

**SKRIPSI**

**OPTIMASI PENETAPAN RUTE EFEKTIF *SUBSEA PIPELINE*  
DARI BLOK MASELA KE PULAU YAMDENA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**JALIL  
D081 19 1011**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****OPTIMASI PENETAPAN RUTE EFEKTIF *SUBSEA PIPELINE*  
PADA BLOK MASELA KE PULAU YAMDENA**


Disusun dan diajukan oleh

**JALIL**  
**D081 19 1011**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 24.10.2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. Juswan, MT.  
NIP. 19621231 198903 1031

Pembimbing-Pendamping,



Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.  
NIP. 19950929 202101 5001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chalry Paotonan, ST., MT.  
NIP. 19750605 200212 1003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Jalil  
NIM : D081 19 1011  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Optimasi Penetapan Rute Efektif *Subsea Pipeline* di Blok Masela ke Pulau Yamdena)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Juli 2023

Yang Menyatakan,

  
Jalil  
181 19 1011

METERAI TEMPEL  
3B7AKX618983202

## ABSTRAK

**JALIL.** *Optimasi Penetapan Rute Efektif Subsea Pipeline di Blok Masela ke Pulau Yamdena.* (dibimbing oleh **Ir. Juswan, MT.** dan **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.**).

Indonesia menjadi salah satu negara yang banyak memiliki daerah kilang gas salah satunya Blok Masela yang berada di Maluku Tenggara Barat. Dengan adanya Blok Masela maka dapat dilakukan pendistribusian gas sebagai kebutuhan pokok dengan eksplorasi dan eksploitasi, proses pendistribusian gas pada Blok Masela ke salah satu pulau terdekat yaitu Pulau Yamdena baiknya menerapkan onshore concept karena secara umum lebih efisien dari kapasitas gas di Blok Masela dan lebih ekonomis tidak membutuhkan banyak biaya, sehingga peran subsea pipeline memiliki andil besar dalam transportasi gas pada Blok Masela ke Pulau Yamdena. Untuk itu perencanaan rute efektif perlu diinvestigasi lebih lanjut. Jenis penelitian ini adalah termasuk penelitian kuantitatif dengan menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta menampilkan hasil yang valid dan relevan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari rute efektif Subsea Pipeline dari Blok Masela ke Pulau Yamdena, dengan merencanakan 3 rute dari lokasi Blok Masela ke Pulau Yamdena, rute 1 berjarak 151 km dari kilang Blok Masela ke Pulau Yamdena, rute 2 berjarak 157 km dan rute 3 berjarak 150 km menggunakan peta batimetri. Pada penetapan rute efektif menggunakan metode MCDM jenis WPM (Weight Product Model) rute 2 dengan angka ranking besar 3 kali berturut-turut dengan nilai ranking analisis awal nilai tertinggi pada rute 2 dengan nilai 0,388, analisis sensitivitas 1 nilai tertinggi berada pada rute 2 dengan nilai 0,377, analisis sensitivitas 2 nilai tertinggi rankingnya pada rute 2 sebesar 0,414, dan analisis sensitivitas 3 nilai tertingginya berada pada rute 1 nilainya 0,431. Ini menunjukkan bahwa presentasi kemunculan rute 2 menjadi rute optimum untuk direncanakan sesuai dengan hasil penetapan kriteria jarak rute, kedalaman, gempa bumi, gelombang, angin, suhu dan arus, serta dari hasil analisis keempat penetapan rute dapat disimpulkan bahwa kriteria penetapan yang berpengaruh atau sensitif pada penetapan rute yaitu kriteria jarak rute, kedalaman yang dilalui rute, gempa bumi, gelombang dan arus.

**Kata Kunci:** Blok Masela, Gas, Optimasi, Pipa bawah laut, Rute

## ABSTRACT

**JALIL.** *Optimization Of Determining The Effective Route Of The Subsea Pipeline In The Masela Block To Yamdena Island. (Supervised by Ir. Juswan, MT. dan Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT).*

Indonesia is one of the countries that has many gas refinery areas, one of which is the Masela Block in West Southeast Maluku. With the Masela Block, it is possible to distribute gas as a basic need through exploration and exploitation, the process of distributing gas in the Masela Block to one of the nearest islands, namely Yamdena Island, should apply the onshore concept because in general it is more efficient than the gas capacity in the Masela Block and is more economical requires a lot of money, so the role of the subsea pipeline has a big contribution in gas transportation from the Masela Block to Yamdena Island. For that effective route planning needs to be investigated further. The purpose of this study is to find an effective Subsea Pipeline route from the Masela Block to Yamdena Island, by planning 3 routes from the Masela Block location to Yamdena Island, route 1 is 151 km from the Masela Block refinery to Yamdena Island, route 2 is 1f57 km and route 3 is 150 km using a bathymetry map. In determining the effective route using the MCDM method, type WPM (Weight Product Model) route 2 with a large ranking number 3 times in a row with a ranking value, the initial analysis ranking value, the highest value on route 2 with a value of 0.388, sensitivity analysis 1 highest value is on route 2 with a value of 0.377, sensitivity analysis 2 has the highest ranking value on route 2 of 0.414, and sensitivity analysis 3 has the highest value on route 1 ranking with a value of 0.431. This shows that the presentation of the appearance of route 2 is the optimum route to plan in accordance with the results of determining the criteria for route distance, depth, earthquakes, waves, wind, temperature and currents, and from the results of the analysis of the four route determinations it can be concluded that the determination criteria are influential or sensitive to determining the route, namely the criteria for route distance, depth traversed by the route, earthquakes, waves and currents.

**Keywords:** Gas, Masela Block, Optimization, Route, Subsea Pipeline

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Gas Bumi.....	4
2.2 <i>Subsea Pipeline</i> .....	6
2.3. Variabel Perencanaan Rute <i>Subsea Pipeline</i> .....	7
2.3.1 Variabel Internal .....	8
2.3.2 Variabel Eksternal .....	13
2.4 Sejarah Blok Masela .....	14
2.4.1 Letak Geografis .....	15
2.4.2 Kondisi Iklim Blok Masela .....	15
2.5 Disain Rute Pipa Bawah Laut .....	16
2.5.1 Jalur Pipa.....	16
2.5.2 Batimetri.....	18
2.5.3 Desain Rute .....	18
2.5.4 Radius Kelengkungan <i>Pipeline</i> .....	20
2.6 Metode Analisis Pemilihan Jalur Efektif.....	20
2.6.1 Kriteria Pemilihan Jalur Optimal.....	20
2.6.2 Metode MCDM (Multi Criteria Decision Making) .....	21
2.6.3 Weighted Product Model (WPM) .....	23
2.6.4 Analisis Sensitivitas .....	24

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	26
3.2 Jenis Penelitian .....	26
3.3 Penyajian Data .....	26
3.4 Metode Pengambilan Data.....	27
3.5 Alur penelitian.....	27
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Lokasi Perencanaan Rute.....	30
4.2 Batimetri .....	31
4.3 Gelombang.....	33
4.3.1 Prediksi Gelombang Ekstrem di Blok Masela.....	33
4.3.2 Tekanan Eksternal Pipa .....	36
4.4 Jarak.....	37
4.4.1 Radius Kelengkungan Jalur Minimum .....	42
4.4.2 Perhitungan <i>Free Span</i> Pipa.....	43
4.5 Arus dan Angin.....	44
4.6 Suhu Permukaan Laut .....	47
4.7 Gempa Bumi dan Tsunami .....	47
4.8 Analisis Penetapan rute dengan menggunakan Metode <i>Weighted Product Model</i> (WPM).....	49
4.8.1 <i>Range</i> Jarak Rute .....	49
4.8.2 <i>Range</i> Kedalaman Rute.....	50
4.8.3 <i>Range</i> Data Gempa .....	52
4.8.4 <i>Range</i> Data Gelombang .....	53
4.8.5 <i>Range</i> Data Angin .....	55
4.8.6 <i>Range</i> Data Suhu Permukaan .....	56
4.8.7 <i>Range</i> Data Arus.....	58
4.9 Tahap Penentuan Nilai Bobot W (Kriteria) .....	59
4.10 Penentuan Nilai S (Ternormalisasi).....	61
4.11 Tahap Penentuan Nilai V (Alternatif Rute).....	62
4.12 Analisa Sensitivitas Penetapan Rute.....	63
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Sebaran Cadangan Gas Bumi Indonesia .....	5
Gambar 2. 2 Kurva linierisasi distribusi Weibull Masela .....	9
Gambar 2. 3 Lokasi Geografis Lapangan Gas Blok Masela .....	15
Gambar 2. 4 Ilustrasi Konsep <i>Onshore LNG Plant</i> .....	19
Gambar 2. 5 Ilustrasi Kelengkungan Pipa .....	20
Gambar 2. 6 Struktur MCDM dan MCD-model .....	22
Gambar 3. 1 Batimetri Blok Masela .....	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	29
Gambar 4. 1 Ilustrasi FPSO di Blok Masela lokasi Kilang .....	31
Gambar 4. 2 Batimetri Blok Masela dan Sekitarnya .....	32
Gambar 4. 3 Grafik hubungan antara gelombang dan distribusi kumulatif .....	35
Gambar 4. 4 Peta sebaran gelombang Indonesia dari BMKG .....	36
Gambar 4. 5 Perencanaan rute 1 Blok Masela ke Pulau Yamdena .....	38
Gambar 4. 6 Perencanaan rute 2 dari Blok Masela ke Pulau Yamdena .....	39
Gambar 4. 7 Perencanaan rute dari Blok Masela 3 ke Pulau Yamdena .....	40
Gambar 4. 8 Perencanaan rute dari Blok Masela 3 ke Pulau Yamdena rute 1, rute 2, dan rute 3 .....	41
Gambar 4. 9 Peta Sebaran Angin Indonesia BMKG .....	46
Gambar 4. 10 Peta sebaran permukaan suhu laut Indonesia BMKG .....	47
Gambar 4. 11 Pengambilan Data Gempa Bumi .....	48
Gambar 4. 12 Jarak titik gempa ke rute 1 .....	53



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Kimia Blok Masela .....	16
Tabel 4. 1 Perbandingan antara lokasi awal jalur .....	30
Tabel 4. 2 Data awal sebaran gelombang Blok Masela dalam jangka Panjang .....	33
Tabel 4. 3 Perhitungan Komponen Peluang Kumulatif .....	34
Tabel 4. 4 Perhitungan Variabel linear distribusi Weibull.....	35
Tabel 4. 5 Tekanan pipa dalam kedalaman tertentu.....	37
Tabel 4. 6 Karakteristik <i>Free Span</i> .....	43
Tabel 4. 7 Ketentuan DNV –RP F150 .....	44
Tabel 4. 8 Perhitungan <i>Free Span</i> .....	44
Tabel 4. 9 Data rata-rata angin dan arus Blok Masela dan sekitarnya.....	44
Tabel 4. 10 Klasifikasi aliran arus.....	45
Tabel 4. 11 Data gempa bumi yang terjadi sekitar Blok Masela pada Tahun 2023.....	48
Tabel 4. 12 Data <i>Range</i> Jarak rute .....	49
Tabel 4. 13 <i>Range</i> jarak rute .....	50
Tabel 4. 14 Data <i>Range</i> Kedalaman Rute .....	51
Tabel 4. 15 <i>Range</i> kedalaman rute .....	51
Tabel 4. 16 Data <i>Range</i> Gempa Bumi yang ada di sekitar perencanaan Rute ..	52
Tabel 4. 17 <i>Range</i> jarak gempa ke rute .....	52
Tabel 4. 18 Data <i>Range</i> Gelombang perencanaan Rute.....	53
Tabel 4. 19 <i>Range</i> gelombang (tekanan) rute.....	54
Tabel 4. 20 Data <i>range</i> kondisi angin di Blok Masela dan sekitarnya .....	55
Tabel 4. 21 <i>Range</i> kecepatan angin.....	56
Tabel 4. 22 <i>Range</i> suhu permukaan laut .....	56
Tabel 4. 23 <i>Range</i> suhu permukaan air laut .....	57
Tabel 4. 24 <i>Range</i> arus laut .....	58
Tabel 4. 25 <i>Range</i> arus laut .....	59
Tabel 4. 26 Atribut Perencanaan Rute .....	59
Tabel 4. 27 Atribut Kriteria Penetapan Rute.....	60
Tabel 4. 28 Bobot Kriteria Penetapan Rute.....	60
Tabel 4. 29 Distribusi Nilai <i>Range</i> Kriteria Penetapan .....	61
Tabel 4. 30 Nilai S hasil pangkat bobot dengan distribusi kriteria .....	62
Tabel 4. 31 Nilai V (Rank Tertinggi) .....	63
Tabel 4. 32 Bobot Kriteria Penetapan Rute Analisis sensitivitas 1 .....	64
Tabel 4. 33 Nilai S hasil pangkat bobot analisis sensitivitas 1 dengan distribusi kriteria .....	65
Tabel 4. 34 Nilai V (Rank Tertinggi) analisis sensitivitas 1 .....	66
Tabel 4. 35 Bobot Kriteria Penetapan Rute Analisis sensitivitas 2.....	67
Tabel 4. 36 Nilai S hasil pangkat bobot analisis sensitivitas 2 dengan distribusi kriteria .....	68
Tabel 4. 37 Nilai V (Rank Tertinggi) analisis sensitivitas 2 .....	68
Tabel 4. 38 Bobot Kriteria Penetapan Rute Analisis sensitivitas 3.....	69
Tabel 4. 39 Nilai S hasil pangkat bobot analisis sensitivitas 3 dengan distribusi kriteria .....	70
Tabel 4. 40 Nilai V (Rank Tertinggi) analisis sensitivitas 3 .....	71
Tabel 4. 41 Hasil analisis penetapan rute 1, rute 2 dan rute 3 .....	72

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$\xi$	Parameter bentuk (0,75 sampai dengan 2,0)
$\lambda$	Lamda (Parameter skala = Nilai $x$ )
$H$	Tinggi Gelombang
$H_{w100}$	Kurun Waktu (Kala Ulang)
$P(H)$	Peluang Kumulatif
$x$	Intensitas variabel yang di tinjau
$y$	Kedalaman (m)
$\rho$	Massa jenis air laut (1,025 kg/m <sup>3</sup> )
$g$	Pecepatan Gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
$Pe$	Tekanan Pipa
$R_{min}$	Radius Minimum
$E$	<i>Modulus Young of Steel</i> (200 GPA = 200,000 MPA)
$D$	<i>Pipeline diameter</i> (24 inch = 0.6096 meter) <i>Specified Minimum Yield Strength</i> (diasumsikan menggunakan material API 5L X42, jadi SYMS adalah 42.000 ksi = 290 MPA)
SYMS	
$f$	<i>Safety Factor</i> (assumed to be 15%)
$W_j$	Bobot Kriteria = 1
$S_i$	Distribusi Angka / Angka Ternormalisasi
$V_i$	Vektor (Rangking Angka)
$\alpha$	Kecepatan arus (m/s)
$L$	Panjang gelombang
$Uc$	Kecepatan arus normal ke pipa
$Uw$	Amplitudo kecepatan induksi gelombang signifikan yang normal ke pipa.
$u$	Kecepatan partikel air arah horizontal

$v$	Kecepatan partikel air arah vertikal
$k$	Angka gelombang ( $2\pi/L$ ) (Rad/meter)
$T$	Periode gelombang (s)
$x$	Jarak horizontal
$t$	Waktu (s)
$\sigma$	(sigma) Frekuensi gelombang ( $2\pi/T$ ) (Rad/detik)
$d$	Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

---

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmtullahi Wabarakatuh.*

*Alhamdulillah Robbil Aalamin.*

Puji syukur atas Kehadirat Allah SWT. atas segala nikmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini, salawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Yang telah membawa umatnya ke zaman berpendidikan seperti saat sekarang ini. Penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi Pendidikan S1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan Judul :

“OPTIMASI PENETAPAN RUTE EFEKTIF *SUBSEA PIPELINE* PADA BLOK MASELA KE PULAU YAMDENA”

Pertama-tama, yang teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada kedua orang tua terkasih Bapak **Almarhum Sahiruddin** dan Ibu **Salija**, yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis menempuh pendidikan kuliah sampai pada tahap skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih banyak kepada **ibu** yang telah berperan sebagai Bapak dalam perjalanan hidup penulis, telah memberikan dukungan moril, yang selalu membuat penulis untuk kuat dalam menjalani hidup. Terima kasih kepada saudara **kakak – kakak** tercinta atas dukungan, doa, semangat dan dorongan moril yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.

Keberhasilan skripsi ini, tak luput pula berkat bantuan dari berbagai pihak yang diterima penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih pada pihak-pihak lainnya yang telah membantu terselesaikannya penelitian dan penulisan skripsi ini dengan baik, terutama kepada:

1. Bapak **Ir. Juswan, MT.** selaku ketua labo Manajemen Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan bawah air dan sebagai dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan penulis mulai dari awal penulisan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak **Fuad Mahfud Assidiq ST., MT.** selaku dosen pembimbing II yang di

tengah-tengah kesibukannya dapat meluangkan waktu, pikiran dan bimbingan serta pengarahan mulai dari awal penulisan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.

3. Bapak **Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D** selaku dosen penguji I dan Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** selaku dosen penguji II dan sekaligus sebagai Penasehat Akademik (PA), yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini, serta telah banyak membantu dan memberikan pelajaran serta motivasi untuk terus menjadi pribadi yang kuat dan loyal selama penulis menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. Seluruh **Dosen Pengajar Departemen Teknik Kelautan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengalaman dan ilmunya kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
6. **Seluruh staff tata usaha Departemen Teknik Kelautan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuannya selama penulis menjalankan studi hingga menyelesaikan skripsi ini.
7. **Teman-Teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2019** yang telah menjadi keluarga penulis selama perkuliahan yang selalu memberikan kebahagiaan, motivasi, dukungan, dan candaan selama berkuliah hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
8. **Rekan-rekan Labo MANPRO 2019** yang telah menjadi teman labo selama 4 semester terakhir yang sama-sama berjuang dalam mencapai gelar Sarjana Teknik.
9. Terima kasih kepada **Nadya** yang telah memberikan semangat, motivasi dan dukungan selama penulis memulai pekerjaan tugas akhir hingga terselesaikannya dengan baik.
10. Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan selama proses penulisan dan penyusunan skripsi ini. Semoga Allah Swt. membalas semua kebaikan yang telah di berikan. Aamiin.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu saran dan kritikan penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Semoga tulisan ini

bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya, semoga skripsi ini bisa dikembangkan lagi dengan menggunakan teori-teori pendukung lain.

Gowa, Juli 2023

Jalil

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Gas bumi merupakan sumber daya alam dengan cadangan terbesar ketiga di dunia setelah batu bara dan minyak bumi, gas alam awalnya tidak dikonsumsi sebagai sumber energi karena kesulitan dalam hal transportasi sehingga selalu dibakar ketika diproduksi bersamaan dengan minyak bumi (Syukur, 2015). Sejak 1960 di Indonesia gas alam sudah dimanfaatkan oleh penduduk Indonesia dan perusahaan-perusahaan gas alam mulai dikembangkan. Ini disebabkan seiring berjalannya waktu, kebutuhan gas alam atau gas bumi akan semakin meningkat mengingat gas alam merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia dalam kehidupan sehari-hari. Dengan jumlah penduduk dan intensitas energi yang besar, Indonesia memiliki tantangan untuk memenuhi kebutuhan dan energi dalam negeri (Wibowo & Windarta, 2022).

Adapun dalam proses pendistribusian gas bumi sebagai kebutuhan pokok dilakukan dengan eksplorasi dan eksploitasi, dimana hasil eksplorasi dan eksploitasi tersebut didistribusikan melalui transportasi kapal sebagai sarana yang banyak digunakan. Namun penggunaan kapal membutuhkan waktu yang cenderung cukup lama dan banyak menggunakan biaya yang cukup besar seperti biaya bahan bakar, operasional pelayaran, serta perawatannya.

Penggunaan pipa untuk transportasi gas secara umum lebih ekonomis jika dibandingkan dengan penggunaan kendaraan pengangkut seperti kapal. Selain lebih ekonomis, penggunaan pipa sebagai media penyalur gas bumi juga lebih efisien dari segala kapasitas (Alida, 2019).

Daerah penghasil gas alam di Indonesia adalah Sumatera Selatan, Kalimantan Timur, Jambi, Kepulauan Riau, dan Papua Barat. Pada tahun 2000-an, ditemukan potensi sumber daya minyak dan gas bumi yang terletak di laut Arafura, Maluku yang disebut sebagai Blok Masela. Blok Masela adalah daerah kilang minyak dan gas terbesar di Indonesia yang terletak di Kabupaten Maluku Tenggara Barat yang berbatasan dengan negara Australia dan Timor Leste.

Dengan adanya potensi gas alam yang ada di Blok Masela maka kebutuhan energi di Indonesia akan dapat terpenuhi jika dimanfaatkan dengan baik. Perencanaan rute *subsea pipeline* menjadi salah satu cara untuk menyalurkan gas alam di Blok Masela ke Pulau terdekat yaitu Pulau Yamdena.

Berdasarkan hal tersebut, maka Penulis akan membuat judul penelitian "**Optimasi Penetapan Rute Efektif *Subsea Pipeline* pada Blok Masela ke Pulau Yamdena**". Perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui rute efektif yang direncanakan dari Blok Masela ke Pulau Yamdena.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah Bagaimana penetapan rute efektif *subsea pipeline* dari Blok Masela ke Pulau Yamdena.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mencari rute efektif *subsea pipeline* dari Blok Masela ke Pulau Yamdena .

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Perencanaan rute yang dimaksud mulai dari posisi FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) ke Pulau Yamdena
2. Pada penelitian ini FPSO tidak di desain
3. Pada penelitian ini tidak menghitung analisis kekuatan pipa
4. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan proses instalasi pipa
5. Bentuk riser dari FPSO menuju manifold tidak dimodelkan dan diperhitungkan
6. Kriteria data dalam penetapan rute yang dimaksud yaitu data sekunder dalam hal ini kondisi lingkungan seperti jarak rute yang direncanakan, kedalaman, gempa bumi, gelombang, angin, suhu permukaan laut dan arus.
7. Peletakan ujung rute di kilang LNG darat ke Pulau Yamdena tidak ditentukan.



#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan referensi bagi penelitian yang berhubungan dengan perencanaan rute *pipeline*
2. Memberikan pengetahuan dan wawasan penulis tentang bagaimana merencanakan rute yang efektif *Subsea Pipeline* untuk transportasi gas.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gas Bumi

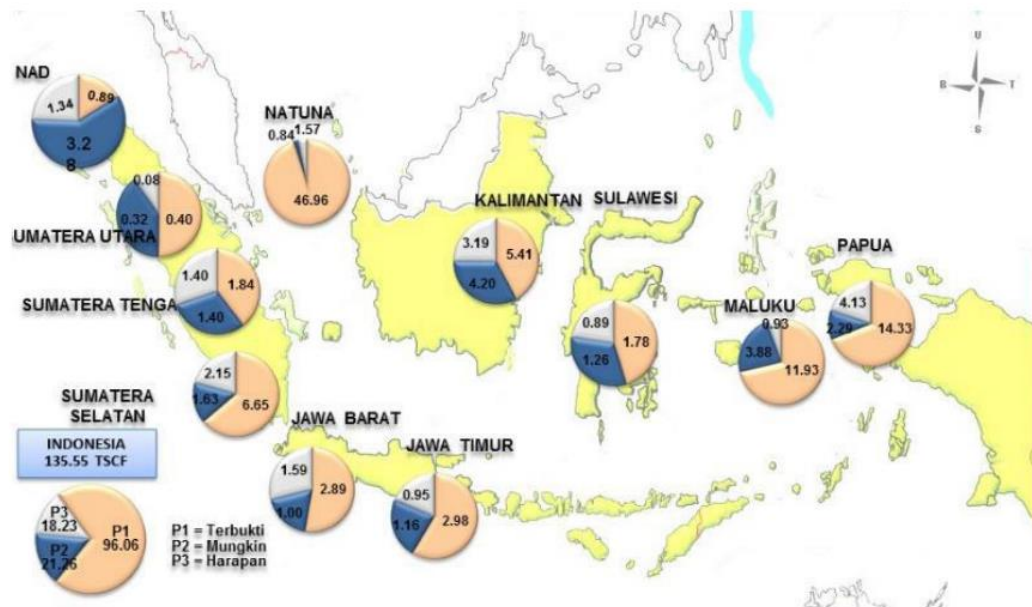
Gas bumi adalah bahan bakar fosil berbentuk gas. Gas bumi sering juga disebut sebagai gas alam atau gas rawa, gas bumi dapat ditemukan di ladang minyak dan juga tambang batu bara. Komponen utama dalam gas bumi adalah ( $\text{CH}_4$ ). Gas bumi juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat, seperti etana, propana, butana (Kementerian ESDM, 2014).

Salah satu sumber daya yang berperan penting dalam kehidupan manusia adalah minyak dan gas bumi. Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang sering digunakan. Di Indonesia, konsumsi minyak dan gas bumi mencapai 53%, sedangkan batubara dan energi terbarukan lainnya 47%, karena Indonesia memiliki wilayah lautan yang lebih luas daripada daratan, maka banyak dilakukan eksploitasi minyak dan gas bumi di wilayah lautan (Sadira et al., 2016).

Pemanfaatan gas alam di Indonesia tidak hanya untuk transportasi dan rumah tangga saja, tetapi sekarang untuk industri. Gas alam di Indonesia memiliki peranan yang cukup dominan setelah peran minyak sebagai sumber energi utama mulai dikurangi. Apalagi dengan komitmen yang diberikan pemerintah dalam *Clean Development Mechanism pada Kyoto Protocol*, gas alam mulai dipilih karena tingkat polusi yang lebih rendah (Syukur, 2015).

Indonesia memiliki cadangan gas bumi sebesar 1,5% dari total cadangan gas dunia. Berdasarkan data 1 per Januari 2018, cadangan gas Indonesia berjumlah 135,55° TSCF tersendiri dari cadangan terbukti (P1) sebesar 99,02° TSCF, cadangan (P2) sebesar 21,26 TSCF dan cadangan harapan sebesar 18,23 TSCF. Cadangan terbukti P1 (*Proved Reserves*) adalah mencakup cadangan yang telah dibuktikan dengan pengeboran dan telah dihitung keekonomiannya sedangkan cadangan P2 (*Pobable Reserves*) dan cadangan harapan P3 (*Posibble Reserve*) adalah cadangan yang berpotensi untuk dikembangkan dan dieksploitasi melalui yang lebih teliti dan menggunakan teknologi yang lebih baik (Wibowo & Windarta, 2022). Eksploitasi dapat diartikan sebagai tindakan berkelanjutan setelah dilakukan eksplorasi dan hasil dari eksplorasi itu menunjukkan adanya sumber minyak dan gas bumi (Firgianto & Djati, 2020)

Cadangan gas bumi Indonesia tersebar di beberapa provinsi dimana cadangan terbesar berada di Provinsi Kepulauan Riau yaitu di Natuna, diikuti Provinsi Papua, Provinsi Maluku dan Provinsi Kalimantan.



Gambar 2. 1 Peta Sebaran Cadangan Gas Bumi Indonesia  
 Sumber : (Dewan Energi Nasional, (2020), dalam (Wibowo & Windarta, 2022)

Ada dua kategori umum gas alam: gas basah dan gas kering yaitu : (A. Astari, 2017)

#### 1 Gas Basah

Gas basah, atau biasa juga disebut *rich* gas, adalah gas alam yang mengandung senyawa penting karbon berat seperti propana, butana dan hidrokarbon cair lainnya yang dapat dicairkan. Istilah karbon berat digambarkan sebagai komponen hidrokarbon yang memiliki komponen lebih berat dari etana (bukan air). Secara geologis, gas basah adalah istilah campuran hidrokarbon yang diambil langsung dari sumur yang mengandung hidrokarbon cair.

#### 2 Gas Kering

Gas kering, atau biasa juga disebut sebagai *lean* gas, adalah gas alam yang mengandung sedikit atau tidak ada hidrokarbon cair (metana dan etana) yang dapat dicairkan. Ini adalah jenis gas Blok Masela, dengan kandungan gas yang tinggi dan tidak ada cairan yang dapat dicairkan. Gas alam tingkat konsumen ini diproduksi dengan memisahkan metana, etana, dan gas berguna lainnya dari gas alam basah pada tahap

pemrosesan. Gas alam harus diolah memenuhi konsentrasi standar yang diizinkan secara komersial dalam hal yang dapat menegotori seperti air, karbondioksida, dan lain-lain. Kemudian gas kering didistribusikan langsung melalui pipa atau diubah menjadi gas cair.

## **2.2 Subsea Pipeline**

Pipa bawah laut digunakan untuk transportasi fluida seperti minyak, gas atau air dalam jumlah besar dan jarak yang jauh melalui laut atau daerah di lepas pantai (Ridwan et al., 2017). Pipa bawah laut merupakan suatu teknologi transportasi yang digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon seperti minyak mentah, gas alam bertekanan tinggi, dan kondensat yang relatif rendah. Fluida yang dibawa pipa bawah laut dalam jumlah besar dan jarak yang jauh dilewatkan melalui jalur laut atau lepas pantai. Pipa bawah laut dapat bekerja 24 jam sehari, 265 hari dalam setahun selama umur pipa yang bisa mencapai 30 tahun atau bahkan lebih.

Pipa didefinisikan sebagai sambungan memanjang segmen pipa, dengan pompa, katup, peralatan kontrol, dan peralatan lain untuk mendukung system (Palippui, 2022). Kebanyakan sistem pipeline hidrokarbon telah dibangun dengan pipa baja karbon. Namun, dalam beberapa kasus bahan baja paduan eksotis seperti *Stainless Steel* atau *Stainless Steel Duplex*, atau bahan serupa, telah digunakan. Kesesuaian material pipa tergantung pada produk kimia yang akan diangkut, tekanan dan temperatur, persyaratan kekuatan selama operasi, dan instalasi dan pengujian. Kimia material baja pipa ditentukan oleh pertimbangan produk kimia, kerentanan material terhadap korosi dan lain-lain. Hal ini selalu dianjurkan untuk mencari saran ahli rekayasa material dalam memilih material pipa. Ini sama pentingnya untuk menjamin kepatuhan terhadap spesifikasi selama pembuatan pipa dan pengujian. Kontrol kualitas sangat penting untuk menghindari kesalahan yang fatal.

Gas pipa adalah gas bumi yang diangkut melalui pipa berdiameter besar dan bertekanan tinggi dari pabrik pengolahan ke pelanggan. Produk ini dianggap sebagai produk transportasi sederhana. Namun, metode ini agak tidak praktis untuk distribusi jarak jauh. Gas yang diangkut wajib disimpan pada suhu dan tekanan tertentu, pada pipa jarak jauh suhu gas cenderung memanaskan akibat gesekan antara gas dan pipa (Syukur, 2015).

Jaringan pipa bawah laut secara umum merupakan media transportasi aliran minyak dan gas bumi. Pipa bawah laut menjadi hal yang penting dalam proses produksi dan gas bumi, sehingga dalam pemasangan maupun perawatannya harus terlebih dahulu direncanakan. Perencanaan konstruksi jaringan pipa yang sudah matang dapat berdampak baik dalam ketahanan dan eksistensi jaringan pipa. Konstruksi jaringan pipa bawah laut merupakan suatu konstruksi yang dapat mengalami fenomena *scouring* akibat pengaruh dari kecepatan arus dan kecepatan orbital gelombang di *seabed* (Nugraha et al., 2012).

Industri minyak dan gas telah membuktikan bahwa menggunakan pipa bawah laut merupakan cara yang paling ekonomis untuk memindahkan fluida dalam skala besar. Hal tersebut dikarenakan operasi penyaluran fluida dengan pipa bawah laut bersifat kontinu dan handal. Pipa bawah laut telah menunjukkan kemampuan untuk bertahan pada berbagai macam kondisi lingkungan yang buruk. Namun, jika pipa bawah laut mengalami kegagalan akan menimbulkan kerugian ekonomi pada lingkungan yang sangat besar, sehingga perancangannya memerlukan banyak analisis (Sibuea et al., 2017).

*Subsea pipeline* merupakan bagian dari sistem pipa yang terletak di bawah permukaan air yang mungkin seluruhnya atau sebagian melayang di atas dasar laut, di dasar laut atau dikubur/ditimbun (*buried*) di bawah dasar laut. Jika *subsea pipeline* menerus ke darat, maka bagian yang terletak di bawah tanda air yang tinggi juga dianggap sebagai *subsea pipeline*. Beberapa peraturan/regulasi menggunakan istilah, *submarine pipeline* daripada *subsea pipeline*.

### **2.3. Variabel Perencanaan Rute *Subsea Pipeline***

Dalam perencanaan sistem perpipaan diperlukan analisis yang disesuaikan dengan kebutuhan guna memprediksi kegagalan yang akan terjadi sehingga mampu dihindari dan diminimalkan. Perancangan sistem perpipaan bawah laut sangat tergantung pada kedalaman, kondisi gelombang dan arus air laut sendiri pada saat kegiatan perancangan dan pemasangan pipa ini juga harus memperhatikan kondisi tegangan yang akan terjadi. Dalam perancangan pipa bawah laut diperlukan variabel-variabel pendukung lokasi perencanaan rute. Variabel diklasifikasikan menjadi 2 yaitu variabel internal dan variabel eksternal.

### 2.3.1 Variabel Internal

Berikut variabel alam yang harus diperhatikan dalam perencanaan rute *subsea pipeline*:

#### 1. Angin (*Wind Loads*)

Angin menyebabkan getaran dan ketidakstabilan karena beban terus menerus yang disebabkan angin contohnya *vortex shedding*. Angin juga harus diperhatikan dalam perancangan karena angin merupakan penyebab terjadinya arus dan gelombang laut sehingga angin penting dalam perencanaan rute.

#### 2. Gelombang (*Waves*)

Gelombang (*Waves*) terjadi pada permukaan laut karena perpindahan energi dari udara (angin) kepada air laut. Gelombang mempunyai pengaruh yang lebih besar pada laut dangkal dibandingkan pada laut dalam. Gelombang internal bisa terjadi di permukaan dan bisa menyebabkan kecepatan tinggi di dasar laut.

Gelombang menjadi salah satu pengaruh penting dalam pembuatan rute *subsea pipeline*, untuk mendapatkan prediksi ekstrim gelombang maka perlu disediakan data informasi mengenai distribusi gelombang dalam kurung waktu panjang. Oleh banyak peneliti di masa lalu telah disampaikan bahwa gelombang laut dalam kurun panjang akan mampu mempunyai distribusi yang dapat didekati oleh distribusi teoritis dari Weibull.

Menurut teori tersebut fungsi kepadatan peluang suatu variabel yang ditinjau dapat dipresentasikan oleh persamaan:

$$P(x) = \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\xi-1} \exp \left\{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\xi}\right\} \quad (2.1)$$

Dimana:

$\xi$  = Parameter bentuk, yang dalam kasus umum dapat mempunyai nilai bervariasi antara 0,75 sampai dengan 2,0. Khusus untuk gelombang laut acak, harga tersebut dapat berkisar antara 0,7 sampai 1,3 pada Almar-Naess (1985), namun beberapa referensi lain mengatakan berkisar antara 0,9 sampai 1,1.

$\lambda$  = Parameter skala yang nilainya tergantung pada nilai maksimum dari variabel  $x$ ; yang mana untuk gelombang laut ini merupakan tinggi

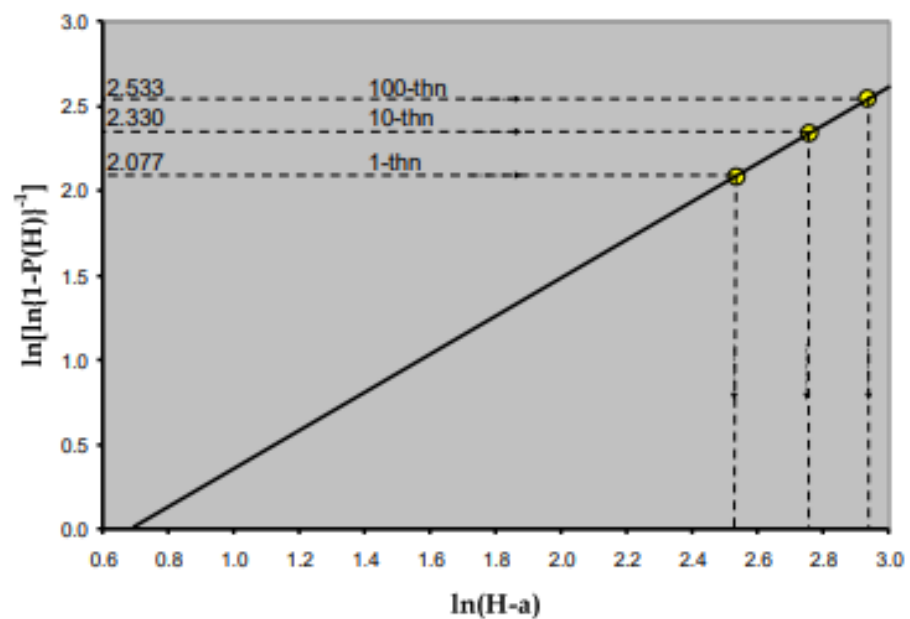
gelombang ekstrim yang terjadi sekali dalam kurun waktu panjang, dalam skala tahunan.

$x$  = Intensitas variabel yang ditinjau, misal yang dikaji adalah tinggi gelombang =  $H$

Jika kepadatan peluang  $p(x)$  digantikan dengan peluang kumulatifnya  $P(x)$ , maka persamaan dapat ditulis dalam linearnya sebagai berikut:

$$\ln \left[ \ln \left\{ \frac{1}{1-P(x)} \right\} \right] = \xi \ln x - \xi \ln \lambda \quad (2.2)$$

Distribusi gelombang dalam kurun waktu panjang dapat dituangkan dalam kurva berbentuk garis lurus jika variabel  $x$  di ruas kiri Persamaan 2.2 diganti dengan notasi  $H$ , dan pada ruas kanannya digantikan  $H - \alpha$ . Variabel  $\alpha$  adalah konstanta yang disebut sebagai ambang tinggi gelombang atau *threshold wave height*, yakni tinggi gelombang terkecil yang selalu terjadi pada perairan yang ditinjau. Untuk suatu perairan dangkal nilai  $\alpha$  sangat kecil dan mendekati nol, namun di perairan yang ekstrim nilainya berkisar 0,5 m sampai dengan 0,2 m, berarti gelombang selalu ada dan relatif besar. Berikut contoh kurva linierisasi distribusi Weibull untuk gelombang dalam kurun waktu panjang.



Gambar 2. 2 Kurva linierisasi distribusi Weibull Masela  
Sumber : (Djarmiko, 2012)

Besar peluang kumulatif  $P(H)$  dapat di hitung dengan mempertimbangkan durasi badai yang akan menimbulkan gelombang ekstrim. Durasi badai besar diperkirakan kurang lebih selama 3 jam. Perhitungan peluang kejadian gelombang ekstrim dalam kurun waktu panjang atau  $P_{LT}(H)$  secara rasional adalah ekuivalen dengan menghitung peluang kejadian semua intensitas gelombang yang mempunyai nilai lebih rendah dari gelombang ekstrim. hal ini dilakukan dengan cara mengurangi peluang pasti terjadi, yakni 1,0. Dengan rasio antara durasi badai  $P_{strom}$  terhadap kurun waktu keseluruhan seperti persamaan berikut :

$$P_{LT}(H) = P[H < H_{LT}] = \frac{T_{strom} (hours)}{T_{LT} (years) \times 365 (days) \times 24 (hours)} \quad (2.3)$$

Misal  $P_{LT}(H)$  diinginkan untuk memperoleh peluang kejadian gelombang ekstrim yang terjadi dalam kurun waktu 100 tahun maka  $P_{100}(H)$ .

### 3. Arus

Arus (*Current*) terdiri dari dua yaitu arus permukaan (*Surface Currents*) dan arus termohalin. Arus permukaan digerakkan oleh angin dan terjadi pada lapisan teratas lautan, yaitu pada kedalaman 1000 meter pertama. Arus termohalin merupakan pergerakan badan air akibat perubahan densitas yang terjadi karena perubahan pada temperatur dan juga salinitas.

Khususnya di Indonesia, pola pergerakan arus sangat dipengaruhi oleh angin musim, pengaruh angin dan pasang surut sangat menentukan besar dan arah arus secara horizontal. Sementara keadaan topografi sangat menentukan arah arus vertikal.

Kecepatan aliran arus pada area perencanaan rute dapat dihitung dengan rasio kecepatan aliran arus Persamaannya sebagai berikut:

$$\alpha = U_c / (U_c + U_w) \quad (2.4)$$

Dimana:

$\alpha$  = Kecepatan arus (m/s)

$U_c$  = kecepatan arus normal ke pipa (m/s)

$U_w$  = Kecepatan induksi gelombang signifikan yang normal ke pipa (m/s)



$U_w$  merupakan kecepatan dan percepatan zat cair, dengan mengetahui kecepatan dan percepatan partikel untuk berbagai kedalaman dan waktu ( $y$  dan  $t$ ). Komponen horizontal dan vertikal kecepatan partikel air ( $u$  dan  $v$ ) (Triatmodji, 2016). Dapat ditentukan dengan Persamaan 2.5 dan 2.6 sebagai berikut:

Dengan menghitung panjang gelombang pada kedalaman tertentu:

$$L = 1,56 T \quad (2.5)$$

Kecepatan partikel air secara horizontal:

$$u = \left(\frac{\pi H}{T}\right) e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos(kx - \sigma t) \quad (2.6)$$

Kecepatan partikel air secara vertikal:

$$v = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (2.7)$$

Dimana:

$u$  = Kecepatan partikel air arah horizontal (m/s)

$v$  = Kecepatan partikel air arah vertikal (m/s)

$k$  = Angka gelombang ( $2\pi$ )

$T$  = Periode gelombang (s)

$x$  = Jarak horizontal

$t$  = Waktu (s)

$\sigma$  = Frekuensi gelombang

$d$  = Kedalaman laut (m)

$H$  = Tinggi gelombang (m)

#### 4. *Soil Conditions*

Kondisi Lapisan Tanah (*Soil Conditions*) mempunyai beberapa karakteristik yang masing-masing sangat mempengaruhi dalam pemasangan pipa bawah laut. Dasar laut yang sempurna yaitu mempunyai permukaan yang rata dan halus sehingga tidak ada rentang (*span*) yang terjadi dan juga terkomposisi dari medium lempung (*clay*) yang stabil.

### 5. *Subsidence*

*Subsidence* atau penurunan permukaan dasar laut bisa terjadi karena beberapa hal. Di lautan, permukaan dasar laut bisa turun karena habisnya cadangan (*reservoir*) minyak/gas bumi. Penurunan permukaan dasar laut sangat dalam perancangan rute karena pergerakan tanah akan mengakibatkan posisi pipa dapat berpindah.

### 6. Penggerusan pipa (*Scouring*)

Penggerusan (*Scouring*) terjadi akibat arus pada dasar laut sangat tinggi sehingga partikel sedimen terbawa arus dan menggesek pipa secara terus menerus. Kontur dasar laut dapat berubah seiring waktu akibat proses penggesekan/penggosokan ketika erosi (*scour erosion*).

### 7. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang terjadi pada kedalaman tertentu akibat berat kolom cairan seperti air laut. Setiap penambahan 10 m kedalaman, tekanan hidrostatik bertambah sebesar 1 atm (*atmosfer standar*). Bisa menyebabkan proses *Buckling* (lekukan) yang terjadi karena gaya tekanan terlalu besar.

Tekanan beban merata pipa diasumsikan dengan menggunakan tekanan eksternal pipa dengan Persamaan 2.5 berikut:

$$Pe = [y + (\frac{H_{w100}}{2})] \rho g \quad (2.8)$$

Dimana :

$Pe$  = Tekanan eksternal pipa untuk kedalaman tertentu

$H_{w100}$  = Tinggi gelombang maksimum 100 tahun

$\rho$  = Massa jenis air laut (1.025 m/s<sup>2</sup>)

$y$  = Kedalaman yang dihitung atau letak pipa di bawah (m)

$g$  = Percepatan gravitasi 10 m/s<sup>2</sup>

### 8. Longsor

Longsor dapat terjadi di dasar laut ketika endapan yang sangat banyak bergerak dan memberi muatan yang lebih pada lereng dasar laut. Selain itu, longsor dapat terjadi juga karena adanya gempa bumi. Longsor yang berhadapan tegak lurus pada pipa bisa memberi tekanan yang sangat tinggi pada pipa sehingga bisa merusaknya. Sedangkan longsor yang sejajar

dengan pipa tidak terlalu berbahaya karena tekanan yang diberikan lebih kecil.

#### 9. Gempa Bumi

Ketika sering terjadi gempa bumi (aktivitas seismik aktif), maka gaya yang terjadi di dalam lapisan tanah (*soil*) akan lebih besar sehingga lebih baik pemasangan pipa tidak di tanam dalam tanah.

### 2.3.2 Variabel Eksternal

Berikut variabel eksternal yang harus diperhatikan dalam perencanaan rute *subsea pipeline*:

#### 1. Instalasi Lepas Pantai

Pipa bawah laut sebaiknya tidak dipasang dekat dengan anjungan minyak dikarenakan akan ada resiko kerusakan dari penjatuhan benda seperti jangkar oleh kapal suplai (*supply vessels*) dan kapal konstruksi (*construction vessels*) serta resiko lainnya yaitu kemungkinan terjadi kebakaran, ledakan, atau kerusakan struktur bangunan pada anjungan minyak yang dapat melibatkan pipa bawah laut terkena dan rusak jadi sebaiknya dicari rute alternatif untuk pemasangan pipa.

#### 2. Pipa dan Kabel

*Existing Pipelines and Cables* merupakan salah satu masalah yang paling sering terjadi. Pipa bisa saling bersilangan satu sama lain, beberapa hal harus diperhatikan seperti pipa tidak dibiarkan merusak pipa lainnya yang di pasang, sehingga tidak ada gangguan yang tidak diinginkan pada sistem proteksi yang ada antar masing-masing pipa, agar tidak ada pipa yang terkena tekanan yang berlebihan atau menjadi tidak stabil akibat kekuatan hidrodinamika.

#### 3. Simulasi latihan militer

Kegiatan militer menggunakan dasar laut dalam bervariasi cara, alat bom dipasang diwaktu perang dan tidak diambil kembali ataupun di-nonaktifkan setelah perang selesai. Bahan peledak dan pemicu tetap sensitif dan bom mungkin bisa terbawa arus sehingga bisa bertabrakan dengan pipa. Beberapa area digunakan untuk latihan artileri dan pengeboman, hal ini membuat resiko pada pipa menjadi lebih tinggi sehingga sebaiknya daerah ini dihindari.

#### 4. Daerah Pembuangan

Karena dasar laut digunakan sebagai tempat pembuangan untuk berbagai macam material seperti limbah lumpur, limbah kimia, limbah nuklir, amunisi peninggalan masa perang, hingga barang yang sudah tidak terpakai seperti kapal maupun reaktor nuklir, maka sebaiknya daerah ini dihindari karena akan berpotensi untuk merusak pipa karena barang tersebut bisa terbawa arus dan menabrak pipa.

#### 5. Pukat Ikan

Pukat yang menabrak pipa bisa menyebabkan lekukan pada pipa atau kerusakan pada lapisan (*coating*) pipa. Pukat yang ditarik setelah menabrak pipa juga bisa menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada pipa. Kemudian jika pukat tersangkut di bawah pipa, kekuatan perusak akan sama besar dengan kekuatan untuk memutuskan kawat pukat.

#### 6. Jangkar

Jika jangkar (*anchor*) jatuh dan ditarik (*dragged*), maka akan menyebabkan kerusakan pada bagian sepanjang permukaan pipa seperti kebocoran dan mungkin bisa terjadi hanya pada permukaan pipa. Dan jika jangkar langsung jatuh dan tidak ditarik langsung (*dropped*), kerusakan akan lebih dalam namun tidak lebih panjang. Pipa sebaiknya tidak diletakkan dekat dengan aktivitas penjatuhan jangkar (biasanya dekat dengan pelabuhan) (Sadira et al., 2016).

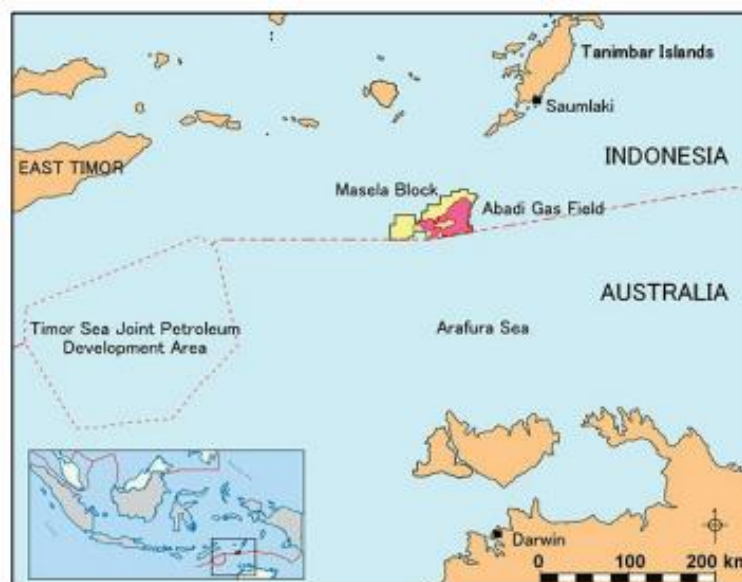
### 2.4 Sejarah Blok Masela

Pada awal eksplorasinya pada tahun 1998, 100% total interest Blok Masela dimiliki oleh INPEX Masela, Ltd. melalui penawaran terbuka. *Production Sharing Contract* (PSC) diberikan pada tanggal 16 November 1998 oleh pemerintah Indonesia selama 30 tahun. Pada bulan Februari dan Maret tahun berikutnya, eksplorasi dilakukan dengan menggunakan kapal laut seismik 2D bernama *Geco Rho*. Selanjutnya pada Desember 2000, Lapangan Gas Abadi ditemukan melalui pemboran sumur eksplorasi pertama yang disebut sumur eksplorasi Abadi-1 dengan menggunakan *Rig Energy Searcher*. Sedangkan kapal laut PGS *Ramform Challenger* digunakan untuk melakukan survei seismik 3D pada Juli hingga September 2001 (Astari Handini, 2017). Adanya gas dan kondensat yang terkonfirmasi di reservoir menandai penemuan pertama

hidrokarbon di Laut Arafura dan membuka era baru eksplorasi di perairan dalam Indonesia Timur.

#### 2.4.1 Letak Geografis

Gas Abadi Blok Masela terletak di Laut Arafura yang merupakan Laut Tenggara terjauh di Indonesia, serta berada dekat perbatasan dengan negara tetangga, Timor Leste dan Australia. Secara astronomis, koordinat Blok Masela berkisar antara  $08^{\circ} 05' 25.29''$  –  $08^{\circ} 13' 58.94''$  Lintang Selatan dan  $129^{\circ} 48' 11''$  –  $129^{\circ} 56' 9.55''$  Bujur Timur. Secara geografis, blok ini terletak dekat dengan Laut Babar di sebelah Utara, Laut Timor di sebelah Selatan, serta Laut Arafura di sebelah Timur dan Barat. Perkiraan luas blok ini sekitar  $4.291 \text{ km}^2$ , dimana terletak sekitar 800 km timur Kupang, Indonesia; dan 400 km utara Darwin, Australia (Astari Handini, 2017).



Gambar 2. 3 Lokasi Geografis Lapangan Gas Blok Masela  
Sumber : (Astari Handini, 2017)

#### 2.4.2 Kondisi Iklim Blok Masela

Berdasarkan studi reservoir INPEX, kualitas reservoir di dalam batupasir kuarsarenit dari Formasi Plover mengikuti interaksi kompleks dari pengaturan kontrol pengendapan primer dan pengaruh diagenesis selanjutnya. Secara umum kualitas waduk secara keseluruhan beragam mulai dari kualitas baik hingga buruk, sedangkan kualitas waduk yang sangat baik dapat ditemukan

pada kedalaman lebih dari 3.400 meter. Berikut kandungan kimia pada Blok Masela :

Tabel 2. 1 Kandungan Kimia Blok Masela

Komposisi	Molaritas (%)
N <sub>2</sub>	0.933
CO <sub>2</sub>	9.291
C <sub>1</sub>	81.49
C <sub>2</sub>	4.288
C <sub>3</sub>	1.512
i- C <sub>4</sub>	0.296
n- C <sub>4</sub>	0.143
i- C <sub>5</sub>	0.187
n- C <sub>5</sub>	0.157
C <sub>6</sub>	0.230
C <sub>7+</sub>	1.474
H <sub>2</sub> S	0.001
Total	100

Sumber : (Komposisi Gas Waduk Masela, 2016)

Komponen zat kimia pada blok Masela tercantum pada Tabel 2.1 di atas. Pada tabel tersebut disebutkan bahwa kandungan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) mencapai 9% dari reservoir. Iklim Indonesia tergolong tropis, begitu pula di Maluku. Pada musim kemarau curah hujan jauh lebih sedikit dibandingkan pada musim hujan, Provinsi Maluku memiliki suhu rata-rata tahunan sebesar 25,6°C curah hujan.

## 2.5 Disain Rute Pipa Bawah Laut

### 2.5.1 Jalur Pipa

Jalur pipa akan diarahkan untuk menghubungkan FPSO dan Kilang LNG darat. Untuk mengevaluasi kemungkinan rute, beberapa pertimbangan harus diambil. Setiap pilihan jalur memiliki permasalahan lokasi masing- masing, sehingga ada pertimbangan menjadi pilihan driver ketika memilih rute yang paling memungkinkan.

Pipa bawah laut merupakan cara pendistribusian yang efektif dan efisien karena pipa bawah laut akan tetap berada di bawah laut dengan jalur tertentu

yang menghubungkan oil rig dengan tempat penyimpanan minyak tersebut, sehingga tidak perlu ada biaya bahan bakar seperti pada kapal tanker dan waktu pendistribusian akan lebih cepat dan pendistribusian dapat dilakukan terus menerus tanpa harus menunggu kapal tanker datang (Sadira et al., 2016).

Beberapa pertimbangan yang digunakan dalam pemilihan rute adalah sebagai berikut:

1. Lokasi rute awal dibuat sedekat mungkin dengan lokasi konsumen dengan dasar penekanan *cost* pembangunan jalur pipa. Semakin panjang rute yang tidak ekonomis maka akan menurunkan nilai kelayakan proyek.
2. Lokasi rute awal memperhatikan lokasi titik suplai dan infrastruktur gas yang telah ada agar in point dan out point yang telah existing pada konsumen dapat dipergunakan.
3. Total panjang rute diusahakan sekecil mungkin agar memiliki panjang rute terpendek dengan tetap memperhatikan lokasi persebaran permintaan dan infrastruktur gas.
4. Rute yang dilalui sepanjang perairan harus memiliki aktivitas yang rendah untuk mencegah timbulnya kerusakan terhadap pipa dikarenakan aktivitas, seperti penurunan jangkar, aktivitas penangkapan ikan dengan menggunakan bahan peledak (Saputra, 2010).

Berdasarkan kondisi desain tekanan dan temperatur yang terjadi pada lokasi perencanaan rute, banyak hal-hal yang perlu ditinjau dalam perencanaan dengan berbagai pertimbangan yang mengacu pada standar ASME dan API seperti pemilihan ketebalan pipa atau *schedule*, dan perhitungan jarak antara *support*. Kemudian dalam perancangan juga melakukan analisis tegangan untuk mengevaluasi bagian-bagian pada sistem perpipaan tersebut apakah aman atau terjadi kegagalan. Apabila melebihi tegangan yang diijinkan maka perlu dilakukan revisi atau penyesuaian pada rancangan agar tidak terjadi kegagalan (Prahasto et al., 2016).

Jalur pipa banyak digunakan untuk mengangkut minyak & gas dari sumur ke area pengolahan. Ini mempertimbangkan cara paling ekonomis untuk mengangkut hidrokarbon dalam jumlah besar. Untuk mengangkut gas pada rute jarak jauh dipasang beberapa stasiun kompresor di jalur gas untuk menjaga tekanan dan temperatur. Karena produk dari Blok Masela adalah gas dan kondensat dengan kandungan CO<sub>2</sub> yang tinggi, jaringan pipa dibangun dengan

ketahanan karbon yang memungkinkan dengan ukuran bervariasi dari diameter 20 inci hingga lebih dari 60 inci.

Perancangan sistem perpipaan bawah laut sangat tergantung pada kedalaman, kondisi gelombang dan arus air laut. Jenis beban yang sering terjadi pada sistem perpipaan bawah laut adalah jenis beban dinamik akibat dari pengaruh arus dan gelombang laut yang bisa berubah-ubah setiap waktu. Perancangan pipa bawah laut juga harus memperhatikan faktor-faktor seperti beban yang harus ditanggung pipa, efek tekanan dan ekspansi panas di sekitar pipa, dan temperatur pipa (Prahasto et al., 2016).

### 2.5.2 Batimetri

Batimetri menurut Setiyono (1996) yaitu ilmu yang mempelajari pengukuran kedalaman lautan, laut atau tubuh perairan lainnya, dan peta batimetri adalah peta yang menggambarkan perairan serta kedalamannya.

Penentuan jalur peletakan pipa bawah laut memerlukan berbagai pertimbangan, sebelum memilih jalur peletakan pipa bawah laut, harus ditentukan terlebih dahulu kedalaman yang akan dijadikan sebagai *Single Point Mooring* (SPM). *Single point mooring* merupakan titik tempat tambat kapal saat kapal

Menurut Soegiono (2006) rute langsung dan terdekat merupakan yang terbaik, maka jalur pipa bawah laut yang dipilih adalah jalur yang memiliki jarak terpendek dari lokasi depot ke SPM.

### 2.5.3 Desain Rute

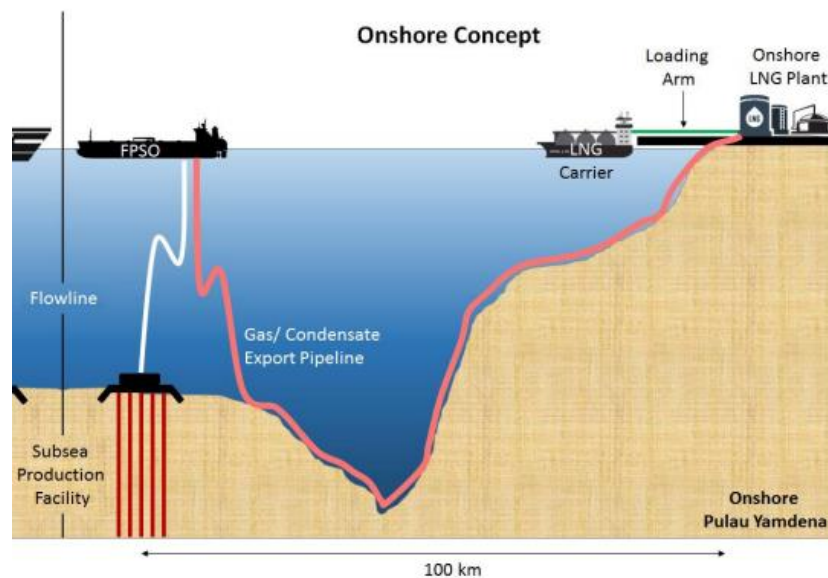
Ada beberapa masalah desain yang harus dipertimbangkan saat memilih rute jalur pipa. Kriteria Pemilihan Jalur Optimal Berikut adalah kriteria jalur perpipaan optimal. *Buckling* (berubah dari bentuk aslinya) adalah keadaan dimana pipa tidak bulat atau berubah bentuk oleh tekanan hidrostatis yang besar pada kedalaman tertentu.

*Buckling* adalah penjalaran deformasi bentuk pada penampang pipa yang memanjang dan merambat sepanjang pipa. Energi yang menyebabkan perambatan ini adalah tekanan hidrostatis. *Buckling* terjadi karena adanya tekanan yang dapat menyebabkan propagasi *buckling* lebih besar dari tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah terjadinya pergerakan atau perpindahan. Kondisi pecah adalah kondisi kegagalan pipa dalam menahan tegangan kerja



pipa. Terjadi pecah karena tegangan kerja telah mencapai titik keruntuhan pada grafik tegangan regangan. Pecahnya pipa dapat terjadi tanpa adanya cairan di dalamnya.

Bagian terpenting dalam pengembangan lapangan adalah merancang konfigurasi fasilitas produksi. Konfigurasi lapangan didasarkan pada persyaratan fungsional yang digerakkan sehubungan dengan batasan teknis dan ekonomi. Berikut contoh gambaran ilustrasi konsep *onshore*, Ini termasuk fasilitas *subsea*, FPSO, *Pipeline*, serta Kilang LNG di darat.

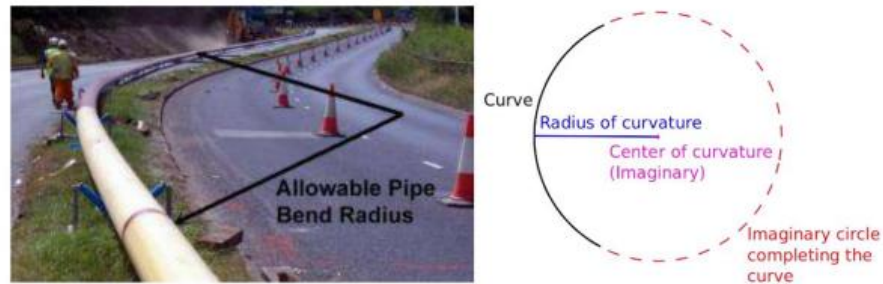


Gambar 2. 4 Ilustrasi Konsep *Onshore LNG Plant*  
Sumber : (Astari Handini, 2017).

FPSO adalah suatu berbentuk kapal yang digunakan untuk memproduksi, menyimpan, dan membongkar produk. FPSO Masela pada konsep onshore dikategorikan sebagai FPSO sederhana tanpa kemampuan pengolahan gas yang kompleks. Ini akan menerima gas mentah dari fasilitas produksi bawah laut dan memisahkan komponen kondensat dan gas. Gas tersebut akan dialirkan ke Kilang LNG darat melalui pipa. Sementara kondensat akan distabilkan dan diekstraksi di FPSO. Jadi singkatnya, FPSO Masela hanya akan memproduksi kondensat dan menyimpannya hingga proses pemuatannya ke kapal.

### 2.5.4 Radius Kelengkungan *Pipeline*

Dasar laut bersifat dinamis, sehingga tidak mungkin untuk memasang pipa lurus di laut. Untuk menghindari beberapa bahaya seperti perbedaan batimetri, jalur pipa harus sedikit melengkung. Pembatasan radius bengkok itu disebut radius kelengkungan. Berikut ilustrasi kelengkungan Pipa



Gambar 2. 5 Ilustrasi Kelengkungan Pipa  
Sumber : (Astari Handini, 2017)

Radius Minimum Kelengkungan,  $R_{min}$  – Persamaan Tegangan Tekuk

$$R_{min} = \frac{E.D}{2f \times SYMS} \quad (2.5)$$

Dimana :

$E$  = *Modulus Young of Steel* (200 GPA = 200,000 MPA)

$D$  = *Pipeline diameter* (24 inch = 0.6096 meter)

$f$  = *Safety factor* (assumed to be 15%)

$SYMS$  = *Specified Minimum Yield Strength* (diasumsikan menggunakan material API 5L X42, jadi SYMS adalah 42.000 ksi = 290 MPA)

## 2.6 Metode Analisis Pemilihan Jalur Efektif

### 2.6.1 Kriteria Pemilihan Jalur Optimal

Berikut adalah kriteria jalur perpipaan optimal menurut.

1. Jalur terpendek, idealnya berupa garis lurus. Jalur pipa yang lebih pendek akan meminimalkan penggunaan material hingga penggunaan tongkang atau peletakan kapal. Secara implisit, pemilihan jalur terpendek akan meminimalkan biaya ekonomi. Selain itu, jalur yang pendek akan mengurangi efek *headloss* akibat gesekan fluida dengan permukaan bagian dalam pipa, akibat belokan, dan lain sebagainya.

2. Kemudahan pemasangan. Pada beberapa kondisi khususnya kondisi batimetri, pengaruh terhadap cara pemasangan semakin signifikan. Keamanan dalam hal ini adalah tingkat ketelitian dengan pemilihan rute yang telah ditentukan. Pada perbukitan dasar laut, diperlukan ketelitian yang tinggi untuk menempatkan pipa pada jalur yang telah ditentukan. Ini juga membutuhkan koreksi pra-layan dan pasca-layan.
3. Jalan yang paling aman. Tingkat keamanan jalur tergantung pada kondisi batimetri. Dasar laut yang relatif datar adalah rute yang disukai untuk jalur pipa yang aman karena mengurangi risiko bentang bebas dan VIV (*Vortex-Induced Vibration*).

### 2.6.2 Metode MCDM (Multi Criteria Decision Making)

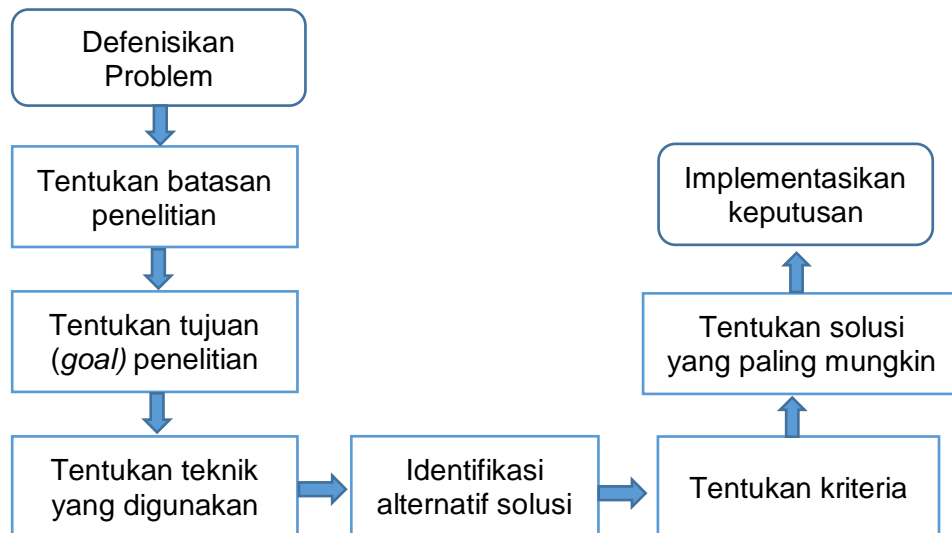
*Multi Criteria Decision Making* (MCDM) merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam area pengambilan keputusan. Tujuan MCDM adalah memilih alternatif terbaik dari beberapa alternatif eksklusif yang saling menguntungkan atas dasar performansi umum dalam bermacam kriteria (atau atribut) yang ditentukan oleh pengambil keputusan. MCDM memiliki dua kategori yakni *Multiple Objective Decision Making* (MODM) dan *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) (Syafnidaniwati, 2020).

*Multiple Objective Decision Making* (MODM) adalah suatu metode dengan mengambil banyak kriteria sebagai dasar dari pengambilan keputusan yang didalamnya mencakup masalah perancangan (*design*), dimana teknik-teknik matematik untuk optimasi digunakan dan untuk jumlah alternatif yang sangat besar (sampai dengan tak terhingga). *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) adalah suatu metode dengan mengambil banyak kriteria sebagai dasar pengambilan keputusan, dengan penilaian yang subjektif menyangkut masalah pemilihan, dimana analisis matematis tidak terlalu banyak dan digunakan untuk pemilihan alternatif dalam jumlah sedikit (Hasurgian, 2011).

Secara umum teknik MCDM didasarkan pada matrik yang menggambarkan bahwa terdapat N kriteria (C) dan M alternatif (A), dimana m skor alternatif dari n dibandingkan m kriteria.

Berdasarkan prosesnya implementasi MCDM pada agroindustri secara umum mencakup 8 tahapan, yaitu pendefinisian problem penelitian dan aturan, penentuan tujuan, mengidentifikasi solusi, mengevaluasi kriteria, menentukan teknik yang akan digunakan, implementasi teknik, survei pakar/pengumpulan

data, analisis data sesuai dengan teknik yang digunakan, menentukan solusi yang paling mungkin, dan pada bagian akhir implementasi hasil. Pendefinisian matriks keputusan MCDM secara lengkap pada tabel berikut :



Gambar 2. 6 Struktur MCDM dan MCD-model  
Sumber : (Diadaptasi dari: Jaya, 2020)

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah MCDM, antara lain sebagai berikut:

1. *Simple Additive Weighting Method (SAW)*

Adalah salah satu metode yang digunakan untuk memecahkan masalah keputusan multi-atribut

2. *Weighted Product Model (WPM)*

Metode pengambilan keputusan multi-kriteria/pengambilan keputusan multi-kriteria yang yang disediakan secara manual dengan perhitungan matriks

3. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*

Bagian dari teknik pengambilan keputusan multi-kriteria analitik. Ide pokok dari teknik ini, alternatif yang disukai adalah alternatif yang paling dekat dengan solusi ideal positif dan semakin jauh dengan solusi ideal negatif.

4. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Adalah metode untuk mengatur dan menganalisis keputusan yang kompleks, menggunakan matematika dan psikologi. Metode ini

dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an dan telah disempurnakan sejak saat itu (Syafnidaniwati, 2020).

### 2.6.3 Weighted Product Model (WPM)

Weighted Product Method (WPM) merupakan salah satu metode yang digunakan pada MCDM. Metode ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sistem pendukung keputusan, WPM dapat membuktikan proses penyeleksian produk berbasis teknologi berupa *notebook* dengan hasil yang optimal (Diana & Seprina, 2019). Langkah-langkah pada *Weighted Product Method* adalah sebagai berikut :

Dalam penentuan suatu keputusan dapat dinyatakan sebagai bentuk matriks dan setiap baris  $i$  sesuai dengan jaringan kandidat  $i$  dan setiap kolom  $j$  sesuai dengan atribut.

- a. Metode weighted product (WP) menggunakan perkalian untuk menghubungkan rating atribut, dimana rating setiap atribut harus dipangkatkan dulu dengan bobot atribut yang bersangkutan.
- b. Proses ini sama halnya dengan proses normalisasi.
- c. Preferensi untuk alternatif  $A_i$  diberikan sebagai berikut :

1. Penentuan nilai bobot  $W$

Pada tahap ini menentukan variabel kriteria dengan beberapa rute yang telah direncanakan.

$$W_j = \frac{w_j}{\sum w_j} \quad (2.6)$$

$W_j$  adalah pangkat bernilai positif untuk atribut keuntungan, dan pangkat bernilai negative untuk atribut biaya.

2. Penentuan nilai bobot  $S$

Pada tahap ke 2 ini mencari nilai  $S$  ternormalisasi dari setiap alternatif yang ada, dengan menggunakan 3 persamaan yang telah Kita bahas pada bagian sebelumnya.

$$S_i = \prod_{j=1}^n X_{ij}^{W_j} \quad (2.7)$$

Dimana  $S_i$  adalah Hasil normalisasi keputusan pada alternatif ke- $i$ ,  $X_{ij}$  adalah Rating Alternatif per atribut,  $i$  adalah alternatif,  $j$  adalah atribut,  $\prod_{j=1}^n X_{ij}$  dan adalah perkalian rating alternatif per atribut dari  $j = 1 - n$ , Pada alternatif ini dimana  $\sum W_j = 1$ .

### 3. Penentuan nilai bobot $V$

Tahap 3 merupakan tahap terakhir, yaitu mencari nilai  $V$ , dari tahap terakhir ini akan mendapatkan hasil alternatif yang terbaik.

$$V_i = \frac{\prod_{j=1}^n X_{ij}^{W_j}}{\prod_{j=1}^n X_{ij} * W_j} \quad (2.8)$$

Dimana,  $V_i$  merupakan hasil preferensi alternatif ke- $i$  dan  $\prod_{j=1}^n X_{ij} * W_j$  merupakan perjumlahan hasil perkalian rating alternatif per atribut.

Pemilihan metode *Weighted Product (WP)* didasarkan juga atas kemampuannya dalam memberikan solusi optimal dalam sistem pemeringkatan. Pemilihan metode ini juga didasarkan atas kompleksitas komputasi yang tidak terlalu sulit sehingga waktu yang dibutuhkan dalam menghasilkan perhitungan relatif singkat. Metode *Weighted Product (WP)* juga telah banyak digunakan sebagai referensi dalam sistem pemeringkatan dan Sistem Penunjang Keputusan (SPK) (Basri, 2017).

#### 2.6.4 Analisis Sensitivitas

Nilai-nilai parameter dalam studi ekonomi teknik biasanya diestimasikan besarnya maka jelas nilai-nilai tersebut tidak akan bisa dilepaskan dari faktor kesalahan. Artinya, nilai-nilai parameter tersebut mungkin lebih besar atau lebih kecil dari hasil estimasi yang diperoleh atau berubah pada saat-saat tertentu. Perubahan-perubahan yang terjadi pada nilai-nilai parameter tentunya akan mengakibatkan perubahan-perubahan pula pada tingkat *output* atau hasil yang ditunjukkan oleh suatu alternatif. Perubahan-perubahan tingkat *output* atau hasil ini memungkinkan keputusan akan berubah dari suatu alternatif ke alternatif lainnya. Apabila berubahnya faktor-faktor atau parameter-parameter akan mengakibatkan berubahnya suatu keputusan maka keputusan tersebut dikatakan sensitif terhadap perubahan nilai parameter-parameter atau faktor-faktor tersebut.

Untuk mengetahui seberapa sensitif suatu keputusan terhadap perubahan factor-faktor atau parameter-parameter yang mempengaruhinya maka setiap pengambilan keputusan pada ekonomi teknik hendaknya disertai dengan analisa sensitivitas. Analisa ini akan memberikan gambaran sejauh mana suatu keputusan akan cukup kuat berhadapan dengan perubahan faktor-faktor atau parameter-parameter yang mempengaruhi.

Analisa sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu saat untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi. Parameter-parameter yang biasanya berubah dan perubahannya bisa mempengaruhi keputusan-keputusan dalam studi ekonomi teknik adalah ongkos investasi, aliran kas, nilai sisa, tingkat bunga, tingkat pajak dan sebagainya (Sufa, 2007).