecepatan angin dengan durasi 1 menit digunakan untuk perancangan Single Point Mooring untuk tanker minyak

- Arus.

Arus merupakan komponen yang penting dalam layout dan perancangan suatu tambatan dan beban akibat arus induksi pada kapal yang ditambatkan dapat mendominasi desain pada mooring. Arus juga dapat mempengaruhi kemampuan dari kapal untuk bergerak ketika ditambatkan. Arus pasang surut adalah jenis arus yang paling umum pada muara dan pelabuhan.

Range kecepatan dari arus ini adalah kurang dari 1 knot hingga sekitar 6 knot. Arus pasang surut adalah perkiraan yang terbaik berdasarkan pengukuran langsung. Jika tidak terdapat pengukuran, kecepatan arus mungkin dapat ditentukan dengan menggunakan model phisik. Arah dan Kecepatan arus bervariasi sepanjang pasang surut yang beredar. Dalam beberapa hal, dapat mengakibatkan beban yang signifikan pada mooring (de Kat dan Whichers, 1990). Pada umumnya nilai arus maksimum (di bawah kondisi-kondisi pasang yang ekstrim) digunakan didalam disain. Angin yang mengendalikan arus berasal dari tekanan yang diakibatkan oleh angin pada permukaan laut dan mencapai kecepatan rata – rata sekitar 3% hingga 5% dari rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut.

Perhitungan kecepatan arus pada kedalaman tertentu dapat mempergunakan pendekatan sebagai berikut :

$$U = U_0 (y / y_0)^{1/7} \quad (2.37)$$

dengan : U = kecepatan partikel pada jarak y dari kedalaman dasar laut

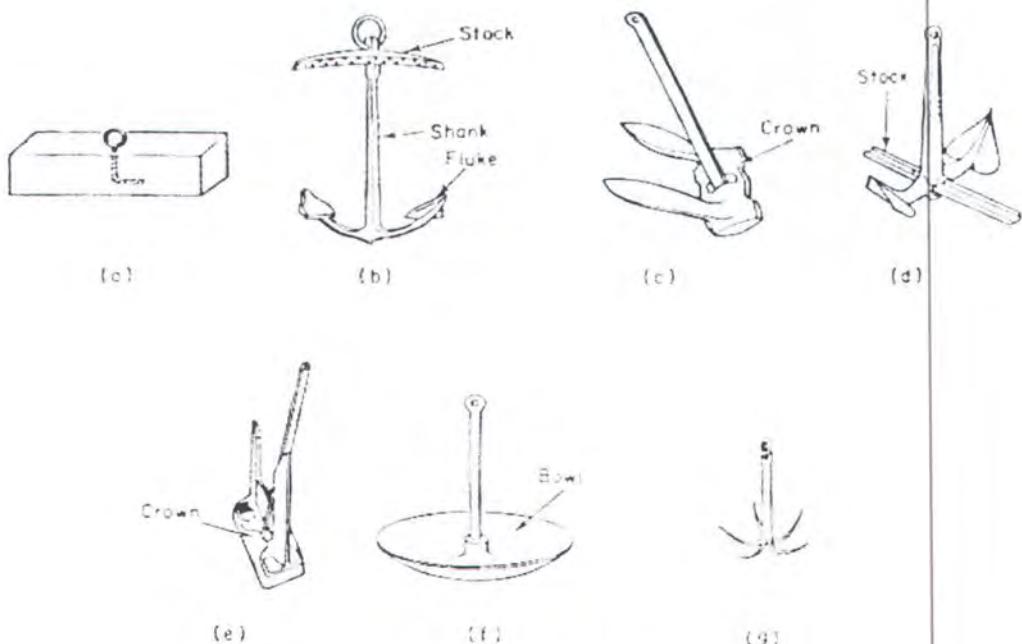
U_0 = Kecepatan partikel yang telah diperhitungkan pada jarak y_0 dari dasar laut

2.9 Desain Komponen Pada Mooring

- Pemilihan Rantai Jangkar

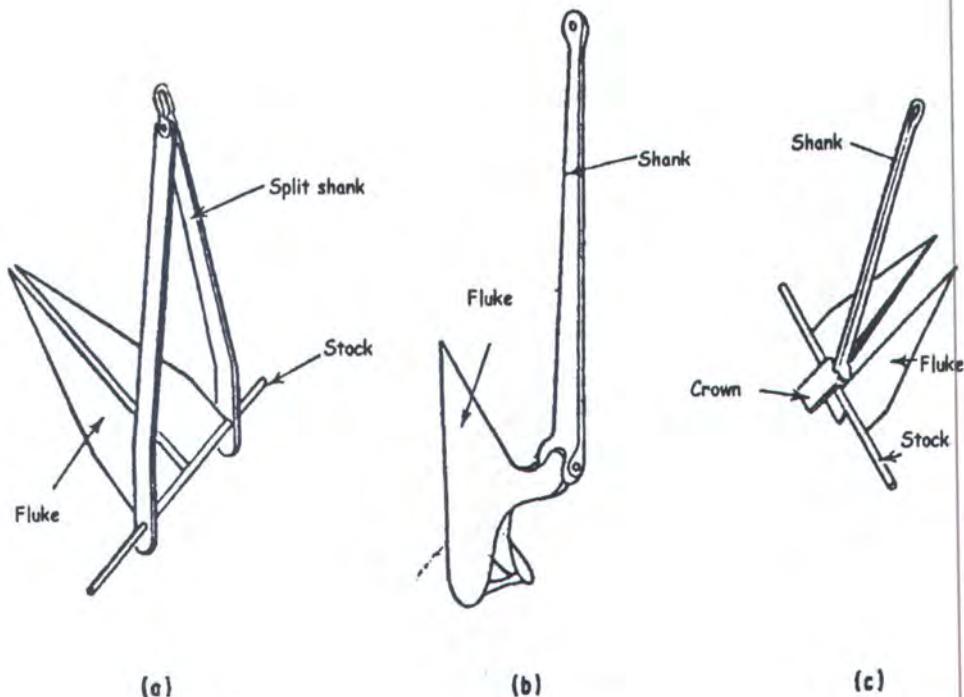
Beberapa tipe jangkar telah digunakan di dalam tambatan di lepas pantai seperti jangkar – jangkar tipe drag-embedment, jangkar tipe deadweight, dan direct-embedment. Jangkar dengan tipe Drag-embedment seringkali digunakan untuk menambat kapal di daerah lepas pantai dan berbagai jenis jangkar yang tersedia ditunjukkan dalam gambar 2.7. Elemen – elemen yang penting pada jangkar dengan tipe drag-embedment diringkas dalam shank pada jangkar digunakan untuk mentransfer beban dari mooring-line menuju fluke dari jangkar, biasa disebut fluke tip, yang didesain untuk masuk kedalam dasar laut pada waktu penurunan jangkar. Jangkar tipe

drag-embedment dirancang untuk menahan beban vertikal tetapi tidak dapat menahan beban horisontal. Sudut yang mendekati nol antara shank pada jangkar dan dasar laut diperlukan untuk memastikan beban horisontal pada jangkar dan dapat dicapai dengan menyediakan ruang lingkup yang cukup pada mooring line (yaitu perbandingan panjangnya garis tambatan dengan kedalaman air).



Gambar 2.6. Tipe jangkar deadweight (U.S. Navy, 1985)

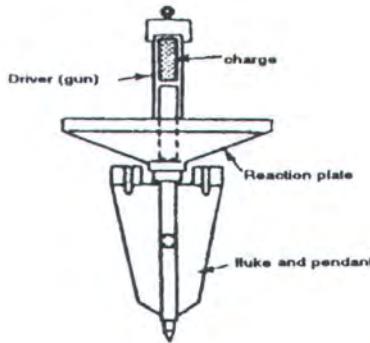
Pile pada Jangkar dirancang untuk menahan beban horisontal dan vertikal yang pada umumnya terdiri dari bentuk yang sederhana dari struktur yang terbuat dari baja dicoba dengan sambungan mooring line. Pile pada Jangkar sangat tepat digunakan untuk tambatan dengan ruang lingkup yang terbatas dan sering digunakan ketika karakteristik tanah pada dasar laut tidak sesuai untuk jangkar dengan tipe drag. Pipa pada pile disesuaikan dengan jangkar sebab pipa pada pile tersebut dapat menahan beban dengan sama di berbagai arah (meskipun tidak diijinkan untuk sambungan mooring line). Bagian Wide-Flange, pada sisi yang lain, memiliki poros kuat dan yang lemah terhadap lentur. Bagian – bagian yang dibangun mungkin dibuat dengan bentuk struktur yang lain untuk menahan beban yang searah atau berbagai arah.



Gambar 2.7. Drag embedment anchor

Jangkar tipe deadweight adalah berat baja atau beton yang besar yang menahan kedua beban vertikal dan horisontal. Konstruksi pada jangkar dengan tipe dead-weight dapat berasal dari perdu beton yang sederhana sampai dengan jangkar dari baja dan beton yang dihasilkan dengan shear keys. Jangkar tipe deadweight pada umumnya lebih berat dan lebih besar dari jangkar tipe lain dan mungkin tidak ekonomis. Beban yang berupa gaya keatas pada jangkar tipe deadweight ditahan oleh berat jangkar itu sendiri sedangkan beban lateral ditahan oleh gesekan statis antara blok pada jangkar dan dasar laut. Kapasitas lateral dapat ditingkatkan dengan shear kunci yang mana bear membawa melawan substrate tanah.

Jangkar tipe direct-embedment adalah suatu jangkar yang digetarkan, atau didorong secara \square vertikal ke dalam dasar laut, setelah fluke pada jangkar diperluas atau diorientasikan kembali pada tahanan waktu pullout. Jangkar tipe direct-embedment dapat menahan beban lateral dan beban uplift (gaya tarik ke atas). Tegangan tarik maksimum pada *mooring chain* selalu lebih besar dari beban vertikal pada *chain*. Bagaimanapun, pada umumnya hanya beban horizontal yang diketahui.



Gambar 2.8 Direct – embedment anchor

Tegangan tarik maksimum dapat diperkirakan dari beban horisontal sebagai berikut :

$$T = 1.12 H \quad (2.38)$$

dengan : T = Gaya tarik maksimum pada *mooring chain*
 H = Beban tarik arah horisontal pada *mooring chain*

Berdasarkan U.S. Navy (1985), beban maksimum yang diijinkan untuk *mooring chain* adalah :

$$T_{\text{design}} = 0.35 T_{\text{break}} \quad (2.39)$$

dengan : T_{design} = Beban maksimum yang diijinkan untuk *mooring chain*
 T_{break} = kekuatan yang menyebabkan *chain* patah

Rules dari ABS (1975) untuk *anchor legs* pada SPM didesain dengan SF (*safety factor*) = 3 dari kekuatan yang menyebabkan *chain* patah, yaitu :

$$T_{\text{design}} = 0.33 T_{\text{break}} \quad (2.40)$$

Nilai dari kekuatan yang menyebabkan *chain* patah dapat dilihat pada katalog manufaktur.

Berat dari rantai yang ditampilkan pada katalog manufaktur pada umumnya hanya berat di udara. Berat dari *chain* yang tercelup di air dapat diperoleh dengan mengalikan berat di udara dengan 0.87, jika table berat rantai actual tidak tersedia maka berat *stud link chain* dapat dihitung sebagai berikut :

$$W_{\text{air}} = 9.05 d^2 \quad (2.41)$$

$$W_{\text{submerged}} = 8.26 d^2 \quad (2.42)$$

dengan : W_{air} = berat rantai di udara (lb/ft)
 $W_{\text{submerged}}$ = berat rantai di air (lb/ft)
 d = diameter rantai (inchi)

- Perhitungan Panjang dan Tegangan Rantai.

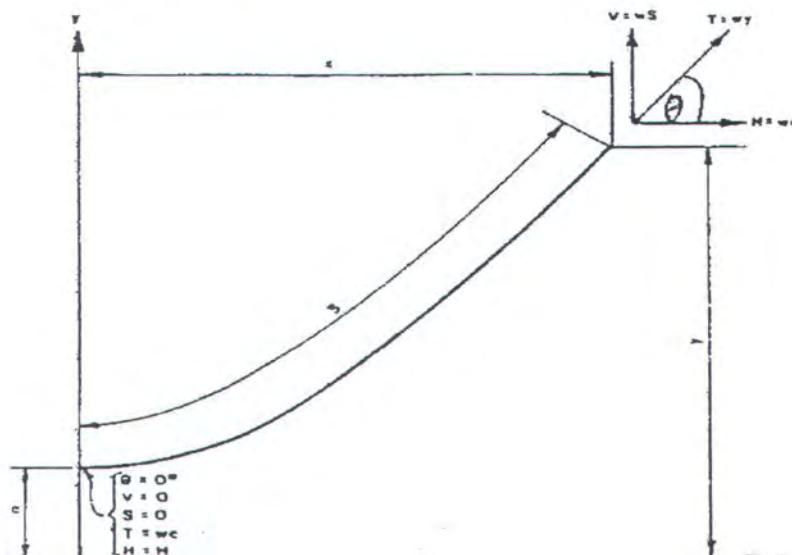
Rantai mooring line yang di support pada permukaan bouy dan diulurkan melalui kolom air hingga mencapai dasar laut berkelakuan seperti *catenary*. Gambar dibawah ini mendefinisikan sketch yang digunakan pada analisa *catenary*.

$$V = w S = T \sin (\theta) \quad (2.43)$$

$$H = w c = T \cos (\theta) \quad (2.44)$$

$$T = w y \quad (2.45)$$

$$c = H / w \quad (2.46)$$



Gambar 2.9. Catenary definition sketch (U.S. Navy)

dengan : V = gaya vertikal pada titik (x,y)
 w = berat dari rantai yang tercelup
 S = panjang kurva (Panjang rantai)dari $(0,c)$ ke titik (x,y)
 T = gaya tarik pada titik (x,y)
 θ = sudut antara mooring dengan *seabed*
 H = gaya horisontal pada titik (x,y)
 c = jarak dari titik awal ke titik tangkap y (panjang
mooring line yang menempel pada *seabed*)

Bagian lain dari *catenary* dikembangkan dari persamaan berikut ini :

$$y^2 = S^2 + c^2 \quad (2.47)$$

$$y = c \cosh(x/c) \quad (2.48)$$

$$s = c \sinh(x/c) \quad (2.49)$$

persamaan tersebut dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$x = c \ln(s/c + \sqrt{((s/c)^2 + 1)} \quad (2.50)$$

pada persamaan – persamaan diatas, gaya horizontal pada tiap titik pada jangkar adalah sama dan pada semua pengukuran x , y , S direferensikan pada titik asal *catenary*.

Jika \square umpur \square t *catenary* seperti yang ditunjukkan pada titik (x_m, y_m) seperti pada gambar dibawah ini, maka persamaan dibawah ini dengan batas – batas pada gambar tersebut dapat digunakan.

$$\sqrt{(S_{ab}^2 - wd^2)} = 2 c \sinh(x_{ab} / 2c) \quad (2.51)$$

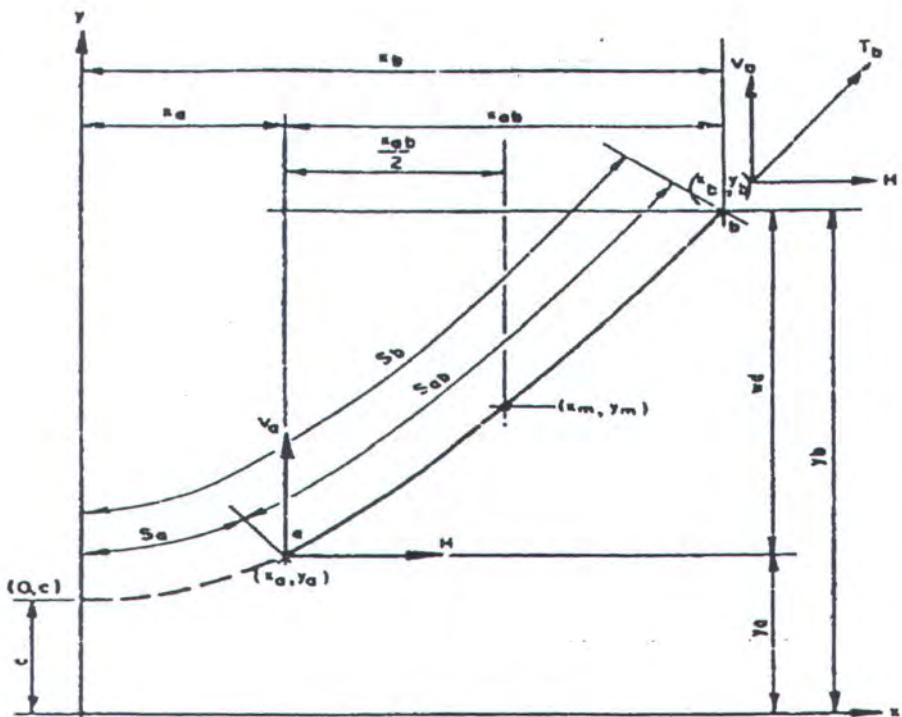
$$wd / S_{ab} = \tanh(x_m / c) \quad (2.52)$$

$$x_m = x_a + (x_{ab} / 2) \quad (2.53)$$

$$x_b = x_m + (x_{ab} / 2) \quad (2.54)$$

persamaan (2.50) dapat ditulis sebagai berikut:

$$x_m = (c/2) [\ln(1 + wd/S_{ab}) - \ln(1 - wd/S_{ab})] \quad (2.55)$$



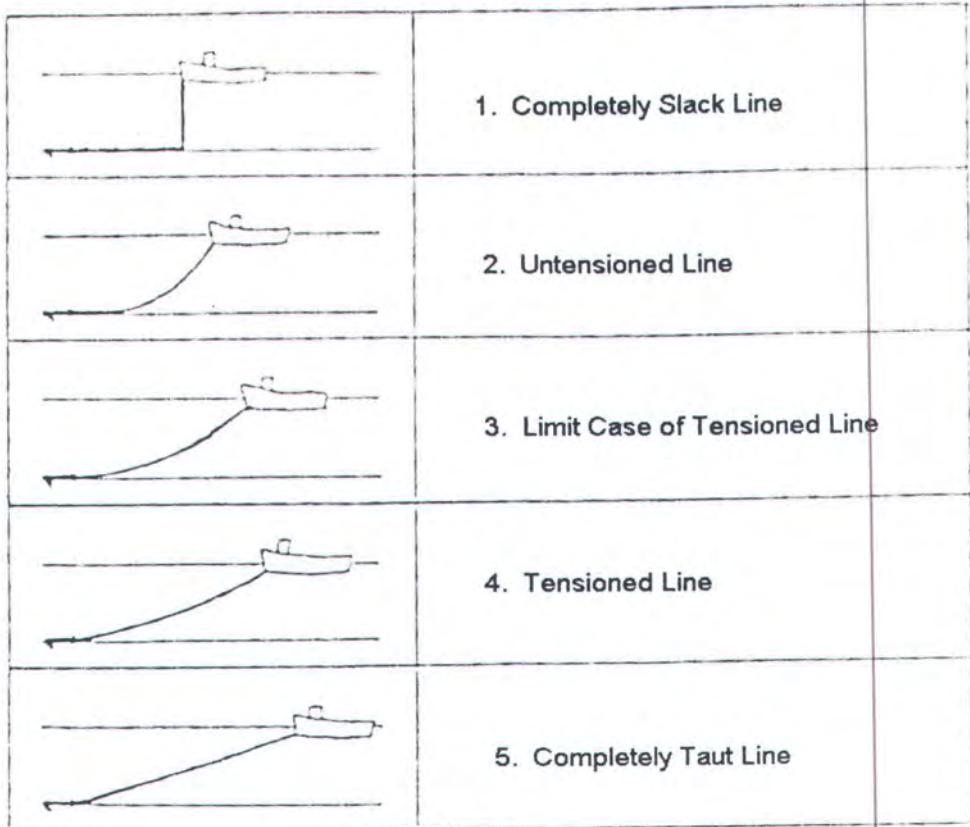
Gambar 2.10. Catenary definition sketch 2 (U.S. Navy, 1985)

- Beberapa Aplikasi dari Persamaan *catenary*

Konfigurasi dari sebuah *mooring line* bergantung pada beban horizontal yang terjadi pada struktur. *Mooring line* selalu diasumsikan sebagai sebuah bidang vertikal yang melalui *anchor* dan dari *fairlead* struktur ke *anchor*, seperti lima kondisi pada gambar disamping, dengan penjelasan sebagai berikut :

- *Completely Slack Line* : tidak terdapat beban horizontal yang terjadi, dan *mooring* tergantung vertikal.
- *Non – tensioned line* : Sebagian dari *mooring line* menyentuh dasar laut.
- *Tensioned line limit case* : sebagai peningkatan beban horizontal, titik temu dari *mooring line* dengan dasar laut mendekati *anchor*. Batas pendekatan yang digunakan adalah ketika panjang dari *mooring line* yang menyentuh dasar laut adalah nol. Sudut yang terjadi antara *mooring line* dengan dasar laut yang mendekati *anchor* adalah nol.

Menurut U. S. Navy, pada geometri ini variabel yang diketahui adalah sudut antara *mooring line* dengan *anchor* $\theta_a = 0$; kedalaman air (wd); beban horizontal (H); dan berat dari rantai yang tercelup (w).



Gambar 2.11 Geometri *Anchor line*

Sedang yang dicari adalah Panjang *mooring line* (S_{ab}); jarak \square horizontal dari *anchor* ke *bouy* (X_{ab}); dan gaya tarik *mooring line* pada *bouy* atau permukaan (T_b). Prosedur untuk menghitung nilai – nilai ini dapat dilihat pada *flowchart* 3.2.

$$C = H / w \quad (2.56)$$

$$y_b = c + wd \quad (2.57)$$

$$S_{ab} = \sqrt{(y_b^2 - c^2)} \quad (2.58)$$

$$X_{ab} = c \ln \left[\frac{S_{ab}}{c} + \sqrt{\left(\frac{S_{ab}}{c} \right)^2 + 1} \right] \quad (2.59)$$

$$T_b = w y_b \quad (2.60)$$

- *Tensioned line* : terdapat sudut sebesar θ antara *mooring line* dengan horizontal pada *anchor*. Keadaan ini seharusnya dihindari, dengan menerapkan beban vertikal pada *anchor*.

Menurut U. S. Navy, pada geometri ini variabel yang diketahui adalah sudut antara *mooring line* dengan *anchor* θ_a (ekivalen dengan beban horisontal

pada *anchor*, V_a); kedalaman air (wd); beban horisontal pada permukaan (H); dan berat dari rantai yang tercelup (w). Situasi ini terjadi ketika *drag anchor* cukup untuk menopang sudut yang kecil pada *anchor* atau sebuah perlawanan gaya angkat dari *anchor* memberikan beban vertikal ($V_a = H \tan \theta_a$). Titik awal *catenary* tidak pada *anchor*. Sedang yang dicari adalah Panjang *mooring line* (S_{ab}); jarak \square umpur \square tal dari *anchor* ke *bouy* (X_{ab}); dan gaya tegang *mooring line* pada *bouy* atau permukaan (T_b). Prosedur untuk menghitung nilai – nilai ini dapat dilihat pada *flowchart* 3.3

$$V_a = H \tan \theta \quad (2.61)$$

$$S_a = V_a / w \quad (2.62)$$

$$c = H / w \quad (2.63)$$

$$y_a = \sqrt{S_a^2 + c^2} \quad (2.64)$$

$$y_b = y_a + wd \quad (2.65)$$

$$S_b = \sqrt{y_b^2 - c^2} \quad (2.66)$$

$$S_{ab} = S_b - S_a \quad (2.67)$$

$$T_b = w y_b \quad (2.68)$$

$$X_{ab} = c \ln \left[\frac{S_{ab}}{c} + \sqrt{\left(\frac{S_{ab}}{c} \right)^2 + 1} \right] \quad (2.69)$$

2.10

Desain *Anchor*

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai prosedur untuk mendesain *drag anchor*. Prosedur tersebut terdiri dari penentuan kapasitas penahan pada *anchor*, dan jarak *drag*. Kapasitas penahan yang diperlukan yang digunakan pada pemilihan *anchor* harus berdasarkan pada perhitungan beban maksimum pada *morning line*. *Anchor* yang tepat harus dipilih dari satu atau beberapa tipe *drag anchor* yang tersedia. Gambar 2.9 dan 2.10 dibawah ini menampilkan kapasitas penahan yang maksimum sebagai fungsi berat *anchor* untuk beberapa tipe *anchor* dengan tipe tanah atau lempung di dasar laut. Kapasitas penahan maksimum (*anchor holding capacity*) yang dibutuhkan (H_M) ditentukan dengan *safety factor* (SF) 1.5 sampai 2 dari beban horisontal (H).

$$H_M = SF H \quad (2.70)$$

Apabila H_M dan tipe *anchor* telah diketahui, gambar 2.16 dan 2.17 dapat digunakan untuk menentukan berat jangkar (di udara) untuk tipe tanah dan lumpur. Kapasitas penahan maksimum *anchor* bertambah dengan jarak *drag*. Jarak *drag anchor* pada umumnya untuk tipe Stockless dengan *safety factor* 1.5 dan tipe Stato dengan *safety factor* 2 .

2.11 Desain Pondasi Pile dan Kapasitas Dukung Ultimate Tanah

Untuk menahan pembebanan dari gaya tarik *bouy* diperlukan pondasi dengan memperhitungkan daya dukung tanah untuk melihat kemampuan tanah saat dilakukan pemancangan tiang pancang (pile).

1. Ukuran pondasi

Ketika merancang pondasi paramete-parameter yang harus diperhatikan adalah : diameter, penetration , ketebalan dinding, tipe tip, spacing, banyaknya tiang pancang, geometri, lokasi, mud line restraint, kekuatan material, dan parameter lain, yang mendukung kekuatan pondasi.

2. Respon pondasi, defleksi dan rotasi.

Defleksi dan rotasi dari pile dan total sistem pondasi sebaiknya dicek pada semua lokasi kritis yang meliputi *pile tops*, *points of contraflexure*, *mudline*, dan lain-lainnya.

3. Kapasitas pondasi

Kekuatan pile dibuktikan dengan tubular steel yang telah dicek terlebih dahulu tegangannya untuk kondisi axial load maupun bending.

Kapasitas axial pile harus memenuhi kondisi berikut :

$$P_{DE} \leq \phi_{PE} Q_D \quad (2.71)$$

$$P_{DO} \leq \phi_{PO} Q_D \quad (2.72)$$

Dengan : Q_D = *ultimate axial pile capacity*.

P_{DE} or P_{DO} = *axial pile load* untuk kondisi ekstrim (operating).

ϕ_{PE} = *pile resistance factor* pada kondisi ekstrim.

ϕ_{PO} = *pile resistance factor* pada saat beroperasi (=0.7).

4. *Pile capacity untuk axial bearing load.*

Ultimate bearing capacity dari pile menurut API RP 2A WSD, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_D = Q_f + Q_p = f A_s + q A_p \quad (2.73)$$

Dengan : Q_f = *skin friction resistance*, in force units

Q_p = *total and bearing*, in force units

f = *unit skin friction capacity*, in stress units

A_s = *side surface area of pile*

q = *units and bearing capacity*; in stress units

A_p = *gross end area of pile*

5. *Skin Friction dan End Bearing pada tanah kohesif*

Menurut API RP2A WSD, untuk pipe piles pada tanah *kohesif shaft friction* (f) dapat dihitung dengan :

$$f = \alpha c \quad (2.74)$$

dengan : α = faktor dimensionless

c = tegangan geser tanah basah

Faktor α dapat dihitung dengan persamaan :

$$\alpha = 0,5\psi^{-0,5} \quad \psi \leq 1,0 \quad (2.75)$$

$$\alpha = 0,5\psi^{-0,25} \quad \psi > 1,0 \quad (2.76)$$

dengan batasan bahwa $\alpha \leq 1,0$

dengan : $\psi = c/P_0$

P_0' = tekanan efektif permukaan tanah yang dibuang

bahanan tentang metode yang sesuai untuk menentukan tegangan geser tanah basah (c), dan tegangan efektif permukaan tanah yang dibuang (P_0'), termasuk efek dari contoh yang bervariasi dan prosedur percobaan termasuk dalam komentar. Untuk tanah liat yang underconsolidated (tanah liat dengan tekanan pori-pori yang mengalami konsolidasi aktif), $\alpha = 1,0$. Dalam kaitannya dengan percobaan pemasangan tiang pancang di tanah mempunyai perbandingan c/P_0' lebih besar dari 3. Persamaan (2.75) sebaiknya diaplikasikan untuk nilai c/P_0' yang tinggi.

Pertimbangan yang sama sebaiknya diaplikasikan penetrasi tiang pancang di tanah dengan tegangan geser tanah basah yang tinggi.

6. Perhitungan point bearing capacity menurut metode α

Untuk tanah clay

$$\begin{aligned} Q_p &= N_c C_u A_p \\ &= 9 C_u A_p \end{aligned} \quad (2.77)$$

Untuk tanah sand

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p q_p \\ &= A_p q' N_{q^*} \end{aligned} \quad (2.78)$$

Dengan : A_p = luas penampang pile

C_u = kohesi undrained

q' = tekanan efektif tanah

N_{q^*} = koefisien

Perhitungan skin friction capacity

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad (2.79)$$

Dengan : p = keliling pile

ΔL = increment setiap f yang berbeda

f = unit friction resistance

Menghitung besarnya f :

$$f = a(\sigma'_v + 2C_u) \quad (2.80)$$

Dengan : a = koefisien faktor adesi tanah (dari grafik)

σ'_v = tekanan efektif

Maka bisa didapat Q_{ult} untuk memperoleh Q_{all} , yaitu :

$$Q_{all} = \frac{Q_{ultimate}}{FS} \quad (2.81)$$

Besarnya nilai *safety factor* bergantung pada *load condition*, seperti yang ditunjukkan pada tabel disamping :

Tabel 2.2 Nilai *safety factor* terhadap *load condition*

| Kondisi beban | Faktor keamanan |
|---|-----------------|
| 1. Kondisi lingkungan desain dengan beban – beban pengeboran yang tepat | 1.5 |
| 2. Kondisi lingkungan operasi selama operasi pengeboran. | 2.0 |
| 3. Kondisi lingkungan desain dengan beban produksi yang tepat. | 1.5 |
| 4. Kondisi lingkungan operasi selama operasi produksi | 2.0 |
| 5. Kondisi lingkungan desain dengan beban minimum (untuk <i>pullout</i>) | 1.5 |

2.12 Baja Tulangan (*Reinforcing Steel*)

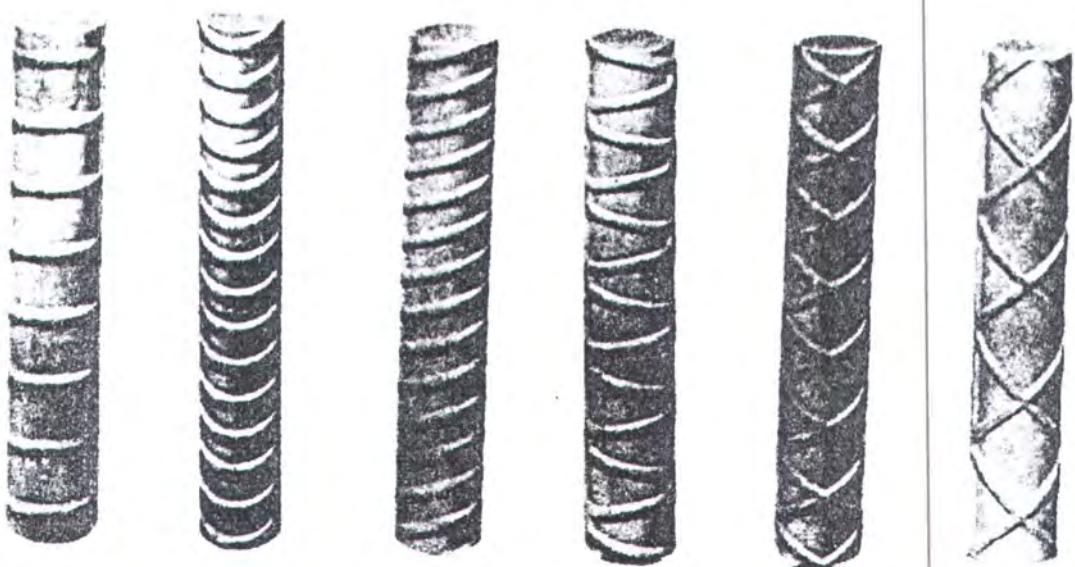
Menurut Ferguson, M phil, 1991. Tulangan penguat dapat terdiri dari batang tulangan, bahan yang terbuat dari anyaman kawat yang dilas, atau tali kawat. Untuk konstruksi biasa, digunakan batang tulangan (dinamakan tulangan berprofil) yang mempunyai penonjolan, untuk menambah ikatan antara beton dan baja atau mencegah pergeseran dari tulangan relatif terhadap beton sekelilingnya.

Tegangan – tegangan leleh dan ultimate dari derajat kualitas (*grade*) yang terdapat dalam satuan SI untuk batang – batang tulangan diperlihatkan dalam tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 *Grades* penulangan dan tegangan - tegangan

| Grade | Tegangan leleh, f_y (Mpa) | Tegangan ultimate, f_u (Mpa) |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Grade 300 | 300 | 500 |
| Grade 400 | 400 | 600 |

Profil – profil yang terlihat harus memenuhi persyaratan ASTM A615 – 75 yang diakui sebagai batang – batang yang diprofilkan (*deformed bars*).



Gambar 2.12 Tipe dari batang – batang yang diprofilkan (deformed bars)

Semua batang standar adalah batang – batang bulat ditandai dengan ukuran dari #10 sampai #55, angka ini secara kasar berhubungan dengan diameter batang dalam mm. Berat, luas nominal, dan keliling batang – batang diberikan dalam tabel 2.4 dibawah ini.

Karena luas dihitung dari berat, termasuk berat profil, dipakai luas sepanjang yang menyangkut penampang minimum. Keliling adalah lingkaran dari areal lingkaran nominal.

Tabel 2.4 Ukuran – ukuran dan Berat Batang Tulangan dalam Satuan SI Menurut Standart kanada dan ASTM 615M [52]

| No. Metrik | Berat (kg/m) | Luas (Ab) (mm ²) | Diameter (mm) | Keliling (mm) |
|------------|--------------|------------------------------|---------------|---------------|
| 10 | 0.785 | 100 | 11.3 | 35.5 |
| 15 | 1.570 | 200 | 16.0 | 50.1 |
| 20 | 2.355 | 300 | 19.5 | 61.3 |
| 25 | 3.925 | 500 | 25.2 | 79.2 |
| 30 | 5.495 | 700 | 29.9 | 93.9 |
| 35 | 7.850 | 1000 | 35.7 | 112.2 |
| 45 | 11.755 | 1500 | 43.7 | 137.3 |
| 55 | 19.625 | 2500 | 56.4 | 177.2 |

2.13 Provisi Keamanan

Menurut Wang, Chu-Kia.1989. Peraturan ACI memisahkan provisi keamanan dalam tabel U untuk pelampauan beban dan tabel ϕ untuk kekurangan kekuatan. Persamaan dasar untuk beban – beban mati dan hidup, untuk struktur pada lokasi dan proporsi yang sedemikian hingga pengaruh dari \square able \square dan gempa dapat diabaikan, ditetapkan persamaan bahwa beban – beban, geseran – geseran, dan momen – momen yang dikalikan factor didapat dari beban – beban izin dengan menggunakan hubungan

$$U = 1.4 D + 1.7 L \quad (2.82)$$

dengan U = kekuatan – kekuatan yang diperlukan untuk beban – beban yang dikalikan factor.
 D = Beban mati yang diizinkan.
 L = Beban hidup yang diizinkan.

Faktor ϕ untuk kekurangan kekuatan, yang dinamakan *factor reduksi kekuatan* (*strength reduction factor*) menurut ACI-9.3 ditetapkan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.5 *Safety factor* tipe pembebanan pada beton

| Tipe pembebanan | Faktor ϕ |
|---|---------------|
| 1. Lentur, dengan atau tanpa tarik aksial. | 0.90 |
| 2. Tarik aksial. | 0.90 |
| 3. Geser dan punter. | 0.85 |
| 4. Unsur – unsur tekan, dengan penulangan spiral. | 0.75 |
| 5. Unsur – unsur tekan, dengan pengikat | 0.70 |
| 6. Perletakan pada beton. | 0.70 |
| 7. Lentur didalam beton polos | 0.65 |

Tujuan dari provisi keamanan adalah untuk membatasi kemungkinan dari keruntuhan dan juga untuk memberikan struktur yang ekonomis.

2.14 Pondasi Kolom Bujur Sangkar

Menurut Ferguson, M phil, 1991, dalam bukunya dasar – dasar beton bertulang yang mengadopsi pada kode ACI, prosedur dalam analisa dan perencanaan pondasi kolom bujur sangkar mencakup penentuan dari ukuran dan tebal dari telapak dan jumlah dari tulangan utama dan pasak agar semuanya memenuhi persyaratan , antara lain :

- Tentukan berat dan rencana pondasi.

Dari gambar diatas dapat ditentukan berat pondasi, menurut Hukum Newton II

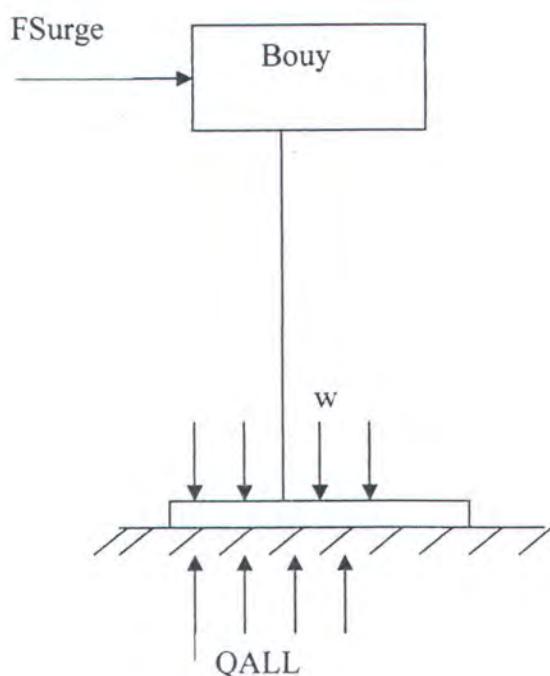
$$\sum F_x = 0 \quad (2.83)$$

$$Fg = SF \times Fsurge \quad (2.84)$$

$$\mu_s \times W = SF \times Fsurge \quad (2.85)$$

$$W = \frac{SF \times Fsurge}{\mu_s} \quad (2.86)$$

dengan SF untuk *slidding* menurut API RP 2A WSD adalah 1.5



Gambar 2.13 struktur SALM dengan pondasi deadweight

Dari berat pondasi, dapat ditentukan volumei dari pondasi, yaitu dengan :

$$V = \frac{W}{\rho x g} \quad (2.87)$$

Dari nilai volume pondasi dapat direncanakan panjang, lebar dan tingginya.

Penentuan dimensi tersebut haruslah memperhatikan daya dukung tanah yang berhubungan dengan luasan pondasi, semakin besar luasan maka semakin besar daya dukung tanah.

(b) Tentukan daya dukung tanah.

Perhitungan daya dukung tanah untuk *shallow pondation* menurut API RP2A WSD adalah

$$Q_{ult} = 6.17 c A \quad (2.88)$$

dengan Q_{ult} = Daya dukung ultimate
 c = kohesi undrained
 A = Luasan pondasi

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2.89)$$

dengan Qall = daya dukung tanah yang diijinkan
 SF = *safety factor* = 2

(c) Tentukan tebal yang disyaratkan untuk kekuatan geser (*Sherar Strength*).

Geser satuan sebagai ukuran dari tarik diagonal pertama kali dihitung pada geseran yang disebabkan oleh beban – beban diluar bujur sangkar dengan garis titik – titik sebelah dalam dan ditahan oleh suatu lebar yang sama dengan keliling bujur sangkar itu, $b_o = 4(r + d)$. Geseran seringkali menetukan tebalnya pondasi / *footing*. Pemakaian d_v sebagai kedalaman rata – rata dari dua lapis baja tulangan nampaknya dibenarkan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} dv &= \text{tebal} - 75 \text{ (selimut beton)} - db && (2.90) \\ \text{dengan } dv &= \text{kedalaman / tebal rata - rata} \\ db &= \text{diameter nominal tulangan} \end{aligned}$$

Ada pelenturan dua – arah dengan geser satuan yang diperkenankan sebesar

$$V_u = P_{net} \times (\text{luas luar} - \text{luas dalam}) \quad (2.91)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.92)$$

$$v = \frac{V_n}{(b_o \times d)} \quad (2.93)$$

$$v_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \quad (2.94)$$

dengan $f'c$ = kekuatan tekan beton, MPa

dengan syarat $v_c > v$

Walaupun biasanya akan menentukan hanya pada pondasi yang panjang dan sempit geseran juga akan diperiksa pada seluruh lebarnya sebagai plat satu – arah yang diperkenankan sebesar

$$v = \frac{V_n}{(b \times d)} \quad (2.95)$$

$$v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \quad (2.96)$$

dengan syarat $v_c > v$

(d) Periksa pemindahan beban pada dasar *anchor*

Pemindahan beban pada dasar *anchor* yang menyaratkan pemindahan semua gaya – gaya yang bekerja pada dasar kolom ke pondasi. Gaya – gaya tarik, jika ada, harus dipindahkan oleh penguatan yang telah disalurkan, seperti tulangan, pasak atau penyambungan mekanis. Kekuatan rencana tekan ϕP_n yang berdasarkan tegangan dukung batas nominal $0.85 f'c$ dalam kolom adalah

$$\phi P_n = \phi (0.85 f'c) A_g \quad (2.97)$$

kemudian periksa $\phi P_n > P_u$

jika $\phi P_n < P_u$, dengan demikian beban kolom tidak mampu dipindahkan dengan dukungan saja, maka dibutuhkan pasak minimum yang disyaratkan, yaitu :

$$A_s \text{ min perlu} = 0.005 \times A_g \quad (2.98)$$

Kelebihan beban yang harus dipikul oleh pasak, dengan mengabaikan pengurangan luas beton, yaitu :

$$P_u \text{ kelebihan} = P_u - \phi P_n \quad (2.99)$$

Sehingga $As \text{ perlu} = \frac{Pu \text{ kelebihan}}{\phi f_y}$ (2.100)

Secara umum tegangan sebesar $0.85 f'_c$ harus dikurangkan dari f_y dalam pasak untuk menggantikan beton yang berkurang, sehingga secara tepat

$$As \text{ perlu} = \frac{Pu \text{ kelebihan}}{\phi (f_y - 0.85 f'_c)} \quad (2.101)$$

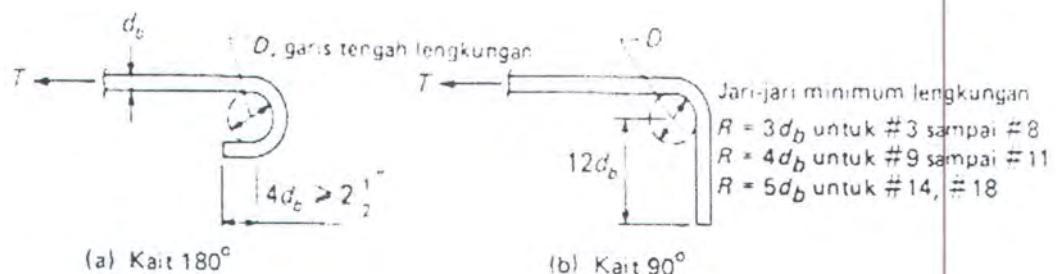
dengan f_y = Tegangan leleh dari baja, MPa

Kemudian periksa panjang penyaluran dalam tarik :

$$L_1 = \text{Tebal} - 75(\text{selimut beton}) - \text{diameter tulangan} - \text{diameter anchor} \quad (2.102)$$

dengan syarat : $L_1 > L_{db}$

Untuk panjang penyaluran dari tulangan tarik yang diakhiri dengan kait standar adalah seperti pada gambar 2.14 dan 2.15 dibawah.

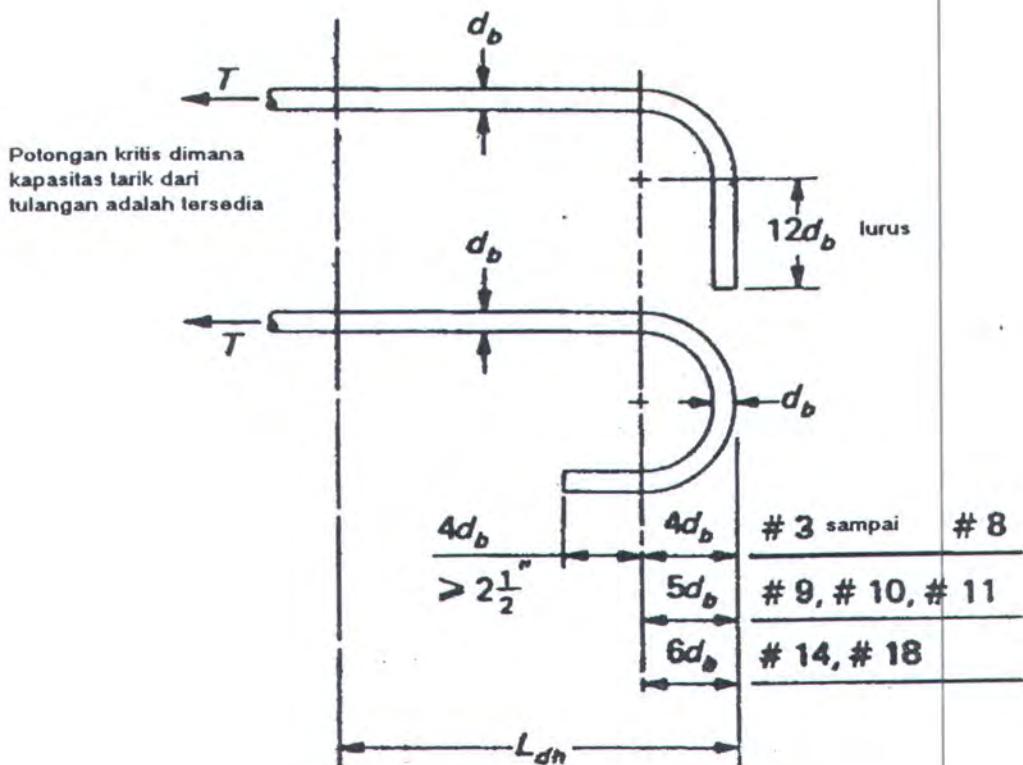


Gambar 2.14 Kait – kait standar untuk penyaluran tulangan tarik utama

Persamaan untuk menentukan suatu panjang penyaluran dasar (L_{hb}) yang dibutuhkan untuk mengembangkan kekuatan leleh f_y dari batang berkait diukur dari lokasi dimana diperlukan kekutan leleh, ke sisi luar ekstrim arah kait sebagai berikut:

$$L_{hb} = \frac{100 d_h}{\sqrt{f'_c}} \quad (2.103)$$

untuk $f_y = 400$ Mpa.



Gambar 2.15 Panjang penyaluran L_{dh} untuk batang kait

Periksa kekuatan momen lentur.

Untuk momen pada muka kolom, maka kedalaman yang lebih kecil (dm) menentukan, bukan rata – ratanya

$$dm = \text{tebal} - 75 \text{ (selimut)} - (1.5 \times db) \quad (2.104)$$

momen pada seluruh lebarnya adalah

$$Mu = P_{net} \times b \times l^2 / 2 \quad (2.105)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.106)$$

dengan Mu = Momen yang berfaktor

 Mn = Momen nominal

 b = lebar penampang

 l = bentang

Kemudian tentukan perkiraan luas tulangan tarik awal (As awal) :

$$As \text{ awal} = \frac{Mn}{fy \times z} \quad (2.107)$$

dengan perkiraan lebar retak awal (z awal) adalah

$$z_{\text{awal}} = 0.9 \times dm \quad (2.108)$$

kemudian tentukan lebar retak (a) adalah

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} \quad (2.109)$$

dan lebar retak (z) sebesar

$$z = dm - a \quad (2.110)$$

sehingga luas tulangan tarik (As) yang diperlukan adalah

$$As = As_{\text{awal}} \times \left(\frac{z_{\text{awal}}}{z} \right) \quad (2.111)$$

Periksa terhadap rasio penulangan (ρ) minimum,

$$\rho = \frac{1.4}{fy} \quad (2.112)$$

Sehingga luas tulangan tarik minimum (As min.) adalah

$$As_{\text{min.}} = \rho \times b \times dm \quad (2.113)$$

(e) Periksa penyaluran tulangan dasar.

Untuk panjang penyaluran tulangan dasar, bergantung pada diameter tulangan yang digunakan, seperti dalam persamaan dibawah ini

Untuk #35 atau batang – batang yang lebih kecil menggunakan persamaan

$$0.19 A_b \frac{fy}{\sqrt{f'c}} \quad (2.114)$$

tetapi tidak lebih kecil dari $0.58 d_b \ fy$ (2.115)

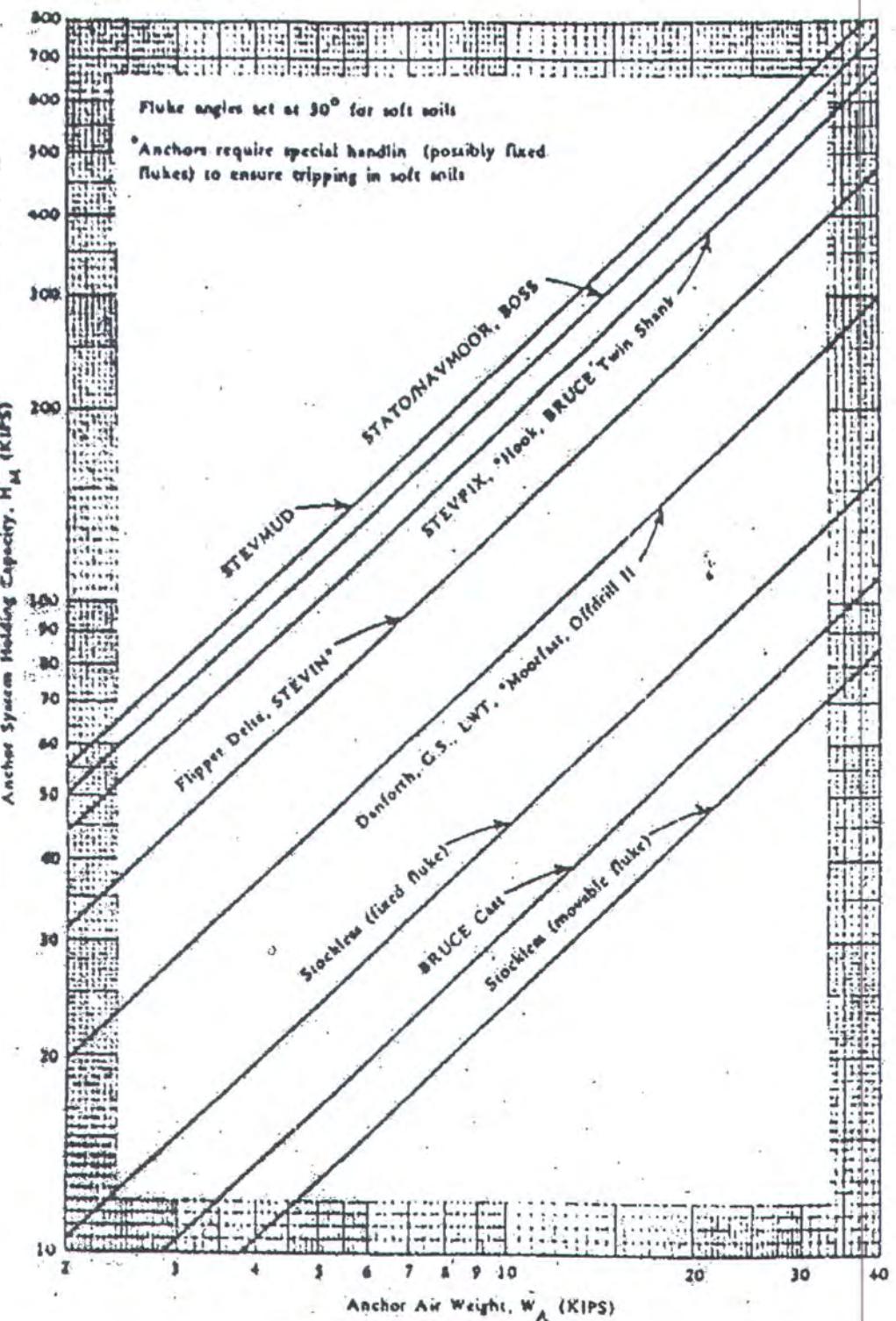
Untuk batang – batang #45 menggunakan persamaan $26 \frac{fy}{\sqrt{f'c}}$ (2.116)

Untuk batang – batang #55 menggunakan persamaan $34 \frac{fy}{\sqrt{f'c}}$ (2.117)

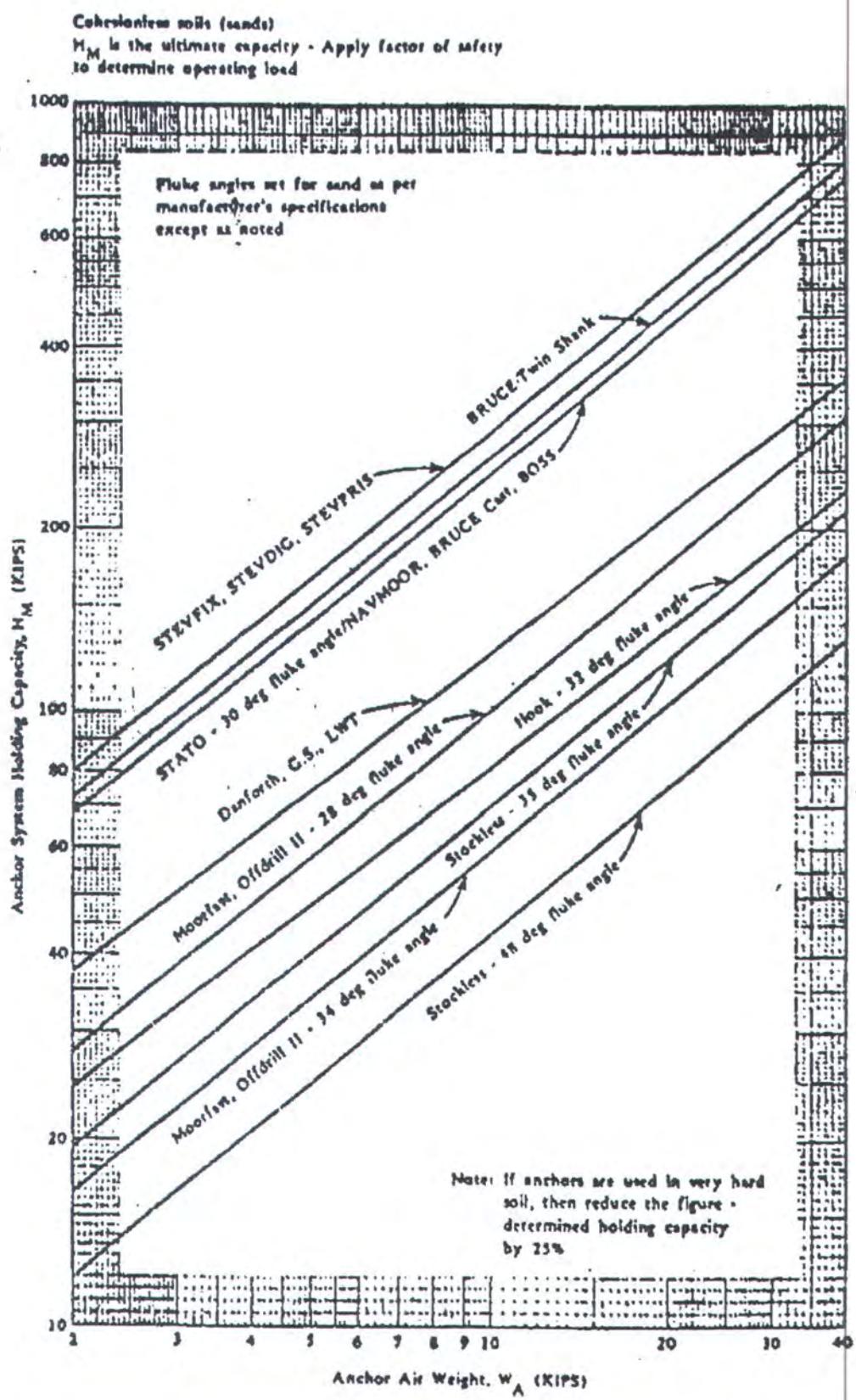
Sedangkan kawat yang diprofilkan menggunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$0.36 d_b \frac{fy}{\sqrt{f'c}} \quad (2.118)$$

Cohesive soils (clays and silts)
 M_M is the ultimate capacity - apply factor of safety
 to determine operating load



Gambar 2.16. Drag anchor holding capacity-----mud bottom (U.S. Navy, 1985)



Gambar 2.17. Drag anchor holding capacity -----sand bottom (U.S. Navy, 1985)

BAB III

METODOLOGI

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodelogi Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang mempunyai validitas, dalam penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dengan menggunakan metode atau langkah yang terstruktur, selain itu pula didukung dengan pengetahuan mencukupi tentang apa yang akan diteliti.

Garis besar dari penyusunan Tugas akhir ini meliputi langkah – langkah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah.

Dalam proses transportasi produksi minyak dan gas bumi di lepas pantai, terdapat dua alternatif yang biasa digunakan, yaitu disimpan dahulu dalam fasilitas penyimpanan atau dikirim langsung melalui jalur perpipaan. Untuk pilihan yang menggunakan fasilitas penyimpanan diperlukan suatu sistem untuk sarana menyalurkan minyak dan gas bumi dari kapal tanker.

2. Studi Literatur.

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan bahan acuan dari buku literatur maupun jurnal.

3. Penyiapan data – data.

Data – data yang diperlukan dalam penggerjaan Tugas Akhir ini adalah data – data lingkungan dan data – data struktur dari SPM yang sudah ada.

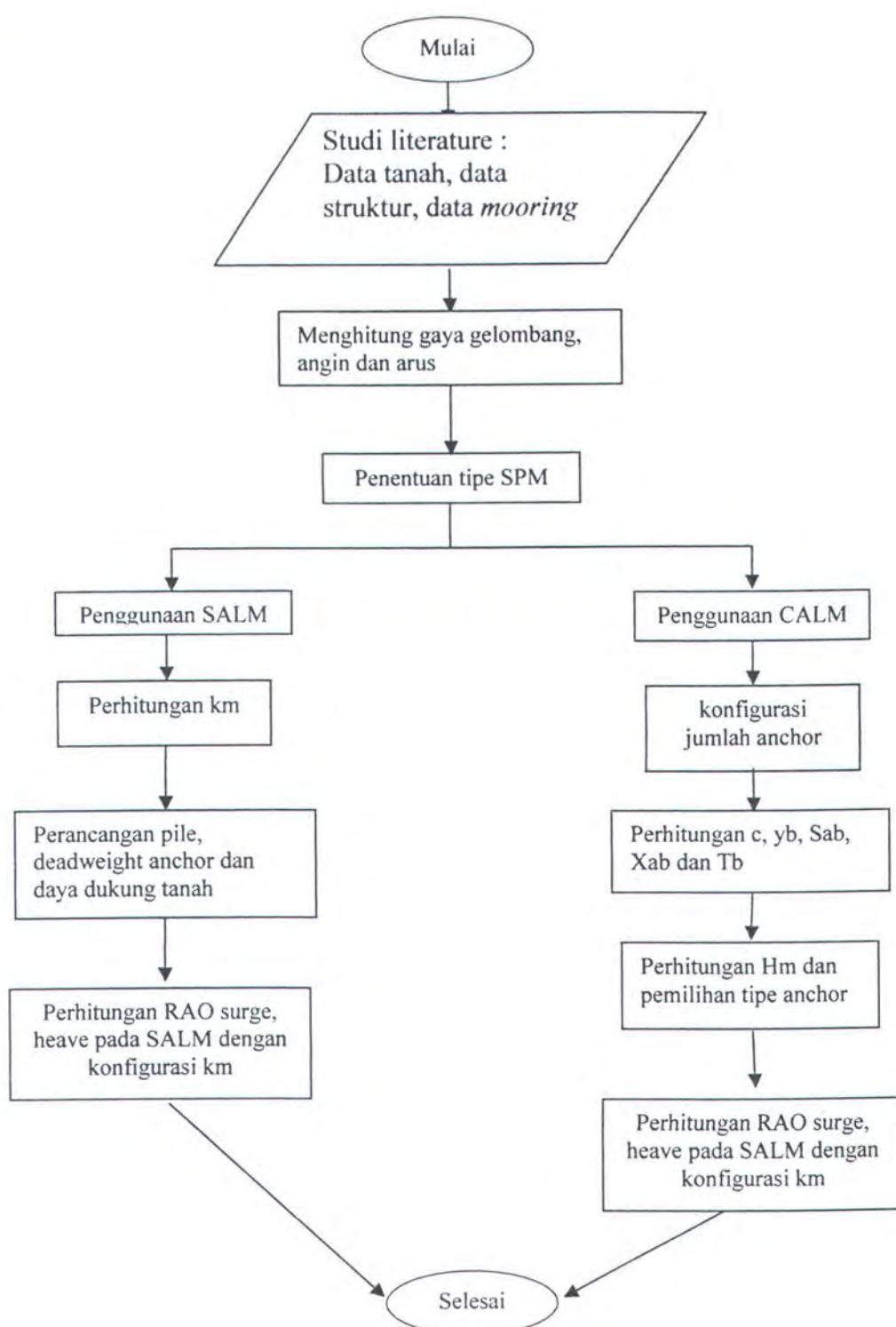
4. Analisa.

Setelah data – data dikumpulkan dapat dilakukan analisa terhadap permasalahan yang akan diselesaikan.

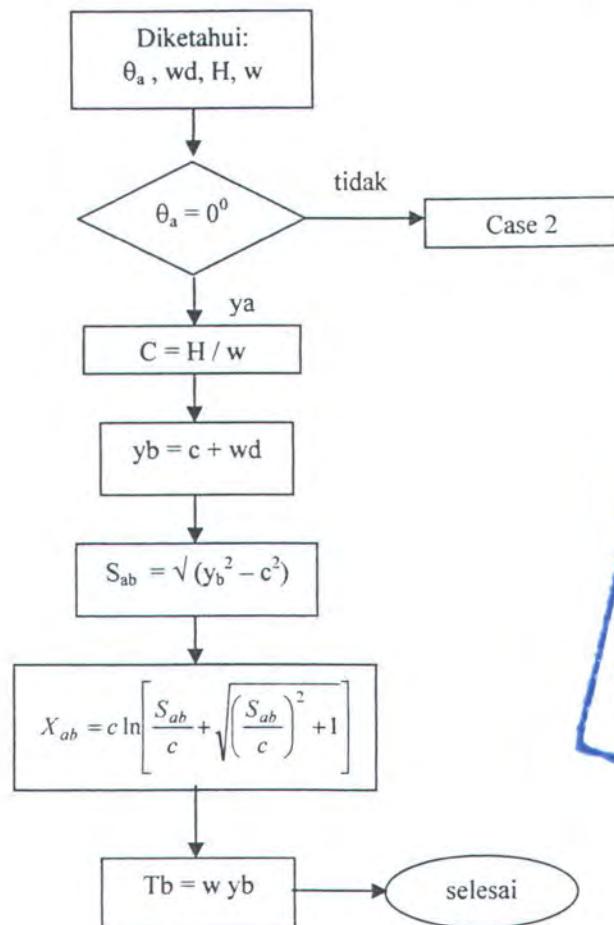
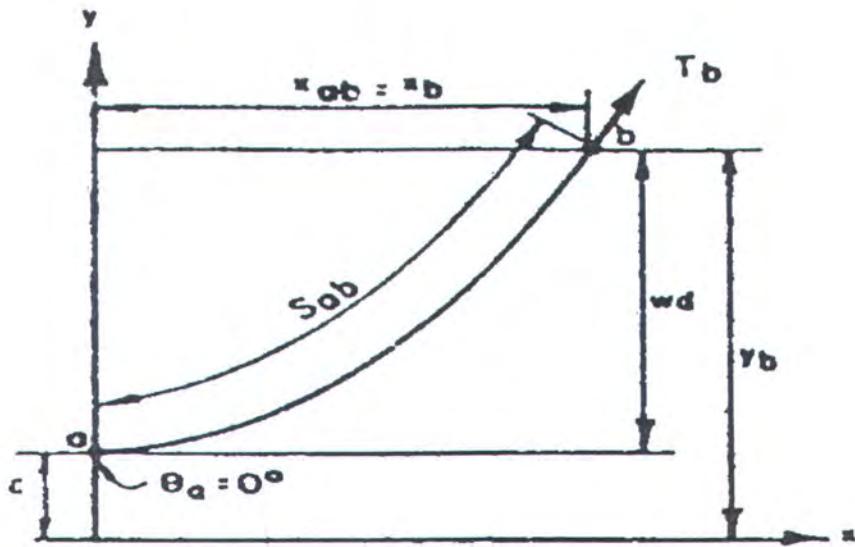
5. Kesimpulan.

Dari hasil analisa dapat ditarik kesimpulan dari permasalahan yang telah dianalisa.

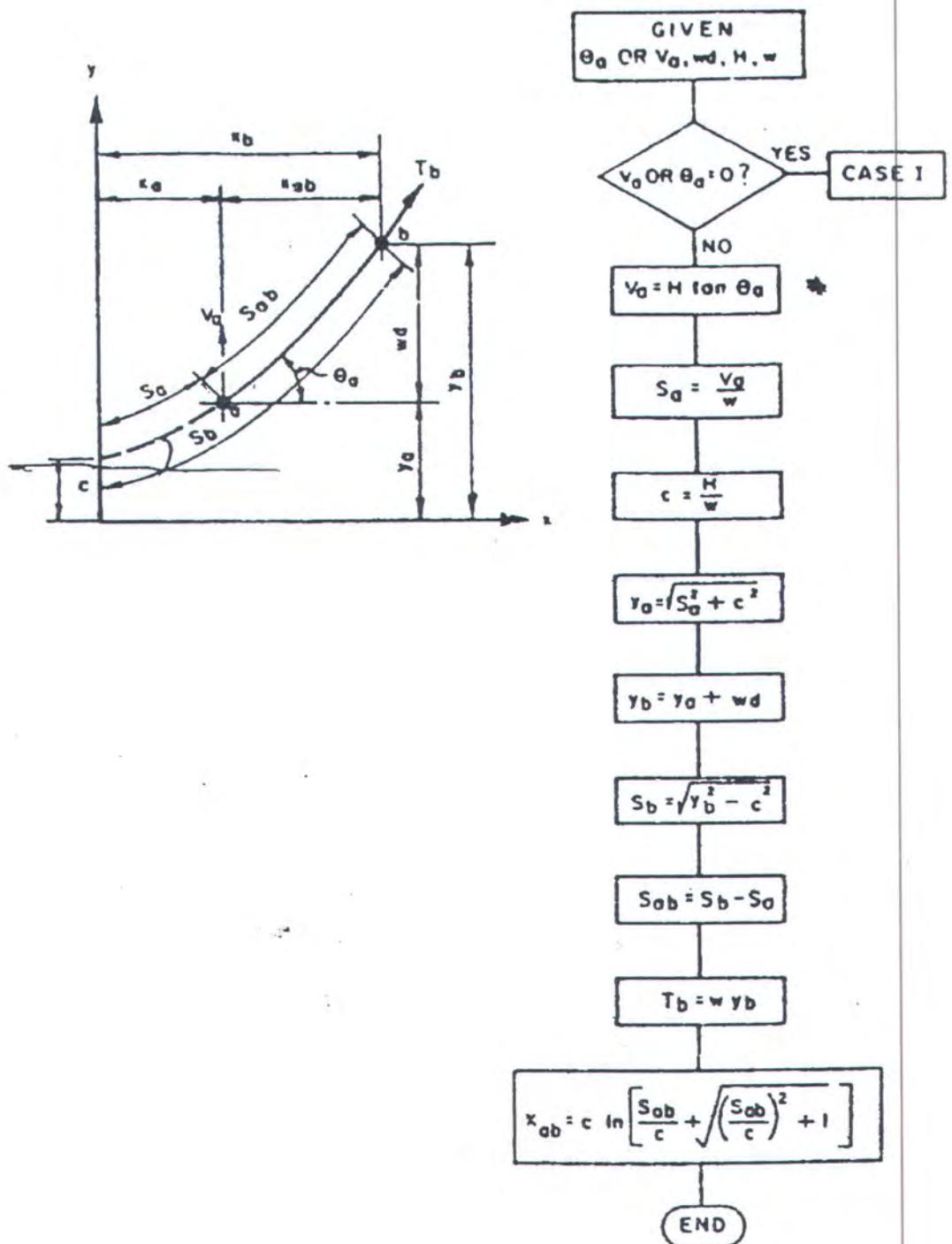
Berikut ini adalah diagram alir pengerjaan Tugas Akhir secara umum.



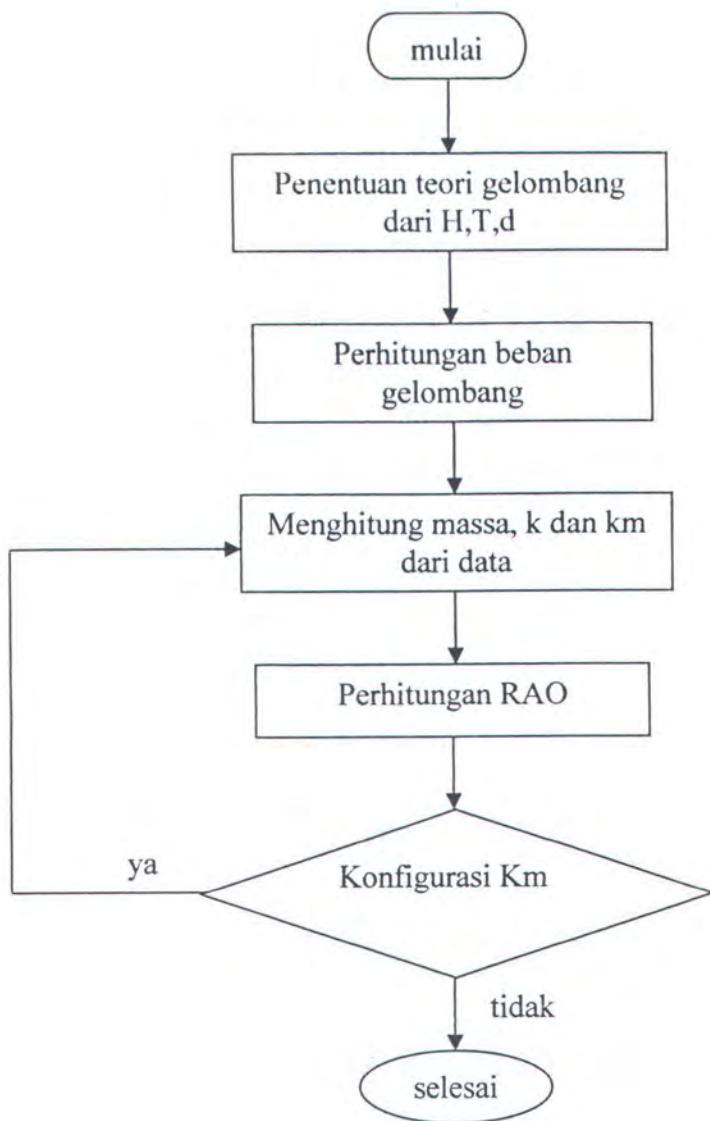
Gambar 3.1. Metodologi penyelesaian tugas akhir



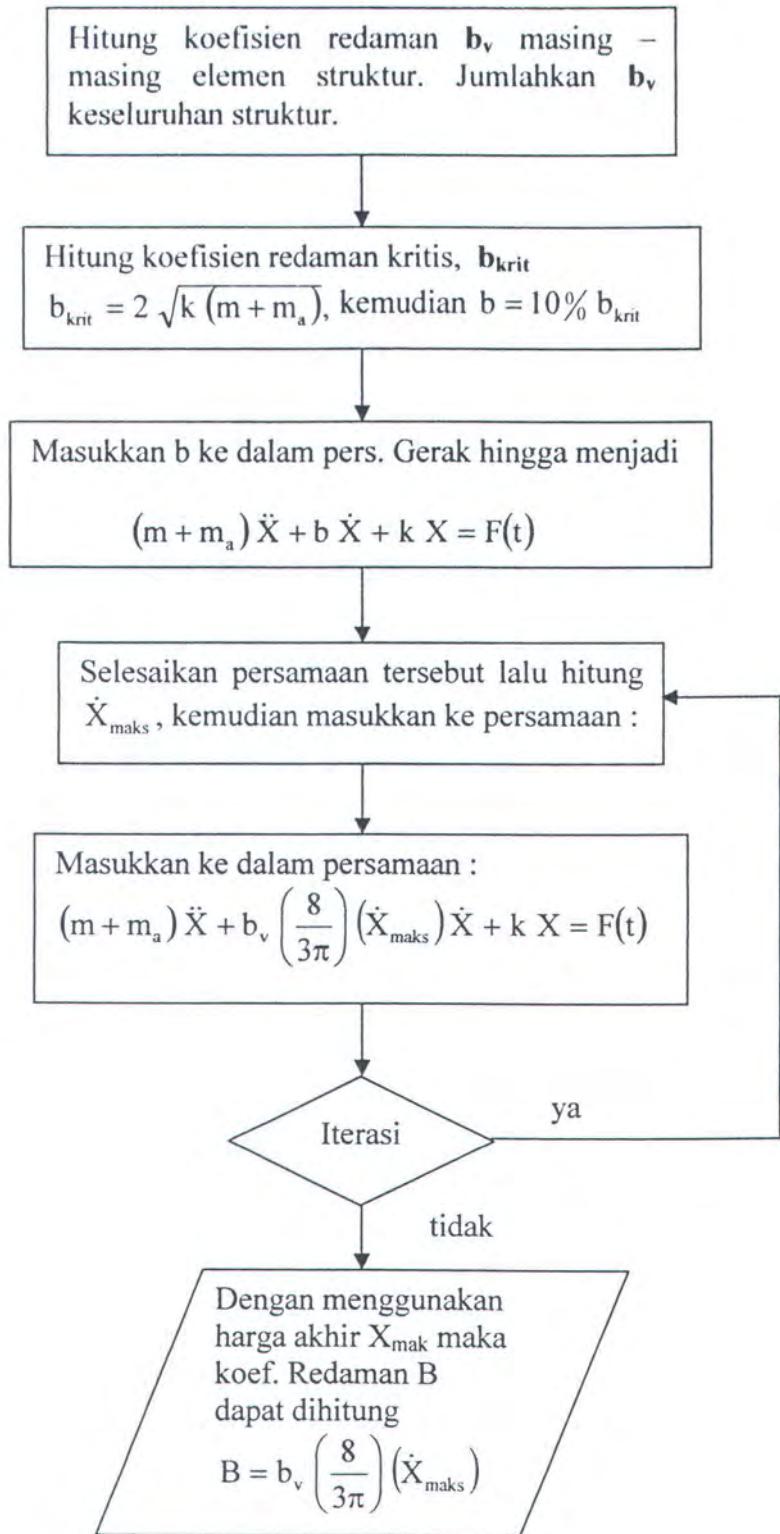
Gambar 3.2 Flowchart perhitungan panjang mooring line dengan $\theta_a = 0^\circ$. (U.S. Navy, 1985)



Gambar 3.3 Flowchart perhitungan panjang mooring line dengan $\theta_a \neq 0^\circ$. (U.S. Navy, 1985)

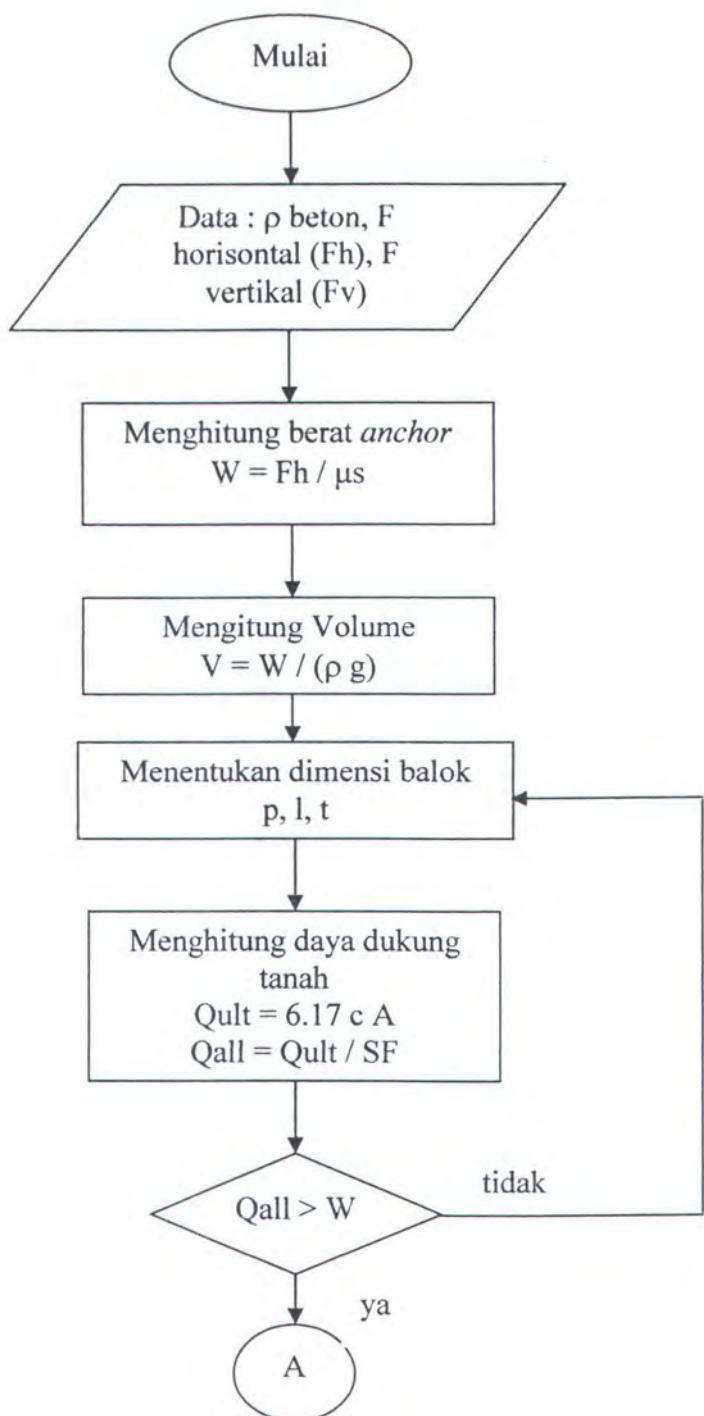


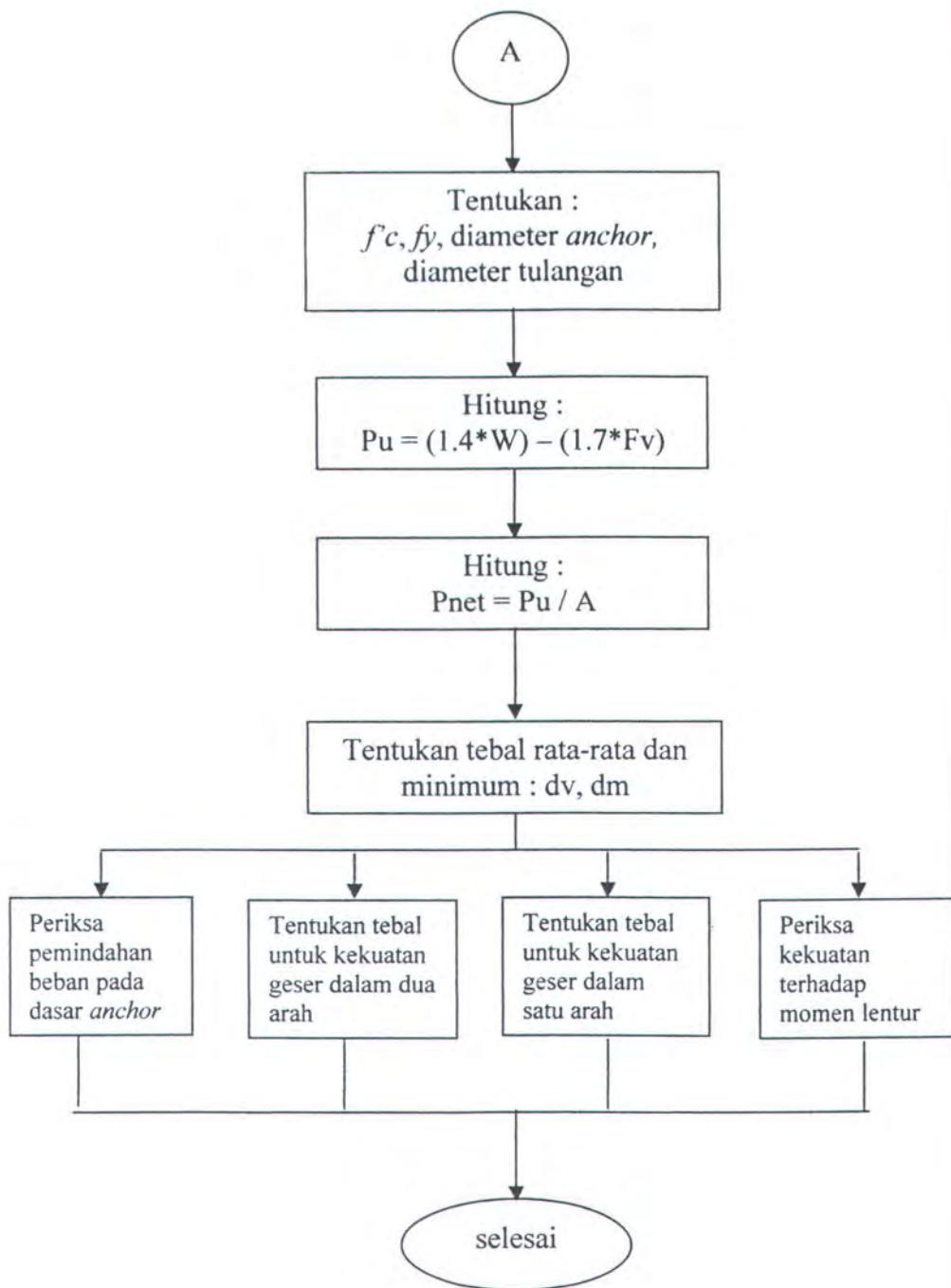
Gambar 3.4 *Flowchart* Perhitungan RAO dengan konfigurasi km



Gambar 3.5 *Flowchart* Perhitungan Koefisien redaman Struktur Apung

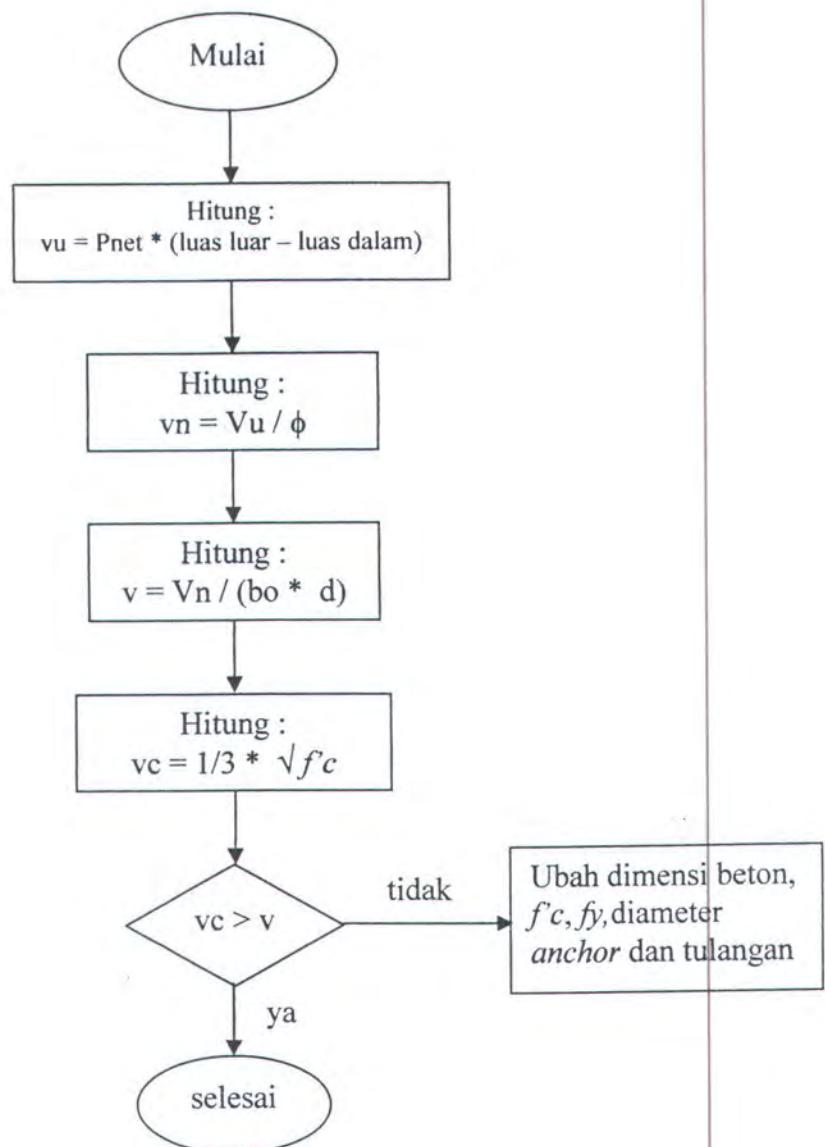
Dibawah ini adalah garis besar *flow chart* untuk desain beton yang akan digunakan sebagai *deadweight anchor*





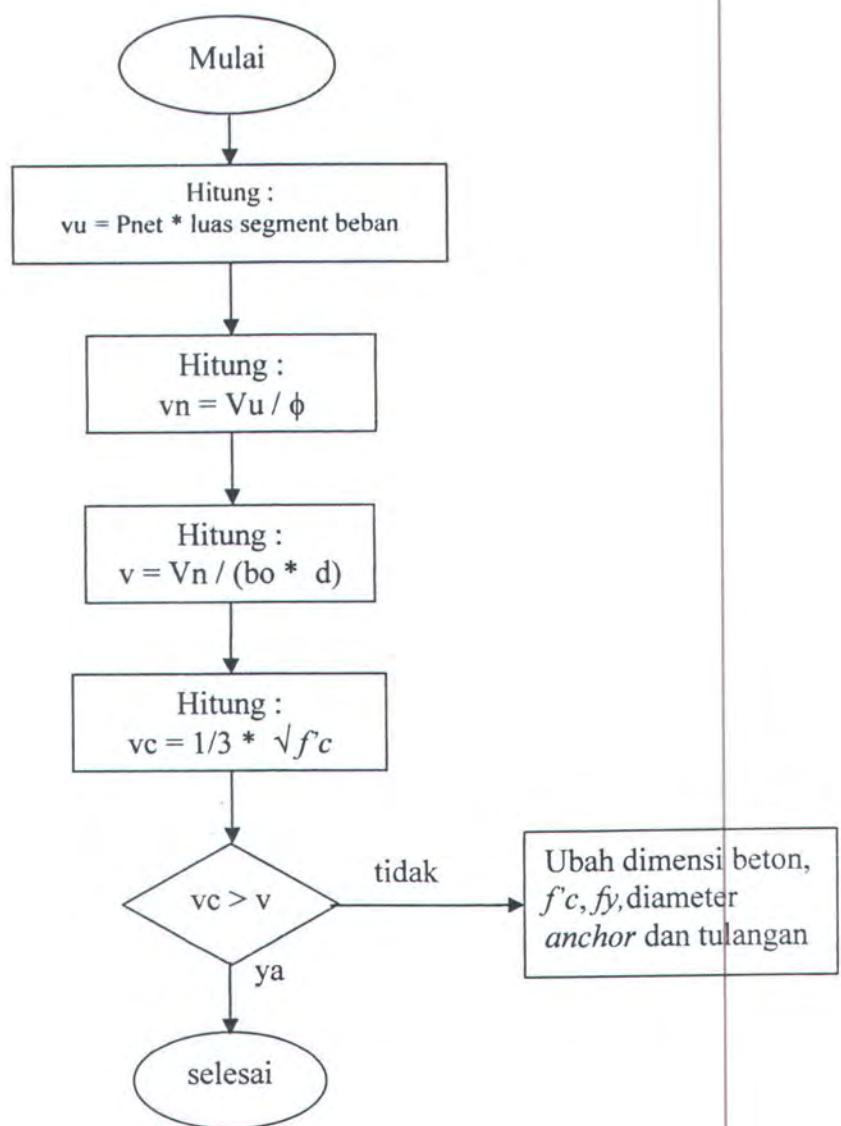
Gambar 3.6 *Flowchart* desain *deadweight anchor*

Dibawah ini adalah *flow chart* untuk menentukan tebal untuk kekuatan geser dalam dua arah :



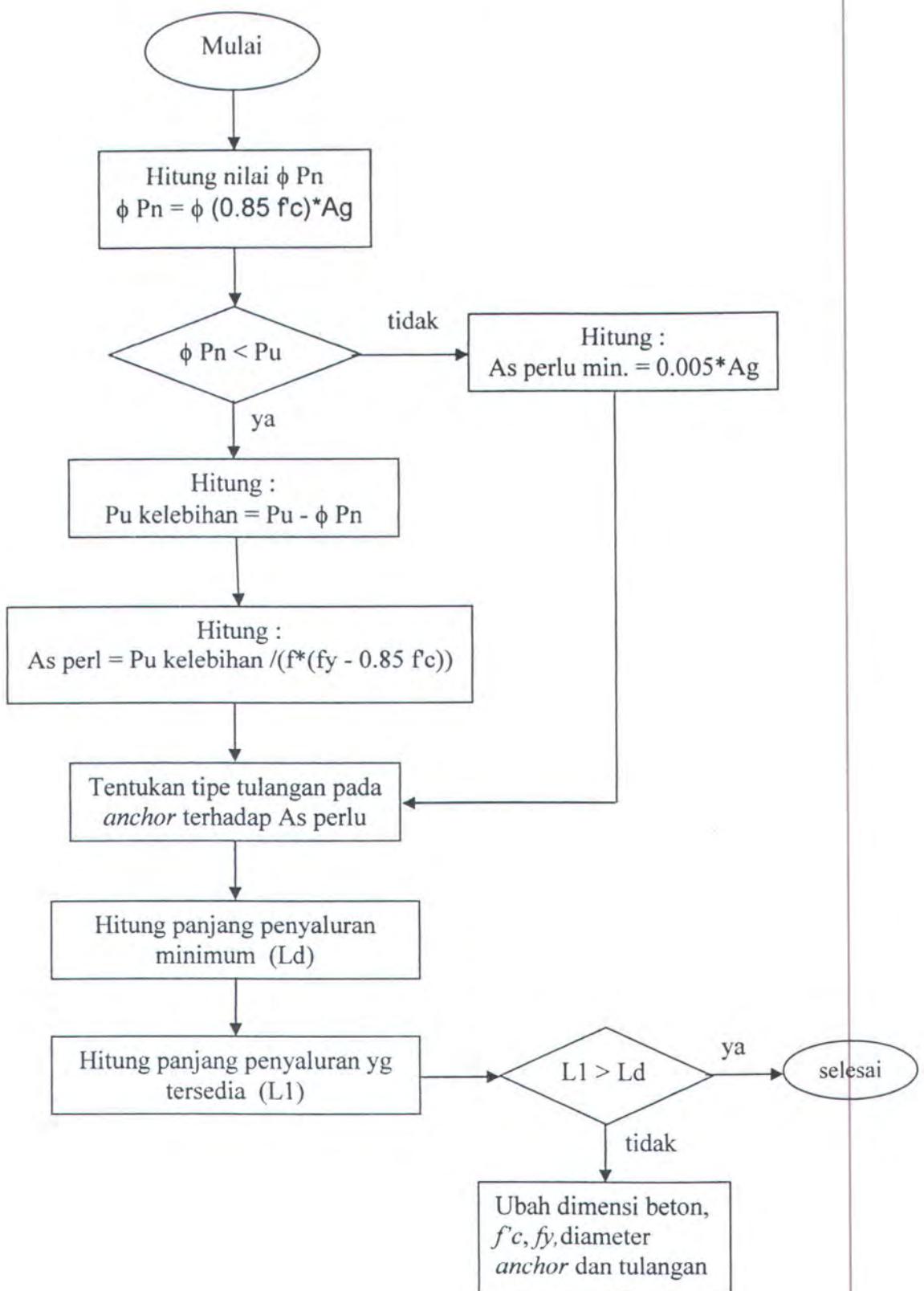
Gambar 3.7 *flow chart* untuk menentukan tebal untuk kekuatan geser dalam dua arah :

Dibawah ini adalah *flow chart* untuk menentukan tebal untuk kekuatan geser dalam satu arah :



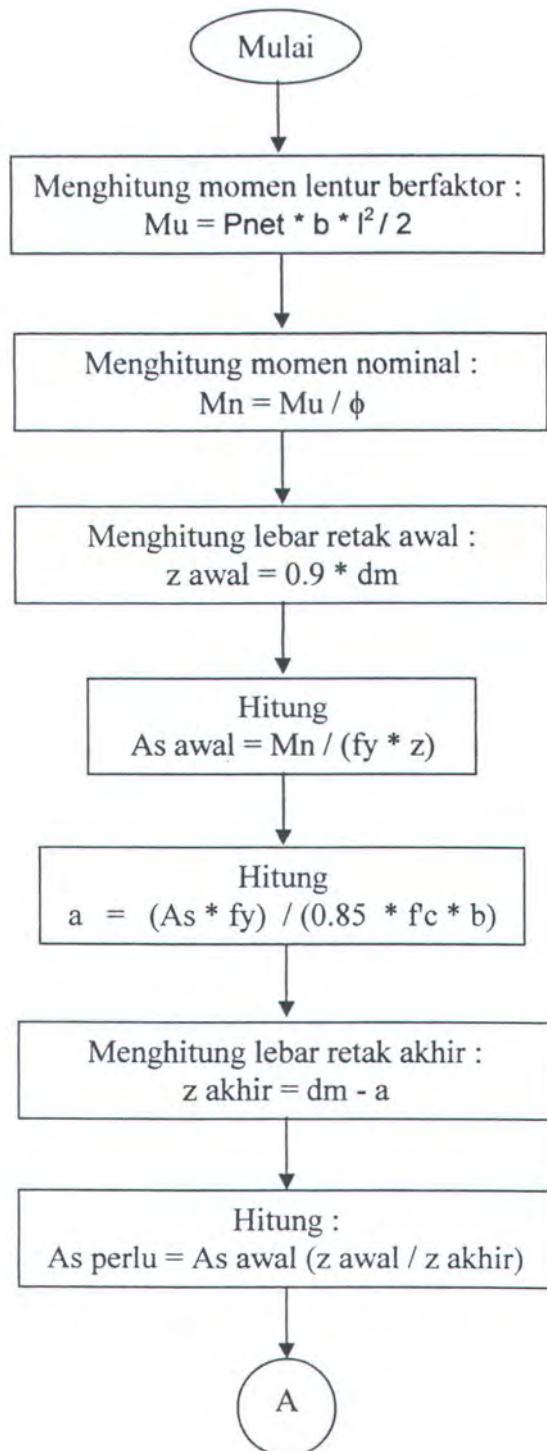
Ganbar 3.8 *flow chart* menentukan tebal untuk kekuatan geser dalam satu arah

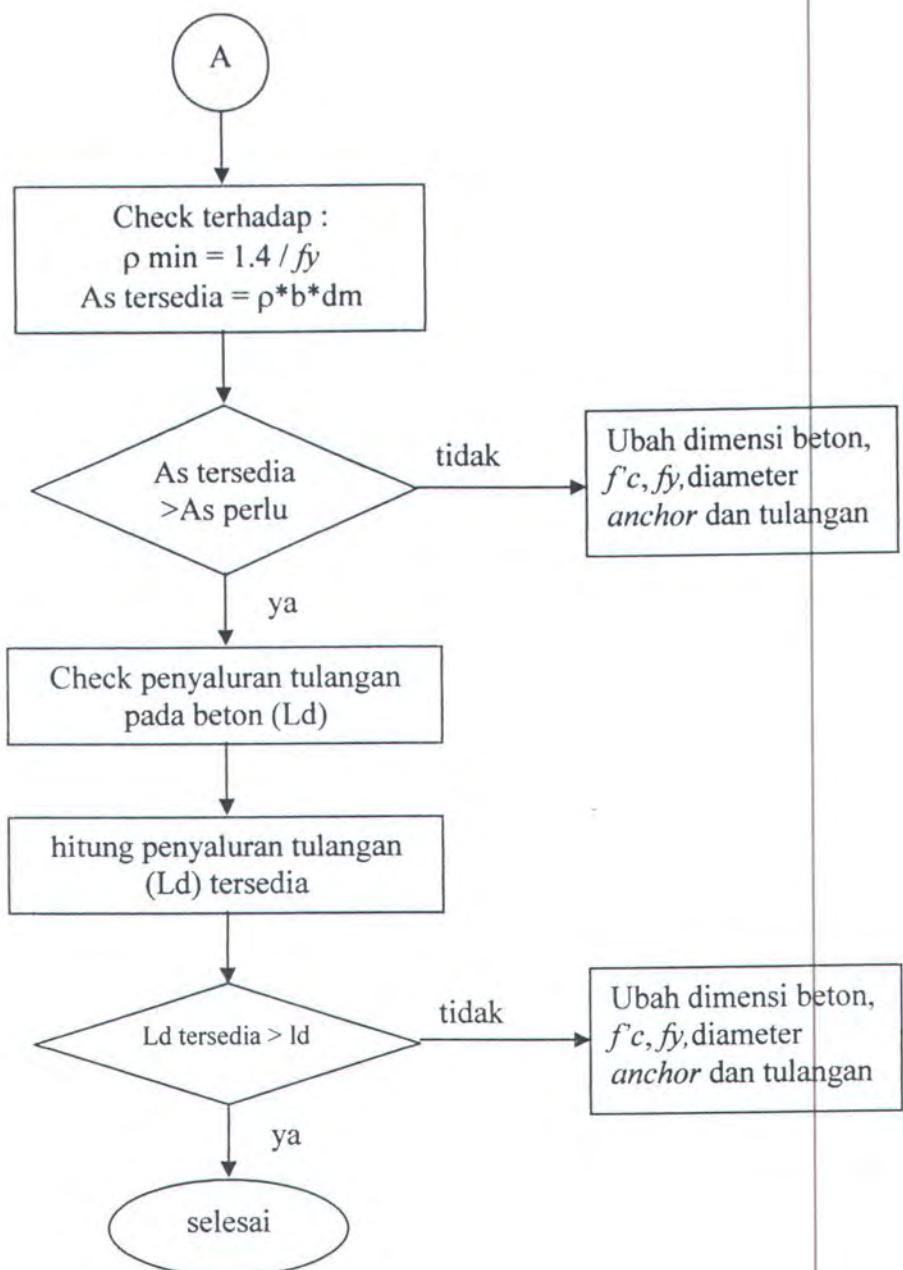
Dibawah ini adalah *flow chart* untuk memeriksa pemindahan beban pada dasar anchor :



Gambar 3.9 *flow chart* untuk memeriksa pemindahan beban pada dasar anchor

Dibawah ini adalah *flow chart* untuk mengitung kekuatan momen lentur :





Gambar 3.10 *flow chart* untuk menghitung kekuatan momen lentur

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Tipe Tanah pada Lokasi.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS, diketahui bahwa tanah dasar pada daerah lepas pantai Jenu, Tuban tersebut adalah tanah lempung abu – abu (clay) dengan ketebalan 11 s/d > 40 m. Ketebalan tanah lempung tersebut bervariasi yaitu 11 m pada titik BH-1 (titik bor yang paling dekat dengan pantai) dan -30 m pada titik BH-2. Sedangkan pada titik BH-4 dan BH-5 ketebalan tanah lempung tersebut diperkirakan lebih besar dari 40 m, karena sampai akhir dari pengeboran (pada kedalaman 40 m) masih didapatkan jenis tanah lempung. Tanah lempung tersebut terdiri dari dua macam, yaitu tanah lempung sangat lunak (dengan SPT = 1 s/d 8 blow/feet) dibagian atas dan tanah lempung keras (dengan SPT > 50 blow/feet) pada bagian bawah.

Tanah lempung lunak tersebut juga bervariasi ketebalannya dari 11 m s/d 30 m dari dasar laut. Sedangkan tanah lempung keras mulai terdapat dibawah kedalaman -20 m dan hanya dijumpai pada lokasi titik bor BH-4 dan BH-5 saja. Sedangkan pada lokasi titikbor BH-1 dan BH-2 dibawah tanah lempung lunak tersebut adalah batu kapur pada kedalaman -11 m pada titik BH-1 dan -30 m pada titik BH-2. (Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada profil potongan melintang lapisan tanah pada lampiran II).

4.2 Penentuan Pondasi.

Desain pondasi pada SALM menggunakan 2 cara yaitu dengan *pile* dan *deadweight anchor* dengan tipe *clump anchor*.

4.2.1 Pile.

Tipe pondasi *pile* yang rencananya akan digunakan adalah *steel pipe* dengan material ASTM A53 grade B. Material ini memiliki *yield strength* (tegangan luluh) = 240 Mpa dan *Tensile strength* (Tegangan tarik) = 415 Mpa.

Pile yang akan digunakan ini memiliki diameter 0.9144 m (yang sering digunakan dalam proyek di Lab. OPRES FTK – ITS) dengan ketebalan $t = 0.016$ m menurut API RP 2A WSD, dengan :

$$A_p = A_1 - A_2 = \pi r^2 - \pi(r-t)^2 = \pi \left(\frac{0.9144}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{0.9144 - 0.016}{2} \right)^2 = 0.045 \text{ m}^2$$

$$As = 2\pi r L = 2\pi \left(\frac{0.9144}{2} \right) L$$

dengan L adalah panjang kedalaman *pile*. Dari kriteria diatas dapat dihitung nilai *Ultimate Bearing Capacity* (Q_d) untuk kondisi badai dan kondisi operasional dari persamaan 2.71 sampai 2.74 dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran IV, Untuk penggunaan *pile* sebagai pondasi pada SALM, terdapat dua kondisi, yaitu kondisi tarik pada kedalaman 0 – 7 meter dan kondisi tekan pada kedalaman 8 – 13 meter.

Tabel 4.1 Perhitungan Beban effektif

| Depth m | Berat bawa (W) N | F bouy per meter (N) | Berat bawa effektif (N) | Penentuan beban (N) | Penentuan beban (kN) | ket. |
|------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | -332647.8 | -332.6478 | tarik |
| 1 | 50442.09 | 6603.2 | 43838.88 | -288808.9 | -288.8089 | tarik |
| 2 | 100884.18 | 13206.4 | 87677.76 | -244970.1 | -244.9701 | tarik |
| 3 | 151326.27 | 19809.6 | 131516.64 | -201131.2 | -201.1312 | tarik |
| 4 | 201768.37 | 26412.8 | 175355.5 | -157292.3 | -157.2923 | tarik |
| 5 | 252210.46 | 33016.1 | 219194.40 | -113453.4 | -113.4534 | tarik |
| 6 | 302652.55 | 39619.3 | 263033.3 | -69614.53 | -69.61453 | tarik |
| 7 | 353094.64 | 46222.5 | 306872.2 | -25775.65 | -25.77565 | tarik |
| 8 | 403536.73 | 52825.7 | 350711 | 18063.227 | 18.063227 | tekan |
| 9 | 453978.82 | 59428.9 | 394549.9 | 61902.107 | 61.902107 | tekan |
| 10 | 504420.91 | 66032.1 | 438388.8 | 105740.99 | 105.74099 | tekan |
| 11 | 554863.01 | 72635.3 | 482227.7 | 149579.87 | 149.57987 | tekan |
| 12 | 605305.10 | 79238.5 | 526066.6 | 193418.75 | 193.41875 | tekan |
| 13 | 655747.19 | 85841.7 | 569905.4 | 237257.63 | 237.25763 | tekan |

Pada kondisi tarik, gaya tarik yang diakibatkan oleh beban gelombang sebesar 332647.82 N pada struktur lebih besar dari berat *pile* itu sendiri, sehingga persamaan yang digunakan adalah *Skin Friction Resistance* (Q_s) dan berat dari *pile* (W).

Pada kondisi tekan, berat dari *pile* (W) lebih besar dari gaya tarik yang diakibatkan oleh beban gelombang pada struktur, sehingga persamaan yang digunakan adalah *Skin Friction Resistance* (Q_s) dan *Point Break Capacity* (Q_p).

Perhitungan untuk *Ultimate Bearing Capacity* (Q_d) atau daya dukung pada tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan $Q_{allowable}$ dalam kondisi ekstrim

| Depth m | Quilt kN | Q_{all} kN | F beban KN | Desain pondasi |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 332.6478 | tidak aman |
| 1 | 45.848468 | 30.565645 | 288.8089 | tidak aman |
| 2 | 93.706524 | 62.471016 | 244.9701 | tidak aman |
| 3 | 152.7971 | 101.86474 | 201.1312 | tidak aman |
| 4 | 216.97158 | 144.64772 | 157.2923 | tidak aman |
| 5 | 286.22996 | 190.81997 | 113.4534 | aman |
| 6 | 388.86115 | 259.24077 | 69.61453 | aman |
| 7 | 501.29106 | 334.19404 | 25.77565 | aman |
| 8 | 275.45 | 183.63361 | 18.06323 | aman |
| 9 | 366.28066 | 244.18711 | 61.90211 | aman |
| 10 | 466.90962 | 311.27308 | 105.741 | aman |
| 11 | 577.3373 | 384.89153 | 149.5799 | aman |
| 12 | 697.56369 | 465.04246 | 193.4187 | aman |
| 13 | 827.58881 | 551.72587 | 237.2576 | aman |

Tabel 4.3 Perhitungan $Q_{allowable}$ dalam kondisi operasional

| Depth m | Quilt kN | Q_{all} kN | F beban KN | Desain pondasi |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 332.65 | tidak aman |
| 1 | 45.848468 | 22.924234 | 288.81 | tidak aman |
| 2 | 93.706524 | 46.853262 | 244.97 | tidak aman |
| 3 | 152.7971 | 76.398552 | 201.13 | tidak aman |
| 4 | 216.97158 | 108.48579 | 157.29 | tidak aman |
| 5 | 286.22996 | 143.11498 | 113.45 | aman |
| 6 | 388.86115 | 194.43058 | 69.61 | aman |
| 7 | 501.29106 | 250.64553 | 25.78 | aman |
| 8 | 275.45042 | 137.72521 | 18.06 | aman |
| 9 | 366.28066 | 183.14033 | 61.90 | aman |
| 10 | 466.90962 | 233.45481 | 105.74 | aman |
| 11 | 577.3373 | 288.66865 | 149.58 | aman |
| 12 | 697.56369 | 348.78185 | 193.42 | aman |
| 13 | 827.58881 | 413.7944 | 237.26 | aman |

Kedalaman untuk kondisi ekstrim adalah sama dengan kondisi operasional, yaitu sebesar 5 meter pada kondisi tarik.

4.2.2 Deadweight Anchors.

Berat pondasi yang direncanakan harus diperhitungkan terhadap gaya hambatan terhadap gaya *surge* agar pondasi tersebut tetap diam tidak bergeser dengan *safety factor* menurut API RP 2A WSD adalah 1.5, menurut persamaan 2.81 dan 2.82.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_g = 1.5 \times F_{\text{surge}}$$

$$F_g = 1.5 \times 242802.97 \quad N$$

$$F_g = 364204.16 \quad N$$

Dari gaya hambatan tersebut diperoleh berat dari deadweight anchor dengan membagi F_g terhadap koefisien gesek (μ) dari beton tersebut menurut persamaan 2.84 dan 2.85 :

$$W = \frac{F_g}{\mu} = \frac{364204.16}{0.5} \quad N = 728408.91 \quad N$$

$$V = \frac{W}{\rho g} = \frac{728407.91}{2410 \times 9.81} = 30.81 \quad m^3$$

Deadweight tersebut dirancang dengan dimensi panjang = 5.5133 m, lebar = 5.5133 m, dan tinggi = 1.17 m. Dengan luas permukaan (A_p) sebesar 30.4 m^2 *Deadweight* tersebut memiliki daya dukung tanah yang lebih besar dari beban ultimate, yaitu berat pondasi dikurangi gaya keatas atau gaya *heave* agar pondasi tersebut tidak mengalami *settlement* yang dapat mengurangi sarat dari *bouy* untuk *shallow poundation* dengan *safety factor* menurut API RP 2A WSD sebesar 2 menurut persamaan 2.86 dan 2.87.

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_{\text{ult}}}{SF} = \frac{6.17 \times c \times A}{2} = \frac{6.17 \times 670 \times 25.67}{2} = 53068.64 \text{ kg} = 520603.32 \quad N$$

$$P_{\text{ultimate}} = W - F_{\text{heave}} = 728407.91 - 227379.17 = 501029.74 \quad N$$

$$Q_{\text{all}} > P_{\text{ultimate}}$$

Desain beton yang akan digunakan secara detail dapat dilihat pada lampiran IV dengan tipe sebagai berikut :

1. Beton C40 ,memiliki kuat desak (f'_c) sebesar 40 Mpa,
2. Baja grade 300, memiliki kekuatan luluh (f_y) 300 Mpa.
3. Diameter anchors #55 (56.4 mm)

4. Diameter tulangan #55 (56.4 mm)
5. Jumlah tulangan 10
6. Jarak antar tulangan 478 mm

Beton tersebut mampu menahan beban pada :

1. Geseran dengan bentang dua arah sebesar 1.967 Mpa dengan tegangan geser maksimum yang ditahan oleh beton sebesar 2.108 Mpa.
2. Geseran dengan bentang satu arah sebesar 0.0408 Mpa dengan tegangan geser maksimum yang ditahan oleh beton sebesar 1.0541 Mpa.

4.3 Data Bouy

| | | | |
|----------------|---|------|---|
| Diameter luar | : | 11 | m |
| Diameter dalam | : | 3.57 | m |
| Tinggi | : | 5.4 | m |
| Sarat | : | 4.57 | m |

Bouy tersebut digunakan untuk system tambat kapal tanker dengan kapasitas 150000 DWT

4.4 Data Lingkungan

Data lingkungan untuk penempatan SPM yang terdapat di daerah Tanjung Awar – Awar, Tuban adalah sebagai berikut :

- Data gelombang.

$$H_{1/3} = 1.8 \text{ m} = 5.9 \text{ ft}$$

$$T = 6.53 \text{ dt}$$

$$d (\text{kedalaman}) = 25 \text{ m} = 82.02 \text{ ft}$$

- Data angin

Kecepatan angin yang tertinggi yang bertiup selama tahun 1993 - 2003 adalah 45 knot atau 23.1 m/s

- Data Arus

Kecepatan arus pada lokasi SPM yaitu di CM-5 adalah 0.33 m/s pada kedalaman 0.8d. Sehingga kecepatan arus pada permukaan (pada kedalaman 25 m) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.35).

$$\begin{aligned} U &= U_0 (y/y_0)^{1/7} \\ U_{25} &= 0.33 (25/20)^{1/7} \\ &= 0.34069 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Kecepatan Arus pada CM-5

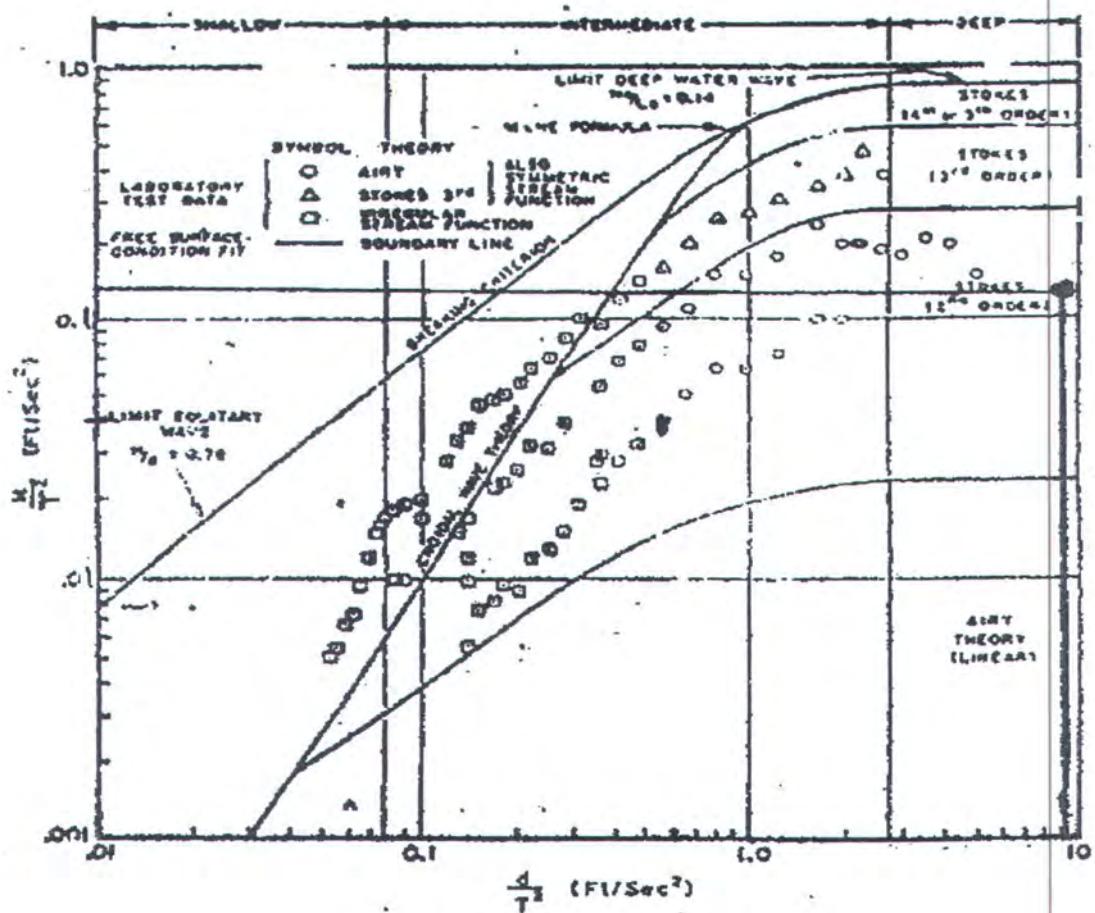
| Lokasi : CM5, Remen, Jenu Tuban JATIM Alat : RCM1, TOHO DENTAN | | | | | | Tanggal : 14-15 Nop. 2003 Pengamat : Subhan/Akwan | | | |
|---|-----------|-------------|----------|----------------|----------|--|----------|----------------|----------|
| Jam | Pasut (m) | Arus Pasut | | Kedalaman 0.2d | | Kedalaman 0.6d | | Kedalaman 0.8d | |
| | | Kec (m/det) | Arah (o) | Kec (m/det) | Arah (o) | Kec (m/det) | Arah (o) | Kec (m/det) | Arah (o) |
| 15.00 | 1.61 | 0.17 | 135 | 0.18 | 140 | 0.16 | 133 | 0.18 | 148 |
| 16.00 | 1.76 | 0.14 | 66 | 0.13 | 71 | 0.17 | 56 | 0.19 | 56 |
| 17.00 | 1.96 | 0.21 | 2 | 0.20 | 360 | 0.18 | 48 | 0.12 | 17 |
| 18.00 | 2.08 | 0.12 | 25 | 0.10 | 25 | 0.07 | 0 | 0.09 | 27 |
| 19.00 | 2.28 | 0.08 | 267 | 0.09 | 258 | 0.12 | 276 | 0.33 | 32 |
| 20.00 | 2.42 | 0.17 | 125 | 0.17 | 130 | 0.15 | 132 | 0.25 | 133 |
| 21.00 | 2.61 | 0.06 | 282 | 0.07 | 269 | 0.08 | 210 | 0.04 | 105 |
| 22.00 | 2.66 | 0.09 | 1 | 0.08 | 356 | 0.08 | 330 | 0.14 | 337 |
| 23.00 | 2.68 | 0.07 | 292 | 0.07 | 279 | 0.08 | 279 | 0.06 | 267 |
| 0.00 | 2.60 | 0.05 | 283 | 0.06 | 268 | 0.09 | 263 | 0.10 | 304 |
| 1.00 | 2.57 | 0.17 | 280 | 0.18 | 275 | 0.18 | 260 | 0.14 | 284 |
| 2.00 | 2.41 | 0.11 | 278 | 0.12 | 271 | 0.11 | 280 | 0.12 | 296 |
| 3.00 | 2.27 | 0.12 | 295 | 0.12 | 287 | 0.12 | 286 | 0.12 | 282 |
| 4.00 | 2.03 | 0.16 | 279 | 0.17 | 274 | 0.15 | 293 | 0.15 | 283 |
| 5.00 | 1.87 | 0.09 | 289 | 0.09 | 279 | 0.07 | 317 | 0.13 | 298 |
| 6.00 | 1.65 | 0.07 | 322 | 0.06 | 308 | 0.02 | 269 | 0.12 | 322 |
| 7.00 | 1.57 | 0.05 | 241 | 0.06 | 232 | 0.06 | 314 | 0.04 | 155 |
| 8.00 | 1.48 | 0.02 | 83 | 0.02 | 126 | 0.05 | 65 | 0.06 | 18 |
| 9.00 | 1.39 | 0.08 | 106 | 0.08 | 118 | 0.09 | 103 | 0.08 | 46 |
| 10.00 | 1.31 | 0.04 | 266 | 0.05 | 250 | 0.04 | 103 | 0.06 | 101 |
| 11.00 | 1.26 | 0.08 | 130 | 0.09 | 140 | 0.09 | 109 | 0.08 | 40 |
| 12.00 | 1.29 | 0.15 | 124 | 0.15 | 130 | 0.13 | 113 | 0.14 | 98 |
| 13.00 | 1.33 | 0.12 | 151 | 0.13 | 157 | 0.12 | 158 | 0.12 | 140 |
| 14.00 | 1.39 | 0.14 | 132 | 0.15 | 138 | 0.26 | 108 | 0.20 | 108 |
| 15.00 | 1.51 | 0.16 | 137 | 0.17 | 142 | 0.24 | 105 | 0.30 | 102 |

4.5 Penentuan Teori Gelombang

Teori gelombang yang akan digunakan berdasarkan dari grafik Region Validitas. Dengan parameter :

$$\begin{aligned} H / T^2 &= 5.9 / (6.53)^2 = 0.138 \text{ ft/sec}^2 \\ d / T^2 &= 82.02 / (6.53)^2 = 1.92 \text{ ft/sec}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai diatas maka teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stokes orde 2. Velocity Potensial dari Stokes orde 2:



Gambar 4.1 Penentuan teori gelombang (chakrabharty, 1987)

$$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{3}{8} \frac{\pi H}{kT} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2(kx - \omega t)$$

dengan :

$$U = \frac{d\phi}{dx} = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) + \frac{6}{8} \frac{k\pi H}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \cos 2(kx - \omega t)$$

$$\dot{U} = \frac{dU}{dt} = \frac{\pi H \omega}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{12}{8} \frac{k\pi H \omega}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2(kx - \omega t)$$

Penurunan persamaan gelombang untuk gerakan *Surge* dan *Heaving* dapat dilihat pada lampiran II.

Dibawah ini akan diberikan nilai dari massa struktur, massa tambah struktur dan kekakuan struktur menurut persamaan 2.21 sampai 2.23 untuk gerakan *surge* dan persamaan 2.26 sampai 2.28 untuk gerakan *heave*, untuk perhitungannya dapat dilihat pada lampiran V.

Tabel 4. 5 Nilai massa struktur, massa tambah struktur dan kekakuan struktur.

| | Surge | | Heave | |
|-----------------------|------------|-----|------------|-----|
| Massa struktur | 445159.163 | kg | 445159.163 | kg |
| Massa tambah struktur | 445159.163 | kg | 0 | kg |
| Kekakuan struktur | 0 | N/m | 955582.61 | N/m |

4.6 Respon Displacement pada SALM

Perhitungan *respon displacement* (RAO) pada SALM untuk gerakan *surge* dan *heave* bervariasi bergantung pada diameter dan kekakuan tali tambat yang akan digunakan. Untuk perhitungan nilai dari kekakuan tali tambat dapat dilihat pada lampiran VI, sedangkan perhitungan nilai damping dapat dilihat pada lampiran VII. Nilai damping dari gerakan *heave* adalah nol, karena posisi *bouy* yang berbentuk silinder adalah tegak lurus sehingga nilai dari sudut gamma (γ) adalah nol. Berikut ini akan diberikan nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan variasi diameter.

Tabel 4. 6 Nilai kekakuan tali tambat, dan damping

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 20.5 | 8565.835 | 33000000 | 24328.24 | 0 |
| 24 | 11600.59 | 33000000 | 57558.59 | 0 |
| 28 | 15712.19 | 33000000 | -50108.38 | 0 |
| 32 | 20411.16 | 33000000 | -52136.8 | 0 |
| 36 | 25599.61 | 33000000 | -54484.82 | 0 |
| 40 | 31326.48 | 33000000 | 48711 | 0 |
| 44 | 37640.72 | 33000000 | 58347.27 | 0 |
| 48 | 44444.44 | 33000000 | -44460.96 | 0 |
| 52 | 51884.48 | 33000000 | -47282.96 | 0 |
| 56 | 59716.10 | 33000000 | -50496.25 | 0 |
| 60 | 67547.72 | 33000000 | -53968.53 | 0 |
| 64 | 76358.30 | 33000000 | -58217.33 | 0 |
| 68 | 85658.35 | 33000000 | 57322.78 | 0 |
| 73 | 97405.78 | 33000000 | -41874.09 | 0 |
| 78 | 110621.63 | 33000000 | -46661.63 | 0 |
| 84 | 126284.88 | 33000000 | -53263.66 | 0 |
| 90 | 142927.07 | 33000000 | 61196.04 | 0 |
| 95 | 158100.83 | 33000000 | -36702.75 | 0 |
| 98 | 166421.93 | 33000000 | -39134.96 | 0 |
| 100 | 172785.12 | 33000000 | -41154.95 | 0 |
| 105 | 188937.84 | 33000000 | -46970.99 | 0 |
| 108 | 197748.41 | 33000000 | -50597.06 | 0 |
| 114 | 217327.46 | 33000000 | -59908.47 | 0 |
| 120 | 237885.46 | 33000000 | 24921.7 | 0 |

Tabel 4.6 Nilai kekakuan tali tambat, dan damping (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 124 | 251590.798 | 33000000 | -36374.64 | 0 |
| 130 | 272638.277 | 33000000 | -42895.99 | 0 |
| 137 | 297601.566 | 33000000 | 25482.24 | 0 |
| 147 | 334801.762 | 33000000 | 25640.64 | 0 |
| 157 | 372001.958 | 33000000 | -38846.75 | 0 |
| 167 | 409691.63 | 33000000 | 25967.05 | 0 |
| 177 | 448360.255 | 33000000 | 26139.67 | 0 |

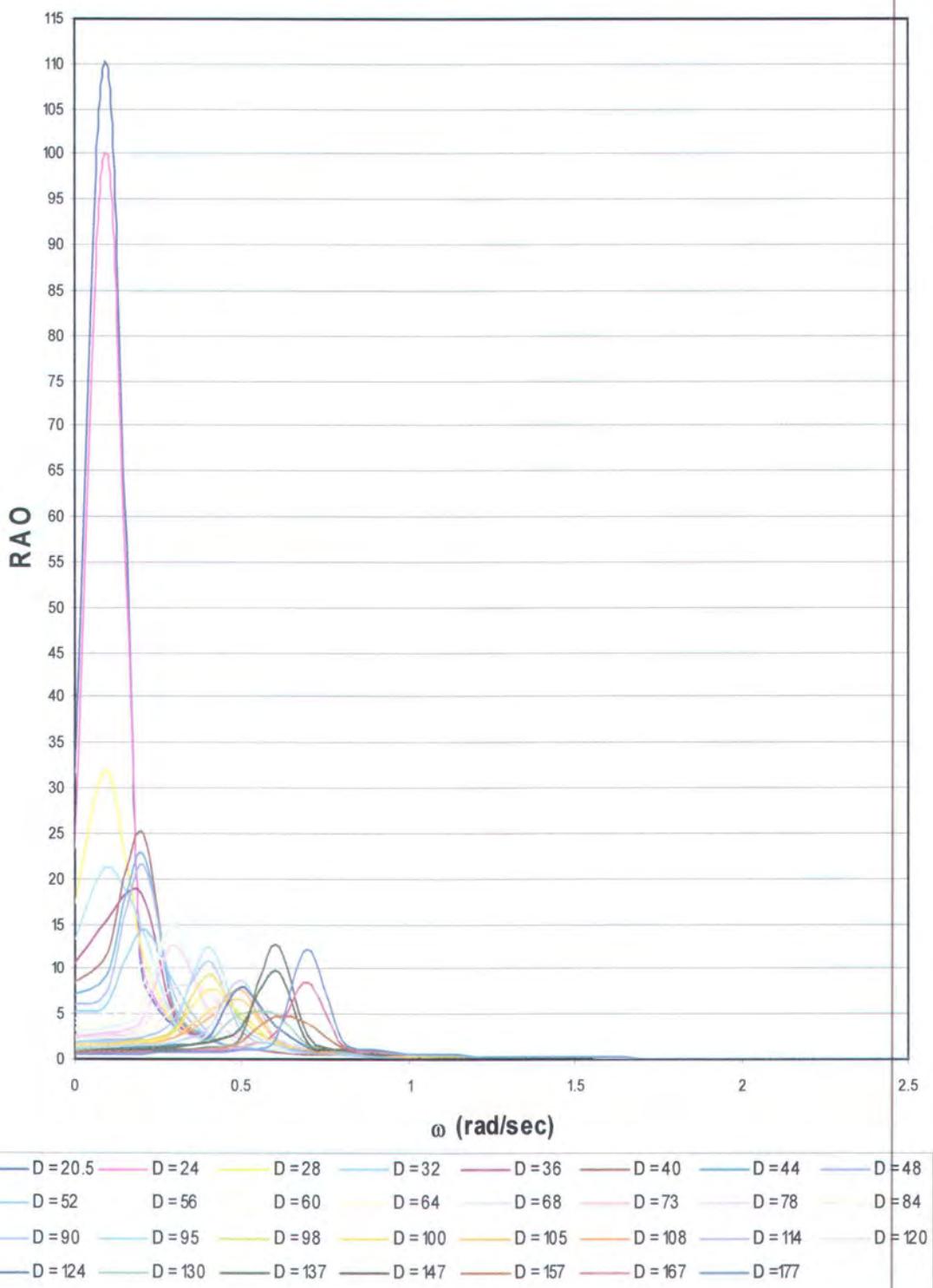
Grafik dan tabel RAO gerakan *surge* dan *heave* untuk tiap diameter dapat dilihat pada lampiran VIII. Berikut ini adalah gambar RAO untuk gerakan *surge* dan *heave* dengan variasi diameter pada tali tambat. Offset maksimum untuk gerakan surge seperti yang terlihat pada persamaan (2.34), yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Offset max} &= 8\% * d \\ &= 8\% * 25 \text{ m} = 2 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk gerakan *surge respon displacement* terendah adalah 4.77 dengan offset sebesar 4.293 m, ini berarti offsetnya melebihi offset max.

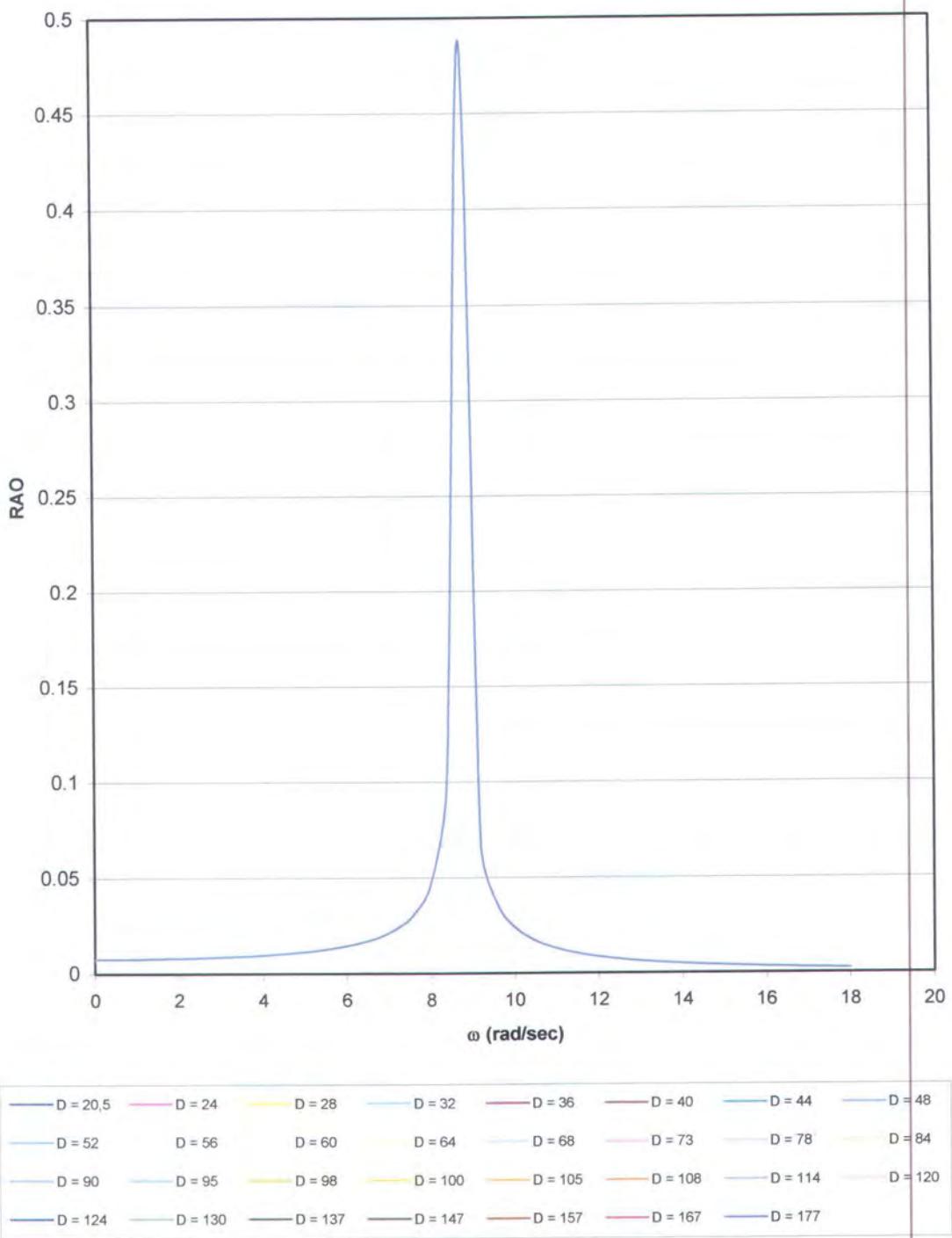
Dari grafik untuk gerakan *heave* terlihat bahwa untuk gerakan *heaving*, semua diameter tali tambat memiliki nilai *respon displacement* yang sama yaitu 0.488159. *Respon* yang sama ini terjadi karena sudut *gamma* (γ) adalah nol (0) sehingga $\sin \gamma$ bernilai nol (0) dan yang mempunyai nilai adalah *axial stiffness cable* (λ) yaitu 3.3×10^3 kN, sehingga tiap diameter memiliki *cable stiffness* yang sama untuk gerakan *heave*.

Grafik RAO Surge pada SALM



Gambar 4.2 Grafik RAO Surge dengan variasi harga km

Grafik RAO Heave pada SALM



Gambar 4.3 Grafik RAO heave dengan variasi harga km

4.7 Analisa Pembebaan Pada CALM

Beban arah horisontal yang mengenai struktur CALM adalah kombinasi dari beban gelombang surge menurut persamaan 2.17, beban angin menurut persamaan 2.31 dan beban arus menurut persamaan 2.17 sebesar 0.2803 MN pada sudut (θ) 0^0 dan 30^0 , untuk perhitungannya dapat dilihat pada lampiran. Beban ini tidak diterima struktur secara keseluruhan, namun bergantung pada konfigurasi *mooring* pada struktur.

Pada konfigurasi *mooring* 4 terdapat dua tipe pembebaan pada struktur yaitu apabila gaya tepat pada *mooring* dan apabila gaya berada diantara dua *mooring*, yaitu sebesar 0.2803 MN dan 0.1982 MN.

Pada konfigurasi *mooring* 6 terdapat tiga tipe pembebaan pada struktur yaitu apabila gaya tepat pada *mooring*, membentuk sudut dari salah satu *mooring* dan apabila gaya berada diantara dua *mooring*, yaitu sebesar 0.14013 MN, 0.14508 MN dan 0.161812 MN.

Pada konfigurasi *mooring* 8, pada keadaan ini, gaya total tepat pada salah satu mooring, sehingga gaya pada mooring line adalah 0.11609 MN

Pada konfigurasi *mooring* 12 terdapat dua tipe pembebaan pada struktur yaitu apabila gaya tepat pada *mooring*, dan apabila gaya berada diantara dua *mooring*, yaitu sebesar 0.072538 dan 0.075097 MN. Dari beberapa tipe pembebaan tersebut diambil beban yang paling besar dalam table dibawah ini :

Tabel 4.7 Beban yang diterima tiap konfigurasi *mooring*

| Konfigurasi <i>mooring</i> | Beban yang diterima | |
|-------------------------------|---------------------|--------|
| | (MN) | (KIPS) |
| 4 mooring line | 0.2803 | 62.284 |
| 6 mooring line | 0.1618 | 35.96 |
| 8 mooring line | 0.1161 | 25.8 |
| 12 mooring line | 0.0751 | 16.689 |

Untuk menentukan tegangan tarik maksimum pada *chain* dapat menggunakan persamaan 2.36 dan 2.37, untuk menentukan panjang *chain* yang diperlukan dan jarak dari *anchor* ke *bouy* untuk sudut 0^0 dapat menggunakan persamaan 2.56 dan 2.57 dan persamaan, sedangkan pada sudut 30^0 dapat menggunakan persamaan 2.65 dan 2.66. Dibawah ini adalah tabel panjang rantai yang diperlukan, jarak horisontal dari *anchor* ke struktur pada sudut (θ) 0^0 dan 30^0 untuk perhitungannya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.8 Konfigurasi mooring 4 sudut 0

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|------------|------------|-------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.3139 | 0.0854 | 423.118 | 422.133 | Gagal |
| 24 | 237 | 332 | 0.3139 | 0.1162 | 361.65 | 360.49 | Gagal |
| 28 | 321 | 449 | 0.3139 | 0.1572 | 310.25 | 308.91 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.3139 | 0.2041 | 271.732 | 270.20 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.3139 | 0.2562 | 241.82 | 240.09 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.3139 | 0.3136 | 217.91 | 215.99 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.3139 | 0.378 | 198.37 | 196.27 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.3139 | 0.448 | 182.115 | 179.82 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.3139 | 0.518 | 168.38 | 165.89 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.3139 | 0.5985 | 156.63 | 153.96 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.3139 | 0.679 | 146.46 | 143.6 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.3139 | 0.7665 | 137.58 | 134.53 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.3139 | 0.8575 | 129.77 | 126.53 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.3139 | 0.98 | 121.22 | 117.75 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.3139 | 1.106 | 113.79 | 110.09 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.3139 | 1.264 | 106.67 | 102.10 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.3139 | 1.432 | 99.40 | 95.16 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.3139 | 1.579 | 94.51 | 90.04 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.3139 | 1.670 | 91.82 | 87.22 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.3139 | 1.729 | 90.12 | 85.43 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.3139 | 1.89 | 86.17 | 81.25 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.3139 | 1.981 | 83.98 | 78.93 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.3139 | 2.181 | 79.96 | 74.64 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.3139 | 2.384 | 76.36 | 70.79 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.3139 | 2.52 | 74.17 | 68.42 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.3139 | 2.73 | 71.14 | 65.13 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.3139 | 2.982 | 67.97 | 61.66 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.3139 | 3.346 | 63.99 | 57.26 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.3139 | 3.724 | 60.55 | 53.42 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.3139 | 4.099 | 57.56 | 50.025 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.3139 | 4.484 | 54.94 | 47.01 | Oke |



Tabel 4.9 Konfigurasi mooring 6 sudut 0

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|-------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.1823 | 0.0854 | 321.91 | 320.62 | Gagal |
| 24 | 237 | 332 | 0.1823 | 0.1162 | 275.27 | 273.76 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.1823 | 0.1572 | 236.30 | 234.53 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.1823 | 0.2041 | 207.12 | 205.10 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.1823 | 0.2562 | 184.46 | 182.19 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.1823 | 0.3136 | 166.37 | 163.85 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.1823 | 0.378 | 151.60 | 148.84 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.1823 | 0.448 | 139.33 | 136.32 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.1823 | 0.518 | 128.97 | 125.71 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.1823 | 0.5985 | 120.12 | 116.62 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.1823 | 0.679 | 112.47 | 108.73 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.1823 | 0.7665 | 105.80 | 101.81 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.1823 | 0.8575 | 99.93 | 95.71 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.1823 | 0.98 | 93.53 | 89.01 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.1823 | 1.106 | 87.97 | 83.16 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.1823 | 1.264 | 82.22 | 77.05 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.1823 | 1.432 | 77.26 | 71.75 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.1823 | 1.579 | 73.63 | 67.83 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.1823 | 1.670 | 71.64 | 65.67 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.1823 | 1.729 | 70.38 | 64.30 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.1823 | 1.89 | 67.46 | 61.11 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.1823 | 1.981 | 65.85 | 59.33 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.1823 | 2.181 | 62.89 | 56.04 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.1823 | 2.384 | 60.26 | 53.09 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.1823 | 2.52 | 58.65 | 51.27 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.1823 | 2.73 | 56.45 | 48.75 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.1823 | 2.982 | 54.14 | 46.08 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.1823 | 3.346 | 51.27 | 42.71 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.1823 | 3.724 | 48.80 | 39.75 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.1823 | 4.099 | 46.66 | 37.14 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.1823 | 4.484 | 44.80 | 34.82 | Oke |

Tabel 4.10 Konfigurasi mooring 8 sudut 0

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.13002 | 0.0854 | 272.99 | 271.46 | Oke |
| 24 | 237 | 332 | 0.13002 | 0.1162 | 233.54 | 231.45 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.13002 | 0.1572 | 200.59 | 198.51 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.13002 | 0.2041 | 175.93 | 173.56 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.13002 | 0.2562 | 156.80 | 154.13 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.13002 | 0.3136 | 141.54 | 138.58 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.13002 | 0.378 | 129.10 | 125.84 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.13002 | 0.448 | 118.76 | 115.22 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.13002 | 0.518 | 110.04 | 106.22 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.13002 | 0.5985 | 102.61 | 98.50 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.13002 | 0.679 | 96.18 | 91.80 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.13002 | 0.7665 | 90.59 | 85.92 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.13002 | 0.8575 | 85.68 | 80.73 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.13002 | 0.98 | 80.33 | 75.04 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.13002 | 1.106 | 75.69 | 70.06 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.13002 | 1.264 | 70.90 | 64.86 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.13002 | 1.432 | 66.78 | 60.35 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.13002 | 1.579 | 63.77 | 57.02 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.13002 | 1.670 | 62.12 | 55.18 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.13002 | 1.729 | 61.08 | 54.01 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.13002 | 1.89 | 58.67 | 51.28 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.13002 | 1.981 | 57.34 | 49.77 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.13002 | 2.181 | 54.91 | 46.97 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.13002 | 2.384 | 52.74 | 44.45 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.13002 | 2.52 | 51.43 | 42.90 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.13002 | 2.73 | 49.62 | 40.75 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.13002 | 2.982 | 47.74 | 38.47 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.13002 | 3.346 | 45.41 | 35.59 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.13002 | 3.724 | 43.42 | 33.07 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.13002 | 4.099 | 41.70 | 30.84 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.13002 | 4.484 | 40.20 | 28.87 | Oke |

Tabel 4.11 Konfigurasi mooring 12 sudut 0

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.08411 | 0.0854 | 220.064 | 218.166 | Oke |
| 24 | 237 | 332 | 0.08411 | 0.1162 | 188.42 | 186.201 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.08411 | 0.1572 | 162.012 | 159.43 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.08411 | 0.2041 | 142.28 | 139.33 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.08411 | 0.2562 | 126.99 | 123.68 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.08411 | 0.3136 | 114.81 | 111.14 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.08411 | 0.378 | 104.89 | 100.87 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.08411 | 0.448 | 96.67 | 92.30 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.08411 | 0.518 | 89.75 | 85.03 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.08411 | 0.5985 | 83.85 | 78.79 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.08411 | 0.679 | 78.77 | 73.37 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.08411 | 0.7665 | 74.36 | 68.62 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.08411 | 0.8575 | 70.50 | 64.43 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.08411 | 0.98 | 66.29 | 59.82 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.08411 | 1.106 | 62.67 | 55.79 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.08411 | 1.264 | 58.92 | 51.58 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.08411 | 1.432 | 55.72 | 47.92 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.08411 | 1.579 | 53.39 | 45.21 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.08411 | 1.670 | 52.12 | 43.72 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.08411 | 1.729 | 51.32 | 42.77 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.08411 | 1.89 | 49.47 | 40.56 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.08411 | 1.981 | 48.45 | 39.33 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.08411 | 2.181 | 46.59 | 37.06 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.08411 | 2.384 | 44.95 | 35.01 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.08411 | 2.52 | 43.95 | 33.75 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.08411 | 2.73 | 42.59 | 32.01 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.08411 | 2.982 | 41.17 | 30.16 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.08411 | 3.346 | 39.43 | 27.82 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.08411 | 3.724 | 37.95 | 25.78 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.08411 | 4.099 | 36.68 | 23.98 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.08411 | 4.484 | 35.58 | 22.38 | Oke |

Tabel 4.12 Konfigurasi mooring 4 sudut 30

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|-------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.3139 | 0.0854 | 49.56 | 46.98 | Gagal |
| 24 | 237 | 332 | 0.3139 | 0.1162 | 49.40 | 47.02 | Gagal |
| 28 | 321 | 449 | 0.3139 | 0.1572 | 49.19 | 47.56 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.3139 | 0.2041 | 48.95 | 47.94 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.3139 | 0.2562 | 48.69 | 47.66 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.3139 | 0.3136 | 48.41 | 47.47 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.3139 | 0.378 | 48.11 | 47.23 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.3139 | 0.448 | 47.79 | 46.98 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.3139 | 0.518 | 47.46 | 46.88 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.3139 | 0.5985 | 47.11 | 46.74 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.3139 | 0.679 | 46.75 | 45.55 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.3139 | 0.7665 | 46.39 | 45.24 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.3139 | 0.8575 | 46.01 | 45.16 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.3139 | 0.98 | 45.54 | 44.11 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.3139 | 1.106 | 45.04 | 43.82 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.3139 | 1.264 | 44.48 | 43.55 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.3139 | 1.432 | 43.91 | 43.22 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.3139 | 1.579 | 43.43 | 42.98 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.3139 | 1.670 | 43.14 | 42.02 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.3139 | 1.729 | 40.56 | 39.84 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.3139 | 1.89 | 41.69 | 39.98 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.3139 | 1.981 | 42.21 | 40.64 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.3139 | 2.181 | 41.66 | 40.81 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.3139 | 2.384 | 41.13 | 40.13 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.3139 | 2.52 | 40.78 | 39.68 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.3139 | 2.73 | 40.27 | 39.00 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.3139 | 2.982 | 39.69 | 38.22 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.3139 | 3.346 | 38.91 | 37.11 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.3139 | 3.724 | 38.16 | 36.02 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.3139 | 4.099 | 37.46 | 36.95 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.3139 | 4.484 | 36.80 | 33.89 | Oke |

Tabel 4.13 Konfigurasi mooring 6 sudut 30

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|-------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.1823 | 0.0854 | 49.24 | 48.156 | Gagal |
| 24 | 237 | 332 | 0.1823 | 0.1162 | 48.98 | 47.22 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.1823 | 0.1572 | 48.64 | 47.02 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.1823 | 0.2041 | 48.26 | 46.52 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.1823 | 0.2562 | 47.84 | 46.00 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.1823 | 0.3136 | 47.40 | 46.42 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.1823 | 0.378 | 46.94 | 45.55 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.1823 | 0.448 | 46.46 | 45.02 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.1823 | 0.518 | 45.97 | 44.55 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.1823 | 0.5985 | 45.47 | 44.32 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.1823 | 0.679 | 44.97 | 43.66 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.1823 | 0.7665 | 44.46 | 43.17 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.1823 | 0.8575 | 43.95 | 42.62 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.1823 | 0.98 | 43.33 | 42.21 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.1823 | 1.106 | 42.71 | 41.84 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.1823 | 1.264 | 41.98 | 40.85 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.1823 | 1.432 | 41.27 | 40.30 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.1823 | 1.579 | 40.69 | 39.56 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.1823 | 1.670 | 40.36 | 39.12 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.1823 | 1.729 | 26.16 | 19.31 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.1823 | 1.89 | 26.75 | 26.25 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.1823 | 1.981 | 39.29 | 37.65 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.1823 | 2.181 | 38.68 | 36.78 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.1823 | 2.384 | 38.10 | 35.92 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.1823 | 2.52 | 37.72 | 35.35 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.1823 | 2.73 | 37.19 | 34.52 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.1823 | 2.982 | 36.59 | 33.55 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.1823 | 3.346 | 35.80 | 32.22 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.1823 | 3.724 | 35.08 | 30.92 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.1823 | 4.099 | 34.41 | 29.68 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.1823 | 4.484 | 33.79 | 28.48 | Oke |

Tabel 4.14 Konfigurasi mooring 8 sudut 30

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.13002 | 0.0854 | 48.96 | 46.76 | Oke |
| 24 | 237 | 332 | 0.13002 | 0.1162 | 48.61 | 46.43 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.13002 | 0.1572 | 48.15 | 45.95 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.13002 | 0.2041 | 47.65 | 45.40 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.13002 | 0.2562 | 47.12 | 44.90 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.13002 | 0.3136 | 46.56 | 44.34 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.13002 | 0.378 | 45.98 | 43.73 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.13002 | 0.448 | 45.39 | 43.17 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.13002 | 0.518 | 44.79 | 42.58 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.13002 | 0.5985 | 44.19 | 41.98 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.13002 | 0.679 | 43.60 | 41.38 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.13002 | 0.7665 | 43.00 | 41.38 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.13002 | 0.8575 | 42.43 | 40.79 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.13002 | 0.98 | 41.71 | 41.75 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.13002 | 1.106 | 41.02 | 40.87 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.13002 | 1.264 | 40.23 | 38.94 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.13002 | 1.432 | 39.27 | 37.90 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.13002 | 1.579 | 38.86 | 37.05 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.13002 | 1.670 | 38.51 | 36.54 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.13002 | 1.729 | 25.21 | 24.57 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.13002 | 1.89 | 26.14 | 25.28 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.13002 | 1.981 | 37.41 | 34.86 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.13002 | 2.181 | 36.79 | 33.88 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.13002 | 2.384 | 36.22 | 32.92 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.13002 | 2.52 | 35.85 | 32.30 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.13002 | 2.73 | 35.32 | 31.37 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.13002 | 2.982 | 34.75 | 30.33 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.13002 | 3.346 | 34.00 | 28.87 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.13002 | 3.724 | 33.32 | 27.52 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.13002 | 4.099 | 32.71 | 26.22 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.13002 | 4.484 | 32.15 | 24.99 | Oke |

Tabel 4.15 Konfigurasi mooring 12 sudut 30

| Diameter (mm) | Proof Load (T) (KN) | Min. Breaking load (KN) | Tegangan maksimum (MN) | Tegangan maksimum U.S. Navy (MN) | Sab (m) | Xab (m) | Ket. |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|------------|------------|------|
| 20.5 | 175 | 244 | 0.08411 | 0.0854 | 48.44 | 46.22 | Oke |
| 24 | 237 | 332 | 0.08411 | 0.1162 | 47.92 | 45.71 | Oke |
| 28 | 321 | 449 | 0.08411 | 0.1572 | 47.28 | 45.06 | Oke |
| 32 | 417 | 583 | 0.08411 | 0.2041 | 46.59 | 44.37 | Oke |
| 36 | 523 | 732 | 0.08411 | 0.2562 | 45.87 | 43.65 | Oke |
| 40 | 640 | 896 | 0.08411 | 0.3136 | 45.13 | 42.92 | Oke |
| 44 | 769 | 1080 | 0.08411 | 0.378 | 44.39 | 42.13 | Oke |
| 48 | 908 | 1280 | 0.08411 | 0.448 | 43.69 | 41.38 | Oke |
| 52 | 1060 | 1480 | 0.08411 | 0.518 | 42.91 | 40.65 | Oke |
| 56 | 1220 | 1710 | 0.08411 | 0.5985 | 42.19 | 39.95 | Oke |
| 60 | 1380 | 1940 | 0.08411 | 0.679 | 41.49 | 40.59 | Oke |
| 64 | 1560 | 2190 | 0.08411 | 0.7665 | 40.81 | 39.72 | Oke |
| 68 | 1750 | 2450 | 0.08411 | 0.8575 | 40.16 | 38.85 | Oke |
| 73 | 1990 | 2800 | 0.08411 | 0.98 | 39.37 | 37.77 | Oke |
| 78 | 2260 | 3160 | 0.08411 | 1.106 | 38.63 | 36.71 | Oke |
| 84 | 2580 | 3610 | 0.08411 | 1.264 | 37.79 | 35.45 | Oke |
| 90 | 2920 | 4090 | 0.08411 | 1.432 | 37.00 | 34.22 | Oke |
| 95 | 3230 | 4510 | 0.08411 | 1.579 | 36.39 | 33.22 | Oke |
| 98 | 3400 | 4770 | 0.08411 | 1.670 | 36.04 | 32.63 | Oke |
| 100 | 3530 | 4940 | 0.08411 | 1.729 | 35.12 | 26.22 | Oke |
| 105 | 3860 | 5400 | 0.08411 | 1.89 | 34.43 | 26.13 | Oke |
| 108 | 4040 | 5660 | 0.08411 | 1.981 | 34.97 | 30.73 | Oke |
| 114 | 4440 | 6230 | 0.08411 | 2.181 | 34.39 | 29.65 | Oke |
| 120 | 4860 | 6810 | 0.08411 | 2.384 | 33.84 | 28.58 | Oke |
| 124 | 5140 | 7200 | 0.08411 | 2.52 | 33.51 | 27.90 | Oke |
| 130 | 5570 | 7800 | 0.08411 | 2.73 | 33.03 | 26.91 | Oke |
| 137 | 6080 | 8520 | 0.08411 | 2.982 | 32.52 | 25.80 | Oke |
| 147 | 6840 | 9560 | 0.08411 | 3.346 | 31.85 | 24.31 | Oke |
| 157 | 7600 | 10640 | 0.08411 | 3.724 | 31.27 | 22.93 | Oke |
| 167 | 8370 | 11710 | 0.08411 | 4.099 | 30.75 | 21.64 | Oke |
| 177 | 9160 | 12810 | 0.08411 | 4.484 | 30.28 | 20.45 | Oke |

Dari tabel diatas terlihat bahwa pada sudut 0^0 dan 30^0 , konfigurasi *mooring* 4 dengan diameter 20.5 mm dan 24 mm dengan *proof load* (T) sebesar 175 KN dan 237 KN dan konfigurasi *mooring* 6 dengan diameter 20.5 tidak dapat digunakan karena tidak mampu menahan beban tarik akibat gaya lingkungan sebesar 0.3139 MN seperti yang disyaratkan pada persamaan 2.36 dan 2.37.

4.8 Penentuan Jenis *Anchor* pada CALM

Dari tabel 4.7 tentang beban yang diterima *mooring* untuk tiap konfigurasi, dapat ditentukan kapasitas penahan pada sistem *anchor* dengan *safety factor* 1.5 dan 2 dari persamaan 2.68 seperti dalam tabel 4.16 disamping

Tabel 4.16 *Anchor Holding Capacity* terhadap konfigurasi *mooring*

| Konfigurasi <i>mooring</i> | Beban Horisontal | | <i>Safety factor</i> | <i>Anchor Holding Capacity</i> (KIPS) |
|-------------------------------|------------------|--------|--------------------------|--|
| | MN | KIPS | | |
| 4 Mooring line | 0.2803 | 62.284 | 1.5 | 93.43 |
| | | | 2 | 124.57 |
| 6 Mooring line | 0.1618 | 35.96 | 1.5 | 53.94 |
| | | | 2 | 71.92 |
| 8 Mooring line | 0.1161 | 25.8 | 1.5 | 38.7 |
| | | | 2 | 51.6 |
| 12 Mooring line | 0.0751 | 16.689 | 1.5 | 25.03 |
| | | | 2 | 33..38 |

Dari tabel diatas dapat ditentukan jenis *anchor* dari kapasitas penahan pada sistem *anchor* pada grafik 2.10 .untuk tanah *cohesive soils (clays and silts)* dan berat diudara dari jenis *anchor* yang digunakan dalam tabel 4.17 disamping.

Tabel 4.17 Penentuan jenis *anchor* terhadap konfigurasi *mooring*

| Konfigurasi <i>mooring</i> | <i>Safety factor</i> | Jenis <i>anchor</i> | Berat diudara (KIPS) |
|-------------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| 4 Mooring line | 2 | Stevmud | 4.9 |
| | | Stato / Navmoor, Boss | 5.4 |
| | | Stevfix, Hook, Bruce Twin Shank | 6 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 9 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 15 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 31 |
| | 1.5 | Stevmud | 3.7 |
| | | Stato / Navmoor, Boss | 4.1 |
| | | Stevfix, Hook, Bruce Twin Shank | 4.6 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 6.8 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 11 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 26 |
| 6 Mooring line | 2 | Bruce Cast | 34 |
| | | Stevmud | 2.65 |
| | | Stato / Navmoor, Boss | 2.95 |
| | | Stevfix, Hook, Bruce Twin Shank | 3.4 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 5 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 8.2 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 16.5 |
| | | Bruce Cast | 25 |
| | 1.5 | Stockless (Movable fluke) | 33 |
| | | Stato / Navmoor, Boss | 2.2 |
| | | Stevfix, Hook, Bruce Twin Shank | 2.55 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 3.7 |

Tabel 4.17 Penentuan jenis *anchor* terhadap konfigurasi *mooring*

(Lanjutan 1)

| Konfigurasi <i>mooring</i> | <i>Safety factor</i> | Jenis <i>anchor</i> | Berat diudara (KIPS) |
|-------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|
| 6 Mooring line | 1.5 | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 6.2 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 12.5 |
| | | Bruce Cast | 18.5 |
| | | Stockless (Movable fluke) | 25 |
| 8 Mooring line | 2 | Stato / Navmoor, Boss | 2.1 |
| | | Stevfix, Hook, Bruce Twin Shank | 2.4 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 3.5 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 5.8 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 12 |
| | 1.5 | Bruce Cast | 17.5 |
| | | Stockless (Movable fluke) | 23 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 25.5 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 42 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 8.4 |
| 12 Mooring line | 2 | Bruce Cast | 12.5 |
| | | Stockless (Movable fluke) | 17 |
| | | Flipper Delta, Stevin | 2.2 |
| | | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 3.6 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 7.4 |
| | | Bruce Cast | 11 |
| | | Stockless (Movable fluke) | 14.5 |

Tabel 4.17 Penentuan jenis *anchor* terhadap konfigurasi *mooring*

(Lanjutan 2)

| Konfigurasi <i>mooring</i> | <i>Safety factor</i> | Jenis <i>anchor</i> | Berat diudara (KIPS) |
|-------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|
| 12 Mooring line | 1.5 | Danforth, G. S, L. W. T, Moorfast, Offdrill II | 2.6 |
| | | Stockless (fixed fluke) | 5.3 |
| | | Bruce Cast | 7.8 |
| | | Stockless (Movable fluke) | 10.5 |

4.7 Respon Displacement pada CALM

Perhitungan respon displacement operator (RAO) pada CALM untuk gerakan *surge* dan *heave* bervariasi selain bergantung pada diameter dan kekakuan tali tambat yang akan digunakan, juga bergantung pada konfigurasi *mooring* atau tali tambat, yaitu dengan 4, 6, 8, 12 *mooring* dan sudut (θ) antara tali tambat dengan *seabed*, yaitu 0° dan 30° . Untuk perhitungan nilai dari kekakuan tali tambat pada CALM dapat dilihat pada lampiran 7, sedangkan perhitungan nilai damping dapat dilihat pada lampiran 8. Nilai damping dari gerakan *heave* adalah nol, karena posisi *bouy* yang berbentuk silinder adalah tegak lurus sehingga nilai dari sudut gamma (γ) adalah nol. Berikut ini akan diberikan nilai kekakuan tali tambat dengan konfigurasi *mooring* 4, 6, 8, dan 12 dan damping dengan variasi diameter.

Tabel 4.18 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 *mooring* pada $\theta = 0^\circ$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|---------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 28 | 30963513 | 1540981 | 3206.309 | 0 |
| 32 | 30383078 | 1984698 | 3290.014 | 0 |
| 36 | 29742614 | 2473102 | 3387.616 | 0 |
| 40 | 29055170 | 3000915 | 13183.87 | 0 |
| 44 | 28327496 | 3563897 | 2009.71 | 0 |
| 48 | 27557860 | 4157418 | 2086.962 | 0 |
| 52 | 26788120 | 4776010 | 2170.41 | 0 |

Tabel 4.18 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 mooring pada $\theta = 0^\circ$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 56 | 25971874 | 5415051 | 2266.525 | 0 |
| 60 | 25151471 | 6068767 | 2372.12 | 0 |
| 64 | 24320894 | 6737651 | 2489.563 | 0 |
| 68 | 23488231 | 7412709 | 2619.607 | 0 |
| 73 | 22441284 | 8260074 | 2803.798 | 0 |
| 78 | 21407800 | 9110562 | 3012.99 | 0 |
| 84 | 20155637 | 10103665 | 3312.567 | 0 |
| 90 | 19026792 | 11122216 | 3638.939 | 0 |
| 95 | 18072675 | 11933414 | 3969.744 | 0 |
| 98 | 17518269 | 12411812 | 4191.276 | 0 |
| 100 | 16913559 | 12944402 | 4463.099 | 0 |
| 105 | 16025640 | 13723285 | 3198.113 | 0 |
| 108 | 15469042 | 14179759 | 3409.098 | 0 |
| 114 | 14536835 | 15058037 | 3832.846 | 0 |
| 120 | 13610763 | 15905123 | 4373.429 | 0 |
| 124 | 13042648 | 16457200 | 4788.194 | 0 |
| 130 | 12208946 | 17235896 | 5563.729 | 0 |
| 137 | 11320397 | 18103035 | 6283.789 | 0 |
| 147 | 10154863 | 19246818 | 6006.418 | 0 |
| 157 | 4227938 | 20296923 | 7698.183 | 0 |
| 167 | 8232384 | 21256794 | 6148.955 | 0 |
| 177 | 7244908 | 21565330 | 6613.675 | 0 |

Tabel 4.19 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 mooring pada $\theta = 0^\circ$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 24 | 30444396 | 1935737 | 3280.965 | 0 |
| 28 | 29596031 | 2580437 | 1894.157 | 0 |
| 32 | 28677399 | 3292830 | 1976.45 | 0 |
| 36 | 27691486 | 4060112 | 2073.126 | 0 |
| 40 | 26650759 | 4873556 | 2186.01 | 0 |
| 44 | 25579343 | 5720698 | 2315.848 | 0 |
| 48 | 24490730 | 6592183 | 2464.61 | 0 |
| 52 | 23386956 | 7478682 | 2636.358 | 0 |
| 56 | 22288976 | 8371597 | 2832.779 | 0 |
| 60 | 21206521 | 9263206 | 3057.427 | 0 |
| 64 | 20134746 | 10150551 | 3318.073 | 0 |
| 68 | 19106103 | 11022509 | 3613.915 | 0 |
| 73 | 17850015 | 12087359 | 4055.827 | 0 |
| 78 | 16663655 | 13127126 | 4586.075 | 0 |
| 84 | 15311248 | 14314240 | 3474.09 | 0 |
| 90 | 14066475 | 15447813 | 4089.512 | 0 |
| 95 | 13099594 | 16338250 | 4743.084 | 0 |
| 98 | 7004299 | 16855533 | 344.2097 | 0 |
| 100 | 12192213 | 17187904 | 5581.897 | 0 |
| 105 | 11348622 | 17988488 | 6345.959 | 0 |
| 108 | 10877631 | 18453608 | 7431.501 | 0 |
| 114 | 9988409 | 19333156 | 6298.098 | 0 |
| 120 | 8425393 | 20150677 | 7328.89 | 0 |

Tabel 4.19 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 mooring pada $\theta = 0^\circ$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 124 | 8728500 | 20663582 | 7051.023 | 0 |
| 130 | 8008802 | 21387589 | 5814.357 | 0 |
| 137 | 7285670 | 22164687 | 8517.479 | 0 |
| 147 | 6394009 | 23169773 | 9890.66 | 0 |
| 157 | 5634402 | 24062733 | 11823.66 | 0 |
| 167 | 1453136 | 24852324 | 1574.005 | 0 |
| 177 | 4448581 | 25555112 | 16735.07 | 0 |

Tabel 4.20 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring pada $\theta = 0^\circ$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 20.5 | 30335832 | 2016696 | 3297.021 | 0 |
| 24 | 29439044 | 2703154 | 1907.731 | 0 |
| 28 | 28309161 | 3573637 | 2011.484 | 0 |
| 32 | 27101430 | 4518691 | 2135.651 | 0 |
| 36 | 25823989 | 5519221 | 2284.858 | 0 |
| 40 | 24517870 | 6557894 | 2460.669 | 0 |
| 44 | 23205361 | 7618458 | 2666.939 | 0 |
| 48 | 21884304 | 8685110 | 2912.781 | 0 |
| 52 | 14845501 | 9750699 | 3681.291 | 0 |
| 56 | 19345798 | 10799218 | 3540.343 | 0 |
| 60 | 18141807 | 11825536 | 3943.758 | 0 |
| 64 | 16983374 | 12824651 | 4429.92 | 0 |
| 68 | 15888202 | 13790446 | 2459.515 | 0 |
| 73 | 14598126 | 14941525 | 3801.763 | 0 |

Tabel 4.20 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring pada $\theta = 0^0$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 78 | 13394727 | 16035559 | 4522.346 | 0 |
| 84 | 12088131 | 17263911 | 3910.791 | 0 |
| 90 | 10908046 | 18394989 | 7519.376 | 0 |
| 95 | 10015409 | 19270804 | 6248.856 | 0 |
| 98 | 9518399 | 19762626 | 6483.75 | 0 |
| 100 | 9205501 | 20084480 | 5918.602 | 0 |
| 105 | 8462439 | 20844616 | 7214.861 | 0 |
| 108 | 8049410 | 21274785 | 5872.371 | 0 |
| 114 | 7304881 | 22089389 | 8420.293 | 0 |
| 120 | 6635202 | 22829805 | 8256.07 | 0 |
| 124 | 6233149 | 23291926 | 7480.731 | 0 |
| 130 | 5686760 | 23930215 | 11157.83 | 0 |
| 137 | 5121455 | 24595056 | 11837.6 | 0 |
| 147 | 4439204 | 25465475 | 17067.97 | 0 |
| 157 | 3873581 | 26195342 | 7260.042 | 0 |
| 167 | 3412964 | 26840359 | 6760.83 | 0 |
| 177 | 3030412 | 27409329 | 51357.07 | 0 |

Tabel 4.21 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring pada $\theta = 0^0$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|---------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 20.5 | 29026605 | 3016128 | 1944.338 | 0 |
| 24 | 27760578 | 3999229 | 2066.043 | 0 |
| 28 | 26205845 | 5215699 | 2238.114 | 0 |
| 32 | 24590704 | 6499042 | 2450.155 | 0 |
| 36 | 22946532 | 7817511 | 2711.775 | 0 |

Tabel 4. 21 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring pada $\theta = 0^\circ$ (*Lanjutan*)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|------------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 40 | 21329704 | 9143322 | 3030.077 | 0 |
| 44 | 19745943 | 10455323 | 3423.999 | 0 |
| 48 | 18225656 | 11739612 | 3912.695 | 0 |
| 52 | 16799179 | 12977953 | 4518.551 | 0 |
| 56 | 15442127 | 14159729 | 3420.011 | 0 |
| 60 | 14189549 | 15291588 | 4019.075 | 0 |
| 64 | 13030635 | 16351157 | 4797.821 | 0 |
| 68 | 11958351 | 17352382 | 8075.71 | 0 |
| 73 | 10741695 | 18514672 | 7062.863 | 0 |
| 78 | 9656997 | 19591068 | 6770.481 | 0 |
| 84 | 8547763 | 20750691 | 6965.421 | 0 |
| 90 | 7518580 | 21802198 | 7075.395 | 0 |
| 95 | 6799046 | 22588163 | 7426.045 | 0 |
| 98 | 6405198 | 23027671 | 7776.018 | 0 |
| 100 | 6149909 | 23307092 | 7345.889 | 0 |
| 105 | 5585665 | 23962796 | 6547.403 | 0 |
| 108 | 5274480 | 24325888 | 9890.956 | 0 |
| 114 | 4724235 | 25007700 | 8410.895 | 0 |
| 120 | 4241360 | 25610085 | 7715.838 | 0 |
| 124 | 3956607 | 25992902 | 20141.34 | 0 |
| 130 | 3577545 | 26497920 | 19761.31 | 0 |
| 137 | 3197276 | 27037161 | 20996.34 | 0 |
| 147 | 2746802 | 27694106 | 10733 | 0 |
| 157 | 2393091 | 28249348 | 10180.44 | 0 |
| 167 | 2111455 | 287353414 | 45881.01 | 0 |
| 177 | 1883678.43 | 29146294.3 | 9480.162 | 0 |

Tabel 4. 22 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 mooring pada $\theta = 30^0$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|------------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 28 | 32665086 | 10100179 | 2983.824 | 0 |
| 32 | 32449361 | 10587559 | 3010.302 | 0 |
| 36 | 32193686 | 11111028.3 | 3042.3 | 0 |
| 40 | 31834689.5 | 11657603.1 | 11474.84 | 0 |
| 44 | 31414595.8 | 12221637.3 | 3144.151 | 0 |
| 48 | 30900078.9 | 12795598.1 | 3215.249 | 0 |
| 52 | 30320220.7 | 13383579.3 | 3299.343 | 0 |
| 56 | 29675729.5 | 13969185 | 3398.145 | 0 |
| 60 | 28933532.4 | 14555056.5 | 1952.794 | 0 |
| 64 | 28158821.4 | 15145792.9 | 2026.147 | 0 |
| 68 | 27323192 | 15720915.2 | 2111.714 | 0 |
| 73 | 26234711.4 | 16430968.7 | 2234.658 | 0 |
| 78 | 25117262.4 | 17130893 | 2376.738 | 0 |
| 84 | 23733493.3 | 17939605.4 | 2579.909 | 0 |
| 90 | 22366698.1 | 18716261.2 | 2817.916 | 0 |
| 95 | 21220002.7 | 19329541.6 | 3054.41 | 0 |
| 98 | 20545012.6 | 19689808.7 | 3213.201 | 0 |
| 100 | 21538822 | 24948109.8 | 2984.754 | 0 |
| 105 | 20358399 | 25124453 | 3260.067 | 0 |
| 108 | 18407896.5 | 20833561.4 | 3846.849 | 0 |
| 114 | 17204178.4 | 21470747.9 | 4328.173 | 0 |
| 120 | 16045850.7 | 22065259.3 | 3190.943 | 0 |
| 124 | 15323777.3 | 22445603.7 | 2251.446 | 0 |

Tabel 4. 22 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 4 *mooring* pada $\theta = 30^0$ (*Lanjutan*)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|------------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 130 | 14301953 | 22988616.5 | 3956.841 | 0 |
| 137 | 13187649.2 | 23583284 | 4674.989 | 0 |
| 147 | 11764541.3 | 24367833.5 | 7430.815 | 0 |
| 157 | 10500842.4 | 25069009.9 | 5479.627 | 0 |
| 167 | 9401261.42 | 25691602 | 6259.867 | 0 |
| 177 | 8436715.37 | 26262329.8 | 7293.654 | 0 |

Tabel 4. 23 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 *mooring* pada $\theta = 30^0$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 24 | 32480115 | 10537018 | 3006.499 | 0 |
| 28 | 32113515 | 11222140 | 3052.474 | 0 |
| 32 | 31617389 | 11953211 | 3116.987 | 0 |
| 36 | 30985395 | 12707403 | 3203.237 | 0 |
| 40 | 30164776 | 13473005 | 12441.28 | 0 |
| 44 | 29313831 | 14249730 | 1918.698 | 0 |
| 48 | 28305438 | 15022251 | 2011.844 | 0 |
| 52 | 27225105 | 15780413 | 2122.235 | 0 |
| 56 | 26075792 | 16531572 | 2253.817 | 0 |
| 60 | 24868196 | 17247336 | 2410.907 | 0 |
| 64 | 23668125 | 17957527 | 2590.371 | 0 |
| 68 | 22451291 | 18644954 | 2801.915 | 0 |
| 73 | 20957983 | 19455965 | 3114.145 | 0 |

Tabel 4. 23 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 6 mooring pada $\theta = 30^0$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 78 | 19500667 | 20219495 | 3494.385 | 0 |
| 84 | 17852734 | 21095855 | 4054.753 | 0 |
| 90 | 16298094 | 21901343 | 3104.101 | 0 |
| 95 | 15095161 | 22528762 | 3567.234 | 0 |
| 98 | 14429433 | 22890470 | 3888.561 | 0 |
| 100 | 14794116 | 26314248 | 3705.681 | 0 |
| 105 | 13668194 | 26618460 | 4335.485 | 0 |
| 108 | 12374610 | 23980733 | 5390.091 | 0 |
| 114 | 11289486 | 24580556 | 6217.097 | 0 |
| 120 | 10323550 | 25115392 | 5737.383 | 0 |
| 124 | 9720024 | 25451751 | 6909.526 | 0 |
| 130 | 8899257 | 25923040 | 6098.533 | 0 |
| 137 | 8053651 | 26426328 | 5878.498 | 0 |
| 147 | 7004798 | 27061578 | 6256.002 | 0 |
| 157 | 6123659 | 27618401 | 7304.383 | 0 |
| 167 | 5391835 | 28109243 | 8788.401 | 0 |
| 177 | 4773054 | 28549327 | 8488.345 | 0 |

Tabel 4. 24 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring pada $\theta = 30^0$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 20.5 | 32433427 | 10622286 | 3012.277 | 0 |
| 24 | 32032001 | 11352796 | 3062.889 | 0 |
| 28 | 31397255 | 12232614 | 3146.496 | 0 |
| 32 | 30549345 | 13145416 | 3265.592 | 0 |

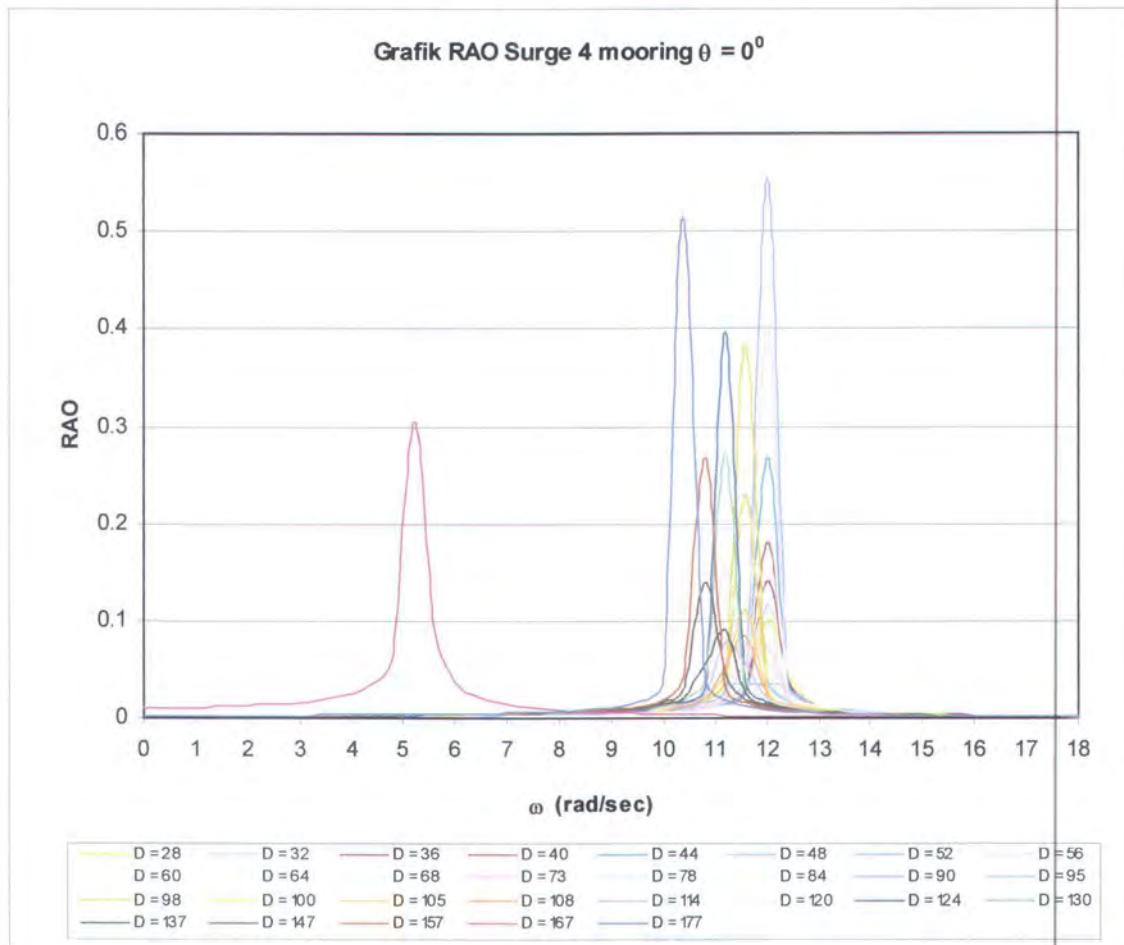
Tabel 4. 24 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 8 mooring pada $\theta = 30^0$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|-------------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 36 | 29530730 | 14068196 | 1899.78 | 0 |
| 40 | 28357482 | 14994051 | 13700.65 | 0 |
| 44 | 27036409 | 15898929 | 2142.772 | 0 |
| 48 | 25641197 | 16782323 | 2307.933 | 0 |
| 52 | 24196494 | 17648063 | 2508.163 | 0 |
| 56 | 21938992 | 18471389 | 2901.706 | 0 |
| 60 | 21309483 | 19258971 | 3034.533 | 0 |
| 64 | 19886540 | 19998101 | 3384.921 | 0 |
| 68 | 18543731 | 20714688 | 3799.199 | 0 |
| 73 | 16952995 | 21539877 | 4444.296 | 0 |
| 78 | 15468005 | 22312343 | 3409.517 | 0 |
| 84 | 13860139 | 23173369 | 4213.335 | 0 |
| 90 | 12402344 | 23937742 | 5362.084 | 0 |
| 95 | 11318026 | 24519285 | 6278.623 | 0 |
| 98 | 10713858 | 24860876 | 6991.886 | 0 |
| 100 | 10830939 | 27473771 | 7325.398 | 0 |
| 105 | 9866317 | 27777570.9 | 7255.661 | 0 |
| 108 | 8960881.162 | 25856633.93 | 5968.501 | 0 |
| 114 | 8078199.789 | 26377021.59 | 5914.214 | 0 |
| 120 | 7289919.327 | 26854999.04 | 8495.787 | 0 |
| 124 | 6814492.918 | 27128423.21 | 7356.421 | 0 |
| 130 | 6181909.555 | 27546140.48 | 7397.139 | 0 |
| 137 | 5537687.308 | 27973563.39 | 6480.478 | 0 |
| 147 | 4763685.746 | 28495538.12 | 8473.37 | 0 |
| 157 | 4132193.599 | 28945139.34 | 7574.587 | 0 |
| 167 | 3618153.87 | 29360742.59 | 17648.54 | 0 |
| 177 | 3189581.056 | 29695329.87 | 21559.11 | 0 |

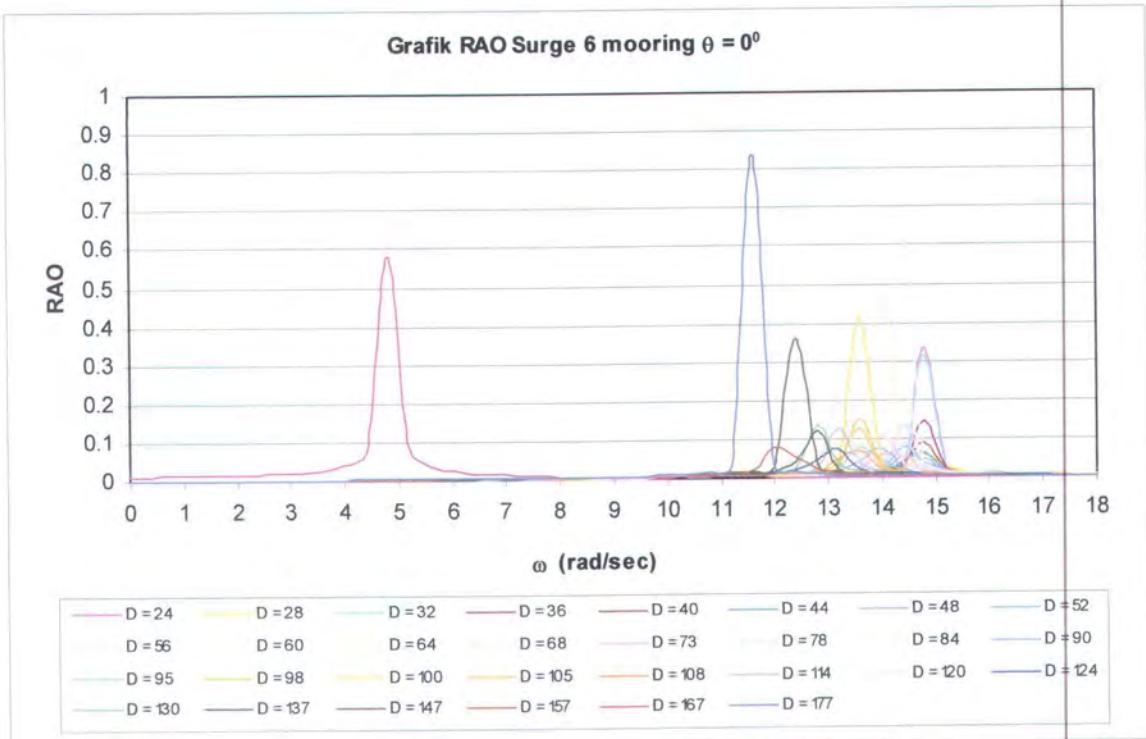
Tabel 4. 25 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring pada $\theta = 30^\circ$ (Lanjutan)

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 130 | 3800835 | 29130379 | 7176.283 | 0 |
| 137 | 3382222 | 29461297 | 6729.976 | 0 |
| 147 | 2889279 | 29865866 | 10973.52 | 0 |
| 157 | 2504231 | 30209223 | 10347.63 | 0 |
| 167 | 2195036 | 30488196 | 9895.882 | 0 |
| 177 | 1950185 | 30747079 | 9565.921 | 0 |

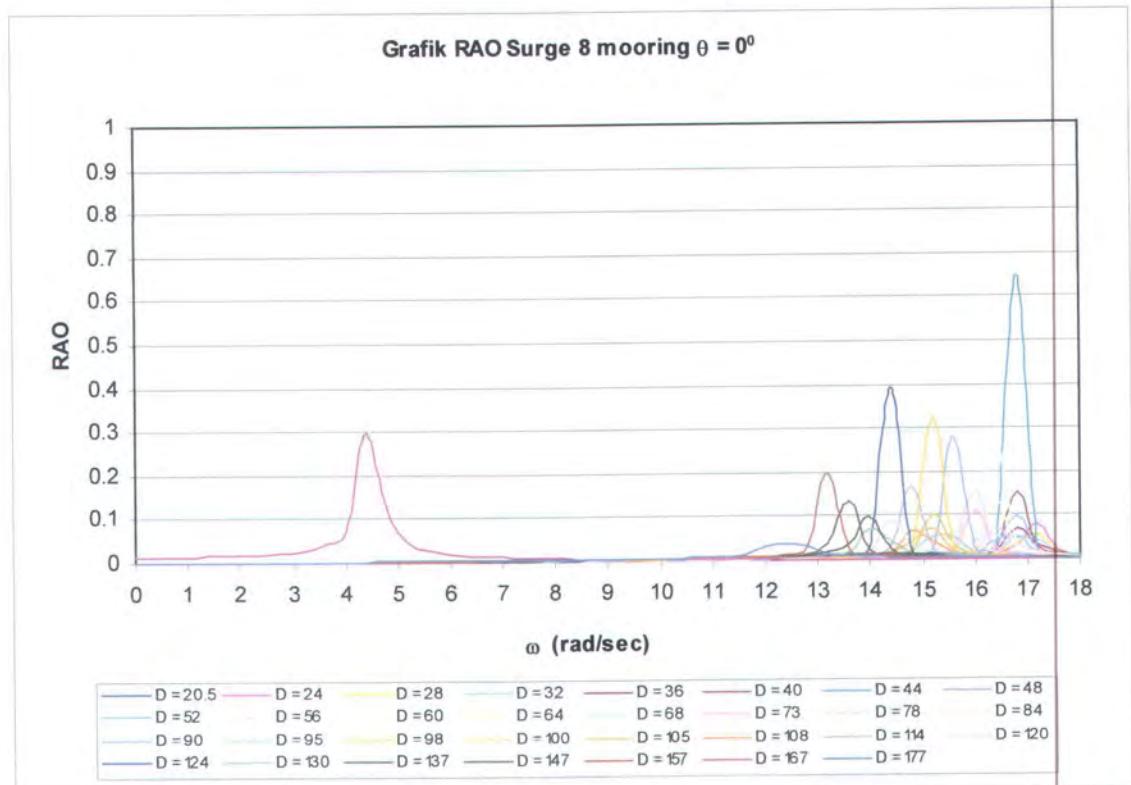
Grafik dan tabel RAO gerakan *surge* dan *heave* untuk konfigurasi *mooring* 4, 6, 8, dan 12 untuk tiap diameter dengan sudut (θ) 0° dan 30° dengan menggunakan persamaan 2.33 dapat dilihat pada lampiran. Berikut ini adalah gambar RAO untuk gerakan *surge* dan *heave* dengan variasi diameter pada tali tambat dengan konfigurasi *mooring* 4, 6, 8, dan 12.



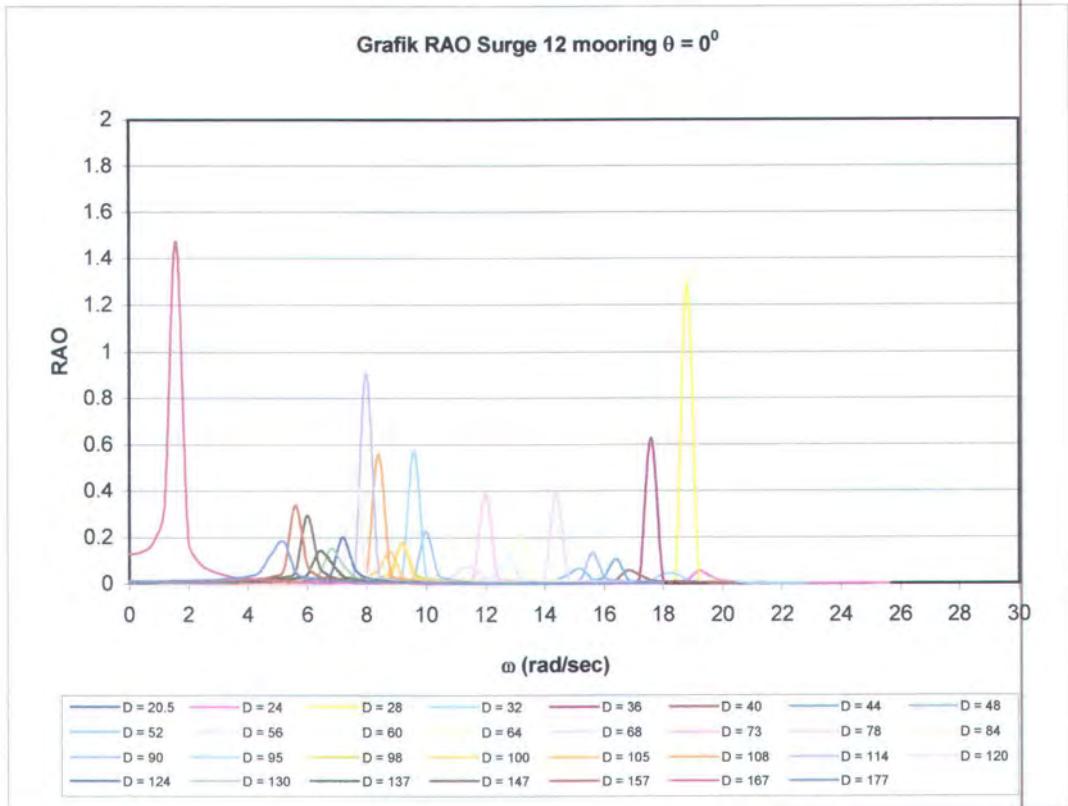
Gambar 44 Grafik RAO surge 4 mooring $\theta = 0^\circ$ dengan variasi harga km



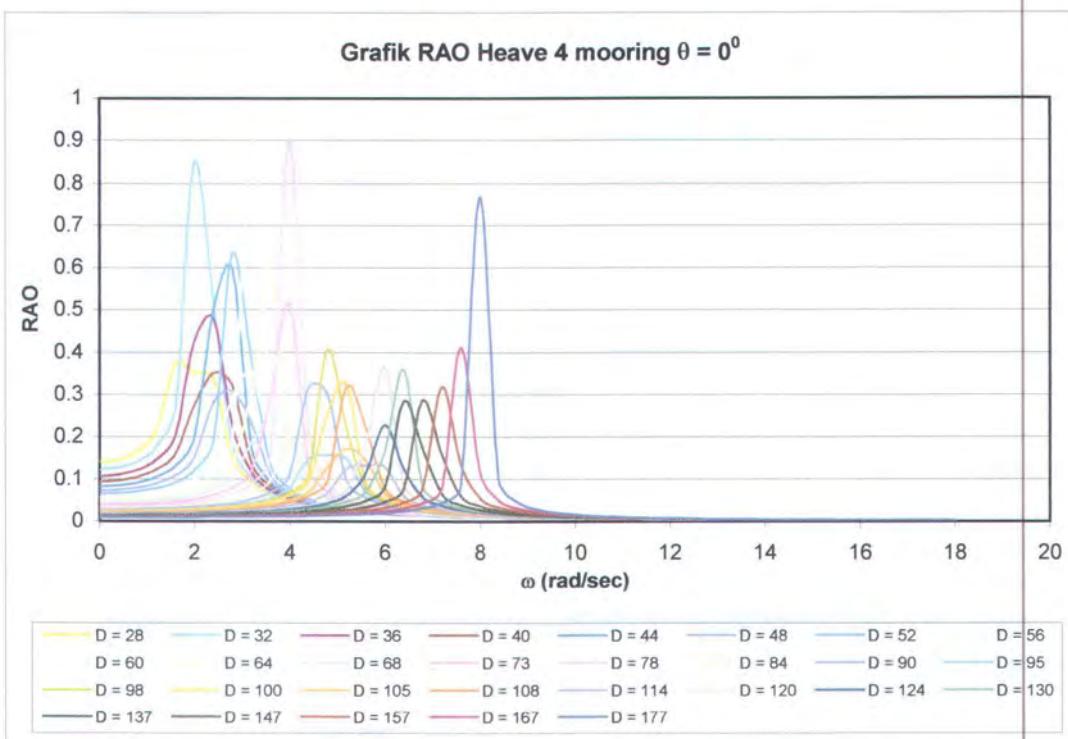
Gambar 4.5 Grafik RAO surge 6 mooring $\theta = 0^\circ$ dengan variasi harga km



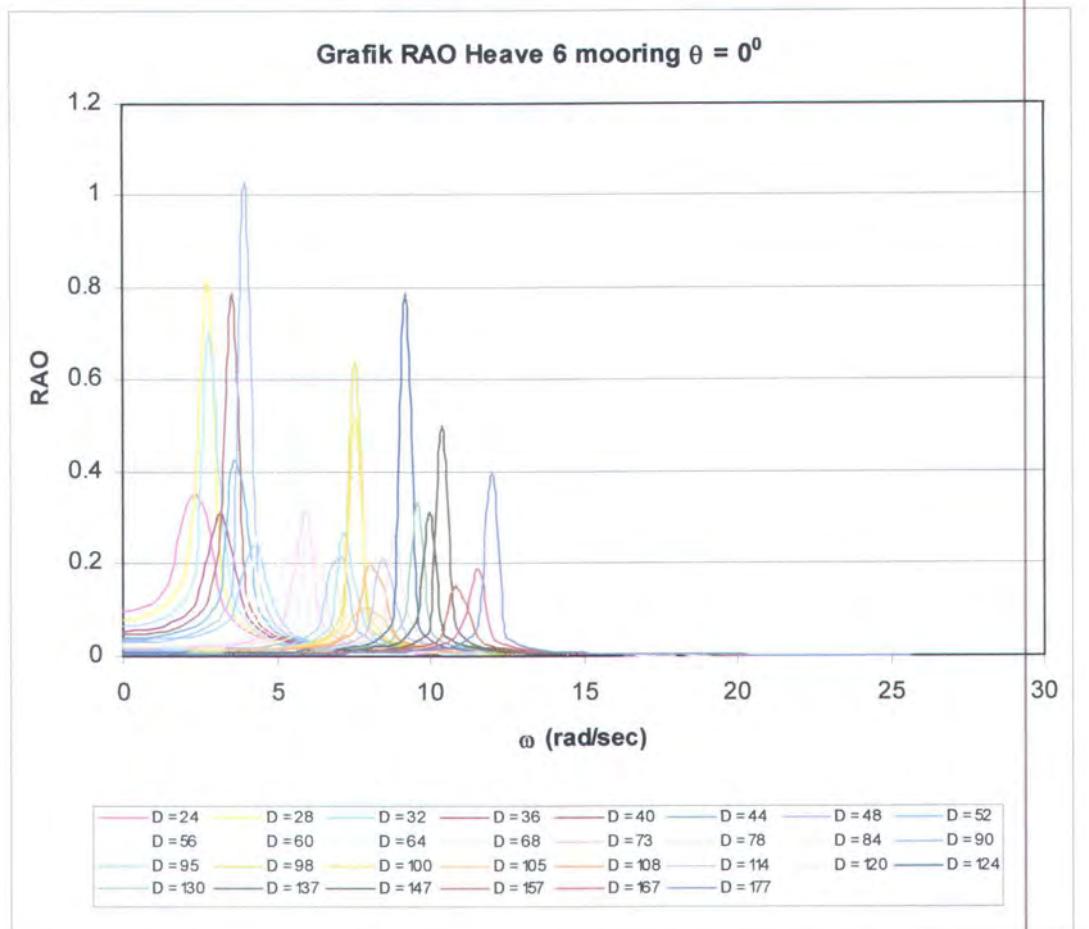
Gambar 4.6 Grafik RAO surge 8 mooring $\theta = 0^\circ$ dengan variasi harga km



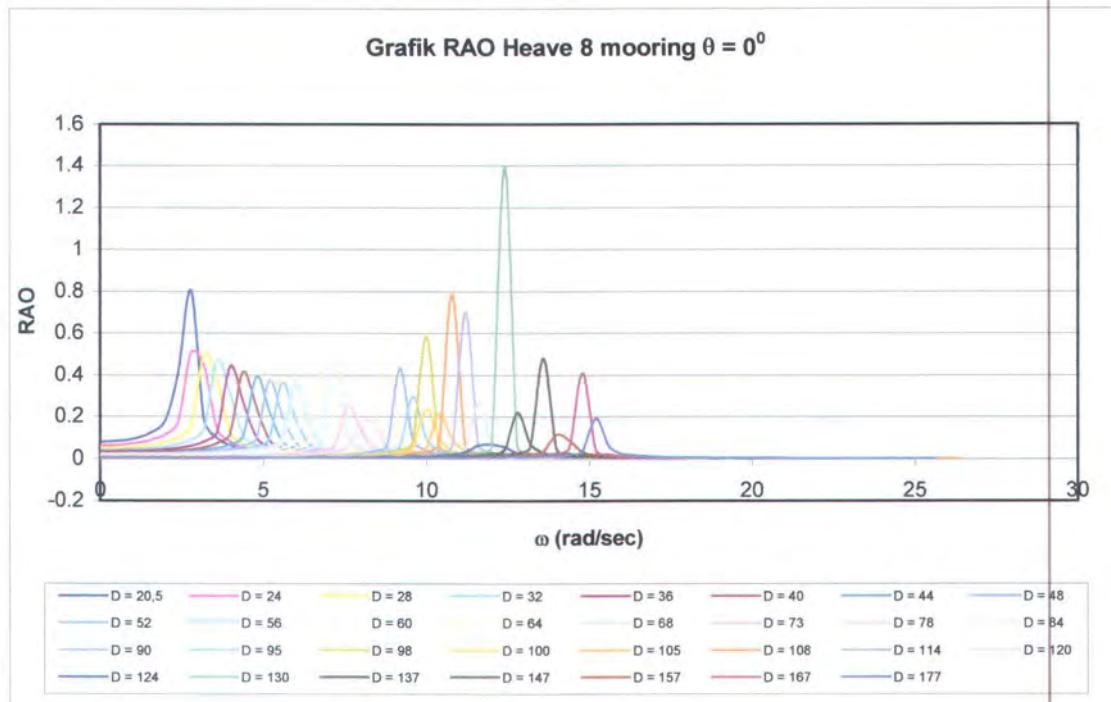
Gambar 4.7 Grafik RAO surge 12 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km



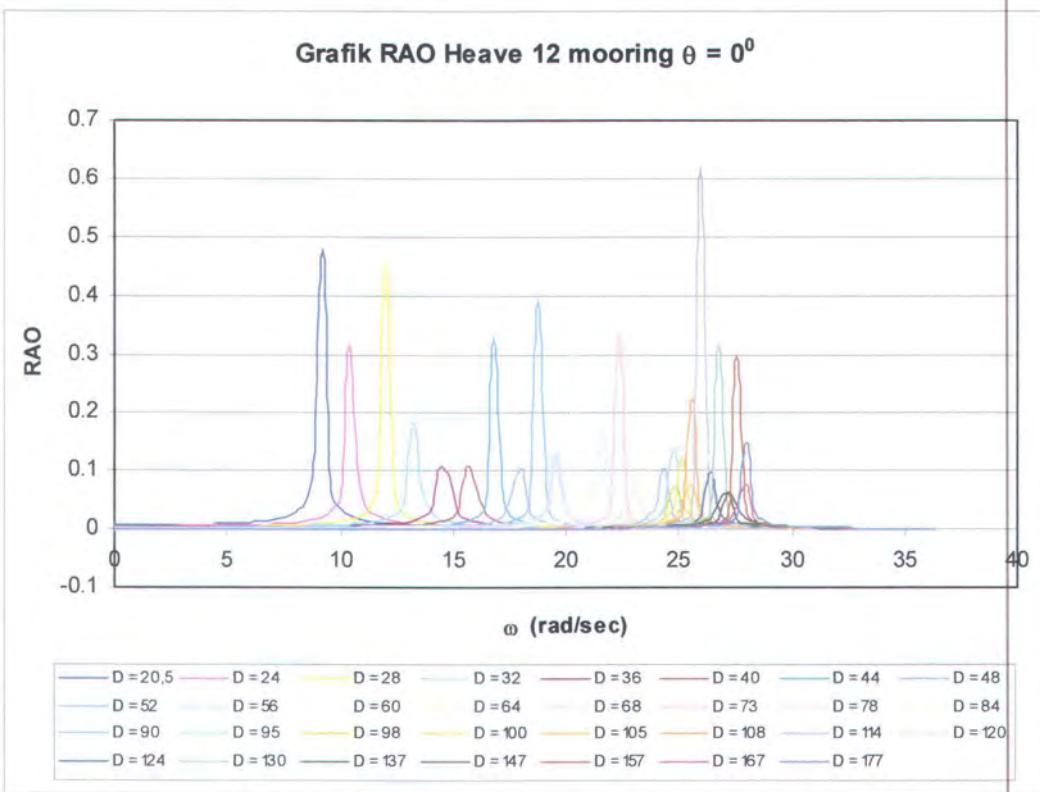
Gambar 4.8 Grafik RAO heave 4 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km



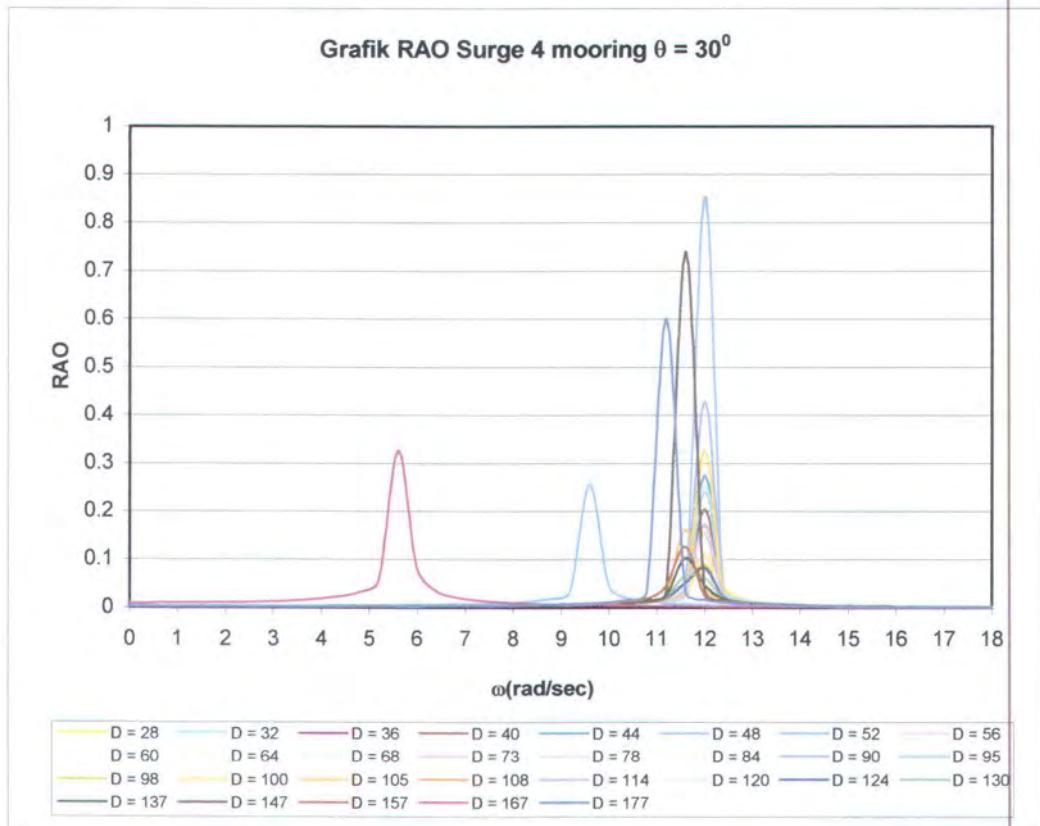
Gambar 4.9 Grafik RAO heave 6 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km



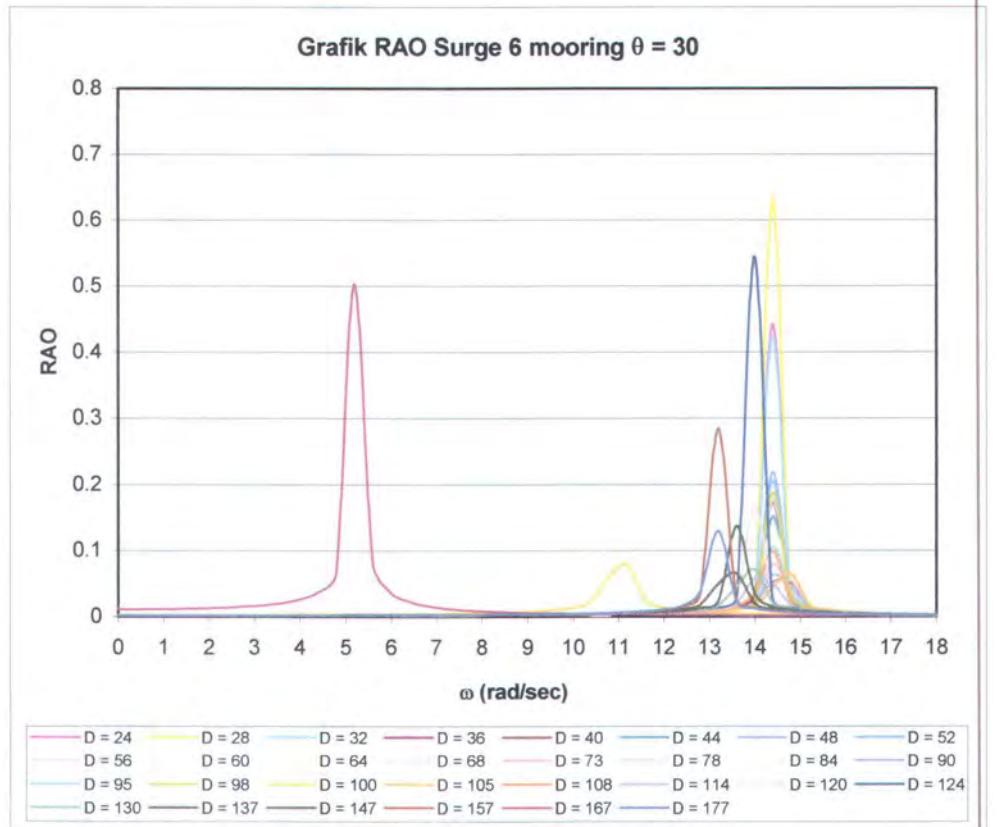
Gambar 4.10 Grafik RAO heave 8 mooring $\theta = 0^0$ dengan variasi harga km



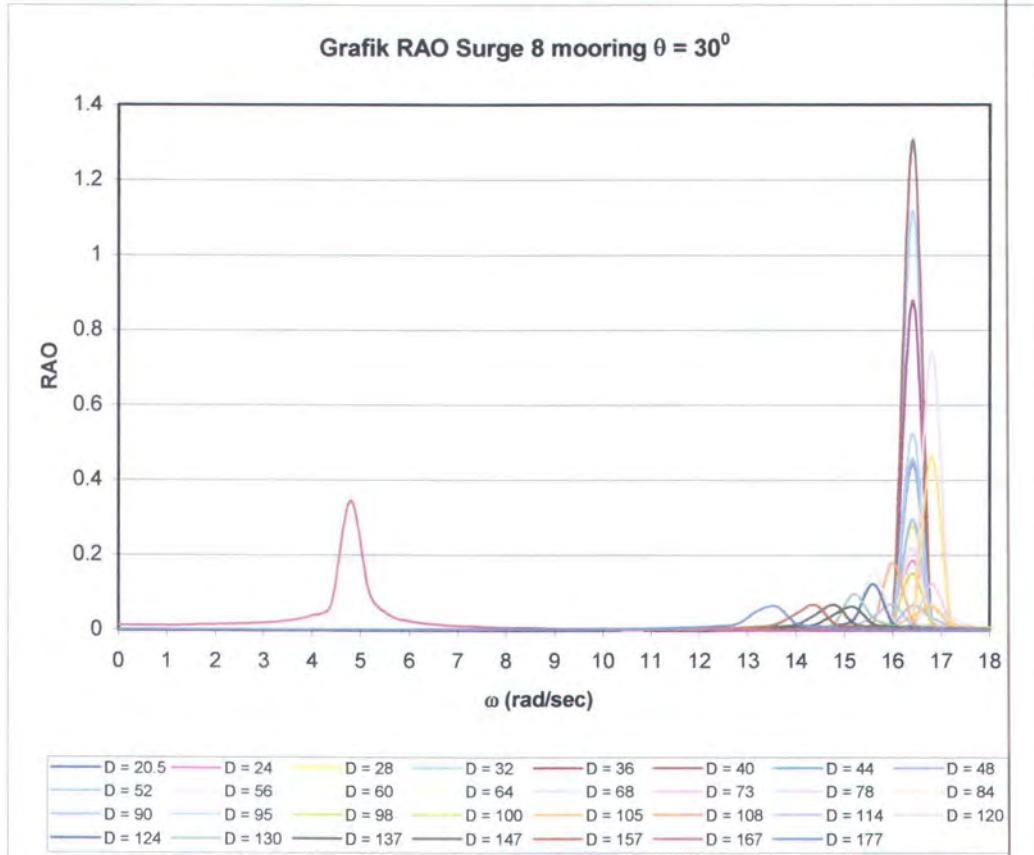
Gambar 4.11 Grafik RAO heave 12 mooring $\theta = 0^\circ$ dengan variasi harga km



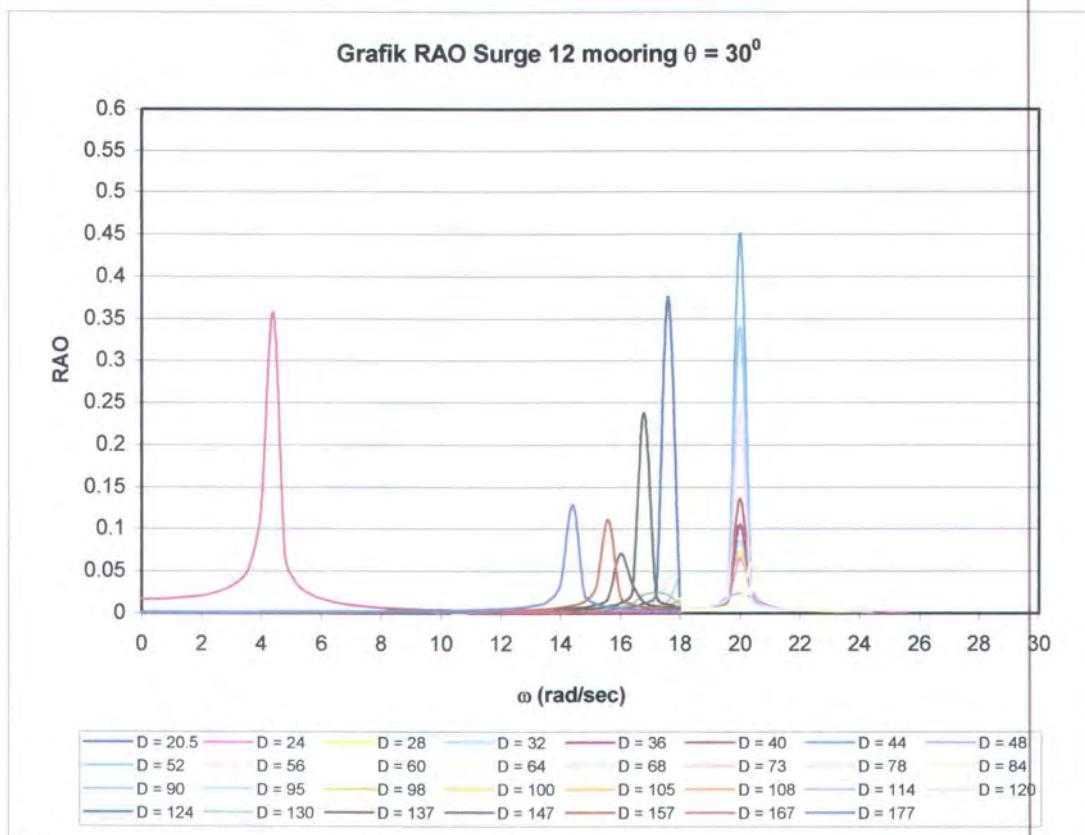
Gambar 4.12 Grafik RAO Surge 4 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km



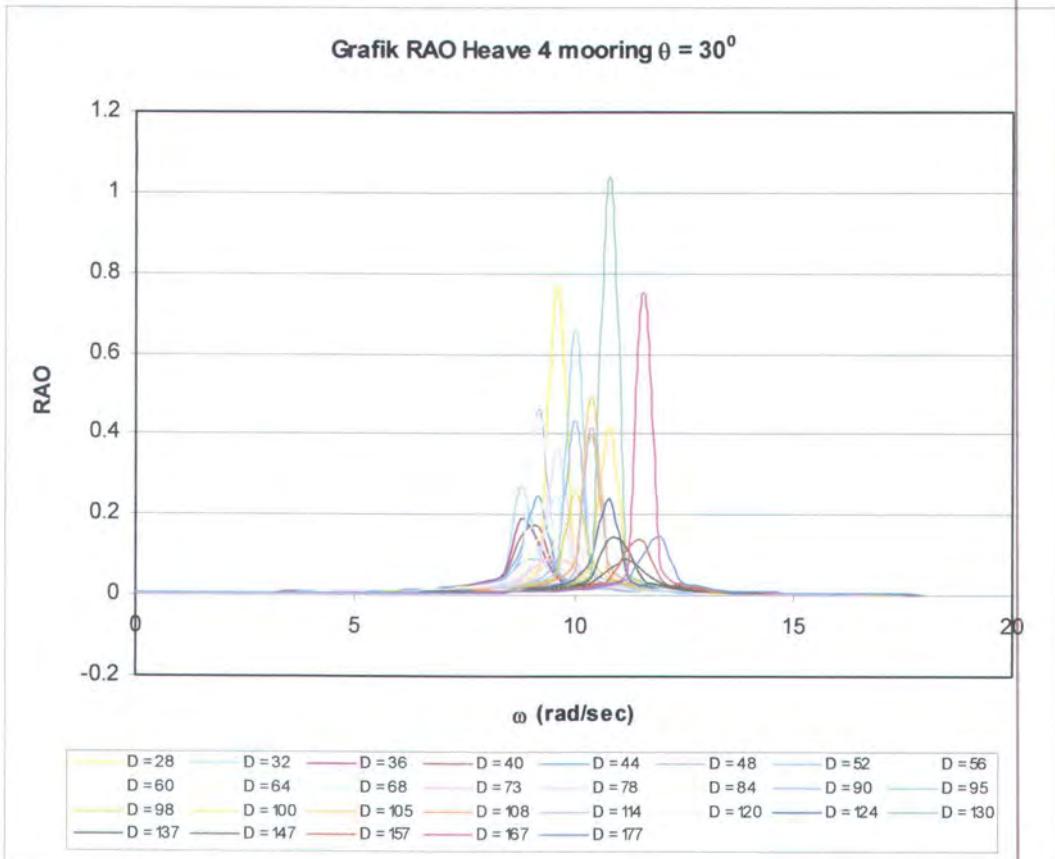
Gambar 4.13 Grafik RAO Surge 6 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km



Gambar 4.14 Grafik RAO Surge 8 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km

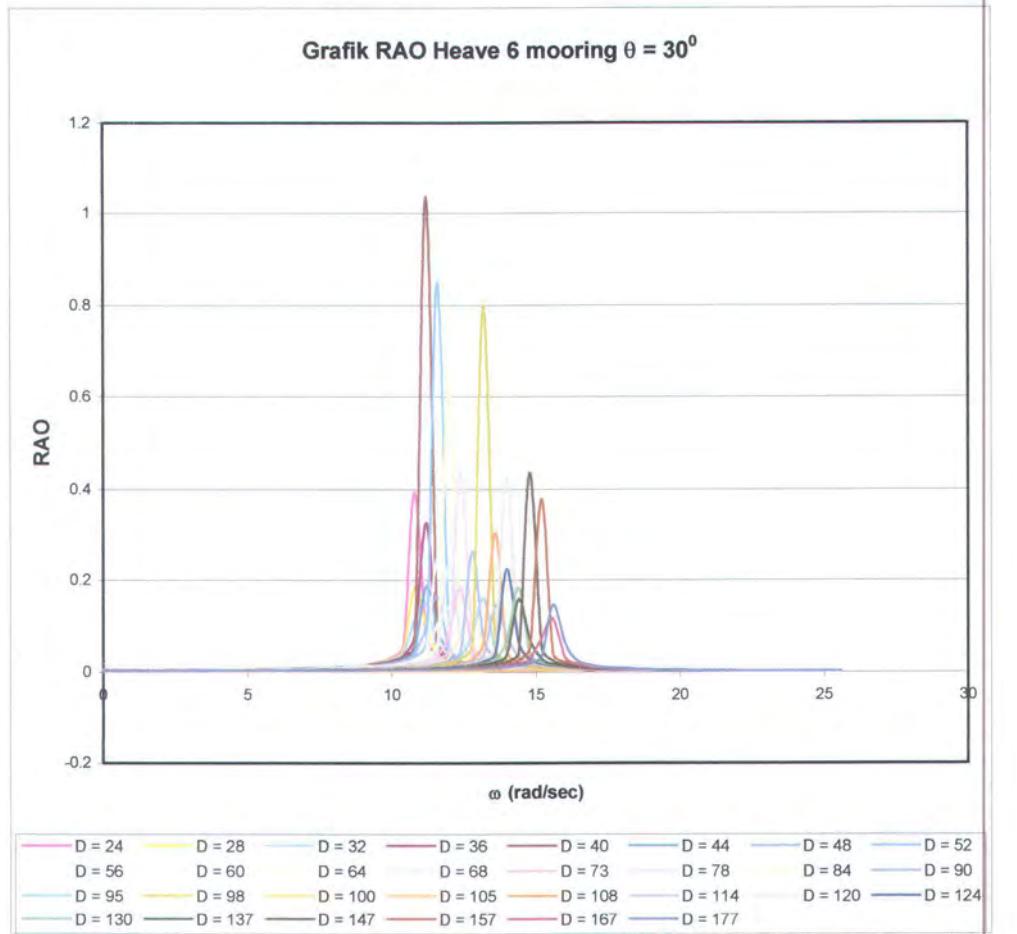


Gambar 4.15 Grafik RAO Surge 12 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km

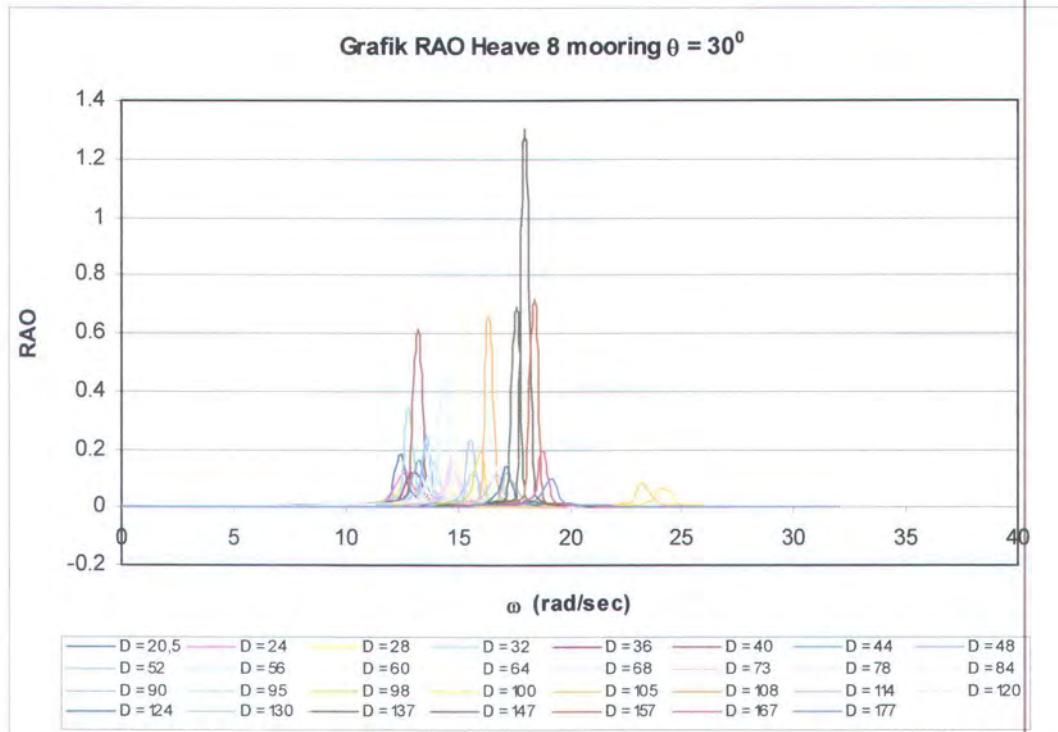


Gambar 4.16 Grafik RAO Heave 4 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km

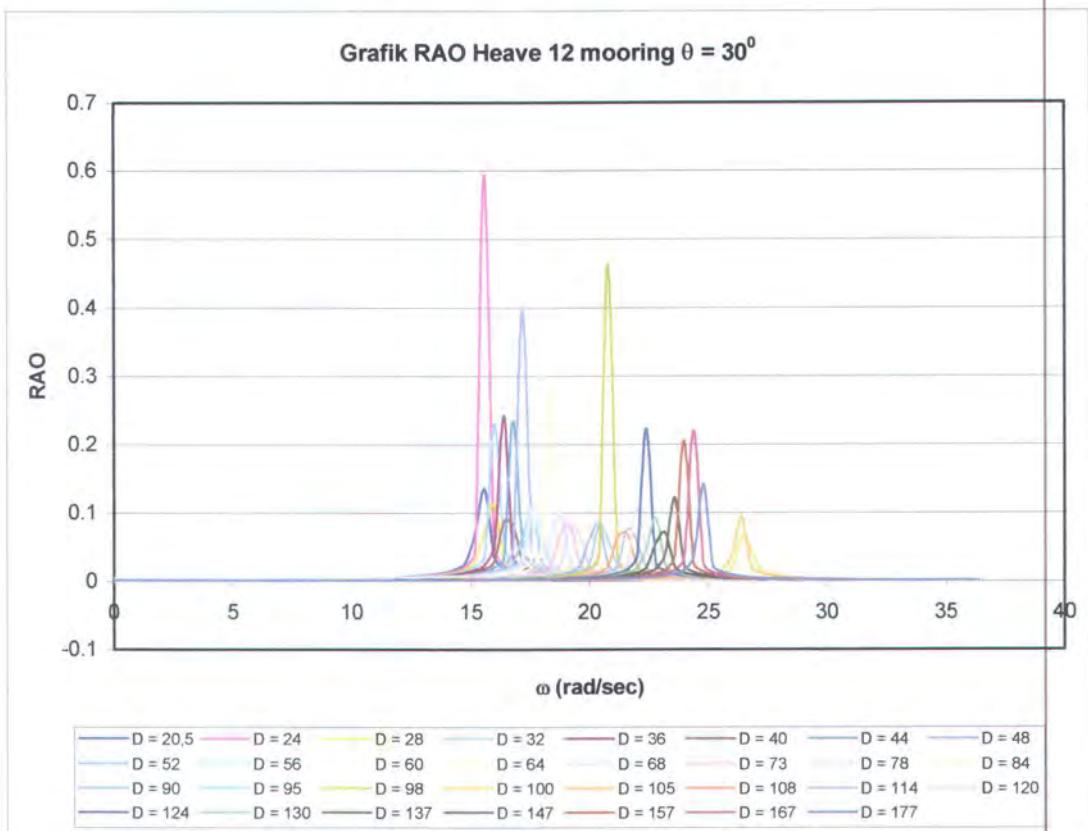




Gambar 4.16 Grafik RAO Heave 6 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km



Gambar 4.17 Grafik RAO Heave 8 mooring $\theta = 30^\circ$ dengan variasai harga km



Gambar 4.18 Grafik RAO Heave 12 mooring $\theta = 30^0$ dengan variasi harga km

Dari grafik tersebut terlihat pada sudut 0^0 ($\theta = 0^0$) dengan konfigurasi *mooring 4*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.554 dengan offset sebesar 0.4986 m pada diameter 48 mm. Pada konfigurasi *mooring 6*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.84 dengan offset sebesar 0.756 m pada diameter 177 mm. Pada konfigurasi *mooring 8*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.65 dengan offset sebesar 0.585 m pada diameter 44 mm. Pada konfigurasi *mooring 12*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 1.47 dengan offset sebesar 1.323 m pada diameter 167 mm. Sedangkan pada sudut 30^0 ($\theta = 30^0$) dengan konfigurasi *mooring 4*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.85 dengan offset sebesar 0.765 m pada diameter 90 mm. Pada konfigurasi *mooring 6*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.63 dengan offset sebesar 0.567 m pada diameter 28 mm. Pada konfigurasi *mooring 8*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 1.31 dengan offset sebesar 1.179 m pada diameter 40 mm. Pada konfigurasi *mooring 12*, *respon displacement* untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.45 dengan offset sebesar 0.405 m pada diameter 44 mm.

Tabel 4. 25 Nilai kekakuan tali tambat dan damping dengan 12 mooring pada $\theta = 30^0$

| Diameter (mm) | Kekakuan tali tambat (N/m) | | Damping (N/m) | |
|------------------|----------------------------|----------|---------------|-------|
| | Surge | Heave | Surge | Heave |
| 20.5 | 31817785 | 11672628 | 3090.603 | 0 |
| 24 | 31021052 | 12646507 | 3198.244 | 0 |
| 28 | 29838435 | 13790285 | 3372.646 | 0 |
| 32 | 28397968 | 14934391 | 2002.921 | 0 |
| 36 | 26772547 | 16064254 | 2172.168 | 0 |
| 40 | 25012644 | 17157745 | 16933.61 | 0 |
| 44 | 23204726 | 18203390 | 2667.047 | 0 |
| 48 | 21404281 | 19182667 | 3013.756 | 0 |
| 52 | 19669466 | 20116822 | 3445.639 | 0 |
| 56 | 18016294 | 20986276 | 3991.192 | 0 |
| 60 | 16454733 | 21785172 | 3052.518 | 0 |
| 64 | 15011552 | 22540914 | 3604.633 | 0 |
| 68 | 13695551 | 23227142 | 4317.643 | 0 |
| 73 | 12213743 | 24026850 | 5558.542 | 0 |
| 78 | 10895277 | 24731135 | 7482.228 | 0 |
| 84 | 9509226 | 25502420 | 6465.637 | 0 |
| 90 | 8327991 | 26179273 | 6304.204 | 0 |
| 95 | 7479785 | 26690380 | 7006.01 | 0 |
| 98 | 7021222 | 26980626 | 6279.218 | 0 |
| 100 | 6979864 | 28840179 | 6221.088 | 0 |
| 105 | 6276705 | 29122799 | 7553.312 | 0 |
| 108 | 5717692 | 27798912 | 10799.36 | 0 |
| 114 | 5045968 | 28211622 | 13119.9 | 0 |
| 120 | 4546470 | 28590904 | 8140.654 | 0 |
| 124 | 4223072 | 28826375 | 7691.803 | 0 |

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan :

Dari hasil analisa pada bab 4 dapat diperoleh kesimpulan yang menjawab perumusan masalah, yaitu :

1. Jenis pondasi yang digunakan untuk struktur SALM adalah pile dan deadweight anchor. Pile yang digunakan memiliki diameter 0.9144 m dan tebal 0.016 m dengan material ASTM A53 grade B pada kedalaman 5 m pada kondisi operasional dan ekstrim dengan daya dukung tanah sebesar 143.11 kN dan 190.82 kN. Deadweight anchor yang digunakan memiliki luas permukaan 30.4 m^2 dan tebal 1.17 m dengan beton C35, baja tulangan #55 grade 400 dan baja tulangan untuk anchor # 55, memiliki daya dukung 616339.57 N.
2. RAO untuk gerakan surge terendah adalah 4.77 dengan offset sebesar 4.293 m pada tali tambat dengan diameter 157 mm melebihi offset max dalam desain yaitu sebesar 2 m dan RAO untuk gerakan heave adalah 0.488 pada semua diameter tali tambat.
3. Jenis anchor yang dapat digunakan pada konfigurasi mooring 4 dengan safety factor 2 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast.

Pada konfigurasi mooring 6 dengan safety factor 2 adalah stevmud, stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).

Pada konfigurasi mooring 8 dengan safety factor 2 adalah stato / navmoor, boss, stevfix, hook, bruce twink shank, flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).

Dengan safety factor 1.5 adalah flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).

Pada konfigurasi mooring 12 dengan safety factor 2 adalah flipper delta, stevin, danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke). Dengan safety factor 1.5 adalah danforth, G. S, L. W. T, moorfast, offdrill II, stockless (fixed fluke), bruce cast, stockless (movable fluke).

4. RAO pada sudut 0^0 ($\theta = 0^0$) dengan konfigurasi *mooring* 4, untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.554 pada diameter 48 mm. Pada konfigurasi *mooring* 6, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.84 pada diameter 177 mm. Pada konfigurasi *mooring* 8, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.65 pada diameter 44 mm. Pada konfigurasi *mooring* 12, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 1.47 pada diameter 167 mm. Sedangkan pada sudut 30^0 ($\theta = 30^0$) dengan konfigurasi *mooring* 4, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.85 pada diameter 90 mm. Pada konfigurasi *mooring* 6, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.63 pada diameter 28 mm. Pada konfigurasi *mooring* 8, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 1.31 pada diameter 40 mm. Pada konfigurasi *mooring* 12, RAO untuk gerakan *surge* tertinggi adalah 0.45 pada diameter 44 mm.
5. Dari RAO SALM dan CALM tersebut dapat ditentukan jenis SPM yang dapat digunakan yaitu jenis CALM, karena respon dari SALM melebihi offset max yang ditentukan dalam desain.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini ada beberapa saran yang dapat digunakan dalam penelitian lebih lanjut, yaitu :

1. Dalam pemilihan SPM lebih lanjut sesuai realita di lapangan, maka perlu adanya kriteria tentang aspek ekonomi, kemudahan operasional, dll yang perlu diperhitungkan.
2. Untuk perhitungan RAO pada SALM seharusnya menggunakan data bouy yang berbeda dengan CALM, karena ukuran diameter dari SALM lebih kecil dari CALM tetapi saratnya lebih panjang.
3. Pada kondisi real perlu diperhitungkan pengaruh gaya lingkungan pada kapal yang ditambatkan terhadap SPM.

DAFTAR PUSTAKA

Cipta Karya
(031) 5941926

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute, Suplement 1 to API RP 2A-WSD (1st Edition). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms.* July 1.1991.
- Bhattacharya, Rameswar. 1978. *Dynamics of Vehicle.* New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures.* Boston : Computational Mechanics Publications. .
- Fee, D. A. &O'Dea. J. 1986. *Technology for Developing Marginal Offshore Structure,* Elsevier Applied Science Publisher Ltd
- Ferguson, Phil M. et al. 1991. Dasar – Dasar Beton Bertulang versi SI. Erlangga. Jakarta
- Gaythwaile, John. W. PE. 1990. *Design of Marine Facilities:for Berthing, Mooring & Repair of Vessel,* Van Nostrand Reinhold
- Gunawan. 2000. *Analisa Statis dalam Pra-Perencanaan Sistem Tambat Lepas Pantai CALM.* Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP. 2004. Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Pembangunan Offshore Terminal (SPM) Pertamina, Jenu, Tuban. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Murtedjo, Mas. 1985. *Teori Gerak Kapal I.* Diktat Mata Kuliah Hidrodinamika I, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Srabaya
- Reddy, D.V. 1991. *Offshore Structures Vol. 1.* Florida :Krieger Publishing Company.
- Soedjono, J.J. 1998. Diktat Mata Kuliah Perancangan Sistem Bangunan Laut I & II, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Soegiono. 1990. *Teknologi Lepas Pantai.*Diktat Mata Kuliah Perancangan Sistem Bangunan Laut I, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

- Sutomo, Jusuf. *Handout Hidrodinamika II*. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Tirant, Pierre Le dan Meunier, Jacques. 1990. Design Guides For Offshore Structure: Anchoring of Floating Structures. Association de Recherche en Geotechnique Marine. Francais
- Tjahjono, Rusdianto. 1990. Menghitung Besar Tegangan Tali Tambat Untuk Mengikat Sebuah SPM Akibat Gerakan Kopel Heaving Dan Pitching Pada Regular Wave. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Tsinker, Gregory P. 1995. *Marine Structure Engineering, Specialized Applications*. Chapman & Hall ITP An international Thomson Publishing Company.
- Wang, Chu-kia. 1989. *Disain Beton Bertulang Edisi I dan II*. Erlangga. Jakarta
- Yunita, Dien. 2002. *Pemilihan Jenis Tali Tambat Sistem Penambatan Spread Mooring*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Lampiran I
Lembar Asistensi dan Revisi

Cipta Karya
(031) 5941926



LEMBAR ASISTENSI KONSULTASI TUGAS AHIR

NAMA MAHASISWA : Fardian Santoso
NOMOR POKOK : 4399.100.039
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Yusuf Soetomo, M.Sc
TUGAS MULAI :
TUGAS DISELESAIKAN :
JUDUL TUGAS AHIR :

*Pemilihan Jenis SPM (CALM atau SALM) Untuk Terminal
Pembongkaran Minyak Lepas Pantai Pertamina Diperairan Tanjung
Awar-Awar, Tuban*

| No | Tanggal | Konsultasi Mengenai | Tanda Tangan Dosen Pembimbing |
|----|----------|--|----------------------------------|
| 1 | 02/04 | Latar belakang : batasan maritim | |
| 2 | 28/03 | Sgn (x2) | |
| 3 | 08/04 | Heavy force | |
| 4 | 6/12/04 | Res. TPA (Supriya dikh gadai ? Murah 88) | |
| 5 | 21/12/04 | Kelitihan NAO | |
| 6 | 23/12/04 | Gagr/ttg. Jdr Rayhi | |
| 7 | 11/02/05 | NAO Enge | |



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

LEMBAR ASISTENSI KONSULTASI TUGAS AHIR

NAMA MAHASISWA : Fardian Santoso
NOMOR POKOK : 4399.100.039
DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. Handayanu, M.Sc
TUGAS MULAI :
TUGAS DISELESAIKAN :
JUDUL TUGAS AHIR :

*Pemilihan Jenis SPM (CALM atau SALM) Untuk Terminal
Pembongkaran Minyak Lepas Pantai Pertamina Diperairan Tanjung
Awar-Awar, Tuban*

| No | Tanggal | Konsultasi Mengenai | Tanda Tangan Dosen Pembimbing |
|----|----------|--|-------------------------------|
| 1 | 24/12/04 | Prosedur perhitungan mooring chain length & size | <u>H</u> |
| 2 | 28/12/04 | Prosedur desain mooring lines by mooring lines load. | <u>H</u> |
| 3 | 3/12/04 | Perhitungan desain mooring & penjelasan arca desain anchor | <u>H</u> |
| 4 | 21/4/05 | Perhitungan design pile & dead weight | <u>H</u> |
| 5 | 31/5/05 | Penjelasan SF untuk pile | <u>H</u> |
| 6 | | | |
| 7 | | | |



LEMBAR PERBAIKAN, TUGAS TAMBAHAN ATAU SARAN
UJIAN AKHIR TA (P3)

No

Tugas dari Tim Penguji

1. Jelaskan penulisan nilai $C_d = 0.65$ & C_m
2. Selanjutnya dalam babaran mooring analisis 2 dimensi saja
3. Hitung tension pada mooring
4. Subtitusikan kriteria yg dipakai
5. Penjelasan ~~lalu~~ mengenai SACT & CACM dari angle motion &, mooring force & foundation.

Surabaya,
Ketua Tim Penguji

18/04/2005

Lampiran II
Lapisan Tanah Pada Proyek TTU Tuban

Cipta Karya
(031) 5941926

SPM PERTAMINA
KAPASITAS 150,000 DWT
00° 42' 48" S 111° 56' 21" E T

BH-5

SPM TPPI
KAPASITAS 120,000 DWT
00° 43' 06" S 111° 57' 15" E T

SPM PERTAMINA
KAPASITAS 35,000 DWT
00° 44' 00" S 111° 56' E T

BH-4

BH-3

BH-3

I SHORE POINT
SÈTELAH REKLAM
00° 41' 36" S 111° 51'

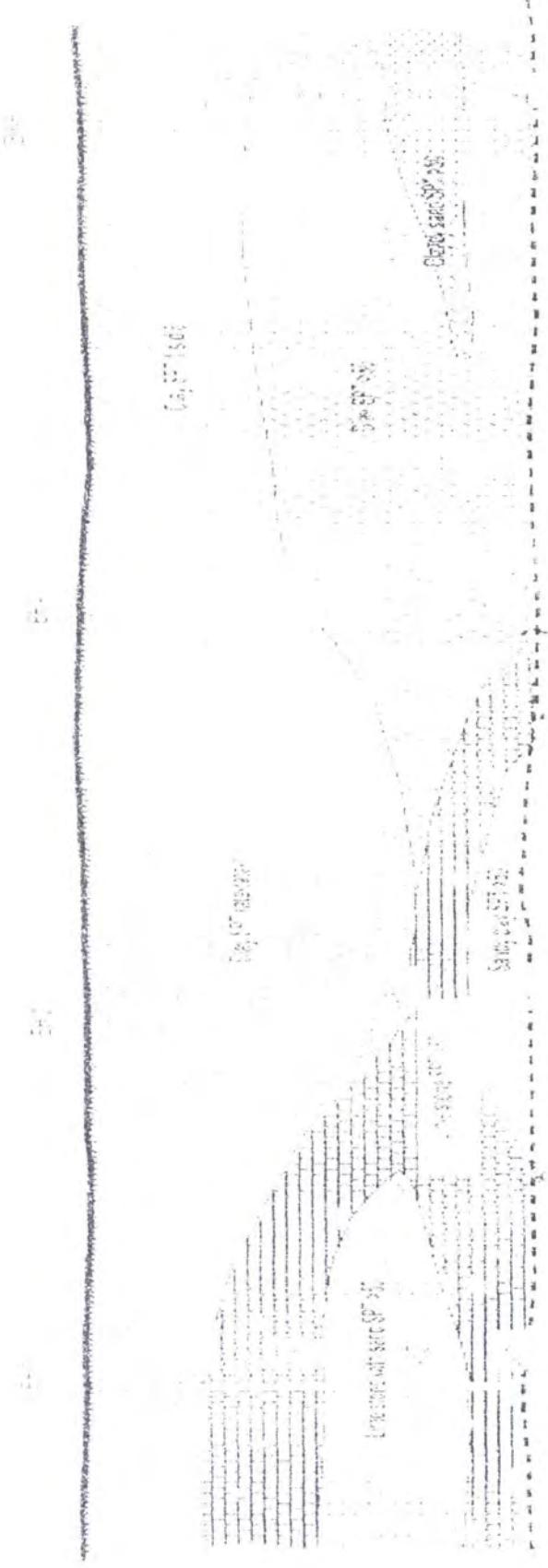
BH-1

LAND FALL TPPI
00° 41' 57" S 111° 57' 39"

REDAKSI DAN PENGETAHUAN

NOMOR 97

POTONGAN MELINTANG LAPISAN TANAH UNTUK TITIK BOR, BH-1, BH-2, BH-4, DAN BH-5
PROYEK SITE ASSESSMENT RENCANA OFFSHORE TERMINAL PROYEK TTU TUBAN



Survei Geologi
SKK Migas - 1260
Salatiga - 1100
Permit No. 1200/03/1947/202/1307/00087/10/02/2012/25

Lampiran III
Perhitungan Gaya GElombang Angin dan Arus

Cipta Karya
(031) 5941926

Perhitungan Gaya Gelombang, Angin dan Arus

Data Struktur :

| | | | |
|---------------|---|------|--------|
| CALM Weight | = | 230 | Tonnes |
| Bouy Diameter | = | 11 | m |
| Bouy Height | = | 5.4 | m |
| Bouy Draft | = | 4.57 | m |

Data Gelombang :

| | | | |
|---|---|------|----|
| T | = | 6.53 | dt |
| H | = | 1.8 | m |
| d | = | 25 | m |

Region Validitas :

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{1.8}{(9.81)(6.53)^2} = 0.0043$$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{25}{(9.81)(6.53)^2} = 0.0597$$

dari Hidrodinamika 1 didapat teori gelombang Stokes arde 2 dengan Velocity Potensial :

$$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{3}{8} \frac{\pi H}{kT} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2(kx - \omega t)$$

Mencari Gaya Surge, Heaving.

$$U = \frac{d\phi}{dx} = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) + \frac{6}{8} \frac{k\pi H}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \cos 2(kx - \omega t)$$

$$U = \frac{dU}{dt} = \frac{\pi H \omega}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{12}{8} \frac{k\pi H \omega}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2(kx - \omega t)$$

$$L = gT^2 \frac{\tanh(kd)}{2\pi} = 66.576$$

$$k = \frac{2\pi}{L} = 0.0944$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0.9622$$

Gaya Surge:

$$dF_{\text{Surge}} = dF_{\text{drag}} + dF_{\text{inersia}}$$

$$dF_{\text{drag}} = Cd \left(\frac{\rho D}{2} \right) |U| U ds$$

- Mencari nilai Cd dan Cm :

$$KC = \frac{uT}{D}$$

$$KC = 0.34 \times 6.53 / 11 = 0.20184$$

Dari tabel didapatkan nilai Cd dan Cm yaitu 0.6 dan 2.3

Persamaan $|U| U ds$ dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan Linierisasi

Energi, misal : $A|U|U = A \frac{8}{3\pi} U_{\max} U$

$$F_{\text{drag}} = \int Cd \left(\frac{\rho D}{2} \right) \left(\frac{8}{3\pi} \left(\frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} + \frac{6}{8} \frac{k\pi^2 H^2}{TL} \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \right) \right) U ds$$

$$F_{\text{drag}} = 373542.7231 \cos(kx - \omega t) + 0.30668 \cos 2(kx - \omega t)$$

$$dF_{\text{inersia}} = Cm \left(\frac{\rho \pi D^2}{4} \right) U ds$$

$$Finersia = 772099.835 \sin(kx - \omega t) + 6.637 \sin 2(kx - \omega t)$$

Jadi:

$$FSurge = 373542723 \cos(kx - \omega t) + 0.30668 \cos 2(kx - \omega t) + 772099835 \sin(kx - \omega t) + 6.637 \sin 2(kx - \omega t)$$

$$Fsurge = 242802.969 \text{ N} = 0.243 \text{ MN}$$

Gaya Heaving

Karena arah gelombang searah dengan sumbu silinder maka gaya drag dan inersia adalah 0, dan yang ada hanya added mass (massa tambahan). Sehingga Gaya Heaving menjadi :

$$F_{\text{Heaving}} = F_{\text{drag}} + Finersia + addedmass$$

$$F_{\text{Heaving}} = 0 + 0 + \frac{4}{3} \rho r^3$$

$$F_{\text{heaving}} = 227379.1667 \text{ N}$$

Current Force :

$$F = F_d + F_t = C_d \frac{\rho}{2} A |U| U + C_m \rho V \frac{dU}{dt}$$

Karena percepatan arus adalah konstan, dimana $a = 0$, maka $dU/dt = 0$

$$F_{\text{current}} = 3674.5 \text{ N} = 0.0037 \text{ MN}$$

Wind Velocity and Force Relationship

$$F = (w/2g) (V)^2 C_s A$$

$$F_{\text{wind}} = 33789 \text{ N} = 0.0338 \text{ MN}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gaya total} &= F_{\text{surge}} + F_{\text{current}} + F_{\text{wind}} \\ &= 0.243 + 0.0037 + 0.0338 \\ &= 0.2803 \text{ MN} \end{aligned}$$

Lampiran IV
Desain Pondasi SALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Perencanaan Pondasi

Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Jika diameter pile dan tebal yang direncanakan adalah $D = 0.9144$ meter
 $t = 0.016$ meter

$$F_{\text{Surge}} = 280266.8478 \text{ N}$$

$$F_{\text{Heave}} = 227379.17 \text{ N}$$

$$F_{\text{result}} = 360902.7472 \text{ N}$$

$$P_{\text{support Reaction max}} = 360902.7 \text{ N} = 360.90 \text{ KN}$$

Perhitungan Skin Friction Resistance (Qs) dan End Bearing Capacity (Qs)

Dengan $\Delta l = 1$ meter

Tabel VII.1 Perhitungan unit friction resistance

| Depth m | A_s m^2 | γ kg/m^3 | p'_o Pa | ψ' | α | C_u Pa | f_{clay} Pa |
|------------|-----------------------|-----------------------------|--------------|---------|----------|-------------|-------------------------|
| 0 | 0 | 1483 | 240 | 2.792 | 0.387 | 670 | 259.2 |
| 1 | 2.87 | 1473 | 2610 | 0.287 | 0.933 | 750 | 699.6 |
| 2 | 5.75 | 1473 | 2610 | 0.287 | 0.933 | 750 | 699.6 |
| 3 | 8.62 | 1464 | 4640 | 0.582 | 0.655 | 2700 | 1769.7 |
| 4 | 11.49 | 1464 | 4640 | 0.582 | 0.655 | 2700 | 1769.7 |
| 5 | 14.36 | 1464 | 4640 | 0.582 | 0.655 | 2700 | 1769.7 |
| 6 | 17.24 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 7 | 20.11 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 8 | 22.98 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 9 | 25.85 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 10 | 28.73 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 11 | 31.60 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 12 | 34.47 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |
| 13 | 37.34 | 1505 | 7160 | 0.908 | 0.525 | 6500 | 3411 |

Tabel VII.2 Perhitungan Skin friction Resistance (Qs) dan Point Break Capacity (Qp)

| Depth m | A_p m^2 | Q_s_{clay} N | Q_s_{clay} kumulatif | Q_p_{clay} N | Q_p_{clay} kumulatif |
|------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 0 | 0.045 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.045 | 2009.59 | 2009.5878 | 0 | 0 |
| 2 | 0.045 | 4019.2 | 6028.7633 | 0 | 0 |
| 3 | 0.045 | 15251.7 | 21280.462 | 0 | 0 |
| 4 | 0.045 | 20335.6 | 41616.061 | 0 | 0 |
| 5 | 0.045 | 25419.5 | 67035.559 | 0 | 0 |
| 6 | 0.045 | 58792.31135 | 125827.87 | 0 | 0 |
| 7 | 0.045 | 68591.02991 | 194418.9 | 0 | 0 |
| 8 | 0.045 | 78389.74846 | 272808.65 | 0 | 0 |
| 9 | 0.045 | 88188.46702 | 360997.12 | 2641.77 | 2641.77 |
| 10 | 0.045 | 97987.18558 | 458984.3 | 2641.77 | 5283.55 |
| 11 | 0.045 | 107785.9041 | 566770.21 | 2641.77 | 7925.32 |
| 12 | 0.045 | 117584.6227 | 684354.83 | 2641.77 | 10567.1 |
| 13 | 0.045 | 127383.3413 | 811738.17 | 2641.77 | 13208.9 |

Tabel 3 Perhitungan Beban effektif

| Depth m | Berat baja (W) N | F bouy per meter (N) | Berat baja effektif (N) | Penentuan beban (N) | Penentuan beban (kN) | ket. |
|---------|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|-------|
| 0 | 0.0 | 0 | 0 | -360902.7 | -360.90275 | tarik |
| 1 | 50442.1 | 6603.2 | 43838.88 | -317063.9 | -317.06387 | tarik |
| 2 | 100884.2 | 13206.4 | 87677.761 | -273225 | -273.22499 | tarik |
| 3 | 151326.3 | 19809.6 | 131516.64 | -229386.1 | -229.38611 | tarik |
| 4 | 201768.4 | 26412.8 | 175355.52 | -185547.2 | -185.54723 | tarik |
| 5 | 252210.5 | 33016.1 | 219194.40 | -141708.3 | -141.70835 | tarik |
| 6 | 302652.5 | 39619.3 | 263033.28 | -97869.47 | -97.869465 | tarik |
| 7 | 353094.6 | 46222.5 | 306872.16 | -54030.59 | -54.030585 | tarik |
| 8 | 403536.7 | 52825.7 | 350711.04 | -10191.7 | -10.191705 | tarik |
| 9 | 453978.8 | 59428.9 | 394549.92 | 33647.175 | 33.647175 | tekan |
| 10 | 504420.9 | 66032.1 | 438388.8 | 77486.056 | 77.486056 | tekan |
| 11 | 554863.0 | 72635.3 | 482227.68 | 121324.94 | 121.32494 | tekan |
| 12 | 605305.1 | 79238.5 | 526066.56 | 165163.82 | 165.16382 | tekan |

Tabel 4 Perhitungan Daya Dukung ultimate (Qult)

| Depth m | Q _{s_{clay}} kumulatif | Q _{P_{clay}} kumulatif | Qult N | Qult kN |
|---------|--|--|-----------|------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2009.6 | 0 | 45848.47 | 45.85 |
| 2 | 6028.8 | 0 | 93706.524 | 93.71 |
| 3 | 21280.5 | 0 | 152797.1 | 152.80 |
| 4 | 41616.1 | 0 | 216971.6 | 216.97 |
| 5 | 67035.6 | 0 | 286230.0 | 286.23 |
| 6 | 125827.9 | 0 | 388861.2 | 388.86 |
| 7 | 194418.9 | 0 | 501291.1 | 501.29 |
| 8 | 272808.6 | 0.00 | 623519.7 | 623.52 |
| 9 | 360997.1 | 2641.77 | 363638.9 | 363.64 |
| 10 | 458984.3 | 5283.55 | 464267.85 | 464.27 |
| 11 | 566770.2 | 7925.32 | 574695.52 | 574.70 |
| 12 | 684354.8 | 10567.1 | 694921.92 | 694.92 |

Tabel 5 Daya Dukung Yang Dijijinkan (Qall)

Diketahui SF =
 1.5 dalam kondisi ekstrim
 2 dalam kondisi operasional

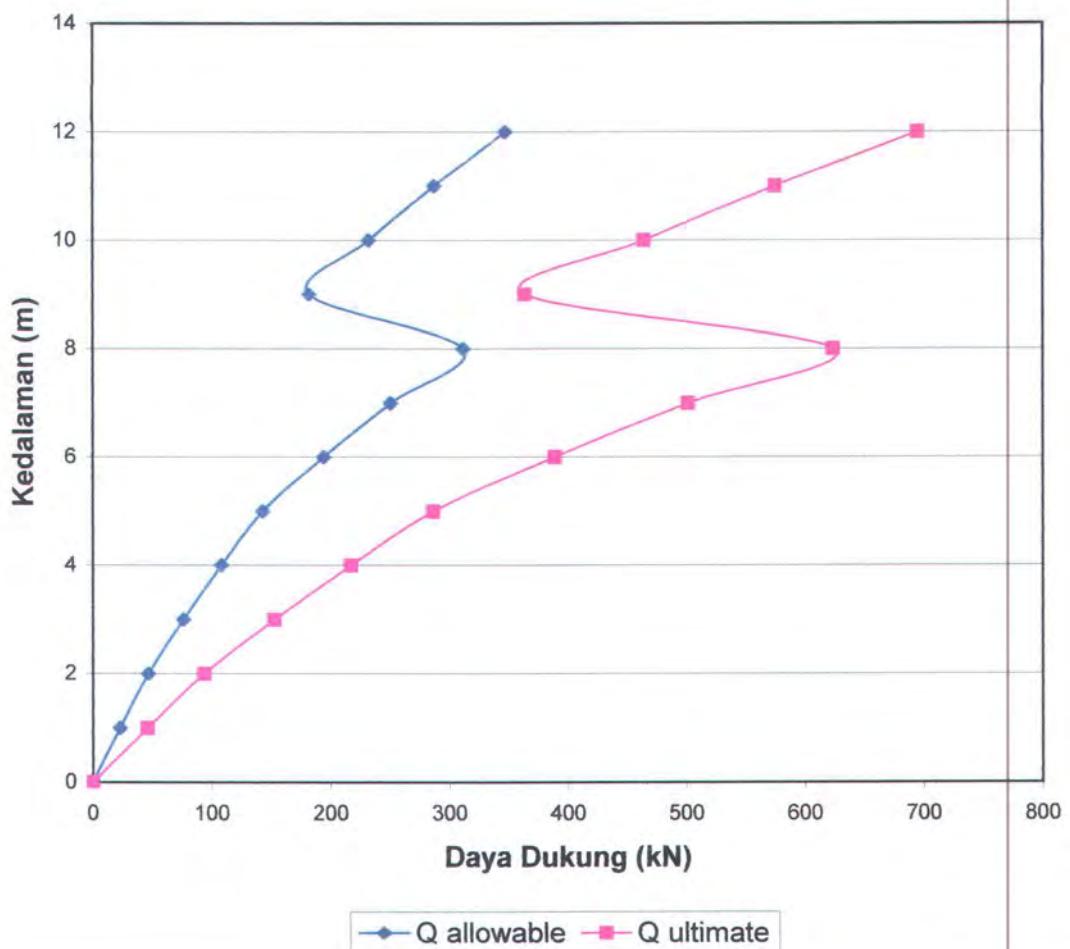
Tabel VII.4 Perhitungan Q allowable dalam kondisi ekstrim

| Depth m | Qult kN | Qall kN | F beban KN | Desain pondasi |
|---------|-------------|-------------|---------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 360.90275 | tidak aman |
| 1 | 45.84846806 | 30.56564537 | 317.06387 | tidak aman |
| 2 | 93.70652389 | 62.47101593 | 273.22499 | tidak aman |
| 3 | 152.797103 | 101.8647354 | 229.38611 | tidak aman |
| 4 | 216.9715818 | 144.6477212 | 185.54723 | tidak aman |
| 5 | 286.2299602 | 190.8199734 | 141.70835 | aman |
| 6 | 388.8611518 | 259.2407679 | 97.869465 | aman |
| 7 | 501.291062 | 334.1940413 | 54.030585 | aman |
| 8 | 623.52 | 415.6797938 | 10.191705 | aman |
| 9 | 363.6388883 | 242.4259255 | 33.647175 | aman |
| 10 | 464.2678467 | 309.5118978 | 77.486056 | aman |
| 11 | 574.6955236 | 383.1303491 | 121.32494 | aman |
| 12 | 694.9219191 | 463.2812794 | 165.16382 | aman |

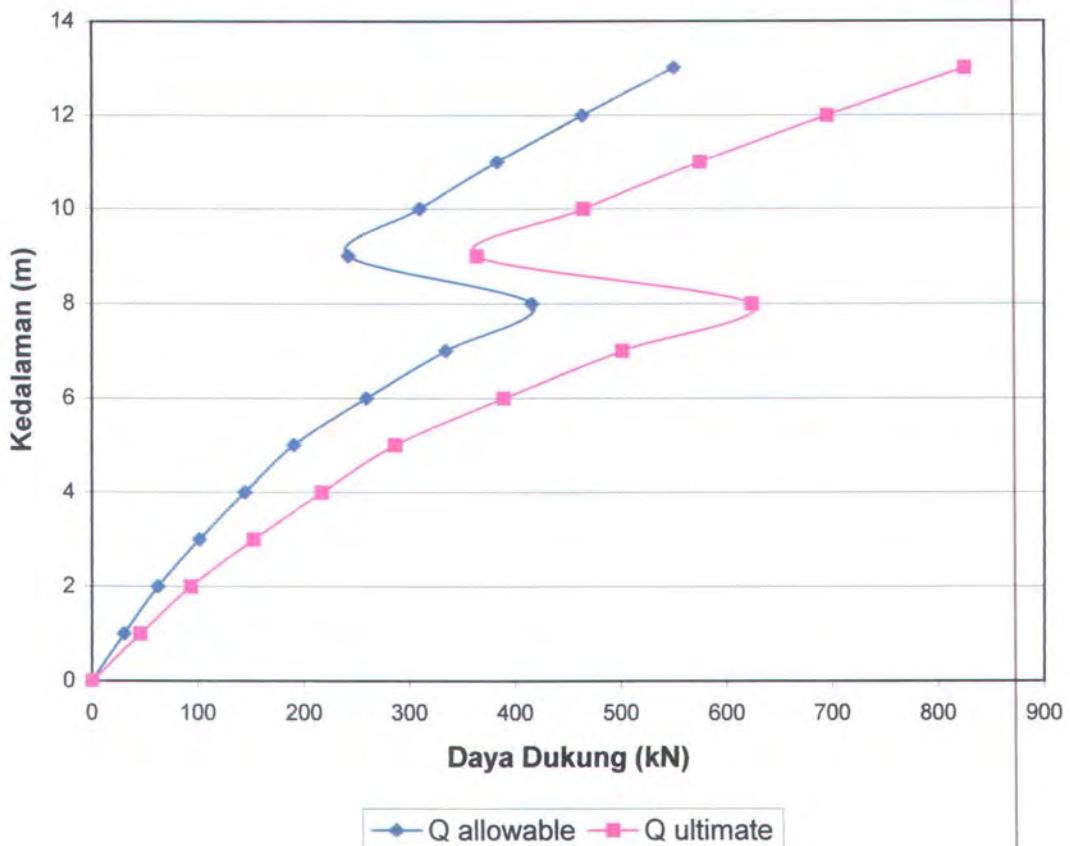
Tabel 7 Perhitungan Qallowable dalam kondisi operasional

| Depth m | Qult kN | Qall kN | F beban KN | Desain pondasi |
|------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 360.90 | tidak aman |
| 1 | 45.84846806 | 22.92423403 | 317.06 | tidak aman |
| 2 | 93.70652389 | 46.85326195 | 273.22 | tidak aman |
| 3 | 152.797103 | 76.39855152 | 229.39 | tidak aman |
| 4 | 216.9715818 | 108.4857909 | 185.55 | tidak aman |
| 5 | 286.2299602 | 143.1149801 | 141.71 | aman |
| 6 | 388.8611518 | 194.4305759 | 97.87 | aman |
| 7 | 501.291062 | 250.645531 | 54.03 | aman |
| 8 | 623.5196907 | 311.7598454 | 10.19 | aman |
| 9 | 363.6388883 | 181.8194441 | 33.65 | aman |
| 10 | 464.2678467 | 232.1339233 | 77.49 | aman |
| 11 | 574.6955236 | 287.3477618 | 121.32 | aman |
| 12 | 694.9219191 | 347.4609595 | 165.16 | aman |

Grafik daya Dukung Tanah vs Kedalaman dalam kondisi Operasional



Grafik Daya Dukung vs Kedalaman dalam kondisi Ekstrem



VII.4.1.5 Perhitungan Stabilitas Material Tiang Pancang

Material tiang pancang untuk pondasi diatas terbuat dari material baja dengan panjang 8 dan 10 meter

Menurut API - WSD untuk *structural steel pipe* dapat digunakan tipe pile baja standard ASTM A53 (Grade B)

$$\begin{aligned} \text{Gaya Tarik} &= 360902.7472 \text{ N} \\ A_p &= 0.045158509 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yield Strength (Tegangan Luluh)} &: 240 \text{ Mpa} \\ \text{Tensile Strength (Tegangan Tarik)} &: 415 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Syarat Stabilitas Material

$$\sigma_{\text{design}} < \sigma_{\text{ijin material}}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{design}} &= P_{\max}/A \\ &= 7991910.088 \text{ N/m}^2 = 7.99191 \text{ Mpa} \\ \sigma_{\text{Design}} &< \sigma_{\text{Material}} \end{aligned}$$

Lampiran V
Perhitungan massa struktur, massa tambah, dan kekakuan
struktur

Cipta Karya
(031) 5941926

Perhitungan Deadweight anchor

Syarat yang harus diperhatikan pada Deadweight anchor :

1. Deadweight anchor tetap diam tidak bergeser ($F_g > F_{surge}$)
2. Daya dukung tanah (Q_{all}) > dari Deadweight anchor agar syarat dari bouy tidak turun

$$\rho_{\text{beton}} = 2410 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{baja}} = 7830 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_s \text{ beton} = 0.5$$

Untuk Beton : $\sum F_x = 0$

$$F_g = SF * F_{\text{surge}}$$
 SF untuk *slidding* adalah 1,5

$$F_g \text{ beton} = 1.5 * F_{\text{surge}} = 420400.27 \text{ N}$$

$$\mu_s \text{ beton} W = 420400.27 \text{ N}$$

$$\text{Berat minimum Deadweight anchor (W)} = 840800.54 \text{ N}$$

$$V = W / (\rho g)$$

$$V = 35.564 \text{ m}^3$$

Deadweight anchor yang terbuat dari beton memiliki Volume (V) = 35.5637 m³

Deadweight anchor tersebut dirancang sebagai berikut :

$$p = 5.5133 \text{ m} = 5513 \text{ mm}$$

$$l = 5.5133 \text{ m} = 5513 \text{ mm}$$

$$t = 1.17 \text{ m} = 1170 \text{ mm}$$

memiliki luasan (A_p) = 30.40 m²

Perhitungan Daya Dukung tanah untuk *shallow poudations*

menurut API RP 2A WSD :

$$Q_{\text{ult}} = 6,17 c A$$

$$125655.37 \text{ kg}$$

$$1232679.14 \text{ N}$$

$$Q_{\text{all}} = Q_{\text{ult}} / SF$$
 SF untuk *Bearing* adalah 2

$$Q_{\text{all}} = 616339.57 \text{ N}$$

$$P_u = 613421.3733 \text{ N}$$

Karena Daya Dukung tanah (Q_{all}) > P ultimate

maka desain pondasi tidak mengalami penurunan

Perencanaan Pondasi Telapak Persegi

digunakan :

$$\text{beban mati} = 840800.54 \text{ N}$$

$$\text{beban hidup} = 227379.17 \text{ N}$$

Asumsi yang digunakan :

$$\begin{aligned} f_c &= 35 \text{ Mpa (Beton C35)} \\ f_y &= 400 \text{ Mpa (Baja Grade 400)} \\ \text{Diameter anchor (R)(# 55)} &= 56.4 \text{ mm} = 0.0564 \text{ m} \\ \text{jari2} &= 28.2 \text{ mm} = 0.0282 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan (r)(# 55)} = 56.4 \text{ mm} = 0.0564 \text{ m}$$

a) Periksa pemindahan beban pada dasar anchor

$$\begin{aligned} \phi P_n &\quad \phi (0.85 f_c) * A_g = 0.05203 \text{ MN} \\ \phi P_n &= < \text{ dari } P_u \dots \text{ tidak oke} \\ P_u \text{ kelebihan : } P_u - \phi P_n &= 0.739 \text{ MN} \\ A_s \text{ perlu} = P_u \text{ kelebihan} / (\phi f_y) &= 0.00215 \text{ m}^2 = 2149.0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Secara umum tegangan $0.85 f_c$ harus dikurangkan dari f_y dalam pasak untuk mengganti beton yang berkurang, sehingga secara lebih tepat :

$$A_s \text{ perlu} = P_u \text{ kelebihan} / (\phi * (f_y - 0.85 f_c)) = 0.00248 \text{ m}^2 = 2480 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter anchor #55 dengan $A_b = 2500 \text{ mm}^2$

Panjang penyaluran L_d minimum dalam tarik :

$$\begin{aligned} L_d &= 100 * d_b / (f_c^{0.5}) = 953 \text{ mm} \text{ menentukan} \\ L_1 &= \text{tebal} - 75 \text{ (selimut)} - (\text{diameter tulangan}) - (\text{diameter anchor}) \\ L_1 &= 982 \text{ mm} \\ L_1 &> L_{db} \text{ maka dapat diterima} \end{aligned}$$

b) tentukan tebal yang disyaratkan untuk kekuatan geser :

$$\begin{aligned} P_u &= (1.4 * \text{beban mati}) - (1.7 * \text{beban hidup}) \\ &= 790576.17 \text{ N} = 0.7906 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$P_{net} = P_u / A = 26008.9 \text{ N} = 26.01 \text{ kN}$$

$$\text{rata - rata } dv = \text{tebal} - 75 \text{ (selimut beton)} - db = 1039 \text{ mm} = 1.039 \text{ m}$$

Untuk aksi dua arah :

$$V_u = P_{net} * (\text{Luas luar} - \text{luas dalam}) = 790.51 \text{ kN} = 0.79051 \text{ MN}$$

$$\text{diperlukan } V_n = V_u / \phi = 0.93 \text{ MN}$$

$$\text{Radius geseran beban dengan bentang dua arah} = (r / 2) + (dv / 2) = 0.5475 \text{ m}$$

$$V = V_n / (b_o * d) = 0.260 \text{ Mpa}$$

$$\text{diperkenankan } v_c = (f_c)^{0.5} / 3 = 1.972 \text{ Mpa}$$

$$v_c > \text{dari } V \dots \text{ oke}$$

Untuk aksi satu arah :

$$\text{minimum } dm = \text{tebal} - 75 - (1.5 * db) = 1010.4 \text{ mm} = 1.0104 \text{ m}$$

$$\text{Panjang segment beban satu arah} = P/2 - (r / 2) - dm = 1.72 \text{ m}$$

$$V_u = 246.36 \text{ kN} = 0.2463564 \text{ MN}$$

$$\text{diperlukan } V_n = V_u / \phi = 0.290 \text{ MN}$$

$$V = V_n / (b * d) = 0.0520 \text{ Mpa}$$

$$\text{diperkenankan } v_c = (f_c)^{0.5} / 6 = 0.9860 \text{ Mpa}$$

$$v_c > \text{dari } V \dots \text{ oke}$$

c) Kekuatan momen lentur

| | | | |
|------------|--|---------------------------|----------------------|
| | Mu = Pnet * b * l ² / 2 = | 533.74 kN-m = | 0.53 MN-m |
| minimum | dm = | 1010 mm | |
| | Mn = Mu / φ = | 0.5930 MN-m | |
| perkiraan | z awal = 0.9 * dm = | 909.36 mm = | 0.91 m |
| | As = Mn / (f _y * z) = | 0.001630 m ² = | 1630 mm ² |
| | a = (As * f _y) / (0.85 * f _c * b) = | 0.003976 m = | 4 mm |
| | z akhir = | 1006 mm | |
| diperlukan | As = | 1473 mm ² | |

periksa terhadap minimum ρ = 1.4 / f_y = 0.00350

| | | |
|--|--------------------------|-----------------------|
| As tersedia = ρ * b * d = | 0.01950 m ² = | 19497 mm ² |
| As terdsedia > | As diperlukan = | 1473 mm ² |
| <u>Coba tulangan 8 - #55</u> dengan Ab = | 2500 mm ² | |
| As = | 20000 mm ² | |

Periksa penyaluran tulangan pada beton

Ld (#55) = 34 * f_y / (f_c)^{0.5} = 2299 mm

| | | |
|---|-----|---------|
| l _d tersedia = (l/2) - jari2 - 100 (penutup beton ujung) | = | 2628 mm |
| l _d tersedia > Ld (#55) | oke | |

d) jarak antar tulangan : (5513 - (8*56.4)-200) / (8 - 1)
= 695 mm

Data Struktur :

| | |
|---------------|------------------------------|
| Bouy Height = | 5.4 m |
| Bouy Draft = | 4.57 m |
| D = | 11 m |
| L = | 4.57 m |
| KB = | 2.285 |
| A = | 95.03317777 m ² |
| Ca = | 1 |
| Cd = | 0.65 |
| d = | 25 m |
| V = | $\pi r^2 h$ |
| | = 434.3016224 m ³ |
| J_{yy}^2 | = I / A |
| | = $\frac{\pi r^4}{4A}$ |
| | = 7.5625 |
| ρ | = 1025 kg/m ³ |

Titik Koordinat (dari titik G) :

| | x | y | z |
|---|---|---|------|
| 1 | 0 | 0 | -2.7 |
| 2 | 0 | 0 | 1.87 |

Parameter

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| $\cos \alpha = (x_2 - x_1)/L$ | $x_m = (x_2 + x_1)/L$ |
| = 0 | = 0 |
| $\alpha = 90$ | |
| $\cos \gamma = (z_2 - z_1)/L$ | $y_m = (y_2 + y_1)/L$ |
| = 1 | = 0 |
| $\gamma = 0$ | |

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| $\cos \beta = (y_2 - y_1)/L$ | $z_m = (z_2 + z_1)/L$ |
| = 0 | = -0.18162 |
| $\beta = 90$ | |

$$X_n = (X_1^2 + X_1 X_2 + X_2^2) / 3 = 0$$

$$Y_n = (Y_1^2 + Y_1 Y_2 + Y_2^2) / 3 = 0$$

$$Z_n = (Z_1^2 + Z_1 Z_2 + Z_2^2) / 3 = 1.91263$$

$$(ZX)_n = (2 Z_1 X_1 + 2 Z_2 X_2 + Z_1 X_2 + Z_2 X_1) / 6 = 0$$

Untuk $X_1 X_2 >= 0$

$$I_x = \text{sgn}(Xm) (X_1^3 + X_1^2 X_2 + X_1 X_2^2 + X_2^3) / 4$$

$$I_x = 0$$

$$I_{zx[x]} = \{Z_2(X_1^2 + 2X_1 X_2 + 3X_2^2) + Z_1(3X_1^2 + 2X_1 X_2 + X_2^2)\} / 12$$

$$I_{zx[x]} = 0$$

Untuk $Z_1 Z_2 >= 0$

$$I_z = \text{sign}(Zm) (Z_1^3 + Z_1^2 Z_2 + Z_1 Z_2^2 + Z_2^3) / 4$$

$$I_z = 8.00676425$$

$$I_{zx[z]} = \{X_2(Z_1^2 + 2Z_1 Z_2 + 3Z_2^2) + X_1(3Z_1^2 + 2Z_1 Z_2 + Z_2^2)\} / 12$$

$$I_{zx[z]} = 0$$

$$\begin{aligned} GM &= BM + KB - KG \\ &= 1.239814004 \end{aligned} \quad m$$

$$KB = 2.285$$

$$KG = 2.7$$

$$BM = I/V = 1.654814004$$

Menghitung Massa

Massa Struktur :

$$\begin{aligned} m_{11} = m_{33} = m_{55} &= \rho \pi D^2 L / 4 \\ &= 445159.163 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$m_{55} * J_{yy}^2 = 25459278.54 \quad \text{kg}$$

Massa Tambah :

$$k_1 = \rho C_a \pi D^2 L / 4 = 445159.163 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} m_{a11} &= k_1 * \sin^2 \alpha \\ &= 445159.163 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{a33} &= k_1 * \sin^2 \gamma \\ &= 0 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{a55} &= m_{a33} * X_n - 2 * m_{a31} (ZX)_n + m_{a11} * Z_n \\ &= 851426.254 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

Menghitung Damping Forces :

$$\begin{aligned} K_2 &= 0.5 * \rho * C_d * L * D \\ &= 16746.19375 \quad \text{kg} \\ b_{11} &= K_2 * [\sin^3 \alpha] \\ &= 16746.19375 \\ b_{13} &= -K_2 * \cos \alpha * \cos \gamma * [\sin \gamma] \\ &= 0 \\ b_{31} &= -K_2 * \cos \alpha * \cos \gamma * [\sin \alpha] \\ &= 0 \\ b_{33} &= K_2 * [\sin^3 \gamma] \\ &= 0 \\ b_{55} &= b_{11} l_z - b_{13} l_{zx[x]} - b_{31} l_{zx[z]} + b_{33} l_x \\ &= 134082.8254 \end{aligned}$$

Menghitung Restoring Force :

$$\begin{aligned} k_{33} &= \rho g A_w \\ &= 955582.3608 \quad \text{N / m} \\ k_{55} &= \rho g V (GM)_p \\ &= 5414281.877 \quad \text{N / m} \end{aligned}$$

Lampiran VI
Perhitungan kekakuan tali tambat pada SALM

Cipta Karya
(031) 5941926

**Perhitungan Kekakuan Tali Tambat Untuk Gerakan Surge dan Heave
Pada SALM**

Untuk $d = 20.5 \text{ mm}$ $T = 175 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 20.43 \text{ m} \\ x_1 &= 0 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= 0 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0 & \cos \gamma &= 1 \\ \alpha &= 90 & \gamma &= 0 \\ \sin \alpha &= 1 & \sin \gamma &= 0 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 8.565835 \text{ kN/m} = 8565.83456 \text{ N/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Untuk $d = 24 \text{ mm}$ $T = 237 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 20.43 \text{ m} \\ x_1 &= 0 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= 0 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0 & \cos \gamma &= 1 \\ \alpha &= 90 & \gamma &= 0 \\ \sin \alpha &= 1 & \sin \gamma &= 0 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 11.60059 \text{ kN/m} = 11600.5874 \text{ N/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Untuk $d = 28 \text{ mm}$ $T = 321 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 20.43 \text{ m} \\ x_1 &= 0 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= 0 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0 & \cos \gamma &= 1 \\ \alpha &= 90 & \gamma &= 0 \\ \sin \alpha &= 1 & \sin \gamma &= 0 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 15.71219 \text{ kN/m} = 15712.188 \text{ N/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada

Untuk $d = 32 \text{ mm}$ $T = 417 \text{ kN}$
 $\lambda = 33000 \text{ kN/m}$
 $L = 20.43 \text{ m}$
 $x_1 = 0 \text{ m}$ $z_1 = -25 \text{ m}$
 $x_2 = 0 \text{ m}$ $z_2 = -4.57 \text{ m}$
 $\cos \alpha = 0$ $\cos \gamma = 1$
 $\alpha = 90$ $\gamma = 0$
 $\sin \alpha = 1$ $\sin \gamma = 0$

$$k_{11} = \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ = 20.41116 \text{ kN/m} = 20411.1601 \text{ N/m}$$

$$k_{33} = \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ = 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}$$

Untuk $d = 36 \text{ mm}$ $T = 523 \text{ kN}$
 $\lambda = 33000 \text{ kN/m}$
 $L = 20.43 \text{ m}$
 $x_1 = 0 \text{ m}$ $z_1 = -25 \text{ m}$
 $x_2 = 0 \text{ m}$ $z_2 = -4.57 \text{ m}$
 $\cos \alpha = 0$ $\cos \gamma = 1$
 $\alpha = 90$ $\gamma = 0$
 $\sin \alpha = 1$ $\sin \gamma = 0$

$$k_{11} = \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ = 25.59961 \text{ kN/m} = 25599.6084 \text{ N/m}$$

$$k_{33} = \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ = 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}$$

Untuk $d = 40 \text{ mm}$ $T = 640 \text{ kN}$
 $\lambda = 33000 \text{ kN/m}$
 $L = 20.43 \text{ m}$
 $x_1 = 0 \text{ m}$ $z_1 = -25 \text{ m}$
 $x_2 = 0 \text{ m}$ $z_2 = -4.57 \text{ m}$
 $\cos \alpha = 0$ $\cos \gamma = 1$
 $\alpha = 90$ $\gamma = 0$
 $\sin \alpha = 1$ $\sin \gamma = 0$

$$k_{11} = \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ = 31.32648 \text{ kN/m} = 31326.4807 \text{ N/m}$$

$$k_{33} = \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ = 33000 \text{ kN/m} = 33000000 \text{ N/m}$$

Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran VH
Perhitungan nilai damping pada SALM



Cipta Karya
(031) 5941926

Koefisien Damping Gerakan Surge pada SALM pada D = 177 mm

$$m = 890318.2 \text{ kg}$$

$$b = 126361.908 \text{ N/m}$$

$$k = 448360.2545 \text{ N/m}$$

$$F(t) = 242802.97 \text{ N}$$

$$t = 1 \text{ dt}$$

$$bv = 16746.19375 \text{ N/m}$$

| (i) | $mw^2 \sin(wt)$ | $bw \cos(wt)$ | $k \sin(wt)$ | $X_a w$ |
|-----|-----------------|---------------|--------------|-----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | #DIV/0! |
| 0.1 | 888.8350781 | 12573.06248 | 44761.34 | 0.430154 |
| 0.2 | 7075.15684 | 24768.61655 | 89075.43 | 0.45482 |
| 0.3 | 23679.63166 | 36215.44246 | 132499.5 | 0.502229 |
| 0.4 | 55472.99801 | 46554.80983 | 174599.7 | 0.586192 |
| 0.5 | 106710.3206 | 55446.50347 | 214955.4 | 0.741648 |
| 0.6 | 180976.1294 | 62574.58982 | 253163.2 | 1.081033 |
| 0.7 | 281043.7785 | 67652.84267 | 288841.6 | 2.252625 |
| 0.8 | 408752.1175 | 70429.75128 | 321634 | -11.63936 |
| 0.9 | 564902.2654 | 70693.03945 | 351212.7 | -1.528167 |
| 1 | 749176.9325 | 68273.63026 | 377282.1 | -0.799691 |
| 1.1 | 960084.3405 | 63048.9985 | 399582 | -0.536901 |
| 1.2 | 1194928.36 | 54945.86068 | 417889.3 | -0.403499 |
| 1.3 | 1449806.028 | 43942.16108 | 432021.2 | -0.324122 |
| 1.4 | 1719633.106 | 30068.32146 | 441836.5 | -0.272434 |
| 1.5 | 1998197.867 | 13407.73165 | 447237.1 | -0.236873 |
| 1.6 | 2278242.742 | -5903.53176 | 448169.1 | -0.211596 |
| 1.7 | 2551572.992 | -27677.7614 | 444623.1 | -0.193366 |
| 1.8 | 2809191.034 | -51677.4423 | 436634.6 | -0.180282 |
| 1.9 | 3041454.569 | -77617.8244 | 424283.3 | -0.171192 |
| 2 | 3238256.193 | -105170.217 | 407692.8 | -0.165412 |
| 2.1 | 3389221.752 | -133965.966 | 387028.8 | -0.162583 |
| 2.2 | 3483924.265 | -163601.073 | 362497.7 | -0.162606 |
| 2.3 | 3512109.939 | -193641.391 | 334344.6 | -0.165642 |
| 2.4 | 3463932.459 | -223628.344 | 302850.8 | -0.172165 |
| 2.5 | 3330191.513 | -253085.09 | 268331.1 | -0.183112 |
| 2.6 | 3102571.313 | -281523.054 | 231130.3 | -0.20022 |
| 2.7 | 2773874.785 | -308448.758 | 191620.2 | -0.226785 |
| 2.8 | 2338249.007 | -333370.836 | 150195.4 | -0.269629 |
| 2.9 | 1791397.55 | -355807.166 | 107269.9 | -0.345172 |
| 3 | 1130775.404 | -375292.022 | 63272.6 | -0.50486 |
| 3.1 | 355762.3973 | -391383.134 | 18643.12 | -1.033201 |
| 3.2 | -532188.798 | -403668.584 | -26172.6 | 7.59148 |
| 3.3 | -1529433.66 | -411773.432 | -70726.9 | 0.76533 |
| 3.4 | -2630049.05 | -415365.978 | -114574 | 0.393089 |
| 3.5 | -3825781.48 | -414163.588 | -157277 | 0.261131 |
| 3.6 | -5106032.7 | -407937.976 | -198409 | 0.194256 |
| 3.7 | -6457884.57 | -396519.891 | -237557 | 0.154258 |
| 3.8 | -7866164.24 | -379803.119 | -274333 | 0.127932 |
| 3.9 | -9313550.39 | -357747.745 | -308367 | 0.109504 |
| 4 | -10780720.6 | -330382.62 | -339320 | 0.096055 |

Dari tabel diatas didapat nilai X'_{\max} yaitu 7,59148 kemudian diiterasi seperti tabel dibawah ini

| $X_a w$ | av | $mw^2 \sin(wt)$ | $b X'$ | k | $X_a w$ | akhir | $\Delta X'$ |
|---------|------|-----------------|-------------|----------|----------|----------|-------------|
| 7.5915 | | -532188.798 | -344722.947 | -26172.6 | 4.817125 | 0 | |
| 4.8171 | | -532188.798 | -218741.734 | -26172.6 | 2.704625 | -2.1125 | |
| 2.7046 | | -532188.798 | -122814.817 | -26172.6 | 2.027575 | -0.67705 | |
| 2.0276 | | -532188.798 | -92070.5437 | -26172.6 | 1.876985 | -0.15059 | |
| 1.877 | | -532188.798 | -85232.3458 | -26172.6 | 1.846481 | -0.0305 | |
| 1.8465 | | -532188.798 | -83847.2268 | -26172.6 | 1.840423 | -0.00606 | |
| 1.8404 | | -532188.798 | -83572.1275 | -26172.6 | 1.839225 | -0.0012 | |
| 1.8392 | | -532188.798 | -83517.7046 | -26172.6 | 1.838988 | -0.00024 | |
| 1.839 | | -532188.798 | -83506.9465 | -26172.6 | 1.838941 | -4.7E-05 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.8202 | -26172.6 | 1.838932 | -9.3E-06 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.3999 | -26172.6 | 1.83893 | -1.8E-06 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.3169 | -26172.6 | 1.83893 | -3.6E-07 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.3005 | -26172.6 | 1.838929 | -7.1E-08 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2972 | -26172.6 | 1.838929 | -1.4E-08 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2966 | -26172.6 | 1.838929 | -2.8E-09 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2965 | -26172.6 | 1.838929 | -5.5E-10 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -1.1E-10 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -2.2E-11 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -4.3E-12 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -8.4E-13 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -1.7E-13 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -3.3E-14 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | -6.4E-15 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | 0 | |
| 1.8389 | | -532188.798 | -83504.2964 | -26172.6 | 1.838929 | 0 | |

$$X'_{\max} : 1.83893$$

Sehingga didapat nilai damping :

$$b = bv (8/3\pi) (X'_{\max})$$

$$b = 26139.66662 \text{ N/m}$$

Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran VIII
Grafik dan tabel RAO pada SALM

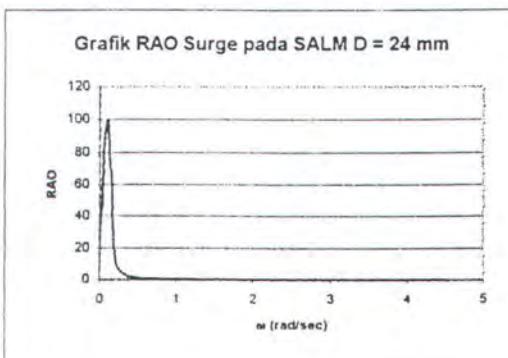
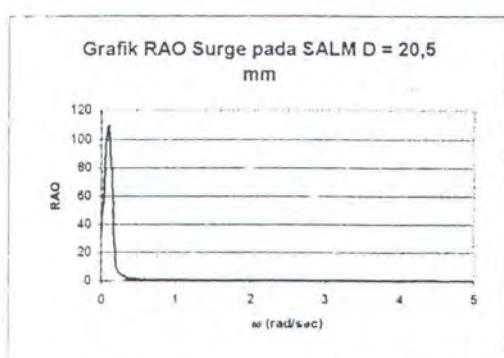
Cipta Karya
(031) 5941926

Grafik dan Tabel RAO Surge pada SALM

D = 20,5 mm b = 24328 23932 N/m D = 24 mm b = 57558 58725 N/m
 T = 175 KN T = 237 KN
 km = 8565 835 N/m km = 11600 587 N/m

| ω | $((m^{*w}) * (km + k))^{1/2}$ | Xa ₁ | Xa ₁ / Zo | RAO ₁ |
|----------|-------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| 0 | 8565 835 | 28 3455109 | 31 49501211 | |
| 0.1 | 2456 101781 | 98 85704709 | 109 8411634 | |
| 0.2 | 2748 06924 | 8 835281017 | 9 816978908 | |
| 0.3 | 71934 0236 | 3 375356434 | 3 750396037 | |
| 0.4 | 134238 2816 | 1 808746108 | 2 009717898 | |
| 0.5 | 214359 1536 | 1 132692331 | 1 258547035 | |
| 0.6 | 312290 0819 | 0 777491773 | 0 863879747 | |
| 0.7 | 428029 0434 | 0 567258164 | 0 630286849 | |
| 0.8 | 561575 2372 | 0 432360534 | 0 480400593 | |
| 0.9 | 712928 2927 | 0 340571376 | 0 37841264 | |
| 1 | 882088 0187 | 0 275259344 | 0 305843716 | |
| 1.1 | 1069054 308 | 0 227119397 | 0 252354885 | |
| 1.2 | 1273827 097 | 0 190609047 | 0 21178783 | |
| 1.3 | 1496406 346 | 0 162257377 | 0 180285975 | |
| 1.4 | 1736792 029 | 0 13979968 | 0 155332977 | |
| 1.5 | 1994984 128 | 0 121706717 | 0 135229686 | |
| 1.6 | 2270982 631 | 0 106915379 | 0 118794866 | |
| 1.7 | 2564787 529 | 0 094667889 | 0 105186521 | |
| 1.8 | 2876398 816 | 0 084421236 | 0 093791263 | |
| 1.9 | 3205816 487 | 0 075738262 | 0 084153625 | |
| 2 | 3553040 539 | 0 068336673 | 0 075929637 | |
| 2.1 | 3918070 969 | 0 061970028 | 0 068855587 | |
| 2.2 | 4300907 775 | 0 056453889 | 0 062726543 | |
| 2.3 | 4701550 954 | 0 051643165 | 0 057381294 | |
| 2.4 | 5120000 507 | 0 04742245 | 0 052691611 | |
| 2.5 | 5556256 431 | 0 043699022 | 0 048554468 | |
| 2.6 | 6010318 726 | 0 040397686 | 0 044886318 | |
| 2.7 | 6482187 391 | 0 03745695 | 0 041618833 | |
| 2.8 | 6971362 426 | 0 034826127 | 0 038695697 | |
| 2.9 | 7479343 83 | 0 032463138 | 0 036070153 | |
| 3 | 8004631 602 | 0 03033281 | 0 033703122 | |
| 3.1 | 8547725 743 | 0 028405564 | 0 031561738 | |
| 3.2 | 9108626 252 | 0 026656376 | 0 029618196 | |
| 3.3 | 9687333 129 | 0 025063964 | 0 027848849 | |
| 3.4 | 10283846 37 | 0 023610132 | 0 02623348 | |
| 3.5 | 10898165 98 | 0 02227925 | 0 024754723 | |
| 3.6 | 11530291 96 | 0 021057834 | 0 023397593 | |
| 3.7 | 12180224 31 | 0 019934195 | 0 022149106 | |
| 3.8 | 12847963 02 | 0 018898168 | 0 020997965 | |
| 3.9 | 13533508 1 | 0 017940874 | 0 019934305 | |
| 4 | 14236859 55 | 0 017054531 | 0 018949479 | |
| 4.1 | 14958017 36 | 0 016232296 | 0 018035885 | |
| 4.2 | 15896981 54 | 0 015468131 | 0 017186812 | |
| 4.3 | 16453752 09 | 0 014756693 | 0 016396326 | |
| 4.4 | 17228329 | 0 01409324 | 0 015659155 | |
| 4.5 | 18020712 28 | 0 01347355 | 0 014970611 | |

| ω | $((m^{*w}) * (km + k))^{1/2}$ | Xa ₁ | Xa ₁ / Zo | RAO ₁ |
|----------|-------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| 0 | 11600 587 | 20 93023132 | 23 25581258 | |
| 0.1 | 2697 404 | 90 01357208 | 100 0150801 | |
| 0.2 | 24012 145 | 10 11167346 | 11 23519274 | |
| 0.3 | 68528 06 | 3 543117511 | 3 936797234 | |
| 0.4 | 130850 341 | 1 855577659 | 2 061752954 | |
| 0.5 | 210978 988 | 1 150839577 | 1 278710641 | |
| 0.6 | 308914 001 | 0 785988879 | 0 873320977 | |
| 0.7 | 424655 38 | 0 571764732 | 0 635294146 | |
| 0.8 | 558203 125 | 0 434972429 | 0 483302699 | |
| 0.9 | 709557 236 | 0 342189406 | 0 380210452 | |
| 1 | 878717 713 | 0 276315096 | 0 307016774 | |
| 1.1 | 1065684 556 | 0 22783756 | 0 253152845 | |
| 1.2 | 1270457 765 | 0 191114554 | 0 212349505 | |
| 1.3 | 1493037 34 | 0 162623508 | 0 180692786 | |
| 1.4 | 1733423 281 | 0 140071367 | 0 155634853 | |
| 1.5 | 1991615 588 | 0 121912567 | 0 135458408 | |
| 1.6 | 2267614 261 | 0 107074194 | 0 118971327 | |
| 1.7 | 2561419 3 | 0 094792356 | 0 10532484 | |
| 1.8 | 2873030 705 | 0 084511094 | 0 093901216 | |
| 1.9 | 3202448 476 | 0 075817916 | 0 084242129 | |
| 2 | 3549672 613 | 0 068401511 | 0 076001679 | |
| 2.1 | 3914703 116 | 0 062023342 | 0 068914824 | |
| 2.2 | 4297539 985 | 0 056498129 | 0 062775699 | |
| 2.3 | 4698183 22 | 0 051680183 | 0 057422426 | |
| 2.4 | 5116632 821 | 0 047453663 | 0 052726292 | |
| 2.5 | 5552688 788 | 0 043725524 | 0 048583915 | |
| 2.6 | 6006951 121 | 0 040420334 | 0 044911482 | |
| 2.7 | 6478819 82 | 0 037476419 | 0 041640466 | |
| 2.8 | 6968494 885 | 0 034842957 | 0 0387114397 | |
| 2.9 | 7475976 316 | 0 032477761 | 0 036086401 | |
| 3 | 8001264 113 | 0 030345576 | 0 033717307 | |
| 3.1 | 8544358 276 | 0 028416759 | 0 031574177 | |
| 3.2 | 9105258 805 | 0 026666235 | 0 02962915 | |
| 3.3 | 9683965 7 | 0 02507268 | 0 027858533 | |
| 3.4 | 10280478 96 | 0 023617865 | 0 026242073 | |
| 3.5 | 10894798 59 | 0 022286137 | 0 024762374 | |
| 3.6 | 11526924 58 | 0 021063985 | 0 023404428 | |
| 3.7 | 12176856 94 | 0 019939708 | 0 022155231 | |
| 3.8 | 12844595 67 | 0 018903123 | 0 02100347 | |
| 3.9 | 13530140 76 | 0 01794534 | 0 019939266 | |
| 4 | 14233492 21 | 0 017058566 | 0 018953962 | |
| 4.1 | 14954650 04 | 0 016235951 | 0 018039946 | |
| 4.2 | 15693814 23 | 0 01547145 | 0 0171905 | |
| 4.3 | 16450384 78 | 0 014759714 | 0 016339682 | |
| 4.4 | 17224961 7 | 0 014095995 | 0 015662216 | |
| 4.5 | 18017344 99 | 0 013476068 | 0 014973409 | |



D = 28 mm b = -50108.38485 N/m
 T = 321 KN km = 15712.188 N/m

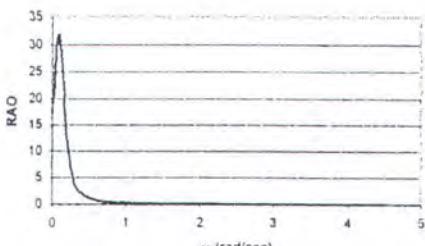
D = 32 mm b = -52136.79838 N/m
 T = 417 KN km = 20411.16 N/m

| m | $\{((m^2 \cdot n) + (km \cdot k))\}^{\frac{1}{2}}$ | Xa1 | Xa1 / Zo |
|------|--|-------------|-------------|
| RAO1 | | | |
| 0 | 15712.188 | 15.45316091 | 17.17017879 |
| 0.1 | 8454.055324 | 28.72023577 | 31.91143975 |
| 0.2 | 22281.50939 | 10.89706111 | 12.10784567 |
| 0.3 | 66147.2351 | 3.670644268 | 4.078493631 |
| 0.4 | 128313.8506 | 1.89225846 | 2.1025094 |
| 0.5 | 208379.0497 | 1.165198563 | 1.29466507 |
| 0.6 | 306281.5847 | 0.792744264 | 0.88082696 |
| 0.7 | 422004.0128 | 0.575357016 | 0.639285573 |
| 0.8 | 555539.7026 | 0.437057815 | 0.485619796 |
| 0.9 | 706885.6574 | 0.343482665 | 0.381647405 |
| 1 | 876040.3537 | 0.277159572 | 0.30795508 |
| 1.1 | 1063002.948 | 0.22841232 | 0.253791467 |
| 1.2 | 1267772.942 | 0.191519287 | 0.212799207 |
| 1.3 | 1490350.024 | 0.162016741 | 0.181018602 |
| 1.4 | 1730733.993 | 0.140289016 | 0.155876685 |
| 1.5 | 198894.712 | 0.122077506 | 0.135641674 |
| 1.6 | 2264922.089 | 0.107201486 | 0.119112741 |
| 1.7 | 2558726.055 | 0.094852132 | 0.105435702 |
| 1.8 | 2870336.562 | 0.084590418 | 0.093989353 |
| 1.9 | 3199753.574 | 0.075881771 | 0.084313079 |
| 2 | 3546977.064 | 0.068453493 | 0.076059437 |
| 2.1 | 3912007.01 | 0.062066087 | 0.068962319 |
| 2.2 | 4294843.397 | 0.056533602 | 0.062815114 |
| 2.3 | 4695486.211 | 0.051709867 | 0.057455408 |
| 2.4 | 5113935.444 | 0.047478693 | 0.052754103 |
| 2.5 | 5550191.085 | 0.043746777 | 0.04860753 |
| 2.6 | 6004253.13 | 0.040438497 | 0.044931663 |
| 2.7 | 6475121.572 | 0.037492034 | 0.041657815 |
| 2.8 | 6956796.408 | 0.034856455 | 0.038729395 |
| 2.9 | 7473277.632 | 0.032489489 | 0.036099432 |
| 3 | 7998565.243 | 0.030355815 | 0.033728684 |
| 3.1 | 8541659.238 | 0.028425738 | 0.031584154 |
| 3.2 | 9102559.614 | 0.026674142 | 0.029637936 |
| 3.3 | 9681266.371 | 0.02507967 | 0.0278663 |
| 3.4 | 10277779.5 | 0.023624069 | 0.026248965 |
| 3.5 | 10892099.02 | 0.02229166 | 0.024768511 |
| 3.6 | 11524224.9 | 0.02106892 | 0.023409911 |
| 3.7 | 12174157.16 | 0.01994413 | 0.021601044 |
| 3.8 | 12841895.8 | 0.018907097 | 0.021007886 |
| 3.9 | 13527440.81 | 0.017943921 | 0.019943246 |
| 4 | 14230792.18 | 0.017061803 | 0.018957559 |
| 4.1 | 14951949.94 | 0.016238883 | 0.018043204 |
| 4.2 | 15690914.06 | 0.015474113 | 0.017193458 |
| 4.3 | 16447684.55 | 0.014762137 | 0.016402374 |
| 4.4 | 17222261.41 | 0.014098205 | 0.015664672 |
| 4.5 | 18014644.65 | 0.013478088 | 0.014975654 |

| m | $\{((m^2 \cdot n) + (km \cdot k))\}^{\frac{1}{2}}$ | Xa1 | Xa1 / Zo |
|------|--|-------------|--------------|
| RAO1 | | | |
| 0 | 20411.16 | 11.89559875 | 13.21733194 |
| 0.1 | 12633.9228 | 19.21833648 | 21.3537072 |
| 0.2 | 18434.14281 | 13.17137292 | 14.6348588 |
| 0.3 | 61731.84244 | 3.933188445 | 4.370209384 |
| 0.4 | 123808.8215 | 1.96111203 | 2.179013367 |
| 0.5 | 203842.168 | 1.191132197 | 1.323480219 |
| 0.6 | 301729.4085 | 0.804704356 | 0.894115951 |
| 0.7 | 417443.2224 | 0.581643099 | 0.64627011 |
| 0.8 | 550973.5506 | 0.4406799 | 0.489644334 |
| 0.9 | 702315.9295 | 0.345717588 | 0.384130654 |
| 1 | 871468.1164 | 0.278613715 | 0.309570794 |
| 1.1 | 1058428.88 | 0.229399418 | 0.254888243 |
| 1.2 | 1263197.495 | 0.192212992 | 0.213569991 |
| 1.3 | 1485773.513 | 0.163418561 | 0.181576179 |
| 1.4 | 1726156.642 | 0.140661029 | 0.1562900032 |
| 1.5 | 1984346.689 | 0.122359148 | 0.135954608 |
| 1.6 | 2260343.516 | 0.107418615 | 0.119354016 |
| 1.7 | 2554147.029 | 0.095062252 | 0.105624725 |
| 1.8 | 2865757.157 | 0.084725591 | 0.094139546 |
| 1.9 | 3195173.849 | 0.075990535 | 0.084433928 |
| 2 | 3542397.065 | 0.068541997 | 0.076157775 |
| 2.1 | 3907426.777 | 0.062138841 | 0.069043156 |
| 2.2 | 4290262.961 | 0.05659396 | 0.062882178 |
| 2.3 | 4690905.599 | 0.051760361 | 0.057511513 |
| 2.4 | 5109354.677 | 0.047521259 | 0.052801399 |
| 2.5 | 5545610.182 | 0.043782913 | 0.048647681 |
| 2.6 | 599672.106 | 0.040469373 | 0.04496597 |
| 2.7 | 6471540.44 | 0.037518574 | 0.041687305 |
| 2.8 | 6961215.179 | 0.034879394 | 0.038754883 |
| 2.9 | 7468896.317 | 0.032509418 | 0.036121575 |
| 3 | 7993983.85 | 0.030373212 | 0.033748014 |
| 3.1 | 8537077.775 | 0.028440993 | 0.031601103 |
| 3.2 | 9097978.087 | 0.026687575 | 0.029652861 |
| 3.3 | 9676684.785 | 0.025091545 | 0.027879494 |
| 3.4 | 10273197.87 | 0.023634605 | 0.026260672 |
| 3.5 | 10887517.33 | 0.022301041 | 0.024778934 |
| 3.6 | 11519643.17 | 0.0210773 | 0.023419222 |
| 3.7 | 12169575.39 | 0.019951639 | 0.022168487 |
| 3.8 | 12837313.99 | 0.018913845 | 0.021015384 |
| 3.9 | 13522858.96 | 0.017955003 | 0.019950003 |
| 4 | 14226210.31 | 0.017067298 | 0.018963664 |
| 4.1 | 14947368.03 | 0.016243861 | 0.018048735 |
| 4.2 | 15686332.12 | 0.015478632 | 0.01719848 |
| 4.3 | 16443102.59 | 0.01476625 | 0.016406945 |
| 4.4 | 17217679.43 | 0.014101957 | 0.015668841 |
| 4.5 | 18010062.64 | 0.013481517 | 0.014979464 |

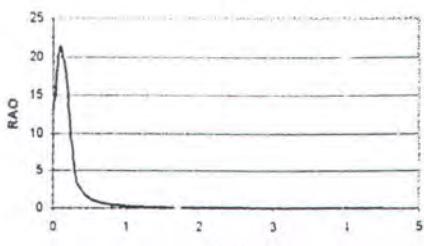
Grafik RAO Surge pada SALM D = 28

mm



Grafik RAO Surge pada SALM D = 32

mm



Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran IX
Perhitungan beban pada CALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Analisa Pembebaan Untuk Konfigurasi 4 mooring.

Gaya total (F) pada mooring adalah 0.2803 MN, dengan jumlah mooring line adalah 4 mooring.

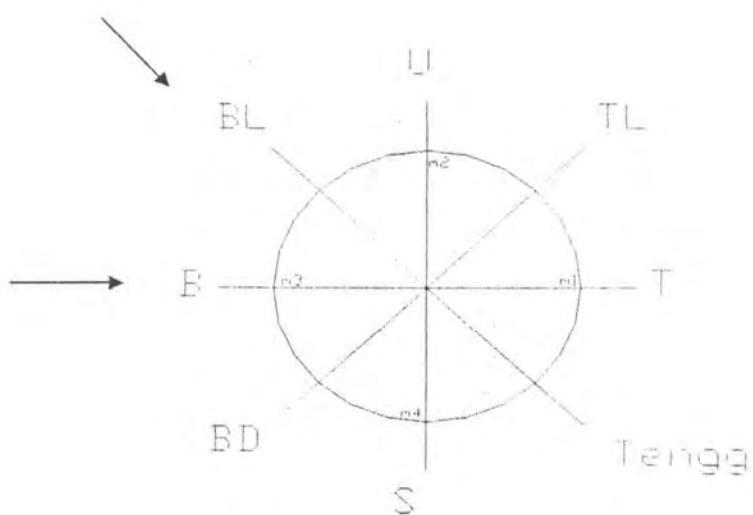
Kasus 1 : jika gaya berada diantara 2 mooring.

$$\begin{aligned} F_m &= F / (2 \cos 45) \\ &= 0.198179 \text{ MN} \end{aligned}$$

Kasus 2 : jika gaya tepat pada salah satu mooring.

$$F_m = F = 0.2803 \text{ MN}$$

Dari dua kasus tersebut diambil gaya terbesar yang mengenai mooring, yaitu : 0.2803 MN.



Empat Mooring

Analisa Pembebaan Untuk Konfigurasi 6 mooring

Gaya total (F) pada mooring adalah 0.2803 MN, dengan jumlah mooring line adalah 6 mooring.

Kasus 1 : Jika gaya tepat pada salah satu mooring.

$$F_m = F / (2 \cos 60 + \cos 0) = 0.140133 \text{ MN}$$

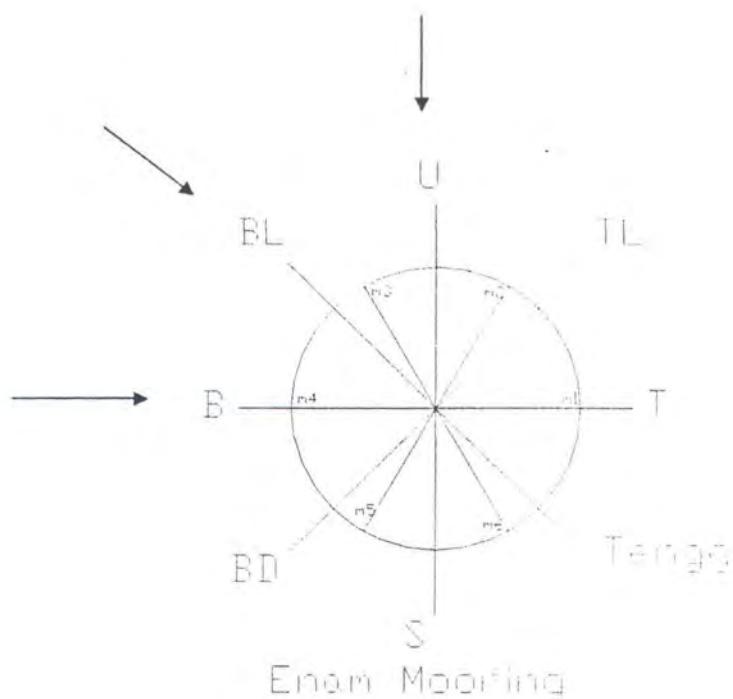
Kasus 2 : Jika gaya membentuk sudut dari salah satu mooring

$$F_m = F / (\cos 15 + \cos 75 + \cos 45) = 0.145077 \text{ MN}$$

Kasus 3 : Jika gaya diantara 2 mooring.

$$F_m = F / (2 \cos 30) = 0.161812 \text{ MN}$$

Dari ketiga kasus tersebut diambil dari gaya terbesar yang mengenai mooring, Dari ketiga kasus tersebut diambil gaya terbesar yang mengenai mooring, yaitu 0.161812 MN



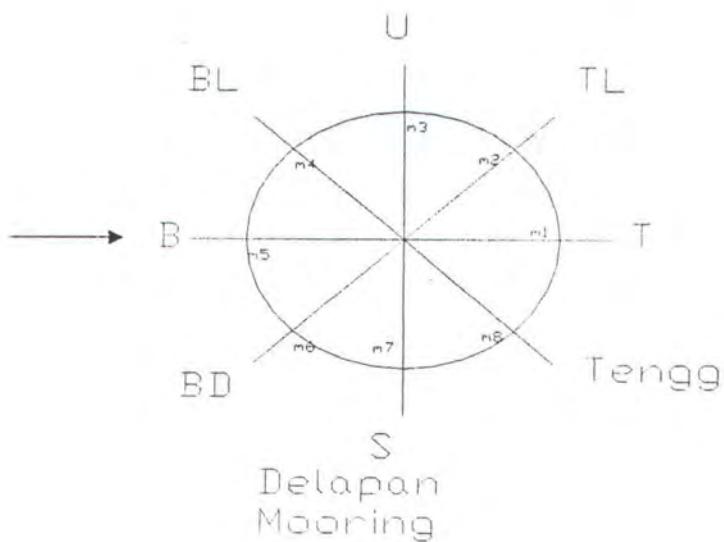
Analisa Pembebaan Untuk Konfigurasi 8 mooring

Gaya total (F) pada mooring adalah 0.2803 MN, dengan jumlah mooring line adalah 8 mooring.

Pada keadaan ini, gaya total (t) tepat pada salah satu mooring, sehingga gaya pada mooring line adalah

$$\begin{aligned} F_m &= F / (2 \cos 45 + \cos 0) \\ &= 0.11609 \text{ MN} \end{aligned}$$

Jadi gaya pada mooring line adalah 0.11609 MN.



Analisa Pembebaan Untuk Konfigurasi 12 mooring

Gaya total (F) pada mooring adalah 0.2803 MN, dengan jumlah mooring line adalah 12 mooring.

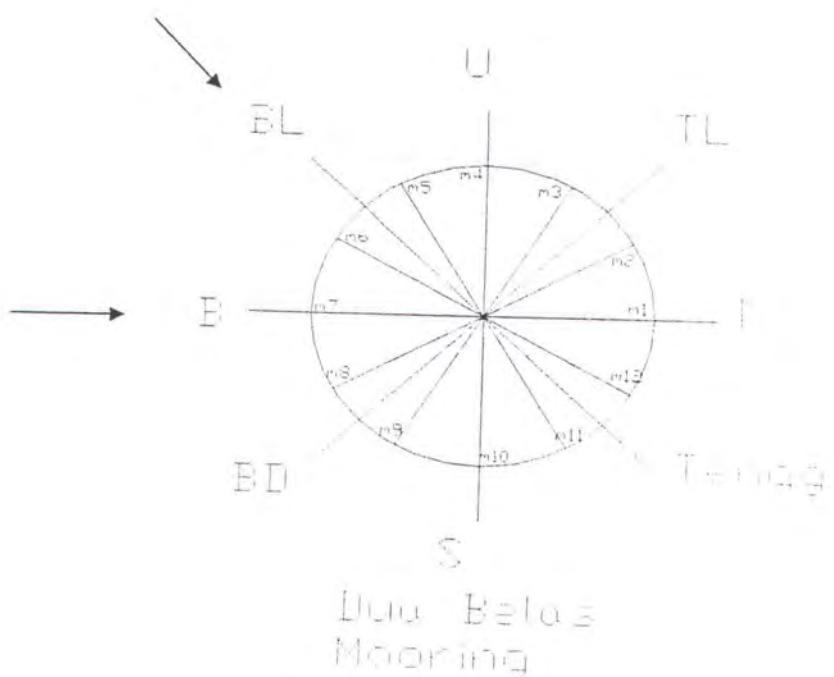
Kasus 1 : Jika gaya tepat pada salah satu mooring.

$$F_m = F / (2 \cos 60 + 2 \cos 30 + \cos 0) = 0.075097 \text{ MN}$$

Kasus 2 : Jika gaya diantara 2 mooring.

$$F_m = F / (2 \cos 75 + 2 \cos 45 + 2 \cos 15) = 0.072538 \text{ MN}$$

Dari ketiga kasus tersebut diambil dari gaya terbesar yang mengenai mooring, Dari ketiga kasus tersebut diambil gaya terbesar yang mengenai mooring, yaitu 0.075097 MN



Lampiran X
Perhitungan konfigurasi mooring pada CALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Chain type Stud-link chain

diameter 177 mm = 6.96848292 inch
proof load (9160 kN
min. break I 12810 kN 12.81 MN

Tmax. 9160 KN = 9.16 MN

Total Gaya Horisontal

| API | |
|------------|-----------|
| Gaya total | 0.2803 MN |

Gaya pada mooring : 0.2803 MN
Jumlah mooring line 4 buah

Kasus 1: Jika gaya diantara 2 mooring

$$\begin{aligned} F_m &= F / (2 \cos 45) \\ F_m &= 0.198179 \text{ MN} \end{aligned}$$

Kasus 2 : Jika gaya tepat pada salah satu mooring.

$$F_m = F = 0.2803 \text{ MN}$$

Dari dua kasus tersebut diambil gaya terbesar yang mengenai mooring.
Total gaya pada 1 mooring 0.2803 MN = 62.284 KIPS

Tegangan Maksimum

I. Tegangan Maksimum :

dimana : $T = \frac{F}{H}$
 $T = \text{tegangan maksimum pada rantai}$
 $H = \text{tegangan horisontal pada rantai}$

$$\text{Maka : } T = 0.31389887 \text{ MN}$$

| Tmax | > | Tdesign |
|------|------|------------|
| 9.16 | Aman | 0.31389887 |

II. Tegangan Maksimum U.S. NAVY:

dimana :

$T_{\text{design}} = \text{Teg. ijin yang bekerja pada rantai mooring}$

$T_{\text{break}} = \text{Kekuatan patahdari rantai}$

$$\text{Maka : } T = 4.4835 \text{ MN}$$

| Tmax | > | Tdesign |
|------|------|---------|
| 9.16 | Aman | 4.4835 |

Berat rantai mooring line

Rumus U.S. Navy:

$$\begin{aligned} W_{\text{air}} &= 9.05 d^2 \\ W_{\text{submerged}} &= 8.26 d^2 \end{aligned}$$

dimana : $w = \text{berat rantai diudara (pounds/ft)}$

$w = \text{berat rantai air (pounds/ft)}$

$d = \text{diameter (inc)}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } W_{\text{udara}} &= 439.465776 \text{ pounds/ft} & 653.9972 \text{ kg/m} \\ W_{\text{air}} &= 401.10357 \text{ pounds/ft} & 596.9079 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Perhitungan panjang dan tegangan rantai mooring

Persamaan yang digunakan : $T = \omega y$ $H = \omega c = T \cos(\theta)$
 $c = \frac{H}{\omega}$ $V = w S = T \sin(\theta)$

dimana : V = Gaya vertikal pada titik (x,y)

w = berat rantai pada air

S = panjang rantai dari (0,c) sampai titik (x,y)

T = tegangan tali pada titik (x,y)

θ = sudut mooring line dalam arah horisontal

H = Gaya horisontal pada titik (x,y)

C = jarak dari titik y

| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| kedalaman air | 25 m |
| H dari kolom k12 (gaya horisontal) | 0.2803 MN 28569.5054 kg |

Persamaan yang digunakan :

$$C = \frac{H}{w} = 6.225044 \text{ m}$$

$$y_b = C + wd = 72.8625009 \text{ m}$$

$$S_{ab} = \sqrt{y_b^2 - C^2} = 54.9374649 \text{ m}$$

$$\left[\frac{S_{ab}}{C} + \sqrt{\left(\frac{S_{ab}}{C} \right)^2 + 1} \right] = 2.6701481 \text{ m}$$

$$X_{ab} = C \ln \left[\frac{S_{ab}}{C} + \sqrt{\left(\frac{S_{ab}}{C} \right)^2 + 1} \right] = 47.0073865 \text{ m}$$

$$T_b = w \cdot y_b = 426.658513 \text{ KN}$$

Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran XI
Perhitungan kekakuan tali tambat pada CALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Perhitungan Kekakuan Tali Tambat Untuk Gerakan Surge dan Heave

Untuk $d = 20.5 \text{ mm}$ $T = 175 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 423.118 \text{ m} \\ x_1 &= -427.6326 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= -5.5 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0.997671 & \cos \gamma &= 0.048284 \\ \alpha &= 3.911169 & \gamma &= 87.23243 \\ \sin \alpha &= 0.06821 & \sin \gamma &= 0.998834 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 32846.47 \text{ kN/m} = 32846467 \text{ N/m} \\ k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 77.34829 \text{ kN/m} = 77348.29 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Untuk $d = 24 \text{ mm}$ $T = 237 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 361.647 \text{ m} \\ x_1 &= -365.9938 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= -5.5 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0.996811 & \cos \gamma &= 0.056492 \\ \alpha &= 4.57689 & \gamma &= 86.76155 \\ \sin \alpha &= 0.079797 & \sin \gamma &= 0.998403 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 32789.88 \text{ kN/m} = 32789875 \text{ N/m} \\ k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 105.966 \text{ kN/m} = 105966 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Untuk $d = 28 \text{ mm}$ $T = 321 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\lambda &= 33000 \text{ kN/m} \\ L &= 310.2505 \text{ m} \\ x_1 &= -314.4058 \text{ m} & z_1 &= -25 \text{ m} \\ x_2 &= -5.5 \text{ m} & z_2 &= -4.57 \text{ m} \\ \cos \alpha &= 0.995666 & \cos \gamma &= 0.06585 \\ \alpha &= 5.336532 & \gamma &= 86.22434 \\ \sin \alpha &= 0.093005 & \sin \gamma &= 0.99783 \\ k_{11} &= \lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha \\ &= 32714.56 \text{ kN/m} = 32714559 \text{ N/m} \\ k_{33} &= \lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma \\ &= 144.1256 \text{ kN/m} = 144125.6 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Untuk $d = 32 \text{ mm}$ $T = 417 \text{ kN}$

| | | |
|---------------|---|--|
| λ | = | 33000 kN/m |
| L | = | 271.7389 m |
| x_1 | = | -275.7029 m |
| x_2 | = | -5.5 m |
| $\cos \alpha$ | = | 0.994348 |
| α | = | 6.094719 |
| $\sin \alpha$ | = | 0.106172 |
| k_{11} | = | $\lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha$ = 32628.02 kN/m = 32628022 N/m |
| k_{33} | = | $\lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma$ = 188.0552 kN/m = 188055.2 N/m |

Untuk $d = 36 \text{ mm}$ $T = 523 \text{ kN}$

| | | |
|---------------|---|--|
| λ | = | 33000 kN/m |
| L | = | 241.817 m |
| x_1 | = | -245.5903 m |
| x_2 | = | -5.5 m |
| $\cos \alpha$ | = | 0.992859 |
| α | = | 6.851249 |
| $\sin \alpha$ | = | 0.119292 |
| k_{11} | = | $\lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha$ = 32530.42 kN/m = 32530421 N/m |
| k_{33} | = | $\lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma$ = 237.694 kN/m = 237694 N/m |

Untuk $d = 40 \text{ mm}$ $T = 640 \text{ kN}$

| | | |
|---------------|---|--|
| λ | = | 33000 kN/m |
| L | = | 217.908 m |
| x_1 | = | -221.4908 m |
| x_2 | = | -5.5 m |
| $\cos \alpha$ | = | 0.991202 |
| α | = | 7.605923 |
| $\sin \alpha$ | = | 0.132359 |
| k_{11} | = | $\lambda \cos^2 \alpha + T/L \sin^2 \alpha$ = 32421.93 kN/m = 32421929 N/m |
| k_{33} | = | $\lambda \cos^2 \gamma + T/L \sin^2 \gamma$ = 292.9823 kN/m = 292982.3 N/m |

Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran XII
Perhitungan nilai damping pada CALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Koefisien Damping Gerakan Surge Pada D = 20.5 mm

$$m = 890318.2 \text{ kg}$$

$$b = 1081550.875 \text{ N/m}$$

$$k = 32846466.98 \text{ N/m}$$

$$F(t) = 242802.97 \text{ N}$$

$$t = 1 \text{ dt}$$

$$bv = 16746.19375 \text{ N/m}$$

| (n) | $mw^2 \sin(wt)$ | $bw \cos(wt)$ | $k \sin(wt)$ | $X_a w$ |
|-----|-----------------|---------------|--------------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | #DIV/0! |
| 0.1 | 888.8350781 | 107614.7625 | 3279175 | 0.007171 |
| 0.2 | 7075.15684 | 211998.3729 | 6525586 | 0.007215 |
| 0.3 | 23679.63166 | 309973.5046 | 9706795 | 0.007289 |
| 0.4 | 55472.99801 | 398469.7294 | 12791017 | 0.007395 |
| 0.5 | 106710.3206 | 474575.0937 | 15747435 | 0.007533 |
| 0.6 | 180976.1294 | 535585.4737 | 18546510 | 0.007708 |
| 0.7 | 281043.7785 | 579051.0156 | 21160275 | 0.007921 |
| 0.8 | 408752.1175 | 602819.0007 | 23562613 | 0.008176 |
| 0.9 | 564902.2654 | 605072.5243 | 25729521 | 0.00848 |
| 1 | 749176.9325 | 584364.4314 | 27639349 | 0.008837 |
| 1.1 | 960084.3405 | 539646.01 | 29273013 | 0.009257 |
| 1.2 | 1194928.36 | 470290.0155 | 30614191 | 0.009748 |
| 1.3 | 1449806.028 | 376107.6697 | 31649482 | 0.010323 |
| 1.4 | 1719633.106 | 257359.3569 | 32368542 | 0.010999 |
| 1.5 | 1998197.867 | 114758.8235 | 32764186 | 0.011794 |
| 1.6 | 2278242.742 | -50529.2302 | 32832461 | 0.012736 |
| 1.7 | 2551572.992 | -236898.188 | 32572685 | 0.013859 |
| 1.8 | 2809191.034 | -442315.124 | 31987454 | 0.015209 |
| 1.9 | 3041454.569 | -664342.816 | 31082615 | 0.016851 |
| 2 | 3238256.193 | -900167.95 | 29867208 | 0.018874 |
| 2.1 | 3389221.752 | -1146635.17 | 28353378 | 0.021408 |
| 2.2 | 3483924.265 | -1400286.58 | 26556250 | 0.024648 |
| 2.3 | 3512109.939 | -1657406.25 | 24493782 | 0.028899 |
| 2.4 | 3463932.459 | -1914069.16 | 22186579 | 0.034668 |
| 2.5 | 3330191.513 | -2166193.95 | 19657696 | 0.042864 |
| 2.6 | 3102571.313 | -2409598.83 | 16932399 | 0.055278 |
| 2.7 | 2773874.785 | -2640060.04 | 14037919 | 0.076017 |
| 2.8 | 2338249.007 | -2853371.91 | 11003177 | 0.116982 |
| 2.9 | 1791397.55 | -3045407.89 | 7858495 | 0.233025 |
| 3 | 1130775.404 | -3212181.75 | 4635294 | 2.491679 |
| 3.1 | 355762.3973 | -3349908.04 | 1365778 | -0.32168 |
| 3.2 | -532188.798 | -3455061.08 | -1917384 | -0.16052 |
| 3.3 | -1529433.66 | -3524431.71 | -5181389 | -0.11165 |
| 3.4 | -2630049.05 | -3555180.86 | -8393622 | -0.08859 |
| 3.5 | -3825781.48 | -3544889.42 | -1.2E+07 | -0.0756 |
| 3.6 | -5106032.7 | -3491603.46 | -1.5E+07 | -0.06765 |
| 3.7 | -6457884.57 | -3393874.32 | -1.7E+07 | -0.06265 |
| 3.8 | -7866164.24 | -3250792.92 | -2E+07 | -0.0596 |
| 3.9 | -9313550.39 | -3062017.6 | -2.3E+07 | -0.05795 |
| 4 | -10780720.6 | -2827795.32 | -2.5E+07 | -0.05745 |

Dari tabel diatas didapat nilai X'_{\max} yaitu 3.579875 kemudian diiterasi

seperti tabel disamping

| Xaw ay | $mw^2 \sin(wt)$ | b X' | k | Xaw akhir | X |
|--------|-----------------|-------------|---------|-----------|------------|
| 2.4917 | 1130775.404 | -105191.414 | 4635294 | 0.21428 | 0 |
| 0.2143 | 1130775.404 | -9046.28887 | 4635294 | 0.208386 | -0.0058939 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8797.46508 | 4635294 | 0.208372 | -1.483E-05 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.83888 | 4635294 | 0.208372 | -3.733E-08 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.83731 | 4635294 | 0.208372 | -9.393E-11 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | -2.364E-13 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | -5.829E-16 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | 0 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | 0 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | 0 |
| 0.2084 | 1130775.404 | -8796.8373 | 4635294 | 0.208372 | 0 |

$$X'_{\max} = 0.208371554$$

Sehingga didapat nilai damping :

$$b = bv (8/3\pi) (X'_{\max})$$

$$b = 2961.920531 \text{ N/m}$$

Catatan :

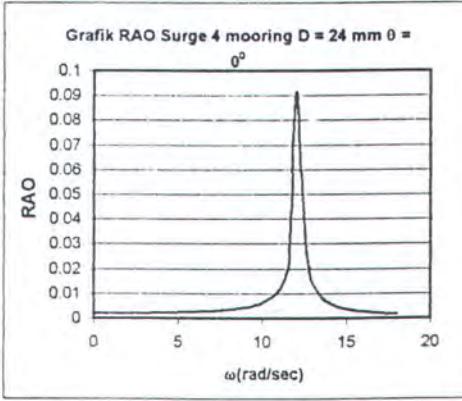
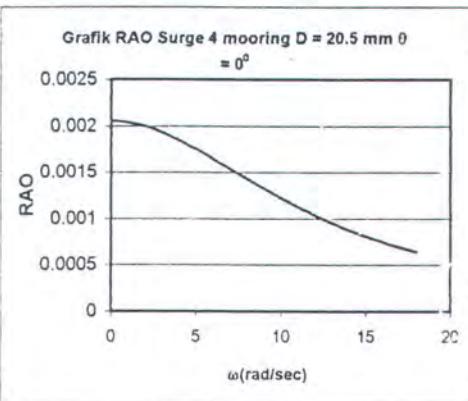
Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

Lampiran XIII
Grafik dan tabel RAO pada CALM

Cipta Karya
(031) 5941926

Grafik dan Tabel RAO Gerakan Surge Pada CALM

| | | | | | | | |
|----------|---|-----------------|----------------------|----------|---|-----------------|----------------------|
| D = | 20.5 mm | b = | 3776.572432 | D = | 24 mm | b = | 3769.851185 |
| T = | 175 KN | | | T = | 237 KN | | |
| km = | 32846466.96 N/m | | | km = | 32789875.35 N/m | | |
| 4km = | 131385867.9 N/m | | | 4km = | 131159501.4 N/m | | |
| ω | $\frac{(((m^* \omega^2) + (km + k)))^{1/2}}{X_a}$ | Xa _i | Xa _i / Zo | ω | $\frac{(((m^* \omega^2) + (km + k)))^{1/2}}{X_a}$ | Xa _i | Xa _i / Zo |
| | | | RAO _i | | | | RAO _i |
| 0 | 131385867.9 | 0.001848014 | 0.002053349 | 0 | 131159501.4 | 0.001851204 | 0.002056893 |
| 0.4 | 131528318.9 | 0.001846013 | 0.002051125 | 0.4 | 131017050.5 | 0.001853217 | 0.00205913 |
| 0.8 | 131955671.7 | 0.001840034 | 0.002044483 | 0.8 | 130589697.7 | 0.001859281 | 0.002065868 |
| 1.2 | 132667926.3 | 0.001830156 | 0.002033506 | 1.2 | 129877443.1 | 0.001869478 | 0.002077197 |
| 1.6 | 133665082.9 | 0.001816503 | 0.002018336 | 1.6 | 12880286.7 | 0.001883942 | 0.002093269 |
| 2 | 134947141.3 | 0.001799245 | 0.001999161 | 2 | 127598228.4 | 0.001902871 | 0.002114301 |
| 2.4 | 136514101.6 | 0.001778593 | 0.001978214 | 2.4 | 126031268.3 | 0.00192653 | 0.002140588 |
| 2.8 | 138365963.8 | 0.001754788 | 0.001949765 | 2.8 | 124179406.4 | 0.00195526 | 0.002172511 |
| 3.2 | 140502727.6 | 0.001728101 | 0.001920113 | 3.2 | 122042842.6 | 0.001989493 | 0.002210548 |
| 3.6 | 142924393.7 | 0.001698821 | 0.001887579 | 3.6 | 119620977 | 0.002029769 | 0.002255299 |
| 4 | 145630961.5 | 0.001667248 | 0.001852496 | 4 | 116914409.6 | 0.002076758 | 0.002307509 |
| 4.4 | 148622431.1 | 0.00163369 | 0.001815211 | 4.4 | 113922940.3 | 0.002131291 | 0.002368101 |
| 4.8 | 151898802.6 | 0.001598452 | 0.001776058 | 4.8 | 110646569.2 | 0.002194401 | 0.002438224 |
| 5.2 | 155460076 | 0.001561835 | 0.001735372 | 5.2 | 107085296.3 | 0.002267379 | 0.00251931 |
| 5.6 | 159306251.2 | 0.001524127 | 0.001693475 | 5.6 | 103239121.7 | 0.00235185 | 0.002613167 |
| 6 | 163437328.3 | 0.001485603 | 0.00165067 | 6 | 99108045.17 | 0.002449882 | 0.002722091 |
| 6.4 | 167853307.2 | 0.001446519 | 0.001607243 | 6.4 | 94692066.89 | 0.002564132 | 0.002849036 |
| 6.8 | 172554188 | 0.001407111 | 0.001563457 | 6.8 | 89991184.84 | 0.002698075 | 0.0029977861 |
| 7.2 | 17753970.7 | 0.001367596 | 0.001519551 | 7.2 | 85005405.05 | 0.002856324 | 0.003173693 |
| 7.6 | 182810655.2 | 0.001328166 | 0.00147574 | 7.6 | 79734721.52 | 0.003045135 | 0.003383483 |
| 8 | 188366241.5 | 0.001288994 | 0.001422216 | 8 | 74179136.32 | 0.003273198 | 0.003636886 |
| 8.4 | 194206729.8 | 0.001250229 | 0.001389144 | 8.4 | 68338649.47 | 0.003552938 | 0.003947709 |
| 8.8 | 200332119.8 | 0.001212002 | 0.001346669 | 8.8 | 62213261.08 | 0.003902753 | 0.004336392 |
| 9.2 | 206742411.7 | 0.001174423 | 0.001304914 | 9.2 | 55802971.25 | 0.004351076 | 0.004834529 |
| 9.6 | 213437605.5 | 0.001137583 | 0.001263981 | 9.6 | 49107780.19 | 0.004944287 | 0.005493652 |
| 10 | 220417701.2 | 0.001101558 | 0.001223954 | 10 | 42127688.25 | 0.005763501 | 0.00640389 |
| 10.4 | 227682698.6 | 0.001066409 | 0.001184899 | 10.4 | 34862696.1 | 0.006964549 | 0.007738388 |
| 10.8 | 235232598 | 0.001032182 | 0.001146869 | 10.8 | 27312805.22 | 0.008889712 | 0.009877458 |
| 11.2 | 243067399.1 | 0.000998912 | 0.001109902 | 11.2 | 19478019.6 | 0.012465485 | 0.013850539 |
| 11.6 | 251187102.2 | 0.000966822 | 0.001074024 | 11.6 | 11358355.12 | 0.021376596 | 0.023751773 |
| 12 | 259591707.1 | 0.000935326 | 0.001039252 | 12 | 2954012.598 | 0.08219429 | 0.091326989 |
| 12.4 | 2682821213.8 | 0.000905032 | 0.0010055591 | 12.4 | 5736030.906 | 0.042329439 | 0.04703271 |
| 12.8 | 277255622.4 | 0.000875737 | 0.000973041 | 12.8 | 14710324.03 | 0.016505612 | 0.018339569 |
| 13.2 | 286514932.8 | 0.000847436 | 0.000941595 | 13.2 | 23969610.86 | 0.010129617 | 0.01125513 |
| 13.6 | 296059145.1 | 0.000820116 | 0.00091124 | 13.6 | 33513810.6 | 0.007244863 | 0.008049848 |
| 14 | 305888259.3 | 0.000793764 | 0.00088196 | 14 | 43342917.55 | 0.005601906 | 0.00622434 |
| 14.4 | 316002275.3 | 0.000768358 | 0.000853731 | 14.4 | 53456928.87 | 0.00454203 | 0.0050467 |
| 14.8 | 326401193.1 | 0.000743879 | 0.000826532 | 14.8 | 63855843.42 | 0.003802361 | 0.004224846 |
| 15.2 | 337085012.8 | 0.000720302 | 0.000800335 | 15.2 | 74539660.67 | 0.003257366 | 0.003619296 |
| 15.6 | 348053734.4 | 0.0006957602 | 0.000775113 | 15.6 | 85508380.33 | 0.002839522 | 0.003155025 |
| 16 | 359307357.8 | 0.000675753 | 0.000750836 | 16 | 96762002.21 | 0.00250928 | 0.002788089 |
| 16.4 | 370845883.1 | 0.000654727 | 0.000727475 | 16.4 | 10830026.2 | 0.002241937 | 0.002491041 |
| 16.8 | 382669310.2 | 0.000634498 | 0.000704998 | 16.8 | 120123952.3 | 0.00202127 | 0.002245856 |
| 17.2 | 394777639.1 | 0.000615037 | 0.000683375 | 17.2 | 132232280.4 | 0.001836185 | 0.002040206 |
| 17.6 | 407170869.9 | 0.000596317 | 0.000662575 | 17.6 | 144625510.4 | 0.001678839 | 0.001865377 |
| 18 | 419849002.6 | 0.00057831 | 0.000642567 | 18 | 157303642.5 | 0.00154353 | 0.001715034 |



D = 28 mm
 T = 321 KN
 km = 32714558.54 N/m
 4km = 130858234.2

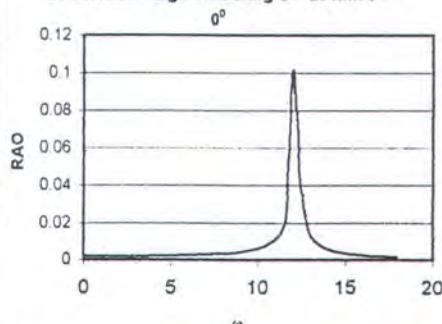
| w | $\frac{(((m^*w^2)+(km*k))2)}{b}$ | Xa1 | Xa1 / Zo | RAO1 |
|------|----------------------------------|-------------|---------------|------|
| 0 | 130858234.2 | 0.001855466 | 0.002061629 | |
| 0.4 | 130715783.2 | 0.001857488 | 0.002063875 | |
| 0.8 | 130288430.5 | 0.00186358 | 0.002070645 | |
| 1.2 | 129578175.9 | 0.001873824 | 0.002082027 | |
| 1.6 | 128579019.4 | 0.001888358 | 0.002091173 | |
| 2 | 127296961.1 | 0.001907374 | 0.002119305 | |
| 2.4 | 125730001 | 0.001931146 | 0.002145718 | |
| 2.8 | 123878139 | 0.001960015 | C 0.002177794 | |
| 3.2 | 121741375.1 | 0.001994416 | 0.002216018 | |
| 3.6 | 119319709.5 | 0.002034894 | 0.002260993 | |
| 4 | 116613142 | 0.002082124 | 0.002313471 | |
| 4.4 | 113621672.6 | 0.002136942 | 0.002374383 | |
| 4.8 | 110345301.5 | 0.002200392 | 0.002444881 | |
| 5.2 | 107684028.5 | 0.002273776 | 0.002526418 | |
| 5.6 | 102937853.6 | 0.002358734 | 0.002620815 | |
| 6 | 98806776.98 | 0.002457351 | 0.00273039 | |
| 6.4 | 94390798.52 | 0.002572316 | 0.002858129 | |
| 6.8 | 89689918.26 | 0.002707138 | 0.003007931 | |
| 7.2 | 84704136.21 | 0.002866483 | 0.003184981 | |
| 7.6 | 79433452.39 | 0.003056684 | 0.003396316 | |
| 8 | 73877866.81 | 0.003286545 | 0.003651717 | |
| 8.4 | 68037379.53 | 0.00356867 | 0.003965189 | |
| 8.8 | 61911990.57 | 0.003921744 | 0.004357493 | |
| 9.2 | 55501700.03 | 0.004374694 | 0.004860771 | |
| 9.6 | 48806508.03 | 0.004974807 | 0.005527564 | |
| 10 | 41826414.8 | 0.005805015 | 0.006450017 | |
| 10.4 | 34561420.75 | 0.00702526 | 0.007805845 | |
| 10.8 | 27011526.86 | 0.008988865 | 0.009987628 | |
| 11.2 | 19176735.7 | 0.012661329 | 0.014068144 | |
| 11.6 | 11057057.84 | 0.021959094 | 0.024398993 | |
| 12 | 2652640.43 | 0.09153258 | 0.101702844 | |
| 12.4 | 6037220.931 | 0.040217672 | 0.044686302 | |
| 12.8 | 15011564.66 | 0.016174395 | 0.017971549 | |
| 13.2 | 24270858.36 | 0.010003889 | 0.011115432 | |
| 13.6 | 33815062.94 | 0.00718032 | 0.007978133 | |
| 14 | 43644172.61 | 0.005563239 | 0.006181377 | |
| 14.4 | 53758185.68 | 0.004516577 | 0.005018419 | |
| 14.8 | 64157101.46 | 0.003784507 | 0.004205007 | |
| 15.2 | 74840919.6 | 0.003244254 | 0.003604727 | |
| 15.6 | 85809639.94 | 0.002829554 | 0.003143948 | |
| 16 | 97063262.37 | 0.002501492 | 0.002779493 | |
| 16.4 | 108601786.6 | 0.002235718 | 0.002484131 | |
| 16.8 | 120425213.3 | 0.002016214 | 0.002240237 | |
| 17.2 | 132533541.6 | 0.001832011 | 0.002035568 | |
| 17.6 | 144926772 | 0.001675349 | 0.001861499 | |
| 18 | 157604904.2 | 0.00154058 | 0.001711756 | |

D = 32 mm b = 3112.5196

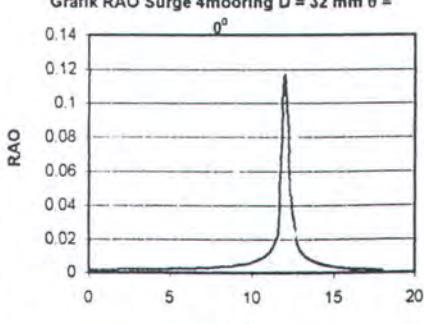
T = 417 KN
 km = 32628022.11 N/m
 4 km = 130512088.4

| w | $\frac{(((m^*w^2)+(km*k))2)}{b}$ | Xa1 | Xa1 / Zo | RAO1 |
|------|----------------------------------|-------------|-------------|------|
| 0 | 130512088.4 | 0.001860387 | 0.002067096 | |
| 0.4 | 130369637.5 | 0.00186242 | 0.002069355 | |
| 0.8 | 129942284.8 | 0.001868545 | 0.002076161 | |
| 1.2 | 129230030.1 | 0.001878843 | 0.002087604 | |
| 1.6 | 128232873.7 | 0.001893453 | 0.002103837 | |
| 2 | 128950815.4 | 0.001912575 | 0.002125083 | |
| 2.4 | 125383855.3 | 0.001936477 | 0.002151641 | |
| 2.8 | 123531993.3 | 0.001965507 | 0.002183896 | |
| 3.2 | 121395229.5 | 0.002000103 | 0.002222337 | |
| 3.6 | 118973563.8 | 0.002040814 | 0.002267572 | |
| 4 | 116266996.3 | 0.002088322 | 0.002320358 | |
| 4.4 | 113275527 | 0.002143472 | 0.002381636 | |
| 4.8 | 109999155.8 | 0.002207317 | 0.002452574 | |
| 5.2 | 106437882.8 | 0.002281171 | 0.002534634 | |
| 5.6 | 102591708 | 0.002366692 | 0.002629658 | |
| 6 | 98460631.41 | 0.00246599 | 0.002739989 | |
| 6.4 | 94044652.98 | 0.002581784 | 0.002868649 | |
| 6.8 | 89343772.76 | 0.002717626 | 0.003019585 | |
| 7.2 | 84357990.75 | 0.002878245 | 0.00319805 | |
| 7.6 | 79087306.97 | 0.003070062 | 0.003411118 | |
| 8 | 73531721.46 | 0.003302017 | 0.003668907 | |
| 8.4 | 67691234.24 | 0.003586919 | 0.003985465 | |
| 8.8 | 61565845.38 | 0.003943793 | 0.004381993 | |
| 9.2 | 5515554.96 | 0.004402149 | 0.004891277 | |
| 9.6 | 48460363.13 | 0.005010342 | 0.005567046 | |
| 10 | 41480270.12 | 0.005853457 | 0.006503841 | |
| 10.4 | 34215276.43 | 0.007096332 | 0.007884814 | |
| 10.8 | 26665383.12 | 0.00910555 | 0.010117277 | |
| 11.2 | 18830593.16 | 0.012894069 | 0.014326743 | |
| 11.6 | 10710918.85 | 0.022668734 | 0.025187482 | |
| 12 | 2306555.669 | 0.105266468 | 0.116962743 | |
| 12.4 | 6383370.045 | 0.0380368 | 0.042263111 | |
| 12.8 | 15357713.51 | 0.015809838 | 0.017566487 | |
| 13.2 | 24617006.44 | 0.009863221 | 0.010959134 | |
| 13.6 | 34161210.55 | 0.007107563 | 0.007897293 | |
| 14 | 43990319.94 | 0.005519464 | 0.006132737 | |
| 14.4 | 54104332.81 | 0.004487681 | 0.004986312 | |
| 14.8 | 64503248.44 | 0.003764198 | 0.004182442 | |
| 15.2 | 75187066.48 | 0.003229318 | 0.003588131 | |
| 15.6 | 86155786.73 | 0.002818185 | 0.003131317 | |
| 16 | 97409409.09 | 0.002492603 | 0.002769559 | |
| 16.4 | 108947933.5 | 0.002228615 | 0.002476239 | |
| 16.8 | 120771359.9 | 0.002010435 | 0.002233817 | |
| 17.2 | 132879688.2 | 0.001827239 | 0.002030266 | |
| 17.6 | 145272918.5 | 0.001671357 | 0.001857064 | |
| 18 | 157951050.7 | 0.001537204 | 0.001708004 | |

Grafik RAO Surge 4 mooring D = 28 mm $\theta = 0^\circ$



Grafik RAO Surge 4mooring D = 32 mm $\theta = 0^\circ$



Catatan :

Perhitungan ini adalah contoh, dan untuk perhitungan pada diameter yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama

