



SKRIPSI - ME 141501

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK
ANALISA TRAYEKTORI JANGKAR TERKAIT
RISIKO AKIBAT TERSERET JANGKAR PADA
PIPA GAS BAWAH AIR**

BALQIS SHINTARAHAYU
NRP 4213 100 104

Dosen Pembimbing
A.A.B Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D
Dr. I. Made Ariana, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - ME 141501

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR ANCHOR
TRAJECTORY TO BE APPLIED FOR DRAG
ANCHOR ANALYSIS ON SUBSEA GAS PIPELINE**

BALQIS SHINTARAHAYU
NRP 4213 100 104

Supervisors
A.A.B Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D
Dr. I. Made Ariana, ST., MT

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK ANALISA TRAYEKTORI JANGKAR TERKAIT RISIKO AKIBAT TERSERET JANGKAR PADA PIPA GAS BAWAH AIR

TUGAS AKHIR

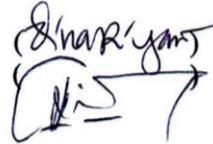
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability
and Safety* (RAMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BALQIS SHINTARAHAYU
Nrp. 4213 100 104

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

A.A.B Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D
Dr. I. Made Ariana, ST., MT



SURABAYA
JANUARI, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK ANALISA TRAYEKTORI JANGKAR TERKAIT RISIKO AKIBAT TERSERET JANGKAR PADA PIPA GAS BAWAH AIR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability
and Safety (RAMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BALQIS SHINTARAHAYU

Nrp. 4213 100 104

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK
ANALISA TRAYEKTORI JANGKAR TERKAIT RISIKO
AKIBAT TERSERET JANGKAR PADA PIPA GAS
BAWAH AIR**

Nama Mahasiswa : Balqis Shintarahayu
NRP : 4213100104
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing :
1. A.A.B. Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D
2. Dr. I. Made Ariana, ST., MT.

Abstrak

Peletakan pipa bawah laut pada wilayah pelayaran tentunya mempunyai risiko terjadinya bahaya. Pemicu bahaya yang mungkin terjadi dapat disebabkan oleh ship shinking, drop anchor, dan drag anchor. Dalam kasus penelitian ini, akan dianalisis trayektori jangkar terhadap offshore gas pipeline yang melewati daerah labuh jangkar terhadap bahaya dari drag anchor.

Penetrasi dan trayektori drag anchor pada tanah dasar laut tidak hanya ditentukan oleh jenis jangkar dan tanah, tetapi juga dipengaruhi oleh garis instalasi dari suatu jangkar terutama segmen embedded di dalam tanah. Segmen dari garis instalasi pada air laut disebut garis catenary, segmen pada permukaan dasar laut disebut garis horizontal, dan segmen tertanam dalam tanah, yang memberikan kelengkungan terbalik dibandingkan dengan garis catenary, disebut garis embedded.

Pada penelitian sebelumnya tentang metode analisa untuk posisi jangkar pada tanah dasar laut oleh Zhang Wei (2015) menunjukkan bahwa sistem interaksional antara drag anchor dan garis instalasi pertama kali diperkenalkan untuk analisis posisi jangkar. Berdasarkan dua model mekanik untuk embedded line dan drag anchor, persamaan posisi untuk drag anchor telah diturunkan persamaan baik untuk tanah kohesif dan non-kohesif. Metode analisis untuk drag anchor yang

menggabungkan sistem interaksional antara drag anchor dan garis instalasi telah memberikan pendekatan teori untuk mengamati perilaku jangkar di tanah.

Dengan menggunakan alat bantu komputer dan aplikasi perkantoran yang telah ada seperti VBA pada Microsoft Excel, pergerakan trayektori jangkar dikembangkan sehingga diperoleh pengembangan perangkat lunak untuk analisa trayektori jangkar terkait risiko akibat terseret jangkar pada pipa gas bawah air yang melewati daerah labuh jangkar pada studi kasus di Selat Madura untuk menstimulasikan posisi jangkar pada kondisi di titik jarak aman.

Kata Kunci: Anchor Trajectory, Catenary Line, Dragged Anchor, Embedded Line

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR ANCHOR
TRAJECTORY TO BE APPLIED FOR DRAG ANCHOR
ANALYSIS ON SUBSEA GAS PIPELINE**

Name : Balqis Shintarahayu
NRP : 4213100104
Department : Marine Engineering
Supervisors :
1. A.A.B. Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D
2. Dr. I. Made Ariana, ST., MT.

Abstract

The laying of subsea gas pipeline on the sailing area have a high risk of danger. Ship sinking, drop anchor, and drag anchor could cause the risk that may occurred. In the case of this study, will be analyzed anchor trajectories against subsea gas pipeline passing through the anchoring area towards the dangers of drag anchor.

Drag anchors positioning in seabed soils are firmly affected not only by the anchor and soil properties, but also by the installation line characteristics, particularly the segment of embedded in the soil. The segment of the installation line in the seawater is called the catenary line, the segment on the seafloor surface is called the horizontal line, and the segment embedded in soils, which presents a reverse curvature compared with the catenary line, is called the embedded line.

On the previous study, the analytical method for positioning drag anchors on the seafloor surface by Zhang Wei (2015) showed that the interactional system between the drag anchor and installation line is initially introduced for the analysis of anchor positioning. Based on the two mechanical models for embedded lines and drag anchors, the positioning equations for drag anchors have been derived both for cohesive and noncohesive soils. The analytical method for positioning drag

anchors which combines the interactional system between the drag anchor and the installation line has provided a reasonable theoretic approach to investigate the anchor behaviors in soils.

By using computer tools and office applications that already exist such as VBA in Microsoft Excel, the movement of anchor trajectory was developed to obtain development of software for anchor trajectory to be applied for drag anchor analysis on subsea gas pipeline passing through the area of anchoring on the case study in Madura Strait to stimulate the anchor position on the conditions at the point of a safety distance.

Keywords: Anchor Trajectory, Catenary Line, Dragged Anchor, Embedded Line

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang tak terhingga. Tugas Akhir yang berjudul “Pengembangan Perangkat Lunak untuk Analisa Trayektori Jangkar Terkait Risiko akibat Terseret Jangkar pada Pipa Gas Bawah Air” ini dapat penulis selesaikan sungguh karena kemurahan Allah SWT. Karenanya penulis wajib bersyukur dan terus mempertinggi rasa syukur kepada-Nya Sang Pemilik Kehidupan dan Penguasa Semesta Alam.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak, dan untuk itu wajib menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semuanya. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu dan Bapak (Erna Budiarti dan Heri Solehudin), serta kakak Elyasa Hariangwibawa yang telah membimbing dan mengajari penulis sejak masih kecil dengan penuh rasa kasih-sayang serta untaian do'a yang tiada henti.
2. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P., ST., MES., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama sekaligus Kepala Laboratorium RAMS penulis sangat berterima kasih. Di sela-sela kesibukannya yang padat beliau memberikan koreksi-koreksi yang sangat berharga. Dari beliau penulis banyak belajar. Penulis hanya bisa berdoa semoga beliau selalu sehat sehingga terus bisa berbagi ilmu dengan banyak pihak.
3. Bapak Dr. I. Made Ariana, ST., MT., selaku dosen pembimbing kedua penulis sangat berterima kasih atas segala kebaikan dan ilmu-ilmunya. Seperti tak kenal lelah, beliau selalu bisa menerima penulis untuk konsultasi dalam kondisi apa pun. Bagi penulis, beliau bukan sekadar guru yang memberi teladan, selalu saja ada yang baru dan bermanfaat yang penulis dapatkan dari beliau.
4. Bapak Dr. A.A. Masroeri, M.Eng., selaku dosen wali penulis selama tujuh semester penulis kuliah di departemen ini atas

- kesabaran dan kebaikan hati untuk membimbing dan memberikan nasihat untuk kesuksesan penulis.
5. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, M.Sc; Bapak Dr. RO. Saut Gurning, S.T., M.Sc; Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.; selaku dosen penguji di laboratorium RAMS yang telah memberikan saran masukan untuk tugas akhir ini.
 6. Seluruh Dosen dan Karyawan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan atas ilmu yang diajarkan selama masa perkuliahan dan bersedia membantu penulis di kampus.
 7. Rachmat Gunawan yang selalu menemani dan telah banyak membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
 8. Terima kasih penulis sampaikan kepada para sahabat, lebih khusus penulis berterima kasih kepada Qiyah, Ririn, Mitha, Fathia, Mayang, Adi, Edo, Made, Ryan, Nabil, Kafin, Rizky, dan Yugo yang sejak awal selalu menghibur, menemani, memberikan dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini, memberikan banyak kesan dan kenangan untuk penulis.
 9. Teman seperjuangan tugas akhir di bidang keahlian RAMS yaitu Winda, Rachmat, Pangestu, dan Mas Ical yang selalu memberi dukungan, semangat, dan selalu bersama-sama mengerjakan tugas akhir ini.
 10. Saudara satu angkatan Barakuda yang sudah menemani penulis selama tujuh semester perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
 11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas jasa yang telah diberikan kepada penulis selama ini.

Alhamdulillah tugas akhir ini merupakan tanda perjalanan akhir dari penulis dalam Program Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Namun tugas akhir ini sangat jauh dari sempurna, segala bentuk kesalahan dan keterbatasannya hanya bersumber pada kelemahan penulis. *Wallahu'alam.*

Surabaya, Januari 2017

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| DAFTAR GRAFIK | xxi |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Tempat Pelaksanaan..... | 3 |
| 1.3 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Manfaat..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Umum..... | 5 |
| 2.2 <i>Trajectory</i> | 7 |
| 2.3 <i>Embedded Line</i> | 21 |
| 2.4 <i>Catenary Line</i> | 25 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 29 |
| 3.1 Perumusan Masalah..... | 30 |
| 3.2 Studi Literatur..... | 30 |
| 3.3 Pengumpulan Data..... | 30 |
| 3.4 Perhitungan dan Perbandingan..... | 31 |
| 3.5 Pemodelan Trayektori, <i>Embedded Line</i> , dan <i>Catenary Line</i> | 31 |
| 3.6 Kesimpulan dan Saran..... | 31 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 Pengumpulan Data..... | 33 |
| 4.1.1 Data Kapal..... | 33 |
| 4.1.2 Data Jangkar..... | 34 |
| 4.1.3 Data Lingkungan..... | 36 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.3.1 Parameter Tanah..... | 37 |
| 4.1.3.2 Parameter Kecepatan Angin, Arus, dan Gelombang | 37 |
| 4.2 Trajectory | 40 |
| 4.3 Embedded Line..... | 51 |
| 4.4 Catenary Line | 61 |
| 4.5 Perbandingan..... | 71 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 79 |
| 5.1 Kesimpulan | 79 |
| 5.2 Saran..... | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | 81 |
| LAMPIRAN..... | 85 |
| BIODATA PENULIS..... | 113 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Ilustrasi Garis Instalasi | 2 |
| Gambar 2. 1 Peta Jalur Pipa Gas Proyek PHE-WMO | 5 |
| Gambar 2. 2 Parameter Penetrasi Jangkar | 8 |
| Gambar 2. 3 Pergerakan Jangkar | 8 |
| Gambar 2. 4 Gaya yang Bekerja pada Garis <i>Embedded</i> | 9 |
| Gambar 2. 5 Model Mekanik untuk Penarikan Jangkar | 14 |
| Gambar 2. 6 Geometri <i>Drag Anchor</i> | 18 |
| Gambar 2. 7 Model Kinematik untuk <i>Drag Anchor</i> | 22 |
| Gambar 2. 8 Skema dari Garis Jangkar | 25 |
| Gambar 3. 1 Bagan Alur Metodologi Penelitian | 29 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Koefisien dalam Persamaan (2.11) dan (2.14) | 13 |
| Tabel 2. 2 Properti Jangkar dan Prediksi dari Sudut <i>Drag</i> pada <i>Shackle</i> | 20 |
| Tabel 4. 1 Data Kapal..... | 33 |
| Tabel 4. 2 Parameter Utama Jangkar..... | 36 |
| Tabel 4. 3 Parameter Tanah..... | 37 |
| Tabel 4. 4 Data Lingkungan | 38 |
| Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya Tarik oleh kapal | 39 |
| Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan <i>Anchor Trajectory</i> | 46 |
| Tabel 4. 7 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 48 |
| Tabel 4. 8 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 49 |
| Tabel 4. 9 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>General Cargo</i> | 50 |
| Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan <i>Embedded Line</i> | 53 |
| Tabel 4. 11 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 58 |
| Tabel 4. 12 Perbandingan Jarak untuk kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 59 |
| Tabel 4. 13 Perbandingan Jarak untuk kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>General Cargo</i> | 60 |
| Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Garis <i>Catenary</i> | 64 |
| Tabel 4. 15 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 68 |
| Tabel 4. 16 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 69 |
| Tabel 4. 17 Perbandingan Jarak untuk Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>General Cargo</i> | 70 |
| Tabel 4. 18 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>Container</i> | 72 |
| Tabel 4. 19 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 20 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>General Cargo</i> | 76 |
|--|----|

DAFTAR GRAFIK

| | |
|--|----|
| Grafik 4. 1 Variasi Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 48 |
| Grafik 4. 2 Variasi Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 49 |
| Grafik 4. 3 Variasi Kurva <i>Anchor Trajectory</i> untuk Kapal <i>General Cargo</i> | 50 |
| Grafik 4. 4 Variasi Kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 58 |
| Grafik 4. 5 Variasi Kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 59 |
| Grafik 4. 6 Variasi Kurva <i>Embedded Line</i> untuk Kapal <i>General</i> <i>Cargo</i> | 60 |
| Grafik 4. 7 Variasi Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>Container</i> | 68 |
| Grafik 4. 8 Variasi Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 69 |
| Grafik 4. 9 Variasi Kurva <i>Catenary Line</i> untuk Kapal <i>General</i> <i>Cargo</i> | 70 |
| Grafik 4. 10 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>Container</i> | 72 |
| Grafik 4. 11 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 74 |
| Grafik 4. 12 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal <i>General</i> <i>Cargo</i> | 76 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

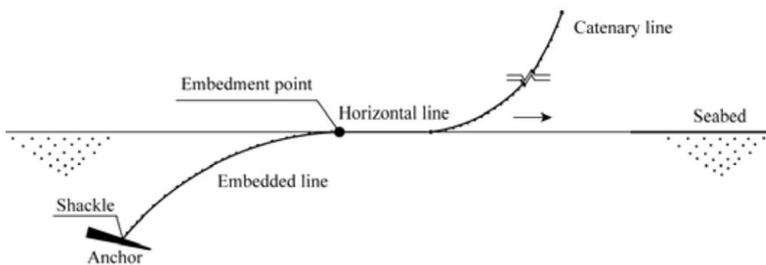
Pengangkutan dan pendistribusian minyak bumi dan gas alam dengan menggunakan sistem perpipaan dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu bisa melalui darat (*onshore pipeline*) dan juga melalui laut (*offshore pipeline*). Kedua sistem tersebut memiliki risiko yang berbeda mulai dari risiko akibat lingkungan sekitar, risiko karena desain awal pada pipa, risiko karena efek operasional, dll.

Proses transportasi atau distribusi minyak bumi dan gas telah sangat umum dilakukan di berbagai negara, khususnya negara yang memiliki sumber minyak dan gas. Infrastruktur dan proses distribusi semakin banyak dibangun di Indonesia baik oleh perusahaan negara, perusahaan swasta, dan perusahaan asing seiring dengan ditemukannya sumber gas alam yang baru. Salah satu media distribusi yang digunakan adalah melalui jalur pipa bawah laut (*subsea gas pipeline*) banyak digunakan untuk media transportasi dari sumur gas menuju fasilitas penerima. Media ini merupakan salah satu teknologi yang efisien untuk mengalirkan gas alam dalam bentuk cair maupun gas apabila jarak antara sumber gas dan fasilitas penerima gas alam ini tidak terlalu jauh. Seiring dengan ditemukannya sumber gas yang baru, semakin banyak pula pipa gas bawah laut yang dibangun di perairan Indonesia.

Adanya beberapa macam risiko yang mungkin terjadi pada pipa, maka perlu ada jaminan bahwa integritas pada jalur pipa tetap terjaga. Secara umum, risiko didefinisikan sebagai probabilitas dari sebuah kejadian yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan atau kerusakan serta besarnya konsekuensi yang terjadi akibat kerusakan tersebut. Sehingga risiko lebih sering diterjemahkan sebagai suatu ukuran yang dapat dihitung dan diketahui seperti estimasi frekuensi kegagalan, kecelakaan serta kerugian materi (Muhlbauer, 2004).

Risiko yang mungkin terjadi pada pipa bawah laut, terdiri dari beberapa macam salah satunya yaitu dikarenakan faktor pihak ketiga yaitu adanya aktivitas kapal yang berada pada jalur pipa. Dalam kasus penelitian ini, akan dianalisis trayektori jangkar terhadap *subsea gas pipeline* yang melewati daerah labuh jangkar pada studi kasus *dragged anchor* pada *subsea gas pipeline* atau *subsea cable* di Selat Madura.

Trayektori jangkar merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengilustrasikan pergerakan jangkar. Ilustrasi tersebut meliputi tiga pergerakan jangkar yaitu *trajectory*, garis *embedded*, dan garis *catenary* yang dapat disebut gasis instalasi. Segmen dari garis instalasi pada air laut disebut garis *catenary*, segmen pada permukaan dasar laut disebut garis horizontal, dan segmen tertanam dalam tanah, yang memberikan kelengkungan terbalik dibandingkan dengan garis *catenary*, disebut garis *embedded*; titik perpotongan antara jangkar dan garis *embedded* disebut *shackle* dari jangkar; titik perpotongan antara garis *embedded* dan garis horizontal didefinisikan sebagai titik *embedment*.



Gambar 1. 1 Ilustrasi Garis Instalasi

Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

Adapun beberapa potensi bahaya kepada fasilitas bawah laut eksisting diantaranya adalah akibat kejatuhan jangkar (*dropped anchor*), terseret jangkar (*dragged anchor*), tertimpa kapal yang tenggelam (*ship sinking*), dan kejatuhan objek lainnya (*dropped object*). Dalam penelitian ini, metode ini membahas analisa posisi

jangkar akibat terseret jangkar (*dragged anchor*). Risiko akibat terseret jangkar pada dasarnya dapat dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan oleh jangkar, *engine* kapal, maupun tarikan pada *anchor windlass*. Adapun faktor atau parameter lingkungan yang bekerja pada kapal dan mempengaruhi pergerakan jangkar diantaranya seperti kecepatan arus, gelombang dan angin. Berdasarkan parameter tersebut akan dilakukan evaluasi yang lebih menyeluruh dari trayektori terhadap jalur pipa gas *offshore* akibat *dragged anchor*.

1.2 Tempat Pelaksanaan

Tempat yang direncanakan dalam mendapatkan informasi dan data-data guna mendukung tugas akhir ini adalah :

1. Laboratorium *Reliability, Availability, Maintainability*, dan *Safety* (RAMS) Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.

1.3 Perumusan Masalah

Agar proses penelitian dapat berjalan dengan lancar, maka perlu diketahui masalah-masalah yang timbul saat proses pengerjaan penelitian, perumusan masalah yang dapat diambil yaitu :

1. Bagaimana cara memprediksi dengan tepat posisi atau lintasan dari jangkar di tanah dasar laut?
2. Bagaimana cara menghitung dan mengilustrasikan *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah untuk mencapai tujuan dari penelitian, maka batasan permasalahan diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan Excel VBA untuk menghitung dan mengilustrasikan analisa trayektori jangkar.
2. Analisis hanya dilakukan terhadap jalur pipa gas *offshore* akibat *dragged anchor*.

1.5 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah di atas maka dapat ditentukan tujuan dari Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Membuat suatu software yang digunakan untuk menghitung dan mengilustrasikan *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line*.
2. Dapat menentukan letak jangkar pada jarak aman tertentu dengan *offshore pipeline* agar tidak terjadi kecelakaan.

1.6 Manfaat

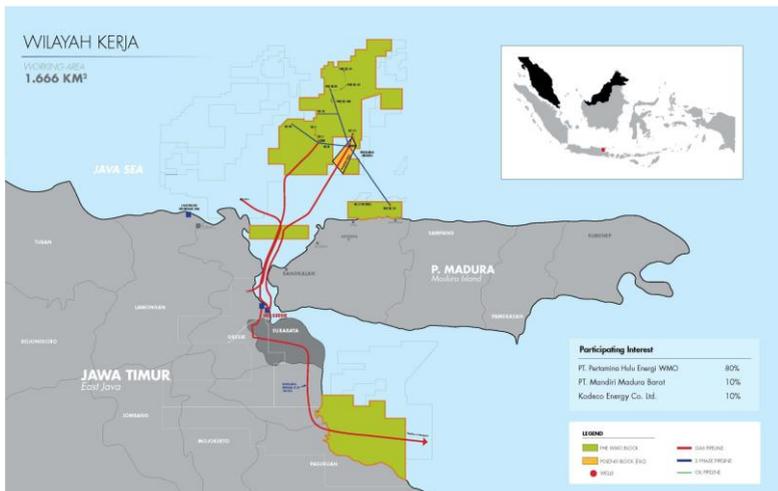
Manfaat dari dilaksanakan penelitian ini dan tercapainya tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Dapat mempercepat perhitungan dan mengilustrasikan *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line*.
2. Dapat digunakan oleh pihak operator kapal untuk mengevaluasi Standar Operasional Prosedur (SOP) yang telah diterapkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada jalur pelayaran yang padat, penarikan jangkar kapal adalah salah satu penyebab utama kegagalan atau kerusakan pipa bawah laut. Jalur pipa yang berada di laut yang secara kasat mata akan sulit dipantau keberadaannya perlu mendapat perhatian lebih seiring dengan kecenderungan yang sedang berkembang belakangan ini mengenai *health, safety and environment*. Oleh karena itu, rute alur pipa ditandai pada Gambar 2. 1, sehingga diketahui keberadaannya dan kapal yang akan melewati rute tersebut tidak akan lego jangkar.



Gambar 2. 1 Peta Jalur Pipa Gas Proyek PHE-WMO

Sumber: <http://www.phe-wmo.com>

Critical Anchor Damage Zone (CADZ) adalah daerah kritis untuk penurunan jangkar kapal. Daerah CADZ ini mempunyai lebar dua kali lebar jangkar ditambah diameter pipa terluar atau sama dengan $2B + D$. Dimana B adalah lebar jangkar dan D

adalah diameter terluar saluran pipa setelah ditambah dengan tebal lapisan pipa (*concrete*). Kapal seharusnya memang tidak melintas di daerah CADZ, tapi mungkin karena suatu hal misal kemudi mengalami kerusakan atau kapal akan mengalami tabrakan. Untuk itu perlu dilakukan sebuah perkiraan risiko pada jalur pipa akibat penurunan jangkar kapal. Namun, suatu saat keadaan darurat mungkin terjadi yang membutuhkan kapal untuk melakukan lego jangkar. Situasi seperti ini mungkin karena kegagalan mesin atau tabrakan.

Jangkar merupakan alat labuh dengan bentuk dan berat khusus yang akan diturunkan ke dasar laut, sehingga pada saat jangkar diturunkan maka kapal sangat terbatas pergerakannya dengan posisi jangkar dan panjang rantai yang diturunkan, kondisi ini untuk menahan agar kapal tidak bergerak dan tetap pada posisinya, gerakan kapal diantaranya diakibatkan oleh:

1. Dorongan akibat arus air dibagian bawah garis air kapal
2. Dorongan angin terhadap bagian kapal di atas garis air
3. Dorongan akibat pergerakan *pitching* dan *rolling* karena gelombang.

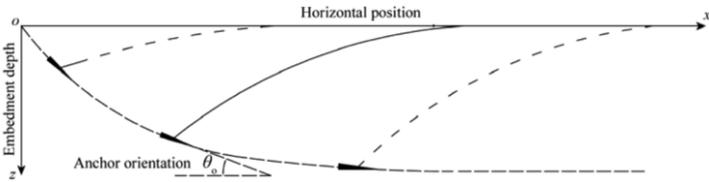
Dalam pengoperasian lego jangkar pada rute alur pipa saat keadaan darurat memiliki berbagai potensi risiko pada instalasi pipa bawah laut, seperti risiko kecelakaan, kebakaran, peledakan, pencemaran lingkungan. Perlindungan pada *subsea gas pipeline* didasari oleh kemungkinan terjadinya penarikan jangkar pada saat keadaan darurat. Jangkar jatuh ke dasar laut dan menembus jarak tertentu tergantung pada dimensi jangkar dan karakteristik tanah. Sebuah kapal dalam kondisi darurat akan lego jangkar dan kemudian mengunci rantai di kedalaman air tertentu. Dalam keadaan ini, jangkar akan menembus ke dasar laut jika kapal tidak bergerak begitu cepat, jangkar akan terseret dengan cepat ke permukaan dasar laut (*seabed*). Setelah itu, jangkar akan tersangkut di sepanjang dasar laut dan bertindak sebagai rem untuk memperlambat kapal. Di sisi lain, jika kapal tersebut

bergerak lebih cepat, jangkar tidak akan mampu menembus sepenuhnya ke dasar laut, tapi mungkin hanya menembus sedikit dan kemudian ditarik dengan cepat dan akan tersangkut di sepanjang dasar laut dan juga bertindak sebagai sejenis rem untuk memperlambat gerak kapal. Karena gaya yang diberikan oleh lingkungan kapal, seperti kecepatan arus, gelombang dan angin, rantai akan sangat kencang dan jangkar akan menyeret di sepanjang dasar laut.

Jalur pipa (*pipeline*) merupakan salah satu jenis struktur bangunan laut yang berfungsi menyalurkan hasil eksplorasi dan produksi berupa gas atau minyak dari suatu sumber menuju stasiun penerima. Jalur pipa adalah sebuah sambungan/rangkaian memanjang dari segmen-segmen pipa, dengan pompa, katup, dan alat-alat kontrol (*control equipments*) serta peralatan lain sebagai pendukung pengoperasian sistem. Fungsi dari jalur pipa tersebut adalah untuk memindahkan fluida atau campuran fluida. Istilah *pipeline* diartikan sebagai bentangan pipa berukuran besar dengan jarak yang sangat panjang. Komoditas yang sering dipindahkan melalui *pipeline* diantaranya adalah air, gas alam, minyak mentah, dan produksi hasil pengolahan minyak bumi (Liu, Henry, 2003).

2.2 Trajectory

Karakteristik pada pergerakan jangkar selama posisi *dragging* didasari oleh beberapa hal. Kedalaman *embedment* dan posisi horizontal jangkar meningkat; sementara sebaliknya, orientasi jangkar secara bertahap menurun. Karena tahanan tanah, segmen *embedded* dari garis instalasi membentuk lengkungan terbalik dan bentuknya menjadi lebih curam selama *embedment*. Karena terlihatnya tanah dasar laut, baik konfigurasi segmen *embedded* dari garis instalasi dan lintasan jangkar yang rumit dan tidak dapat diamati secara langsung. Berdasarkan Gambar 2. 2 proses penetrasi jangkar dapat dianggap sebagai gerakan dua dimensi. Oleh karena itu, seluruh *embedment* jangkar, hanya ada tiga parameter posisi, yaitu, posisi horizontal jangkar x , kedalaman *embedment* dari jangkar z (biasa disebut titik berat jangkar) dan orientasi jangkar θ_0 .



Gambar 2. 2 Parameter Penetrasi Jangkar

Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

Pada karakteristik berdasarkan Gambar 2. 2 di atas, dari hubungan berikut dapat diperoleh rumus sebagai:

$$z_i - z_{i-1} = (x_i - x_{i-1}) \tan \theta_{oi} \quad (2.1)$$

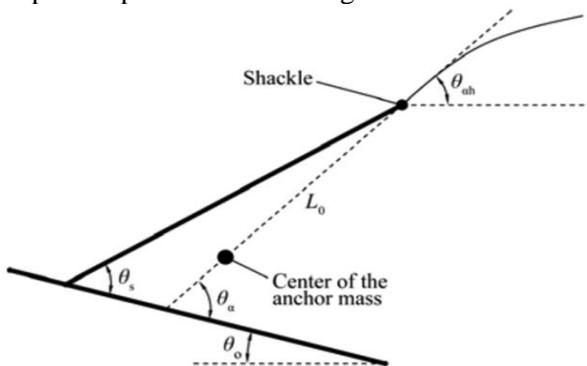
dimana,

z_i : koordinat awal posisi jangkar terhadap sumbu y (vertikal)

x_i : koordinat awal posisi jangkar terhadap sumbu x (horizontal)

θ_{oi} : sudut orientasi awal jangkar

Selain itu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 3, menurut hubungan geometris antara orientasi jangkar θ_o dan sudut tarik horizontal θ_{ah} di *shackle*, pada setiap penetrasi, sudut *drag* pada *shackle* dapat direpresentasikan sebagai:



Gambar 2. 3 Pergerakan Jangkar

Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

$$\theta_a = \theta_o + \theta_{ah} \quad (2.2)$$

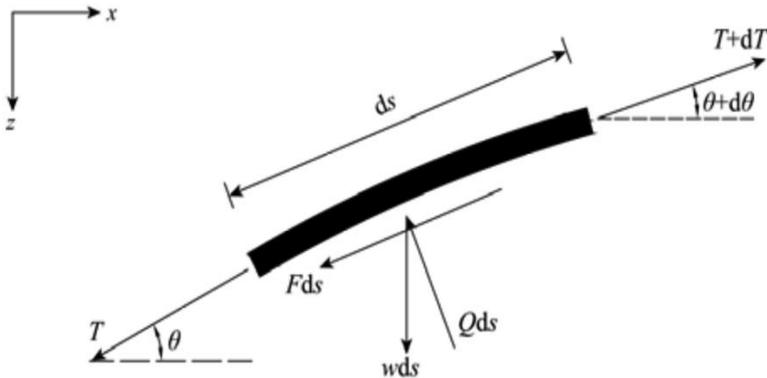
dimana,

θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar

θ_o : sudut yang terbentuk antara bagian yang tertanam di dalam seabed terhadap *fluke*

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal *seabed* terhadap *shank*

Rantai jangkar yang tertanam dianalisis oleh (Neubecker, Randolph, 1995), dan gerakan yang mempengaruhi ketegangan rantai pada titik *attachment* berasal dari tiang jangkar (*shank*). Cara serupa dilakukan untuk *drag anchor* untuk menganalisis garis *embedded* dan kemudian untuk menurunkan persamaan posisi jangkar. Gaya yang bekerja pada garis *embedded* ditunjukkan pada Gambar 2. 4.



Gambar 2. 4 Gaya yang Bekerja pada Garis *Embedded*

Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

dimana,

T : tegangan pada garis *drag*

θ : sudut dari garis *drag*

- s : jarak yang diukur sepanjang garis *drag* mulai *shackle* tersebut
 w : berat terendam garis *drag* per satuan panjang
 Q : tahanan tanah normal ke garis *drag* per satuan panjang
 F : tahanan tanah tangensial ke garis *drag* per satuan panjang

Berdasarkan dari keseimbangan gaya baik dalam arah horizontal dan vertikal (Vivatrat et al., 1982) dengan $F \square \square Q$, persamaan diferensial berikut dapat diperoleh:

$$\frac{dT}{ds} + \mu T \frac{d\theta}{ds} = w(\sin\theta + \mu\cos\theta) \quad (2.3)$$

Jika berat dari garis *drag* w diabaikan, dan hanya mempertimbangkan kesimbangan gaya pada posisi vertikal, Persamaan (2.3) dapat diintegrasikan untuk memberikan hubungan antara ketegangan dan ketahanan tanah ke garis *drag*:

$$T_a \exp[\mu(\theta_{ah} - \theta)] \frac{d\theta}{ds} = -Q \quad (2.4)$$

dimana,

- T_a : gaya *drag* pada *shackle*
 θ_{ah} : sudut *drag* horizontal pada *shackle*

Dengan mengintegrasikan Persamaan. (2.4) dari *shackle* ke titik *embedment* sepanjang garis *embedded* dan mempertimbangkan kedalaman *embedment* awal garis *drag* \square (Li, 2010), dapat diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{T_a}{1+\mu^2} [\exp(\mu\theta_{ah}) - \cos\theta_{ah} - \mu\sin\theta_{ah}] = \int_{\zeta}^{z_a} Q dz \quad (2.5)$$

dimana,

- z_a : kedalaman jangkar di bawah *seabed*

Dari persamaan. (2.5), gerakan analitis dapat dengan mudah diperoleh jika tahanan tanah Q diketahui. Gerakan dari tahanan tanah Q berbeda untuk tanah kohesif dan non-kohesif. Pada tanah liat jenuh atau *saturated clay*, tahanan tanah Q dihitung dengan rumus Skempton (Skempton, 1951):

$$Q = N_{cL} s_u b \quad (2.6)$$

dimana,

b : lebar bantalan yang efektif dari garis *embedded*

N_{cL} : faktor daya dukung untuk garis *drag*

s_u : kekuatan geser *undrained*

: $s_{u0} + kz$

z : kedalaman tanah di bawah permukaan dasar laut

s_{u0} : kekuatan geser pada permukaan dasar laut ($z = 0$)

k : gradien dari kekuatan geser *undrained* dengan kedalaman

(Degenkamp, Dutta, 1989) menyampaikan bahwa $b = d$ dan $b = 2.5d$ untuk masing-masing kabel dan rantai. Untuk kabel, d adalah diameter; untuk rantai, d adalah diameter bar nominal. Nilai-nilai yang direkomendasikan umumnya diterima (Neubecker dan Randolph, 1996a; DNV, 2000; Miedema et al, 2007.).

Pada jenis tanah *saturated sand*, rumus untuk bantalan diusulkan oleh (Terzaghi, Peck, 1967) untuk menghitung tahanan normal tanah:

$$p = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma t N_\gamma \quad (2.7)$$

dimana,

N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung

c : kohesi tanah

q : bilangan tambahan terdistribusi secara merata di sekitar pondasi

γ : satuan berat tanah
 t : ketebalan pondasi

Dengan mempertimbangkan bahwa nilai kohesi c di *saturated sand* adalah sekitar nol, dan $\frac{1}{2}\gamma t N_\gamma$ berhubungan dengan $q N_q$, dan kemudian *item* pertama dan ketiga di kanan persamaan. (2.7) dapat diabaikan. Maka q berhubungan dengan sudut rantai dan dapat dinyatakan sebagai:

$$q = (K_L \sin^2 \theta + \cos^2 \theta) \gamma z \quad (2.8)$$

dimana,

K_L : faktor tekanan tanah lateral untuk garis *drag*, yang terkait tegangan vertikal dan tegangan horizontal

Karena sudut rantai bervariasi sepanjang garis *embedded*, dan tidak diketahui saat penetrasi jangkar, penerapan Persamaan. (2.8) yang terbatas. Oleh karena itu, perkiraan gerakan dengan presisi tinggi yang independen dari sudut rantai berasal dari rumus berikut:

$$q = \frac{1}{20} (3K_L + 17) \gamma z \quad (2.9)$$

Dengan substitusi Persamaan. (2.9) ke Persamaan. (2.7), tahanan tanah dapat dirumuskan sebagai:

$$Q = \frac{1}{20} (3K_L + 17) \gamma z N_{qL} b \quad (2.10)$$

dimana N_q diganti dengan N_{qL} yang menunjukkan faktor daya untuk garis *drag*. Kemudian mengganti Persamaan. (2.6) atau Persamaan. (2.10) ke dalam Persamaan. (2.5), dan memperkenalkan hubungan antara kedalaman *embedment* dari pusat massa jangkar *shackle*, yaitu $z_c = z_a + L_0 \sin \theta_{ah}$,

kemudian, hubungan antara z_c , θ_{ah} dan T_a baik untuk tanah kohesif dan non-kohesif dapat dinyatakan sebagai:

$$F_1(z_c, \theta_{ah}, T_a) = 2[\exp(\mu\theta_{ah}) - \cos\theta_{ah} - \mu\sin\theta_{ah}] - bf_1(z_c)(1 + \mu^2) = 0 \quad (2.11)$$

z_c : kedalaman *embedment* dari titik berat jangkar

L_0 : jarak dari *shackle* ke titik berat jangkar

$f_1(z_c)$: fungsi dari z_c yang berhubungan dengan garis *drag* dan sifat-sifat tanah

seperti yang tercantum pada Tabel 2. 1.

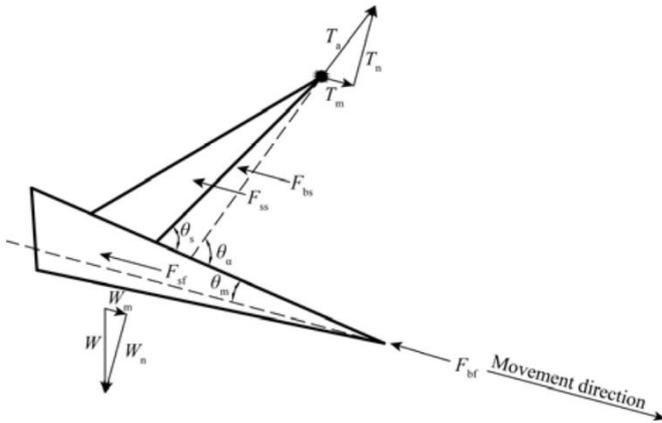
Tabel 2. 1 Koefisien dalam Persamaan (2.11) dan (2.14)
Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

| | Sand | | Clay |
|------------|---|---------------------------------------|---|
| | Exact expression | Simplified expression | |
| $f_1(z_c)$ | $\frac{1}{20}(3K_t + 17)N_{qt}\gamma[(z_c - L_0 \sin\theta_m)^2 - \zeta^2]$ | | $2N_{qt}s_{w0}(z_c - L_0 \sin\theta_m - \zeta) + N_{qt}k[(z_c - L_0 \sin\theta_m)^2 - \zeta^2]$ |
| $f_2(z_c)$ | $(K_1 A_{tm} + K_2 A_0 + K_3 A_{tm})\gamma z_c$ | | $(N_{qt} A_0 + \alpha_r A_r)(s_{w0} + kz_c)$ |
| K_1 | | $K_t \tan\delta_r$ | - |
| K_2 | $K_t \cos^2\theta_0 + \sin^2\theta_0$ | $\frac{1}{20}(17K_t + 3)N_{qt}$ | - |
| K_3 | $(K_t \sin^2\theta_0 + \cos^2\theta_0)\tan\delta_r$ | $\frac{1}{20}(3K_t + 17)\tan\delta_r$ | - |

Untuk bahwa nilai koefisien gesekan μ pada jenis tanah *sand* biasanya berbeda dari *clay*. Pada *sand*, $\mu = \tan\delta_1$ banyak digunakan, di mana δ_1 menunjukkan sudut gesekan antarmuka untuk garis hambatan. Pada jenis *clay*, berdasarkan (Neubecker, Randolph, 1995) dan (Li, 2010) bahwa nilai μ untuk rantai masing-masing adalah $0.4 \square 0.6$ dan $0.1 \square 0.6$. Nilai koefisien gesek juga berbeda untuk rantai dan kabel. Biasanya nilai μ untuk rantai lebih besar dari pada untuk kabel. Hal ini disarankan oleh DNV (2000) yang nilai μ menjadi $0.6-0.8$ dan $0.1-0.3$ untuk masing-masing rantai dan kabel pada jenis tanah *clay*.

Kedalaman *embedment* awal garis *drag* ζ dapat dievaluasi berdasarkan permasalahan sebelumnya (Li, 2010). Untuk tanah dengan jenis *clay* dengan kekuatan yang sama, $\zeta = 0$; untuk tanah *clay* dengan kekuatan linear, $\zeta = \frac{w}{kN_{cL}b} - \frac{S_{u0}}{k}$ dan $\zeta \geq 0$; untuk tanah non-kohefif, $\zeta = \frac{w}{N_{qLY}b}$.

Model mekanik untuk penarikan jangkar yang dikembangkan oleh (Liu et al., 2012b) diadopsi dalam permasalahan ini, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. 5



Gambar 2. 5 Model Mekanik untuk Penarikan Jangkar
Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

Menurut keseimbangan gaya dalam arah gerakan, maka dapat diperoleh rumus sebagai:

$$T_a \cos(\theta_a - \theta_m) - F_b - F_s + W \sin(\theta_o - \theta_m) = 0 \quad (2.12)$$

dimana,

- θ_a : sudut tarik ke *fluke* pada *shackle*
- θ_o : sudut arah gerakan terhadap garis horizontal
- θ_m : sudut arah gerakan ke atas permukaan *fluke*
- F_b : total bantalan akhir

F_s : gaya geser total dalam arah gerakan di jangkar

W : berat jangkar yang terendam

Pada Gambar 2. 5, T_m dan T_n masing-masing adalah komponen dari T_a pada arah gerakan dan normal terhadap arah gerakan, W_m dan W_n masing-masing adalah komponen dari W pada arah gerakan dan normal terhadap arah gerakan, F_{bf} dan F_{bs} masing-masing adalah bantalan akhir dalam arah gerakan pada *fluke* dan *shank*, F_{sf} dan F_{ss} masing-masing adalah gaya geser dalam arah gerakan pada *fluke* dan *shank*.

Pada jenis tanah *clay*, F_b dan F_s dapat dirumuskan sebagai:

$$\begin{cases} F_b = N_{cf} S_u A_b \\ F_s = \alpha_f S_u A_s \end{cases} \quad (2.13a)$$

dimana,

N_{cf} : menunjukkan faktor daya untuk jangkar

α_f : menunjukkan faktor adhesi untuk jangkar

A_b : daerah bantalan efektif jangkar, yang merupakan total luas proyeksi jangkar (termasuk *fluke* dan *shackle*) untuk bidang tegak lurus terhadap arah gerakan

A_s : daerah geser efektif jangkar, yang merupakan daerah geser total jangkar (termasuk *fluke* dan *shackle*) sepanjang arah gerakan

Pada jenis tanah *clay*, jika mengadopsi gerakan yang tepat dari q dan tegangan geser \square , F_b dan F_s dirumuskan sebagai:

$$\begin{cases} F_b = (K_f \cos^2 \theta_o + \sin^2 \theta_o) \gamma z_c N_{qf} A_b \\ F_s = [(K_f \cos^2 \theta_o + \sin^2 \theta_o) A_{sm} + K_f A_{sn}] \gamma z_c \tan \delta_f \end{cases} \quad (2.13b)$$

Jika mengadopsi gerakan sederhana dari q dan tegangan geser \square , Persamaan (2.13b) disederhanakan menjadi:

$$\begin{cases} F_b = \frac{1}{20}(17K_f + 3)\gamma z_c N_{qf} A_b \\ F_s = [\frac{1}{20}(3K_f + 17)A_{sm} + K_f A_{sn}] \gamma z_c \tan \delta_f \end{cases} \quad (2.13c)$$

dimana, K , N_q , δ , dan z disubstitusi dengan K_f , N_{qf} , δ_f , dan z_c , yang masing-masing dinyatakan faktor tekanan tanah lateral untuk jangkar, faktor bantalan kapasitas untuk jangkar, sudut gesekan antarmuka untuk jangkar, dan kedalaman *embedment* dari titik berat jangkar. Jika bidang jangkar bergerak didefinisikan sebagai bidang utama jangkar dan mewakili orientasi *fluke*, dan kemudian A_{sm} menunjukkan daerah geser efektif jangkar yang diproyeksikan ke bidang utama *fluke*, dan A_{sn} menunjukkan daerah geser efektif jangkar diproyeksikan ke bidang tegak lurus terhadap bidang primer dan sepanjang arah gerakan *fluke* itu.

Dengan substitusi Persamaan. (2.13) ke dalam Persamaan. (2.12), hubungan antara z_c , θ_a , θ_{ah} dan T_a dan tanah non-kohefif dapat dirumuskan sebagai:

$$F_2(z_c, \theta_a, \theta_{ah}, T_a) = T_a \cos(\theta_a - \theta_m) - f_2(z_c) + W \sin(\theta_a - \theta_{ah} - \theta_m) = 0 \quad (2.14)$$

dimana $f_2(z_c)$ menunjukkan fungsi z_c yang berhubungan dengan jangkar dan tanah. Persamaan $f_2(z_c)$ berbeda untuk tanah kohefif dan non-kohefif, seperti yang tercantum pada Tabel 2. 1.

Karena tegangan garis jangkar sama dengan tahanan penarikan jangkar di *shackle*, dengan menggabungkan Persamaan. (2.11) dan (2.14), dan menggabungkan Persamaan. (2.2), rumus berikut dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} F(z_c, \theta_o) = & b(1 + \mu^2) \cos(\theta_a - \theta_m) f_1(z_c) - 2[e^{\mu(\theta_a - \theta_o)} \\ & - \cos(\theta_a - \theta_o) - \mu \sin(\theta_a - \theta_o)] [f_2(z_c) \\ & - W \sin(\theta_o - \theta_m)] = 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

dimana,

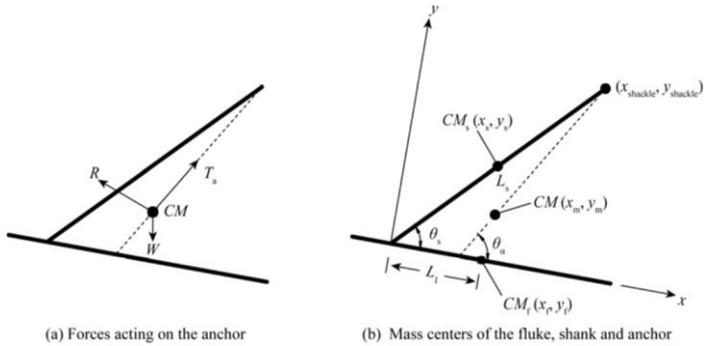
μ : koefisien gesek

$f_1(z_c)$: fungsi dari z_c yang berhubungan dengan garis *drag* dan sifat-sifat tanah

$f_2(z_c)$: fungsi dari z_c yang berhubungan dengan jangkar dan sifat-sifat tanah

Persamaan. (2.15) adalah hubungan teoritis antara kedalaman jangkar di dalam tanah dan orientasi jangkar; dan dengan menggabungkan Persamaan. (2.1), persamaan posisi awal jangkar. Dari Persamaan. (2.15), dapat ditemukan bahwa, di bawah kondisi tertentu, yaitu, jangkar, garis tarik dan sifat tanah diketahui, dan gerakan ini dapat ditentukan dengan metode teoritis yang diusulkan oleh (Liu et Al., 2012b).

Metode analisis untuk menentukan baik variasi θ_a dengan kedalaman *embedment* dan nilai θ_a untuk *drag anchor*, termasuk kedua Stevmanta dan Dennla VLAs yang merupakan *drag anchor* komersial utama, dikembangkan dalam bagian ini, yang didasarkan pada asumsi bahwa arah gaya *drag* pada *shackle* yang melewati titik berat jangkar selama proses *dragging*. Ada dua pertimbangan yang mendukung asumsi ini. Pertama, dari skala makroskopik, tahanan *embedment* jangkar dalam tanah dapat tampak sebagai titik berat dan titik akhir dari *embedded line*. Oleh karena itu, semua gaya yang bekerja pada jangkar melewati titik berat jangkar. Kedua, untuk tujuan aplikasi praktis, selama *embedment* jangkar, akan ada keseimbangan yang lebih baik antara efisiensi penetrasi dan stabilitas jangkar jika arah gaya *drag* pada *shackle* yang melewati titik berat jangkar. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6, gaya yang bekerja pada jangkar termasuk gaya *drag* pada *shackle* T_a , resistansi total tanah R, dan berat jangkar yang terendam terendam W; CM , CM_f dan CM_s masing-masing adalah titik berat jangkar, *fluke*, dan *shank*; (x_m, y_m) , (x_f, y_f) , (x_s, y_s) dan $(x_{shackle}, y_{shackle})$ masing-masing adalah koordinat posisi dari CM , CM_f , CM_s dan *shackle*; m_f dan m_s masing-masing adalah massa dari *fluke* dan *shank*; L_1 menunjukkan jarak dari CM_f ke titik *attachment shank-fluke*, dan L_s menunjukkan panjang dari *shank*.

Gambar 2. 6 Geometri *Drag Anchor*

Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

Koordinat posisi CM_f , CM_s dan *shackle* dalam sistem koordinat dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{cases} x_f = L_1; & y_f = 0 \\ x_s = \frac{1}{2}L_s \cos\theta_s; & y_s = \frac{1}{2}L_s \sin\theta_s \\ x_{shackle} = L_s \cos\theta_s; & y_{shackle} = L_s \sin\theta_s \end{cases} \quad (2.16)$$

Kemudian, berdasarkan geometris jangkar, koordinat posisi dari CM dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{cases} x_m = \frac{m_f x_f + m_s x_s}{m_f + m_s} = \frac{2m_f L_1 + m_s L_s \cos\theta_s}{2(m_f + m_s)} \\ y_m = \frac{m_f y_f + m_s y_s}{m_f + m_s} = \frac{m_s L_s \sin\theta_s}{2(m_f + m_s)} \end{cases} \quad (2.17)$$

Mengingat bahwa asumsi sebelumnya dan geometri, sudut *drag* pada *shackle* θ_a dapat dinyatakan sebagai:

$$\theta_a = \arctan\left(\frac{y_{shackle} - y_m}{x_{shackle} - x_m}\right) = \arctan\left[\frac{\left(2 + \frac{m_s}{m_f}\right) \sin\theta_s}{\left(2 + \frac{m_s}{m_f}\right) \cos\theta_s - 2 L_1 / L_s}\right], 0 <$$

$$\theta_a < \pi/2 \quad (2.18)$$

Dapat diamati dari Persamaan. (2.18) bahwa nilai θ_a dapat diselesaikan jika salah satu dari dua kondisi ini, yaitu, posisi koordinat dari CM dan *shackle*, atau sifat jangkar termasuk θ_s , m_s/m_f , dan L_1/L_s . Selain itu, jelas bahwa, untuk pengangkatan jangkar tertentu, parameter dari properti jangkar diketahui. Oleh karena itu, nilai θ_a diketahui, dan dapat disimpulkan bahwa sudut *drag* pada *shackle* θ_s adalah konstan selama penetrasi dan itu tidak berbeda dengan kedalaman *embedment*.

Untuk menguji metode analisis untuk memprediksi sudut *drag* pada *shackle*, semua data yang tersedia dilaporkan dalam literatur dikumpulkan untuk perhitungan dan perbandingan. Seperti yang tercantum dalam Tabel 2. 2, data dibagi menjadi dua kategori sesuai dengan dua kondisi. Berikut adalah beberapa model jangkar yang digunakan yaitu:

- Empat model jangkar sederhana dengan ukuran yang berbeda yang digunakan oleh Murff et al. (2005);
- Satu model jangkar sederhana yang digunakan oleh Ruinen (2004) dalam pemodelan numerik
- Tiga model jangkar Bruce diadopsi oleh Kim (2005) dalam pemodelan numerik
- Dua model skala dari Vryhof Stevpris 32t jangkar di tes sentrifuse diadopsi oleh O'Neill dan Randolph (2001)
- Tiga model persegi panjang dengan *shank* fleksibel digunakan dalam percobaan model *flume* oleh Liu et al. (2010).

Berdasarkan data yang diketahui dari model jangkar, data yang diperlukan untuk menggunakan Persamaan. (2.18) dapat diperoleh, dan kemudian nilai θ_a dapat dihitung. Pada Tabel 2. 2,

θ_a menunjukkan nilai θ_a dilaporkan dalam literatur, yang ditentukan melalui baik simulasi numerik atau percobaan.

Tabel 2. 2 Properti Jangkar dan Prediksi dari Sudut *Drag* pada *Shackle*
Sumber: *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 1, pp. 49 – 64

| Anchor property | Murff <i>et al.</i> | | | | Kim |
|------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| (x_m, y_m) | (0.83, 0.22) | (0.89, 0.42) | (0.64, 0.22) | (0.88, 0.16) | (2.19, 1.51) |
| $(x_{shackle}, y_{shackle})$ | (2.50, 2.98) | (2.50, 2.98) | (2.50, 2.98) | (3.19, 2.23) | (5.53, 6.59) |
| θ_s (°) | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 35.0 | 50.0 |
| θ_a (°) | 58.7 | 57.8 | 56.0 | 41.9 | 56.7 |
| $\theta_a - \theta_s$ (°) | 8.7 | 7.8 | 6.0 | 6.9 | 6.7 |

| Anchor property | Kim | | O'Neill and Randolph | | Ruinen | Liu <i>et al.</i> | | |
|----------------------------|-------|-------|----------------------|-------|--------|-------------------|------|------|
| | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| m_s / m_t | 0.040 | 0.039 | 0.608 | 0.617 | 0.208 | 0 | 0 | 0 |
| L_s / L_a | 0.091 | 0.047 | 0.148 | 0.100 | 0.108 | 0 | 0 | 0 |
| θ_s (°) | 50.0 | 65.0 | 32.0 | 50.0 | 50.0 | 24.0 | 29.5 | 33.3 |
| θ'_s (°) | – | 73.0 | – | – | 56.4 | 24.0 | 29.5 | 33.3 |
| θ_a (°) | 54.1 | 67.6 | 32.5 | 49.3 | 54.5 | 24.0 | 29.5 | 33.3 |
| $ \theta_a - \theta'_s $ | – | 5.4 | – | – | 1.9 | 0 | 0 | 0 |
| $\theta_s - \theta'_s$ (°) | 4.1 | 2.6 | 0.5 | -0.7 | 4.5 | 0 | 0 | 0 |

Dapat diamati dari Tabel 2. 2 bahwa, untuk *drag anchor* dengan *shank* (kecuali model yang digunakan oleh Liu *et al.*, 2010), seperti *drag anchor* konvensional dan Dennla VLAs, hampir semua nilai-nilai θ_a lebih besar dari dari θ_s sudut *shank*, dan perbedaannya berkisar dari 0.5° ke 8.7° ; untuk *drag anchor* dengan *shank* fleksibel, seperti Stevmanta VLAs, nilai θ_a persis sama bahwa dari sudut *shank* θ_s . Dibandingkan dengan nilai yang diketahui dari θ_a , deviasi maksimum dari sudut yang diprediksi adalah 5.4° , dan deviasi lainnya lebih kecil dari 1.9° .

Persamaan posisi jangkar akhirnya dapat ditetapkan oleh persamaan berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_a = \arctan \left(\frac{y_{shackle} - y_m}{x_{shackle} - x_m} \right) = \arctan \left[\frac{\left(2 + \frac{m_s}{m_f} \right) \sin \theta_s}{\left(2 + \frac{m_s}{m_f} \right) \cos \theta_s - 2 L_1 / L_s} \right], 0 < \theta_a < \pi/2 \\ F(z_c, \theta_o) = b(1 + \mu^2) \cos(\theta_a - \theta_m) f_1(z_c) \\ \quad - 2\{\exp[\mu(\theta_a - \theta_o)] - \cos(\theta_a - \theta_o) - \mu \sin(\theta_a - \theta_o)\} [f_2(z_c) - W \sin(\theta_o - \theta_m)] = 0 \\ z_i - z_{i-1} = (x_i - x_{i-1}) \tan \theta_{oi} \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Dalam Persamaan. (2.19), pertama, nilai yang tepat dari θ_a dapat disimpulkan oleh persamaan pertama; kemudian, hubungan antara z_c dan θ_o dapat diperoleh dengan persamaan kedua. Akhirnya, posisi jangkar selama proses *embedment anchor* keseluruhan dapat disimpulkan dengan rumus tambahan ketiga. Dalam rangka untuk mendapatkan hasil yang masuk akan, dibatasi dengan kondisi-kondisi sebagai berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} d\theta_o/dz_c < 0 \\ d(\theta_a - \theta_o)/dz_c > 0 \\ 0 \leq \theta_o \leq \theta_a \end{array} \right. \quad (2.20)$$

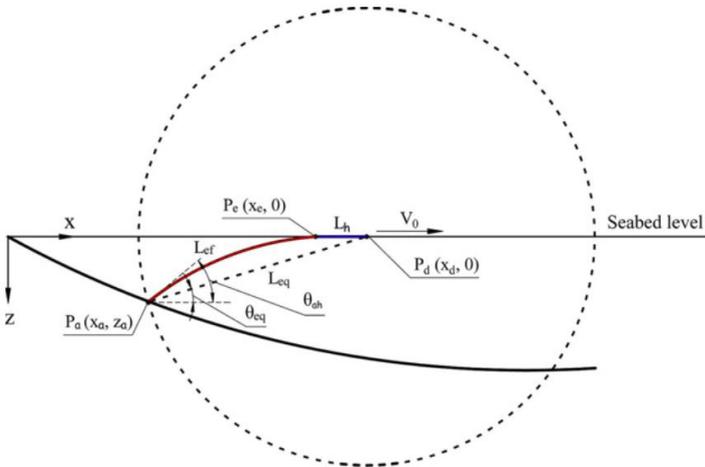
Iterasi dilakukan dengan memvariasikan nilai z_c untuk mendapatkan nilai T_0 yang merupakan tegangan pada garis *drag* atau rantai jangkar. Iterasi dilakukan untuk mencapai nilai $T_0 = F$ lingkungan. F lingkungan merupakan gaya yang diberikan oleh lingkungan kapal, seperti kecepatan arus, gelombang dan angin. Jika sudah didapatkan nilai $T_0 = F$ maka pada titik tersebut ujung dari kedalaman jangkar yang tertanam dan akan dilanjutkan pergerakan jangkar selanjutnya selanjutnya melalui titik tersebut yang disebut garis *embedded*.

2.3 Embedded Line

Pada perhitungan untuk garis *embedded* akan dimulai dari ujung pergerakan *anchor trajectory* yang didapat dari iterasi z_c sehingga didapatkan nilai $T_0 = F$. Garis *embedded* adalah segmen tertanam dalam tanah, yang memberikan kelengkungan terbalik dibandingkan dengan garis *catenary*.

Seperti yang ditunjukkan secara lebih rinci dalam Gambar 1. 1, titik perpotongan antara *embedded line* dan *seabed* didefinisikan sebagai titik *embedment*, dilambangkan dengan P_e , dan P_d adalah titik *drag*, seperti yang didefinisikan sebelumnya. Segmen dari *drag line* antara P_e dan P_d didefinisikan sebagai garis horizontal.

Dalam keadaan ideal, titik *embedment* ini bertepatan dengan titik *drag*, dan tertanam garis identik dengan garis *drag*. Model kinematik dalam keadaan ideal dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Model Kinematik untuk *Drag Anchor*

Sumber: H. Liu et al. / *Applied Ocean Research* 43 (2013) 80–87

Gerakan jangkar dapat dianggap sebagai gerakan melingkar, di mana titik tarik adalah pusat lingkaran dan tertanam garis jari-jari. Sementara itu, titik tarik bergerak maju horizontal pada kecepatan konstan.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 7, $P_d(x_d, 0)$ menunjukkan posisi titik *drag*, $P_a(x_a, z_a)$ menunjukkan posisi jangkar, V_0 adalah kecepatan titik *drag* (identik dengan kecepatan pergerakan AHV), L adalah panjang garis tertanam, dan y adalah

sudut dari garis tertanam terhadap garis horizontal. Asal koordinat menunjukkan posisi awal dari jangkar di dasar laut.

Gerak jangkar adalah sintesis dari gerakan melingkar dan gerakan horizontal dari pusat lingkaran. Oleh karena itu, posisi koordinat dari jangkar harus secara bersamaan mengikuti persamaan lingkaran dan persamaan linear, sebagai berikut:

$$(x - x_d)^2 + z^2 = L^2 \quad (2.21)$$

dimana,

x : koordinat horizontal jangkar

x_d : koordinat awal posisi jangkar terhadap sumbu x (horizontal)

z : koordinat vertikal jangkar

L : panjang garis *embedded*

Dengan asumsi, selama *dragging* sudut *drag* untuk *fluke* jangkar pada *shackle* tetap konstan dan bahwa dalam proses penetrasi jangkar bergerak sejajar dengan *fluke*, garis singgung di setiap posisi lintasan jangkar merupakan sudut orientasi jangkar.

Panjang garis horizontal dx dapat diturunkan sebagai:

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{w}{kN_{cl}b} - \frac{s_{u0}}{k} \quad \text{for clay} \\ \zeta &= \frac{w}{kN_{cl}b} \quad \text{for sand} \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{s_{u0} + k\zeta}{k} \quad \text{for clay} \\ \varepsilon &= \zeta \quad \text{for sand} \end{aligned} \quad (2.23)$$

dimana,

w : berat terendan rantai jangkar per satuan panjang

k : gradien dari kekuatan geser *undrained* dengan kedalaman

N_{cl} : faktor daya dukung untuk garis *drag*

b : diameter rantai jangkar

s_{u0} : kekuatan geser pada permukaan dasar laut ($z = 0$)

ζ : kedalaman *embedment* awal garis *drag*

$$\begin{aligned} dx &= -\sqrt{ds^2 - dz^2} \\ &= -\sqrt{\frac{\cos^2\theta_e(z_a + 2\varepsilon)z_a - (\sin^2\theta_{ah} - \sin^2\theta_e)(z + 2\varepsilon)z}{\sin^2\theta_e(z_a + 2\varepsilon)z_a - (\sin^2\theta_{ah} - \sin^2\theta_e)(z + 2\varepsilon)z}} dz \end{aligned} \quad (2.24)$$

dimana,

dx : interval jarak horizontal

ds : *arc length of the line element*

dz : interval jarak vertikal

θ_e : sudut tarik pada titik *embedment*

z_a : koordinat vertikal, kedalaman jangkar di bawah *seabed*

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal *seabed* terhadap *shank*

Mengintegrasikan persamaan di atas dengan titik *embedment*, maka didapat persamaan berikut:

$$\begin{aligned} A &= (\sin^2\theta_{ah} - \sin^2\theta_e)/[z_a(z_a + 2\varepsilon)\cos^2\theta_e], \\ N(z) &= \sqrt{\tan\theta_e + Az(z + 2\varepsilon)}, \\ M(z) &= (z + \varepsilon)\sqrt{A} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} x = x_e - \frac{4 + \varepsilon^2 A + \tan^2\theta_e}{4\sqrt{A}} \ln \left[\frac{N(z) + M(z)}{\tan\theta_e + \varepsilon\sqrt{A}} \right] \\ + \frac{N(z)M(z) - \varepsilon\sqrt{A}\tan\theta_e}{4\sqrt{A}} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Jika garis *embedded* memiliki sudut tangensial terhadap *seabed* pada titik *embedment*, $\theta_e = 0$, persamaan 23 dapat disederhanakan menjadi:

$$A = \frac{\sin^2 \theta_{ah}}{z_a(2\varepsilon + z_a)} \quad (2.27)$$

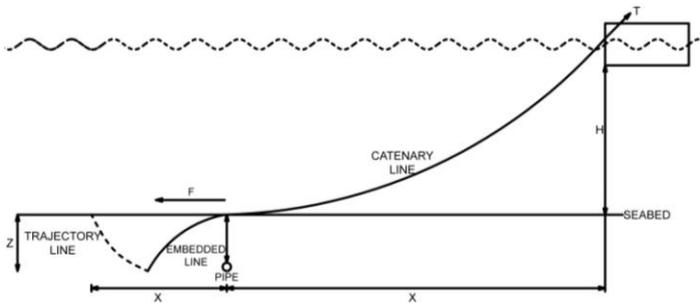
$$x = x_e + \frac{1}{4}(\varepsilon + z)\sqrt{z(2\varepsilon + z)}A - \frac{4 + \varepsilon^2 A}{4\sqrt{A}} \ln \frac{\varepsilon + z + \sqrt{z(2\varepsilon + z)}}{\varepsilon} \quad (2.28)$$

Persamaan. (2.26) disebut sebagai persamaan *embedded line*, yang menunjukkan bahwa bentuk kebalikan dari *catenary line* yang dapat digambarkan dengan koordinat horizontal titik *embedment*, koordinat vertikal *shackle*, dan sudut tarik di *shackle* itu. Persamaan ini berlaku untuk kedua pasir jenuh dan tanah liat jenuh dengan kekuatan linear.

Dari hasil perhitungan perhitungan *embedded line* didapatkan angka sebagai berikut dengan metode iterasi untuk mengetahui pergerakan jangkar tersebut.

2.4 Catenary Line

Segmen dari garis instalasi pada air laut disebut garis *catenary*. Garis *catenary* merupakan tahap berikutnya setelah perhitungan garis *embedded*. Pada perhitungan untuk garis *catenary* akan dimulai dari garis horizontal pada *seabed* yang nilainya memberikan kelengkungan terbalik dibandingkan dengan garis *embedded*.



Gambar 2. 8 Skema dari Garis Jangkar

Ketika *pipeline* mencapai dasar laut pada saat instalasi, maka *pipeline* akan membentuk kurva tertentu secara alami akibat terjadinya defleksi yang besar. Dalam menentukan pergerakan jangkar, hal penting yang harus dilakukan selanjutnya yaitu mengetahui jarak aman jangkar dan rantai jangkar terhadap fasilitas yaitu pipa dan *subsea cable*.

dimana,

H : *connection point height above seabed*

X : *horizontal distance from connection point to touchdown point (kedalaman laut)*

T : *tension in the mooring chain*

F : *horizontal restraining force*

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, untuk *mooring line* yang diberikan dengan kedalaman air tertentu, F (*horizontal restraining force*) diberikan dengan rumus seperti berikut:

$$F = T - H\mu g \quad (2.29)$$

dimana,

μ : unit massa per satuan panjang

g : percepatan gravitasi

H : *connection point height above seabed*

T : *tension in the mooring chain*

Horizontal restraining force (F) setiap titik sepanjang *mooring line* adalah konstan, sehingga *tension in the mooring chain* (T) ketegangannya bervariasi sepanjang *mooring line* dari nilai T awalnya, pada *connection point* sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$Ts^2 = F^2 + Vs^2 \quad (2.30)$$

dimana,

V_s : beban vertikal pada jarak S sepanjang *mooring line*

Perubahan ini sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$V_s = s\mu g \quad (2.31)$$

Sebuah perpindahan horizontal (ΔX) dapat dihitung dari *connection point* akibat perubahan dari $\Delta T = T_0 - T_1$ dalam ketegangan *mooring line* yang sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\Delta X = F \log ((T_0 + V_0)/(T_1 + V_1))/\mu g \quad (2.32)$$

dimana,

T_0 : *initial tension in the mooring line*

V_0 : *initial vertical load in the mooring line*

T_1 : *tension at a distance ΔX*

V_1 : *vertical load at a distance ΔX*

Suatu perubahan yang sesuai dalam ΔH (*vertical displacement*) dari *connection point* juga dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\Delta H = (T_0 + T_1)/\mu g \quad (2.33)$$

Berdasarkan skenario kejadian *dragged anchor* pada pipa yang tetapkan pada bagian sebelumnya, bahwa *dragged anchor* terjadi akibat jangkar kapal yang terjatuh bukan ditempat yang telah ditentukan pada *anchor point*. Jangkar yang terjatuh akan terseret oleh pengaruh lingkungan yang menghasilkan gaya tarik oleh kapal. Secara umum parameter-parameter yang berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada kapal adalah kecepatan arus, kecepatan gelombang, dan kecepatan angin dimana kapal akan ditempatkan. Secara umum, gaya tarik yang diakibatkan oleh kapal dapat diberikan pada perumusan di bawah ini:

$$F_{PLV} = 0,5 \times \rho_{water} \times S_{LB} \times (v_c^2 + v_w^2) + 0,5 \times \rho_{air} \times S_{UB} \times v_a^2 \quad (2.34)$$

dimana,

ρ_{water} : massa jenis air laut

ρ_{air} : massa jenis udara

v_c : kecepatan arus

v_w : kecepatan gelombang

v_a : kecepatan angin

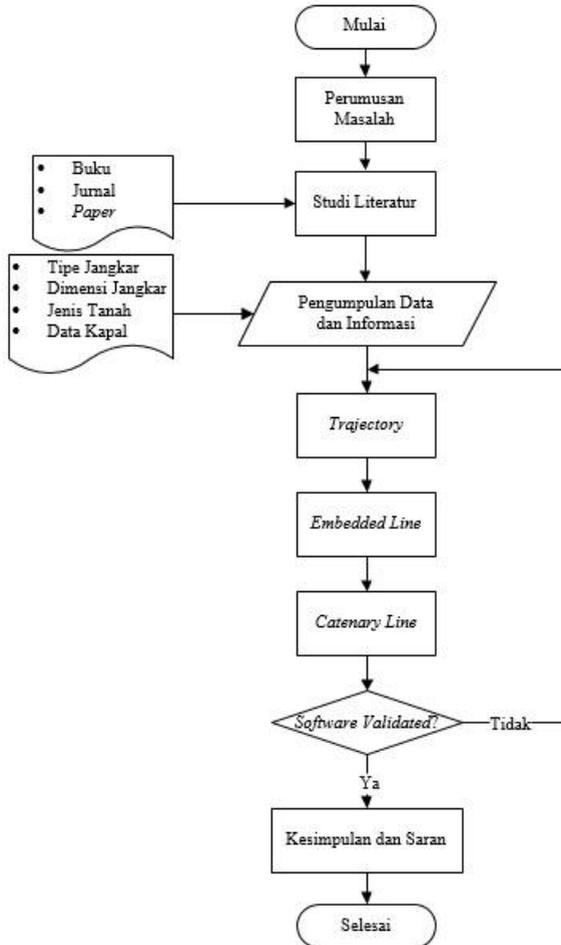
S_{LB} : *projected area* penampang kapal yang berada di bawah permukaan air

S_{UB} : *projected area* penampang kapal yang berada di atas permukaan air

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas diperoleh hasil dari *catenary line* dengan dengan metode iterasi untuk mengetahui pergerakan jangkar tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, terdapat proses terstruktur guna mempermudah pengerjaan tugas akhir nantinya. Berikut bagan alur metode penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3. 1 Bagan Alur Metodologi Penelitian

Langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir mengenai desain *software* aplikasi untuk analisa trayektori jangkar terkait risiko pada pipa gas bawah air antara lain:

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah tahap awal dalam mengerjakan tugas akhir. Pada tahap ini akan ditampilkan kondisi saat ini dan permasalahan yang mungkin akan terjadi, sehingga dapat ditentukan apakah permasalahan yang ada layak untuk diselesaikan melalui tugas akhir atau tidak. Permasalahan dapat diketahui melalui observasi, menggali informasi ataupun melalui data statistik yang ada dan kecenderungannya di waktu yang akan datang. Pada tahap ini pula, diketahui tujuan dari penulisan tugas akhir. Pada tugas akhir ini, permasalahan yang akan dibahas mengenai desain *software* aplikasi untuk analisa trayektori jangkar terkait risiko pada pipa gas bawah air.

3.2 Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini, segala hal yang berkaitan dengan permasalahan dicari tahu dan dipelajari sehingga dapat memberi gambaran apa yang harus dilakukan untuk memecahkan masalah tersebut. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membawa buku, *paper* atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

3.3 Pengumpulan Data

Hasil setelah melakukan studi literatur adalah dapat mengetahui langkah atau cara memecahkan masalah untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data dimana pada tahap ini, data data pendukung tentang permasalahan yang sesuai dengan metode yang digunakan, dikumpulkan untuk dilakukan analisa lebih lanjut.

Data yang dikumpulkan antara lain data kapal, spesifikasi jangkar, karakteristik tanah, dan alur pelayaran.

3.4 Perhitungan dan Perbandingan

Dalam menghitung trayektori jangkar yang harus diketahui adalah variable-variabel apa saja yang dibutuhkan dalam perhitungan. Pada analisa trayektori jangkar, variable yang dibutuhkan berupa data kapal, spesifikasi jangkar, karakteristik tanah, dan alur pelayaran. Identifikasi variable-variabel tersebut perlu dilakukan sehingga pergerakan dari trayektori jangkar dapat diketahui.

3.5 Pemodelan Trayektori, *Embedded Line*, dan *Catenary Line*

Hasil akhir dari proses perhitungan adalah berupa model grafik yang mengilustrasikan pergerakan jangkar atau garis instalasi dari trayektori jangkar yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Excel VBA.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan dan juga harus menjawab rumusan masalah yang ada. Selanjutnya adalah memberikan saran berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang nantinya dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya baik terkait langsung dengan permasalahan yang ada maupun metodologi yang digunakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam Bab IV ini akan dijelaskan analisa pengerjaan dari data yang telah diperoleh. Disetiap pengerjaan akan ada urutan pengerjaan sampai dengan diperoleh hasil sesuai dengan tujuan pengerjaan tugas akhir ini.

4.1 Pengumpulan Data

Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan data kapal beserta jangkar, faktor lingkungan dan karakteristik tanah yang akan terdampak dari adanya proses penambatan jangkar untuk dapat melakukan analisa trayektori jangkar pada perhitungan ini.

4.1.1 Data Kapal

Dalam menyelesaikan kasus ini, akan digunakan data pada satu studi kasus *dragged anchor* pada *subsea gas pipeline* di Selat Madura. Pada proses awal perhitungan trayektori jangkar dibutuhkan beberapa data yang digunakan. Pertama adalah data dimensi kapal yang akan dianalisa trayektori jangkarnya, kemudian juga data jangkar yang digunakan untuk menunjang proses analisa pergerakan jangkar tersebut.

Tabel 4. 1 Data Kapal

| <i>Case</i> | <i>Ship</i> | <i>Type</i> | <i>Dimension (m)</i> | | |
|-------------|------------------|----------------------------|----------------------|----------|----------|
| | | | <i>L</i> | <i>B</i> | <i>T</i> |
| 1 | Tanto Permai | <i>Container Ship</i> | 144,02 | 21,8 | 7,72 |
| 2 | Meratus Kalabahi | <i>Container Ship</i> | 128,84 | 23,0 | 7,80 |
| 3 | Meratus Ambon | <i>Container Ship</i> | 123,50 | 20,8 | 6,50 |
| 4 | Soechi Asia XXIX | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 104,99 | 16,6 | 6,74 |
| 5 | Asike - 1 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 102,30 | 15,5 | 6,50 |

Tabel 4. 2 Data Kapal (lanjutan)

| Case | Ship | Type | Dimension (m) | | |
|------|-----------------|------------------------|---------------|------|------|
| | | | L | B | T |
| 5 | Asike - 1 | Oil/Chemical Tanker | 102,30 | 15,5 | 6,50 |
| 6 | Sinar Bontang | Oil/Chemical Tanker | 86,50 | 14,0 | 5,60 |
| 7 | Tanto Sakti II | General Cargo | 125,30 | 20,6 | 5,90 |
| 8 | Meratus Silboga | General Cargo | 98,00 | 16,5 | 5,40 |
| 9 | Mentari Trader | General Cargo | 79,27 | 12,0 | 2,99 |

Diperlukan beberapa data yang meliputi jumlah kapal dan data jangkar yang melewati daerah pipa gas bawah laut tersebut. Tabel 4. 1 di atas ini menunjukkan beberapa data yang diperlukan sebagai perhitungan.

4.1.2 Data Jangkar

Jangkar merupakan peralatan di kapal yang berfungsi untuk menjaga kapal agar tetap berada pada posisi yang dikehendaki baik saat di laut maupun saat berlabuh di dermaga. Pada saat sedang tertambat, terjadi beberapa gaya yang bekerja pada jangkar yaitu gaya oleh arus air laut pada dasar kapal, gaya oleh angin pada bagian struktur kapal di atas garis air, dan kombinasi gaya inersia akibat *pitching* dan *rolling*. Dengan demikian, keberadaan jangkar diharapkan dapat meredam semua gaya tersebut dengan efektif sehingga kapal tetap pada posisinya.

Dalam melaksanakan kerjanya, jangkar memiliki komponen pendukung lain yang berupa rantai jangkar, lubang di dinding kapal tempat jangkar keluar dan masuk, dan mekanisme untuk menghentikan rantai jangkar. Rantai jangkar sendiri disimpan di dalam ruang penyimpanan jangkar yang letaknya tepat di bawah mesin jangkar.

Ada tiga tipe jangkar yaitu jangkar haluan, jangkar arus, dan jangkar cemat. Jangkar haluan atau bower anchor adalah jangkar utama yang letaknya di haluan kapal. Jangkar haluan memiliki

berat tiga kali berat jangkar arus. Jangkar arus atau *stream anchor* adalah jangkar tambahan yang berfungsi untuk menahan buritan dan haluan kapal. Jangkar arus memiliki berat dua kali berat jangkar cemat. Jangkar cemat atau *kedges anchor* adalah jangkar yang digunakan untuk kondisi darurat. Ketiga jangkar tersebut bisa saja berada dalam satu kapal, tergantung kebutuhan.

Jangkar merupakan alat labuh yang mempunyai bentuk dan berat khusus yang akan diturunkan kekedalaman air sampai dengan dasar, sehingga pada saat jangkar diturunkan maka kapal sangat terbatas pergerakannya dengan posisi jangkar dan panjang rantai yang diturunkan, hal ini untuk menahan supaya kapal tidak bergerak dan tetap dalam posisinya, gerakan kapal diakibatkan oleh :

1. Dorongan akibat arus air dibagian bawah garis air kapal
2. Dorongan angin terhadap bagian kapal di atas garis air
3. Dorongan akibat pergerakan *pitching* dan *rolling* karena gelombang

Dorongan tersebut secara umum akan ditahan oleh sistim jangkar lengkap dengan perlengkapan mesin jangkar yang kadang kala didaerah tertentu juga ditambah dengan tali tambat lain supaya kapal benar-benar tidak berubah posisinya. Jangkar dirangkaikan dengan rantai jangkar yang pergerakan turun dan naik diatur dengan menggunakan mesin jangkar yang dipasang di atas *forecastle deck*.

Pada studi kasus ini jangkar yang digunakan adalah tipe *stockless anchor*. Dalam proses awal perhitungan trayektori jangkar dibutuhkan beberapa data yang digunakan. Pertama adalah data dimensi kapal yang akan dianalisa trayektori jangkarnya, kemudian juga data jangkar yang digunakan untuk menunjang proses analisa pergerakan jangkar tersebut.

Stockless anchor merupakan jenis jangkar haluan yang banyak digunakan pada kapal-kapal ukuran besar, jangkar tipe ini memiliki tiang jangkar yang dapat bergerak. Jangkar tipe ini sangat efektif bekerjanya, pada saat jangkar diturunkan maka bagian lengan akan bergerak kearah bawah dikarenakan adanya

engsel pada bagian mahkota jangkar, lengan dapat bergerak dengan sudut mencapai 45 derajat. Dengan posisi demikian maka bagian lengan jangkar akan menancap ke dasar laut lebih efektif. Sehingga pada saat tertarik oleh rantai jangkar dengan posisi tiang jangkar sejajar dasar laut maka jangkar akan semakin menancap. Untuk melepas dan mengangkat jangkar, posisi rantai jangkar ditarik tegak dan saat tiang jangkar pada posisi kearah tegak maka lengan jangkar akan terungkit sehingga cengkeraman jangkar lepas dan jangkar ditarik keatas. Data jangkar yang akan dianalisa ditunjukkan pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 2 Parameter Utama Jangkar

| Case | Anchor Dimension | | | | | |
|------|------------------|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|---------------|
| | Weight (kg) | Width (m) | Length of Fluke (m) | L. Of Anchor Chain (m) | Dia. Of Anchor Chain (m) | Thickness (m) |
| 1 | 3780 | 1,74 | 2,37 | 522,5 | 0,054 | 0,9080 |
| 2 | 4890 | 1,92 | 2,44 | 357,5 | 0,054 | 0,9906 |
| 3 | 4050 | 1,78 | 2,44 | 522,5 | 0,056 | 0,9239 |
| 4 | 2640 | 1,61 | 1,93 | 467,5 | 0,046 | 0,8445 |
| 5 | 2280 | 1,46 | 1,93 | 467,5 | 0,042 | 0,7620 |
| 6 | 1920 | 1,44 | 1,79 | 440,0 | 0,038 | 0,6985 |
| 7 | 4320 | 1,92 | 2,44 | 550,0 | 0,050 | 0,9906 |
| 8 | 2560 | 1,61 | 1,93 | 467,5 | 0,044 | 0,8445 |
| 9 | 2250 | 1,46 | 1,93 | 450,0 | 0,038 | 0,7620 |

4.1.3 Data Lingkungan

Jangkar yang terjatuh akan terseret oleh pengaruh lingkungan yang menghasilkan gaya tarik oleh kapal. Secara umum parameter-parameter yang berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada kapal adalah kecepatan arus, kecepatan

gelombang, dan kecepatan angin dimana kapal akan ditempatkan atau logo jangkar.

4.1.3.1 Parameter Tanah

Pada studi kasus ini kapal berlayar di perairan Selat Madura. Pada suatu titik dimana kapal logo jangkar dianalisa pergerakan dari jangkar tersebut. Pergerakan yang dihasilkan dari jangkar dapat diilustrasikan sebagai garis instalasi yang terdiri dari 3 garis yaitu *anchor trajectory*, *embedded line* dan *catenary line*. Ketiga garis tersebut akan terbentuk melalui perhitungan dengan rumus yang diambil dari paper yang telah dipelajari alurnya. Selain data kapal beserta jangkat dibutuhkan juga karakteristik tanah bawah laut dari selat Madura untuk menghitung pergerakan jangkar tersebut. Data karakteristik tanah yang akan dianalisa dilewati dan tempat jangkar ditambatkan ditunjukkan pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 3 Parameter Tanah

| <i>Parameter of sand</i> | Nilai | Satuan |
|---------------------------|-------|-------------------|
| Density | 1624 | kg/m ³ |
| Max. density | 1730 | kg/m ³ |
| Min. density | 1480 | kg/m ³ |
| Relative density | 0.6 | |
| Dry unit weight | 15,9 | kN/m ³ |
| Internal friction angle | 34 | ° |
| Natural angle of response | 32 | ° |

4.1.3.2 Parameter Kecepatan Angin, Arus, dan Gelombang

Terdapat tiga hal yang berpengaruh terhadap laratnya jangkar akibat gaya tarik dari kapal yaitu:

1. Kecepatan arus

Data pasang surut sangat penting untuk menentukan elevasi dan operasional kapal-kapal yang melewati Selat Madura. Data pasang surut diterbitkan oleh kantor Badan Meteorologi,

Klimatologi, dan Geofisika (BMKG, 2016). Pada kondisi pasang, arus (max: 0,98 m/det) bergerak dari arah utara ke selatan di perairan Gresik menuju Surabaya, lalu berbelok menuju ke timur di Selat Madura menuju ke Selat Bali. Pada kondisi surut, arus (max: 0,66 m/det) bergerak dari arah timur menuju barat masuk ke perairan Surabaya dan Gresik lalu bergerak menuju ke utara. Pada perhitungan yang akan dilakukan arus yang diambil menggunakan arus maksimal dari pola arus pasang surut di Selat Madura.

2. Kecepatan angin

Data angin yang diperoleh berkisar antara 5 – 20 knots atau 2,6 m/s – 10,3 m/s dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Selat Madura.

3. Kecepatan gelombang

Data gelombang yang diperoleh yaitu 2,4 m/s dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Selat Madura.

Adapun data lingkungan yang digunakan pada perhitungan jarak larat jangkar kapal dapat dilihat pada Tabel 4. 4 di bawah ini:

Tabel 4. 4 Data Lingkungan

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------|-------|--------|
| Arus | 0,98 | |
| Angin | 10,3 | m/s |
| Gelombang | 2,4 | |

Dengan diketahui masing-masing nilai kecepatan maka gaya tarik yang diakibatkan oleh kapal dapat dihitung dengan Persamaan (2.34) berikut:

$$F_{PLV} = 0,5 \times \rho_{water} \times S_{LB} \times (v_c^2 + v_w^2) + 0,5 \times \rho_{air} \times S_{UB} \times v_a^2$$

dimana,

ρ_{water} : massa jenis air laut (1025 kg/m³)

- ρ_{air} : massa jenis udara (1,225 kg/m³)
 v_c : kecepatan arus (0,98 m/dt)
 v_w : kecepatan gelombang (2,4 m/dt)
 v_a : kecepatan angin (10,3 m/dt)
 S_{LB} : *projected area* penampang kapal yang berada di bawah permukaan air
 S_{UB} : *projected area* penampang kapal yang berada di atas permukaan air

Berdasarkan perumusan di atas dan nilai masing-masing parameter dan data kapal Tabel 4.1, berikut pada Tabel 4.5 adalah perhitungan gaya tarik yang dihasilkan oleh kapal. Dimana gaya yang dihasilkan adalah sebesar 567.107 N.

Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya Tarik oleh kapal

| <i>Parameter</i> | <i>Units</i> | <i>Current (m/s)</i> | <i>Wave (m/s)</i> | <i>Wind (m/s)</i> | <i>Total</i> |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| <i>Current Velocity</i> | <i>m/s</i> | 0,98 | 2,4 | 10,3 | |
| <i>Breadth</i> | <i>m</i> | 21,8 | 21,8 | 21,8 | |
| <i>Draft of Superstructure</i> | <i>m</i> | 7,3 | 7,3 | 15,0 | |
| <i>Projected Area</i> | <i>m²</i> | 158,5 | 158,5 | 327,0 | |
| <i>Density</i> | <i>kg/m²</i> | 1.025 | 1.025 | 1.225 | |
| <i>Pressure of Current</i> | <i>N/m³</i> | 492 | 2952 | 65 | |
| <i>Force of Current</i> | <i>N</i> | 78.008 | 467.851 | 21.249 | 567.107 |

Setelah mengetahui gaya total yang akan berpengaruh pada kapal maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas energi yang akan berpengaruh ke tanah berdasarkan dari dimensi jangkar yang digunakan. Serta melakukan perhitungan untuk mengetahui energy yang dapat diserap. Dengan mengetahui

kedua parameter yaitu *impact capacity* dan *energy absorption* maka dapat diketahui berapa *length of dragged* dari jangkar sehingga energy yang diterima dan energy yang diserap seimbang.

4.2 Trajectory

Pada perhitungan untuk *anchor trajectory* diperlukan beberapa rumus sebagai proses untuk mencapai suatu garis ilustrasi yang menggambarkan sebuah pergerakan jangkar kapal.

a. Orientasi Jangkar

Untuk mendapatkan nilai sudut orientasi awal jangkar yang terbentuk antara bagian yang tertanam di dalam seabed terhadap fluke, dapat dihitung dengan Persamaan (2.2) di bawah ini.

$$\theta_0 = \theta_a - \theta_{ah}$$

dimana,

θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar

: 45°

: $0,785 \text{ rad}$

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal *seabed* terhadap *shank*

: $0,065^\circ$

: $0,00113 \text{ rad}$

θ_0 : $44,935^\circ$

: $0,784 \text{ rad}$

b. Koordinat posisi jangkar

Untuk mendapatkan koordinat posisi jangkar pada posisi *embedded*, dapat dihitung dengan Persamaan (4.1) di bawah ini.

$$x = z_c / \tan \theta_0 \quad (4.1)$$

dimana,

z_c : kedalaman *embedment* dari titik berat jangkar, nilai z_c diiterasikan hingga mendapat nilai yang membuat nilai $F = 0$ pada sudut θ_0 yang telah ditentukan

$$\begin{aligned} & : 0,45 \text{ m} \\ \tan\theta_o & : 0,997 \text{ rad} \\ x & : 45,14 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Gaya pada jangkar

Untuk mendapatkan gaya yang dihasilkan terhadap garis *drag* dan sifat-sifat tanah, dapat dihitung dengan persamaan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

$$f_1(z_c) = \frac{1}{20} (3K_L + 17) N_{qL} \gamma [(z_c - L_0 \sin\theta_{ah})^2 - \zeta^2]$$

dimana,

$$\begin{aligned} K_L & : \text{faktor tekanan tanah lateral untuk garis } drag \\ & : 1,2 \\ N_{qL} & : \text{faktor daya untuk garis } drag \\ & : 23 \\ \gamma & : \text{satuan berat tanah} \\ & : 5,84475 \\ L_0 & : \text{jarak dari } shackle \text{ ke titik berat jangkar} \\ & : 2,37 \text{ m} \\ \zeta & : \text{kedalaman } embedment \text{ awal garis } drag \\ & : 0,0008 \text{ m} \\ f_1(z_c) & : 27,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan gaya yang dihasilkan terhadap jangkar dan sifat-sifat tanah, dapat dihitung dengan persamaan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

$$\begin{aligned} K_1 & = K_f \tan\delta_f \\ K_2 & = K_f \cos^2\theta_o + \sin^2\theta_o \\ K_3 & = (K_f \sin^2\theta_o + \cos^2\theta_o) \tan\delta_f \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned} K_f & : \text{faktor tekanan tanah lateral untuk jangkar} \\ & : 1,2 \\ \delta_f & : \text{sudut gesekan antarmuka untuk jangkar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : 30^\circ \\
 & : 0,5233 \text{ rad} \\
 K_1 & : 0,6923 \\
 K_2 & : 1,1001 \\
 K_3 & : 0,6346
 \end{aligned}$$

$$f_2(z_c) = (K_1 A_{sn} + K_2 A_b + K_3 A_{sm}) \gamma z_c$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 K & : \text{faktor tekanan tanah lateral untuk jangkar} \\
 K_1 & : 0,6923 \\
 K_2 & : 1,1001 \\
 K_3 & : 0,6346 \\
 A_{sn} & : \text{daerah geser efektif jangkar diproyeksikan ke bidang} \\
 & \quad \text{tegak lurus terhadap bidang primer dan sepanjang arah} \\
 & \quad \text{gerakan fluke} \\
 & : 0,2404 \\
 A_b & : \text{daerah bantalan efektif jangkar, yang merupakan total} \\
 & \quad \text{luas proyeksi jangkar (termasuk fluke dan shackle) untuk} \\
 & \quad \text{bidang tegak lurus terhadap arah gerakan} \\
 & : 0,0089 \\
 A_{sm} & : \text{daerah geser efektif jangkar yang diproyeksikan ke} \\
 & \quad \text{bidang utama fluke} \\
 & : 0,2404 \\
 f_2(z_c) & : 0,865 \text{ N}
 \end{aligned}$$

d. Gaya pada jangkar

Untuk mendapatkan gaya *drag* pada *shackle*, dapat dihitung dengan Persamaan (4.2a) dan (4.2b) di bawah ini.

$$T_{a1} = f_2(z_c) - W \sin \theta_o / \cos \theta_a \quad (4.2a)$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 f_2(z_c) & : \text{gaya yang dihasilkan terhadap jangkar dan sifat-sifat tanah} \\
 & : 0,865 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- W : berat jangkar yang terendam
 : 3780 kg
 θ_o : sudut orientasi awal jangkar yang terbentuk antara bagian yang tertanam di dalam seabed terhadap fluke
 : 0,784 rad
 θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar
 : 45°
 : 0,785 rad
 T_{a1} : 1804 N

$$T_{a2} = \frac{b f_1(z_c) x (1 + (\theta_a - \theta_m)^2)}{2 x (\exp(\theta_a - \theta_m) x \theta_{ah} - \cos \theta_{ah} - (\theta_a - \theta_m) \sin \theta_{ah}} \quad (4.2b)$$

dimana,

- b : diameter rantai jangkar
 : 0,054 m
 $f_1(z_c)$: gaya yang dihasilkan terhadap garis *drag* dan sifat-sifat tanah
 : 27,7 N
 θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar
 : 45°
 : 0,785 rad
 θ_m : sudut arah gerakan ke atas permukaan *fluke*
 : 0°
 : 0 rad
 θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal seabed terhadap *shank*
 : 0,065°
 : 0,00113 rad
 T_{a2} : 1163471 N

e. Tegangan pada garis *drag*

Untuk mendapatkan tegangan pada garis *drag*, dapat dihitung dengan Persamaan (4.3) di bawah ini.

$$T_o = \text{Average}[T_a] x \exp((\theta_a - \theta_m) \theta_{ah}) \quad (4.3)$$

dimana,

T_a : gaya *drag* pada *shackle*

T_{a1} : 1804 N

T_{a2} : 11634571 N

θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar

: 45°

: $0,785 \text{ rad}$

θ_m : sudut arah gerakan ke atas permukaan *fluke*

: 0°

: 0 rad

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal seabed terhadap *shank*

: $0,065^\circ$

: $0,00113 \text{ rad}$

T_0 : 581,031 N

f. Gaya yang dihasilkan oleh kapal

Untuk mendapatkan gaya yang dihasilkan oleh kapal yang digunakan untuk menarik jangkar tegangan pada garis *drag*, dapat dihitung dengan Persamaan (2.15) di bawah ini.

$$F(z_c, \theta_o) = b(1 + \mu^2) \cos(\theta_a - \theta_m) f_1(z_c) - 2[e^{\mu(\theta_a - \theta_o)} - \cos(\theta_a - \theta_o) - \mu \sin(\theta_a - \theta_o)] [f_2(z_c) - W \sin(\theta_o - \theta_m)] = 0 \quad (2.15)$$

dimana,

$f_1(z_c)$: fungsi dari z_c yang berhubungan dengan garis *drag* dan sifat-sifat tanah

: $27,7 \text{ N}$

$f_2(z_c)$: fungsi dari z_c yang berhubungan dengan jangkar dan sifat-sifat tanah

: $0,865 \text{ N}$

b : diameter rantai jangkar

: $0,054 \text{ m}$

μ : koefisien gesek

: $0,3$

- θ_a : sudut antara *shank* dan *fluke* pada suatu jangkar
 : 45°
 : $0,785 \text{ rad}$
- θ_m : sudut arah gerakan ke atas permukaan *fluke*
 : 0°
 : 0 rad
- θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal seabed terhadap *shank*
 : $0,065^\circ$
 : $0,00113 \text{ rad}$
- θ_o : sudut orientasi awal jangkar yang terbentuk antara bagian yang tertanam di dalam seabed terhadap *fluke*
 : $0,784 \text{ rad}$
- W : berat jangkar yang terendam
 : 3780 kg
- $F(z_c, \theta_o) : 0$

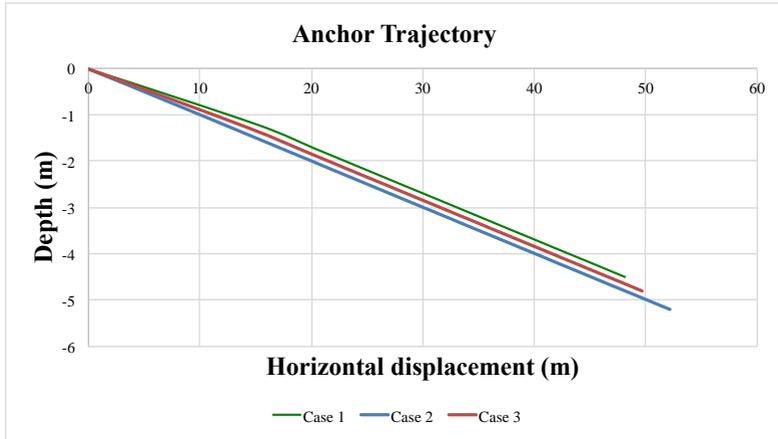
Iterasi dilakukan dengan memvariasikan nilai z_c untuk mendapatkan nilai $T_0 = F$ lingkungan.. Jika sudah didapatkan nilai $T_0 = F$ maka pada titik tersebut ujung dari kedalaman jangkar yang tertanam dan akan dilanjutkan pergerakan jangkar selanjutnya selanjutnya yang disebut garis *embedded*.

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan *Anchor Trajectory*

| No | θ_a | θ_0 | θ_{ah} | z_c | x | f_1 | f_2 | T_{a1} | T_{a2} | $T_a[AVG]$ | T_0 | F |
|----|------------|------------|---------------|--------|--------|--------|-------|----------|------------|------------|-----------|---|
| 1 | 0.785 | 0.785 | 0.0001 | 0.1220 | 12.212 | 2.054 | 0.234 | -1,807 | 14,577,888 | 7,288,041 | 7,288,231 | 0 |
| 2 | 0.785 | 0.785 | 0.0002 | 0.1720 | 17.220 | 4.077 | 0.331 | -1,807 | 7,233,692 | 3,615,943 | 3,616,132 | 0 |
| 3 | 0.785 | 0.785 | 0.0003 | 0.2110 | 21.128 | 6.128 | 0.406 | -1,807 | 4,833,020 | 2,415,607 | 2,415,796 | 0 |
| 4 | 0.785 | 0.785 | 0.0003 | 0.2430 | 24.336 | 8.120 | 0.467 | -1,806 | 3,602,322 | 1,800,258 | 1,800,446 | 0 |
| 5 | 0.785 | 0.785 | 0.0004 | 0.2720 | 27.245 | 10.166 | 0.523 | -1,806 | 2,886,281 | 1,442,238 | 1,442,426 | 0 |
| 6 | 0.785 | 0.784 | 0.0005 | 0.2980 | 29.855 | 12.194 | 0.573 | -1,806 | 2,404,097 | 1,201,145 | 1,201,334 | 0 |
| 7 | 0.785 | 0.784 | 0.0006 | 0.3220 | 32.265 | 14.227 | 0.619 | -1,806 | 2,060,843 | 1,029,518 | 1,029,707 | 0 |
| 8 | 0.785 | 0.784 | 0.0007 | 0.3440 | 34.475 | 16.228 | 0.661 | -1,805 | 1,799,654 | 898,924 | 899,113 | 0 |
| 9 | 0.785 | 0.784 | 0.0008 | 0.3650 | 36.586 | 18.259 | 0.701 | -1,805 | 1,599,913 | 799,054 | 799,242 | 0 |

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan *Anchor Trajectory* (lanjutan)

| No | θ_a | θ_0 | θ_{ah} | z_c | x | f_1 | f_2 | T_{a1} | T_{a2} | $T_a[AVG]$ | T_0 | F |
|----|------------|------------|---------------|--------|--------|--------|-------|----------|-----------|------------|---------|---|
| 10 | 0.785 | 0.784 | 0.0009 | 0.3850 | 38.598 | 20.304 | 0.740 | -1,805 | 1,441,040 | 719,617 | 719,806 | 0 |
| 11 | 0.785 | 0.784 | 0.0010 | 0.4040 | 40.510 | 22.345 | 0.776 | -1,805 | 1,310,696 | 654,445 | 654,634 | 0 |
| 12 | 0.785 | 0.784 | 0.0010 | 0.4220 | 42.322 | 24.369 | 0.811 | -1,805 | 1,201,061 | 599,628 | 599,817 | 0 |
| 13 | 0.785 | 0.784 | 0.0011 | 0.4500 | 45.138 | 27.705 | 0.865 | -1,804 | 1,163,471 | 580,833 | 581,031 | 0 |

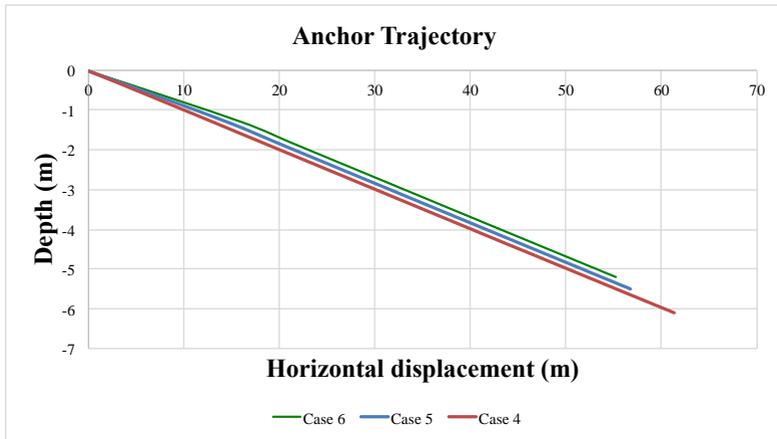


Grafik 4. 1 Variasi Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *Container*

Pada Grafik 4. 1 di atas menunjukkan trayektori jangkar pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar untuk Case 1, Case 2, dan Case 3 berturut-turut adalah 3780 kg, 4890 kg, 4050 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman trayektori jangkar tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam trayektori dari jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 7 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *Container*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Trajectory Distance (m) | |
|------|----------------|---------------|------|------|-------------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 1 | Container Ship | 144,02 | 21,8 | 7,72 | 45,14 | 4,04 |
| 2 | Container Ship | 128,84 | 23,0 | 7,80 | 52,17 | 5,20 |
| 3 | Container Ship | 123,50 | 20,8 | 6,50 | 48,16 | 4,80 |

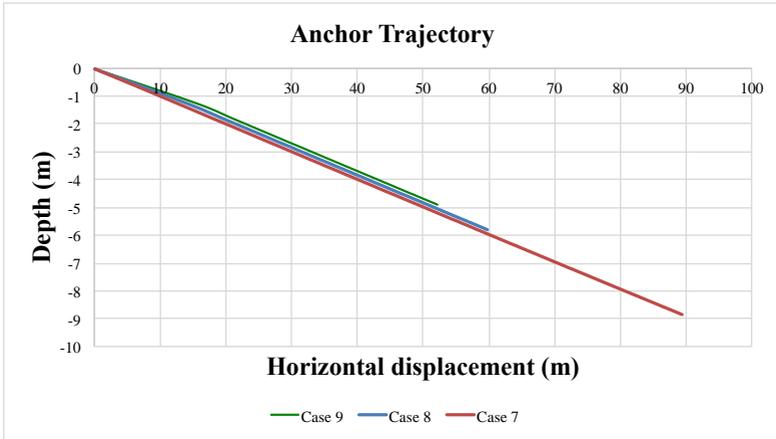


Grafik 4. 2 Variasi Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

Pada Grafik 4. 2 di atas menunjukkan trayektori jangkar pada tiga kapal *Oil/Chemical Tanker* dengan berat jangkar untuk Case 4, Case 5, dan Case 6 berturut-turut adalah 2640 kg, 2280 kg, 1920 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman trayektori jangkar tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam trayektori dari jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Trajectory Distance (m) | |
|------|----------------------------|---------------|------|------|-------------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 4 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 104,99 | 16,6 | 6,74 | 52,21 | 5,50 |
| 5 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 102,30 | 15,5 | 6,50 | 55,24 | 6,10 |
| 6 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 86,50 | 14,0 | 5,60 | 61,32 | 4,90 |



Grafik 4. 3 Variasi Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *General Cargo*

Pada Grafik 4. 3 di atas menunjukkan trayektori jangkar pada tiga kapal *General Cargo* dengan berat jangkar untuk Case 7, Case 8, dan Case 9 berturut-turut adalah 4320 kg, 2560 kg, 2250 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman trayektori jangkar tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam trayektori dari jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 9 sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Anchor Trajectory* untuk Kapal *General Cargo*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Trajectory Distance (m) | |
|------|----------------------|---------------|------|------|-------------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 7 | <i>General Cargo</i> | 125,30 | 20,6 | 5,90 | 49,18 | 4,90 |
| 8 | <i>General Cargo</i> | 98,00 | 16,5 | 5,40 | 58,27 | 5,80 |
| 9 | <i>General Cargo</i> | 79,27 | 12,0 | 2,99 | 89,38 | 8,85 |

Iterasi pada perhitungan anchor trajectory dilakukan untuk mencapai titik $T_0 = F$, dimana fungsi dari T_0 adalah T_a dan θ_{ah} . Jika sudah didapatkan nilai $T_0 = F$ maka pada titik tersebut ujung dari kedalaman jangkar maksimal dan akan dilanjutkan perhitungan grafik selanjutnya melalui titik tersebut yang disebut *embedded line*.

4.3 Embedded Line

Tahap selanjutnya setelah perhitungan untuk grafik *anchor trajectory* adalah *embedded line*. Segmen *embedded* dari garis instalasi membentuk lengkungan terbalik dari *catenary line* dan bentuknya menjadi lebih curam selama *embedment*.

a. Koordinat vertikal jangkar

Untuk mendapatkan nilai koordinat vertikal jangkar, kedalaman jangkar di bawah *seabed*, dapat dihitung dengan Persamaan (4.4) di bawah ini.

$$z_a = z_c - L_0 \sin \theta_{ah} \quad (4.4)$$

dimana,

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal *seabed* terhadap *shank*

: $11,7^\circ$

: $0,2041 \text{ rad}$

z_c : kedalaman *embedment* dari titik berat jangkar

: $0,786 \text{ m}$

L_0 : jarak dari *shackle* ke titik berat jangkar

: $2,37 \text{ m}$

z_a : $0,7827 \text{ m}$

b. Area

Untuk mendapatkan nilai area, dapat dihitung dengan Persamaan (2.27) di bawah ini.

$$A = \frac{\sin^2 \theta_{ah}}{z_a(2\varepsilon + z_a)} \quad (2.27)$$

dimana,

θ_{ah} : sudut yang terbentuk antara garis horizontal *seabed* terhadap *shank*

: 11,7°

: 0,2041 *rad*

z_a : koordinat vertikal, kedalaman jangkar di bawah *seabed*

: 0,7827 *m*

ε : kedalaman *embedment* awal garis *drag*

: 0,0008

A : 0,0669

c. Koordinat horizontal jangkar

Untuk mendapatkan nilai koordinat horizontal jangkar, dapat dihitung dengan Persamaan (2.28) di bawah ini.

$$x = x_e + \frac{1}{4}(\varepsilon + z)\sqrt{z(2\varepsilon + z)A} - \frac{4 + \varepsilon^2 A}{4\sqrt{A}} \ln \frac{\varepsilon + z + \sqrt{z(2\varepsilon + z)}}{\varepsilon} \quad (2.28)$$

dimana,

x_e : koordinat horizontal

: 0

z : kedalaman tanah di bawah permukaan dasar laut

: -4,5 *m*

ε : kedalaman *embedment* awal garis *drag*

: 0,0008

A : Area

: 0,0669

Dari hasil perhitungan perhitungan *embedded line* didapatkan angka sebagai berikut dengan metode iterasi untuk mengetahui pergerakan jangkar tersebut.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Embedded Line*

| No | z_a | A | x | z |
|----|--------|--------|---------|---------|
| 1 | 0.7827 | 0.0669 | -29.263 | -4.5000 |
| 2 | 0.7827 | 0.0669 | -29.214 | -4.4430 |
| 3 | 0.7827 | 0.0669 | -29.165 | -4.3861 |
| 4 | 0.7827 | 0.0669 | -29.115 | -4.3291 |
| 5 | 0.7827 | 0.0669 | -29.064 | -4.2722 |
| 6 | 0.7827 | 0.0669 | -29.013 | -4.2152 |
| 7 | 0.7827 | 0.0669 | -28.961 | -4.1582 |
| 8 | 0.7827 | 0.0669 | -28.908 | -4.1013 |
| 9 | 0.7827 | 0.0669 | -28.854 | -4.0443 |
| 10 | 0.7827 | 0.0669 | -28.800 | -3.9873 |
| 11 | 0.7827 | 0.0669 | -28.744 | -3.9304 |
| 12 | 0.7827 | 0.0669 | -28.688 | -3.8734 |
| 13 | 0.7827 | 0.0669 | -28.631 | -3.8165 |
| 14 | 0.7827 | 0.0669 | -28.574 | -3.7595 |
| 15 | 0.7827 | 0.0669 | -28.515 | -3.7025 |
| 16 | 0.7827 | 0.0669 | -28.455 | -3.6456 |
| 17 | 0.7827 | 0.0669 | -28.394 | -3.5886 |

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Embedded Line* (lanjutan)

| No | z_a | A | x | z |
|----|--------|--------|---------|---------|
| 18 | 0.7827 | 0.0669 | -28.333 | -3.5316 |
| 19 | 0.7827 | 0.0669 | -28.270 | -3.4747 |
| 20 | 0.7827 | 0.0669 | -28.206 | -3.4177 |
| 21 | 0.7827 | 0.0669 | -28.141 | -3.3608 |
| 22 | 0.7827 | 0.0669 | -28.075 | -3.3038 |
| 23 | 0.7827 | 0.0669 | -28.008 | -3.2468 |
| 24 | 0.7827 | 0.0669 | -27.939 | -3.1899 |
| 25 | 0.7827 | 0.0669 | -27.870 | -3.1329 |
| 26 | 0.7827 | 0.0669 | -27.798 | -3.0759 |
| 27 | 0.7827 | 0.0669 | -27.726 | -3.0190 |
| 28 | 0.7827 | 0.0669 | -27.652 | -2.9620 |
| 29 | 0.7827 | 0.0669 | -27.577 | -2.9051 |
| 30 | 0.7827 | 0.0669 | -27.500 | -2.8481 |
| 31 | 0.7827 | 0.0669 | -27.421 | -2.7911 |
| 32 | 0.7827 | 0.0669 | -27.341 | -2.7342 |
| 33 | 0.7827 | 0.0669 | -27.259 | -2.6772 |
| 34 | 0.7827 | 0.0669 | -27.176 | -2.6203 |

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Embedded Line* (lanjutan)

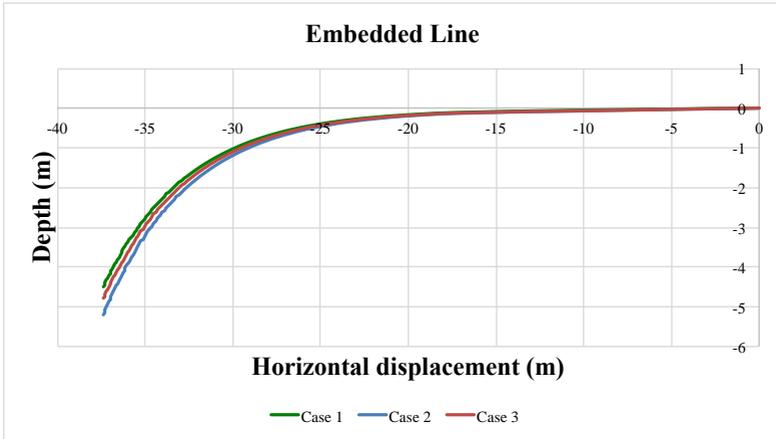
| No | z_a | A | x | z |
|----|--------|--------|---------|---------|
| 35 | 0.7827 | 0.0669 | -27.090 | -2.5633 |
| 36 | 0.7827 | 0.0669 | -27.002 | -2.5063 |
| 37 | 0.7827 | 0.0669 | -26.913 | -2.4494 |
| 38 | 0.7827 | 0.0669 | -26.821 | -2.3924 |
| 39 | 0.7827 | 0.0669 | -26.727 | -2.3354 |
| 40 | 0.7827 | 0.0669 | -26.630 | -2.2785 |
| 41 | 0.7827 | 0.0669 | -26.531 | -2.2215 |
| 42 | 0.7827 | 0.0669 | -26.430 | -2.1646 |
| 43 | 0.7827 | 0.0669 | -26.325 | -2.1076 |
| 44 | 0.7827 | 0.0669 | -26.218 | -2.0506 |
| 45 | 0.7827 | 0.0669 | -26.107 | -1.9937 |
| 46 | 0.7827 | 0.0669 | -25.994 | -1.9367 |
| 47 | 0.7827 | 0.0669 | -25.876 | -1.8797 |
| 48 | 0.7827 | 0.0669 | -25.755 | -1.8228 |
| 49 | 0.7827 | 0.0669 | -25.631 | -1.7658 |
| 50 | 0.7827 | 0.0669 | -25.501 | -1.7089 |
| 51 | 0.7827 | 0.0669 | -25.368 | -1.6519 |

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Embedded Line* (lanjutan)

| No | z_a | A | x | z |
|-----------|--------|--------|---------|---------|
| 52 | 0.7827 | 0.0669 | -25.229 | -1.5949 |
| 53 | 0.7827 | 0.0669 | -25.086 | -1.5380 |
| 54 | 0.7827 | 0.0669 | -24.936 | -1.4810 |
| 55 | 0.7827 | 0.0669 | -24.781 | -1.4241 |
| 56 | 0.7827 | 0.0669 | -24.619 | -1.3671 |
| 57 | 0.7827 | 0.0669 | -24.451 | -1.3101 |
| 58 | 0.7827 | 0.0669 | -24.274 | -1.2532 |
| 59 | 0.7827 | 0.0669 | -24.089 | -1.1962 |
| 60 | 0.7827 | 0.0669 | -23.894 | -1.1392 |
| 61 | 0.7827 | 0.0669 | -23.689 | -1.0823 |
| 62 | 0.7827 | 0.0669 | -23.473 | -1.0253 |
| 63 | 0.7827 | 0.0669 | -23.244 | -0.9684 |
| 64 | 0.7827 | 0.0669 | -23.000 | -0.9114 |
| 65 | 0.7827 | 0.0669 | -22.740 | -0.8544 |
| 66 | 0.7827 | 0.0669 | -22.461 | -0.7975 |
| 67 | 0.7827 | 0.0669 | -22.160 | -0.7405 |
| 68 | 0.7827 | 0.0669 | -21.834 | -0.6835 |

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Embedded Line* (lanjutan)

| No | z_a | A | x | z |
|-----------|--------|--------|---------|---------|
| 69 | 0.7827 | 0.0669 | -21.478 | -0.6266 |
| 70 | 0.7827 | 0.0669 | -21.085 | -0.5696 |
| 71 | 0.7827 | 0.0669 | -20.648 | -0.5127 |
| 72 | 0.7827 | 0.0669 | -20.155 | -0.4557 |
| 73 | 0.7827 | 0.0669 | -19.590 | -0.3987 |
| 74 | 0.7827 | 0.0669 | -18.928 | -0.3418 |
| 75 | 0.7827 | 0.0669 | -18.128 | -0.2848 |
| 76 | 0.7827 | 0.0669 | -17.119 | -0.2278 |
| 77 | 0.7827 | 0.0669 | -15.749 | -0.1709 |
| 78 | 0.7827 | 0.0669 | -13.607 | -0.1139 |
| 79 | 0.7827 | 0.0669 | -8.363 | -0.0570 |
| 80 | 0.7827 | 0.0669 | 0.000 | 0.0000 |

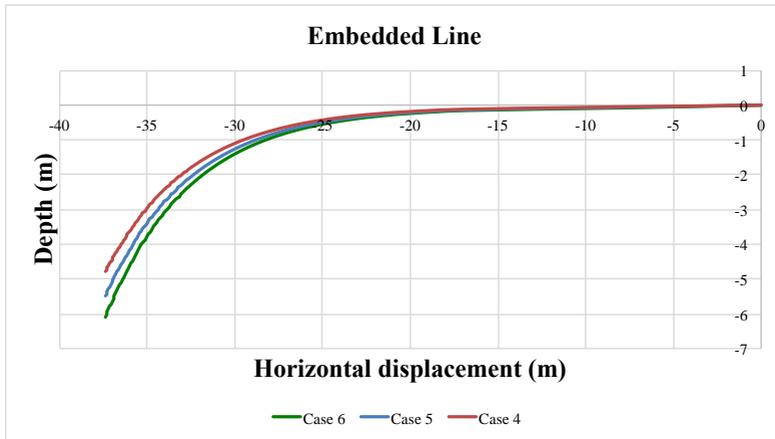


Grafik 4. 4 Variasi Kurva *Embedded Line* untuk Kapal *Container*

Pada Grafik 4. 4 di atas menunjukkan *embedded line* pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 1, Case 2, dan Case 3 berturut-turut adalah 3780 kg, 4890 kg, 4050 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman *embedded line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam *embedded line* jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 11 sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Embedded Line* untuk Kapal *Container*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Embedded Distance (m) | |
|------|----------------|---------------|------|------|-----------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 1 | Container Ship | 144,02 | 21,8 | 7,72 | 37,39 | 4,50 |
| 2 | Container Ship | 128,84 | 23,0 | 7,80 | 37,38 | 5,20 |
| 3 | Container Ship | 123,50 | 20,8 | 6,50 | 37,37 | 4,80 |

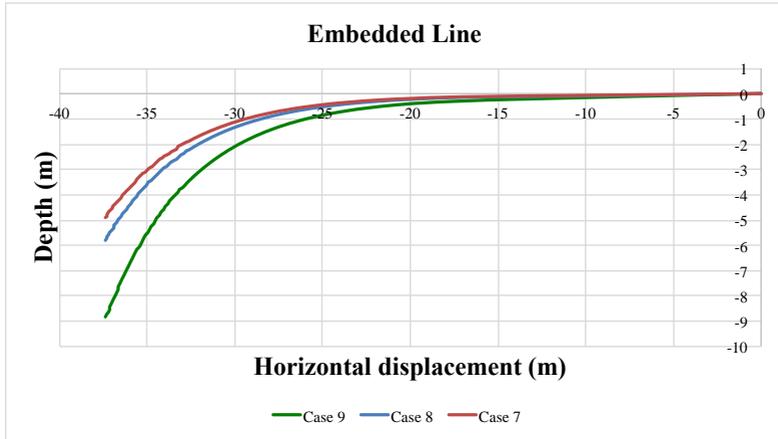


Grafik 4. 5 Variasi Kurva *Embedded Line* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

Pada Grafik 4. 5 di atas menunjukkan *embedded line* pada tiga kapal *Oil/Chemical Tanker* dengan berat jangkar Case 4, Case 5, dan Case 6 berturut-turut adalah 2640 kg, 2280 kg, 1920 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman *embedded line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam *embedded line* jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 12 sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Perbandingan Jarak untuk kurva *Embedded Line* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Embedded Distance (m) | |
|------|----------------------------|---------------|------|------|-----------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 4 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 104,99 | 16,6 | 6,74 | 37,38 | 5,20 |
| 5 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 102,30 | 15,5 | 6,50 | 37,37 | 5,50 |
| 6 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 86,50 | 14,0 | 5,60 | 37,37 | 6,10 |



Grafik 4. 6 Variasi Kurva *Embedded Line* untuk Kapal *General Cargo*

Pada Grafik 4. 6 di atas menunjukkan *embedded line* pada tiga kapal *General Cargo* dengan berat jangkar Case 7, Case 8, dan Case 9 berturut-turut adalah 4320 kg, 2560 kg, 2250 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan kedalaman *embedded line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin dalam *embedded line* jangkar tersebut dan *horizontal displacement* semakin panjang. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 13 sebagai berikut.

Tabel 4. 13 Perbandingan Jarak untuk kurva *Embedded Line* untuk Kapal *General Cargo*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Embedded Distance (m) | |
|------|---------------|---------------|------|------|-----------------------|------|
| | | L | B | T | X | Y |
| 7 | General Cargo | 125,30 | 20,6 | 5,90 | 37,38 | 4,90 |
| 8 | General Cargo | 98,00 | 16,5 | 5,40 | 37,37 | 5,80 |
| 9 | General Cargo | 79,27 | 12,0 | 2,99 | 37,34 | 8,85 |

4.4 Catenary Line

Pada perhitungan untuk *catenary line* diperlukan beberapa rumus sebagai proses untuk mencapai suatu garis ilustrasi yang menggambarkan sebuah pergerakan jangkar kapal.

a. Gaya tarik kapal

Untuk mendapatkan nilai gaya tarik yang diakibatkan oleh kapal, dapat dihitung dengan Persamaan (2.34) di bawah ini.

$$F_{PLV} = 0,5 \times \rho_{water} \times S_{LB} \times (v_c^2 + v_w^2) + 0,5 \times \rho_{air} \times S_{UB} \times v_a^2 \quad (2.34)$$

yang telah dihitung pada Tabel 4. 5, dimana gaya yang dihasilkan adalah sebesar 567.107 N.

b. Tegangan pada *mooring line*

Untuk mendapatkan nilai tegangan pada *mooring line*, dapat dihitung dengan Persamaan (2.29) di bawah ini.

$$F = T - H\mu g \quad (2.29)$$

dimana,

μ : massa rantai jangkar per meter

g : percepatan gravitasi

: $0,98 \text{ m/s}^2$

H : kedalaman laut

: 55 m

F : gaya tarik kapal

: 567.107 N

T : $601,603 \text{ N}$

c. Beban vertikal pada *mooring line*

Dengan mengetahui besar tegangan, kemudian dilakukan perhitungan beban vertikal V_s dengan jarak sejauh s , dapat dihitung dengan Persamaan (2.31) di bawah ini.

$$V_s = s\mu g \quad (2.31)$$

dimana,

- μ : unit massa per satuan panjang
 g : percepatan gravitasi
 : $0,98 \text{ m/s}^2$
 s : variasi kedalaman
 : 5 m

Sehingga dengan menggunakan formula tersebut didapatkan nilai beban vertikal untuk masing-masing jarak mulai dari 0 m hingga 55 m sesuai dengan kapasitas rantai jangkar pada *pipe laying vessel*. Dengan nilai $V_s = 4655$ untuk jarak sejauh 5 m.

d. Tegangan pada *mooring line*

Setelah mengetahui nilai V_s maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai T_s . *Horizontal restraining force* (F) setiap titik sepanjang *mooring line* adalah konstan, sehingga *tension in the mooring chain* (T) ketegangannya bervariasi sepanjang *mooring line* dari nilai T awalnya. Untuk mendapatkan nilai tegangan pada *mooring line*, dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$T_s^2 = F^2 + V_s^2$$

dimana,

- F : gaya tarik kapal
 : 567.107 N
 V_s : beban vertikal pada *mooring line*
 : 3.136
 T_s : 567.115 N

e. Perpindahan horizontal

Setelah mengetahui nilai T_s maka perpindahan horizontal (ΔX) dapat dihitung dari *connection point* (CP) akibat perubahan dari $A_T = T_0 - T_1$ dalam ketegangan *mooring line*. Untuk mendapatkan perpindahan horizontal, dapat dihitung dengan Persamaan (2.32) di bawah ini.

$$\Delta X = F \log ((T_0 + V_0)/(T_1 + V_1))/\mu g \quad (2.32)$$

dimana,

- F : gaya tarik kapal
: 567.107 N
- T_0 : *initial tension in the mooring line*
: 567.107 N
- V_0 : *initial vertical load in the mooring line*
: 0
- T_1 : *tension at a distance ΔX*
: 567.115 N
- V_1 : *vertical load at a distance ΔX*
: 3136
- μ : unit massa per satuan panjang
- g : percepatan gravitasi
: 0,98 m/s²
- ΔX : 2,17 m

f. Perpindahan vertikal

Suatu perubahan yang sesuai dalam ΔH (*vertical displacement*) dari *connection point (CP)*. Untuk mendapatkan perpindahan vertikal, dapat dihitung dengan Persamaan (2.33) di bawah ini.

$$\Delta H = (T_0 + T_1)/\mu g \quad (2.33)$$

dimana,

- T_0 : *initial tension in the mooring line*
: 567.107 N
- T_1 : *tension at a distance ΔX*
: 567.115 N
- μ : unit massa per satuan panjang
- g : percepatan gravitasi
: 0,98 m/s²
- ΔH : 0,03 m

Iterasi dilakukan dengan memvariasikan nilai s untuk mendapatkan nilai ΔH dan Δx yang merupakan ilustrasi garis *drag* atau rantai jangkar. Iterasi dilakukan untuk mencapai nilai $\Delta H =$ kedalaman laut. Dari persamaan-persamaan di atas diperoleh hasil dari garis *catenary* sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Garis *Catenary*

| No | s | V_s | T_s | Δx | ΔH |
|----|-----|-------|---------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 567,107 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 5 | 3136 | 567,115 | 2.17 | 0.01 |
| 3 | 10 | 6272 | 567,141 | 4.34 | 0.06 |
| 4 | 15 | 9408 | 567,185 | 6.51 | 0.12 |
| 5 | 20 | 12544 | 567,245 | 8.69 | 0.22 |
| 6 | 25 | 15680 | 567,324 | 10.86 | 0.35 |
| 7 | 30 | 18816 | 567,419 | 13.03 | 0.50 |
| 8 | 35 | 21952 | 567,531 | 15.20 | 0.68 |
| 9 | 40 | 25088 | 567,661 | 17.37 | 0.88 |
| 10 | 45 | 28224 | 567,809 | 19.54 | 1.12 |
| 11 | 50 | 31360 | 567,973 | 21.70 | 1.38 |
| 12 | 55 | 34496 | 568,155 | 23.87 | 1.67 |
| 13 | 60 | 37632 | 568,354 | 26.04 | 1.99 |
| 14 | 65 | 40768 | 568,570 | 28.20 | 2.33 |

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Garis *Catenary* (lanjutan)

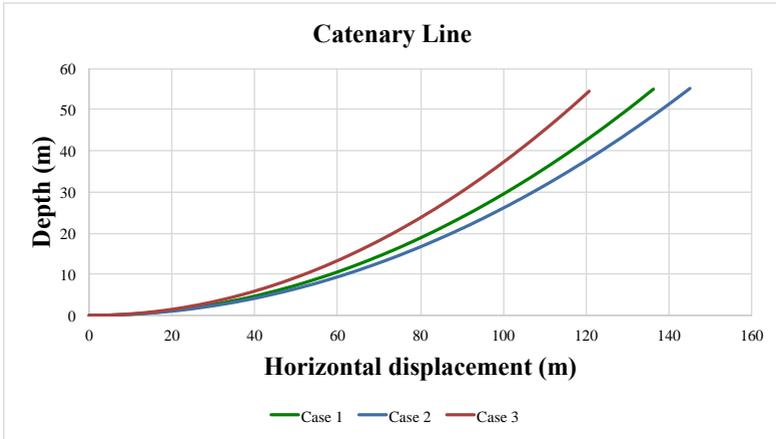
| No | s | V_s | T_s | Δx | ΔH |
|----|-----|-------|---------|------------|------------|
| 13 | 60 | 37632 | 568,354 | 26.04 | 1.99 |
| 14 | 65 | 40768 | 568,570 | 28.20 | 2.33 |
| 15 | 70 | 43904 | 568,804 | 30.37 | 2.71 |
| 16 | 75 | 47040 | 569,054 | 32.53 | 3.11 |
| 17 | 80 | 50176 | 569,322 | 34.70 | 3.53 |
| 18 | 85 | 53312 | 569,607 | 36.86 | 3.99 |
| 19 | 90 | 56448 | 569,909 | 39.02 | 4.47 |
| 20 | 95 | 59584 | 570,228 | 41.18 | 4.98 |
| 21 | 100 | 62720 | 570,565 | 43.34 | 5.51 |
| 22 | 105 | 65856 | 570,918 | 45.50 | 6.08 |
| 23 | 110 | 68992 | 571,288 | 47.66 | 6.67 |
| 24 | 115 | 72128 | 571,675 | 49.81 | 7.28 |
| 25 | 120 | 75264 | 572,079 | 51.96 | 7.93 |
| 26 | 125 | 78400 | 572,500 | 54.12 | 8.60 |
| 27 | 130 | 81536 | 572,938 | 56.27 | 9.30 |
| 28 | 135 | 84672 | 573,393 | 58.41 | 10.02 |
| 29 | 140 | 87808 | 573,864 | 60.56 | 10.77 |

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Garis *Catenary* (lanjutan)

| No | s | V_s | T_s | Δx | ΔH |
|----|-----|--------|---------|------------|------------|
| 30 | 145 | 90944 | 574,353 | 62.71 | 11.55 |
| 31 | 150 | 40768 | 568,570 | 64.85 | 12.36 |
| 32 | 155 | 43904 | 568,804 | 66.99 | 13.19 |
| 33 | 160 | 47040 | 569,054 | 69.13 | 14.05 |
| 34 | 165 | 50176 | 569,322 | 71.27 | 14.93 |
| 35 | 170 | 53312 | 569,607 | 73.40 | 15.84 |
| 36 | 175 | 56448 | 569,909 | 75.53 | 16.78 |
| 37 | 180 | 59584 | 570,228 | 77.67 | 17.74 |
| 38 | 185 | 62720 | 570,565 | 79.79 | 18.73 |
| 39 | 190 | 65856 | 570,918 | 81.92 | 19.75 |
| 40 | 195 | 68992 | 571,288 | 84.04 | 20.79 |
| 41 | 200 | 72128 | 571,675 | 86.17 | 21.86 |
| 42 | 205 | 75264 | 572,079 | 88.28 | 22.95 |
| 43 | 210 | 78400 | 572,500 | 90.40 | 24.07 |
| 44 | 215 | 81536 | 572,938 | 92.52 | 25.21 |
| 45 | 220 | 84672 | 573,393 | 94.63 | 26.38 |
| 46 | 225 | 87808 | 573,864 | 96.73 | 27.57 |
| 47 | 230 | 144256 | 585,167 | 98.84 | 28.79 |

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Garis *Catenary* (lanjutan)

| No | s | V_s | T_s | Δx | ΔH |
|----|-----|--------|---------|------------|------------|
| 48 | 235 | 147392 | 585,948 | 100.94 | 30.04 |
| 49 | 240 | 150528 | 586,744 | 103.04 | 31.31 |
| 50 | 245 | 153664 | 587,557 | 105.14 | 32.60 |
| 51 | 250 | 156800 | 588,385 | 107.24 | 33.92 |
| 52 | 255 | 159936 | 589,228 | 109.33 | 35.27 |
| 53 | 260 | 163072 | 590,087 | 111.42 | 36.64 |
| 54 | 265 | 166208 | 590,961 | 113.50 | 38.03 |
| 55 | 270 | 169344 | 591,851 | 115.58 | 39.45 |
| 56 | 275 | 172480 | 592,756 | 117.66 | 40.89 |
| 57 | 280 | 175616 | 593,676 | 119.74 | 42.36 |
| 58 | 285 | 178752 | 594,611 | 121.81 | 43.85 |
| 59 | 290 | 181888 | 595,561 | 123.88 | 45.37 |
| 60 | 295 | 185024 | 596,527 | 125.95 | 46.91 |
| 61 | 300 | 188160 | 597,507 | 128.01 | 48.47 |
| 62 | 305 | 191296 | 598,502 | 130.07 | 50.06 |
| 63 | 310 | 194432 | 599,511 | 132.12 | 51.67 |
| 64 | 315 | 197568 | 600,536 | 134.18 | 53.30 |
| 65 | 320 | 200704 | 601,575 | 136.23 | 55.00 |

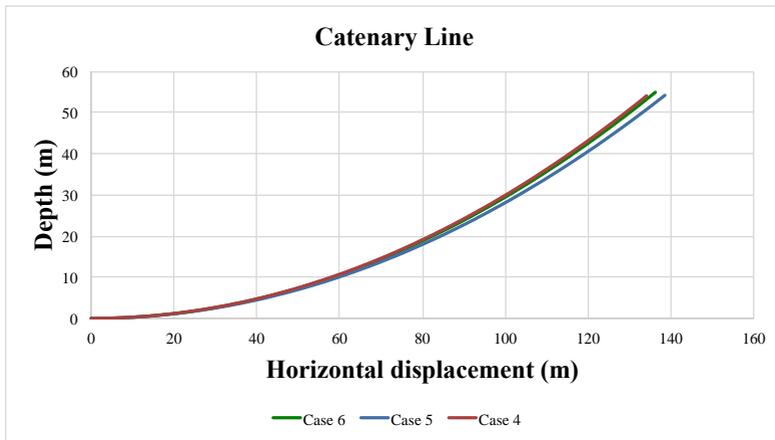


Grafik 4. 7 Variasi Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *Container*

Pada Grafik 4. 7 di atas menunjukkan *catenary line* pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 1, Case 2, dan Case 3 berturut-turut adalah 3780 kg, 4890 kg, 4050 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan *horizontal displacement catenary line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin besar nilai *horizontal displacement*. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 15 sebagai berikut.

Tabel 4. 15 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *Container*

| <i>Case</i> | <i>Type</i> | <i>Dimension (m)</i> | | | <i>Catenary Distance (m)</i> | |
|-------------|-----------------------|----------------------|----------|----------|------------------------------|----------|
| | | <i>L</i> | <i>B</i> | <i>T</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
| 1 | <i>Container Ship</i> | 144,02 | 21,8 | 7,72 | 55 | 136 |
| 2 | <i>Container Ship</i> | 128,84 | 23,0 | 7,80 | 55 | 145 |
| 3 | <i>Container Ship</i> | 123,50 | 20,8 | 6,50 | 55 | 121 |

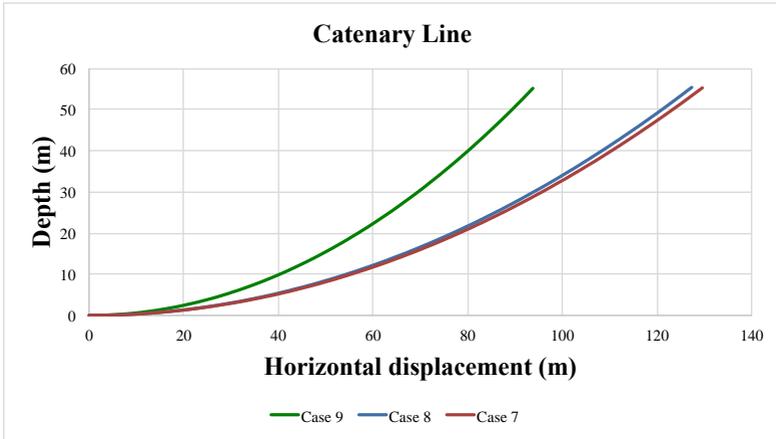


Grafik 4. 8 Variasi Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

Pada Grafik 4. 8 di atas menunjukkan *catenary line* pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 4, Case 5, dan Case 6 berturut-turut adalah 2640 kg, 2280 kg, 1920 kg. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan *horizontal displacement catenary line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin besar nilai *horizontal displacement*. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 16 sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

| Case | Type | Dimension (m) | | | Catenary Distance (m) | |
|------|----------------------------|---------------|------|------|-----------------------|-----|
| | | L | B | T | X | Y |
| 4 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 104,99 | 16,6 | 6,74 | 55 | 134 |
| 5 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 102,30 | 15,5 | 6,50 | 55 | 139 |
| 6 | <i>Oil/Chemical Tanker</i> | 86,50 | 14,0 | 5,60 | 55 | 136 |



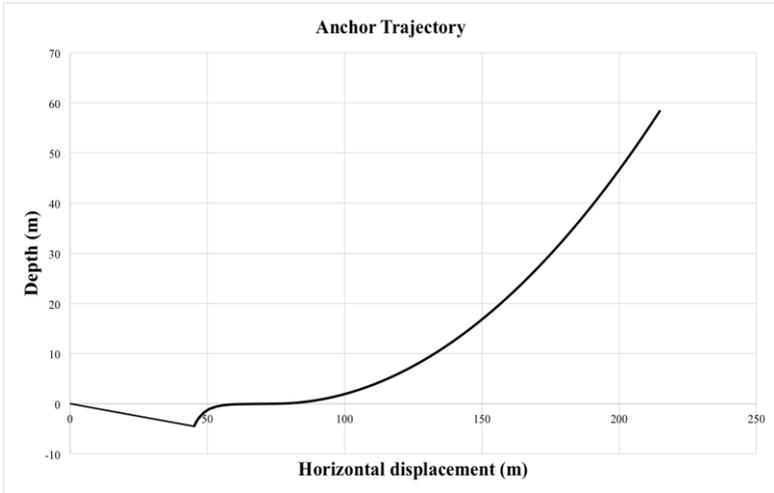
Grafik 4. 9 Variasi Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *General Cargo*

Pada Grafik 4. 9 di atas menunjukkan *catenary line* pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 7, Case 8, dan Case 9 berturut-turut adalah 4320 kg, 2560 kg, 2250 kg.. Kemudian pada grafik di atas dapat dilihat bahwa berat jangkar berbanding lurus dengan *horizontal displacement catenary line* tersebut dimana semakin berat jangkar yang terdapat pada kapal maka semakin besar nilai *horizontal displacement*. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 17 sebagai berikut.

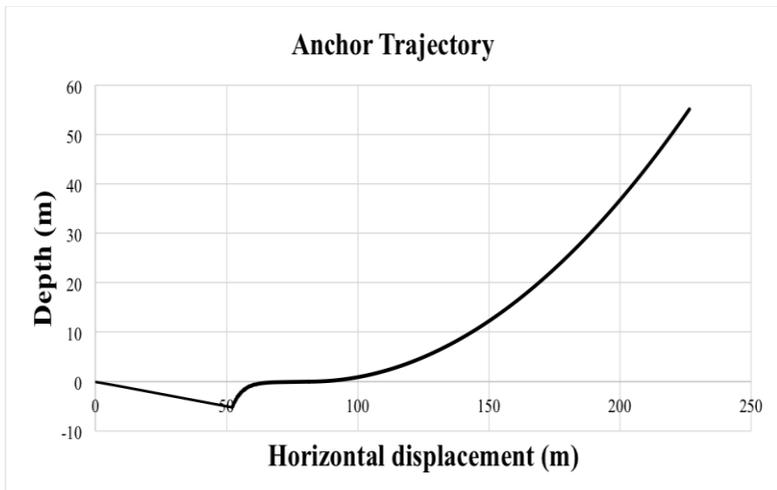
Tabel 4. 17 Perbandingan Jarak untuk Kurva *Catenary Line* untuk Kapal *General Cargo*

| <i>Case</i> | <i>Type</i> | <i>Dimension (m)</i> | | | <i>Catenary Distance (m)</i> | |
|-------------|----------------------|----------------------|----------|----------|------------------------------|----------|
| | | <i>L</i> | <i>B</i> | <i>T</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
| 7 | <i>General Cargo</i> | 125,30 | 20,6 | 5,90 | 55 | 130 |
| 8 | <i>General Cargo</i> | 98,00 | 16,5 | 5,40 | 55 | 127 |
| 9 | <i>General Cargo</i> | 79,27 | 12,0 | 2,99 | 55 | 94 |

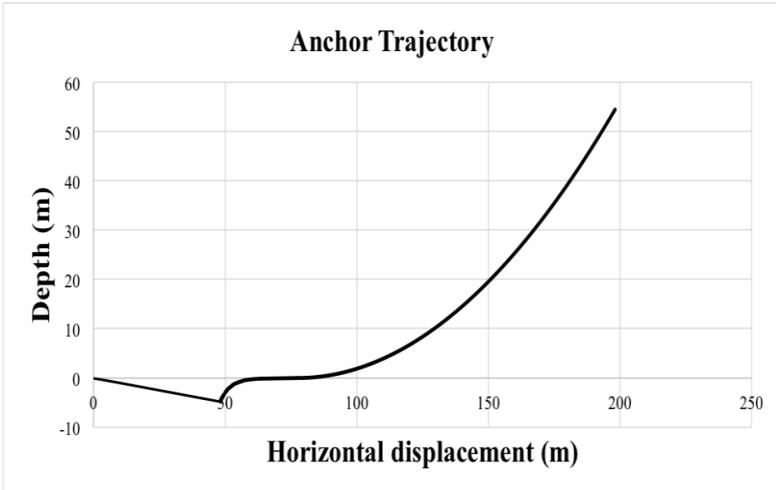
4.5 Perbandingan



(a) Case 1



(b) Case 2



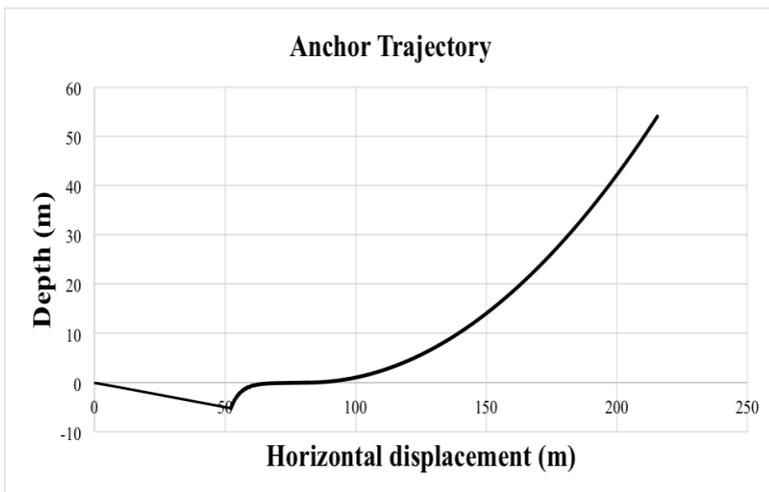
(c) Case 3

Grafik 4. 10 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *Container*

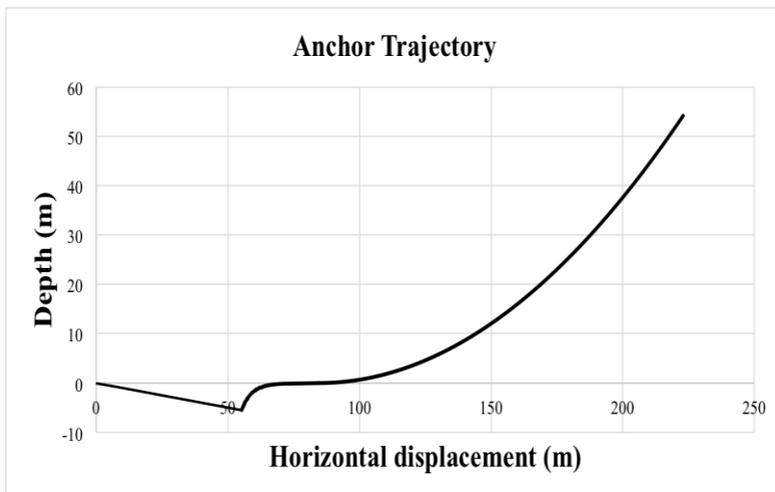
Pada Grafik 4. 10 di atas menunjukkan garis instalasi pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 1, Case 2, dan Case 3 berturut-turut adalah 3780 kg, 4890 kg, 4050 kg. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *anchor trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line* didapat hasil akhir berupa kurva garis instalasi yang menunjukkan pergerakan jangkar. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 18 sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *Container*

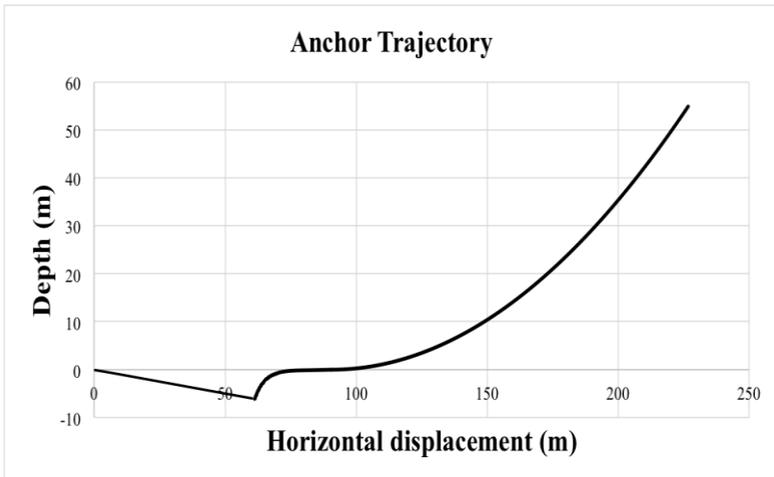
| <i>Case</i> | <i>Anchor weight (kg)</i> | <i>Trajectory Distance (m)</i> | | <i>Embedded Distance (m)</i> | | <i>Catenary Distance (m)</i> | |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|-----|
| | | X | Y | X | Y | X | Y |
| 1 | 3780 | 45,14 | 4,04 | 29,26 | 4,50 | 55 | 136 |
| 2 | 4890 | 52,17 | 5,20 | 29,23 | 5,20 | 55 | 145 |
| 3 | 4050 | 48,16 | 4,80 | 29,22 | 4,80 | 55 | 121 |



(d) Case 4



(e) Case 5



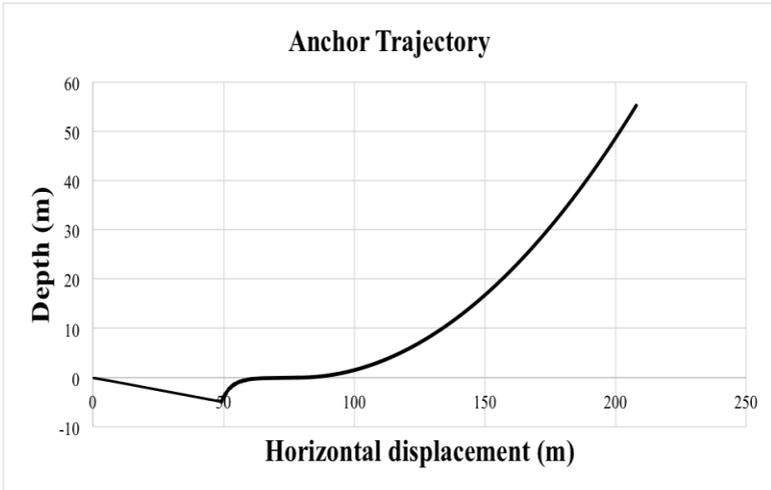
(f) Case 6

Grafik 4. 11 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

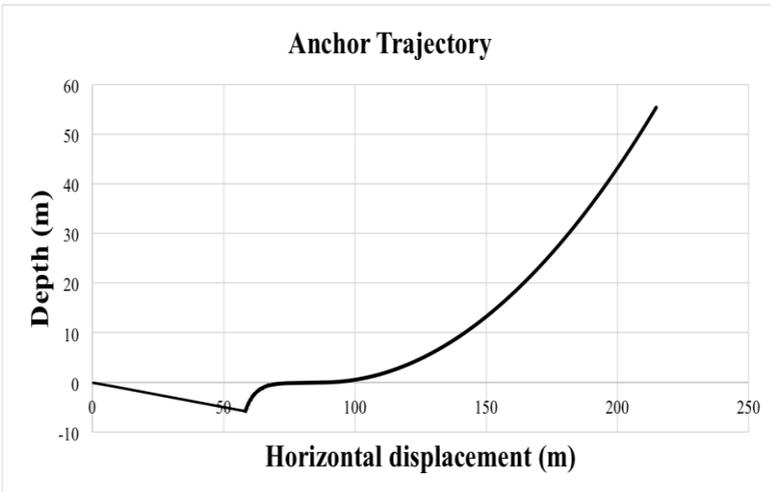
Pada Grafik 4. 11 di atas menunjukkan garis instalasi pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 4, Case 5, dan Case 6 berturut-turut adalah 2640 kg, 2280 kg, 1920 kg. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *anchor trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line* didapat hasil akhir berupa kurva garis instalasi yang menunjukkan pergerakan jangkar. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 19 sebagai berikut.

Tabel 4. 19 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *Oil/Chemical Tanker*

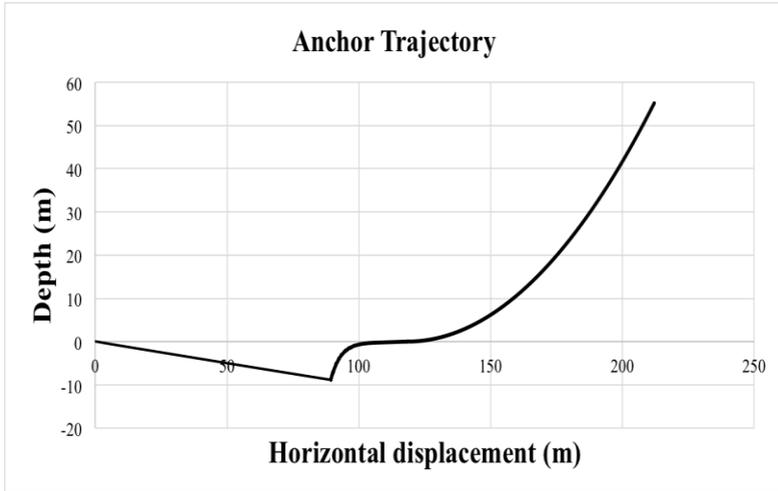
| <i>Case</i> | <i>Anchor weight (kg)</i> | <i>Trajectory Distance (m)</i> | | <i>Embedded Distance (m)</i> | | <i>Catenary Distance (m)</i> | |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|-----|
| | | X | Y | X | Y | X | Y |
| 4 | 2640 | 52,21 | 5,50 | 29,23 | 5,20 | 55 | 134 |
| 5 | 2280 | 55,24 | 6,10 | 29,22 | 5,50 | 55 | 139 |
| 6 | 1920 | 61,32 | 4,90 | 29,19 | 6,10 | 55 | 136 |



(g) Case 7



(h) Case 8



(i) Case 9

Grafik 4. 12 Variasi Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *General Cargo*

Pada Grafik 4. 12 di atas menunjukkan garis instalasi pada tiga kapal *Container* dengan berat jangkar Case 7, Case 8, dan Case 9 berturut-turut adalah 4320 kg, 2560 kg, 2250 kg. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *anchor trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line* didapat hasil akhir berupa kurva garis instalasi yang menunjukkan pergerakan jangkar. Sehingga diperoleh data pada Tabel 4. 20 sebagai berikut.

Tabel 4. 20 Perbandingan Jarak pada Kurva Garis Instalasi untuk Kapal *General Cargo*

| <i>Case</i> | <i>Anchor weight (kg)</i> | <i>Trajectory Distance (m)</i> | | <i>Embedded Distance (m)</i> | | <i>Catenary Distance (m)</i> | |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
| | | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
| 7 | 4320 | 49,18 | 4,90 | 29,21 | 4,90 | 55 | 130 |
| 8 | 2560 | 58,27 | 5,80 | 29,20 | 5,80 | 55 | 127 |
| 9 | 2250 | 89,38 | 8,85 | 28,99 | 8,85 | 55 | 94 |

Pada proses perhitungan secara manual menggunakan Ms. Excel menggunakan iterasi dapat dioptimalkan menggunakan sebuah software dengan basis *coding* untuk mempercepat perhitungan yaitu menggunakan Excel VBA. Hasil akhir dari proses perhitungan Ms. Excel dapat digunakan sebagai perbandingan untuk memastikan apakah perhitungan dengan Excel VBA telah *valid*. Sebuah garis instalasi adalah berupa model grafik yang mengilustrasikan pergerakan dari trayektori jangkar seperti Grafik 4. 10, Grafik 4. 11, dan Grafik 4. 12 yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Excel VBA sehingga hasil perhitungan menggunakan *coding* tersebut *valid*. Parameter-parameter yang diinput pada *Excel VBA* antara lain adalah data kapal, dimensi jangkar, karakteristik tanah, kecepatan arus, kecepatan gelombang, dan kecepatan angin dimana kapal akan ditempatkan atau lego jangkar sehingga dapat mengilustrasikan *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line*. Pada ilustrasi garis instalasi tersebut diasumsikan arah arus, angin, dan gelombang adalah sama. Jarak aman yang ditampilkan pada *trajectory distance* adalah jarak aktifitas labuh jangkar kapal terhadap pipa offshore yang terdekat. Maka, pada APBS (Alur Pelayaran Barat Surabaya) terdapat beberapa instalasi pipa bawah laut yang dimana jarak aman aktifitas labuh jangkar kapal terhadap pipa offshore yang telah dihitung untuk beberapa kapal dalam *trajectory distance*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan mengenai trayektori kapal akibat *dragged anchor*. Beberapa hal yang dapat disimpulkan tersebut diantaranya:

1. Perhitungan dan hasil analisis terhadap jalur pipa gas *offshore* akibat *dragged anchor* dapat diilustrasikan garis instalasi dari suatu jangkar untuk memprediksi dengan tepat posisi atau lintasan dari jangkar di tanah dasar laut yang terdiri dari *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line* untuk menentukan letak jangkar pada jarak aman tertentu dengan *offshore pipeline* agar tidak terjadi kecelakaan.
2. Menggunakan *Excel VBA* untuk mempercepat perhitungan dan mengilustrasikan *trajectory*, *embedded line*, dan *catenary line* sehingga diperoleh desain *software* aplikasi untuk analisa trayektori jangkar terkait risiko pada pipa gas bawah air untuk menstimulasikan posisi jangkar pada kondisi di titik jarak aman yang nantinya dapat digunakan oleh pihak operator kapal untuk mengevaluasi Standar Operasional Prosedur (SOP) yang telah diterapkan. Pada studi kasus yang telah dilakukan didapat jarak dengan nilai yang terkecil dan terbesar adalah 45,1 m dan 89,4 m dengan masing-masing berat jangkar 2250 kg dan 3780 kg. Kemudian dari hasil yang telah didapatkan maka rekomendasi untuk aplikasi di kajian *risk assessment* untuk jarak aman atau *safety distance* dengan *margin* 20% masing-masing adalah 55 m dan 108 m.

3. Analisa trayektori jangkar dengan memasukkan parameter-parameter yang berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada kapal, antara lain adalah data kapal, dimensi jangkar, karakteristik tanah, kecepatan arus, kecepatan gelombang, dan kecepatan angin dimana kapal akan ditempatkan atau lego jangkar.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan bisa menganalisa data menggunakan Excel VBA lebih mendalam.
2. Hal yang mungkin dilakukan adalah menambah parameter lain yang berpengaruh terhadap gaya yang timbul pada kapal. Pada penelitian ini hanya memperhitungkan pergerakan dua dimensi kapal yaitu arah horizontal dan vertikal, untuk penelitian selanjutnya diharapkan pengaruh gerakan tiga dimensi diperhitungkan, sehingga pergerakan jangkar yang dianalisa lebih tepat.
3. Untuk mengurangi risiko yang ada memberikan proteksi tambahan pada *subsea gas pipeline* untuk mengamankan pipa jika mungkin terjadi bahaya yang diberikan pada studi kasus ini yaitu *drag anchor*.

DAFTAR PUSTAKA

- Artana, KB. 2009. *Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut Ujung Pangkah-Gresik Dengan Standard DNV-RP-F107*. Surabaya
- Artana, KB : Dinariyana, A.A.B ; Ariana, I.M ; Sambodho, Kriyo. 2013. *Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut*. Surabaya : Gunawidya
- Azhary, Alfi Indra. 2011. “Perengkapan Jangkar dan Alat Tambat (*Anchor And Mooring Equipment*)”. (Online). (<https://www.scribd.com> diakses 4 Oktober 2016).
- Dalhoff, P., dan Florian Biehl. 2014. “Ship Collision, Risk analysis - Emergency systems - Collision dynamics”. (Online). (<http://www.researchgate.net> diakses 4 Agustus 2016).
- Efendi, Fahrudin. 2012. “Penilaian Risiko Jalur Pipa Gas Offshore Pt. Pertamina Hulu Energi-West Madura Offshore: Studi Kasus Risiko Akibat Proses Piling Dan Pemasangan Girder Pada Pembangunan Jetty Extension Pt. Maspion Unit V”. (Online). (<http://digilib.its.ac.id/> diakses 15 Agustus 2016).
- Indomigas Oil & Gas Indonesia. 2016. “Pipeline vs Anchor”. (Online). (<https://indomigas.wordpress.com> diakses 15 Agustus 2016).
- Knott, M., Moffatt dan Nichol. 2005. “Vessel Collision Design - Risk Analysis And Deep Foundation Issues For Bridges Over Navigable Waterways”. (Online). (<http://ascelibrary.org> diakses 3 Agustus 2016).

- Liu, Y., Hao HU, dan Di Zhang. 2011. "Probability Analysis of Damage to Offshore Pipeline by Ship Factors". (Online). (<http://trjournalonline.trb.org> diakses 3 Agustus 2016).
- Prasetyo, Muhammad Rizal. 2014. "Analisis Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Kemungkinan Kecelakaan Akibat Tarikan Jangkar Kapal". (Online). (<http://digilib.its.ac.id/> diakses 15 Agustus 2016).
- Prayoga, Surya. 2013. "Penilaian Risiko Akibat Aktivitas Kapal Di Area Offshore Pipeline Studi Kasus Risiko Akibat Dropped Anchor Dan Dragged Anchor" . (Online). (<http://digilib.its.ac.id/> diakses 15 Agustus 2016).
- Setyorini, Putri Dyah. "Penilaian Risiko Terhadap Pipa dan Kabel Bawah Laut Akibat Adanya Proses Pemasangan *Tie-in Spool* dengan Menggunakan *Mooring Vessel*". (Online). (<http://digilib.its.ac.id/> diakses 15 Agustus 2016).
- Sriskandarajah dan R Wilkins. 2002. "Assessment of Anchor on Gas Pipelines". (Online). (<http://www.researchgate.net> diakses 3 Agustus 2016).
- Susilawati, Renni. 2015. "Pemindahan Pipa Gas Tuntas, Revitalisasi APBS Masuki Tahap Finishing". (Online). (<http://beritajatim.com/> diakses 15 Agustus 2016).
- Vanem, E. dan Rolf Skjong. 2004. "Collision and Grounding of Passenger Ships – Risk Assessment and Emergency Evacuations" (Online). (<https://www.researchgate.net> diakses 4 Agustus 2016).
- Wang, G., Dan P.T. Pedersen. 2007. A Literature Review of Risk Assessment of Ship-Fpso Collisions. San Diego: Abs Technical Papers

- Wawruch, R. dan Tadeusz Stupak. 2011. "Modelling of Safety Distance Between Ships' Route and Wind Farm". (Online). (<https://www.deepdyve.com> diakses 5 Agustus 2016).
- Wei, Z., Liu Hai-Xiao, Li Xin-Zhong, Li Qing-Ping, Dan Cao Jing. 2015. "An Analytical Method for Positioning Drag Anchors in Seabed Soils". (Online). (<http://link.springer.com> diakses 3 Agustus 2016).
- Weng, J., Qiang Meng, dan Suyi Li. 2013. "Quantitative Risk Assessment Model for Ship Collisions in the Singapore Strait". (Online). (<http://link.springer.com> diakses 4 Agustus 2016).

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

- Perhitungan menggunakan excel VBA Module 1

```

Asistensi Rev.04.xlsm - Module1 (Code)
(General) CommandButton1_Click

Sheet12.Cells(9, 10) = 0
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 10) = (Sheet12.Cells(8 + X, 10)) + 5
Next

Sheet12.Cells(9, 11) = 0
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 11) = Val(Sheet12.Cells(9 + X, 10)) * Val(Sheet12.Cells(
Next

Sheet12.Cells(2, 3) = ((Sheet4.Cells(10, 14) * Sheet4.Cells(11, 14)) * (0.5 * Sh

Sheet12.Cells(9, 12) = ((Sheet12.Cells(2, 3) ^ 2)) ^ 0.5
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 12) = ((Sheet12.Cells(9 + X, 11) ^ 2) + (Sheet12.Cells(2,
Next

Sheet12.Cells(9, 13) = Sheet12.Cells(2, 3) * (Log((Sheet12.Cells(9, 11) + Shee
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 13) = Sheet12.Cells(2, 3) * (Log((Sheet12.Cells(9, 11) +
Next

Sheet12.Cells(9, 14) = ((Sheet12.Cells(9, 12)) - (Sheet12.Cells(9, 12))) / Shee
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 14) = ((Sheet12.Cells(9, 12)) - (Sheet12.Cells(9 + X, 12)
Next

Sheet12.Cells(9, 15) = Sheet12.Cells(9, 13) / -1
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 15) = Sheet12.Cells(9 + X, 13) / -1
Next

Sheet12.Cells(9, 16) = Sheet12.Cells(9, 14) / -1
For X = 1 To 42
Sheet12.Cells(9 + X, 16) = Sheet12.Cells(9 + X, 14) / -1
Next

Sheet14.Cells(36, 18) = Sheet4.Cells(11, 8) - Sheet4.Cells(12, 8) * Sin(Sheet1
For X = 1 To 42
Sheet14.Cells(36 + X, 18) = Sheet14.Cells(35 + X, 18) - 0.01
Next

```

```

Asistensi Rev.04.xlsm - Module1 (Code)
(General) CommandButton1_Click

Sheet14.Cells(35, 20) = ((Sin(0.2041)) ^ 2 / (Sheet14.Cells(36, 18) * (2 * 0.0008 + Sheet14.Cells(36, 18))))
Sheet14.Cells(36, 19) = (0.25 * (0.0008 + Sheet14.Cells(36, 18))) * (Sheet14.Cells(36, 18))
For X = 1 To 30
Sheet14.Cells(36 + X, 19) = (0.25 * (0.0008 + Sheet14.Cells(36 + X, 18))) * (Sheet14.Cells(36 + X, 18))
Next

Sheet14.Cells(36, 20) = ((4 + 0.0008 ^ 2 * Sheet14.Cells(35, 20)) / (4 * (Sheet14.Cells(36, 18) + Sheet14.Cells(36, 20))))
Sheet14.Cells(36, 21) = ((0.0008 + Sheet14.Cells(36, 18)) + (Sheet14.Cells(36, 18) * Sheet14.Cells(36, 20)))
For X = 1 To 30
Sheet14.Cells(36 + X, 21) = ((0.0008 + Sheet14.Cells(36 + X, 18)) + (Sheet14.Cells(36 + X, 18) * Sheet14.Cells(36 + X, 20)))
Next

Sheet14.Cells(36, 22) = Log(Sheet14.Cells(36, 21))
Sheet14.Cells(37, 22) = Log(Sheet14.Cells(37, 21))

Sheet14.Cells(36, 23) = Sheet14.Cells(36, 19) - (Sheet14.Cells(36, 20) * Sheet14.Cells(36, 18))
For X = 1 To 30
Sheet14.Cells(36 + X, 23) = Sheet14.Cells(36 + X, 19) - (Sheet14.Cells(36 + X, 20) * Sheet14.Cells(36 + X, 18))
Next

Sheet14.Cells(36, 24) = Sheet14.Cells(36, 23) / Sheet14.Cells(36, 18)
For X = 1 To 30
Sheet14.Cells(36 + X, 24) = Sheet14.Cells(36 + X, 23) / Sheet14.Cells(36 + X, 18)
Next

Sheet14.Cells(36, 25) = Sheet14.Cells(36, 18) / Sheet14.Cells(36, 18) * -21.5
For X = 1 To 27
Sheet14.Cells(36 + X, 25) = Sheet14.Cells(36 + X, 18) / Sheet14.Cells(36 + X, 18) * -21.5
Next

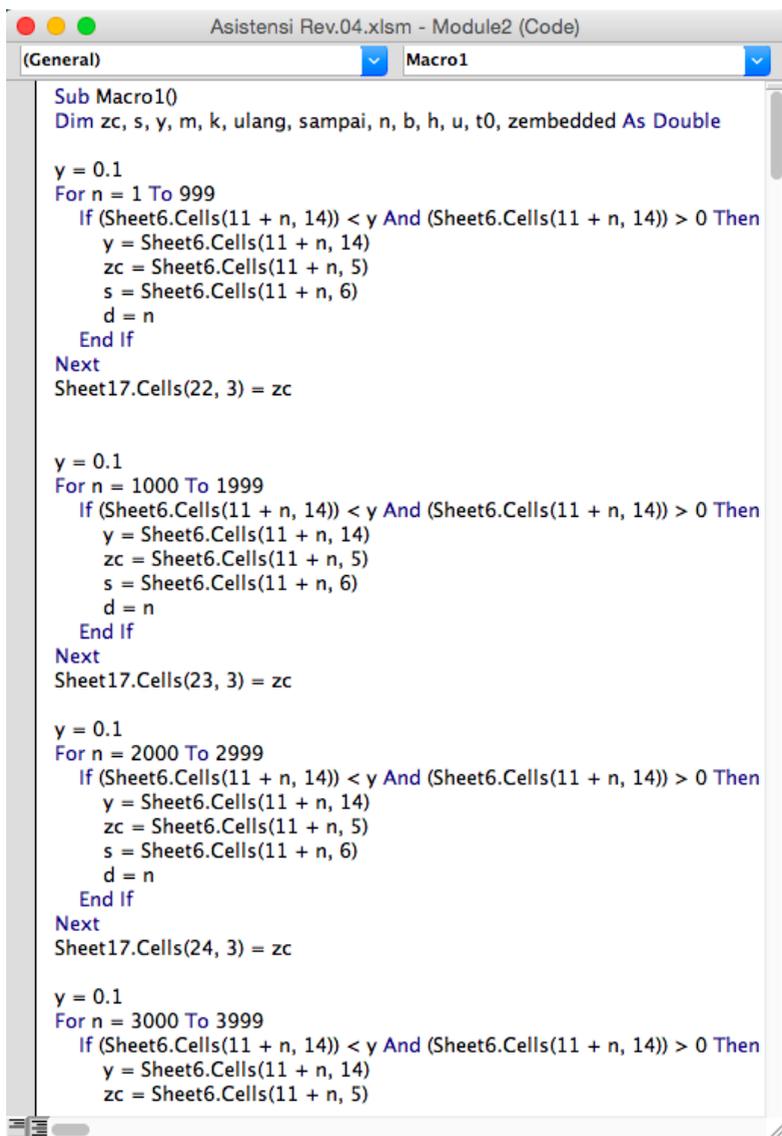
Sheet14.Cells(64, 25) = 0
For X = 1 To 2
Sheet14.Cells(64 + X, 25) = 0
Next

End Sub

Private Sub UserForm_Click()

```

- Perhitungan menggunakan excel VBA Module 2



```
Sub Macro10
Dim zc, s, y, m, k, ulang, sampai, n, b, h, u, t0, zembedded As Double

y = 0.1
For n = 1 To 999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(22, 3) = zc

y = 0.1
For n = 1000 To 1999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(23, 3) = zc

y = 0.1
For n = 2000 To 2999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(24, 3) = zc

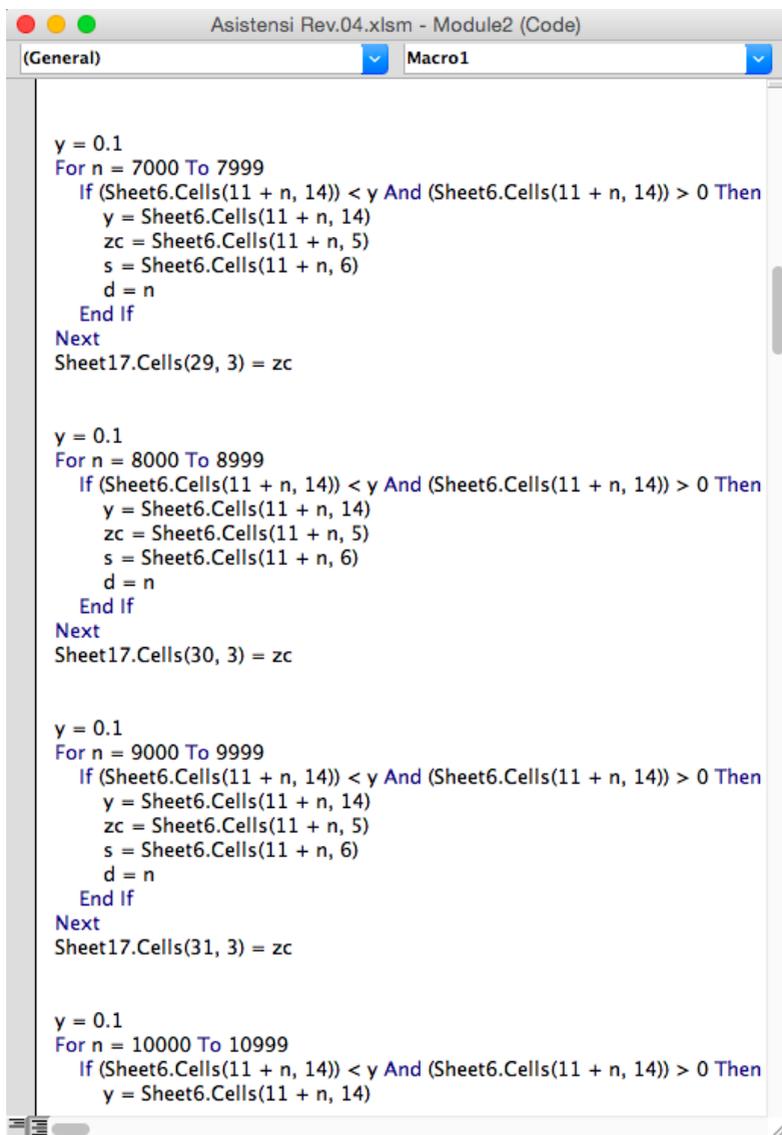
y = 0.1
For n = 3000 To 3999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
    End If
Next
```

```
zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
d = n
End If
Next
Sheet17.Cells(25, 3) = zc

y = 0.1
For n = 4000 To 4999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(26, 3) = zc

y = 0.1
For n = 5000 To 5999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(27, 3) = zc

y = 0.1
For n = 6000 To 6999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(28, 3) = zc
```



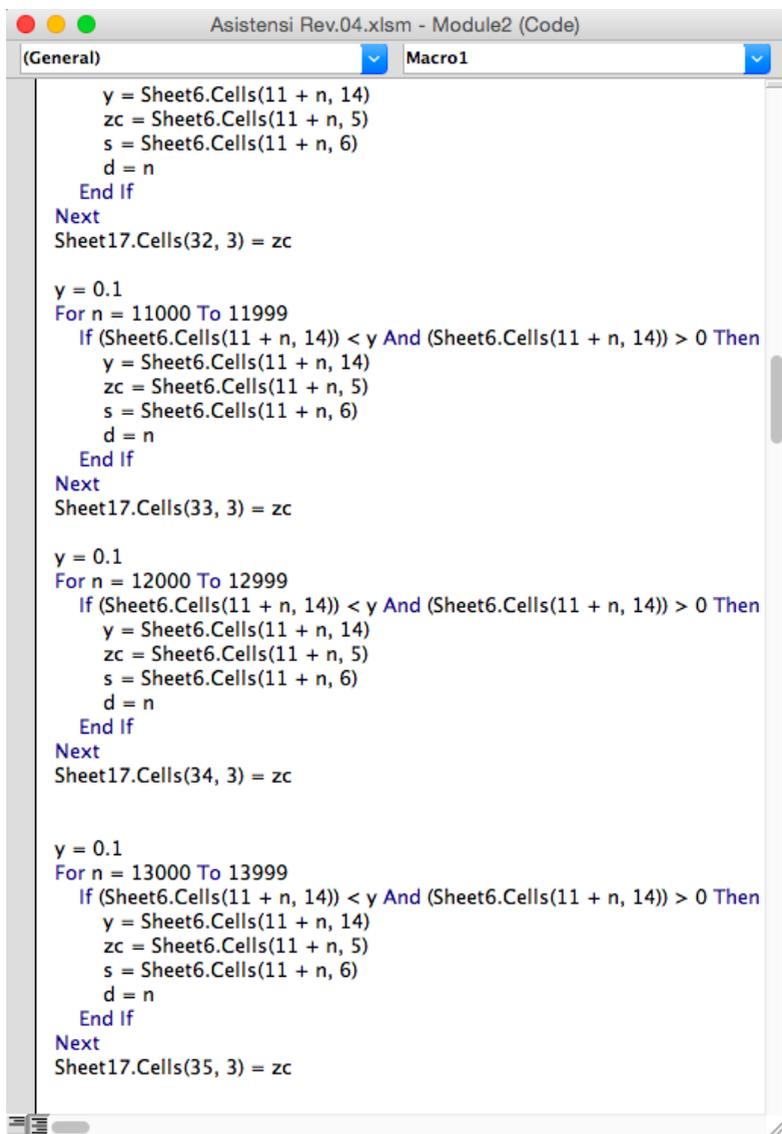
```
Asistensi Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
(General) Macro1

y = 0.1
For n = 7000 To 7999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(29, 3) = zc

y = 0.1
For n = 8000 To 8999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(30, 3) = zc

y = 0.1
For n = 9000 To 9999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(31, 3) = zc

y = 0.1
For n = 10000 To 10999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
```



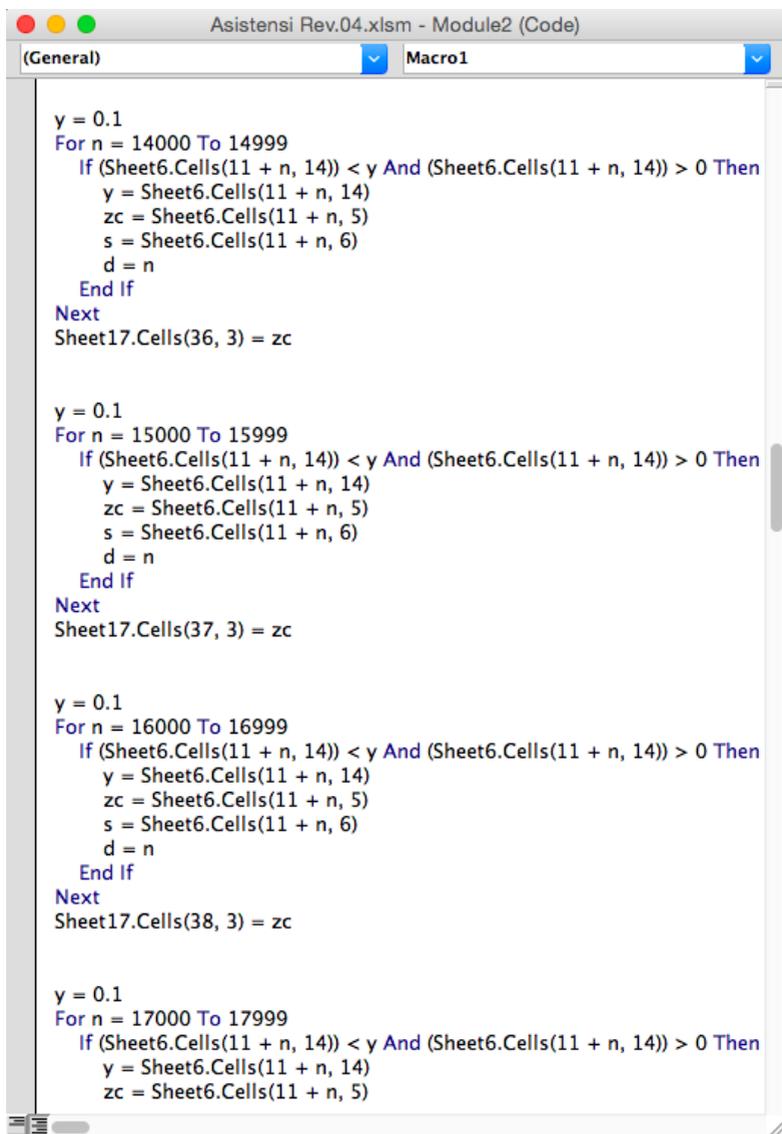
```
Asistensi Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
Macro1

y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
d = n
End If
Next
Sheet17.Cells(32, 3) = zc

y = 0.1
For n = 11000 To 11999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(33, 3) = zc

y = 0.1
For n = 12000 To 12999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(34, 3) = zc

y = 0.1
For n = 13000 To 13999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(35, 3) = zc
```



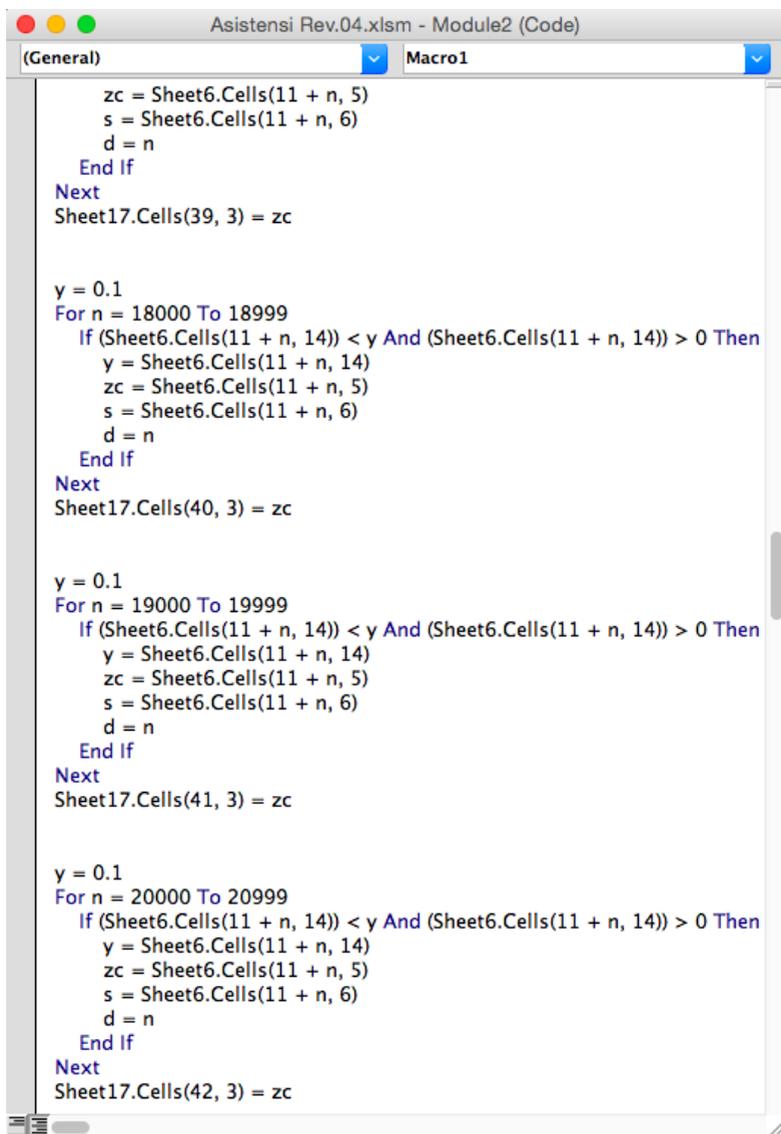
```
Asistensi Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
(General) Macro1

y = 0.1
For n = 14000 To 14999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(36, 3) = zc

y = 0.1
For n = 15000 To 15999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(37, 3) = zc

y = 0.1
For n = 16000 To 16999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(38, 3) = zc

y = 0.1
For n = 17000 To 17999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
```

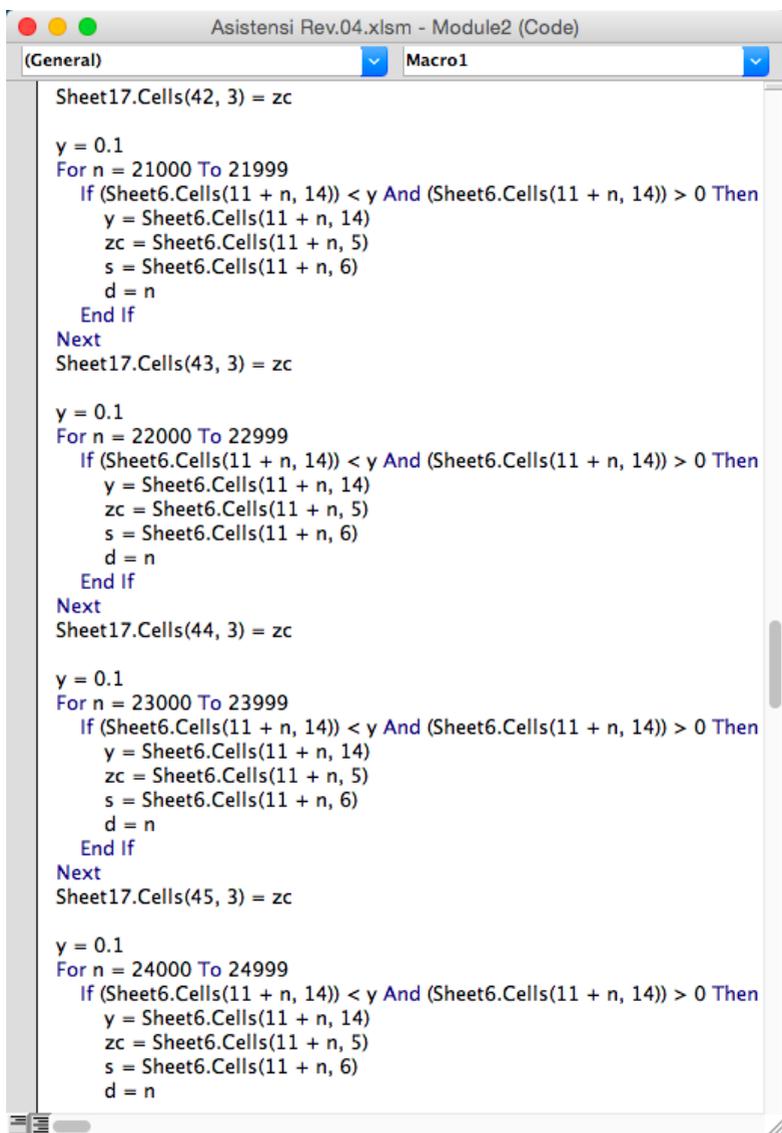


```
zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
d = n
End If
Next
Sheet17.Cells(39, 3) = zc

y = 0.1
For n = 18000 To 18999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(40, 3) = zc

y = 0.1
For n = 19000 To 19999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(41, 3) = zc

y = 0.1
For n = 20000 To 20999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(42, 3) = zc
```



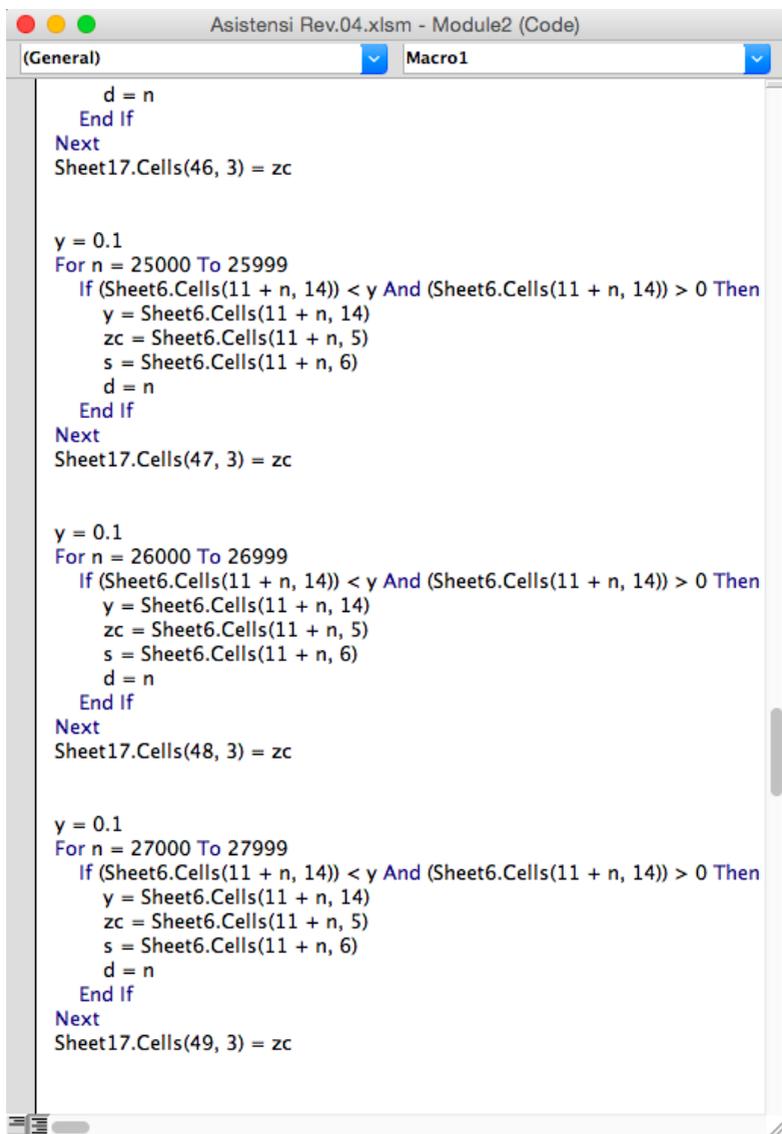
```
Sheet17.Cells(42, 3) = zc

y = 0.1
For n = 21000 To 21999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(43, 3) = zc

y = 0.1
For n = 22000 To 22999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(44, 3) = zc

y = 0.1
For n = 23000 To 23999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(45, 3) = zc

y = 0.1
For n = 24000 To 24999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
```



```

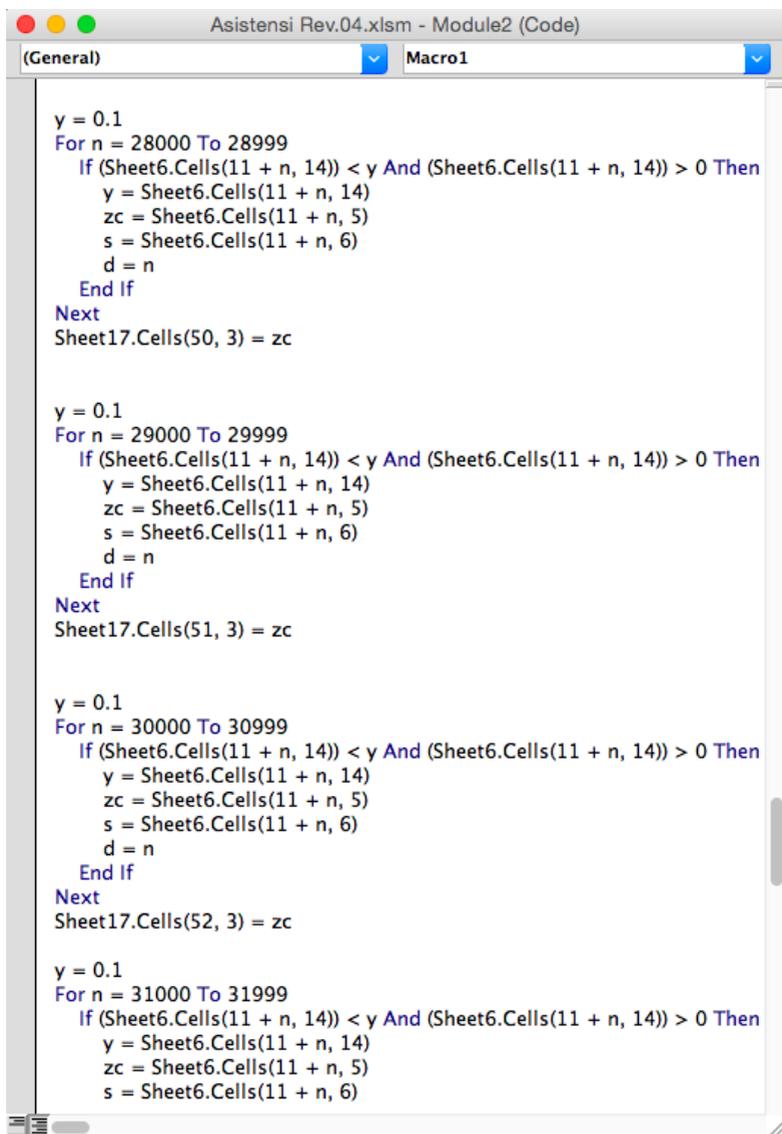
    d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(46, 3) = zc

y = 0.1
For n = 25000 To 25999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(47, 3) = zc

y = 0.1
For n = 26000 To 26999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(48, 3) = zc

y = 0.1
For n = 27000 To 27999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(49, 3) = zc

```



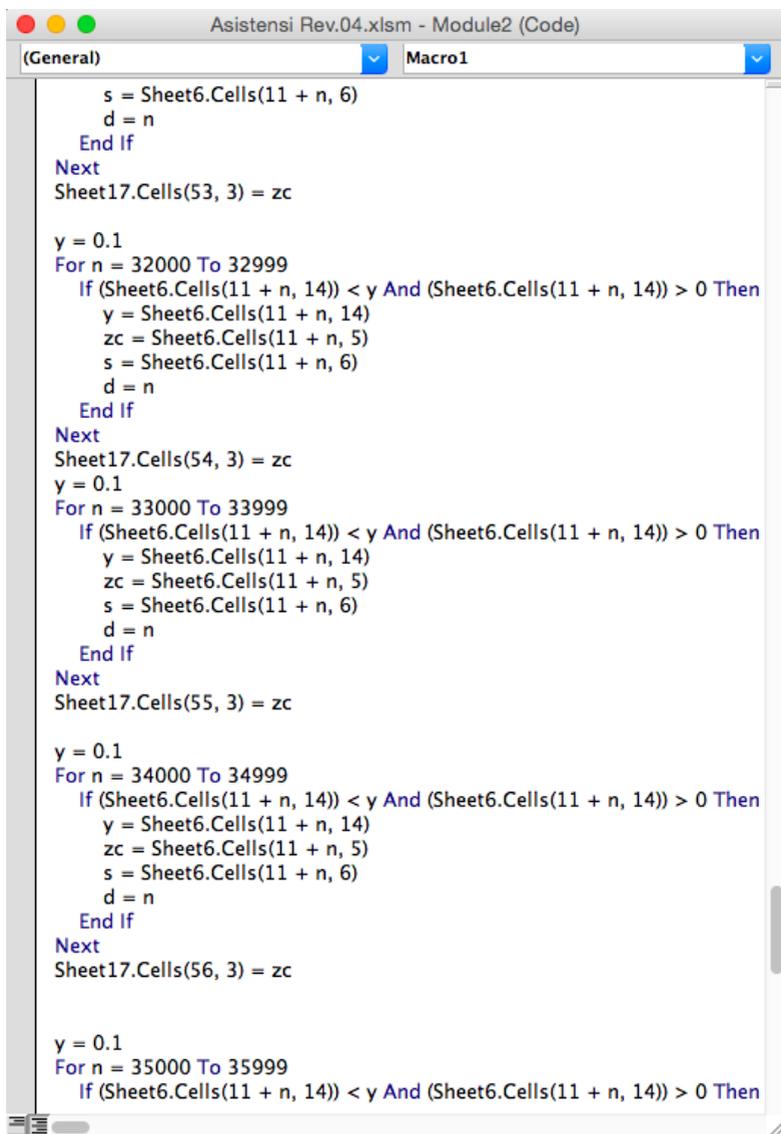
```
Asistensi Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
(General) Macro1

y = 0.1
For n = 28000 To 28999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(50, 3) = zc

y = 0.1
For n = 29000 To 29999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(51, 3) = zc

y = 0.1
For n = 30000 To 30999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(52, 3) = zc

y = 0.1
For n = 31000 To 31999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
    End If
Next
```



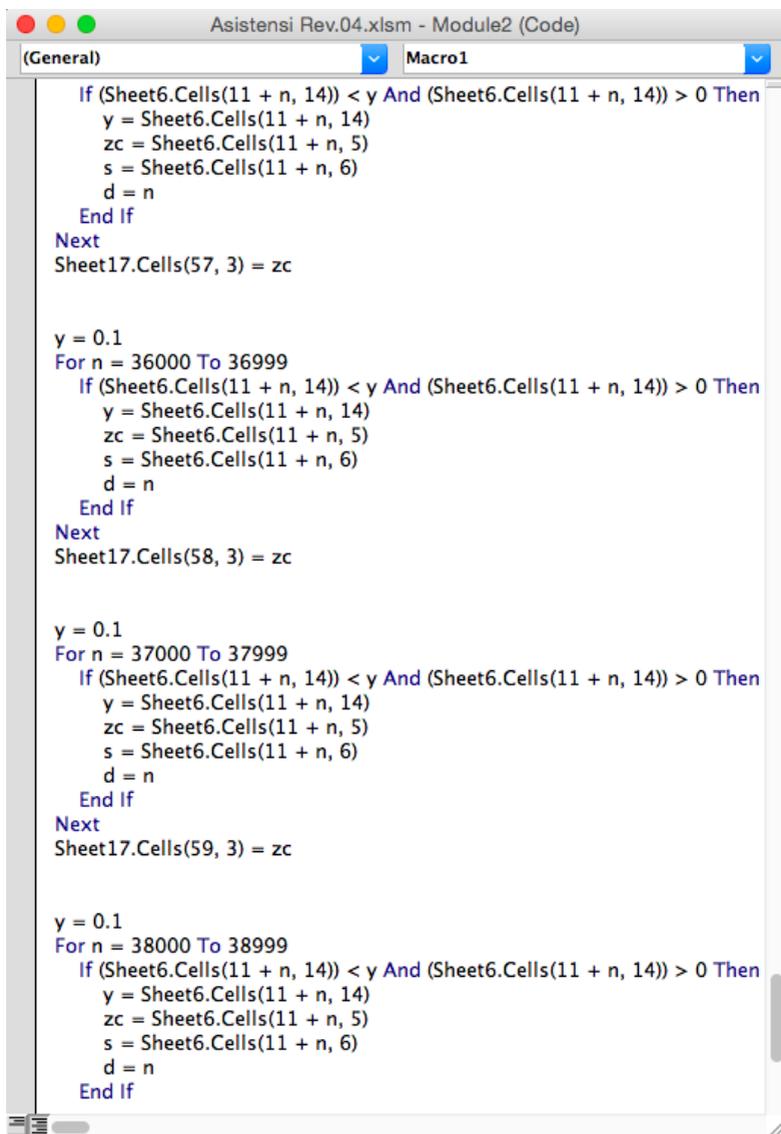
```
Asistenci Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
Macro1

    s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
    d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(53, 3) = zc

y = 0.1
For n = 32000 To 32999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(54, 3) = zc
y = 0.1
For n = 33000 To 33999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(55, 3) = zc

y = 0.1
For n = 34000 To 34999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(56, 3) = zc

y = 0.1
For n = 35000 To 35999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
```



```
Asistenci Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
Macro1

If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
    y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
    zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
    s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
    d = n
End If
Next
Sheet17.Cells(57, 3) = zc

y = 0.1
For n = 36000 To 36999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(58, 3) = zc

y = 0.1
For n = 37000 To 37999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(59, 3) = zc

y = 0.1
For n = 38000 To 38999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
```

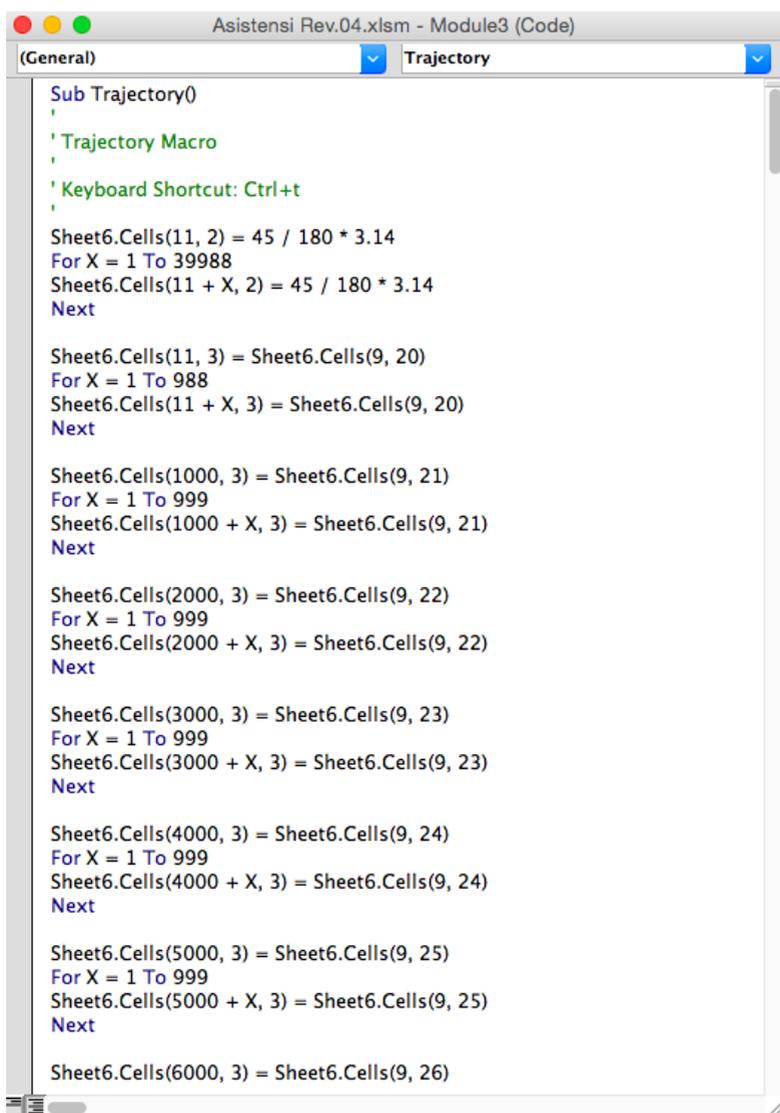
```
Asistensi Rev.04.xlsm - Module2 (Code)
(Macro1)
If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
    y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
    zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
    s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
    d = n
End If
Next
Sheet17.Cells(59, 3) = zc

y = 0.1
For n = 38000 To 38999
    If (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) < y And (Sheet6.Cells(11 + n, 14)) > 0 Then
        y = Sheet6.Cells(11 + n, 14)
        zc = Sheet6.Cells(11 + n, 5)
        s = Sheet6.Cells(11 + n, 6)
        d = n
    End If
Next
Sheet17.Cells(60, 3) = zc

F = Sheet10.Cells(38, 7)
For Z = 1 To 100
    If Sheet17.Cells(21 + Z, 11) < Sheet10.Cells(38, 7) Then
        t0 = Sheet16.Cells(21 + Z, 11)
        zembedded = Sheet16.Cells(21 + Z, 3)
        Z = 100
    End If
Next
Sheet14.Cells(23, 11) = zembedded * -1

End Sub
```

- Perhitungan menggunakan excel VBA Module 3



The screenshot shows the VBA Editor window for the file "Asistensi Rev.04.xlsm - Module3 (Code)". The "Trajectory" module is selected. The code defines a macro named "Trajectory" with a keyboard shortcut of "Ctrl+t". The macro performs several calculations on Sheet6, using for loops to iterate through a range of cells. The calculations involve multiplying a constant value (45) by a constant (180 * 3.14) and then dividing the result by the cell index (X).

```
Sub Trajectory()  
'  
' Trajectory Macro  
'  
' Keyboard Shortcut: Ctrl+t  
'  
Sheet6.Cells(11, 2) = 45 / 180 * 3.14  
For X = 1 To 39988  
Sheet6.Cells(11 + X, 2) = 45 / 180 * 3.14  
Next  
  
Sheet6.Cells(11, 3) = Sheet6.Cells(9, 20)  
For X = 1 To 988  
Sheet6.Cells(11 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 20)  
Next  
  
Sheet6.Cells(1000, 3) = Sheet6.Cells(9, 21)  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(1000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 21)  
Next  
  
Sheet6.Cells(2000, 3) = Sheet6.Cells(9, 22)  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(2000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 22)  
Next  
  
Sheet6.Cells(3000, 3) = Sheet6.Cells(9, 23)  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(3000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 23)  
Next  
  
Sheet6.Cells(4000, 3) = Sheet6.Cells(9, 24)  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(4000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 24)  
Next  
  
Sheet6.Cells(5000, 3) = Sheet6.Cells(9, 25)  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(5000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 25)  
Next  
  
Sheet6.Cells(6000, 3) = Sheet6.Cells(9, 26)
```

```
Sheet6.Cells(6000, 3) = Sheet6.Cells(9, 26)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(6000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 26)
Next

Sheet6.Cells(7000, 3) = Sheet6.Cells(9, 27)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(7000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 27)
Next

Sheet6.Cells(8000, 3) = Sheet6.Cells(9, 28)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(8000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 28)
Next

Sheet6.Cells(9000, 3) = Sheet6.Cells(9, 29)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(9000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 29)
Next

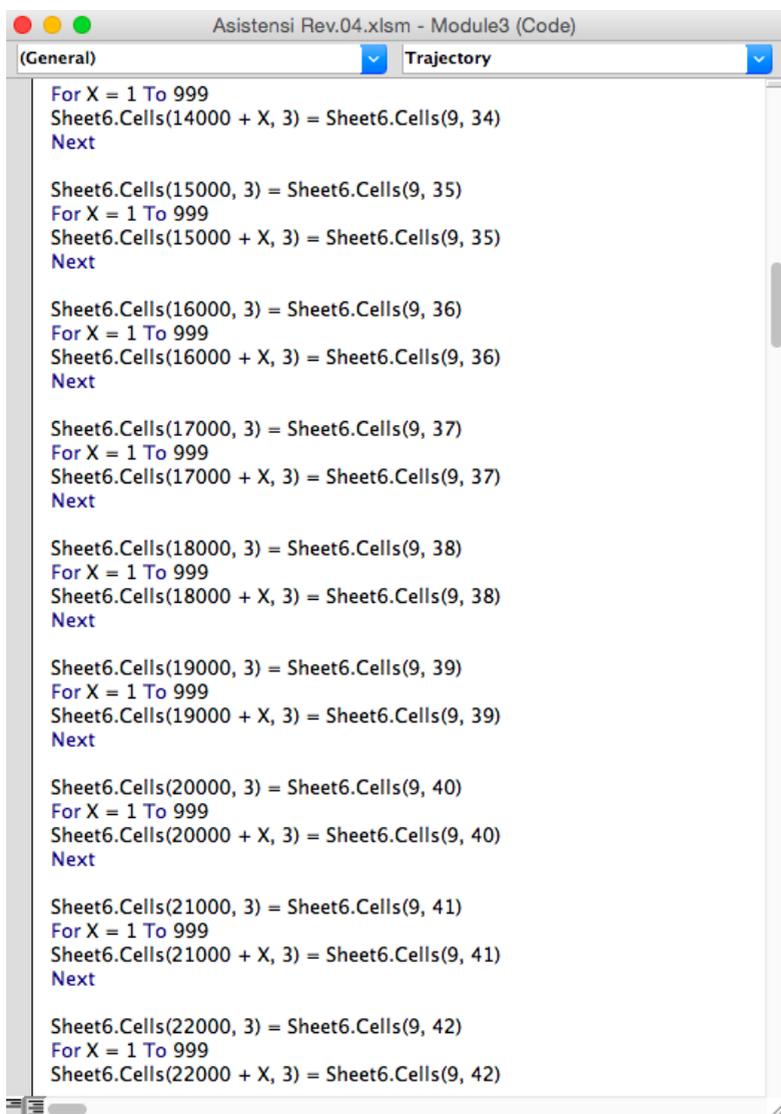
Sheet6.Cells(10000, 3) = Sheet6.Cells(9, 30)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(10000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 30)
Next

Sheet6.Cells(11000, 3) = Sheet6.Cells(9, 31)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(11000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 31)
Next

Sheet6.Cells(12000, 3) = Sheet6.Cells(9, 32)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(12000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 32)
Next

Sheet6.Cells(13000, 3) = Sheet6.Cells(9, 33)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(13000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 33)
Next

Sheet6.Cells(14000, 3) = Sheet6.Cells(9, 34)
For X = 1 To 999
```



```
Asistenci Rev.04.xlsm - Module3 (Code)
(General) Trajectory

For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(14000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 34)
Next

Sheet6.Cells(15000, 3) = Sheet6.Cells(9, 35)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(15000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 35)
Next

Sheet6.Cells(16000, 3) = Sheet6.Cells(9, 36)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(16000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 36)
Next

Sheet6.Cells(17000, 3) = Sheet6.Cells(9, 37)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(17000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 37)
Next

Sheet6.Cells(18000, 3) = Sheet6.Cells(9, 38)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(18000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 38)
Next

Sheet6.Cells(19000, 3) = Sheet6.Cells(9, 39)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(19000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 39)
Next

Sheet6.Cells(20000, 3) = Sheet6.Cells(9, 40)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(20000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 40)
Next

Sheet6.Cells(21000, 3) = Sheet6.Cells(9, 41)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(21000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 41)
Next

Sheet6.Cells(22000, 3) = Sheet6.Cells(9, 42)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(22000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 42)
```

```
Sheet6.Cells(22000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 42)
Next

Sheet6.Cells(23000, 3) = Sheet6.Cells(9, 43)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(23000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 43)
Next

Sheet6.Cells(24000, 3) = Sheet6.Cells(9, 44)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(24000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 44)
Next

Sheet6.Cells(25000, 3) = Sheet6.Cells(9, 45)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(25000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 45)
Next

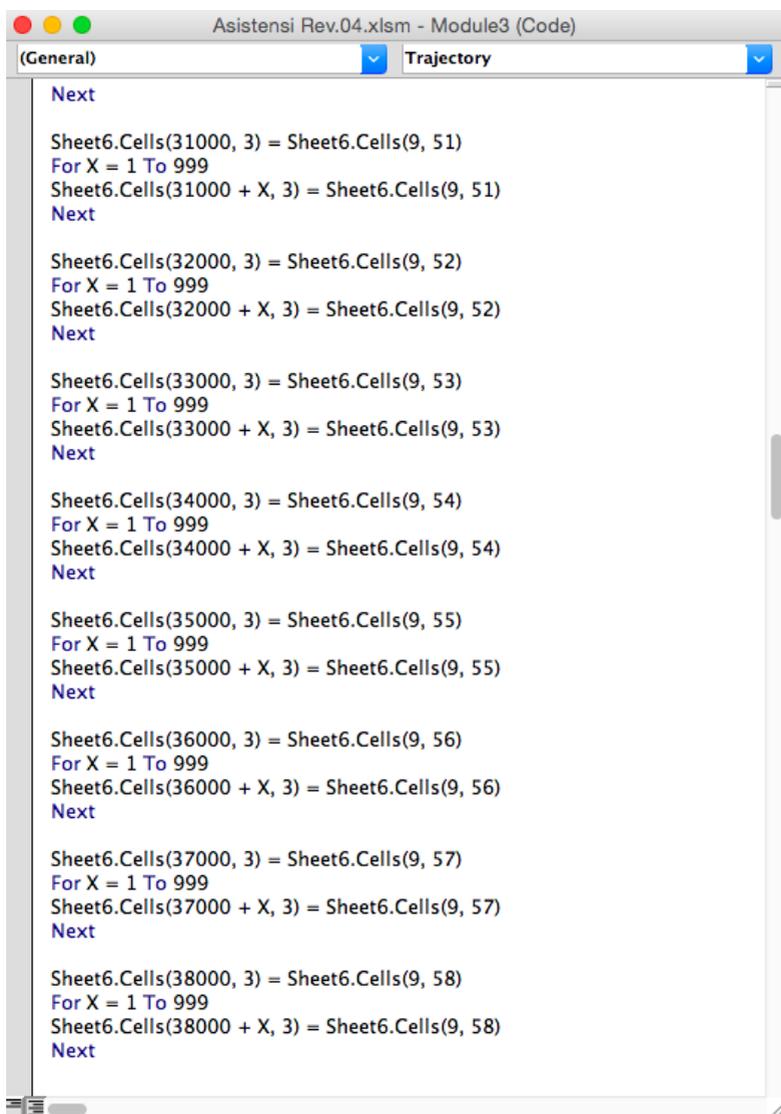
Sheet6.Cells(26000, 3) = Sheet6.Cells(9, 46)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(26000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 46)
Next

Sheet6.Cells(27000, 3) = Sheet6.Cells(9, 47)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(27000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 47)
Next

Sheet6.Cells(28000, 3) = Sheet6.Cells(9, 48)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(28000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 48)
Next

Sheet6.Cells(29000, 3) = Sheet6.Cells(9, 49)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(29000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 49)
Next

Sheet6.Cells(30000, 3) = Sheet6.Cells(9, 50)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(30000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 50)
Next
```



```
Next
Sheet6.Cells(31000, 3) = Sheet6.Cells(9, 51)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(31000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 51)
Next

Sheet6.Cells(32000, 3) = Sheet6.Cells(9, 52)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(32000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 52)
Next

Sheet6.Cells(33000, 3) = Sheet6.Cells(9, 53)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(33000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 53)
Next

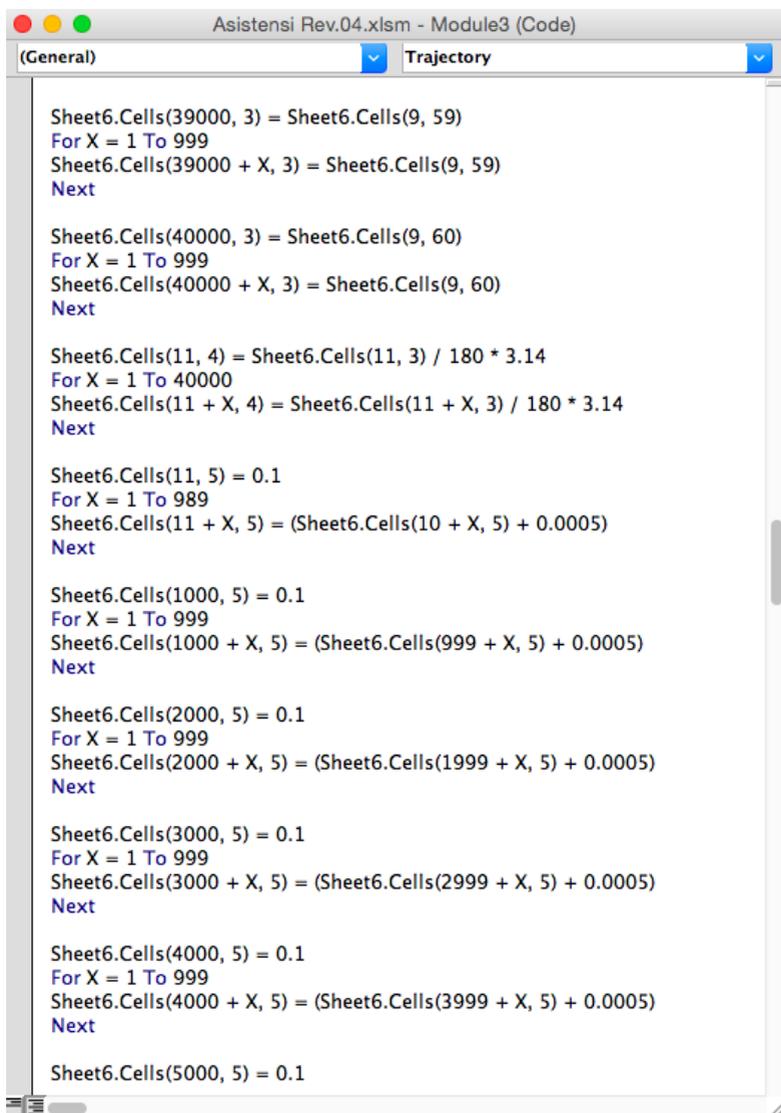
Sheet6.Cells(34000, 3) = Sheet6.Cells(9, 54)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(34000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 54)
Next

Sheet6.Cells(35000, 3) = Sheet6.Cells(9, 55)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(35000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 55)
Next

Sheet6.Cells(36000, 3) = Sheet6.Cells(9, 56)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(36000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 56)
Next

Sheet6.Cells(37000, 3) = Sheet6.Cells(9, 57)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(37000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 57)
Next

Sheet6.Cells(38000, 3) = Sheet6.Cells(9, 58)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(38000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 58)
Next
```



```
Sheet6.Cells(39000, 3) = Sheet6.Cells(9, 59)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(39000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 59)
Next

Sheet6.Cells(40000, 3) = Sheet6.Cells(9, 60)
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(40000 + X, 3) = Sheet6.Cells(9, 60)
Next

Sheet6.Cells(11, 4) = Sheet6.Cells(11, 3) / 180 * 3.14
For X = 1 To 40000
Sheet6.Cells(11 + X, 4) = Sheet6.Cells(11 + X, 3) / 180 * 3.14
Next

Sheet6.Cells(11, 5) = 0.1
For X = 1 To 989
Sheet6.Cells(11 + X, 5) = (Sheet6.Cells(10 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(1000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(1000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(2000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(2000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(1999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(3000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(3000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(2999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(4000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(4000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(3999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(5000, 5) = 0.1
```

```
Sheet6.Cells(5000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(5000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(4999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(6000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(6000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(5999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(7000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(7000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(6999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(8000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(8000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(7999 + X, 5) + 0.0005)
Next

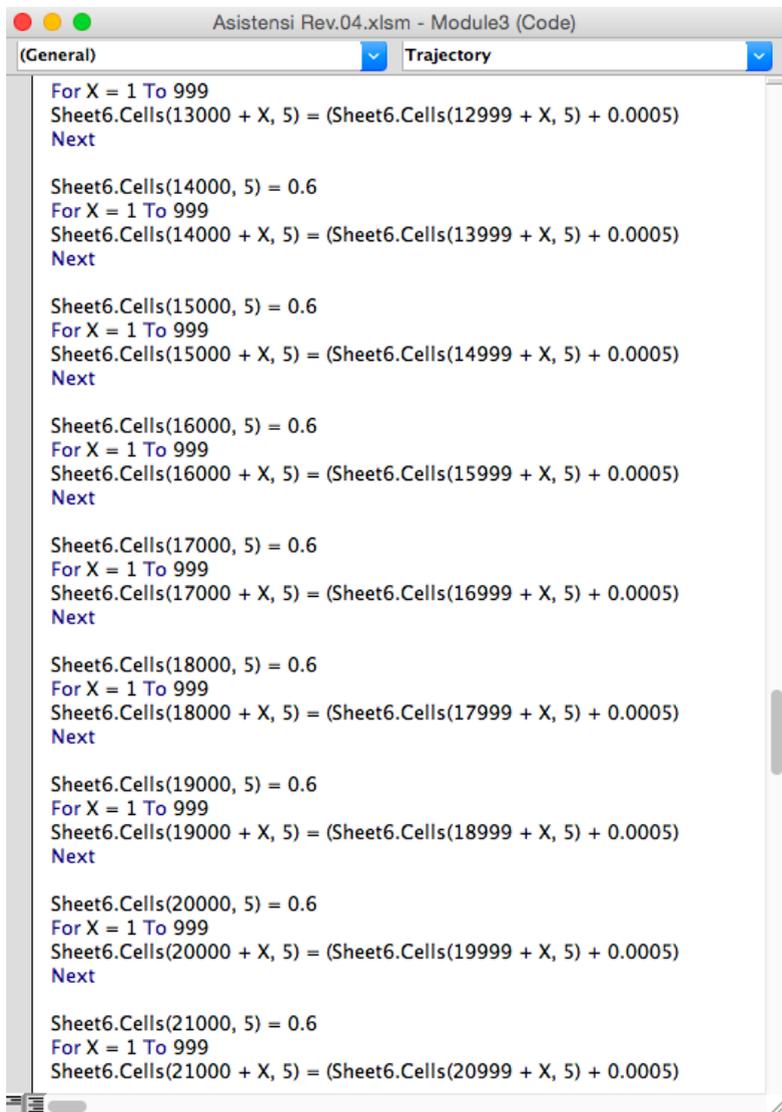
Sheet6.Cells(9000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(9000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(8999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(10000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(10000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(9999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(11000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(11000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(10999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(12000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(12000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(11999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(13000, 5) = 0.1
For X = 1 To 999
```



```
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(13000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(12999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(14000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(14000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(13999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(15000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(15000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(14999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(16000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(16000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(15999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(17000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(17000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(16999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(18000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(18000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(17999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(19000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(19000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(18999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(20000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(20000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(19999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(21000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(21000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(20999 + X, 5) + 0.0005)
```

```
Sheet6.Cells(21000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(20999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(22000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(22000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(21999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(23000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(23000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(22999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(24000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(24000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(23999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(25000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(25000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(24999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(26000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(26000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(25999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(27000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(27000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(26999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(28000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(28000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(27999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(29000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(29000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(28999 + X, 5) + 0.0005)
Next
```

```
Next  
Sheet6.Cells(30000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(30000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(29999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(31000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(31000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(30999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(32000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(32000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(31999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(33000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(33000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(32999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(34000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(34000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(33999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(35000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(35000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(34999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(36000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(36000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(35999 + X, 5) + 0.0005)  
Next  
  
Sheet6.Cells(37000, 5) = 0.6  
For X = 1 To 999  
Sheet6.Cells(37000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(36999 + X, 5) + 0.0005)  
Next
```

Asistensi Rev.04.xlsm - Module3 (Code)

(General) Trajectory

```

Sheet6.Cells(38000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(38000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(37999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(39000, 5) = 0.6
For X = 1 To 999
Sheet6.Cells(39000 + X, 5) = (Sheet6.Cells(38999 + X, 5) + 0.0005)
Next

Sheet6.Cells(11, 6) = Sheet6.Cells(11, 5) / Tan(Sheet6.Cells(11, 4))
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 6) = Sheet6.Cells(11 + X, 5) / (Tan(Sheet6.Cells(11 + X, 4)
Next

Sheet6.Cells(11, 7) = Sheet6.Cells(11, 2) - Sheet6.Cells(11, 4)
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 7) = Sheet6.Cells(11 + X, 2) - Sheet6.Cells(11 + X, 4)
Next

Sheet6.Cells(11, 8) = (1 / 20) * (3 * Sheet16.Cells(2, 19) + 17) * Sheet16.Cells(11, 19)
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 8) = (1 / 20) * (3 * Sheet16.Cells(2, 19) + 17) * Sheet16.Cells(11 + X, 19)
Next

Sheet6.Cells(11, 9) = (Sheet16.Cells(12, 19) * Sheet16.Cells(9, 19) + Sheet16.Cells(11, 19) * Sheet16.Cells(12, 19)) / 2
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 9) = (Sheet16.Cells(12, 19) * Sheet16.Cells(9, 19) + Sheet16.Cells(11 + X, 19) * Sheet16.Cells(12, 19)) / 2
Next

Sheet6.Cells(11, 10) = (Sheet6.Cells(11, 9) - Sheet16.Cells(18, 20) * Sin(Sheet6.Cells(11, 8))) / 2
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 10) = (Sheet6.Cells(11 + X, 9) - Sheet16.Cells(18, 20) * Sin(Sheet6.Cells(11 + X, 8))) / 2
Next

Sheet6.Cells(11, 11) = 0
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 11) = (Sheet16.Cells(15, 19) * Sheet6.Cells(11 + X, 8) * Sheet6.Cells(11 + X, 10)) / 2
Next

Sheet6.Cells(11, 12) = (Sheet6.Cells(11, 10) + Sheet6.Cells(11, 11)) / 2

```

```

Asistensi Rev.04.xlsm - Module3 (Code)
(Trajectory)
Sheet6.Cells(11 + X, 7) = Sheet6.Cells(11 + X, 2) - Sheet6.Cells(11 + X, 4)
Next

Sheet6.Cells(11, 8) = (1 / 20) * (3 * Sheet16.Cells(2, 19) + 17) * Sheet16.Cells(
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 8) = (1 / 20) * (3 * Sheet16.Cells(2, 19) + 17) * Sheet16.C
Next

Sheet6.Cells(11, 9) = (Sheet16.Cells(12, 19) * Sheet16.Cells(9, 19) + Sheet16
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 9) = (Sheet16.Cells(12, 19) * Sheet16.Cells(9, 19) + She
Next

Sheet6.Cells(11, 10) = (Sheet6.Cells(11, 9) - Sheet16.Cells(18, 20) * Sin(Shee
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 10) = (Sheet6.Cells(11 + X, 9) - Sheet16.Cells(18, 20) *
Next

Sheet6.Cells(11, 11) = 0
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 11) = (Sheet16.Cells(15, 19) * Sheet6.Cells(11 + X, 8) *
Next

Sheet6.Cells(11, 12) = (Sheet6.Cells(11, 10) + Sheet6.Cells(11, 11)) / 2
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 12) = (Sheet6.Cells(11 + X, 10) + Sheet6.Cells(11 + X, 1
Next

Sheet6.Cells(11, 13) = Sheet6.Cells(11, 12) * Exp(Sheet16.Cells(1, 19) * Sheet
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 13) = Sheet6.Cells(11 + X, 12) * Exp(Sheet16.Cells(1, 19
Next

Sheet6.Cells(11, 14) = Sheet16.Cells(15, 19) * (1 + Sheet6.Cells(11, 2) ^ 2) *
For X = 1 To 39988
Sheet6.Cells(11 + X, 14) = Sheet16.Cells(15, 19) * (1 + Sheet6.Cells(11 + X,
Next

End Sub

```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 27 September 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Islam Nurul Aulia Depok, SDN Duri Kosambi 10 Jakarta, SMPN 45 Jakarta, SMAN 78 Jakarta. Setelah lulus tahun 2013, penulis diterima sebagai mahasiswi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dengan NRP 4213100104. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS masa jabatan 2015-2016 sebagai staf Departemen Kewirausahaan dan di Badan Eksekutif Mahasiswa tingkat Fakultas masa jabatan 2015-2016 sebagai kepala divisi Komunikasi Informasi. Dalam kegiatan kemahasiswaan yang lain penulis pernah mendapatkan penghargaan berupa juara ke-2 dalam kompetisi *Hovercraft* yang diselenggarakan oleh Universitas Indonesia pada tahun 2015. Serta penulis aktif mengikuti kegiatan seminar serta forum yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Sistem Perkapalan ataupun ITS. Pengalaman kerja praktek yang pernah ditempuh oleh penulis antara lain di PT. Palindo Marine Batam dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia. Dalam pengerjaan tugas akhir, penulis mengambil bidang *Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*.