TUGAS AKHIR - RM184831

INSPEKSI *FREE SPAN* PIPA BAWAH LAUT DENGAN *SIDE SCAN SONAR* DAN *DUAL-HEAD SCANNING PROFILER*

Purnomo Laksono Harlambang
NRP 033116 40000 065

Dosen Pembimbing
Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D.
Khomsin, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR - RM184831

INSPEKSI *FREE SPAN* PIPA BAWAH LAUT DENGAN *SIDE SCAN SONAR* DAN *DUAL-HEAD SCANNING PROFILER*

Purnomo Laksono Harlambang
NRP 033116 40000 065

Dosen Pembimbing
Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D.
Khomsin, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“***Halaman ini sengaja dikosongkan***”

FINAL ASSIGNMENT - RM184831

UNDERWATER PIPELINE FREE SPAN INSPECTION USING SIDE SCAN SONAR AND DUAL-HEAD SCANNING PROFILER

Purnomo Laksono Harlambang
NRP 033116 40000 065

Supervisors:
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T.,Ph.D.
Khomsin, ST., MT.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“***Halaman ini sengaja dikosongkan***”

INSPEKSI *FREE SPAN* PIPA BAWAH LAUT DENGAN *SIDE SCAN SONAR* DAN *DUAL-HEAD SCANNING PROFILER*

Mahasiswa	**: Purnomo Laksono Harlambang**
NRP	**: 033116 40000 065**
Departemen	**: Teknik Geomatika FTSPK – ITS**
Pembimbing	**: Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D.**
	Khomsin, ST., MT.

ABSTRAK

Menurut peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018 BAB III Pasal 6, untuk setiap instalasi dan peralatan yang digunakan dalam industri minyak dan gas harus dilakukan inspeksi dan pemeriksaan keselamatan, termasuk didalamnya adalah inspeksi pipa. Terdapat beberapa inspeksi pipa yang harus dilakukan untuk menjaga ketahanan dari pipa tersebut, salah satunya adalah inspeksi *free span* pipa yang berlokasi dibawah laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah, lokasi, dan dimensi *free span* pipa bawah laut serta peta hasil inspeksinya. Metode yang digunakan adalah pengolahan data *side scan sonar* (SSS) dan *dual-head scanning profiiler* (DHSP) yang didapatkan dari PT. Pageo Utama. Data s*ide scan sonar* berguna sebagai gambaran secara visual pipa dan data *dual-head scanning profiler* berguna untuk mendapatkan topografi pipa laut dan sekitarnya untuk identifikasi dimensi *free span.*

Hasil dari penelitian ini yaitu didapatkan 47 titik *free span* dari pipa bawah laut sepanjang 6,8 km beserta peta hasil inspeksinya. *Free span* dengan dimensi terpanjang berada pada FS-43 dengan panjang 42,109 m dan tinggi 0,44 m yang terletak pada KP 6,465, serta dimensi *free span* tertinggi berada pada FS-45 yaitu setinggi 1,22 m dan panjang 20,329 m yang terletak pada KP 6,045. Peta

hasil inspeksi terdiri atas 14 buah peta A3 yang memiliki skala 1:2000 dan memiliki tiga tampilan yang terdiri dari *plan view, longitudinal view,* dan *profile view.*

Kata kunci: **Inspeksi Pipa*****, Free Span, Side Scan Sonar, Dual-head Scanning Profiler.***

UNDERWATER FREE SPAN PIPELINE INSPECTION USING SIDE SCAN SONAR AND DUAL-HEAD SCANNING PROFILER

Name	**: Purnomo Laksono Harlambang**
NRP	**: 033116 40000 065**
Department	**: Geomatics Engineering – CIVPLAN**
Supervisors	**: Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.** **Khomsin, ST., MT.**

ABSTRACT

According to the regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia Number 18 Year 2018 CHAPTER III Article 6, for every installation and equipment used in the oil and gas industry, inspection and safety inspection must be carried out, including pipe inspection. There are several pipe inspections that must be carried out to maintain the durability of the pipes, one of which is the inspection of free span pipes located under the sea. This study aims to determine the total, location, and dimensions of the underwater free span pipeline and the inspection map. The method used is the processing of side scan sonar (SSS) and dual-head scanning profiler (DHSP) data obtained from PT. Pageo Utama. Side scan sonar data is used as a visual representation of the pipeline while dual-head scanning profiler data is used to obtain the topography of the sea and surrounding pipes to identify the dimensions of the free span.

The result of this study shows 47 free spans from a 6.8 km underwater pipeline along with a map of the results of the inspection. Free span with the longest dimension is FS-43, with length of 42.109 m and height of 0.44 m, which is located at KP 6.465. Free Span with the highest dimension is FS-45, with height of 1.22 m and length of 20.329 m. The inspection map consists of

14 maps on A3 paper with a scale of 1:2000 and has three views consisting of plan view, longitudinal view, and profile view.

Keywords: Pipeline Inspection, Free Span, Side Scan Sonar, Dual-head Scanning Profiler.

LEMBAR PENGESAHAN

INSPEKSI *FREE SPAN* PIPA BAWAH LAUT DENGAN *SIDE SCAN SONAR* DAN *DUAL-HEAD SCANNING PROFILER*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
PURNOMO LAKSONO HARLAMBANG
NRP. 033116 40000 065

Disetujui oleh Pembimbing :

1. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. (.....)
   NIP. 19800507 200312 1 001 (Pembimbing I)

2. Khomsin, ST., MT. (.....)
   NIP. 19750705 200012 1 001 (Pembimbing II)

SURABAYA, JULI 2020

“***Halaman ini sengaja dikosongkan***”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir (TA) yang berjudul "Inspeksi *Free Span* Pipa Bawah Laut dengan *Side Scan Sonar* dan *Dual-head Scanning Profiler*" dengan baik dan tepat waktu.

Kami menyadari bahwa dalam proses pelaksanaan kegiatan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) ini banyak mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak.

Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya karena telah memberikan kekuatan, kelancaran, petunjuk dan segala nikmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dan mampu menyusun laporan ini.
2. Kedua orang tua dan segenap keluarga penulis yang selalu memberikan doa, nasihat, dan dukungan baik moril maupun materiil.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika FTSPK-ITS serta sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Bapak Khomsin, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
5. Bapak Sanny Samudra S.T., selaku pembimbing di PT. Pageo Utama yang telah memberikan bimbingan dan saran kepada penulis.
6. Bapak Yanuar Bimoro S.T, Mas Sofyan, Mas Ranu, Mbak Meidi, dan Mbak Farah yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir di PT. Pageo Utama
7. Teman-teman grup "Little" yaitu Dika, Farah, Iqbal, dan Athaya yang telah memberikan semangat dalam proses pengerjaan tugas akhir.

8. Teman-teman G18 seperjuangan yang saling menyemangati dan mengingatkan mengenai laporan tugas akhir.
9. Serta seluruh pihak yang sudah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam pembuatan dan penulisan laporan tugas akhir (TA) ini, tentu terdapat banyak kekurangan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para dosen pembimbing dan pembaca agar laporan tugas akhir ini layak dijadikan sebagai sebuah karya tulis ilmiah.

Surabaya, 30 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK v
ABSTRACT vii
LEMBAR PENGESAHAN ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 3
1.5 Manfaat 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Survei Hidrografi 5
2.2 Inspeksi *Free Span* Pipa 6
2.3 *Side Scan Sonar* 8
2.4 *Dual-head Scanning Profiler* 12
2.5 *Remotely Operated Vehicle* (ROV) 15
2.6 *Positioning* 16
2.6.1 *Differential* GNSS (DGNSS) 18
2.6.2 *Ultra Short Baseline* 19
2.7 Pasang Surut 21
2.8 Cepat Rambat Gelombang Akustik 26
2.9 Penelitian Terdahulu 28
2.9.1 Penelitian Oleh Nugraha (2014) 28
2.9.2 Penelitian Oleh Pambudhi (2017) 29
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Lokasi Penelitian 31
3.2 Data dan Peralatan 31
3.2.1 Data 31
3.2.2 Peralatan 31
3.3 Metodologi Penelitian 32

3.3.1 Tahapan Penelitian 32
3.3.2 Diagram Alir Pengolahan Data 35
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 41
4.1 Hasil dan Analisa Data Pasang Surut..... 41
4.2 Hasil dan Analisa Data Cepat Rambat Gelombang Akustik 42
4.3 Hasil dan Analisa Data Citra *Side Scan Sonar* 43
4.4 Hasil dan Analisa Data *Dual-head Scanning Profiler* . 49
4.5 Peta Hasil Inspeksi..... 53
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN..... 55
5.1 Kesimpulan..... 55
5.2 Saran..... 55
DAFTAR PUSTAKA 57
LAMPIRAN..... 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pipa Bawah Laut 6
Gambar 2.2 *Free Span* 7
Gambar 2.3 *Tow Fish Side Scan Sonar* 8
Gambar 2.4 *Free Span* Pada Citra SSS 10
Gambar 2.5 Tampilan *Free Span* pada Citra SSS 11
Gambar 2.6 Tampilan Citra SSS saat Pipa diatas *Seabed* 11
Gambar 2.7 Tampilan Citra SSS saat Pipa Terpendam. 12
Gambar 2.8 *Scanning Profiler* 12
Gambar 2.9 DHSP pada ROV 14
Gambar 2.10 ROV milik PT. Pageo Utama 16
Gambar 2.11 Metode Penentuan Posisi dengan GNSS 17
Gambar 2.12 Illustrasi Sistem Kerja DGNSS 18
Gambar 2.13 Prinsip Kerja USBL 20
Gambar 2.14 Tipe Pasang Surut 24
Gambar 2.15 *Terrain Distortion* Cekung 28
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (bukan lokasi sebenarnya) 31
Gambar 3.2 *Flowchart* Penelitian 32
Gambar 3.3 Pengolahan *Side Scan Sonar* 35
Gambar 3.4 Pengolahan *Dual-head Scanning Profiler* 37
Gambar 3.5 Pengolahan Data pada AutoCAD 39
Gambar 4.1 Grafik Pasang Surut 41
Gambar 4.2 Cepat Rambat Gelombang Akustik 43
Gambar 4.3 Tampilan *Raw Data* Dari *Side Scan Sonar* 44
Gambar 4.4 Tampilan Citra (a) Sebelum SRC (b) Setelah SRC 45
Gambar 4.5 Tampilan Citra (a) Sebelum Koreksi TVG
(b) Setelah Koreksi TVG 46
Gambar 4.6 Tampilan Citra (a) Sebelum Koreksi AGC
(b) Sesudah Koreksi AGC 47
Gambar 4.7 Hasil Pengolahan *Side Scan Sonar* 47
Gambar 4.8 Tampilan Citra (a) Terdapat *Free Span* (b) Pipa di
atas *Seabed* (c) Pipa Terpendam *Seabed* sebagian. 48
Gambar 4.9 *Raw Data* Pada Tampilan (a) *Profile View* (b) *Plan*
View 49

Gambar 4.10 *Swath View* Data *Dual-head Scanning Profiler* ... 50
Gambar 4.11 Visualisasi Keadaan *Free Span* 50
Gambar 4.12. Peta Hasil Inspeksi 54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut..... 25
Tabel 2.2 Persamaan Datum Pasut 26
Tabel 4.1 Nilai Amplitudo Konstituen..... 42
Tabel 4.2 Daftar Informasi *Free Span* 51

“*Halaman ini sengaja dikosongkan*”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah satu negara yang memiliki peran penting bagi industri minyak dan gas dunia. Menurut *British Petroleum* tahun 2019, Indonesia menempati posisi 24 Dunia dan posisi 3 di Asia Pasifik sebagai produsen minyak dunia. Mengingat peran penting tersebut, maka perlu suatu inspeksi dan pemeriksaan keselamatan guna menunjang keberlangsungan industri minyak dan gas di Indonesia.

Menurut peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018 BAB III Pasal 6, untuk setiap instalasi dan peralatan yang digunakan dalam industri minyak dan gas harus dilakukan inspeksi dan pemeriksaan keselamatan, termasuk didalamnya adalah inspeksi pipa. Pipa dalam industri minyak dan gas sendiri berfungsi sebagai media transportasi dari minyak dan gas.

Terdapat beberapa inspeksi yang dilakukan untuk menjaga ketahanan pipa sebagai media transportasi fluida industri minyak dan gas, salah satunya adalah inspeksi *free span* pipa. *Free span* merupakan sebuah kondisi dimana pipa tidak memiliki tumpuan sehingga kondisi pipa tersebut menggantung bebas (Khanifudin 2015). Kondisi pipa yang menggantung bebas tersebut banyak terjadi pada pipa yang berada di bawah laut. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor. Menurut *Det Norske Veritas* (DNV) *Recommended Practice* F-105 2008, *free span* pipa bawah laut dapat disebabkan karena kondisi dasar laut yang tidak rata, perubahan topologi pada dasar laut (seperti *scouring), artificial support/rock beams,* dan *strudel scours.*

Inspeksi *free span* pipa bawah laut membutuhkan informasi mengenai kondisi dasar laut yaitu gambaran, lokasi, dan dimensi *free span* yang terjadi pada pipa bawah laut. Survei inspeksi tersebut dapat memanfaatkan berbagai macam

instrumen hidroakustik, seperti *side scan sonar* (SSS) dan *dual-head scanning profiler* (DHSP). Alat ini memanfaatkan gelombang akustik untuk bekejra, namun memiliki prinsip kerja yang berbeda.

Prinsip kerja dari *side scan sonar* yaitu memanfaatkan gelombang akustik sehingga mampu membedakan besar kecil partikel penyusun permukaan dasar laut, seperti batuan, lumpur, pasir, kerikil, atau tipe-tipe dasar perairan lainnya (Gustiawan 2012). Namun, *side scan sonar* sejatinya tidak dapat mengetahui kedalaman dari suatu perairan. Sedangkan *dual-head scanning profiler* memiliki prinsip kerja yang sejenis dengan *multibeam echosounder* (MBES) yaitu memanfaatkan gelombang akustik untuk mendapatkan data kedalaman dan topografi bawah laut berupa *pointcloud* berisi titik-titik kedalaman. Pada penelitian ini akan dilakukan interpretasi *free span* dengan bantuan dua metode, yaitu dengan menggunakan *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler* dan membuat peta hasil inspeksi menggunakan kedua data tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka muncul perumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana jumlah, lokasi, dan dimensi *free span* pipa bawah laut di lokasi penelitian dari hasil survei dan pengolahan data *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*
2. Bagaimana peta hasil inspeksi pipa bawah laut menggunakan data citra *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan yaitu data *side scan sonar*, *dual-head scanning profiler*, pasang surut, dan *sound velocity profiler.*
2. Menggunakan perangkat lunak SonarWiz untuk pengolahan *side scan sonar* dan perangkat lunak Qinsy untuk pengolahan data *dual-head scanning profiler*, pasang surut, serta cepat rambat gelombang akustik.
3. Membahas inspeksi *free span* pada jalur pipa bawah laut di lokasi penelitian.
4. Penelitian ini terbatas hanya pengolahan data inspeksi *free span* pipa bawah laut dengan *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*.
5. Data *dual-head scanning profiler* hanya digunakan untuk mendapatkan data kedalaman pada pipa dan sekitarnya.
6. Data *side scan sonar* hanya digunakan untuk mendapatkan gambaran tampak atas pipa.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jumlah, lokasi, dan dimensi *free span* pipa bawah laut yang terdeteksi dengan data *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*
2. Menghasilkan peta inspeksi *free span* pipa bawah laut dilokasi penelitian.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui informasi gambaran, jumlah, lokasi, dan dimensi *free span* dari pipa bawah laut yang dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam tahap pemeliharaan pipa di lokasi penelitian. Peta dari hasil tugas akhir ini juga diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dan rekomendasi dalam perawatan pipa bawah laut.

“*Halaman ini sengaja dikosongkan*”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Survei Hidrografi

Menurut *International Hydrographic Organization* (IHO), survei hidrografi adalah cabang ilmu terapan yang berkaitan dengan pengukuran dan deskripsi fitur fisik laut, laut, wilayah pesisir, danau dan sungai, serta prediksi evolusi mereka, untuk tujuan utama keselamatan navigasi dan semua tujuan dan kegiatan laut lainnya, termasuk pembangunan ekonomi, keamanan dan pertahanan, penelitian ilmiah, dan perlindungan lingkungan. Survei hidrografi diperlukan dalam berbagai pekerjaan lepas pantai, diantaranya adalah inspeksi *free span* pada pipa bawah laut.

Pada pelaksanaan inspeksi *free span* pipa bawah laut, dilakukan beberapa pengukuran yang perlu dilakukan untuk menunjang kelengkapan satu data dengan yang lainnya. Pengukuran tersebut diantaranya adalah pengukuran pemeruman, pasang surut, penentuan posisi, dan perhitungan cepat rambat gelombang akustik.

Pemeruman adalah proses dan aktivitas yang bertujuan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*) (Triatmodjo 1999). Pemeruman untuk inspeksi *free span* pipa dapat menggunakan alat hidroakustik diantaranya adalah dengan *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*. Sedangkan untuk posisi horizontalnya menggunakan prinsip penentuan posisi dengan GNSS.

Sebagai penunjang data *dual-head scanning profiler*, dibutuhkan beberapa data tambahan seperti perhitungan pasang surut dan perhitungan cepat rambat gelombang akustik di air. Data tersebut dibutuhkan sebagai data pengolahan *raw data dual-head scanning profiler*.

2.2 Inspeksi *Free Span* Pipa

Pipa atau *pipeline* adalah benda berbentuk silinder yang berfungsi untuk mengalirkan suatu fluida (zat cair dan gas) dari suatu tempat ke tempat yang lainnya (Khanifudin 2015). Dalam industri minyak dan gas bumi, pipa biasa digunakan untuk mengalirkan fluida hasil produksi seperti minyak dan gas bumi.

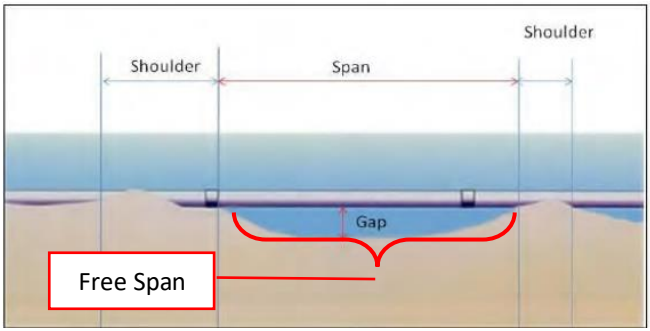
Berdasarkan lokasinya, pipa dibagi menjadi dua lokasi, yaitu *onshore pipeline* dan *offshore pipeline* (Lekkerkerk 2012). *Offshore pipeline* merupakan pipa yang berlokasi di dasar laut sedangkan *onshore pipeline* merupakan pipa yang berlokasi di atas darat. Gambaran mengenai bentuk dari pipa bawah laut dapat dilihat pada Gambar 2.1

Gambar 2.1 Pipa Bawah Laut
(*China National Petroleum Corporation* 2015)

Menurut peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018 BAB III Pasal 6, untuk setiap instalasi dan peralatan yang digunakan dalam industri minyak dan gas harus dilakukan inspeksi dan pemeriksaan keselamatan, termasuk didalamnya adalah inspeksi pipa. Terdapat beberapa inspeksi pipa yang perlu dilakukan, diantaranya yaitu inspeksi *free span* pipa bawah laut.

Free span merupakan sebuah kondisi dimana pipa tidak memiliki tumpuan sehingga kondisi pipa tersebut menggantung bebas (Khanifudin 2015). Dalam inspeksi *free span* pipa, terdapat beberapa regulasi internasional yang mengatur tentang regulasi inspeksi tersebut, salah satunya yaitu DNV. DNV (*Det Norske Veritas*) adalah lembaga sertifikasi internasional yang bertujuan untuk keselamatan properti atau aset di area *offshore* yang berpusat di Norwegia.

Menurut *Det Norske Veritas* (DNV) RP-F 105 2008, *free span* pipa bawah laut dapat disebabkan karena beberapa hal yaitu kondisi dasar laut yang tidak rata, perubahan topologi dasar laut (seperti *scouring), artificial support/rock beams,* dan *strudel scours. Free span* yang dialami oleh pipa dapat memberikan kelebihan tegangan pada pipa tersebut, sehingga dapat mempengaruhi ketahanan pada pipa yang mengakibatkan terjadinya *cracking* pada pipa. Melihat hal tersebut, maka perlu dilakukan identifikasi posisi dan dimensi *free span* pipa bawah laut untuk menentukan langkah pemeliharaan yang diperlukan guna menjaga keselamatan dan keamanaan proses distribusi minyak dan gas. Gambaran mengenai *free span* dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 *Free Span*
(Airlangga 2010)

Inspeksi *free span* pipa bawah laut sendiri dapat menggunakan beberapa metode. Beberapa metode tersebut dapat memanfaatkan alat hidroakustik, salah duanya dengan menggunakan *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*

2.3 ***Side Scan Sonar***

Side scan sonar adalah peralatan hidroakustik yang digunakan untuk menghasilkan gambar dasar laut, yang dapat digunakan untuk penyelidikan geologis dan mencari benda-benda seperti bangkai kapal, tambang, dan jaringan pipa (Lekkerkerk 2012). Gambar 2.3 memperlihatkan bentuk dari *towfish side scan sonar.*

Gambar 2.3 *Tow Fish Side Scan Sonar*
(Edgetech 2020)

Side scan sonar beroperasi menggunakan gelombang akustik seperti halnya echosounder. Ketika gelombang akustik yang dikirimkan oleh *side scan sonar* mencapai dasar laut, respon pantulan dapat berbagai macam. Respon pantulan akan ada yang terserap, terpantulkan, terpendarkan, dan kembali lagi pada arah datangnya sinyal. Sinyal yang kembali dan ditangkap oleh tranducer disebut *backscatter. Backscatter* memiliki fungsi untuk memberikan informasi mengenai sudut datang dari gelombang akustik yang menuju dasar laut, informasi mengenai kekasaran permukaan, menunjukkan

perbedaan permukaan *solid-air*, dan informasi topografi. Kekuatan amplitudo yang kembali pada *tranducer* bergantung dari jenis material yang terkenal sinyal suara tersebut. Material yang keras akan lebih banyak memendarkan suara, sementara material yang lunak akan lebih banyak menyerap suara, sehingga pada citra *side scan sonar* objek yang lebih keras memiliki gambaran yang lebih gelap dibandingkan objek yang lebih lunak (Lekkerkerk 2012).

Untuk mendapatkan hasil yang sebaik mungkin, hampir semua sistem menggunakan sistem *dual frequency*. Frekuensi tinggi seperti 500KHZ sampai 1MHZ akan memberikan resolusi yang sangat baik, tetapi memiliki *swath angle* yang kecil. Penggunaan frekuensi rendah seperti 50KHz atau 100KHz akan memberikan resolusi yang lebih rendah tetapi memiliki *swath angle* yang lebih lebar. Sehingga, penggunaan frekuensi pada *side scan sonar* harus disesuaikan menurut keperluan survei (Lekkerkerk 2012).

Dalam pelaksanaan survei menggunakan *side scan sonar*, sebagian besar instalasi *tow fish side scan sonar* dilakukan dengan metode ditarik pada bagian belakang kapal. *Tow fish* dihubungkan dengan bantuan *armored cable* dan ditarik pada ketinggian diatas dasar laut sebesar 10% dari sudut pancar untuk mendapatkan hasil citra yang baik (Lekkerkerk 2012). Untuk memperoleh posisi dari *tow fish*, dibutuhkan bantuan alat tambahan yaitu USBL. *Transponder* yang terdapat pada USBL akan dipasang pada badan *towfish* dan *transceiver* USBL dipasang pada bagian bawah kapal.

Pada inspeksi *free span* ini, PT. Pageo Utama menggunakan *side scan sonar* EdgeTech 4200. *Side scan sonar* tersebut dioperasikan pada frekuensi 100kHz dan 400kHz dengan tujuan untuk memperoleh citra dengan resolusi tinggi dari pipa bawah laut.

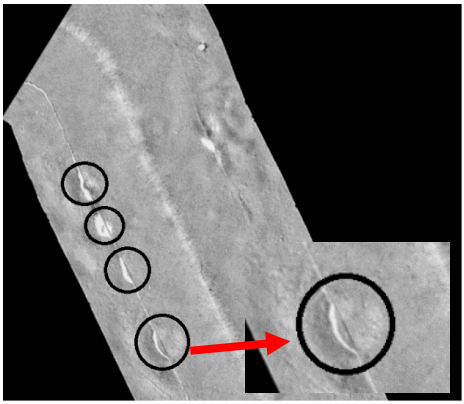
Terdapat beberapa koreksi yang dilakukan pada citra *side scan sonar* sebagai *quality control*, diantaranya adalah

1. *Slant range correctin* (SRC)

   SRC berfungi untuk menghilangkan *water column* yang terdapat pada bagian nadir dan mengkoreksi jarak obyek pada bagian nadir hingga sudut nadir akibat adanya *water column* tersebut (Blondel 2009).
2. *Time varying gain* (TVG) dan *Automatic Gain Control* (AGC)

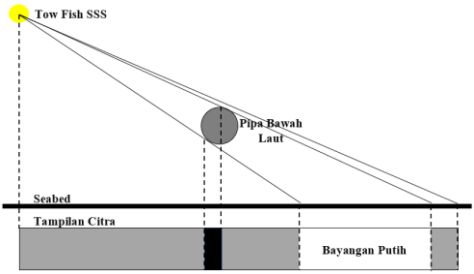
   TVG dan AGC dilakukan secara bersama-sama pada waktu pengolahan *raw data* citra *side scan sonar*. Koreksi TVG berguna untuk mengkompensasi perbedaan *backscatter strength* yang kembali antara nadir dengan bagian tepi citra, sedangkan AGC berguna untuk menyesuaikan *backscatter strength* pada objek batu dan lumpur (Lekkerkerk 2012 & Ixblue 2013).

Interpretasi *free span* dari hasil pengolahan citra *side scan sonar* dilakukan dengan memanfaatkan hasil *backscatter side scan sonar*. Gambar 2.4 menujukkan tanda bulatan hitam yang menunjukkan adanya *free span*. *Free span* tersebut dapat diketahui karena adanya pola bayangan pipa berwarna putih yang terlihat manjauhi garis hitam yaitu pipa bawah laut.

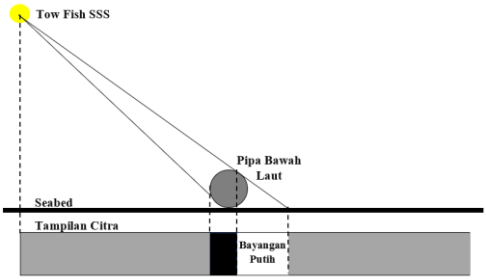


Gambar 2.4 *Free Span* Pada Citra SSS

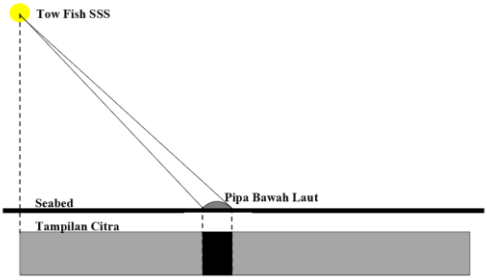
Menurut Lekkerkerk (2012), hal tersebut dapat terjadi dikarenakan terdapat rongga antara pipa dengan *seabed* yang disebut sebagai *free span.* Pada gambar di atas, terlihat terdapat bayangan putih yang menjauhi garis lurus hitam. Hal tersebut dapat terjadi karena pipa tidak menempel pada permukaan *seabed*, sehingga gelombang akustik dari *side scan sonar* tidak dapat menembus bagian keras dari pipa yang mengakibatkan bagian tersebut tidak memiliki informasi *backscatter* yang kemudian ditampilkan dengan warna putih. Secara tampilan, perbandingan tampilan citra *side scan sonar* pada pipa yang mengalami *free span*, pipa yang tidak terpendam, dan pipa yang terpendam pada seabed dapat dilihat pada Gambar 2.5, Gambar 2.6, dan Gambar 2.7 berikut ini



Gambar 2.5 Tampilan *Free Span* pada Citra SSS



Gambar 2.6 Tampilan Citra SSS saat Pipa diatas *Seabed*



Gambar 2.7 Tampilan Citra SSS saat Pipa Terpendam.

2.4 ***Dual-head Scanning Profiler***

Scanning profiler adalah alat survei yang dapat menampilkan profil penampang dasar laut serta dapat memperlihatkan perbedaan struktural dan objek di dasar laut (Lekkerkerk 2012). Alat ini dapat digunakan untuk survei perpipaan dan parit, penentuan posisi *seabed* dan penimbunan batuan, survei tangki penyimpanan dan lain-lain. Gambar *scanning profiler* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Gambar 2.8 *Scanning Profiler*
(Tritech 2020)

Menurut Lekkerkerk (2012), *scanning profiler* terdiri dari beberapa komponen, yaitu *sonar head with transducer* dan *processing unit and display*.

1. *Sonar head with transducer*

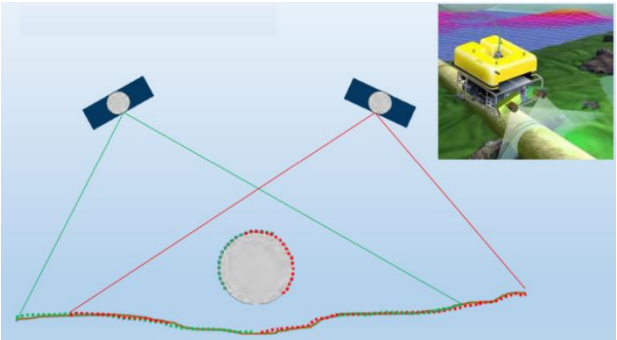
   Sonar head terdiri atas *transducer*, motor, dan elektronik untuk menggerakkan motor tersebut serta memeriksa posisi dari *sonar head*.

2. *Processing unit* dan *display*

   Processing unit berfungsi sebagai pengendali *sonar head* dan memproses data yang kemudian diubah menjadi data kedalaman. Data tersebut kemudian ditampilkan pada *display*.

Sonar head bekerja dengan cara memutar bagian *transducer* yang terdapat pada bagian ujung alat dengan sudut posisi *ping* yang sebelumnya telah ditentukan. *Sonar head* tersebut kemudian mengirimkan sinyal akustik ke dasar laut dan kemudian sebagian sinyal tersebut dipantulkan kembali ke *tranducer* dan waktu tempuhnya direkam bersamaan dengan informasi amplitudo. Setelah itu dilakukan interpretasi pada *processor* dan hasilnya ditampilkan pada *display*.

Penggunaan *scanning profiler* untuk inspeksi *free span* pipa bawah laut dapat dilakukan dengan bantuan wahana *remotely operated vehicle* (ROV) dan digunakan secara horizontal maupun vertikal. Penggunaan horizontal digunakan untuk mendeteksi dan menghindari suatu hambatan, sedangkan penggunaan vertikal digunakan untuk survei perpipaan dan kabel. Alat ini juga dapat digunakan secara tunggal maupun secara berpasangan. Apabila digunakan berpasangan maka alat ini dapat disebut disebut *Dual-Head Scanning Profiler* (DHSP). ROV yang telah terpasang DHSP selanjutnya dilakukan *deploy* ke lokasi pipa bawah laut untuk mendapatkan topografi di sekitaran pipa tersebut seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 DHSP pada ROV
(Wake 2015)

Dual-head scanning profiler memiliki prinsip kerja yang mirip dengan *multibeam echosounder* (MBES) dalam hal pengambilan data, yaitu menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan cara memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan oleh *tranducer*. Perum gema menghitung selang waktu antara gelombang dipancarkan dan diterima kembali (Δt), sehingga penentuan kedalaman menggunakan perhitungan cepat rambat gelombang suara pada medium air sebagai berikut (Poerbandono 2005)

$$d = \frac{1}{2} \mathrm{v}\, \Delta \mathrm{t} \tag{2.1}$$

dimana,
d : Kedalaman (m)
v : Kecepatan gelombang akustik pada medium air (m/s)
Δt: Waktu tempuh sinyal (s)

Pada *scanning profiler* terdapat dua hal yang perlu dikalibrasi yaitu *calibration of range* dan *calibration of bearing*. *Calibration of range* adalah kalibrasi terhadap kecepatan suara yang digunakan untuk mengidentifikasi objek pada jarak tertentu agar mendapat jarak yang sebenarnya. *Calibration of bearing* adalah kalibrasi terhadap

head scanning profiler bagian kanan dan kiri dengan cara mensejajarkan antara kedua *head profiler* tersebut (Lekkerkerk 2012)

2.5 ***Remotely Operated Vehicle* (ROV)**

Survei inspeksi *free span* pipa bawah laut memerlukan ketelitian yang tinggi untuk mendapatkan informasi besar dimensi *free span* pada pipa laut. Untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi tersebut, *dual-head scanning profiler* perlu dipasang pada sebuah wahana yang dapat menyelam ke bawah air. Wahana tersebut diperlukan oleh *dual-head scanning profiler* untuk mendapatkan data pada jarak yang dekat sehingga mendapatkan ketelitian data yang tinggi. Wahana yang dapat digunakan diantaranya yaitu wahana *remotely operated vehicle* (ROV).

Pada dasarnya, *remotely operated vehicles* (ROV) adalah sebuah robot bawah air yang dapat dikendalikan dari atas permukaan air (Lekkerkerk 2012). Sistem ROV sendiri terdiri ROV itu sendiri, unit sistem kontrol, dan kabel *umbicial*. Kabel *Umbicial* berguna sebagai media komunikasi antara unit ROV dengan unit sistem kontrol serta sebagai media untuk menyalurkan daya listrik menuju ke ROV. Kabel *umbilical* tersebut dapat digunakan langsung dari atas kapal atau dapat juga melalui bantuan *tehter management system* (TMS). TMS tersebut berfungsi untuk meneruskan sinyal kontrol menuju ke ROV dan status data sensorik ke unit sistem kontrol. ROV berserta TMS milik PT. Pageo Utama dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini.

Gambar 2.10 ROV milik PT. Pageo Utama

Menurut Capocci (2017), ROV dibagi menjadi dua kelas yaitu *intervention-class ROV* dan *inspection-class ROV*. *Inspection-class ROV* adalah sebuah ROV yang dapat digunakan untuk keperluan inspeksi bawah laut. Untuk keperluan inspeksi inspkesi pipa bawah laut, alat hidroakustik seperti *dual-head scanning profiler* dapat dipasang pada ROV agar dapat memperoleh data *pointcloud* permukaan *seabed* di bawah air.

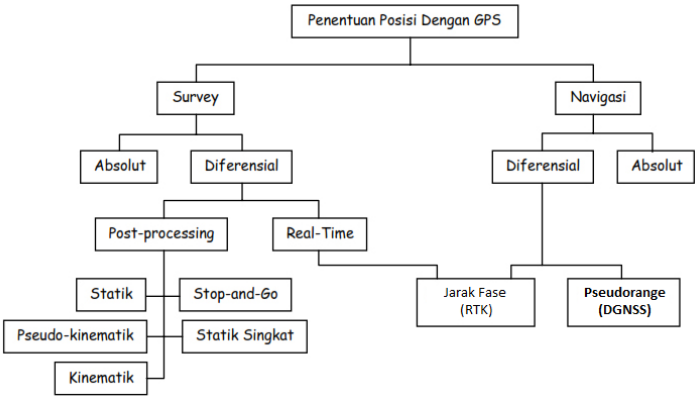
Untuk mendapatkan posisi dibawah laut, ROV dapat menggunakan bantuan alat USBL. *Transponder* yang terdapat pada USBL akan dipasang pada badan *ROV* dan *transceiver* USBL dipasang pada bagian bawah kapal

2.6 ***Positioning***

Pada pekerjaan survei inspeksi *free span* pipa bawah laut, dibutuhkan sebuah metode untuk menentukan posisi horizontal dan vertikal sebagai navigasi kapal dan informasi koordinat 3 dimensi (xyz) dari pipa bawah laut yang disurvei. Untuk mendapatkan posisi horizontal dan vertikal tersebut, salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan GNSS. GNSS (*Global Navigation Satellite System*) adalah sistem

satelit yang dapat membantu memberikan informasi mengenai posisi tiga dimensi serta ditambah dengan informasi waktu (Abidin 2007). Tidak hanya itu, GNSS juga dapat digunakan untuk memperoleh keadaan meteorologi (*troposfer* dan *ionosfer*), deformasi, dan hal-hal turunan lainnya.

Terdapat beberapa metode dalam penentuan posisi dengan menggunakan GNSS, yaitu metode absolut dan diferensial (Abidin 2007). Kedua metode tersebut dapat digunakan untuk pengukuran maupun navigasi, sesuai dengan ketelitian yang dibutuhkan. Selain itu juga terdapat beberapa metode pemrosesan data yang dapat digunakan sesuai kebutuhan. Pada survei untuk keperluan inspeksi *free span* pipa bawah laut ini, perusahaan survey menggunakan metode DGNSS sebagai navigasi kapal. Gambar 2.11 menjelaskan diagram penentuan posisi dengan GNSS.



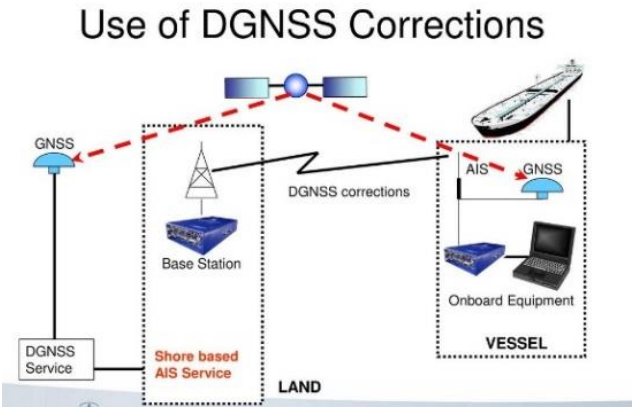
Gambar 2.11 Metode Penentuan Posisi dengan GNSS (Abidin 2007)

Untuk keperluan penentuan posisi horizontal dan vertikal ROV (*remotely operated vehicle*) serta *side scan sonar* pada bawah laut, diperlukan sistem khusus yang dapat menjangkau penentuan posisi tersebut. Salah satu sistem khusus yang dapat digunakan adalah *Ultra Short Baseline* (USBL).

DGNSS dan USBL berkerja secara simultan untuk mendapatkan koordinat horizontal dan vertikal dari *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler* sehingga dapat mengidentifikasi lokasi dan karateristik *free span* yang terjadi pada pipa bawah laut yang dilakukan survei.

2.6.1 *Differential* GNSS (DGNSS)

Sistem DGNSS menggunakan 2 kompenen utama yaitu *base* dan *rover* (Braute 2007). Antena *base* diletakkan pada titik yang sudah diketahui koordinatnya, lalu *receiver* pada *base* bertugas untuk menghitung koordinat posisi dengan sinyal satelit yang diterima. Kemudian posisi dari hasil hitungan tersebut dibandingkan dengan data koordinat yang telah diketahui sehingga menghasilkan selisih posisi. Selisih tersebut dikarenakan adanya *error* dan ketidakakuratan dalam pengukuran yang dilakukan. Hasil dari selisih jarak tersebut kemudian dikirimkan ke *rover* untuk digunakan sebagai koreksi agar posisi yang dihasilkan semakin akurat. Illustrasi cara kerja mengenai DGNSS tersebut terdapat pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Illustrasi Sistem Kerja DGNSS (Braute 2007)

Hasil dari perhitungan posisi dengan metode DGNSS ini dapat diketahui secara *real-time* maupun *post-processing*. Ketelitian dari posisi dengan metode ini bergantung pada jarak *base* dengan *rover* serta frekuensi telemetri yang dipilih dari transmisi koreksi.

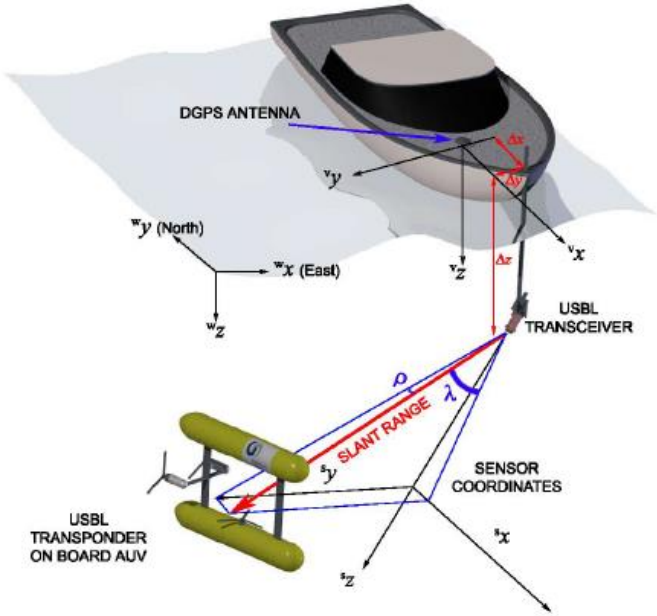
2.6.2 *Ultra Short Baseline* (USBL)

Ultra Short Baseline (USBL) merupakan sistem penentuan posisi bawah air yang menggunakan *transducer* yang dipasang pada kapal untuk mendeteksi waktu dan sudut pada suatu target dengan menggunakan gelombang akustik (Lekkerkerk 2012). Pada USBL terdapat 2 komponen penting, yaitu *transceiver* dan *transponder*.

Transceiver berfungsi untuk menghitung jarak dan sudut terhadap target di bawah air menggunakan gelombang akustik. *Transceiver* terletak pada bagian bawah kapal dan harus terhubung pada prosesor navigasi sebagai acuan koordinat dari sistem USBL. Sistem USBL juga harus mencakup dua sensor yaitu *attitude* dan *heading* yang kemudian dihasilkan informasi *pitch*, *roll*, dan *heading* dari kapal. Hal tersebut digunakan sistem pada USBL untuk mengkompensasi gerakan kapal, serta untuk menghitung perbedaan posisi antara sistem USBL dengan titik referensi pada kapal. Sistem ini juga harus terhubung dengan DGNSS untuk keperluan kalibrasi.

Transponder berfungsi sebagai pendeteksi sinyal yang dipancarkan oleh *transceiver* sehingga antara kedua komponen tersebut dapat dihasilkan data jarak, dan sebagai responnya *transponder* juga akan mengirimkan sinyal akustik kembali ke *transceiver*. Dari hasil tersebut dapat diketahui hasil rata-rata posisi dari dua data sehingga dapat menghasilkan posisi yang lebih presisi. Bagian *transponder* diletakkan pada bagian *tow fish side scan sonar* maupun pada *remotely operated vehicle.*

Pada *transceiver* terdapat beberapa *transducer* yang berfungsi menerima sinyal. Data sudut dapat ditentukan dengan mengetahui perbedaan fase antara penerimaan sinyal pada beberapa *transduser* yang ada di *transceiver*. Perbedaan waktu dan fase digunakan untuk menghitung sudut datang. USBL juga membutuhkan data cepat rambat gelombang akustik dari SVP untuk mengkoreksi cepat rambat pada perairan tersebut. Dengan begitu, posisi *transponder* dapat diketahui. Illustrasi cara kerja dari USBL terdapat pada Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Prinsip Kerja USBL
(Rigby P 2006)

Sistem USBL banyak diaplikasikan pada untuk penentuan posisi bawah laut dikarenakan memiliki banyak keunggulan, diantaranya adalah fleksibilitas

penggunaan dan tidak membutuhkan banyak operator. Keunggulan lainya adalah sistem ini dapat digunakan untuk mendeteksi poisisi bawah laut hingga kedalaman lebih dari 3000 meter dikarenakan menggunakan sinyal frekuensi medium (19 – 26 KHz) yang dapat berpenetrasi pada perairan dalam. USBL digunakan untuk berbagai macam pekerjaan seperti ROV *tracking*, *pipeline tracking*, *positioning of seabed structures during the installation*, *Tow Fish tracking*, dan *diver tracking* (Lekkerkerk 2012).

Untuk mendapatkan posisi xyz dari sebuah objek di bawah laut, USBL membutuhkan bantuan penentuan koordinat dari DGNSS yang terpasang di kapal survei. Posisi *tranducer* USBL dihitung dengan cara mengetahui nilai *offset* antara antena GNSS dengan *transducer* USBL. Setelah mengetahui posisi xyz dari *tranducer* USBL, selanjutnya *tranducer* USBL menghitung selisih waktu cepat rambat gelombang akustik dan sudut antara *tranducer* dan *transceiver* USBL untuk mengetahui posisi dari *transceiver* yang telah terpasang pada ROV. Selanjutnya, ROV yang telah terpasang *dual-head scanning profiler* menghitung posisi dari sebuah objek di bawah laut dengan cara menghitung sudut dan waktu cepat rambat gelombang akustik seperti pada Rumus 2.1.

2.7 Pasang Surut

Dalam kegiatan survei inspeksi *free span* pipa bawah laut, pasang surut perlu dilakukan bersamaan dengan pengambilan data bathimetri. Data pasang surut digunakan sebagai data input pada data *dual-head scanning profiler* yang digunakan sebagai *vertical reference*. *Vertical reference* tersebut penting untuk mendapatkan kedalaman pipa pada suatu datum vertikal tertentu seperti *mean sea level* (MSL) atau *lowest low sea level* (LLWL).

Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala

akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Proses pasang surut ini dapat terlihat jelas pada daerah pantai. Dikarenakan adanya proses pasang surut air laut ini, setiap pengukuran kedalaman yang dilakukan di laut harus dilakukan koreksi kedalaman dengan menggunakan data pasang surut pada waktu yang sama dengan proses pengambilan data kedalaman.

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air rendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 25 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut (Triatmodjo 1999).

Menurut Triatmodjo (1999), terdapat beberapa tipe pasang surut yang ada yaitu:

1. Pasang Surut Harian Ganda (*semi diurnal tide*)

   Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hamper sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur.
2. Pasang Surut Harian Tunggal (*diurnal tide*)

   Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.
3. Pasang Surut Campuran Condong Ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal)*

   Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
4. Pasang Surut Campuran Condong Ke Harian Tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

   Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Untuk mengetahui jenis pasang surut dari suatu perairan, maka terlebih dahulu mengetahui besarnya bilangan Formzahl (Adibrata 2007) dengan cara menghitung amplitudo dari konstanta K_1, O_1, M_2, dan S_2 yaitu:

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \tag{2.2}$$

dimana,

F : Bilangan Formzahl

K_1 : komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari (m)

O_1 : komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya bulan (m)

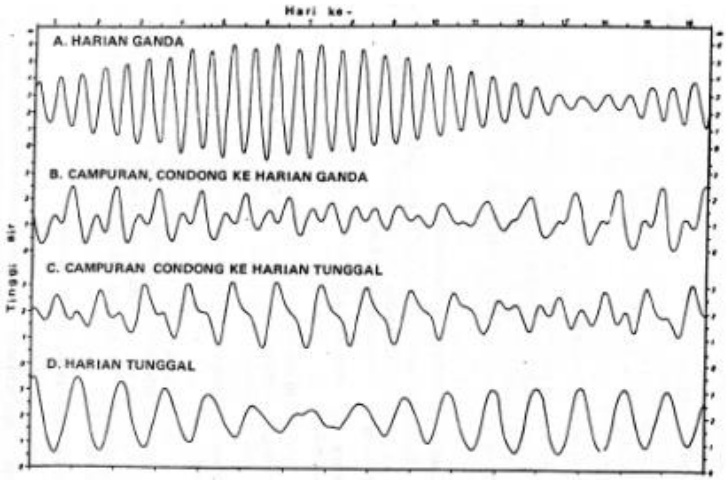
M_2 : komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan (m)

S_2 : komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari (m)

Setelah mengetahui nilai Formzahl (F) dari suatu perairan, dapat diketahui dengan rumus Formzahl yaitu:

- Harian ganda jika $0 < F \leq 0{,}25$
- Campuran cenderung harian ganda jika $0{,}25 < F \leq 1{,}5$
- Campuran cenderung harian tunggal jika $1{,}5 < F \leq 3$
- Harian tunggal beraturan jika $F > 3$

Pada Gambar 2.14 menjelaskan mengenai grafik dari masing-masing tipe pasang surut yang telah diketahui tipe pasang surutnya.



Gambar 2.14 Tipe Pasang Surut
(Triatmodjo 1999)

Untuk mendapatkan amplitudo konstanta pasang surut tersebut, perlu dilakukan perhitungan komponen pasut. Komponen pasut adalah deskripsi kekuatan pendorong pasut yang dihasilkan. Gaya pasang surut yang dihasilkan adalah hasil dari tarikan gravitasi antara Bumi, bulan dan matahari. Komponen pasang surut dapat dianalisis dengan metode harmonik, dengan dasar bahwa pasang surut yang terjadi adalah jumlah berbagai komponen pasang surut. Komponen pasang surut tersebut kemudian dapat digunakan untuk menghitung amplitudo konstanta pasut dengan menggunakan metode *least square* yang dapat digunakan sebagai datum pasang surut. Pada Tabel 2.1 merupakan komponen-komponen dalam pasang surut yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung amplitudo konstanta pasut yang dapat digunakan untuk menentukan tipe pasang surut dan datum pasang surut.

Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut
(Triatmodjo 1999)

Kelompok	**Nama Komponen**	**Periode (Jam)**	**Penyebab**
Semi-diurnal	M_2	12,42	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	S_2	12	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N_2	12,66	Perubahan jarak bulan ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
Diurnal	K_1	23,93	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	O_1	25,82	Deklinasi bulan

Datum pasang surut adalah sebuah referensi ketinggian yang ditentukan berdasarkan pada sebuah perhitungan dari amplitudo konstituen pasang surut. Referensi ketinggian ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti referensi ketinggian pada peta, serta sebagai pedoman dalam pembuatan atau perencanaan pembangunan pesisir. Referensi ketinggian tersebut diantaranya adalah *high water level* (HWL), *mean sea level* (MSL), dan *low water level* (LWL). Nilai tersebut dapat dihitung dengan perhitungan amplitudo konstituen dari data pengamatan pasang surut di lokasi penelitian. Perhitungan tersebut dapat menggunakan beberapa perhitungan salah satunya yaitu menggunakan metode *least square.* Perhitungan menggunakan metode *least square* tersebut menghasilkan nilai amplitudo dari konstituen pasang surut di lokasi penelitian.

Menurut Islam (2019), nilai dari *high water level* (HWL), *mean sea level* (MSL), dan *low water level* (LWL) dapat dihitung dengan menggunakan nilai amplitudo konstituen pasang surut air laut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

Tabel 2.2 Persamaan Datum Pasut
(Islam 2019)

Simbol	**Persamaan**
High Water Level (HWL)	A_{S0} + (A_{M2}+A_{S2}+A_{K1}+A_{O1})
Mean Sea Level (MSL)	A_{S0}
Low Water Level (LWL)	A_{S0} - (A_{M2}+A_{S2}+A_{K1}+A_{O1})

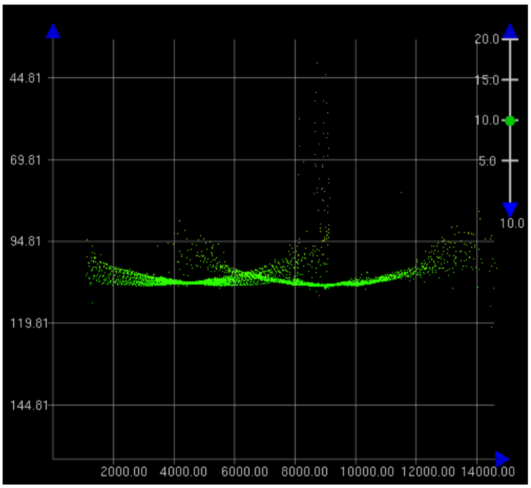
2.8 Cepat Rambat Gelombang Akustik

Dalam kegiatan survei dan pemetaan Hidro-Oseanografi, kecepatan rambat suara termasuk bagian dari aspek hidrografi maupun oseanografi. Terutama pada saat survei batimetri, kecepatan rambat suara sangatlah berpengaruh terhadap koreksi dari hasil pemeruman, selain pasang surut. Kecepatan rambat suara dapat diukur dengan alat sensor yang disebut *sound velocity profiler* (SVP).

Menurut Lekkerkerk (2012) data dari *sound velocity profiler* (SVP) digunakan untuk mengoreksi pembiasan gelombang akustik yang disebabkan karena melewati lapisan yang berbeda di *water column*, maka harus mengetahui kecepatan suara di *water column* tersebut. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kecepatan gelombang akustik di air adalah suhu, salinitas, dan kedalaman air pada wilayah tersebut. Setiap daerah perairan memiliki suhu, salinitas, dan kedalaman yang berbeda-beda, sehingga menjadikan nilai kecepatan gelombang akustik tidak selalu sama pada setiap daerah survei. Data cepat rambat gelombang akustik

dibutuhkan untuk mengkoreksi cepat rambat gelombang akustik pada *dual-head scanning profiler* (DHSP) maupun pada *ultra short baseline* (USBL)

Menurut Jin (2015), perubahan suhu, salinitas, dan tekanan pada setiap *water column* di perairan dapat menyebabkan pembelokan arah gelombang akustik. Jika gelombang akustik tersebut dihitung dengan cepat rampat gelombang yang salah, data bathimetri yang diterima oleh *transducer* tidak dapat menampilkan data yang sebenarnya di lapangan. Dalam beberapa kasus yang ekstrem, kesalahan pada data cepat rambat gelombang akustik dapat mengakibatkan *terrain distortion*. Ketika kecepatan suara di permukaan air lebih rendah dari kecepatan suara di kedalaman yang lebih dalam, distorsi medan menjadi cekung, dan juga sebaliknya. Gambar 2.15 memperlihatkan data *multibeam* echosounder yang tidak dikoreksi oleh data cepat rambat gelombang akustik yang mengalami *terrain distortion.* Titik berwarna hijau menggambarkan kedalaman topografi laut, sumbu horizontal menggambarkan kedalaman laut dalam satuan meter, serta sumbu vertikal menggambarkan lebar *swath* multibeam dalam satuan meter. Terlihat bahwa data topografi bawah laut yang didapatkan oleh *multibeam echosounder* berbentuk cekung. Hal tersebut diakibatkan oleh perbedaan cepat rambat gelombang akustik pada setiap kedalaman air sehingga data kedalaman topografi yang didapatkan oleh *multibeam echosounder* mengalami *terrain distortion* yang berbentuk cekung.



Gambar 2.15 *Terrain Distortion* Cekung
(Jin 2015)

2.9 Penelitian Terdahulu

Adapun terdapat beberapa penelitian terdahulu yang sejenis mengenai inspeksi pipa bawah laut. Terdapat perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian ini yaitu:

2.9.1 Penelitian Nugraha (2014)

Nugraha (2014) melakukan tugas akhir yang berjudul "Studi Aplikasi *Multibeam Echosounder* Dan *Side Scan Sonar* Untuk Mendeteksi Adanya *Free Span* Pada Saluran Pipa Bawah Laut". Pada penelitian tersebut ditemukan sejumlah 119 indikasi *free span* dengan menggunakan data citra *side scan sonar* dan koordinat pipa menggunakan data dari *multibeam echosounder*.

Perbedaan penelitian yang telah dilakukan oleh Nugraha (2014) dengan penelitian ini yaitu pada metode pengambilan data kedalaman serta interpretasi dimensi *free span* pipa bawah laut. Pada penelitian ini, data posisi pipa didapatkan dengan menggunakan data *dual-head*

scanning profiler, sedangkan pada penelitian yang dilakukan Nugraha (2014) menggunakan data *multibeam echosounder*. Selain itu pada penelitian ini, interpretasi dimensi *free span* pipa bawah laut dilakukan menggunakan data dari *dual-head scanning profiler*, sedangkan pada penelitian Nugraha (2014) menggunakan data *side scan sonar* dan data *sub-bottom profiler.*

2.9.2 Penelitian Oleh Pambudi (2017)

Pambudi (2017) melakukan tugas akhir yang berjudul "Pengolahan Data *Multibeam Echosounder* Untuk Mendeteksi Pipa Bawah Laut Menggunakan Perangkat Lunak *Eiva Navisuite*". Dalam penelitian tersebut didapatkan informasi *free span* sepanjang 91 m dan ketinggian maksimum sebesar 1,95 m dengan hanya menggunakan data *multibeam echosounder*.

Perbedaan penelitian yang dilakukan Pambudi (2017) dengan penelitian ini yaitu penelitian ini menggunakan dua metode untuk mendeteksi dan menginterpretasi pipa berserta *free span*-nya yaitu dengan menggunakan data *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*, sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Pambudi (2017) hanya menggunakan data *multibeam echosounder.*

“*Halaman ini sengaja dikosongkan*”

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dalam Tugas Akhir ini dilakukan di Laut Jawa seperti yang terdapat pada Gambar 3.1.

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (bukan lokasi sebenarnya)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan untuk penelitan ini yaitu:

a. Data pasang surut
b. Data *sound velocity profiler* milik PT. Pageo Utama
c. *Raw data dual-head scanning profiler* milik PT. Pageo Utama
d. *Raw data side scan sonar* milik PT. Pageo Utama

3.2.2 Peralatan

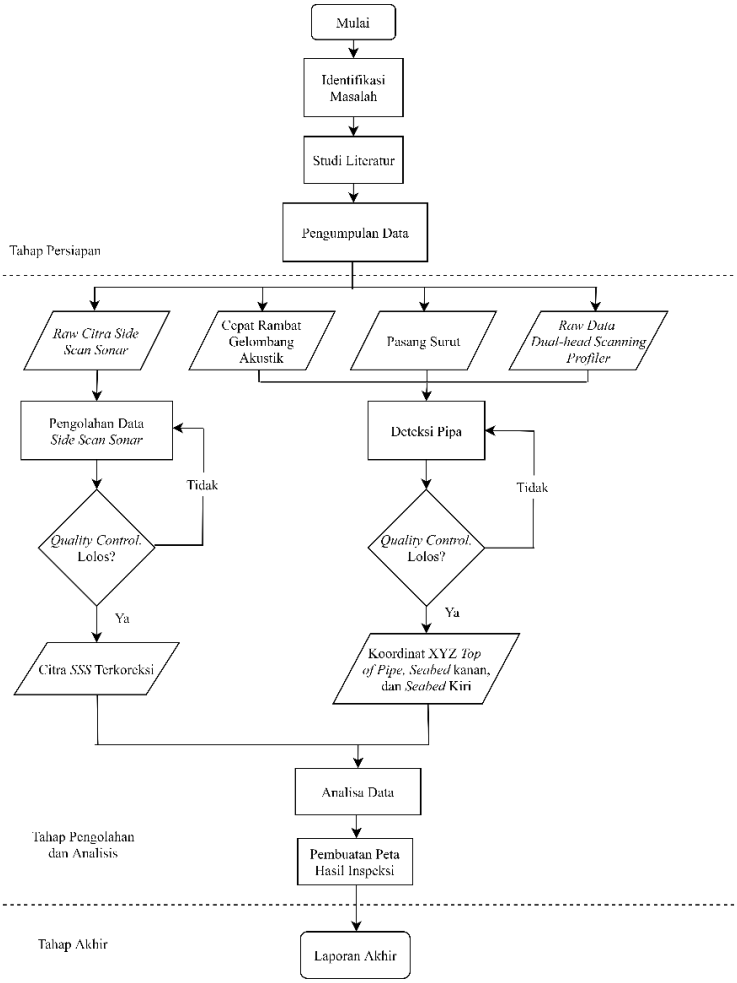
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Perangkat Lunak (*Software*)
  i. Qinsy 8.0 milik PT. Pageo Utama
  ii. SonarWiz 5.0 milik PT. Pageo Utama
  iii. GlobalMapper
  iv. AutoCAD Civil 3D
- Perangkat Keras (*Hardware)*
  i. Dongle QPS milik PT. Pageo Utama
  ii. Dongle SonarWiz milik PT. Pageo Utama

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan selama melakukan penelitian:



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

1. Tahap Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi awal mengenai kasus yang akan diteliti, baik berupa perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari inspeksi *free span* pada pipa bawah laut.

b. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukannya pencarian mengenai studi literatur sebagai penunjang dalam membantu menyelesaikan penelitian, mendapatkan referensi dan memahami *free span*.

c. Pengumpulan Data

Penulis mengumpulkan data-data yang dibutuhkan sebagai bahan pengolahan mengenai studi kasus yang diangkat. Data-data tersebut telah dilakukan pengambilan data lapangan oleh PT. Pageo Utama.

2. Tahap Pengolahan dan Analisis

Adapun beberapa proses yang dilakukan dalam tahap pengolahan data ini, diantaranya sebagai berikut:

a. Pengolahan *raw data side scan sonar*

Pengolahan *raw data side scan sonar* dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SonarWiz 5.0 milik PT. Pageo Utama. Tahapan ini berguna untuk mengolah *raw data* dari data *side scan sonar* sehingga hasil citra tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya *free span* dan mendapat tampak atas pipa dan sekitarnya.

b. Deteksi pipa

Raw data dual-head scanning profiler dilengkapi dengan data cepat rampat gelombang akustik dan data pasang surut diolah menggunakan perangkat lunak Qinsy 8.0 milik PT. Pageo Utama. Data-data tersebut kemudian digunakan untuk mendefinisikan posisi *top*

of pipe, right seabed, dan *left seabed* sehingga dapat diketahui topografi didaerah pipa tersebut.

c. Analisis Data

Setelah mendapatkan data posisi *top of pipe, right seabed,* dan *left seabed* dari data *dual-head scanning profiler* serta data citra dari *side scan sonar,* kemudian dilakukan analisis dan interpretasi gambaran,lokasi, dan dimensi dari pipa beserta *free span*-nya.

d. Pembuatan Peta Hasil Inspeksi

Pada tahap ini, data dari *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler* diolah dan dilakukan *plotting* pada perangkat lunak AutoCAD Civil 3D 2016 untuk menghasilkan peta hasil inspeksi pipa bawah laut.

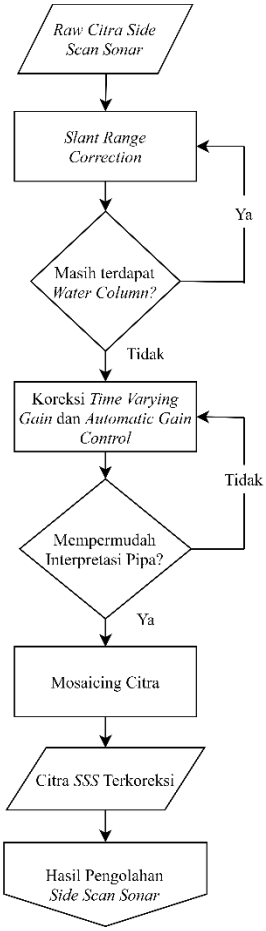
3. Tahap Penyusunan Laporan

Langkah akhir pada tugas akhir ini yaitu pembuatan laporan dan hasil akhir dari inspeksi *free span* pipa bawah laut yang diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk *maintenance* pipa bawah laut.

3.3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

a. Pengolahan raw data *side scan sonar*

Pengolahan *raw data side scan sonar* dilakukan menggunakan perangkat lunak *SonarWIZ* 5.0. Tahapan pengolahan tersebut dijelaskan dengan diagram yang terdapat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Pengolahan *Side Scan Sonar*

Penjelasan mengenai diagram pengolahan data *side scan sonar* adalah sebagai berikut:

i. *Slant Range Correction*

Slant range correction dilakukan untuk menghilangkan *water column* yang terdapat pada bagian nadir citra *side scan sonar* dan mengkoreksi jarak obyek yang terdapat di rekaman *side scan sonar* dari nadir ke daerah tepi citra.

ii. Koreksi *Time varying Gain* Dan *Automatic Gain Control*

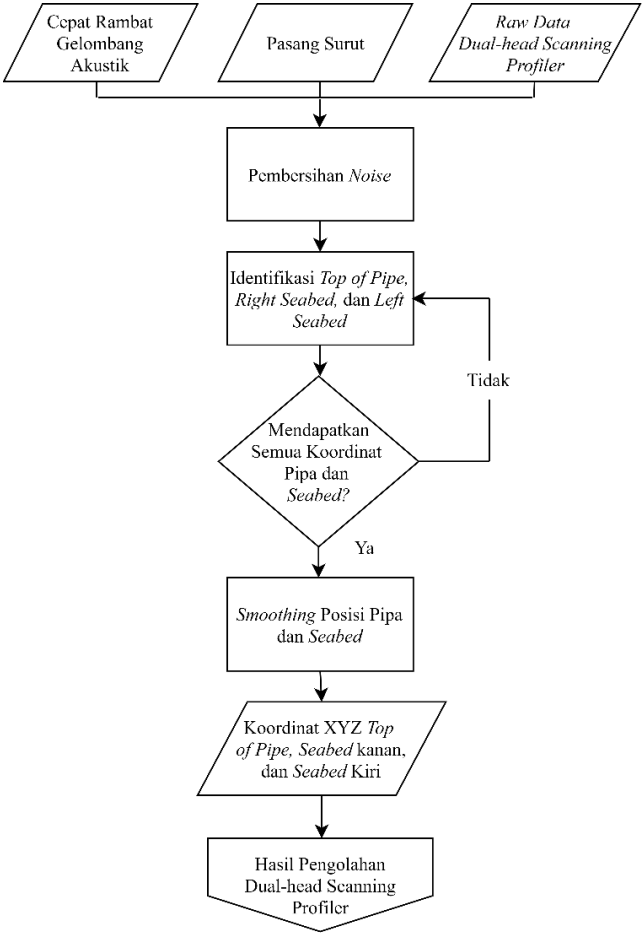
Koreksi *time varying gain* berguna untuk mengkompensasi perbedaan *sound level* yang kembali antara nadir dengan bagian tepi citra, sedangkan *automatic gain control* berguna untuk menyesuaikan *sound level* pada objek batu dan lumpur. Tahap ini bersifat kualitatif sehingga nilai yang digunakan berbeda-beda pada setiap peneliti.

iii. *Mosaicing* Citra

Mosaicing berguna untuk menggabungkan beberapa citra *side scan sonar* menjadi satu agar mendapat gambaran dasar laut yang lebih baik.

b. Pengolahan raw data *dual-head scanning profiler*

Pengolahan *raw data dual-head scanning profiler* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Qinsy 8.0*. Tahapan pengolahan tersebut dijelaskan dengan diagram yang terdapat pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 Pengolahan *Dual-head Scanning Profiler*

Tahap pengolahan *raw data dual-head scanning profiler* dijelaskan dengan diagram yang terdapat pada gambar berikut:

i. Pembersihan *Noise*

Pembersihan *noise* berguna untuk menghilangkan *noise* yang terdapat pada data hasil akuisisi *dual-head scanning profiler*

ii. Identifikasi *Top of Pipe, Right Seabed,* dan *Left Seabed*

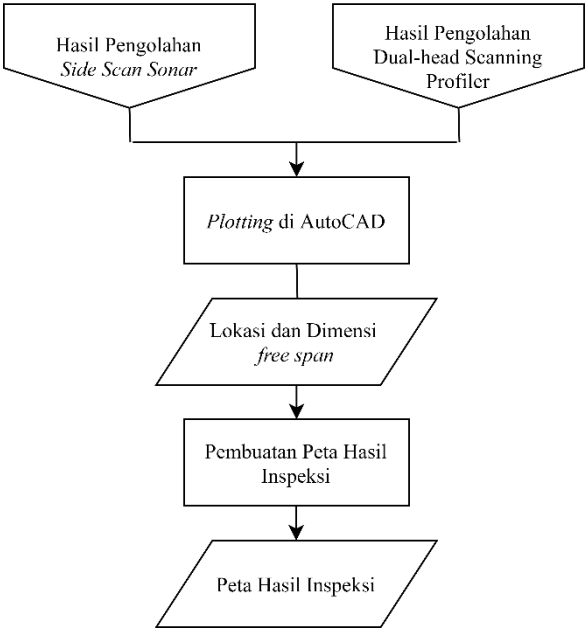
Identifikasi ini bertujuan untuk mendapatkan lokasi dan dimensi dari *free span* pipa bawah laut yang selanjutnya digunakan sebagai data *plotting* AutoCAD

iii. *Smoothing* Posisi Pipa dan *Seabed*

Proses ini bertujuan untuk menghaluskan posisi dari atas pipa dan seabed yang tampak berkelok-kelok untuk mendapatkan posisi yang lebih realistis. Hal tersebut diakibatkan oleh kesalahan posisi dari USBL serta kesalahan interpretasi posisi fiks dari *Top of Pipe, Right Seabed,* dan *Left Seabed.*

c. Interpretasi lokasi dan dimensi *free span* serta pembuatan peta hasil inspeksi

Pada pengolahan ini, Interpretasi lokasi dan dimensi free span serta pembuatan peta hasil inspeksi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak AutoCAD Civil 3D 2016. Tahapan pengolahan tersebut dijelaskan dengan diagram yang terdapat pada Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5 Pengolahan Data pada AutoCAD

i. *Plotting* di AutoCAD

Hasil Pengolahan citra *side scan sonar* dan data *dual-head scanning profiler* kemudian dilakukan *plotting* dengan bantuan perangkat lunak AutoCAD Civil 3D 2016. *Plotting* tersebut berguna untuk

mengetahui lokasi dan dimensi *free span* dari pipa yang dilakukan inspeksi.

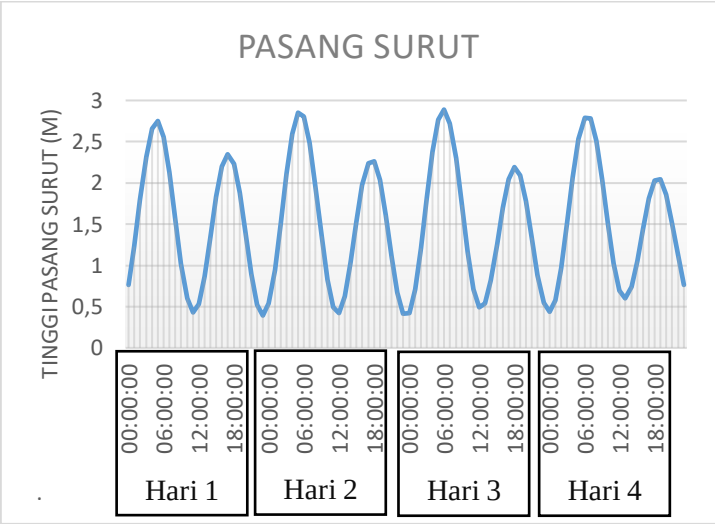
ii. Pembuatan Peta Hasil Inspeksi

Hasil citra *side scan sonar* dan data *dual-head scanning profiler* kemudian diolah sehingga menghasilkan peta hasil inspeksi. Peta tersebut bertujuan untuk mempermudah *client* dalam melihat lokasi dan dimensi *free span* yang terdapat pada pipa.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Data Pasang Surut

Pengamatan data pasang surut dilakukan di lokasi penelitian selama 96 jam dengan interval waktu pengambilan data yaitu 1 jam. Pengambilan data tersebut disesuaikan dengan lama waktu pengambilan data yang dilakukan selama 4 hari. Dari hasil pengamatan tersebut didapatkan grafik pasang surut pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Pasang Surut

Dari data pasang surut selama 96 jam tersebut kemudian dilakukan perhitungan konstituen pasang surut dengan metode *least square*. Hasil dari hitungan tersebut didapatkan amplitudo konstituen yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Amplitudo Konstituen

No	Konstituen	Amplitudo Konstituen (m)
1	S_0	1,499
2	K_1	0,194
3	O_1	0,167
4	M_2	0,516
5	S_2	0,445
6	N_2	0,139

Dengan nilai amplitudo konstituen tersebut, didapatkan nilai *high water level* (HWL), *mean sea level* (MSL), dan *low water level* (LWL) sebagai berikut:

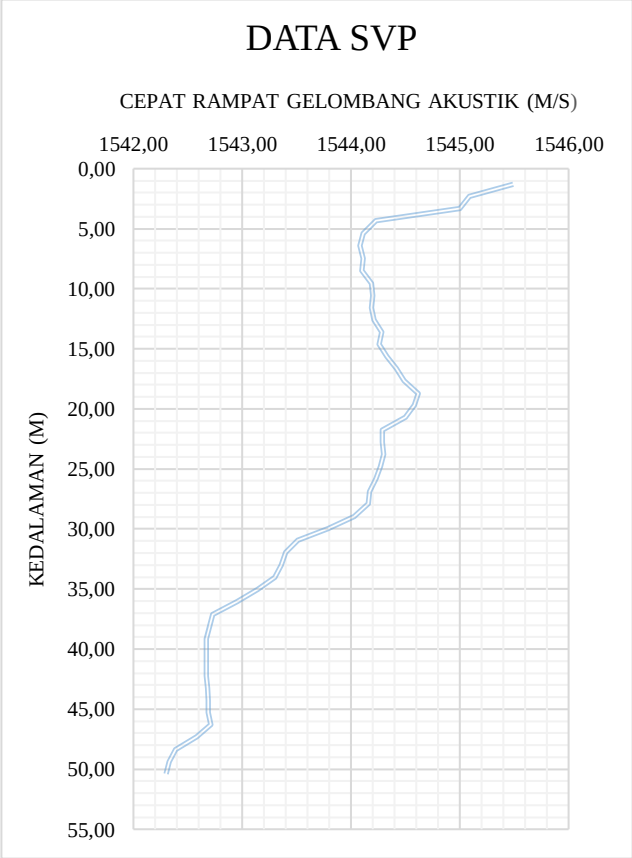
- *High Water Level:* 2,822 m
- *Mean Sea Level:* 1,499 m
- Low Water Level: 0,177 m

Nilai perhitungan amplitudo konstituen pasang surut tersebut juga dapat digunakan untuk mengetahui tipe pasang surut di perairan tersebut. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus bilangin *Formzahl* yang terdapat pada Persamaan 2.1. Perhitungan tersebut menghasilkan nilai 0,375 yang menunjukkan bahwa pada daerah tersebut memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda.

4.2 Hasil dan Analisis Data Cepat Rambat Gelombang Akustik

Pengambilan data cepat rambat gelombang akustik dilakukan di lokasi penelitian menggunakan alat *Valeport mini SVP* Milik PT. Pageo Utama. Pengambilan data tersebut dilakukan dua kali yaitu pengambilan data dari atas ke bawah dan sebaliknya. Dari kedua data tersebut kemudian dilakukan perhitungan rata-rata cepat rambat gelombang akustik terhadap kedalamannya. Didapatkan nilai rata-rata cepat rambat gelombang akustik sebesar 1543,68 m/s serta nilai

minimum sebesar 1542,3 m/s pada kedalaman 50,39 meter dan nilai maksimum sebesar 1545,49 pada kedalaman 1,3 meter. Gambar 4.2 memperlihatkan cepat rambat gelombang akustik pada setiap kedalamannya.

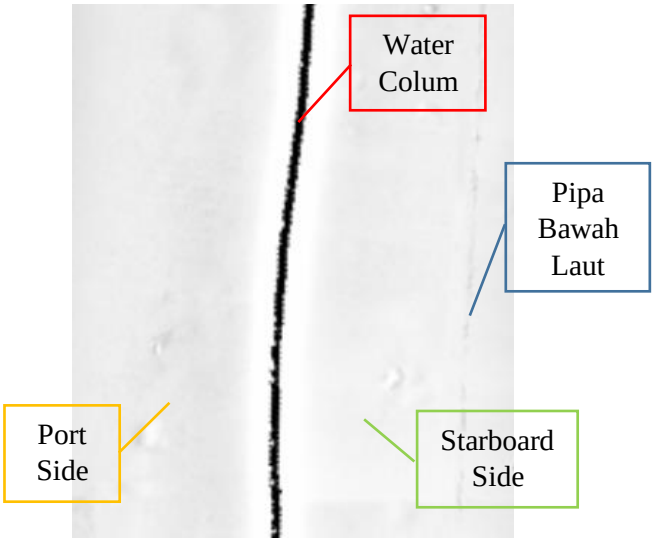


Gambar 4.2 Cepat Rambat Gelombang Akustik

4.3 Hasil dan Analisis Data Citra *Side Scan Sonar*

Data *side scan sonar* memiliki format data .jsf yang diperoleh dari akusisi instrumen *side scan sonar EdgeTech*

4200 milik PT. Pageo Utama. *Side scan sonar* tersebut dioperasikan pada frekuensi 100kHz dan 400 kHz dengan tujuan untuk memperoleh citra dengan resolusi tinggi dari pipa bawah laut dan fitur dasar laut disekitarnya. Gambar 4.3 menampilkan gambaran *raw data* citra *side scan sonar* tersebut.

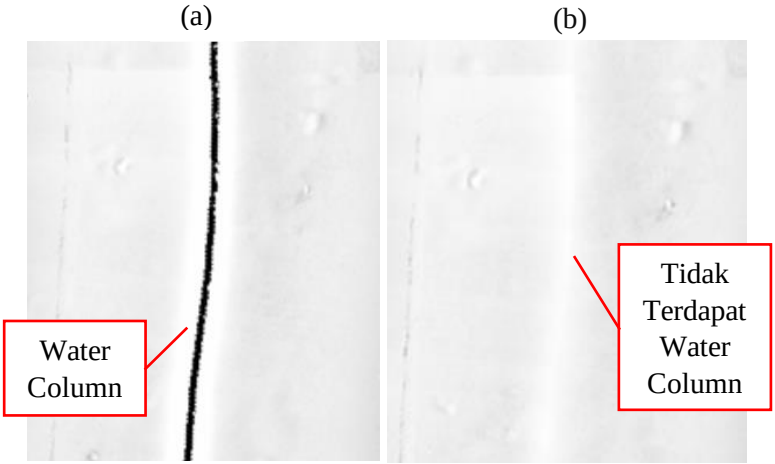


Gambar 4.3 Tampilan *Raw Data* Dari *Side Scan Sonar*

Pengolahan *raw data* citra *side scan sonar* dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *SonarWIZ* 5.0. Pada pengolahan data citra tersebut, dilakukan dua koreksi utama yaitu koreksi geometrik dan koreksi radiometrik. Koreksi geometrik yang digunakan adalah *slant range correction* dan koreksi radiometrik yaitu koreksi *time varying gain* dan *automatic gain control.*

Hasil penerapan *slant range correction* adalah citra tanpa *noise* dengan cara menghilangkan *water column* yang terdapat pada bagian nadir dan koreksi jarak terhadap area dekat nadir. Terlihat pada Gambar 4.4 perbandingan citra *side scan sonar* sebelum dan sesudah dilakukan *slant range correction.* Pada

Gambar 4.4 (a) terlihat bahwa pada bagian nadir masih terdapat *water column*. Gambar 4.5 (b) terlihat bahwa *water column* yang terdapat pada bagian nadir telah dilakukan koreksi dan hilang.

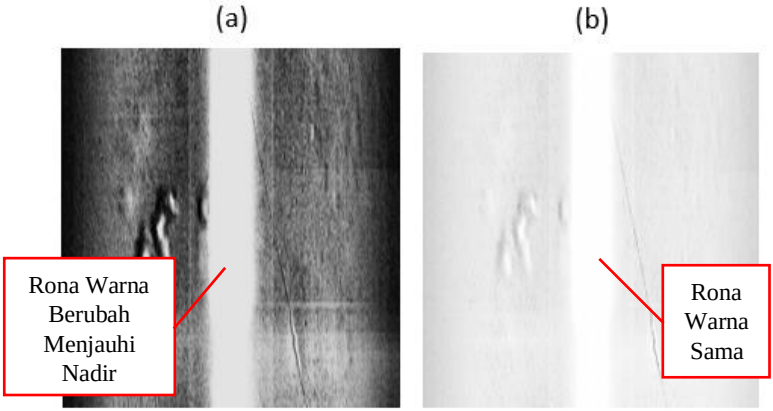


Gambar 4.4 Tampilan Citra SSS (a) Sebelum *SRC* (b) Setelah *SRC*

Selanjutnya, hasil citra *side scan sonar* yang telah dikoreksi geometrinya dilakukan koreksi radiometrik. Koreksi radiometrik yang digunakan yaitu *Time Varying Gain* (TVG) dan *Automatic Gain Control* (AGC). Kedua koreksi radiometrik tersebut berguna untuk mendapakan gambaran yang baik mengenai kondisi di sekitar pipa dan mempermudah interpretasi lokasi *free span* pada pipa.

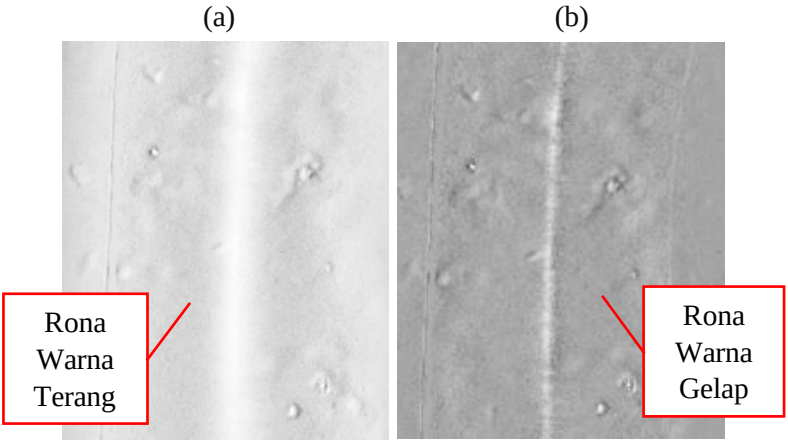
Koreksi *time varying gain* berfungsi untuk mengkompensasi perbedaan *backscatter* yang berbeda antara daerah sekitar nadir dengan daerah yang jauh dari nadir. Hal tersebut terjadi karena nilai *backscatter* yang diterima pada daerah terjauh dari nadir lebih rendah dibandingkan dengan nilai yang lebih dekat dengan nadir yang menyebabkan

perbedaan tampilan rona warna pada citra *side scan sonar* antara kedua daerah tersebut. Gambar 4.5 menampilkan sebelum dan sesuah dilakukan koreksi *time varying gain.* Pada Gambar 4.5 (a) terlihat bahwa terdapat perbedaan rona warna yang terdapat pada bagian nadir dan bagian terjauh dari nadir. Gambar 4.5 (b) terlihat bahwa citra telah dilakukan koreksi *time varying gain* sehingga pada bagian dekat nadir dan bagian terjauh dari nadir memiliki rona warna yang sama.



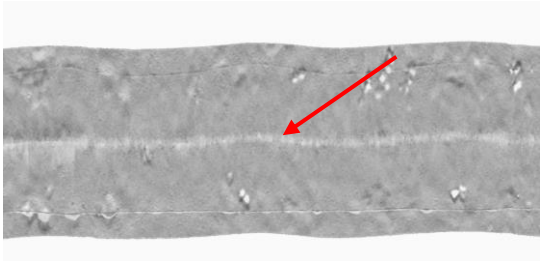
Gambar 4.5 Tampilan Citra (a) Sebelum Koreksi TVG (b) Setelah Koreksi TVG

Kemudian, koreksi *automatic gain control* berfungsi untuk menyesuaikan nilai *backscatter* ketika sonar melewati batu dan lumpur sehingga mendapatkan nilai yang mendekati sebenarnya. Koreksi ini juga berguna untuk mempermudah interpretasi adanya *free span* yang terdapat pada citra *side scan sonar.* Gambar 4.6 menampilkan perbedaan sebelum dan sesudah dilakukan koreksi *automatic gain control*. Pada Gambar 4.6 (a) terlihat bahwa *seabed* memiliki rona warna yang lebih terang, sedangkan pada Gambar 4.6 (b) citra *side scan sonar* memiliki rona warna yang lebih gelap.



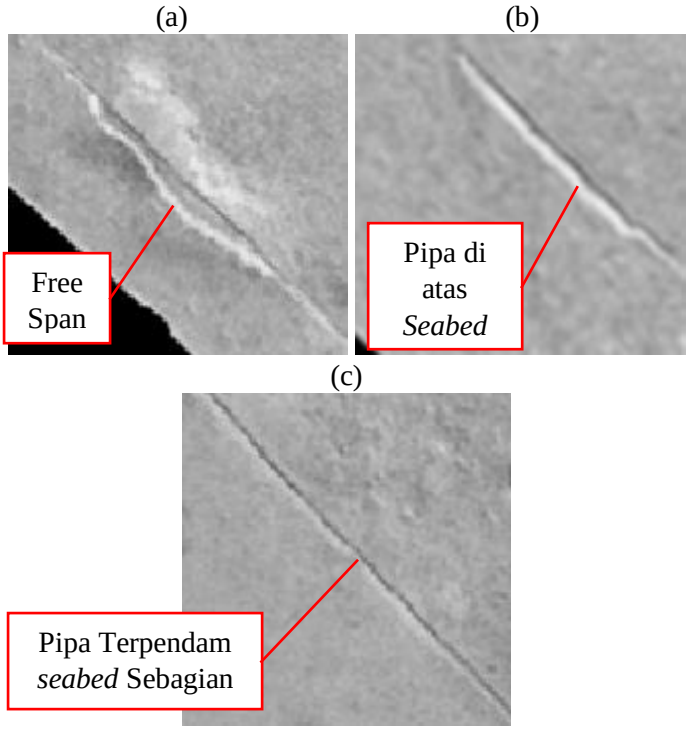
Gambar 4.6 Tampilan Citra (a) Sebelum Koreksi AGC
(b) Sesudah Koreksi AGC

Setelah dilakukan koreksi geometri dan koreksi radiometrik tersebut, didapatkan citra *side scan sonar* yang telah terkoreksi yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Citra tersebut kemudian dilakukan interpretasi letak *free span* untuk memvalidasi data *free span* yang didapatkan pada data *dual-head scanning profiler*. Pada Gambar 4.7, terdapat panah merah yang menandakan bagian nadir dari citra *side scan sonar*. Nadir tersebut mengandung informasi posisi dari *towfish side scan sonar* pada saat akuisisi data.



Gambar 4.7 Hasil Pengolahan *Side Scan Sonar*

Untuk mengidentifikasi keberadaan *Free span*, dapat diketahui dengan adanya pola bayangan pipa berwarna putih yang terlihat manjauhi garis hitam yaitu pipa bawah laut. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan terdapat rongga antara pipa dengan *seabed* yang disebut sebagai *free span* seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2.3 mengenai tampilan adanya *free span*. Gambar 4.8 memperlihatkan perbandingan tampilan citra *side scan sonar* ketika terdapat *free span*, pipa di atas *seabed*, dan pipa terpendam *seabed* sebagian.

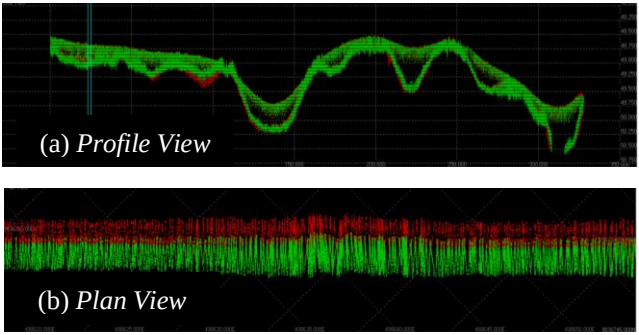


Gambar 4.8 Tampilan Citra (a) Terdapat *Free Span* (b) Pipa di atas *Seabed* (c) Pipa Terpendam *Seabed* sebagian

4.4 Hasil dan Analisis Data *Dual-head Scanning Profiler*

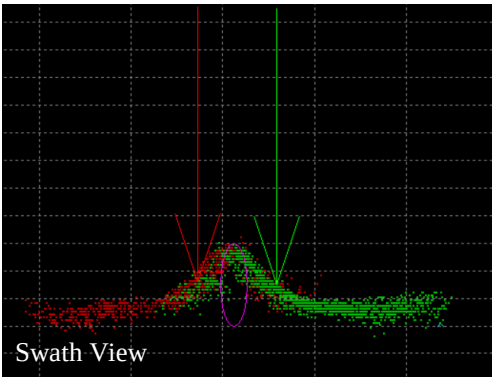
PT. Pageo utama menggunakan instrumen *dual-head scanning profiler* SeaKing Profiling Sonar. Alat tersebut memikiki dua frekuensi yaitu 600kHz dan 1,1MHz yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

Hasil pangambilan data dari alat *dual-head scanning profiler* yaitu berupa *point cloud* pada titik-titik disekitar pipa yang memiliki format data .db. Pada Gambar 4.9 ditampilkan hasil survei menggunakan *dual-head scanning profiler* di sekitar pipa bawah laut. Pada bagian (a) menampilkan topografi bawah laut di sekitaran pipa dengan sudut pandang *profile view*. Pada bagian (b) menampilkan topografi bawah laut di sekitaran pipa dengan sudut pandang *plan view*. Terlihat kumpulan titik berwarna merah mewakilkan hasil *scanning profiler* dari bagian *port side* dan pada kumpulan titik berwarna hijau mewakilkan hasil *scanning profiler* dari bagian *starboard side.*



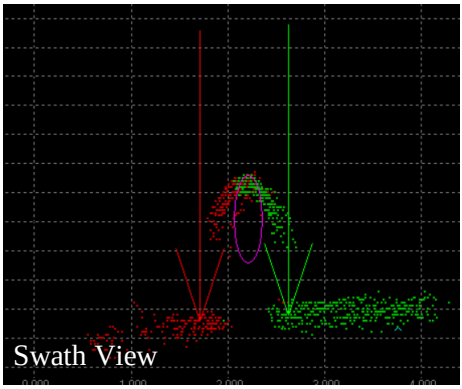
Gambar 4.9 *Raw Data* Pada Tampilan (a) *Profile View (b) Plan View*

Dari hasil data yang sudah dilakukan penghapusan *noise*, kemudian dapat dilakukan identifikasikan lokasi pipa bawah laut beserta lokasi dari *seabed* bagian kiri dan kanan disekitar lokasi pipa tersebut. Gambar 4.10 berikut menampilan identifikasi pipa dan *seabed*-nya pada tampilan *swath view* .



Gambar 4.10 *Swath View* Data *Dual-head Scanning Profiler*

Pada gambar tersebut, identifikasi pipa divisualisasikan sebagai garis bulat berwarna ungu, *seabed* kiri divisualisasikan garis panah berwarna merah, dan *seabed* kanan divisualisasikan garis panah berwarna hijau. Jika dalam proses pengidenfisikasian tersebut didapatkan posisi *seabed* kanan dan *seabed* kiri tidak bersentuhan dengan bagian bawah pipa, maka hal tersebut dapat didefinisikan sebagai *free span.* Pada Gambar 4.11 ditampilkan contoh *free span* pada tampilan *swath view*.



Gambar 4.11 Visualisasi Keadaan *Free Span*

Dari hasil identifikasi *free span* dengan data *dual-head scanning profiler* menggunakan perangkat lunak Qinsy tersebut, didapatkan koordinat x,y,z dari *top of pipe*, *seabed* kiri, dan *seabed* kanan. Koordinat tersebut kemudian di *plotting* pada perangkat lunak AutoCAD untuk identifikasi dimensi dari masing-masing *free span.* Berikut adalah data ID, lokasi, dan dimensi *free span* yang terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Daftar Informasi *Free Span*

ID	KP Free Span	Koordinat		Dimensi	
		X Awal (m)	Y Awal (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS1	0,060	506617,543	9850617,522	11,976	0,343
FS2	0,100	506634,628	9850581,281	10,741	0,197
FS3	0,144	506653,390	9850541,481	18,665	0,270
FS4	0,209	506681,107	9850482,687	24,424	0,555
FS5	0,439	506779,182	9850274,645	15,082	0,230
FS6	0,512	506810,310	9850208,615	3,148	0,091
FS7	0,554	506828,327	9850170,396	4,596	0,109
FS8	0,609	506851,672	9850120,875	9,290	0,151
FS9	0,671	506835,468	9850155,247	20,619	0,133
FS10	0,810	506933,543	9849947,206	16,525	0,285
FS11	0,934	506990,256	9849826,903	11,469	0,121
FS12	1,006	507020,958	9849761,777	7,148	0,096
FS13	1,046	507038,014	9849725,596	16,327	0,240
FS14	1,113	507066,485	9849665,203	9,560	0,077
FS15	1,233	507117,624	9849556,723	6,884	0,136
FS16	1,255	507127,056	9849536,716	6,230	0,108

ID	KP Free Span	Koordinat		Dimensi	
		X Awal (m)	Y Awal (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS17	1,350	507148,455	9849491,323	15,672	0,390
FS18	1,412	507194,081	9849394,539	14,362	0,166
FS19	1,646	507293,862	9849182,879	22,980	0,484
FS20	1,693	507313,903	9849140,366	16,589	0,640
FS21	1,741	507334,371	9849096,949	10,290	0,370
FS22	1,761	507342,899	9849078,858	13,530	0,142
FS23	1,804	507361,235	9849039,963	13,570	0,400
FS24	2,001	507445,238	9848861,771	16,680	0,372
FS25	2,313	507578,279	9848579,558	14,838	0,484
FS26	3,694	508154,944	9847385,879	12,740	0,177
FS27	3,913	508304,571	9847156,455	11,812	0,175
FS28	4,185	508473,247	9846943,078	9,000	0,080
FS29	4,231	508503,587	9846908,620	8,882	0,070
FS30	4,389	508611,962	9846793,658	24,856	0,146
FS31	4,480	508676,892	9846729,915	18,443	0,193
FS32	4,573	508743,578	9846665,094	19,821	0,160
FS33	4,913	508987,379	9846428,110	9,017	0,200
FS34	5,002	509051,197	9846366,076	13,637	0,455
FS35	5,038	509077,011	9846340,984	20,670	0,784
FS36	5,213	509202,497	9846219,007	17,650	0,240
FS37	5,345	509297,149	9846127,002	22,000	0,175
FS38	5,389	509328,700	9846096,333	12,820	0,373

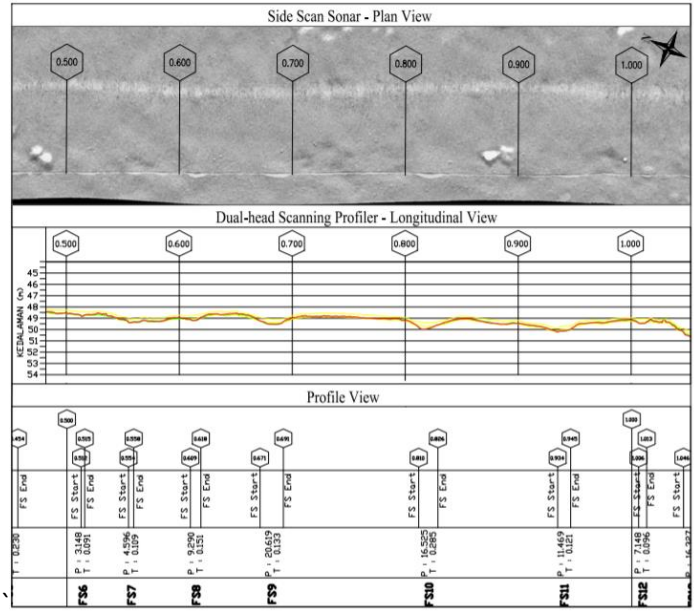
ID	KP Free Span	Koordinat		Dimensi	
		X Awal (m)	Y Awal (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS39	5,424	509353,797	9846071,938	20,366	0,373
FS40	5,535	509433,391	9845994,570	20,000	0,408
FS41	5,572	509459,922	9845968,781	29,690	1,192
FS42	5,907	509700,138	9845735,282	12,393	0,341
FS43	6,045	509799,092	9845639,095	42,109	0,440
FS44	6,142	509868,647	9845571,485	16,370	0,144
FS45	6,465	510100,258	9845346,350	20,329	1,220
FS46	6,502	510126,789	9845320,561	28,938	1,094
FS47	6,636	510222,868	9845227,169	7,520	0,112

*)Bukan Koordinat sebenarnya

Dari identifikasi pipa bawah laut sepanjang 6,8 km menggunakan data *dual-head scanning profiler* tersebut, didapatkan 47 titik *free span* yang memiliki dimensi yang berbeda-beda. Panjang *free span* terbesar terdapat pada titik *free span* dengan kode FS-43 yaitu sebesar 42,109 meter dengan tinggi 0,44 meter. Sedangkan tinggi *free span* terbesar terdapat pada titik *free span* dengan kode FS-45 yaitu sebesar 1,22 meter dengan tinggi 20,329 meter.

4.5 Peta Hasil Inspeksi

Dari hasil pengolahan data *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler*, didapatkan data posisi dari pipa bawah laut serta tampilan atas, jumlah, posisi, dan dimensi *free span*-nya. Data tersebut kemudian dilakukan *plotting* dengan bantuan perangkat lunak AutoCAD dan dihasilkan 14 buah peta inspeksi *free span* pipa bawah laut yang memiliki skala 1:2000 dengan ukuran kertas A3. Peta nomor 2 dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut



Gambar 4.12. Peta Hasil Inspeksi

Dari peta tersebut terdapat 3 tampilan muka peta yaitu *plan view*, *longitudinal view*, dan *profile view*. *Plan view* menampilkan tampak atas dari citra *side scan sonar* untuk mendapatkan gambaran pipa, *free span* pipa, dan keadaan sekitar pipa. *Longitudinal view* menampilkan tampak samping dari data kedalaman pipa bawah laut yang didapatkan dari hasil olahan data *dual-head scaning profiler*. *Profile view* menampilkan informasi mengenai kode, dimensi, dan lokasi *kilometer point* dari *free span* pipa.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Inspeksi *free span* pipa bawah laut dengan *side scan sonar* dan *dual-head scanning profiler* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengolahan data inspeksi *free span* bawah laut, ditemukan sejumlah 47 *free span* yang memiliki dimensi yang berbeda-beda.
2. Posisi *free span* pertama berada pada KP 0,060 hingga KP 0,072 serta *free span* terakhir berada pada KP 6,636 hingga KP 6,643.
3. Dimensi *free span* terpanjang terdapat pada FS-43 dengan panjang 42,109 m dan tinggi 0,44 m serta *free span* tertinggi terdapat pada FS-45 dengan tinggi 1,22 m dan panjang 20,329 m.
4. Dari hasil inspeksi *free span* pipa bawah laut sepanjang 6,8 km, dihasilkan 14 peta inspeksi *free span* pipa bawah laut. Peta tersebut berukuran A3 yang berskala 1:2000 dan memiliki 3 muka peta dengan tampilan *plan view*, *longitudinal view*, dan *profile view*.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan penulis untuk peneletian selanjutnya yang sejenis adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dimensi maksimal *free span* yang diperbolehkan untuk keperluan *maintenance* pipa. Perhitungan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan gaya statik dan dinamik pada pipa.
2. Melakukan verifikasi posisi pipa untuk mengetahui perbedaan posisi pipa antara posisi pipa yang direncanakan dengan posisi sebenarnya.
3. Menggunakan data *multibeam echosounder* untuk mendapakan posisi pipa yang lebih baik.

4. Menggunakan *add-on* autochart pada perangkat lunak AutoCAD untuk mempermudah pembuatan peta hasil inspeksi

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya* . Jakarta: PT, Pradnya Paramita.

Adibrata. (2007). *Analisis Pasang Surut Di Pulau Karampuang Provinsi Sulawesi Barat.* Bangka Belitung: Universitas Bangka Belitung.

Airlangga, A. (2010). *Analisis Statik dan Dinamik Pipa Bawah Laut yang Mengalami Free spanning dengan Studi Kasus Pipa 14 Inci di Area Hang Tua.* Bandung: ITB.

Beaudoin, J. (2011). *Rethinking the Patch Test for Phase Measuring Bathymetric Sonars.* Durham: University of New Hampshire.

Blondel, P. (2009). *The Handbook of Sidescan Sonar.* UK: Praxis Publishing Ltd.

Braute, T. (2007). *The Shore Based AIS Service as en e-nagivation Service.* Norwegian Coastal Administration.

British Petroleum. (2019). *BP Statistical Review of World Energy.* UK: British Petroleum Company.

Capocci, R. (2017). *Inspection-Class Remotely Operated Vehicles – A Review.* Limerick: University of Limerick.

China National Petroleum Corporation. (2015). *Submarine Oil and Gas Pipeline Technology.* China: China National Petroleum Corporation.

DNV. (2006). *Recommended Practice DNV-RP-F105 Free Spanning Pipelines.* Norway: Det Norske Versitas.

Edgetech. (2020). *4200 Side Scan Sonar System User Hardware Manual.* MA: Edgetech.

ESDM. (2018). *Peraturan Mentri ESDM Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018.* Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

Gustiawan. (2012). *Komputasi Data Side Scan Sonar Klein 3000 untuk Identifikasi Target Dasar Laut.* Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan IPB.

Happy. (2019). *Perbandingan Nilai Chart Datum dan Akurasi Prediksi Pasang Surut Air Laut Berdasarkan Variasi Lama Waktu Pengamatan Dengan Metode Least Square.* Surabaya: ITS.

IHO. (2005). *Manual on Hydrography.* Monaco: International Hydrographic Bureau.

Islam, F. S. (2019). *Pemodelan 3 Dimensi Terumbu Karang Menggunakan Side Scan Sonar Dan Singlebeam Echosounder (Studi Kasus: Pulau Giligenting Kabupaten Sumenep).* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

IXBLUE. (2013). *Delph Sonar Advanced Notes.* US: IXBLUE Inc.

Jin, S. (2015). *Sound Velolicty Profile (SVP) Inversion Through Correcting The Terrain Distortion.* China: Department of Hydrography and Cartography Dalian Naval Academ.

Khanifudin, I. (2015). *Analisis Ultimate Limis State (ULS) Pada Freespan (Studi Kasus: South Sumatera - West Java Gas Pipeline Project Phase II Labuan Maringgai-Muara Bekasi Offshore Pipeline).* Surabaya: ITS.

Lekkerkerk. (2012). *Handbook of Offshore Surveying Volume 1.* Netherlands: Skilltrade.

Lekkerkerk. (2012). *Handbook of Offshroe Surveying Volume II.* Netherland: Skilltrade.

Lekkerkerk. (2012). *Handbook of Offshroe Surveying Volume III.* Netherland: Skilltrade.

Nugraha, I. M. (2014). *Studi Aplikasi Multibeam Echosounder dan Side Scan Sonar Untuk Mendeteksi Free Span Pada Jalur Pipa Bawah Laut.* Surabaya: ITS.

Pambudhi, D. (2017). *Pengolahan Data Multibeam Echosounder untuk Mendeteksi Pipa Bawah Laut Menggunakan Perangkat Lunak EIVA Navisuite.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pariwono, J. (1989). *Kondisi Pasang Surut di Indonesia.* Jakarta: LIPI.

Poerbandono. (2005). *Survei Hidrografi*. Bandung: PT. Refika Aditama.

Riqby, P. (2006). *Towards Geo-Referenced AUV Navigation Through Fusion of USBL and DVL Measurements.* Australia: University of Sydney.

Septyanto, B. (2019). *Ultra Short Baseline (USBL) Calibration For Positioning of Underwater Objects.* Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

Triatmojo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Best Offset Yogyakarta.

Tritech. (2020). *SeaKing Profiling Sonar*. UK: Tritech International.

Wake, D. (2015). *Subsea Surveys.* Scotland: The Hydrographic Society.

“***Halaman ini sengaja dikosongkan***”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel *Free Span*

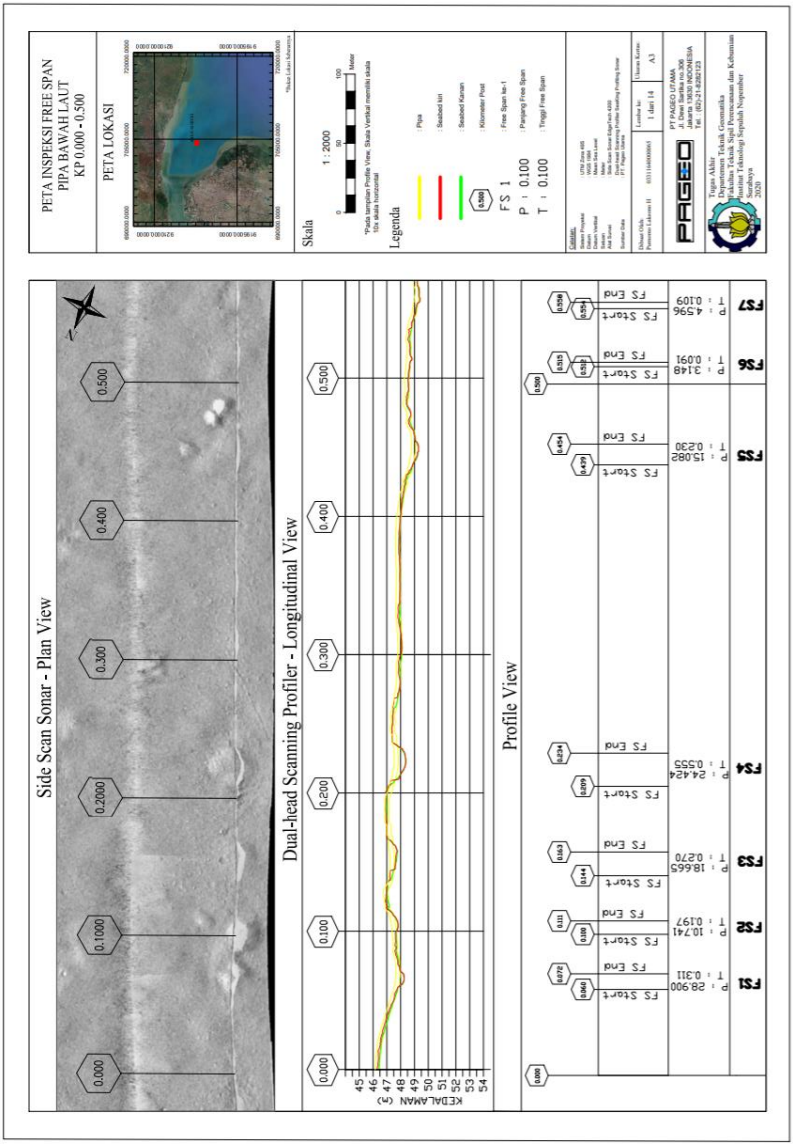
ID	KP Awal Free Span	KP Akhir Free Span	Koordinat Awal Free Span		Koordinat Akhir Free Span		Dimensi	
			X Start (m)	Y Start (m)	X Start (m)	Y Start (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS1	0,060	0,072	506617,543	9850617,522	506622,650	9850606,690	11,976	0,343
FS2	0,100	0,111	506634,628	9850581,281	506639,208	9850571,565	10,741	0,197
FS3	0,144	0,163	506653,390	9850541,481	506661,349	9850524,598	18,665	0,270
FS4	0,209	0,234	506681,107	9850482,687	506691,522	9850460,595	24,424	0,555
FS5	0,439	0,454	506779,182	9850274,645	506785,613	9850261,003	15,082	0,230
FS6	0,512	0,515	506810,310	9850208,615	506811,652	9850205,767	3,148	0,091
FS7	0,554	0,558	506828,327	9850170,396	506830,403	9850166,295	4,596	0,109
FS8	0,609	0,618	506851,672	9850120,875	506855,633	9850112,472	9,290	0,151
FS9	0,671	0,691	506835,468	9850155,247	506844,308	9850136,496	20,619	0,133
FS10	0,810	0,826	506933,543	9849947,206	506940,590	9849932,258	16,525	0,285
FS11	0,934	0,945	506990,256	9849826,903	506995,147	9849816,529	11,469	0,121
FS12	1,006	1,013	507020,958	9849761,777	507024,006	9849755,312	7,148	0,096
FS13	1,046	1,062	507038,014	9849725,596	507044,976	9849710,828	16,327	0,240
FS14	1,113	1,123	507066,485	9849665,203	507070,562	9849656,555	9,560	0,077
FS15	1,233	1,240	507117,624	9849556,723	507120,561	9849550,494	6,884	0,136
FS16	1,255	1,261	507127,056	9849536,716	507129,791	9849530,915	6,230	0,108
FS17	1,350	1,365	507148,455	9849491,323	507155,138	9849477,148	15,672	0,390
FS18	1,412	1,426	507194,081	9849394,539	507200,333	9849381,276	14,362	0,166
FS19	1,646	1,669	507293,862	9849182,879	507303,661	9849162,093	22,980	0,484
FS20	1,693	1,710	507313,903	9849140,366	507320,977	9849125,361	16,589	0,640

ID	KP Awal Free Span	KP Akhir Free Span	Koordinat Awal Free Span		Koordinat Akhir Free Span		Dimensi	
			X Start (m)	Y Start (m)	X Start (m)	Y Start (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS21	1,741	1,751	507334,371	9849096,949	507338,759	9849087,641	10,290	0,370
FS22	1,761	1,774	507342,899	9849078,858	507348,669	9849066,620	13,530	0,142
FS23	1,804	1,817	507361,235	9849039,963	507367,168	9849027,377	13,570	0,400
FS24	2,001	2,018	507445,238	9848861,771	507452,351	9848846,684	16,680	0,372
FS25	2,313	2,328	507578,279	9848579,558	507584,606	9848566,137	14,838	0,484
FS26	3,694	3,703	508154,944	9847385,879	508161,430	9847374,919	12,740	0,177
FS27	3,913	3,925	508304,571	9847156,455	508311,488	9847146,879	11,812	0,175
FS28	4,185	4,194	508473,247	9846943,078	508479,087	9846936,342	9,000	0,080
FS29	4,231	4,240	508503,587	9846908,620	508509,515	9846902,009	8,882	0,070
FS30	4,389	4,414	508611,962	9846793,658	508629,555	9846776,099	24,856	0,146
FS31	4,480	4,498	508676,892	9846729,915	508690,116	9846717,060	18,443	0,193
FS32	4,573	4,591	508743,578	9846665,094	508757,791	9846651,278	19,821	0,160
FS33	4,913	4,922	508987,379	9846428,110	508993,844	9846421,825	9,017	0,200
FS34	5,002	5,016	509051,197	9846366,076	509060,976	9846356,571	13,637	0,455
FS35	5,038	5,058	509077,011	9846340,984	509091,833	9846326,577	20,670	0,784
FS36	5,213	5,230	509202,497	9846219,007	509215,153	9846206,705	17,650	0,240
FS37	5,345	5,367	509297,149	9846127,002	509312,924	9846111,668	22,000	0,175
FS38	5,389	5,402	509328,700	9846096,333	509337,892	9846087,398	12,820	0,373
FS39	5,424	5,444	509353,797	9846071,938	509368,401	9846057,743	20,366	0,373
FS40	5,535	5,555	509433,391	9845994,570	509447,732	9845980,630	20,000	0,408
FS41	5,572	5,602	509459,922	9845968,781	509479,060	9845950,177	29,690	1,192
FS42	5,907	5,919	509700,138	9845735,282	509709,024	9845726,644	12,393	0,341
FS43	6,045	6,087	509799,092	9845639,095	509829,287	9845609,744	42,109	0,440

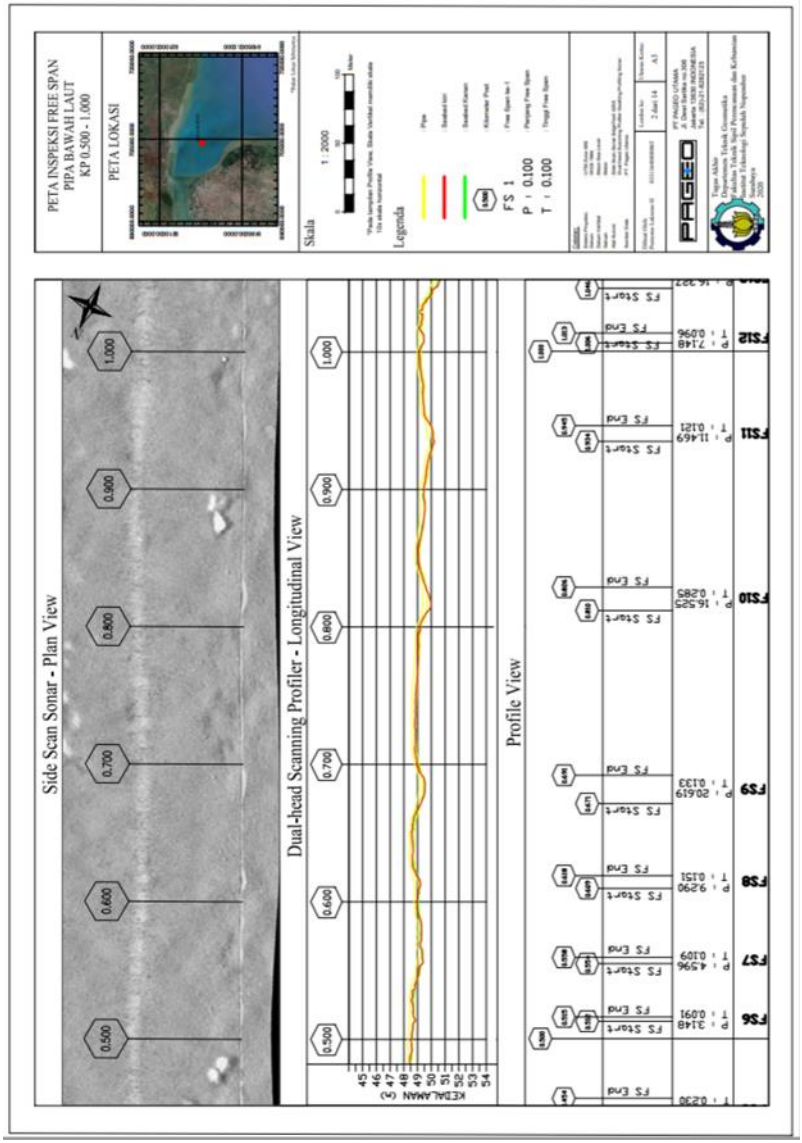
ID	KP Awal Free Span	KP Akhir Free Span	Koordinat Awal Free Span		Koordinat Akhir Free Span		Dimensi	
			X Start (m)	Y Start (m)	X Start (m)	Y Start (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)
FS44	6,142	6,158	509868,647	9845571,485	509880,385	9845560,075	16,370	0,144
FS45	6,465	6,486	510100,258	9845346,350	510114,835	9845332,181	20,329	1,220
FS46	6,502	6,531	510126,789	9845320,561	510148,256	9845299,694	28,938	1,094
FS47	6,636	6,643	510222,868	9845227,169	510228,260	9845221,928	7,520	0,112

*Bukan Koordinat Sebenarnya

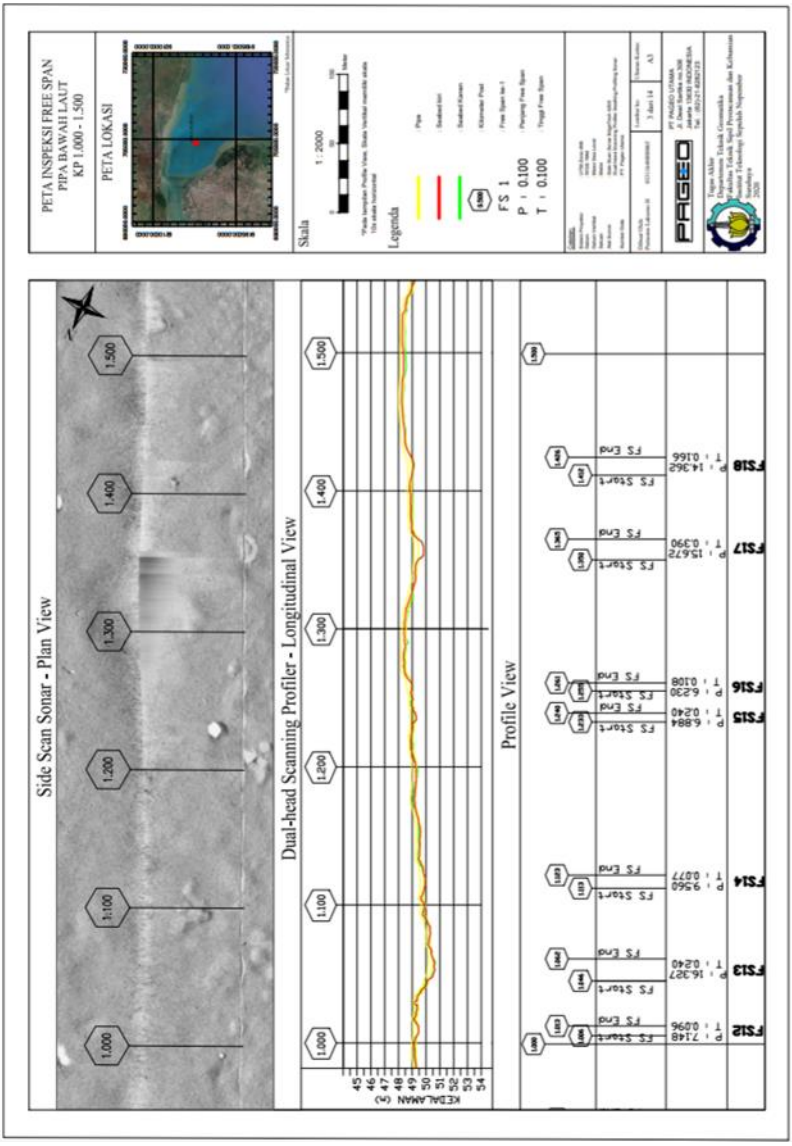
Lampiran 2 . Peta Nomor 1 Inspeksi *Free Span* Pipa



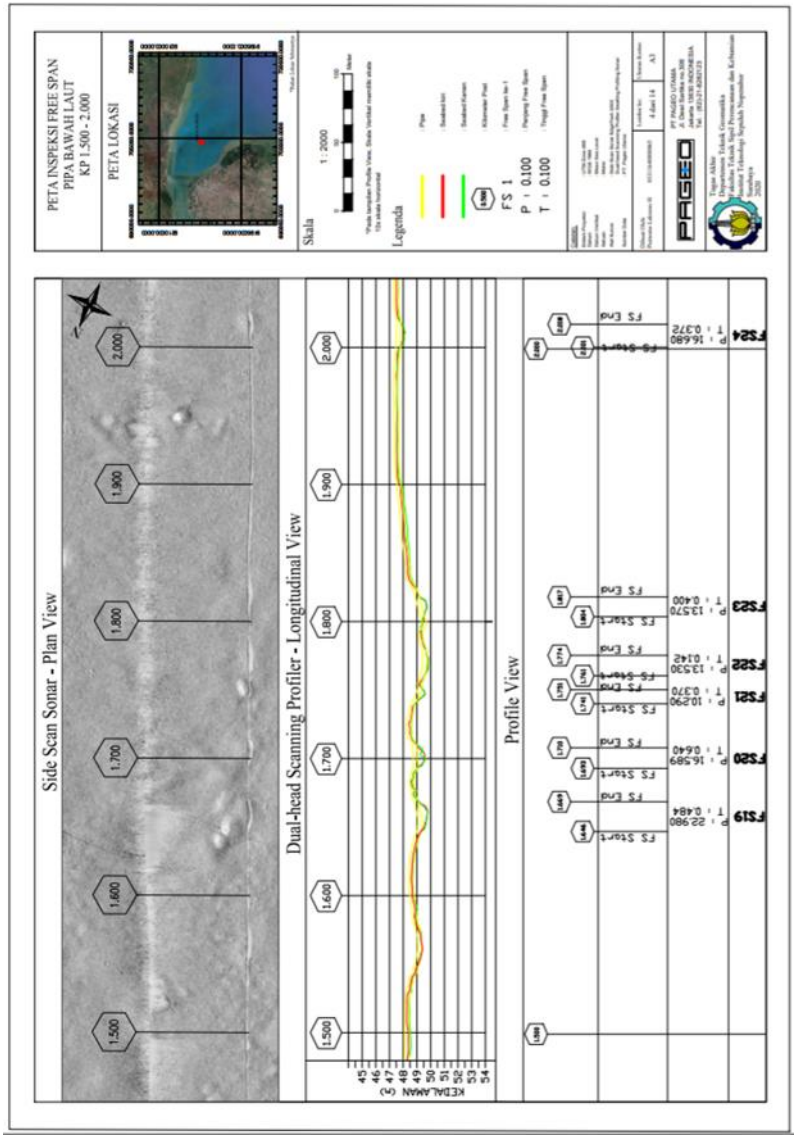
Lampiran 3 . Peta Nomor 2 Inspeksi *Free Span* Pipa



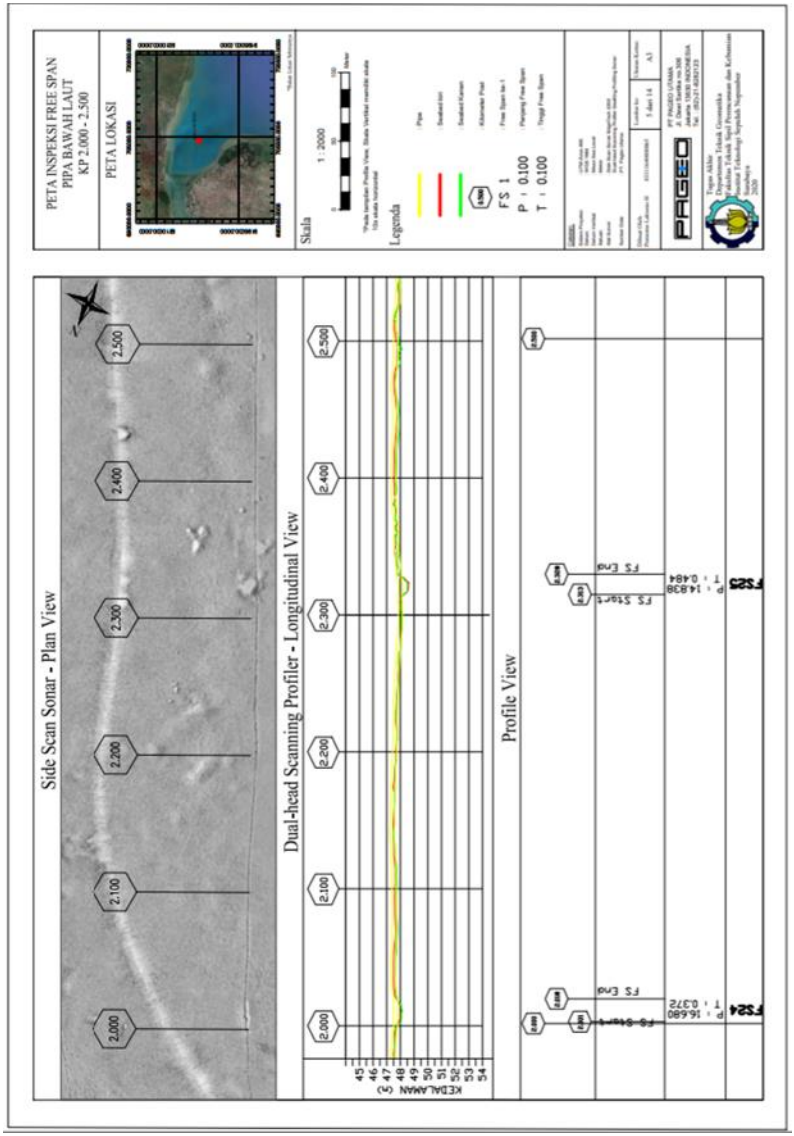
Lampiran 4 . Peta Nomor 3 Inspeksi *Free Span* Pipa



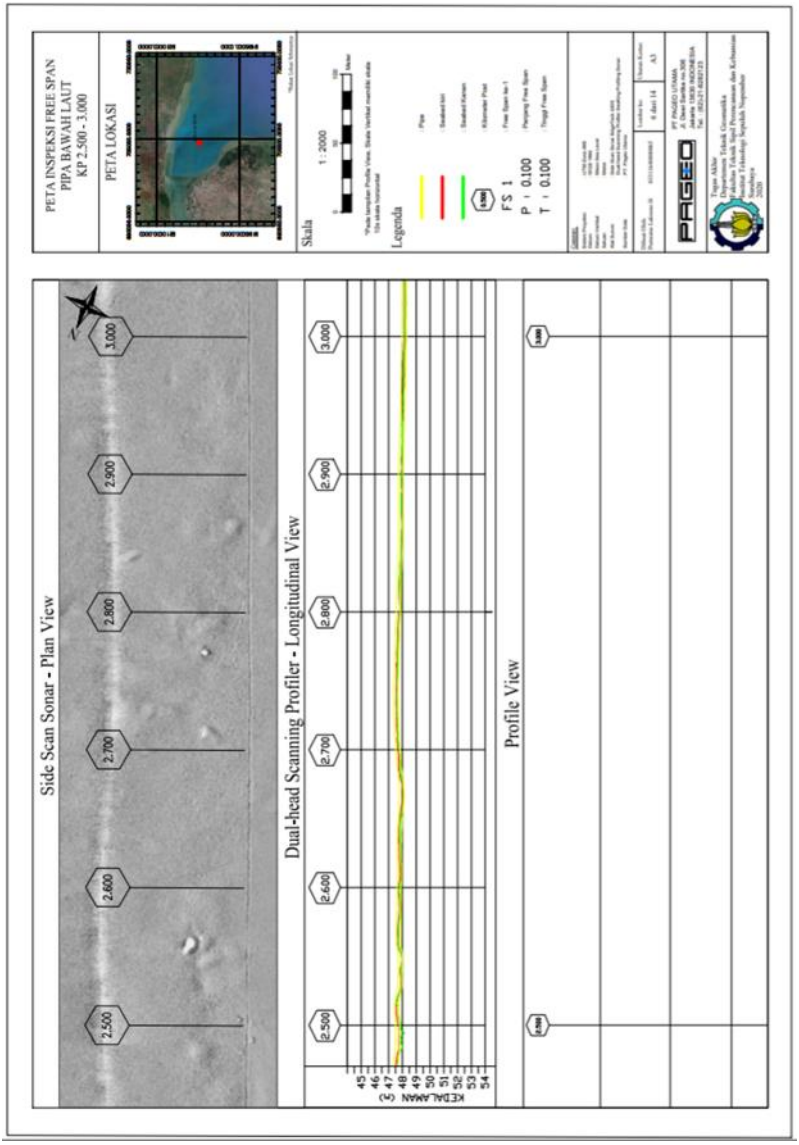
Lampiran 5. Peta Nomor 4 Inspeksi *Free Span* Pipa



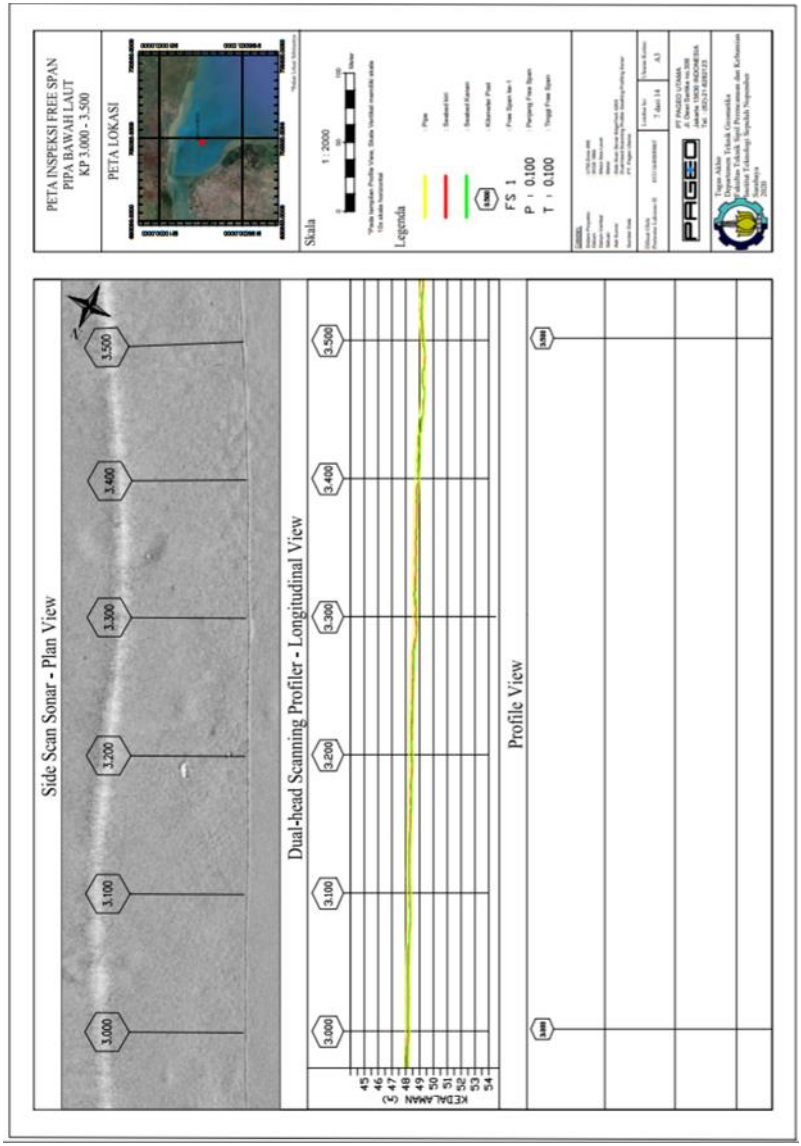
Lampiran 6. Peta Nomor 5 Inspeksi *Free Span* Pipa



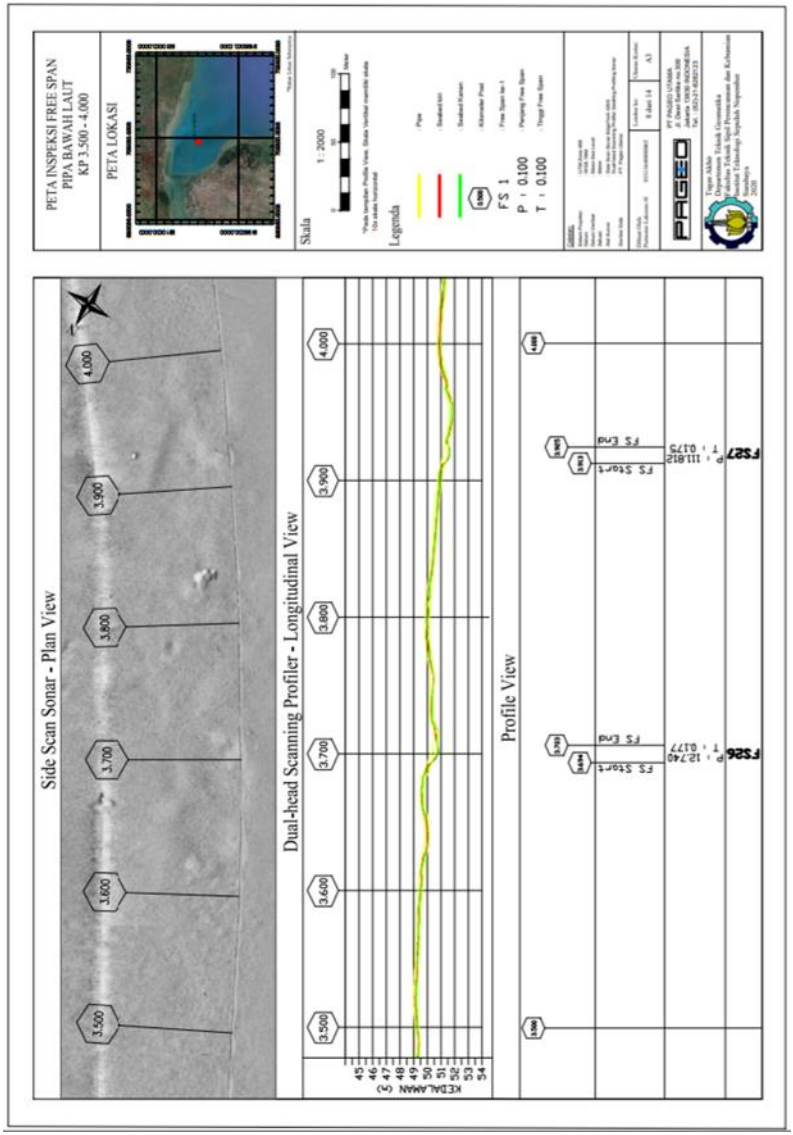
Lampiran 7. Peta Nomor 6 Inspeksi *Free Span* Pipa



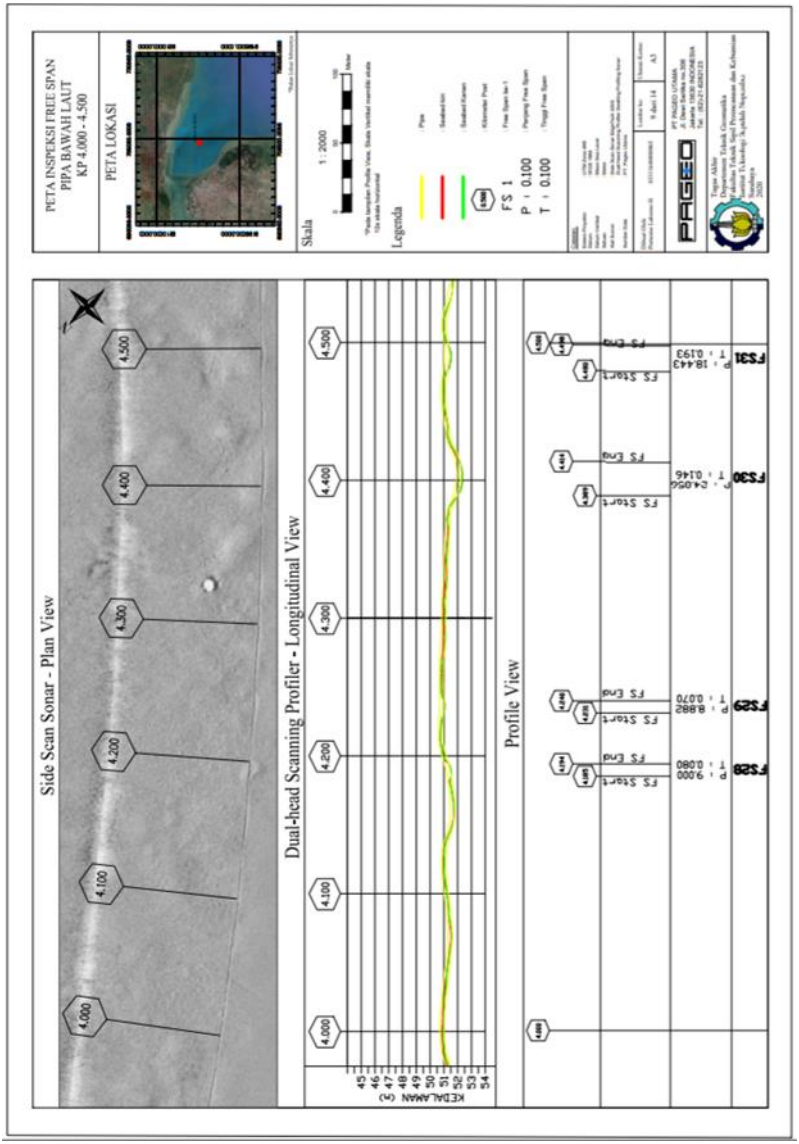
Lampiran 8. Peta Nomor 7 Inspeksi *Free Span* Pipa



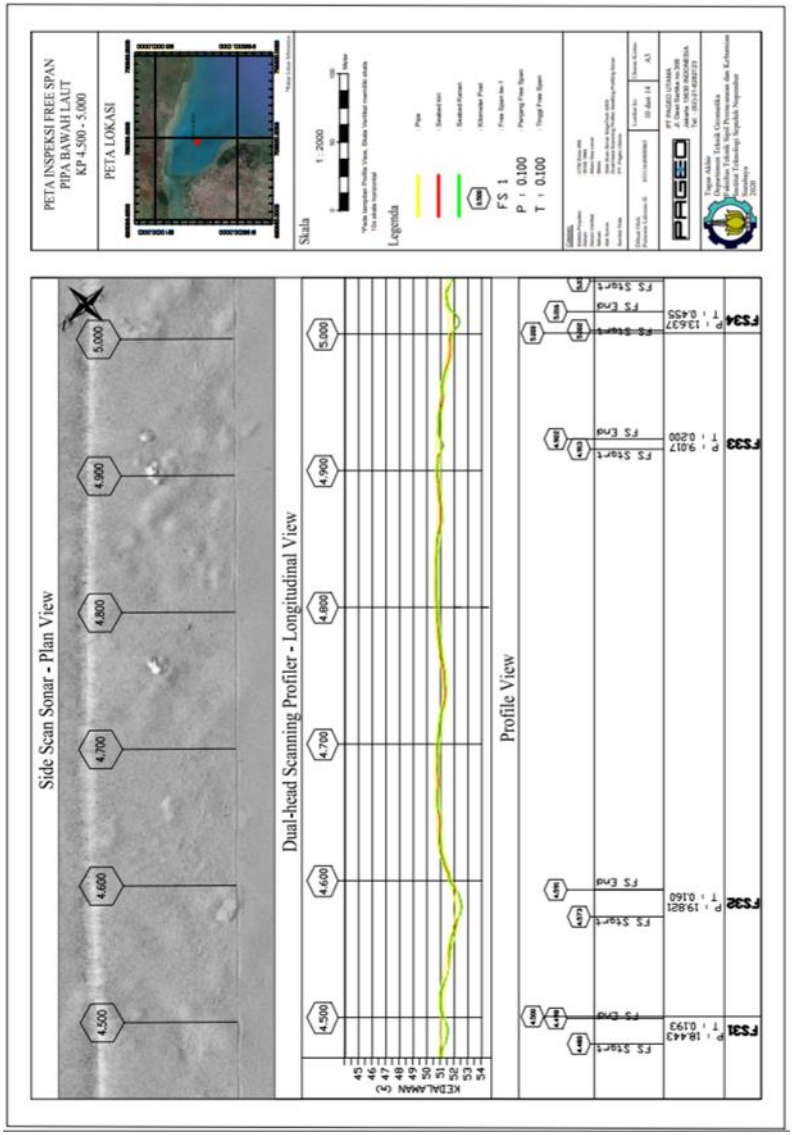
Lampiran 9. Peta Nomor 8 Inspeksi *Free Span* Pipa



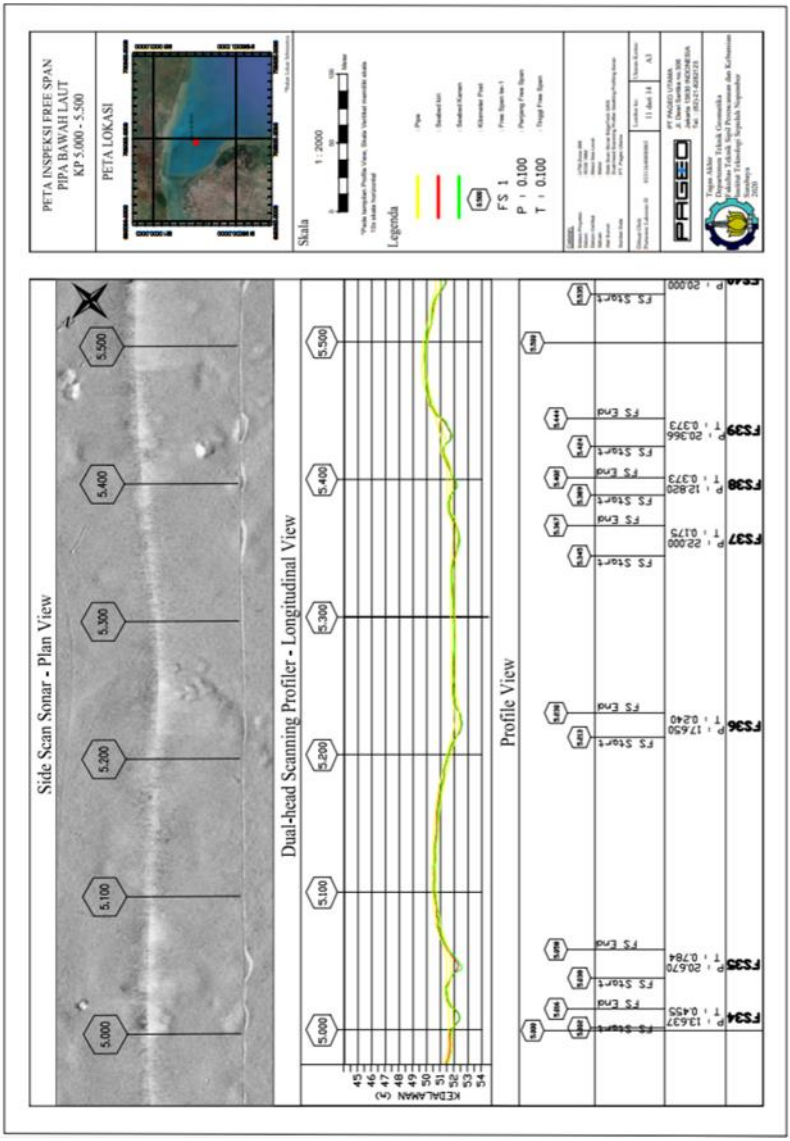
Lampiran 10. Peta Nomor 9 Inspeksi *Free Span* Pipa



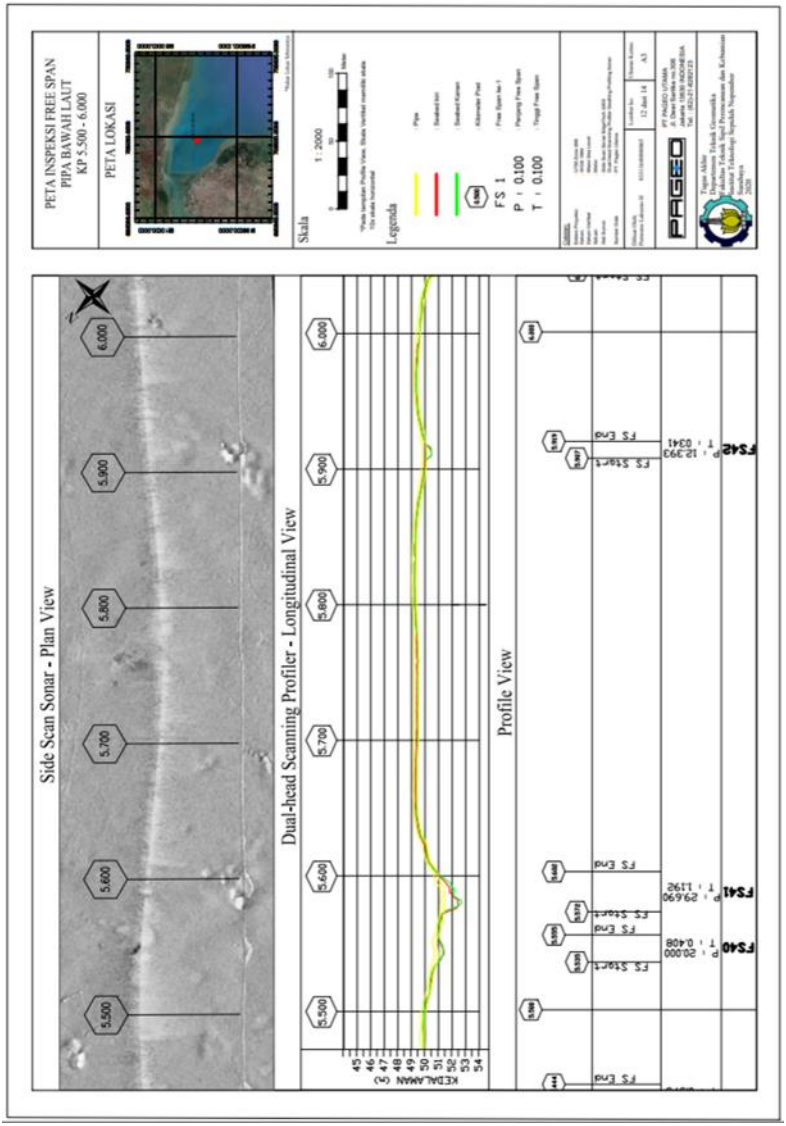
Lampiran 11. Peta Nomor 10 Inspeksi *Free Span* Pipa



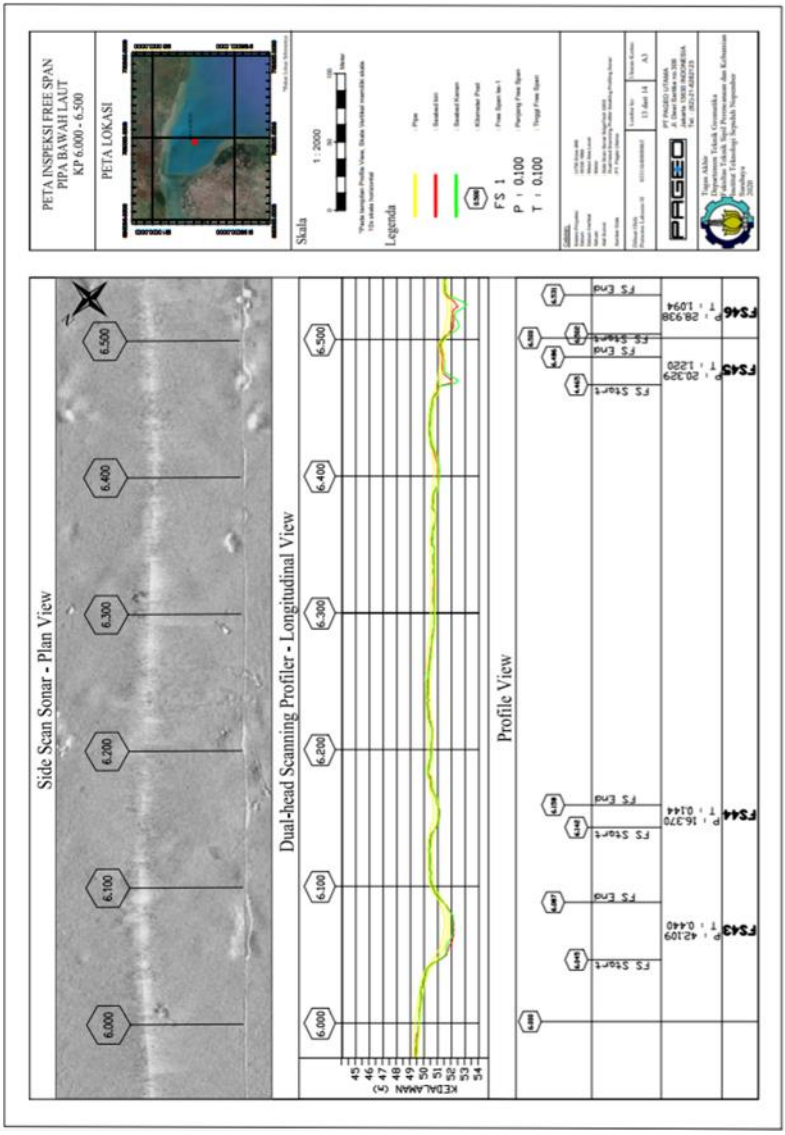
Lampiran 12. Peta Nomor 11 Inspeksi *Free Span* Pipa



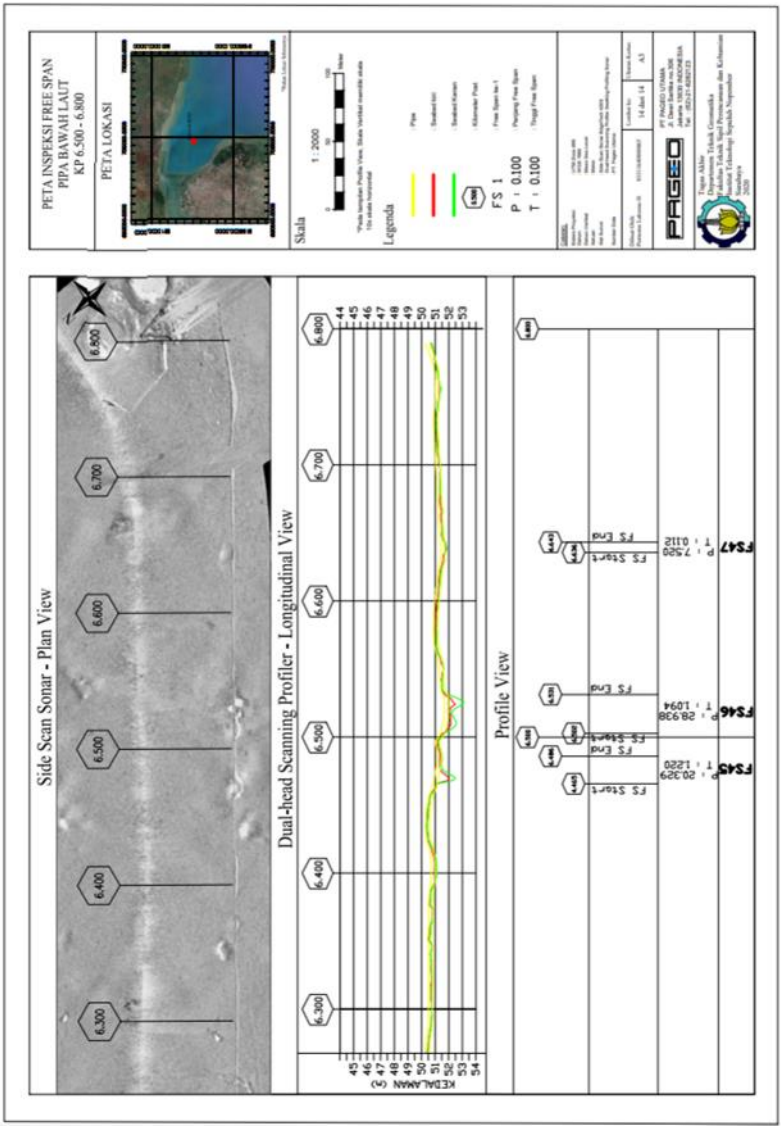
Lampiran 13. Peta Nomor 12 Inspeksi *Free Span* Pipa



Lampiran 14. Peta Nomor 13 Inspeksi *Free Span* Pipa



Lampiran 15. Peta Nomor 14 Inspeksi *Free Span* Pipa



Lampiran 16. Surat Rekomendasi PT. Pageo Utama

PAGEO

Jakarta, 18 Maret 2020
048/PU-HR/03/2020

Re: Surat Rekomendasi

Dengan ini kami sampaikan bahwa, **Purnomo Laksono Harlambang NRP : 03311640000065**, Mahasiswa Departemen Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil Perencaan dan Kebumian Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, telah melakukan pengumpulan / pengolahan data dan informasi di PT. Pageo Utama, dalam rangka penyusunan tugas akhir yang berjudul : "Inspeksi Free Span Pipa Bawah Laut Dengan Side Scan Sonar Dan Dual -Head Scanning Profiler"

Selama proses tersebut, yang bersangkutan menunjukkan sikap dan perilaku yang baik, terorganisir dan tepat waktu.

Demikian surat rekomendasi ini kami buat agar dipergunakan semestinya.

Hormat Kami,

PAGEO

Marino Abubakar S.IP, MSMark.
HRD Manager

PT. PAGEO UTAMA www.pageo.co.id, survey@pageo.co.id
Jl. Dewi Sartika No. 306, Jakarta, 13630
Ph. +62 21 828 2123, Fax. +62 828 2124

IMCA

BIODATA PENULIS

Purnomo Laksono Harlambang, lahir di Surabaya, 15 April 1998. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Negeri 1 Wiyung Surabaya (2004-2010), SMPN 6 Surabaya (2010-2013), dan SMAN 2 Surabaya (2013-2016). Penulis lalu melanjutkan pendidikan formal strata 1 di Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2016 dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 03311640000065. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis sangat aktif dalam organisasi dan kepanitiaan baik didalam maupun diluar kampus. Dalam bidang organisasi, penulis pernah menjabat sebagai Staff Kewirausahaan HIMAGE-ITS (2017-2018), *Steering Commite* HIMATE-ITS (2018-2019), dan *Head of Division* SPE-ITS SC (2018-2019). Sedangkan dalam bidang kepanitiaan, penulis pernah mendapat amanah sebagai *Local Volunteer* AIESEC LITE Project 2.0 (2017-2018), Staff *Smart Competition* PETROLIDA SPE-ITS SC (2017), dan Staff *Liaison Officer* PETROLIDA SPE-ITS SC (2018). Penulis mendapat kesempatan untuk melaksanakan kerja praktik di PT. Pageo Utama yang bertempat di Jakarta pada tahun 2019. Untuk menyelesaikan studi nya, penulis mengambil Tugas Akhir bidang keahlian Geomarine yang berjudul "Inspeksi Pipa Bawah Laut dengan *Side Scan Sonar* dan *Dual-head Scanning Profiler"* dengan menggunakan data dari PT. Pageo Utama.