



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KEEKONOMIAN JARINGAN PIPA
TRANSMISI GAS
LABUHAN MARINGGAI KE MUARA BEKASI
MELALUI JALUR LEPAS PANTAI**

SKRIPSI

SONNY DWI SEPTIANTO

0806368881

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KEEKONOMIAN JARINGAN PIPA
TRANSMISI GAS
LABUHAN MARINGGAI KE MUARA BEKASI
MELALUI JALUR LEPAS PANTAI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

SONNY DWI SEPTIANTO

0806368881

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2011**

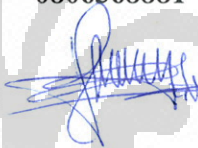
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Sonny Dwi Septianto

NPM : 0806368881

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sonny Dwi Septianto

NPM : 0806368881

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Keekonomian Jaringan Pipa Transmisi Gas

Labuhan Maringgai ke Muara Bekasi Melalui Jalur Lepas Pantai

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Budiarmo, M.Eng

(.....)

Penguji I : Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng

(.....)

Penguji II : Ir. Warjito, M.Eng, Phd.

(.....)

Penguji III : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 JULI 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
3. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 13 Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah

ini:

Nama : Sonny Dwi Septianto

NPM : 0806368881

Program Studi : Sarjana Ekstensi

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“ANALISIS KEEKONOMIAN JARINGAN PIPA TRANSMISI GAS
LABUHAN MARINGGAI KE MUARA BEKASI MELALUI
JALUR LEPAS PANTAI”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juni 2011

Yang menyatakan :



(Sonny Dwi Septianto)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Perhitungan optimasi digunakan sebagai data dasar dalam analisis keekonomian, untuk memberikan gambaran seluruh biaya selama investasi. Dan juga manfaat yang diperoleh selama investasi, pajak dan tingkat pengembalian, baik tingkat pengembalian internal IRR maupun tingkat pengembalian minimum MARR. Kemudian ditutup dengan perbandingan manfaat terhadap biaya B/C, sebagai kesimpulan layak atau tidaknya proyek tersebut dikerjakan.

Kata kunci; offshore pipeline design, optimasi, biaya investasi, manfaat, IRR, MARR, B/C.

ABSTRACT

Optimization calculations are used as basic data in economic analysis, to presents of all costs for investment. And also the benefits for investment, and tax returns, whether internal rate of return IRR and on a minimum rate of return MARR. Then closed with a benefit cost ratio B / C, as a conclusion whether this project is feasible.

Key words; offshore pipeline design, optimization, investation cost, benefit, IRR, MARR, B/C.

Daftar Isi

Singkatan.....	xii
Simbol-simbol.....	xii
Simbol-simbol Dengan Huruf Yunani	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Ruang Lingkup Permasalahan.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penulisan	6
1.5. Metode Penyelesaian.....	7
BAB II	8
TEORI DAN ANALISIS DIMENSI PIPA	8
2.1. Gambaran Umum Jaringan Pipa.....	8
2.2. Parameter Desain Dimensi Pipa.....	11
2.3. Aliran dalam Pipa.....	14
2.4. Dimensi Pipa	16
2.5. Kestabilan Pipa Bawah Laut	23
BAB III	41
OPTIMASI DAN ANALISIS KEEKONOMIAN	41
JARINGAN PIPA	41
3.1. OPTIMASI	41
3.1.1. Umum	41
3.1.2. Prosedur Optimasi	41
3.1.3. Fungsi-fungsi yang Digunakan.....	47
3.2. ANALISIS KEEKONOMIAN	50

a. Tingkat Pengembalian Internal (<i>Internal Rate Of Return</i>)	52
b. Net Present Value (NPV)	53
c. Tingkat Pengembalian Minimum Yang Diinginkan (<i>Most Attract Rate of Return/MARR</i>).....	53
d. Perbandingan Manfaat Terhadap Biaya (<i>Benefit/Cost Ratio</i>)	54
e. Biaya Operasional	55
f. Biaya Bunga	56
g. Biaya Depresiasi	56
h. Tingkat Diskonto.....	57
i. Analisis Resiko	57
BAB IV	58
ANALISIS OPTIMASI DAN KEEKONOMIAN	58
4.1. Optimasi Dimensi Jaringan Pipa	58
4.2. Analisis Keekonomian	66
1. Analisis Bill of Quantity	66
2. Analisis Rekapitulasi Capital Expenditure (Capex)	68
3. Analisis Rekapitulasi Operational Expenditure (Opex)	70
4. Analisis Rekapitulasi Depresiasi (Metode Double Declining Balance)	
72	
5. Skema Pembagian Produksi Pemerintah – PGN	74
6. Rekapitulasi Aliran Kas	76
BAB V	81
KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1. Optimasi Dimensi Jaringan Pipa	81
5.2. Analisis Keekonomian Jaringan Pipa	82
Daftar Referensi	83

Lampiran 1 Analisis Stabilitas Jaringan Pipa Transmisi Gas Labuhan Maringgai ke Muara Bekasi.....	85
---	----

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Jalur Pipa Transmisi Gas SSWJ II (Sumber: PGN 2009)	2
Gambar 1.2 Diagram alir analisis keekonomian proyek jaringan pipa distribusi gas	7
Gambar 2.1 Klasifikasi <i>offshore pipeline</i> berdasarkan fungsinya.....	9
Gambar 2.2 <i>Seamless pipeline</i>	9
Gambar 2.3 Electric Resistance Welded pipeline	10
Gambar 2.4 Proses pabrikasi pipa yang dilas spiral.....	11
Gambar 2.5 Aliran hidrodinamik disekitar pipa (sumber: Subsea Pipelines & Riser, Y.Bai et.al, El Sevier 2005).....	24
Gambar 2.6 Gaya-gaya hidrodinamik pada pipa (Y.Bai et.al, 2005).....	25
Gambar 2.7 Penampang Lapisan Pipa	28
Gambar 2.8 Ilustrasi pusaran (Vortex Shedding) yang terjadi disekitar pipeline (A.H. Mouselli, 1981).....	30
Gambar 2.9 Grafik variasi Bilangan Strouhal terhadap Bilangan Reynolds	31
(A.H. Mouselli, 1981).....	31
Gambar 2.10 Grafik variasi Bilangan Strouhal terhadap Koefisien Hambat (A.H. Mouselli, 1981).....	32
Gambar 2.11 Macam-macam Buckling Pipa (A.H. Mouselli, 1981)	35
Gambar 2.12 Ilustrasi deformasi yang akan terjadi ketika pipa melalui palung...	39
Gambar 2.13 Ilustrasi deformasi yang akan terjadi ketika pipa melalui gundukan	40
Gambar 3.1. Diagram alir analisis keekonomian proyek jaringan pipa distribusi gas	51
Gambar 4.1 Skema pembagian hasil produksi antara Pemerintah - PT. PGN.....	75

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Disain Faktor Klasifikasi Lokasi.....	19
Tabel 2.2 Faktor Temperatur Derating.....	19
Tabel 2.3 Faktor Penyambungan Longitudinal.....	20
Tabel 2.4 Hubungan Bilangan Reynolds dengan C_D , C_L , dan C_M	27
Tabel 2.5 Koefisien gesek berdasarkan tipe tanah.....	28
Tabel 4.1 Kasus yang Dianalisis.....	59
Tabel 4.2 Rekapitulasi Nilai w	63
Tabel 4.3 Rekapitulasi nilai U	64
Tabel 4.4 Resume Analisis Optimasi Dengan Asumsi Diameter Berbeda.....	65
Tabel 4.5 Bill of Quantity.....	66
Tabel 4.6 Rekapitulasi <i>Capital Expenditure</i>	68
Tabel 4.7 Rekapitulasi <i>Opertional Expenditure</i>	70
Tabel 4.8 Rekapitulasi Depresiasi (metode <i>double declining balance</i>).....	72
Tabel 4.9 Rekapitulasi aliran kas.....	77
Tabel 5.1 Kesimpulan hasil optimasi dimensi terhadap debit aliran fluida dalam pipa.....	81
Tabel 5.2 Kesimpulan analisis keekonomian terhadap optimasi dimensi pipa....	82

DAFTAR SINGKATAN & SIMBOL

Singkatan

Capex	Capital expenditure	[\$MM]
IRR	Internal rate of return	[%]
MARR	Minimum attractive rate of return	[%]
Opex	Operational expenditure	[\$MM]
SMYS	specified minimum yield strength	[kg/mm ²]

Simbol-simbol

a	Amplitudo gelombang	[m]
a _p	Konstanta Phillips'	-
B	Buoyancy	[N]
B/C	Perbandingan manfaat dengan biaya	-
c	faktor kondisi pipa	-
C	Konstanta kondisi pipa	-
C _M	Koefisien inersia	-
D	Diameter luar nominal	[inch]
d	Kedalaman perairan	[m]
e	Kekasaran material	[m]
E	Faktor penyambungan longitudinal	-
EI	Kekakuan pipa	[Nm ²]
f _n	Frekuensi natural pipa	[cps]
f _s	Frekuensi vortex shedding	[cps]
f ₀	Faktor <i>collapse</i>	-
F	Faktor klasifikasi lokasi	-
F _D	Gaya hambat (<i>drag force</i>)	[N]
F _i	Gaya inersia	[N]
F _r	Gaya tahan lateral	[N]
g	percepatan gravitasi	[kg.m/s ²]
g _p	Parameter cacat pipa	-
G	Specific gravity	-

H	Tinggi gelombang	[m]
i	bunga	[%]
I	Momen inersia	[m ⁴]
j	Faktor koreksi beda tinggi	-
k _i	Hubungan disperse laut dalam	-
L	Panjang gelombang	[m]
L _e	Panjang efektif pipa	[m]
M	Kombinasi massa pipa dan massa tambahan	[kg]
N	Lama investasi	[tahun]
N _p	Jumlah variabel dalam persamaan	-
P _{avg}	Tekanan rata-rata	[psig]
P _b	Takanan dasar	[psig]
P _c	Tekanan kritis buckling	[psig]
P _d	Disain tekanan internal	[psig]
P _e	Tekanan eksternal	[psig]
P _{el}	Batas tekanan eksternal	[psig]
P _p	Tekanan penyebaran	[psig]
P' _y	Tekanan leleh material terkoreksi	[psig]
P ₁	Tekanan pada titik tinjau 1 (<i>upstream</i>)	[psig]
P ₂	Tekanan pada titik tinjau 2 (<i>downstream</i>)	[psig]
r	radius	[mm]
R	pengembalian (<i>revenue</i>)	[\$MM]
S	Bilangan Strouhal	-
S _y	Tegangan leleh pipa	[N/m ²]
T _{op}	Temperatur Operasi	[Celcius]
T	Faktor derating Temperatur	-
T _p	Term persamaan	-
t	Waktu	[detik]
t _a	Tebal dinding (<i>wall thickness</i>) yang diijinkan	[mm]
t _{nom}	Tebal dinding nominal	[mm]
T _a	Aksial tension	[kg]
T _y	Yield tension	[kg]

U_e	Kecepatan efektif partikel air	[m/s]
ν	Viskositas kinematik	-
W	Berat total pipa dalam air	[N]
W_c	Berat coating	[N]
W_f	Berat fluida dalam pipa	[N]
W_h	Berat total pipa yang dipindahkan oleh air laut	[N]
W_s	Berat efektif pipa	[N]
W_w	Berat lapisan beton dalam air	[N]
x	perambatan panjang gelombang	[m]

Simbol-simbol Dengan Huruf Yunani

α	Sudut fasa	[radian]
γ	Parameter puncak JONSWAP	-
ϵ_b	Regangan tekuk	-
ϵ_B	Regangan tekuk akibat gagal buckling	-
δ_0	Insial diameter	[mm]
ω	Frekuensi angular	[rad/s]
ω_p	Frekuensi angular puncak spectral	[rad/s]
$\Delta\omega$	Selisish konstanta antara frekuensi suksesif	-
σ	Parameter lebar spectral	-
θ	Sudut kemiringan permukaan dasar laut	[deg]
μ	Koefisien Gesek	-
μ_s	Koefisien kekasaran dasar laut	-
ν	Poisson's ratio	-
ρ	density fluida dalam pipa	[kg/m ³]
ρ_c	density coating pipa	[kg/m ³]
ρ_{laut}	density air laut	[kg/m ³]
ρ_s	density baja	[kg/m ³]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan BBM sebagai rantai energi telah mencapai titik kritis yang sejak cadangannya semakin menipis karena eksplorasi secara besar-besaran. Tingkat ketergantungan yang tinggi akan sumber bahan bakar ini memaksa Indonesia harus mengimpor lebih banyak lagi BBM, tentu, dengan harga yang lebih tinggi. Hal inilah yang mendorong pencarian energi alternatif sebagai pengganti BBM guna mencegah adanya krisis energi lebih lanjut. Gas alam adalah sumber energi pengganti terbaik bagi BBM. Karena sifatnya ramah lingkungan, dan harga yang ditawarkan lebih murah dibandingkan dengan BBM.

Hal ini berimbas pada perusahaan pembangkit listrik yang beroperasi dengan menggunakan bahan bakar solar (diesel). Pembangkit Listrik Tenaga Gas Muara Tawar merupakan bagian dari pembangkit listrik yang mensuplai kebutuhan listrik Jawa-Bali dengan kapasitas 920 MW yang awalnya beroperasi menggunakan bahan bakar solar. Dengan kenaikan harga bahan bakar minyak dunia, dan menipisnya cadangan minyak di Indonesia, membuat pembangkit ini mengalihkan sebagian operasinya dengan bahan bakar gas.

Jaringan pipa transmisi SSWJ II ini dirancang melintasi Sumatera Selatan–Jawa Barat, adalah jawaban atas naiknya permintaan gas dalam jumlah besar bagi pembangkit ini demi ketersediaan energi listrik.



Perancangan jaringan pipa transmisi dilakukan untuk mensuplai gas alam dari Conoco Phillips *Gas Plant* Grissik, yang berada di Sumatera Selatan menuju Pembangkit Listrik Muara Tawar, di Bekasi Jawa Barat.

Pemilihan jalur lepas pantai ini dipilih karena tidak ada alternatif lain untuk mensuplai gas secara menerus yang lebih murah dan tidak terpengaruh terhadap cuaca selain dengan pipa bawah laut.

Kondisi desain untuk laut dangkal menjadi kondisi desain laut dalam memerlukan beberapa perhitungan parameter tertentu, diantaranya *external pressure*, *material grade*, *fatigue* dan *geo-hazards*. Disamping itu, proses instalasi, kondisi operasi dan aspek pemeliharaan perlu diperhitungkan berkenaan dengan penambahan kedalaman laut yang sangat signifikan.

Analisis dimensi dan kehandalan jaringan pipa dibuat untuk menentukan parameter tujuan yang akan dicapai. Sebab dimensi sangat berpengaruh terhadap jumlah aliran rata-rata sesuai dengan permintaan pada daerah yang akan dituju, seiring dengan jumlah tekanan rencana demi terjaganya kehandalan jaringan pipa transmisi sesuai dengan yang direncanakan.

Permasalahan selanjutnya adalah penilaian jaringan pipa transmisi tersebut dari sisi ekonominya. Penilaian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar dana yang akan dikeluarkan untuk membuat jaringan pipa transmisi ini,

sebab proyek seperti ini akan memakan biaya yang sangat besar. Sehingga apabila dilaksanakan perlu adanya keseimbangan aliran dana, jangan sampai apa yang telah diinvestasikan dalam proyek tersebut tidak dapat kembali sesuai dengan apa yang diharapkan.

Penting untuk dicatat, pembangunan proyek seperti ini melibatkan investor yang akan menanamkan modalnya. Sehingga tidak semata membutuhkan analisis teknis, tetapi juga analisis keekonomian. karena dua faktor mendasar yang ingin diketahui oleh seorang investor, pertama dia ingin mengetahui apakah proyek, tempat dimana dia berinvestasi, itu menguntungkan atau tidak. Kemudian pertanyaan selanjutnya adalah, anggap saja proyek tersebut menguntungkan, berapa lamakah modal yang digunakannya dalam berinvestasi akan kembali.

Pada perhitungan kelayakan keekonomian menggunakan dua jenis analisis, yaitu analisis mikro dan analisis makro. Analisis mikro mencakup tingkat pengembalian internal (*Internal Rate Of Return*), *net present value* (NPV), dan tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (*Most Attract Rate of Return/MARR*). Ketiga faktor tersebut dijadikan dasar kelayakan dalam berinvestasi pada harga *toll fee* (dalam konteks ini adalah harga yang terbentuk pada saat fluida yang akan dijual mengalir dalam jaringan pipa). Sedangkan tinjauan analisis makro dilakukan dengan meninjau perbandingan manfaat terhadap biaya (*Benefit/Cost Ratio*).

1.2. Ruang Lingkup Permasalahan

Dalam laporan studi ini, penulis akan membahas analisis keekonomian jalur pipa transmisi gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi. Dengan cara membandingkan diameter nominal, ketebalan dinding pipa yang paling efisien terhadap debit yang dihasilkan, dan analisis pengecekan terhadap stabilitas pipa terhadap gelombang pada saat pipa tersebut berada di dasar laut. Kemudian menentukan estimasi Capex dan Opex pada jalur pipa yang telah ditentukan, sehingga didapatkan estimasi investasinya.

Untuk itu diperlukan analisis-analisis penunjang seperti :

1 Perhitungan awal disain

Perhitungan awal disain ini meliputi penentuan diameter, ketebalan dinding pipa (*wall thickness*) dan pengecekan terhadap *buckling* selama pipa tersebut diinstal dan dioperasikan.

2 Analisis stabilitas pipa yang direncanakan.

Pada analisis ini nantinya dihasilkan apakah pipa tersebut cukup stabil atau tidak selama masa operasi nanti. Dengan tujuan, apakah pipa tersebut memerlukan pemberat seperti halnya *concrete coating* ataukah cukup stabil tanpanya.

3 Analisis estimasi biaya *Capex*

Analisis estimasi biaya *Capex* ini meliputi estimasi biaya pekerjaan perencanaan yang akan dilakukan oleh konsultan teknis dan dilanjutkan dengan perhitungan biaya pekerjaan instalasi jalur pipa oleh kontraktor yang merujuk pada cakupan pekerjaan, *Material Take Off*, Spesifikasi material, penawaran dari vendor, dan pekerjaan *commissioning* dan *decommissioning*.

4 Analisis estimasi biaya *Opex*

Analisis estimasi biaya *Opex* mencakup biaya operasional, yaitu berdasarkan biaya langsung seperti pengeluaran dari gaji pegawai, bahan bakar untuk operasional instalasi, *royalty*, biaya pemeliharaan selama jalur pipa ini digunakan dan biaya tak langsung seperti biaya *overhead*.

5 Analisis Metode Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return*)

Pada analisis tingkat pengembalian internal ini, nantinya dapat menentukan berapa tingkat pengembalian yang paling menarik (*Minimum Attractive Rate of Return*) dari proyek selama masa operasionalnya dengan disesuaikan terhadap rasio tingkat suku bunga.

6 Analisis *Benefit/Cost* (B/C)

Dari analisis-analisis di atas, akan terlihat berapa biaya perencanaan, konstruksi & instalasi, juga biaya operasional & *maintenance* sesuai dengan umur rencana jalur pipa tersebut. kemudian dianalisis perbandingan antara keuntungan (*benefit*) dan biaya (*cost*). Tujuan analisis ini adalah untuk menghasilkan seberapa besar perbandingan diantara keduanya yang akhirnya kita dapat menarik kesimpulan apakah proyek tersebut layak dikerjakan, dengan syarat mengikuti seluruh spesifikasi teknik seperti merujuk pada data penunjang. apabila perbandingan antara keuntungan (*benefit*) dan biaya (*cost*) lebih besar dari 1 (satu), maka proyek dengan spesifikasi teknik tersebut, akan digunakan sebagai dasar perencanaan dan pembangunan lebih lanjut.

Untuk menganalisis semua lingkup dalam skripsi ini digunakan metode iterasi, terhadap properti pipa dengan menggunakan *Microsoft excel* dan *software* penunjang lainnya, sesuai dengan langkah-langkah yang telah ditentukan di atas.

Yang akhirnya kita mampu menarik kesimpulan mengenai keekonomian dari jalur pipa yang akan dikerjakan.

1.3. Batasan Masalah

Mengingat kompleksnya permasalahan dan keterbatasan waktu untuk menyelesaikan tugas ini, maka pembatasan masalah dan penggunaan asumsi dalam menganalisis, perhitungan keekonomian jalur pipa transmisi gas Labuhan Maringgai–Muara Bekasi melalui jalur lepas pantai, agar pembahasan lebih terarah.

Adapun batasan dan asumsi masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

- 1 Sumber suplai gas diperoleh dari pipa transmisi utama Sumatera Selatan-Jawa Barat dengan *landing point* Muara Bekasi *Gas Plant*, Jawa Barat.
- 2 Temperatur gas dalam system pipa transmisi dianggap konstan, yaitu 35⁰C tidak dipengaruhi suhu lingkungan.
- 3 Perancangan dilakukan dengan tanpa mempertimbangkan aksesoris pipa yang lebih rinci.
- 4 Seluruh analisis keekonomian diasumsikan dengan nilai kekinian (*Present Worth Value*).
- 5 Tingkat suku bunga yang berlaku adalah tingkat suku bunga 9%.
- 6 Perancangan tidak mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan

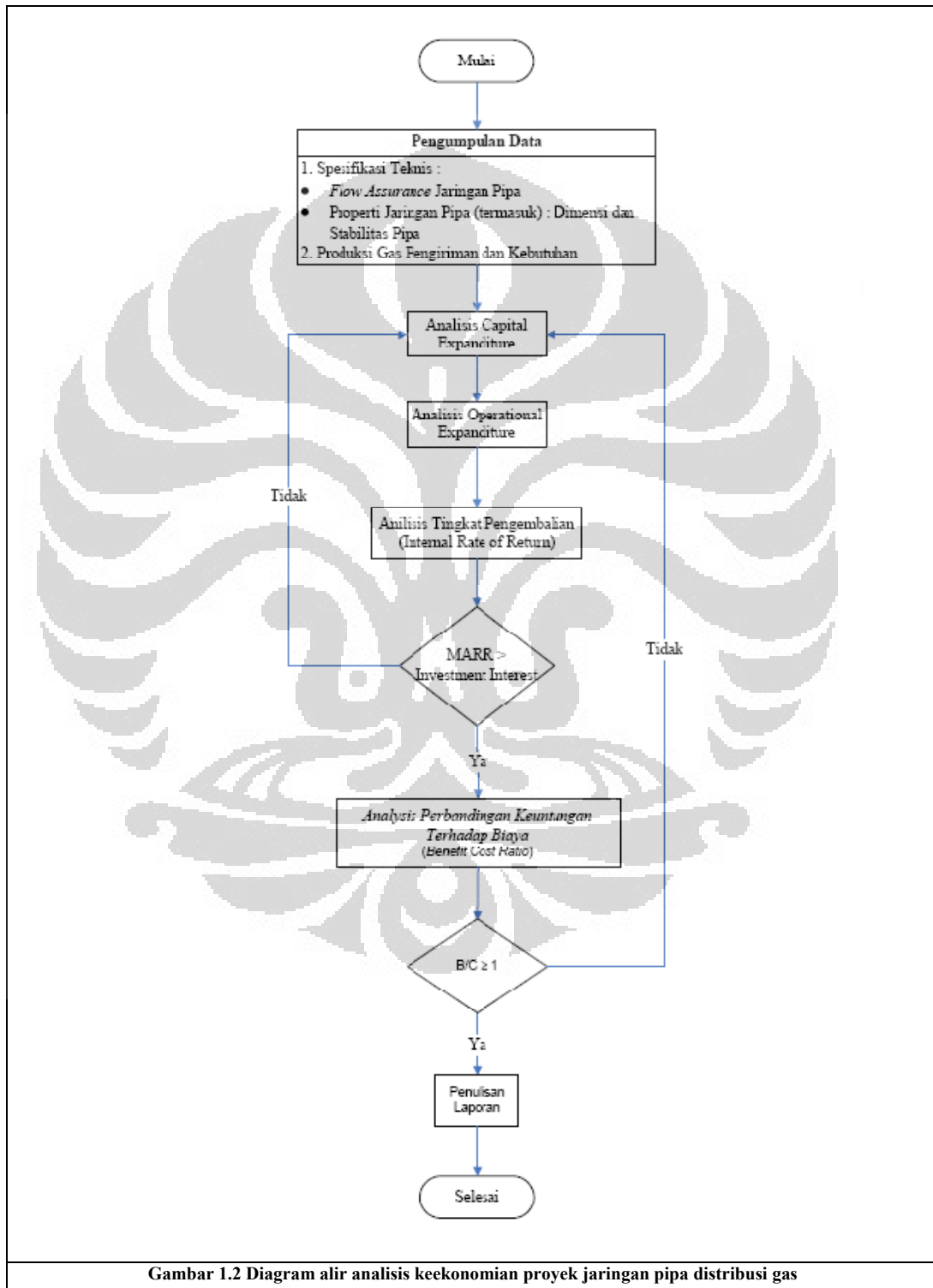
1.4. Tujuan Penulisan

Tugas ini bertujuan untuk :

- 1 Melakukan analisis optimasi dari pembuatan jalur pipa tersebut selama masa konstruksi untuk menjamin kehandalan dan operasional nantinya, terhadap dimensi pipa, ketebalan dinding pipa, dan stabilitas pipa.
- 2 Membuat analisis keekonomian, sehingga didapatkan jaringan pipa yang efisien.

1.5. Metode Penyelesaian

Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah studi literatur. Sebagai acuan dalam melakukan pembahasan masalah dalam tugas akhir ini diterangkan dalam diagram alir berikut ini:



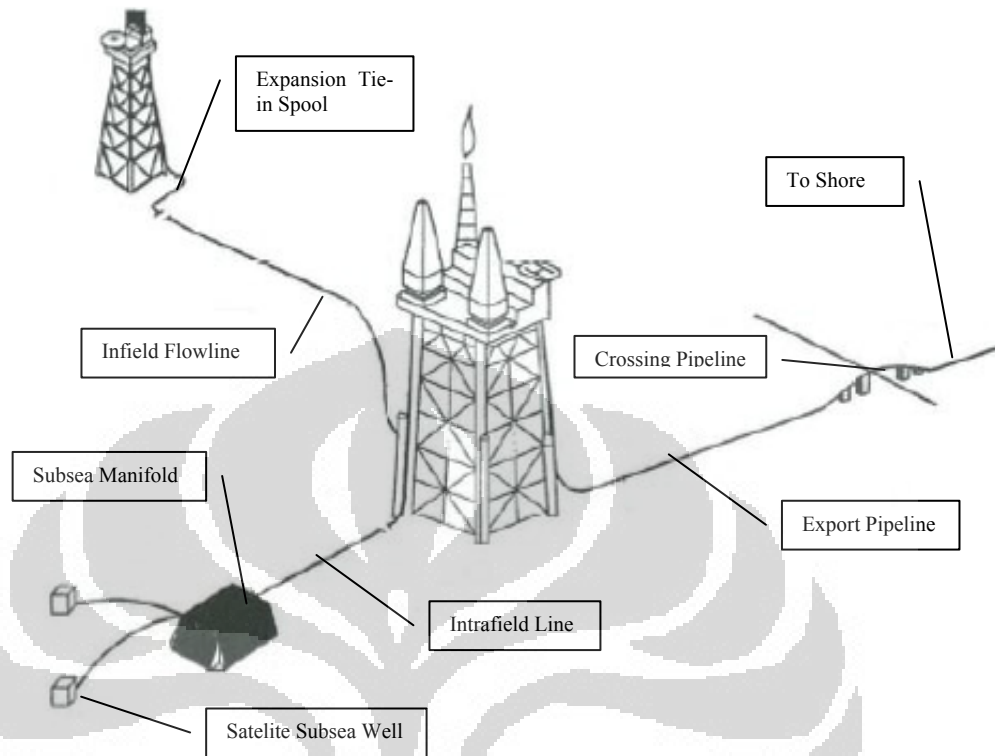
BAB II

TEORI DAN ANALISIS DIMENSI PIPA

2.1. Gambaran Umum Jaringan Pipa

Teknologi jaringan pipa, khususnya pada jaringan pipa lepas pantai, ikut berkembang sejalan dengan teknologi pertambangan lepas pantai. Dimana manusia dapat membangun terminal produksi, sehingga prosesnya dapat langsung berjalan dilapangan. Untuk itu dibutuhkan jaringan pipa yang dibentangkan antara sumur ke fasilitas produksi, atau dari fasilitas platform produksi yang satu ke fasilitas platform produksi lainnya, dan bahkan dialirkan ke darat dari fasilitas produksi lepas pantai. Hal ini membuat jaringan pipa lepas pantai diklasifikasikan dalam beberapa kriteria:

- *Intrafield Line*, adalah sebuah jaringan pipa yang menghubungkan antara platform dan *subsea manifold*. Jaringan pipa ini beroperasi pada tekanan reservoir, atau dengan kata lain tidak ada tambahan tekanan dari pompa atau kompresor.
- *Gathering Lines/Infield Flowlines*, yaitu jaringan pipa yang menghubungkan antara platform (*multiwell*) dengan platform yang lainnya dan biasanya fluida dialirkan menuju dimensi pipa yang lebih besar. Jaringan pipa ini dapat berupa gabungan minyak, gas, kondensat, atau aliran dua fase. Jaringan pipa dengan klasifikasi ini biasanya bekerja pada tekanan 1000-1400 psi yang dihasilkan dari tekanan pompa atau kompresor yang dipasang pada platform.
- *Trunk Line/Export Pipeline*, merupakan jaringan pipa yang menangani kombinasi aliran dari satu atau banyak platform ke darat.
- *Loading Line*, adalah jaringan pipa yang fungsinya memuat atau mengosongkan dari platform ke fasilitas produksi. Diameter yang digunakan bisa besar atau kecil, dan hanya memuat liquid saja (A.H.Muselli, 1981).



Gambar 2.1 Klasifikasi *offshore pipeline* berdasarkan fungsinya

Adapun tipe pipa yang digunakan untuk jaringan pipa adalah:

1. *Seamless pipe*

Adalah jenis pipa yang dibuat dari besi bulat pejal yang dibentuk sedemikian rupa sehingga menjadi bentuk pipa. Pipa jenis ini memiliki dimensi 1/8 hingga 26 OD.



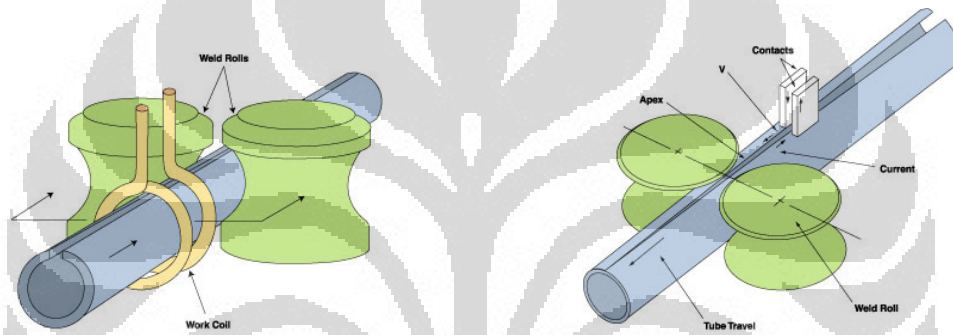
Gambar 2.2 *Seamless pipeline*

2. *Submerged arc Weld (SAW)*

Adalah pipa yang dibentuk dari plat datar kemudian dibengkokan sehingga menjadi bentuk pipa dengan bantuan *pipe mill*. Kemudian di sambung dengan metode *submerged arc weld*, sehingga terlindung dari udara luar.

3. *Electric Resistance Welded (ERW)*

Adalah pipa yang dibentuk dari plat datar yang dihubungkan dengan pengelasan *butt weld* dengan induksi frekuensi tinggi.



Gambar 2.3 Electric Resistance Welded pipeline

4. *Spiral Weld*

Pipa dengan spiral weld jarang sekali dipakai dalam industri minyak dan gas, karena sampai sekarang masih sulit menemukan metode pabrikasinya agar dapat menjamin keakuratan dimensi pipa tersebut (General Electric).



Gambar 2.4 Proses pabrikasi pipa yang dilas spiral

Biasanya tipe jaringan pipa yang digunakan adalah tipe *Seamless* atau *Submerged Arc Welded* (SAW). Cuma pipa tipe *Seamless* ini biasanya digunakan untuk diameter 12 inch ke bawah. apabila menggunakan pipa tipe ERW, dibutuhkan inspeksi khusus seperti *full body ultrasonic test*. Dan pipa tipe spiral tidak biasa digunakan untuk industri migas, dan seharusnya digunakan hanya pada jaringan-jaringan yang bertekanan rendah seperti air bertekanan rendah (Boyun Guo, Dr. (et.al), 2005).

2.2. Parameter Desain Dimensi Pipa

Seorang insinyur jaringan pipa penting untuk memahami lingkungan yang seperti apa yang akan dihadapi jaringan pipa tersebut selama diinstal dan dioperasikan. Seberapa dalamkah jaringan pipa tersebut diinstal nantinya, seberapa besar gelombang yang akan terjadi selama jaringan pipa tersebut beroperasi. Dan semua parameter di atas berefek pada desain mekanikal pada sistem jaringan pipa yang akan dirancang.

Adapun data-data yang dibutuhkan:

i. Performa Reservoir

Bagaimana performa reservoir selama umur ladang tersebut memiliki pengaruh pada jaringan pipa yang akan didisain dan dioperasikan nantinya. Karena berbeda debit aliran gas dan liquid yang dialirkan akan berpengaruh terhadap kelakuan aliran di dalam jaringan pipa itu sendiri.

- Tekanan & Temperatur Reservoir

Tekanan dan temperatur reservoir berpengaruh terhadap disain jaringan pipa selama operasi nantinya. Tekanan reservoir akan berpengaruh langsung terhadap tekanan *wellhead*, sehingga tekanan operasi akan naik/turun mengikuti tekanan reservoir.

Sedangkan temperatur reservoir juga mempunyai efek terhadap bahan yang akan digunakan sebagai jaringan pipa. Semakin tinggi temperaturnya, maka menuntut material yang sesuai dengan temperatur tersebut. Akhirnya biaya yang digunakan semakin besar.

- Formasi Reservoir

Pengaruh formasi reservoir berpengaruh terhadap berapa banyak pasir yang terbawa selama operasi jaringan pipa tersebut.

- Profil Produksi

Profil produksi juga ikut berpengaruh, masalahnya air juga akan tercipta selama operasional jaringan pipa karena umur sumur. Mungkin pada awal umur sumur air yang terbawa akan sedikit sekali, namun seiring bertambah usia sumur dan metode penggunaan air untuk mendorong isi reservoir pada sumur yang sudah tua, akan mempengaruhi jumlah air yang mengalir dalam jaringan pipa.

ii. Komposisi Fluida & Air

Komposisi fluida dan air mempengaruhi umur jaringan pipa. Karena keduanya menyebabkan korosi di dalam jaringan pipa akibat pengaruh kandungan CO₂ dan H₂S. sehingga perlu metode pencegahan, baik dengan penambahan *Corrosion Resistance Alloy* dalam material jaringan pipa atau dengan menyuntikan cairan kimia *corrosion inhibitor*.

iii. Perilaku PVT Fluida

Perilaku PVT fluida yang mengalir di dalam jaringan pipa sangat berpengaruh terhadap dimensi pipa. Karena perilaku fluida *compressible* akan sangat berbeda dengan perilaku fluida *incompressible*. Pada fluida yang *compressible* hanya membutuhkan sedikit kenaikan temperatur T untuk menaikkan tekanan P secara signifikan.

iv. Data Periode Gelombang Laut

Data periode gelombang laut digunakan oleh insinyur jaringan pipa untuk meramalkan gelombang puncak yang akan terjadi selama jaringan pipa tersebut beroperasi. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah jaringan pipa bergetar yang mengakibatkan kegagalan pipa (retak) akibat kelelahan (*fatigue*) material oleh gelombang laut.

v. Data Bathymetri/Data Survey Geometri

Data survey geoteknik menyediakan data-data penting mengenai kondisi dasar laut yang akan berpengaruh terhadap disain dan operasional nantinya. Pengaruh data ini sangat luas, diantaranya adalah:

- Menjadi dasar bagi insinyur untuk menentukan rute jaringan pipa yang akan dibuat.
- Membantu insinyur jaringan pipa dalam menentukan kapan jaringan pipa tersebut tetap pada jalurnya atau harus dibuatkan belokan akibat cacat laut (*seabed pockmark*) yang terlalu besar sehingga akan mempengaruhi aliran fluida dalam pipa.

- Menyediakan informasi penting seberapa banyak palung dan punggung di permukaan dasar laut yang akan dilalui oleh jaringan pipa.
- Data tersebut juga menyediakan informasi data macam-macam lapisan dasar laut, sehingga *engineer* dapat meramalkan apakah pipa tersebut terbenam atau hanya menumpu pada permukaan laut.

2.3. Aliran dalam Pipa

A. Faktor kompresibilitas (*Compressibility factor*)

Konsep dari faktor kompresibilitas atau faktor penyimpangan gas adalah suatu ukuran kedekatan (kemiripan) antara kondisi gas nyata (real gas) dengan kondisi gas ideal. Faktor kompresibilitas (Z) adalah suatu angka tidak berdimensi dengan nilai maksimal 1. Suatu nilai yang tidak bergantung pada kuantitas gas, tetapi tergantung pada parameter gravitasi (G), temperatur dan tekanan gas.

Tersedia suatu grafik yang menggambarkan variasi nilai Z terhadap temperatur dan tekanan.

Nilai Z dapat pula dihitung dengan menggunakan beberapa metode diantaranya metode California Natural Gas Association (CNGA). Metode tersebut merupakan salah satu persamaan yang paling mudah untuk menghitung faktor kompresibilitas berdasarkan data gravitasi (G), temperatur dan tekanan gas.

$$Z = \frac{1}{1 + P_{avg}(344,400)10^{1.785G} / T_f^{3.825}} \dots \dots \dots [2.1]$$

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \left(P_1 + P_2 - \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \right) \dots \dots \dots [2.2]$$

Persamaan tersebut hanya berlaku untuk tekanan gas $P_{avg} > 100$ psia, jika $P_{avg} < 100$ psia maka nilai Z diasumsikan 1.

B. Faktor Friksi

Tahanan dari suatu fluida yang bersinggungan antara fluida dan penampangannya (pipa) dikenal dengan istilah faktor friksi. Dalam mekanika fluida, terdapat dua jenis faktor friksi; *Fanning friction factor* dan *Darcy-Weisbach factor*, atau biasa disebut *Moody friction factor*.

Kedua faktor tersebut memiliki hubungan, dimana *Darcy factor* memiliki nilai empat kali lebih besar dibanding *Fanning factor*.

Pada umumnya *Fanning factor* digunakan dibidang kimia, sedangkan engineering dibidang sipil dan mekanikal menggunakan *Darcy factor*.

Untuk aliran laminer dengan $Re < 2000$, faktor friksi dapat dihitung:

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots [2.3]$$

Faktor friksi untuk aliran laminer hanya tergantung kepada bilangan Reynolds, sedangkan untuk aliran turbulen selain bilangan Reynolds $Re > 4000$, perlu juga memperhitungkan besar diameter dan kekasaran permukaan pipa.

Untuk aliran turbulen, faktor friksi dapat dihitung dengan menggunakan 2 persamaan; Colebrook-White equation atau AGA equation.

Modified Colebrook-White equation

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3.7d} + \frac{2.825}{Re\sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots [2.4]$$

$$F = -4 \log_{10} \left(\frac{e}{3.7d} + \frac{1.4125F}{Re} \right) \dots\dots\dots [2.5]$$

Dimana:

$$F = 2x \frac{1}{\sqrt{f}}$$

American Gas Association (AGA) NB-13

Untuk aliran turbulen penuh:

$$F = 4 \log_{10} \left(\frac{3.7d}{e} \right) \dots \dots \dots [2.6]$$

Untuk aliran turbulen sebagian:

$$F = 4D_f \log_{10} \left(\frac{Re}{1.4125F_t} \right) \dots \dots \dots [2.7]$$

dimana:

$$F_t = 4 \log_{10} \left(\frac{Re}{F_t} \right) - 0.6 \dots \dots \dots [2.8]$$

2.4. Dimensi Pipa

2.4.1 Diameter

Persamaan aliran umum disebut juga sebagai persamaan aliran dasar, yang berhubungan dengan laju aliran, properti gas, ukuran pipa, temperatur aliran, tekanan aliran dari *up stream* hingga *down stream*, kekasaran dalam pipa yang digunakan untuk menghitung faktor friksi maupun faktor transmisi, maupun ukuran diameter dari suatu jaringan pipa yang sangat menentukan nilai jatuh tekanan (*pressure drop*) dari suatu aliran fluida.

$$Q = 38.77F \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f LZ} \right)^{0.5} D^{2.5} \dots \dots \dots [2.9]$$

Panjang saluran yang dipengaruhi oleh beda ketinggian pipa akan mempengaruhi persamaan aliran umum diatas. Pengaruh beda ketinggian antara *up stream* dan *down stream* dari setiap ruas pipa diperhitungkan dengan memodifikasi panjang pipa untuk setiap ruas dalam rentang $P_1^2 - P_2^2$. Jika ketinggian dari *up stream pipe* adalah H_1 dan *down stream* adalah H_2 , panjang ruas pipa L diganti dengan panjang ekivalen L_e , seperti persamaan dibawah ini:

$$L_e = \frac{L(e^s - 1)}{s} \dots \dots \dots [2.10]$$

Persamaan ini berlaku jika hanya terjadi satu bagian lengkungan (beda ketinggian) antara titik 1 (upstream) dan titik 2 (downstream).

Faktor koreksi terhadap ketinggian nondimensional (s) bergantung pada beda ketinggian $H_2 - H_1$ dan dapat dihitung seperti dibawah ini:

$$s = \frac{0.0375G(H_2 - H_1)}{T_f Z} \dots\dots\dots [2.11]$$

Jika terjadi bagian lekukan secara seri, perlu didefinisikan suatu parameter j untuk setiap lengkungan (beda ketinggian) setiap ruas pipa, sebagai berikut:

$$j = \frac{e^s - 1}{s} \dots\dots\dots [2.12]$$

Panjang ekivalen dapat dihitung sebagai berikut:

$$L_e = j_1 L_1 + j_2 L_2^{S_1} + j_3 L_3^{S_2} + \dots\dots\dots [2.13]$$

Setelah memperhitungkan koreksi dari ketinggian, persamaan aliran umum dapat dibentuk untuk memperoleh besar diameter jaringan pipa didasarkan pada kapasitas aliran (debit) yang diharapkan tersedia sewaktu umur operasi jaringan pipa tersebut, melalui persamaan dibawah ini:

$$D = \left(\frac{Q}{38.77 F_{T_b} \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G T_f L_e Z} \right)^{0.5}} \right)^{\frac{1}{2.5}} \dots\dots\dots [2.14]$$

2.4.2 Tebal Dinding Pipa

Hasil desain dimensi pipa dalam jaringan selain dari penentuan diameter adalah tebal dinding (*wall thickness*), dan material yang akan digunakan nantinya. Hal ini mendorong kebutuhan akan analisis menyeluruh *flow assurance* yang merupakan keadaan terburuk yang diramalkan akan terjadi selama periode operasi.

i. Prosedur Desain

Penentuan ketebalan dinding (*wall thickness*) didasarkan pada tekanan internal dan tekanan hidrostatik lingkungan dimana jaringan itu dipasang. Penambahan *wall thickness* kadang dapat membantu kestabilan jaringan pipa didasar laut.

Prosedur yang digunakan untuk memprediksi *wall thickness* adalah sebagai berikut:

1. Langkah 1, menghitung *wall thickness* minimum yang diperlukan untuk desain tekanan internal.
2. Langkah 2, menghitung *wall thickness* minimum yang diperlukan untuk penambahan tekanan eksternal.
3. Langkah 3, Penambahan *wall thickness* untuk korosi.
4. Langkah 4, Memilih tebal dinding nominal tertinggi. Dalam kasus tertentu, mungkin diinginkan untuk memesan *wall thickness* non-standar.
5. Langkah 5, Mengecek pemilihan *wall thickness* untuk kondisi hidrostatik.

Berdasarkan peraturan desain:

a. Disain *Pipeline* Untuk Ketahanan Terhadap Tekanan Internal

Menurut ASME B.31.8, *wall thickness* nominal *pipeline* dihitung dengan rumus:

$$t_{nom} = \frac{P_d D}{2S_y FET} + t_a \dots\dots\dots [2.15]$$

Dimana P_d adalah desain tekanan internal yang merupakan perbedaan antara tekanan internal (P_i) and tekanan eksternal (P_e), D adalah nominal diameter outside, t_a adalah ketebalan untuk menyisihkan korosi, dan S_y adalah *specified minimum yield strength*.

P_i didefinisikan sebagai Maximum Allowable Operating Pressure (MAOP) selama operasional jaringan pipa tersebut, yang diindikasikan dengan besar tekanan hingga 110% MAOP. Pada beberapa kasus, P_i didefinisikan sebagai *Wellhead Shut-In Pressure* (WSIP).

Faktor efisiensi pengelasan (E) dapat dilihat pada tabel 2.3. Faktor *de-rating temperature* (T) dapat dilihat pada tabel 2.2. Penggunaan faktor klasifikasi lokasi (F) didefinisikan pada tabel 2.1.

Nilai tekanan eksternal yang bekerja pada pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_e = \rho_w g h_{min}$$

Tabel 2.1
Disain Faktor Klasifikasi Lokasi

Location Class	Design Factor (F)
Location class 1, devisions 1	0.80
Location class 1, devisions 2	0.72
Location class 2	0.60
Location class 3	0.50
Location class 4	0.40

(sumber: ASME B.31.8, 2007)

Tabel 2.2
Faktor Temperatur Derating

Temperature (F°)	Temperature Derating Factor (T)
250 or less	1.000
300	0.967
350	0.933
400	0.900
450	0.867

(sumber: ASME B.31.8, 2007)

Tabel 2.3
Faktor Penyambungan Longitudinal

Spec. No.	Pipe Class	E Factor
ASTM A 53	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
	Furnace Butt Weld: Continuous Welded	0.60
ASTM A 106	Seamless	1.00
ASTM A 134	Electric Fusion Arc Welded	0.80
ASTM A 135	Electric Resistance Welded	1.00
ASTM A 139	Electric Fusion Welded	0.80
ASTM A 211	Spiral Weld Steel Pipe	0.80
ASTM A 333	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
ASTM A 381	Double Submerged Arc Welded	1.00
ASTM A 671	Electric Fusion Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A 672	Electric Fusion Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
API 5L	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
	Electric Flash Welded	1.00
	Submerged Arc Welded	1.00
	Furnace Butt Welded	0.60

(sumber: ASME B.31.8, 2007)

a. Desain Dinding Pipa untuk Ketahanan Terhadap Tekanan Eksternal

Berdasarkan aturan dasar disain jaringan pipa, direkomendasikan untuk memperhitungkan analisis kriteria penyebaran untuk diameter pipa di bawah 16 inch dan kriteria kegagalan di atas atau sama dengan 16 inch. Karena akan sangat konservatif apabila menggunakan analisis kriteria penyebaran pada jaringan pipa dengan diameter diatas atau sama dengan 16 inch.

i. Analisis Kriteria Penyebaran

Meskipun sebagian besar hubungan empiris diterbitkan, formula yang direkomendasikan oleh AGA.PRC (AGA, 1990):

$$P_p = 33S_y \left(\frac{t_{nom}}{D} \right)^{2.46} \dots\dots\dots [2.16]$$

Sehingga penentuan nominal wall thickness seperti di bawah ini:

$$P_p > 1.3P_e \dots\dots\dots [2.17]$$

Faktor keamanan 1.3 direkomendasikan untuk memperhitungkan keadaan yang tidak terduga. Atau dapat ditulis kembali:

$$t_{nom} \geq D \left(\frac{1.3P_e}{33S_y} \right)^{1/2.46} \dots\dots\dots [2.18]$$

ii. Kriteria Kegagalan

Mode kriteria kegagalan merupakan fungsi perbandingan D/t, cacat pipa, dan kondisi pembebanan. Sebuah formula umum dapat digunakan untuk semua situasi. Hal ini cocok untuk kegagalan mode transisi terhadap tekanan eksternal,

tarik aksial, dan regangan tekuk berdasarkan Murphey & Langner, 1985; AGA 1990).

Wall thickness nominal dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{1.3P_e}{P_c} + \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_B} \leq g_p \dots \dots \dots [2.19]$$

Faktor keamanan pada criteria kegagalan dihitung untuk perbandingan D/t sejalan dengan pembebanan (P_e , ε_b , T_a) dan persamaan untuk kebulatan awal pipa (δ_o):

$$P_c = \frac{P_{el}P_y'}{\sqrt{P_{el}^2 + P_y'^2}} \dots \dots \dots [2.20]$$

$$P_y' = P_y \left[\sqrt{1 - 0.75 \left(\frac{T_a}{T_y} \right)^2} - \frac{T_a}{2T_y} \right] \dots \dots \dots [2.21]$$

$$P_{el} = \frac{2E}{1-\nu^2} \left(\frac{t}{D} \right)^3 \dots \dots \dots [2.22]$$

$$P_y = 2S_y \left(\frac{t}{D} \right) \dots \dots \dots [2.23]$$

$$T_y = AS_y$$

Dimana g_p berdasarkan ketidak-sempurnaan jaringan pipa seperti ketidak-sempurnaan kebulatan, eksentrisitas (biasanya diabaikan), dan tegangan residual (biasanya diabaikan). Sehingga:

$$g_p = \sqrt{\frac{1+p^2}{p^2 - \frac{1}{f_p^2}}} \dots \dots \dots [2.24]$$

$$P = \frac{P_y'}{P_{el}} \dots \dots \dots [2.25]$$

$$f_p = \sqrt{1 + \left(\delta_e \frac{D}{t} \right)^2} - \delta_o \frac{D}{t} \dots \dots \dots [2.26]$$

$$\varepsilon_B = \frac{t}{2D} \dots \dots \dots [2.27]$$

$$\delta_0 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \dots \dots \dots [2.28]$$

Saat jaringan pipa didisain dengan menggunakan kriteria kegagalan tekanan aksial & regangan tekuk perlu diperhitungkan pada keadaan yang konservatif.

b. Korosi Yang Diijinkan

Untuk menghitung korosi pada saat air ikut mengalir bersama aliran fluida dalam pipa juga akibat dari komposisi campuran fluida yang dapat membuat karat pipa seperti kandungan oksigen, hydrogen sulfide (H₂S), karbon dioksida (CO₂). Karena itulah perlu untuk menambah *wall thickness*.

c. Pemeriksaan Pada Saat *Hydrotest*

Tekanan hidrotetes minimum untuk jalur migas sama dengan 1.25 dari disain tekanan. Peraturan tidak mengisyaratkan bahwa jaringan pipa didisain untuk kondisi hidrotetes, tetapi kadang kala batas tegangan hoop sama dengan 90% SMYS, yang mana dapat memuaskan apabila diasumsikan tidak dipengaruhi oleh tekanan eksternal jaringan pipa. Untuk kasus-kasus dimana disain tekanan adalah selisih tekanan internal dengan tekanan eksternal, maka peraturan merekomendasikan untuk tidak menggunakan regangan di atas dari SMYS materialnya.

2.5. Kestabilan Pipa Bawah Laut

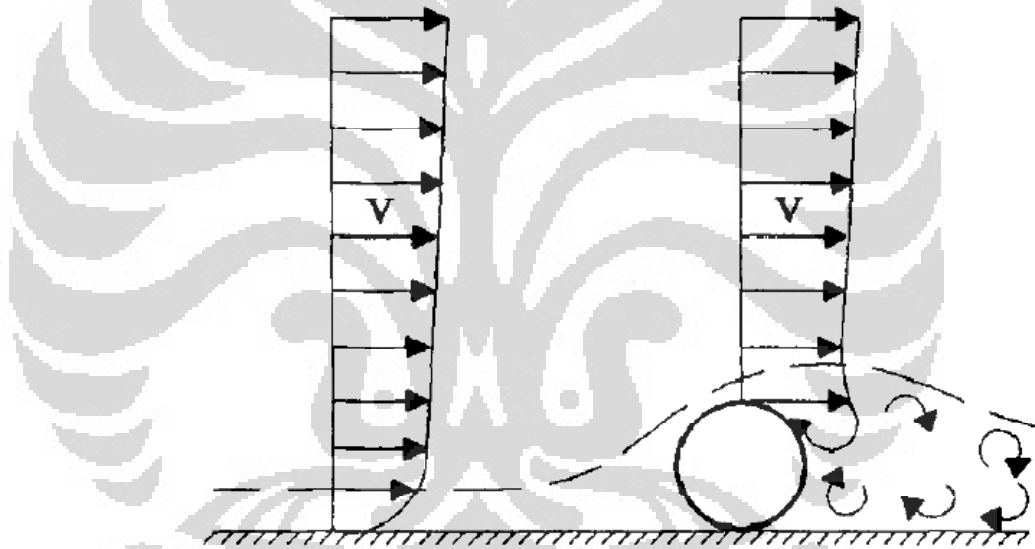
2.5.1. Pembebanan Lingkungan pada Pipa

Dalam mendisain jaringan pipa bawah laut, harus diperhatikan bahwa pipa tahan terhadap gaya hidrodinamik yang membebani pipa dalam lingkungan laut. Pengaruh pembebanan dari lingkungan laut seperti pengaruh ombak, arus dan keadaan dasar laut mengakibatkan adanya gaya horizontal, gaya vertikal, dan pusaran arus (*vortex shedding*).

Dalam hal ini pipa diasumsikan rigid dan dipatok didasar laut dan dikondisikan sedemikian rupa agar tidak bergerak (stabil) dibawah pengaruh gerakan-gerakan arus laut.

A. Gaya hidrodinamik

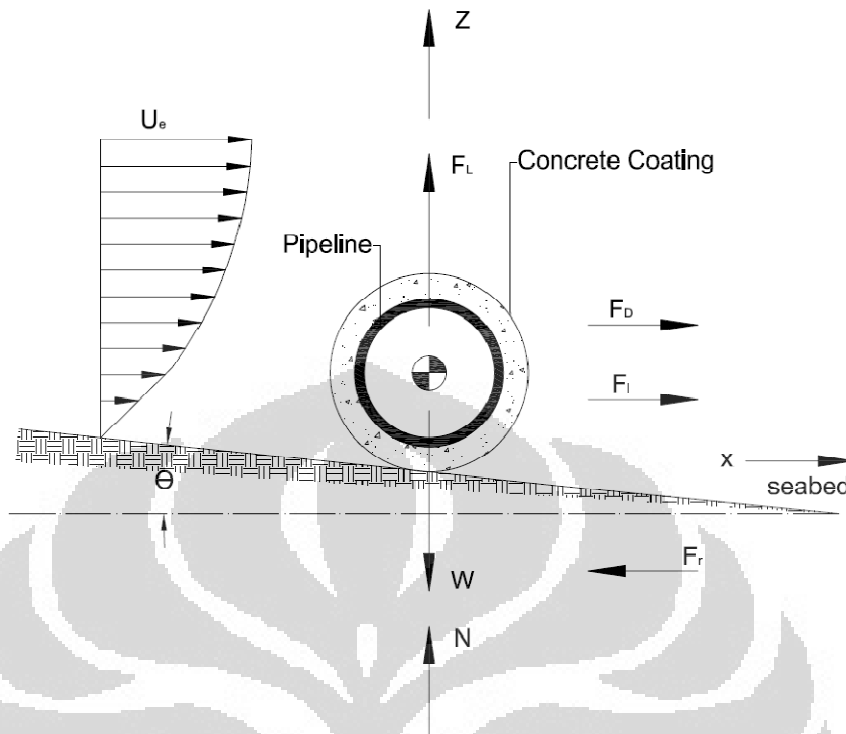
Beban pada struktur pipa yang berada di dasar laut adalah kombinasi efek dari arus yang konstan, arus yang berubah/bergerak (*oscillatory current*), dan gaya yang disebabkan gelombang laut. Untuk memperkirakan stabilitas dari pipa yang disebabkan gaya-gaya ini dan aksi-aksi gaya yang ditimbulkan, dapat diperlihatkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.5 Aliran hidrodinamik disekitar pipa (sumber: Subsea Pipelines & Riser, Y.Bai et.al, El Sevier 2005)

Gaya-gaya yang termasuk didalamnya adalah:

- Berat pipa dalam air
- Berat isi pipa
- Kombinasi gaya hambat (*drag forces*)
- Kombinasi gaya angkat (*lift forces*)
- Gaya inersia
- Gaya gesek antara pipa dengan permukaan dasar laut



Gambar 2.6 Gaya-gaya hidrodinamik pada pipa (Y.Bai et.al, 2005)

Dari fenomena di atas, dapat dituliskan persamaan kesetimbangan untuk sumbu x dan sumbu y:

a). Terhadap sumbu x:

Gaya horizontal:

$$F_D - F_i - F_r - W \cdot \sin\theta = 0 \dots\dots\dots [2.29]$$

Gaya yang bekerja pada benda karena aliran fluida dalam arah horizontal disebabkan oleh dua komponen gaya, yaitu gaya hambat (F_D) dan gaya inersia (F_i), untuk benda yang berbentuk silinder dengan diameter luar (D), besarnya gabungan kedua gaya tersebut ditulis dalam persamaan Morrison (A.H. Moselli, 1981), yaitu:

$$F = F_D - F_i \dots\dots\dots [2.30]$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho D C_L (U_e)^2 \dots\dots\dots [2.31]$$

$$F_i = \rho \cdot C_M \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) du/dt \dots\dots\dots [2.32]$$

Kecepatan efektif dari arus dapat diperoleh berdasarkan jenis gelombang yang terjadi di tempat tersebut, yang besarnya adalah:

$$(U_e)^2 = 0.778 \cdot (U_c)^2 \cdot (D/y_c)^{0.285} \dots\dots\dots [2.33]$$

b). Terhadap sumbu y:

Gaya-gaya vertikal:

$$N + F_L - W \cdot \cos\theta = 0 \dots\dots\dots [2.34]$$

Untuk pipa yang berada persis di atas dasar laut dengan sedikit terbenam pada tanah, kemudian gaya tahan lateral (F_r) dipengaruhi oleh gaya normal (N), dengan persamaan:

$$F_r = \mu \cdot N$$

Untuk gaya angkat persamaannya adalah:

$$F_L = \frac{1}{2} D \rho_{laut} C_L (U_e)^2 \dots\dots\dots [2.35]$$

Kesulitan yang utama untuk mengetahui besarnya gaya angkat, gaya hambat dan gaya inersia adalah menentukan harga-harga koefisien masing-masing gaya tersebut. Pada kondisi aliran yang tetap koefisien angkat, koefisien hambat, dan koefisien inersia tergantung dari bilangan Reynolds dan kekasaran permukaan saluran pipa itu sendiri.

Dari penelitian para ahli secara intensif, diambil suatu pemecahan masalah tersebut dengan grafik, yang kemudian diambil rata-ratanya serta untuk mudahnya dibuat tabel seperti tercantum dalam tabel. Tabel ini berisikan beberapa harga bilangan Reynolds untuk menentukan besarnya ketiga koefisien tersebut dengan mengambil harga rata-rata kekasaran permukaan saluran pipa.

Pada umumnya tabel ini bisa juga digunakan untuk aliran yang tetap dengan memilih harga maksimum dari gabungan antara arus dan gelombang yang menyebabkan kecepatan aliran bervariasi, maka kecepatan efektif (U_e) dipergunakan untuk menghitung bilangan Reynolds, yang kemudian dipergunakan lagi untuk menentukan koefisien hambat, angkat dan inersia.

Bilangan Reynolds adalah:

$$Re = \frac{U_e D}{\nu} \dots\dots\dots [2.36]$$

Tabel 2.4
Hubungan Bilangan Reynolds dengan C_D , C_L , dan C_M

Reynolds Number (Re)	Drag Coefficient (C_D)	Lift Coefficient (C_L)	Inertia Coefficient (C_M)
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 10^5$	1.2	1.0	2.0
$10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

(A.H. Moesseli, 1981)

Koefisien gesek antara permukaan pipa dengan tanah harus juga diperhitungkan, dimana tergantung pada lapisan permukaan pipa dan karakteristik dasar laut.

Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapat koefisien gesek setiap tipe tanah yang ada, seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.5
Koefisien gesek berdasarkan tipe tanah

Tipe Tanah	Koefisien Gesek (μ)
Tanah Liat (<i>Clay</i>)	0.3 ÷ 0.6
Pasir (<i>Sand</i>)	0.5 ÷ 0.7
Pasir Kerikil (<i>Gravel</i>)	0.5

(A.H. Moesseli, 1981)

Kombinasi persamaan [2.31] dan persamaan [2.32] didapat:

$$F_D + F_i + \mu(F_L - W \cdot \cos\theta) = W \cdot \sin\theta \dots \dots \dots [2.37]$$

Resultan gaya-gaya hidrodinamik yang bekerja pipa akibat arus bawah laut.

$$W_h = \frac{F_D + F_i + F_L}{\mu \cdot \cos\theta + \sin\theta} \dots \dots \dots [2.38]$$

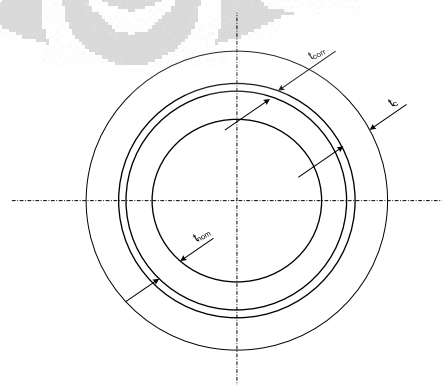
Untuk dasar laut yang datar, $\theta = 0^0$, maka:

$$W_h = F_L + \frac{1}{\mu} (F_D + F_i) \dots \dots \dots [2.39]$$

2.5.2. Berat Minimum Pipa

Gaya yang diperhitungkan dalam menjaga stabilitas jaringan pipa adalah gaya gravitasi dan gaya hidrodinamik akibat arus laut yang bekerja dibawah permukaan laut.

Secara grafis diperlihatkan berat pipa efektif pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Penampang Lapisan Pipa

i. Berat Efektif Pipa (W_s)

Merupakan berat pipa baja diudara (tanpa berat isi pipa)

$$W_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_i^2) \rho_s g \dots \dots \dots [2.40]$$

ii. Buoyancy (B)

Berat air yang dipindahkan per satuan panjang pipa, dimana merupakan gaya dorong keatas yang besar.

$$B = \frac{\pi}{4} (D + 2t_c + 2t_w)^2 \rho_L \dots \dots \dots [2.41]$$

iii. Berat Lapisan Anti Korosi (W_c)

$$W_c = \frac{\pi}{4} [(D + 2t_c)^2 - D^2] \rho_c g \dots \dots \dots [2.42]$$

iv. Berat Fluida dalam Pipa

$$W_f = \frac{\pi}{4} D_i^2 \rho_f g \dots \dots \dots [2.43]$$

v. Berat Lapisan Beton

$$W_w = \frac{\pi}{4} [(D + 2t_c + 2t_w)^2 - (D + 2t_c)^2] \rho_w g \dots \dots \dots [2.44]$$

Untuk mendapatkan kestabilan, dikondisikan sedemikian rupa agar tidak bergerak (stabil), maka berat pipa harus lebih besar dari Gaya hidrostatik.

$$W_h < [W = W_s + W_c + W_f + W_w - B] \dots \dots \dots [2.45]$$

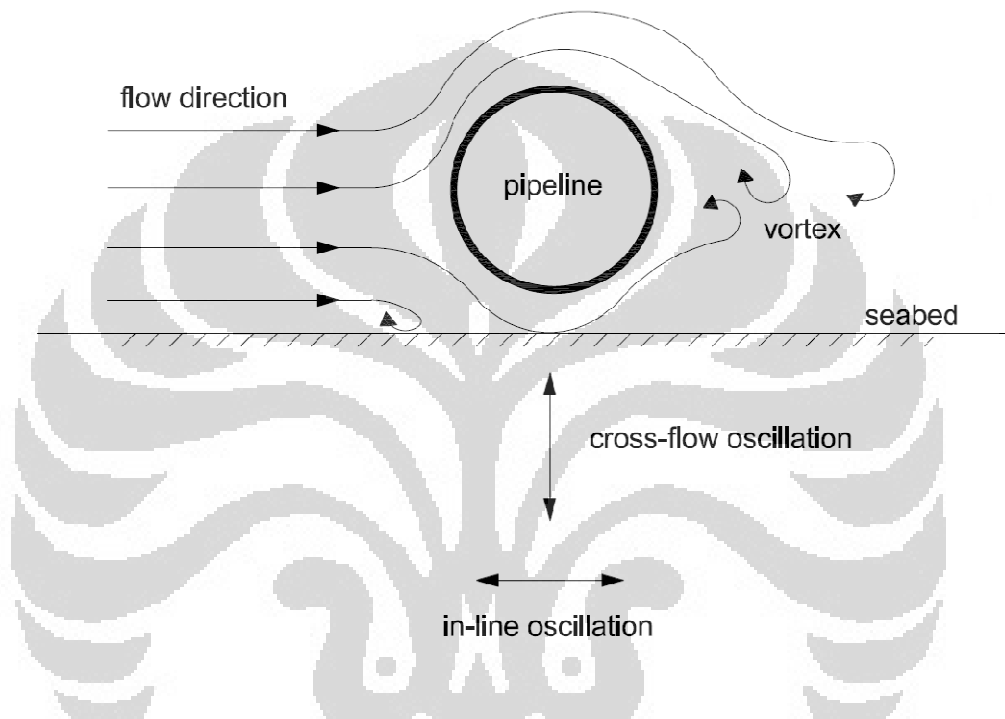
2.5.3. Pusaran Arus

Jika arus melewati pipa horizontal yang terdapat di dasar laut, maka akan terjadi pusaran arus yang arahnya membalik ke arah pipa. Pusaran ini (*vortex shedding*) disebabkan oleh aliran turbulen dan ketidakstabilan pada bagian bawah pipa (adanya celah di bawah pipa).

Pusaran arus menyebabkan perubahan periodik sejumlah tekanan hidrodinamik pada pipa, dimana akan menyebabkan getaran pada rentang pipa.

Frekuensi *vortex shedding* tergantung pada diameter pipa. Kecepatan aliran dan bilangan *Strouhal*. Jika frekuensi *vortex shedding* ini

sinkron (bernilai sama) dengan salah satu frekuensi alami dari rentang pipa, maka akan terjadi resonansi atau mengakibatkan rentangan pipa tersebut bergetar. Dan akibatnya akan terjadi gangguan tegangan pada pipa, seperti kelelahan material (*material fatigue*) dan kegagalan saluran pipa. Terjadinya vortex ini dapat diilustrasikan seperti pada gambar 2.8



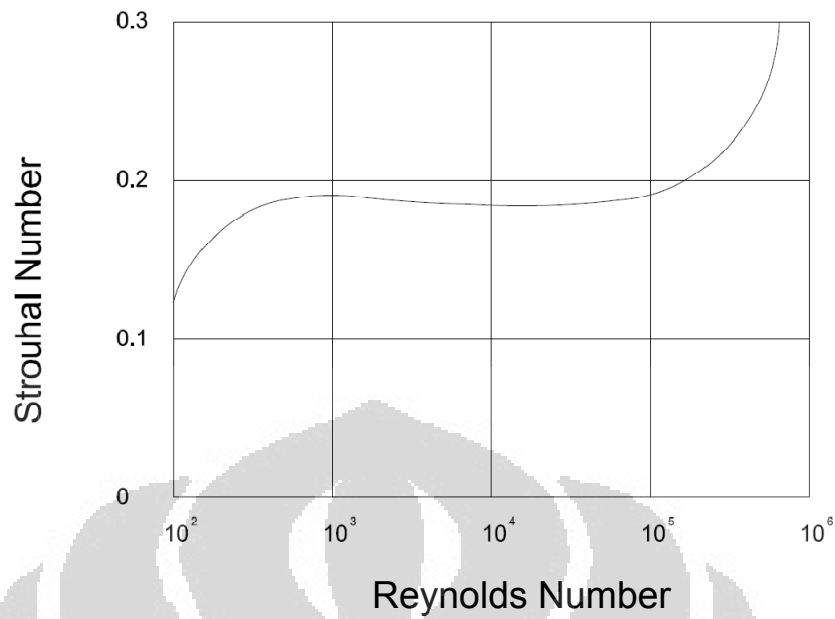
Gambar 2.8 Ilustrasi pusaran (*Vortex Shedding*) yang terjadi disekitar pipeline (A.H. Mouselli, 1981)

Kegagalan saluran pipa yang disebabkan oleh vortex ini dapat dicegah, jika frekuensi *vortex shedding* berbeda dari frekuensi natural dari rentangan pipa seperti getaran dinamik pipa diperkecil. Besarnya frekuensi *vortex shedding* adalah:

$$f_s \neq f_n$$

$$f_s = \frac{S \cdot U_e}{D} \dots \dots \dots [2.46]$$

Bilangan Strouhal ini merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dari aliran, yang diperlihatkan oleh grafik pada gambar 2.9.

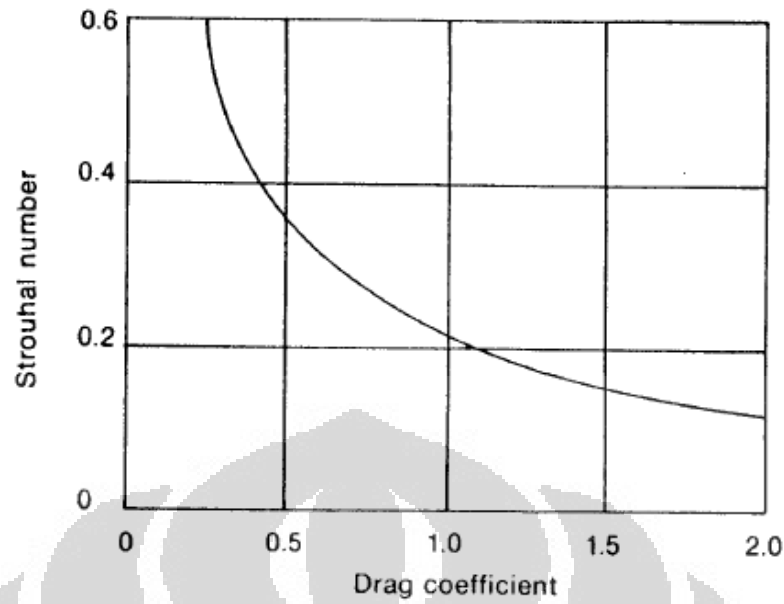


Gambar 2.9 Grafik variasi Bilangan Strouhal terhadap Bilangan Reynolds
(A.H. Mouselli, 1981)

Karena koefisien hambat merupakan fungsi dari bilangan Reynolds, maka bilangan Strouhal juga dapat ditentukan dari koefisien hambat, dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{0.21}{(C_D)^{0.75}} \dots \dots \dots [2.47]$$

Persamaan di atas juga dapat diplot dari gambar 2.10 tetapi kebanyakan dalam permasalahan jalur pipa bilangan Strouhal diambil sebesar 0.2.



Gambar 2.10 Grafik variasi Bilangan Strouhal terhadap Koefisien Hambat (A.H. Mouselli, 1981)

Frekuensi alami dari retang pipa tergantung pada kekauan (*stiffness*) material pipa dan kondisi rentang pipa, panjang rentang, dan kombinasi massa pipa (termasuk isi dan penambahan massa oleh pelapisan, dll). Penambahan massa biasanya 1 sampai 2 kali massa air yang dipindahkan oleh pipa.

Frekuensi Natural ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f_n = \frac{C}{L_c^2} \sqrt{\frac{EI}{M}} \dots \dots \dots [2.48]$$

Konstanta kondisi pipa $C = \pi/2 = 1.57$ untuk pipa dengan kedua ujungnya ditumpu dan $C = 3.5$ jika kedua ujung pipa diklem.

Dari penelitian yang dilakukan, menghasilkan perbandingan antara frekuensi *vortex shedding* dan frekuensi natural adalah:

$$f_s \leq 0.7 f_n \dots \dots \dots [2.49]$$

kemudian didalam perhitungan, analisis yang dilakukan adalah menentukan panjang rentang ,panjang jalur pipa yang tidak ditumpu, (L_c) maksimum. Dimana (L) adalah fungsi dari frekuensi dari frekuensi natural yang didapat dari:

$$f_n = f_s \times 1.4285714 \dots \dots \dots [2.50]$$

dan untuk menentukan panjang jalur pipa yang tidak ditumpu maksimum adalah dengan menggunakan persamaan 2.51, yaitu:

$$L_c = \sqrt{\left(\frac{1.57}{f_n} \sqrt{EI/M}\right)} \dots \dots \dots [2.51]$$

2.6. Analisis Tegangan Pipa saat Pengoperasian

Dalam mendisain jalur pipa yang menyalurkan fluida dengan temperatur dan tekanan yang tinggi, perlu memperhatikan tegangan-tegangan yang timbul dan fleksibilitas yang diperlukan untuk mengatasi tegangan-tegangan tersebut. Masalah ini menjadi dasar utama dalam mendisain jalur pipa yang akan dipakai nantinya, apakah jalur pipa ini aman dan sesuai dengan standar yang telah ditentukan atau tidak. Dalam hal ini, peninjauan yang dilakukan terbatas pada tegangan yang terjadi akibat tekanan kerja fluida yang mengalir di dalam pipa (*internal pressure*) dan analisis *buckling* pipa atau perubahan penampang pipa secara melintang akibat tekanan hidrostatik air, dimana akan dianalisis apakah kedalaman laut tempat dimana jalur pipa ini diletakkan aman dari *buckling* atau tidak.

Pada saat pengoperasiannya, tegangan pipa juga dipengaruhi oleh perbedaan permukaan laut yang dilewati oleh jalur pipa, dalam hal ini diambil dua kasus dimana analisis tegangan pipa melewati cacat permukaan laut atau palung laut dan analisis tegangan saat pipa melewati gundukan atau karang didasar laut.

2.6.1. Tegangan Izin Material Pipa

Untuk mengetahui apakah sistem saluran pipa yang didesain aman untuk dipakai pada kondisi kerja, maka hasil perhitungan tegangan izin material pipa harus lebih besar dari tegangan tarik akibat tekanan yang bekerja pada pipa, baik yang berasal dari lingkungan maupun internal.

Untuk menghitung tegangan izin yang sesuai, dilakukan perhitungan dengan:

$$\sigma = F E S_y T \dots\dots\dots [2.52]$$

2.6.2. Tegangan Tarik Pipa Akibat Tegangan Kerja Fluida

Setelah ukuran pipa ditentukan, ketebalan dinding pipa dipilih agar tekanan tangensial maksimum (tekanan keliling pipa karena tekanan aliran fluida) tidak melebihi tekanan yang diizinkan, dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan:

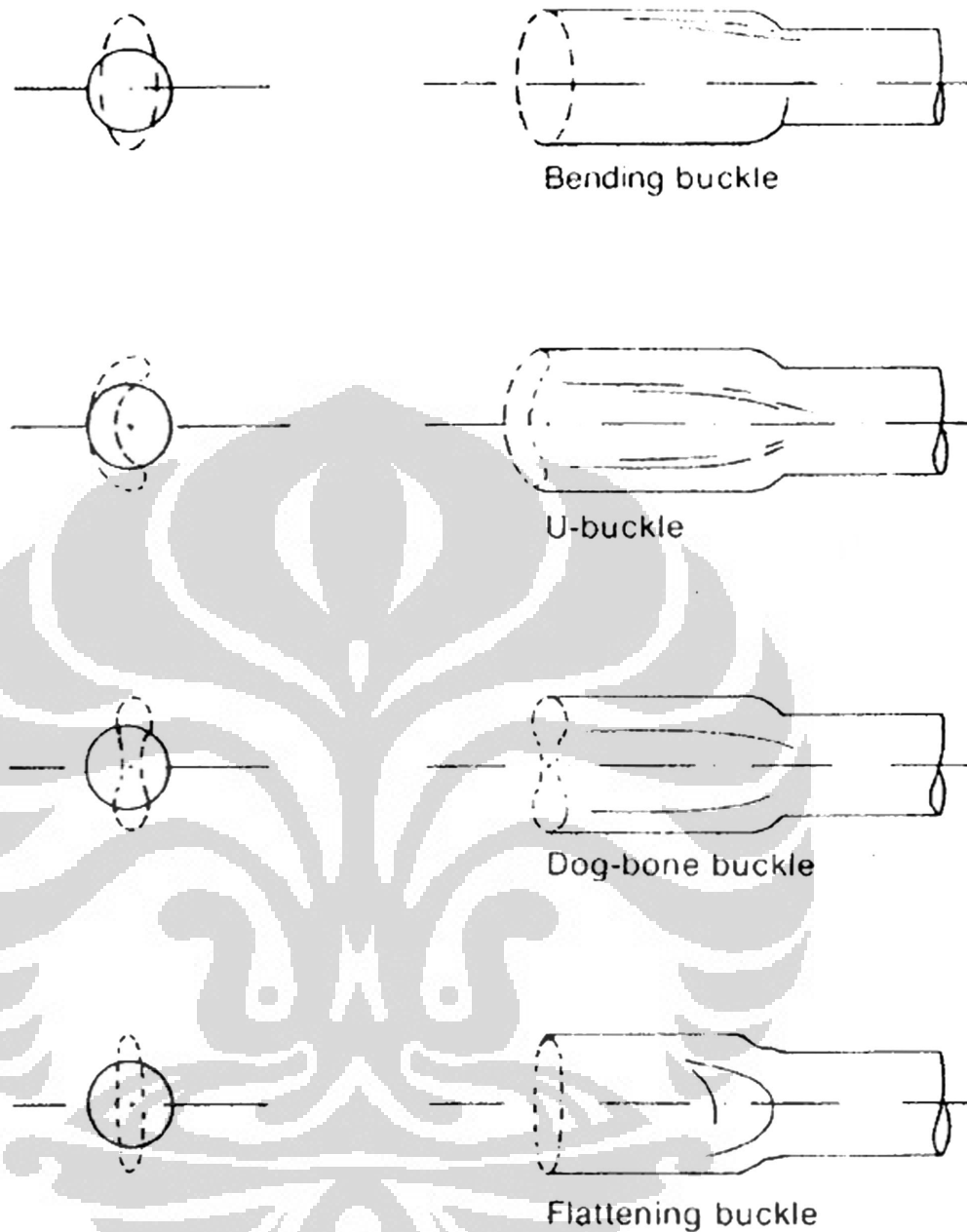
$$\sigma = \frac{P D}{2t} \dots\dots\dots [2.53]$$

2.6.3. Analisa Buckling

Salah satu masalah gagal atau rusaknya suatu jalur pipa, baik saat jalur pipa tersebut diluncurkan maupun saat beroperasi, adalah dengan meningkatnya tekanan hidrostatik.

Kegagalan jalur pipa tergantung pada beberapa faktor. Seperti perbandingan diameter terhadap tebal dinding pipa (D/t), sifat *stress-strain*, perubahan bentuk jalur pipa secara melintang (perubahan *ovality* lingkaran pipa atau *buckling*), tekanan hidrostatik dan momen tekuk pipa (*bending moment*). Gaya aksial juga berpengaruh pada kegagalan pipa, tetapi lebih kecil dibanding momen tekuk maupun tekanan hidrostatik.

Buckling dapat diartikan juga sebagai perubahan kebulatan (*flattening*) atau terjadinya perubahan melintang pipa, dan contoh *buckling* ini dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.11 Macam-macam Buckling Pipa (A.H. Mouselli, 1981)

i. Tekanan Kritis *Buckling*

Tekanan kritis *buckling* pipa berlaku pada pipa-pipa dengan perbandingan diameter terhadap tebal dinding D/t yang besar. Dalam prakteknya, perubahan deformasi dari permukaan pipa akan terjadi sebelum kegagalan pipa. Oleh sebab itu, kegagalan akibat tekanan hidrostatis juga merupakan fungsi dari sifat luluh (*yield*) material pipa.

Untuk mendapatkan tekanan kritis *buckling* pipa perlu memperhitungkan kekuatan luluh material pipa, dan perhitungan kekuatan ini berdasarkan API RP.1111 didapat dengan persamaan:

$$P_c = \frac{P_y P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}} \dots \dots \dots [2.54]$$

$$P_y = 2S_y(t/D) \dots \dots \dots [2.55]$$

$$P_e = 2E \frac{(t/D)^3}{(1-\nu^2)} \dots \dots \dots [2.56]$$

Nantinya tekanan *collapse* pipa akan diperiksa terhadap tekanan yang diakibatkan tekanan hidrostatik eksternal pipa (P_o) dan tekanan internal pipa (P_i) (dalam hal ini tekanan internal diambil dari tekanan rencana maksimum yang masih diijinkan):

$$P_o - P_i \leq f_o P_c \dots \dots \dots [2.57]$$

dimana:

f_o = faktor *collapse*

= 0.7 untuk pipa *seamless* atau ERW

= 0.6 untuk *expanded pipe*, seperti DSAW

Dengan menggunakan tekanan kritis *buckling* yang didapat dari persamaan di atas, maka dengan ketentuan persamaan hidrostatik eksternal pipa (P_o) didapatkan kedalaman maksimum laut agar tidak terjadi *buckling*, yaitu:

$$P_o = \rho \cdot g \cdot h \dots \dots \dots [2.58]$$

ii. Tekanan Perambatan *Buckling*

Perambatan *buckling* yang dimaksud disini adalah situasi dimana timbulnya lekukan melintang (yang disebabkan oleh pembengkokan yang berlebihan) berubah dengan sendirinya menjadi pembengkokan (*buckling*) dan merambat disepanjang jalur pipa ini. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan pipa selama pengoperasiannya. Energi penggerak (*driving energy*) yang menyebabkan *buckling* menyebar adalah tekanan hidrostatik.

Secara teori dan eksperimen yang dibuat oleh berbagai organisasi guna mempelajari fenomena penyebaran *buckling* dan untuk mempelajari fenomena tekuk pada *offshore pipeline*. Dari hasil penelitian didapatkan persamaan mengenai tekanan penyebaran *buckling*, yaitu:

$$P_p = 24Sy \left(\frac{t}{D}\right)^{2.4} \dots\dots\dots [2.59]$$

Yang perlu diperhatikan bahwa tekanan penyebaran *buckling* tergantung hanya pada kekuatan leleh (*yield*) material pipa dan perbandingan D/t dan tidak tergantung pada keadaan gaya-gaya dari pipa. Sifat yang menyebabkan pembengkokan dalam pipa tergantung ada parameter pipa maupun gaya eksternal yang ada pada pipa. Fenomena penyebaran ditunjukkan pada jalannya tekuk/pembengkokan pipa yang disebabkan tekanan hidrostatik setelah pembengkokan dimulai.

Dengan persamaan hidrostatik juga dapat ditentukan kedalaman maksimum jalur pipa agar tidak terjadi perambatan *buckling*.

Kemudian tekanan perambatan *buckling* pipa akan diperiksa terhadap tekanan yang diakibatkan tekanan hidrostatik eksternal pipa (P_o) dan tekanan internal pipa (P_i) (dalam hal ini tekanan internal diambil dari tekanan rencana maksimum yang masih diijinkan):

$$P_o - P_i \leq f_p P_p \dots\dots\dots [2.60]$$

dimana:

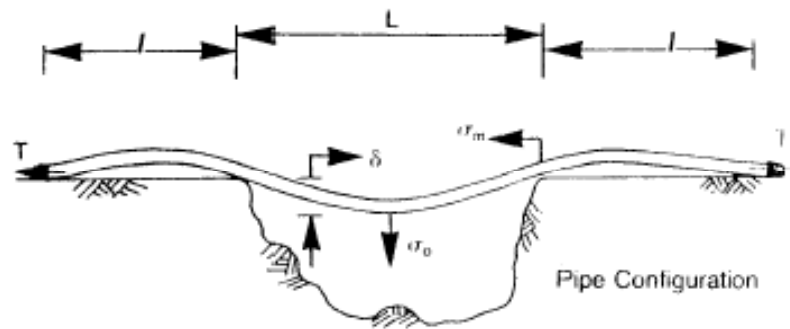
f_p = faktor disain *buckle propagation*
= 0.8

2.6.4. Analisis Tegangan Pipa Akibat Ketidakteraturan Permukaan Dasar Laut.

Selama beroperasinya jalur pipa yang berada persis di atas permukaan dasar laut sering kali melewati permukaan yang bermacam-macam, faktor ini mempengaruhi terhadap tegangan jalur pipa. Dalam tugas ini, penulis hanya akan menganalisis tegangan jalur pipa saat pipa melalui cacat muka laut atau palung laut dan melewati gundukan atau karang. Dengan permukaan yang tidak teratur ini, gaya rentang dan gaya melengkung akan diinduksi oleh pipa, dan ini harus dipertahankan pada tingkatan yang aman untuk mencegah kerusakan yang diakibatkannya. Agar mendapatkan tingkatan yang aman, maka pengukuran harus diambil pada tiap perubahan rute pipa atau menghindari permukaan laut yang tidak teratur dengan metode pengecekan permukaan laut terlebih dahulu (*presweeping*). Pengukuran disini didasarkan pada pertimbangan secara teknik dan ekonomis. Sehingga, untuk merencanakan system instalasi pipa yang sesuai dengan prosedur, perkiraan yang akurat dari tegangan pada permukaan laut yang tidak teratur mejadi suatu yang penting.

i. Tegangan Pipa saat Melalui Palung Laut (*Flow Depression*)

Ilustrasi pipa saat melewati cacat permukaan dasar laut atau palung laut dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini



Gambar 2.12 Ilustrasi deformasi yang akan terjadi ketika pipa melalui palung

Secara geometri konfigurasi pipa, hanya sebagian dari rentang jalur pipa yang perlu dipertimbangkan. Pipa dibagi dalam tiga prinsip bagian pipa, seperti terlihat pada gambar di atas. Kondisi batasnya adalah penyeimbangan gaya-gaya dari masing-masing bagian.

Dari analisis yang dilakukan, didapat parameter-parameter dimensional yang diperlukan dalam menentukan tegangan pembengkokan maksimum σ_m , yang harganya tergantung dari dimensi rentangan dengan karakteristik panjangnya (L/L_c), dimana:

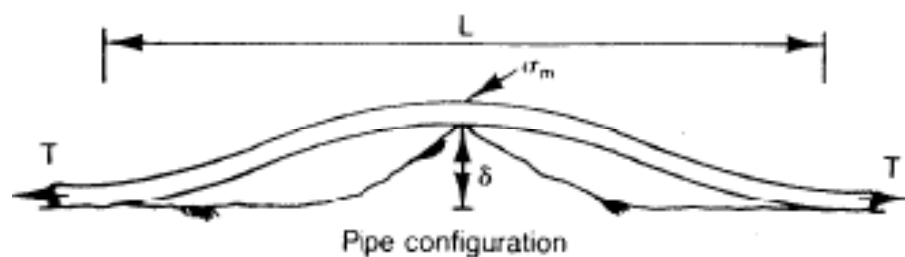
$$L_c = \left(\frac{EI}{W}\right)^{1/3} \dots\dots\dots [2.61]$$

$$\sigma_c = \frac{E.r}{L_c} \dots\dots\dots [2.62]$$

$$\beta = \frac{T}{W.L_c} \dots\dots\dots [2.63]$$

ii. Tegangan Pipa saat Melalui Gundukan atau Karang (*Elevated Obstruction*)

Ilustrasi tegangan pipa saat melalui gundukan atau karang dapat dilihat pada konfigurasi pada gambar di bawah ini



Gambar 2.13 Ilustrasi deformasi yang akan terjadi ketika pipa melalui gundukan

Dari ilustrasi di atas, panjang rentangan pipa L , yang melalui gundukan atau karang tergantung pada tingkatan gundukan δ .

Penentuan persamaan pipa dipecahkan dengan teknik numerik. Sebab panjang rentangan tidak diketahui dengan pasti, prosedur iterasi dipakai untuk menarik kesimpulan panjang rentangan dan gaya-gaya dari pipa. Hasil dari solusi ini didapat dimensional parameter-parameter pipa, yang dilukiskan dengan grafik. Dalam grafik ini akan ditentukan berapakah tegangan maksimum pipa dengan mengetahui ketinggian gundukan atau karang δ , yang dilalui jalur pipa.

Persamaan karakteristik panjang pipa L_c , tegangan karakteristik σ_c dan *dimensional tension* β , sama dengan persamaan pada analisis tegangan pipa yang melalui palung laut.

BAB III

OPTIMASI DAN ANALISIS KEEKONOMIAN

JARINGAN PIPA

3.1. OPTIMASI

3.1.1. Umum

Adalah proses untuk menemukan kondisi yang mampu memberikan nilai maksimum atau minimum dari sebuah fungsi. Biasanya sebuah disain sulit dioptimasi karena terlalu kompleks. Pada kasus seperti itu, memungkinkan untuk mengoptimasi subsistem dan kemudian pilihlah kombinasinya yang paling optimum.

Dasar dari proses optimasi adalah pertimbangan dalam pemilihan kriteria apa yang akan dioptimasi. Seperti halnya dalam perencanaan optimasi jaringan pipa yang akan diulas dalam tugas akhir ini adalah, bagaimana menentukan dimensi (diameter dan ketebalan dinding nominal) terhadap kebutuhan debit, tekanan operasi maupun tekanan lingkungan, dan kondisi lingkungan dimana jaringan pipa tersebut akan dipasang. Yang akhirnya akan dibandingkan terhadap biaya investasi minimum pembangunan jaringan pipa tersebut.

3.1.2. Prosedur Optimasi

Dalam mengoptimasi sebuah sistem, yang hampir aksiomatik, dimana fungsi objektif tergantung pada lebih dari satu variabel. Faktanya, beberapa sistem termal mempunyai lusinan atau bahkan ratusan variabel yang menginginkan teknik tinggi dalam proses pengoptimasiannya, dan kondisi batas (*constraint*) juga dibutuhkan dalam prosedur optimasi ini.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam optimasi, namun yang digunakan untuk mengoptimasi jaringan pipa pada tugas akhir ini adalah metode *Geometric Programming*. Alasan penulis menggunakan metode *Geometric Programming*, karena metode ini mengoptimasi sebuah fungsi yang terdiri dari penjumlahan polinomial, dimana variabel-variabel yang tersedia naik menjadi eksponen yang bilangan bulat atau bukan. Dan

prosedur ini juga sangat cocok untuk optimasi pada sistem termal (W.F., 1989).

a. Geometric Programming

Adalah salah satu metode optimasi terbaru yang diperkenalkan oleh Clarence Zener, dengan memperkenalkan signifikansi geometrik dan aritmatik dalam mengoptimasi tanpa batas. Bentuk kalimat masalah yaitu sebagian diadaptasi oleh *geometric programming* adalah penjumlahan pangkat untuk kedua fungsi yang akan dioptimasi (*objective*) dan fungsi batasnya (*constraint*).

b. Bentuk Fungsi Objective dan Constraint

Geometric programming diadaptasi untuk permasalahan-permasalahan dimana fungsi objektif dan batasan yang merupakan penjumlahan variabel polinomial. Variabel-variabel tersebut dapat diperoleh dari bilangan bulat atau bukan, yang naik menjadi eksponen bernilai positif maupun negatif.

c. Derajat Kesulitan (Degree of Difficulty)

Duffin, Petersson, dan Zenner menemukan derajat kesulitan saat diaplikasikan pada permasalahan *geometric programming* sebagai

$$T_p - (N_p + 1) \dots \dots \dots [3.1]$$

Dimana T_p adalah jumlah seluruh term dalam fungsi. Saat derajat kesulitan di atas angka nol, barulah *geometric programming* ini dapat digunakan, tetapi metode yang dipakai akan menghasilkan persamaan non linear, yang mana kemungkinan nantinya akan memakan waktu lebih dibandingkan dengan metode lainnya.

d. Mekanisme Solusi Untuk Satu Variabel Bebas, Kondisi Tak-terbatas.

Nilai optimal y^* akan dapat terlihat pada fungsi:

$$y = c_1 x^{a1} + c_2 x^{a2} \dots \dots \dots [3.2]$$

Bentuk pecahannya akan didisain oleh symbol u , manjadi:

$$u_1 = c_1 x^{a_1} \quad u_2 = c_2 x^{a_2} \quad y = u_1 + u_2$$

Geometric programming menekankan nilai optimal y^* dapat juga dihasilkan dalam bentuk yang dapat juga kita sebut dengan g^*

$$y^* = g^* = \left(\frac{c_1 x^{a_1}}{w_1}\right)^{w_1} \left(\frac{c_2 x^{a_2}}{w_2}\right)^{w_2} \dots\dots\dots [3.3]$$

$$\text{Bahwa: } w_1 + w_2 = 1 \dots\dots\dots [3.4]$$

Dan

$$a_1 w_1 + a_2 w_2 = 0 \dots\dots\dots [3.5]$$

Konsekuensinya apabila x dihilangkan pada persamaan [3.3], maka persamaannya menjadi:

$$y^* = g^* = \left(\frac{c_1}{w_1}\right)^{w_1} \left(\frac{c_2}{w_2}\right)^{w_2} \dots\dots\dots [3.6]$$

Dimana w_1 dan w_2 dikhususkan kepada persamaan [3.4] dan [3.5]

Signifikansi w_1 dan w_2 lebih lanjut lagi adalah pada titik optimum.

$$w_1 = \frac{u_1^*}{u_1^* + u_2^*} = \frac{u_1^*}{y^*} \dots\dots\dots [3.7]$$

$$w_2 = \frac{u_2^*}{u_1^* + u_2^*} = \frac{u_2^*}{y^*} \dots\dots\dots [3.8]$$

Persamaan [3.7] dan [3.8] sangat berguna untuk menyelesaikan x^*

e. Kondisi Tak-terbatas, Optimisasi Multivariabel

Geometric programming untuk satu variabel *independent* merupakan perpanjangan dalam sebuah pendekatan menuju optimisasi multi variabel. Apabila aplikasi berlanjut ke konsentrasi pada permasalahan derajat kesulitan nol, dua variabel permasalahan, misalnya, akan mempunyai fungsi yang terdiri dari tiga keadaan.

Substansi prosedur penyelesaian matematika dari permasalahan ini adalah dengan membangun pola pemecahan sebagai berikut:

- Ajukan sebuah fungsi g dari persamaan [3.9]

$$g^* = \left(\frac{U_1}{w_1}\right)^{w_1} \left(\frac{U_2}{w_2}\right)^{w_2} = \left(\frac{c_1 x^{a_1}}{w_1}\right)^{w_1} \left(\frac{c_2 x^{a_2}}{w_2}\right)^{w_2} \dots\dots\dots [3.9]$$

Dimana: $w_1 + w_2 = 1$

- Rangkaian penjumlahan w akan sama dengan satu
- Maksimalkan $\ln g$ untuk

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1$$

Untuk mendapatkan w optimal sama dengan pecahan u , adalah total dari persamaan [3.10].

$$w_1 = \frac{u_1}{u_1 + u_2}$$

$$w_2 = \frac{u_2}{u_1 + u_2} \dots\dots\dots [3.10]$$

Dengan nilai w optimal, fungsi g harus sama dengan fungsi aslinya yang dioptimasi.

- Optimasi fungsi. Penurunan terhadap x sekarang telah menjadi sebuah persamaan turunan parsial, dan turunannya sama dengan nol, menurut persamaan dikalikan dengan x_i yang cocok.
- Hasilnya adalah penjumlahan tiap variabel

$$\sum_{i=1}^T a_{tn} w_t = 0$$

f. Optimasi Kondisi Batas Dengan Derajat Kesulitan Nol

Tipe terakhir dari permasalahan *Geometric Programming* yang akan dibahas adalah kondisi batas yang tidak sama. Hanya kasus dengan derajat kesulitan sama dengan nol yang dipertimbangkan, dan total jumlah term (T_p) maksudnya adalah penjumlahan term dalam fungsi objektif dan kondisi batas. Untuk meminimalkan fungsi objektif, adalah sebagai berikut:

$$y = u_1 + u_2 + u_3 \dots\dots\dots [3.11]$$

dan subjek yang menjadi kondisi batasnya adalah

$$u_4 + u_5 = 1 \dots\dots\dots [3.12]$$

dimana u adalah polinomial dalam term dari keempat variabel bebas, $x_1, x_2, x_3,$ dan x_4 . Dan sebelah kanan persamaan kondisi batas harus satu kesatuan, yang mana tidak akan terjadi masalah selama satu term numerik murni muncul dalam persamaan. Apabila angka tersebut tidak menjadi satu kesatuan, persamaan yang ada dapat dibagi menjadi oleh bilangan untuk mengkonversinya menjadi satu kesatuan.

Fungsi objektif dapat ditulis kembali:

$$y^* = g^* = \left(\frac{u_1}{w_1}\right)^{w_1} \cdot \left(\frac{u_2}{w_2}\right)^{w_2} \cdot \left(\frac{u_3}{w_3}\right)^{w_3} \dots\dots\dots [3.13]$$

dimana nantinya:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \dots\dots\dots [3.14]$$

dan

$$w_i = \frac{u_i}{u_1 + u_2 + u_3} \dots\dots\dots [3.15]$$

Dan persamaan kondisi batasnya dapat ditulis sebagai:

$$u_4 + u_5 = 1 = \left(\frac{u_4}{w_4}\right)^{w_4} \cdot \left(\frac{u_5}{w_5}\right)^{w_5} \dots\dots\dots [3.16]$$

Dimana:

$$w_4 + w_5 = 1 \dots\dots\dots [3.17]$$

dan

$$w_4 = \frac{u_4}{1} = u_4 \quad \text{dan} \quad w_5 = \frac{u_5}{1} = u_5 \dots\dots\dots [3.18]$$

Persamaan [3.16] dapat dinaikkan menjadi pangkat M, dimana M adalah sebuah konstanta pengubah, dan nilainya tetap satu

$$1 = \left(\frac{u_4}{w_4}\right)^{Mw_4} \cdot \left(\frac{u_5}{w_5}\right)^{Mw_5} \dots\dots\dots [3.19]$$

Pengalian selanjutnya

$$y = g = \left(\frac{u_1}{w_1}\right)^{w_1} \cdot \left(\frac{u_2}{w_2}\right)^{w_2} \cdot \left(\frac{u_3}{w_3}\right)^{w_3} \cdot \left(\frac{u_4}{w_4}\right)^{Mw_4} \cdot \left(\frac{u_5}{w_5}\right)^{Mw_5} \dots\dots\dots [3.20]$$

sisihkan sementara persamaan [3.13] sampai [3.20] dan kembali ke persamaan [3.11] dan [3.12], selesaikan dengan *Lagrange Multiplier*

$$\nabla(u_1 + u_2 + u_3) - \lambda[\nabla(u_4 + u_5)] = 0 \dots\dots\dots [3.21]$$

$$u_4 + u_5 = 1 \dots\dots\dots [3.22]$$

persamaan vektor [3.21] mewakili persamaan skalar, bentuk yang mana turunan parsialnya mengenai x_1 sampai x_4 . Dengan menggunakan kemudahan dari fakta, bahwa seluruh u adalah polinomial tiap persamaan skalar (pada persamaan [3.21]) dapat dikalikan dengan variabel sehubungan persamaan yang baru diturunkan. Hasilnya adalah:

$$a_{11}u_1^* + a_{21}u_2^* + a_{31}u_3^* - a_{41}u_4^* - a_{51}u_5^* = 0$$

$$a_{14}u_1^* + a_{24}u_2^* + a_{34}u_3^* - a_{44}u_4^* - a_{54}u_5^* = 0 \dots\dots\dots [3.23]$$

Tanda bintang pada persamaan [3.23] mengindikasikan nilai-nilai optimal dari u . selanjutnya hasil persamaan [3.23] dapat disatukan dengan persamaan [3.13] sampai persamaan [3.20]. bagi persamaan [3.23] dengan y^* .

$$a_{11}u_1 + a_{21}u_2 + a_{31}u_3 - a_{41}u_4 - a_{51}u_5 = 0$$

$$a_{14}u_1 + a_{24}u_2 + a_{34}u_3 - a_{44}u_4 - a_{54}u_5 = 0 \dots\dots\dots [3.24]$$

Selama

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

Dari persamaan [3.17]

$$Mw_4 + Mw_5 = M \dots\dots\dots [3.25]$$

Sehingga menghasilkan:

$$y^* = \left(\frac{u_1}{w_1}\right)^{w_1} \cdot \left(\frac{u_2}{w_2}\right)^{w_2} \cdot \left(\frac{u_3}{w_3}\right)^{w_3} \cdot \left(\frac{u_4}{w_4}\right)^{Mw_4} \cdot \left(\frac{u_5}{w_5}\right)^{Mw_5}$$

3.1.3. Fungsi-fungsi yang Digunakan

i. **Debit**

Merupakan fungsi yang digunakan untuk menyatakan berapa banyak volume, dalam konteks ini fluida, yang mengalir per satuan waktu. Atau dapat kita tuliskan dalam bahasa matematikanya sebagai berikut:

$$Q = A \cdot U$$

Hubungan diameter dengan debit, adalah seperti pada persamaan di bawah ini:

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot U$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi}} \dots \dots \dots [3.26]$$

ii. **Tekanan**

Tekanan sangat mempengaruhi baik bagi aliran di dalam pipa maupun terhadap material pipa itu sendiri. Oleh karenanya perlu memperhitungkan tekanan yang diakibatkan oleh lingkungan terhadap pipa di samping tekanan yang terjadi dalam pipa selama operasional jalur pipa ini nantinya.

a) Tekanan yang diakibatkan oleh lingkungan

Tekanan yang diakibatkan oleh lingkungan yang dimaksud adalah tekanan yang ditimbulkan akibat tekanan hidrostatis air laut yang bekerja pada pipa. Tekanan ini bernilai diasumsikan bernilai negatif karena arahnya yang menekan pipa.

$$P_h = \rho_w \cdot g \cdot h$$

b) Hilang Tinggi Tekan ΔP

Faktor kedua yang mempengaruhi aliran dalam pipa adalah hilang tinggi tekan. Pada saat aliran mengalami hilang tinggi tekan, aliran dapat berubah fase, dari fase gas berubah menjadi fase liquid, yang artinya akan mempengaruhi jumlah debit yang mengalir dalam pipa. perubahan fase ini menyebabkan beban kerja bagi kompresor, akhirnya umur kompresor menjadi lebih singkat dari umur yang direncanakan, dan debit aliran tidak sesuai dengan debit rencana.

Hilang tinggi tekan sebenarnya dibagi menjadi dua, yaitu *minor losys* dan *major losys*. Pada tugas kali ini, penulis hanya menyertakan *major losys*, karena sedikit sekali ditemukan hilang tinggi tekan *minor losys*, seperti yang diakibatkan oleh elbow, fitting pipa, maupun valve yang dipasang sepanjang jaringan pipa. Hilang tinggi tekan *major losys* dipengaruhi oleh dimensi dan faktor kekasaran dinding pipa, seperti yang dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\Delta P = f \frac{L_e U^2}{D g} \rho_f \dots\dots\dots [3.27]$$

$$\Delta P = f \frac{L_e}{D} \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{g} \rho_f$$

Sehingga hubungan diameter dengan hilang tinggi tekan menjadi:

$$D = \frac{f \cdot L_e \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \cdot \rho_f}{\Delta P \cdot g}$$

iii. Ketebalan Dinding (*Wall Thickness*) Pipa

Ketebalan dinding (*wall thickness*) pipa merupakan ketebalan yang dibutuhkan agar dinding pipa tidak mengalami deformasi selama pipa tersebut di pasang maupun selama pipa tersebut beroperasi. Adapun ketebalannya ditentukan oleh tekanan internal dan eksternal pipa, diameter pipa yang dipasang, material yang digunakan, faktor sambungan pipa, faktor disain pipa, faktor temperatur operasi. Sehingga dapat kita tuliskan persamaannya menjadi:

$$t_{nom} = \frac{\Delta P \cdot OD}{2 \cdot S.F.E.T} \dots\dots\dots [3.28]$$

Dan hubungan diameter pipa dengan tebal dinding nominal menjadi:

$$D = \frac{2 \cdot S.F.E.T \cdot (t_{Nom} - t_a)}{\Delta P}$$

iv. Angka Reynolds

Adalah konstanta yang tidak memiliki satuan. Angka Reynolds ini tergantung pada diameter pipa, laju aliran rata-rata, viskositas fluida, dan density fluida dalam pipa.

$$R_e = \frac{\rho_f \cdot U \cdot D}{\mu} \dots \dots \dots [3.29]$$

Hubungan diameter terhadap angka Reynolds, adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{R_e \cdot \mu}{\rho_f \cdot (Q/A)}$$

v. Faktor Gesek

Adalah faktor yang mempengaruhi debit sebuah aliran. Faktor gesek menentukan besar hilang tinggi tekanan akibat gesekan antara fluida dengan dinding pipa.

Untuk aliran laminar, dengan $R_e < 2000$

$$f = \frac{64}{R_e} \dots \dots \dots [3.30]$$

Untuk aliran turbulen, dengan $R_e > 2000$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \ln \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right) \dots \dots \dots [3.31]$$

Hubungan diameter dengan faktor gesek adalah sebagai berikut:

Anggap :

$$a = -2 \cdot \ln \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Sifat logaritma [1]: $-a \ln b = \ln \frac{a}{b}$

Maka:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \ln \frac{2}{\left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right)}$$

Sifat logaritma [2]: $\ln b = a$, maka: $b = e^a$

$$e^{1/\sqrt{f}} = \frac{2}{\left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right)} = \frac{2}{(e \cdot R_e \cdot \sqrt{f} + 2.51(3.7) \cdot D) / 3.7D \cdot R_e \cdot \sqrt{f}}$$

$$e^{1/\sqrt{f}} = \frac{7.4D \cdot R_e \cdot \sqrt{f}}{e \cdot R_e \cdot \sqrt{f} + 2.51(3.7) \cdot D}$$

$$e^{1/\sqrt{f}} (e \cdot R_e \cdot \sqrt{f} + 9.287D) = 7.4D \cdot R_e \cdot \sqrt{f}$$

$$e \cdot R_e \cdot \sqrt{f} + 9.287D = \frac{7.4D \cdot R_e \cdot \sqrt{f}}{e \sqrt{f}}$$

$$e \cdot R_e \cdot \sqrt{f} = \frac{7.4D \cdot R_e \cdot \sqrt{f}}{e \sqrt{f}} - 9.287D$$

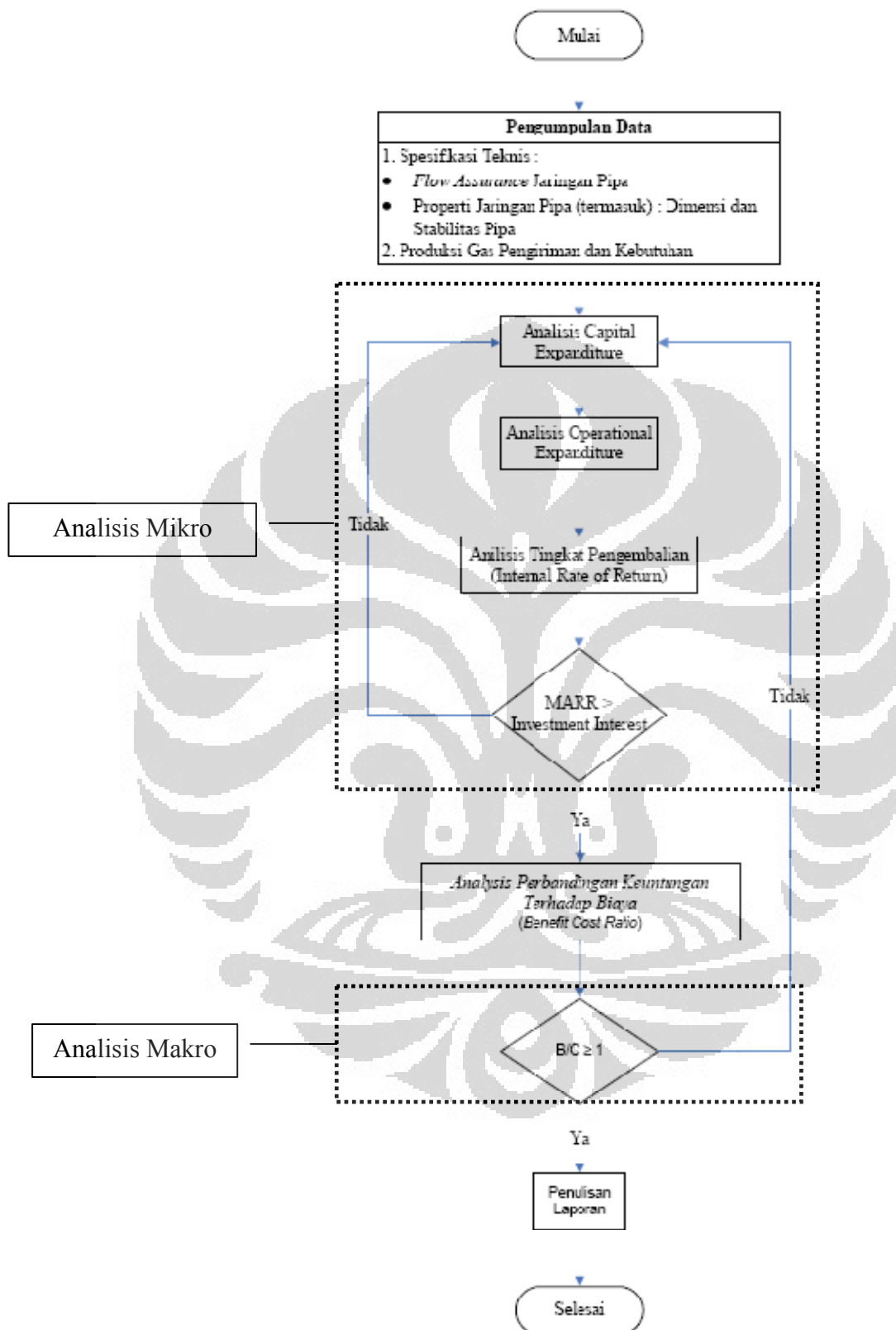
$$D = \frac{e \cdot R_e \cdot \sqrt{f}}{\left(\frac{7.4R_e \cdot \sqrt{f}}{e \sqrt{f}} - 9.287 \right)}$$

3.2. ANALISIS KEEKONOMIAN

Dalam mengukur tingkat kelayakan sebuah proyek, tidak semata hanya berpatokan pada aspek teknis semata tetapi juga pada aspek ekonomi. Kedua aspek tersebut memegang peran penting yang saling bergantung satu dengan yang lainnya.

Pada tugas akhir ini sangat terlihat bagaimana keduanya memegang peranan penting dalam menentukan kelayakan sebuah proyek. Aspek teknis berfungsi sebagai sebuah tuntunan visual bagi pemilik pekerjaan, yang mampu meramalkan apa yang akan terjadi sewaktu keinginannya terlaksana. Sedangkan aspek ekonomi berguna sebagai pemberi batas yang jelas apakah proyek tersebut layak dilaksanakan atau tidak, karena dua faktor mendasar yang ingin diketahui oleh seorang investor, pertama dia ingin mengetahui apakah proyek, tempat dimana dia berinvestasi, itu menguntungkan atau tidak. Kemudian pertanyaan selanjutnya adalah, anggap saja proyek tersebut menguntungkan, berapa lamakah modal yang digunakannya dalam berinvestasi akan kembali.

Pada perhitungan kelayakan keekonomian menggunakan dua jenis analisis, yaitu analisis mikro dan analisis makro (DeGarmo Paul E. et al, 1997).



Gambar 3.1. Diagram alir analisis keekonomian proyek jaringan pipa distribusi gas

Analisis mikro mencakup tingkat pengembalian internal (*Internal Rate Of Return*), *net present value* (NPV), dan tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (*Most Attract Rate of Return/MARR*). Ketiga faktor tersebut dijadikan dasar kelayakan dalam berinvestasi pada harga *toll fee* (dalam konteks ini adalah harga yang terbentuk pada saat fluida yang akan dijual mengalir dalam jaringan pipa). Sedangkan tinjauan analisis makro dilakukan dengan meninjau perbandingan manfaat terhadap biaya (*Benefit/Cost Ratio*).

a. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate Of Return*)

Metode tingkat pengembalian internal (*Internal Rate Of Return*) adalah metode tingkat pengembalian yang paling luas digunakan untuk menjalankan analisis investasi. Metode ini dikenal juga dengan metode arus kas terdiskonto (*discounted cash flow method*).

Suatu proyek dapat dikatakan berhasil bila memenuhi dua syarat berikut:

- Nilai NPV positif
- Bunga pada NPV kurang dari bunga IRR

Secara formula ekonomi IRR biasanya ditentukan secara coba-coba untuk memenuhi kondisi dimana nilai akumulasi aliran kas adalah nol pada akhir umur proyek.

$$-CI + \frac{A[1-(1+IRR)^{-N}]}{IRR} = 0 \dots\dots\dots [3.32]$$

Atau

$$\frac{A[1-(1+IRR)^{-N}]}{IRR} = CI$$

Kriteria ini menghitung tingkat diskonto yang menyamakan nilai sekarang dari suatu arus kas yang diharapkan dimasa yang akan datang, dengan pengeluaran investasi awal.

Persamaan lain untuk menghitung tingkat hasil pengembalian internal IRR adalah sebagai berikut:

$$\frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots\dots\dots [3.33]$$

Dimana CF_1 , CF_2 , dan seterusnya adalah arus kas bersih pada tahun ke-satu dan seterusnya sampai tahun ke- n , dan n adalah umur proyek yang diharapkan, I_0 adalah biaya awal investasi dan r adalah tingkat pengembalian internal yang dicari untuk menjadikan *present value* dari arus kas bersih sama dengan *present value* pada biaya awal investasi.

b. Net Present Value (NPV)

Adalah nilai akumulasi penerimaan atau aliran kas (*cash flow*), setelah dipotong pajak, pengembalian modal, pinjaman, dan bunga pinjaman, yang dihitung untuk jangka waktu tertentu. Indikator ini bermanfaat untuk menunjukkan apakah dalam jangka waktu tertentu. Misalnya dengan jangka waktu N tahun, posisi investasi kita apakah berada pada titik impas (*break even point*), atau sudah menghasilkan manfaat dari investasi.

NPV bersifat positif menunjukkan bahwa dalam jangka waktu tersebut rencana bisnis telah menunjukkan adanya manfaat yang diperoleh dari proyek. Formula NPV dapat dituliskan sebagai berikut:

$$NPV = -CI + \frac{A[1-(1+i)^{-N}]}{i} \dots\dots\dots [3.34]$$

Metode perhitungan secara matematis yang hamper sama dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$NPV = \left[\frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \right] - I_0 \dots\dots\dots [3.35]$$

Dimana CF_1 , CF_2 , dan seterusnya sampai umur N sebuah reservoir adalah arus kas bersih dari nilai kekinian (*present value*) yang diharapkan sedangkan I_0 adalah biaya awal investasi dan r adalah *discount rate* yang digunakan dalam analisis.

Nilai NPV positif atau lebih besar daripada nol menandakan proyek tersebut layak dilaksanakan.

c. Tingkat Pengembalian Minimum Yang Diinginkan (Most Attract Rate of Return/MARR)

Tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (*Most Attract Rate of Return/MARR*) merupakan indikator dalam pengambilan keputusan manajemen dari beberapa pertimbangan. Diantara pertimbangan-pertimbangan tersebut sebagai berikut:

- Jumlah uang yang tersedia untuk berinvestasi, dan sumber serta biaya dari dana-dana tersebut (yaitu: dana ekuitas atau dana pinjaman)
- Jumlah proyek baik yang tersedia untuk investasi dan keperluannya (yaitu, apakah mempertahankan operasi yang ada sekarang dan bersifat *esensial*, atau memperluas operasi sekarang dan bersifat *elektif*.)
- Besarnya resiko yang dirasakan sehubungan dengan peluang-peluang investasi menjadi ada untuk perusahaan dan biaya diperkirakan untuk mengelola proyek-proyek dalam cakrawala perencanaan pendek terhadap cakrawala perencanaan panjang
- Jenis organisasi yang terlibat (yaitu: pemerintah, utilitas publik, atau industri kompetitif)

Dalam teori, MARR, yang sering disebut juga tingkat tarif haruslah dipilih untuk memaksimalkan kesejahteraan ekonomis suatu organisasi, sesuai dengan jenis-jenis pertimbangan yang di atas. Masalahnya adalah ketika modal yang dimiliki tidak mampu menutupi seluruh kebutuhan investasi. Oleh karenanya perlu ada pertimbangan terhadap proyek-proyek yang diambil berdasarkan pada tingkat pengembalian minimum yang diinginkan.

d. Perbandingan Manfaat Terhadap Biaya (Benefit/Cost Ratio)

Metode perbandingan manfaat terhadap biaya (Benefit/Cost Ratio) mencakup perhitungan perbandingan manfaat terhadap biaya. Dalam mengevaluasi proyek-proyek, nilai uang terhadap waktu haruslah dipertimbangkan berdasarkan perhitungan waktu arus kas (manfaat) yang terjadi setelah proyek dimulai. Sehingga perbandingan B/C sebenarnya merupakan perbandingan manfaat terdiskonto terhadap biaya terdiskonto.

Perbandingan B/C didefinisikan sebagai perbandingan dari nilai ekivalen manfaat-manfaat terhadap nilai ekvalen biaya-biaya. Ukuran nilai ekivalen yang diterapkan dapat berupa nilai sekarang, nilai tahunan, atau nilai masa depan, tetapi biasanya, AW, atau PW yang digunakan. Tingkat bunga menggunakan perhitungan nilai ekivalen.

Perbandingan B/C konvensional dengan metode PW dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B/C = \frac{PW(\text{manfaat proyek yang diusulkan})}{PW(\text{biaya total proyek yang diusulkan})} = \frac{PW(B)}{1+PW(O\&M)} \dots\dots\dots [3.36]$$

Perbandingan B/C termodifikasi dengan metode PW dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B/C = \frac{PW(B)-PW(O\&M)}{1} \dots\dots\dots [3.37]$$

Pembilang dari perbandingan manfaat /biaya termodifikasi menyatakan nilai ekuivalen manfaat dikurangi nilai dari biaya-biaya O&M, dan penyebut hanya mencakup biaya-biaya investasi awal. Proyek diterima jika perbandingan B/C, lebih besar dari 1.0

Perbandingan B/C konvensional dengan metode PW, nilai sisa disertakan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B/C = \frac{PW(\text{manfaat proyek yang diusulkan})}{PW(\text{biaya total proyek yang diusulkan})} = \frac{PW(B)}{1-PW(S)+PW(O\&M)} \dots\dots\dots [3.38]$$

Perbandingan B/C termodifikasi dengan metode PW, nilai sisa disertakan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B/C = \frac{PW(B)-PW(O\&M)}{1-PW(S)} \dots\dots\dots [3.40]$$

Perbandingan B/C yang dihasilkan untuk semua rumus di atas akan memberikan hasil-hasil yang konsisten dalam menentukan kelayakan suatu proyek (misalnya, baik $B/C > 1.0$ atau $B/C = 0$). Besaran perbandingan B/C akan berbeda antara metode konvensional dan termodifikasi, meskipun keputusan yang diambil nantinya tergantung pada pemilihan metode mana yang lebih cocok.

e. **Biaya Operasional**

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan untuk keperluan pipa transmisi selama umur proyek. Biaya ini meliputi:

- Biaya perawatan pipa rutin yang timbul tiap tahun, diasumsikan 3% dari investasi pipa, kenaikan biaya ini adalah 5% per tahun.
- Biaya perawatan kompresor rutin yang timbul setiap tahun diasumsikan 3% dari investasi kompresor, kenaikan biaya ini adalah 5% per tahun.

- Biaya operasional kompresor meliputi biaya listrik, bahan bakar, dan semua biaya yang terkait dengan pengoperasian kompresor secara rutin tiap tahun diasumsikan 10% dari biaya investasi kompresor. Kenaikan ini adalah 5% per tahun.
- Biaya overhaul kompresor dihitung setiap 5 tahun dan besarnya 50% dari nilai investasi kompresor.

f. Biaya Bunga

Bunga pinjaman merupakan tingkat pengembalian pinjaman yang harus dibayarkan, tingkat bunga sangat menentukan dari asal pinjaman. Pada perhitungan ini diasumsikan bunga pinjaman adalah 9%.

g. Biaya Depresiasi

Depresiasi didefinisikan sebagai “penurunan nilai”. Nilai yang dimaksud adalah, nilai kepuasan pemilik barang terhadap produktivitas dari sebuah barang produksi itu sendiri. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan metode perhitungan depresiasi.

Metode ini menghasilkan nilai depresiasi konstan yang diaplikasikan terhadap nilai buku sebuah aset.

$$\text{Depresiasi Declining Balance} = \frac{2}{\text{total umur produktivitas}} (\text{nilai buku}) \dots \dots \dots [3.41]$$

Untuk metode *Declining Balance* adalah biaya aset P dikurangi dengan depresiasi total pada akhir tahun ke-n, atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai Buku} &= P - \text{total DDB pada akhir tahun ke } - n \\ &= P - P \left[1 - \left(1 - \frac{2}{N} \right)^n \right] = P \left(1 - \frac{2}{N} \right)^n \dots \dots \dots [3.42] \end{aligned}$$

Dari berbagai metode perhitungan depresiasi, penulis memutuskan memakai metode ini, karena penulis tidak mengetahui nilai sisa dari barang yang ditinjau pada akhir umur produktivitasnya. Atau dengan kata lain, nilai buku DDB bebas dari estimasi nilai sisa asset yang ditinjau (Donald G. Newnan, 1998).

h. Tingkat Diskonto

Tingkat terdiskonto merupakan perubahan nilai uang sebagai fungsi waktu, tingkat diskonto pada analisis ini adalah sebesar 9% dan digunakan pada analisis NPV.

i. Analisis Resiko

Resiko dapat dimanifestasikan sebagai sebagai tingkat ketidakpastian, selama berinvestasi, yang mengakibatkan terputusnya informasi-informasi yang dibutuhkan oleh investor untuk mengetahui parameter-parameter ekonomi yang dapat mempengaruhi aliran dana.

Para investor memerlukan beberapa indikasi yang mampu mewakili resiko-resiko apa saja yang akan terjadi dengan proyek yang dibiayainya selama umur investasi. Sehingga akan mempengaruhi tingkat pengembalian, dan berapa jumlah modal yang diinvestasikan, serta biaya-biaya pada proyek tersebut.

Resiko yang mempengaruhi tingkat pengembalian salah satunya adalah *shutdown time*. Resiko *shutdown time* dapat terjadi akibat kegagalan system yang dipakai, atau juga karena pekerjaan pemeliharaan sehingga pemilik harus mematikan sistemnya selama waktu yang ditentukan.

Resiko *shutdown time* mempengaruhi jumlah produksi harian, sehingga dapat mempengaruhi tingkat pengembalian secara langsung. Dalam analisis ini, penulis menetapkan *shutdown time* 10 hari. Sehingga total hari produksi dalam satu tahun kalender dikurangi dengan jumlah hari *shutdown time*

BAB IV

ANALISIS OPTIMASI DAN KEEKONOMIAN

4.1. Optimasi Dimensi Jaringan Pipa

Tujuan optimasi dimensi jaringan pipa adalah untuk mencari diameter optimum yang mana mampu memenuhi kebutuhan konsumen, dalam hal ini adalah Pembangkit Listrik Muara Tawar di Bekasi.

Konsekuensinya, pipa tersebut harus memiliki tebal dinding (*wall thickness*) sehingga mampu menahan tekanan operasional, tekanan lingkungan dan stabilitasnya selama operasi. Dengan mempertimbangkan biaya optimum investasi.

Biaya optimum investasi (y) adalah seluruh pengembalian (R) dikurangi dengan biaya pengeluaran selama operasi.

$$y = R - C \dots\dots\dots [4.1]$$

a. Pengembalian

Pengembalian diasumsikan sebagai seluruh biaya yang masuk dalam aliran biaya selama operasional, yaitu hasil produksi dipotong dengan royalti.

$$R_n = [(produksi - FTP - CR) - 25\% DMO + 15\% DMO Fee] \times P_{gas}$$

Seperti yang terlihat pada skema pembagian produksi Pemerintah-Kontraktor (gambar [4.1]) dan aliran kas dalam tabel [4.9].

b. Pengeluaran

Adalah seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa investasi.

Yang dipertimbangkan adalah:

$$C = investasi + depresiasi + (operasional \& maintenance) \dots\dots\dots [4.2]$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel [4.9] aliran kas.

Biaya investasi dibagi kedalam beberapa pembiayaan:

i. Biaya pipa

- Biaya pembelian pipa

$$y_1 = 1.157XD^{1.5}$$

- Biaya pemasangan pipa

$$y_2 = (7\%)*1.157XD^{1.5}$$

- Biaya pemeliharaan pipa

$$y_3 = [3\%*1.05^{(N-1)}]*[(1.157XD^{1.5}) + ((0.07*1.157XD^{1.5})]$$

sehingga biaya pipa menjadi:

$$y_{pipa} = y_1 + y_2 + y_3$$

ii. Biaya compressor

$$y_{compressor} = (6*10^{-4}) * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (f * L * \rho)] + 0.459 * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (f * L * \rho)]^{0.5} + 707$$

total biaya investasi adalah:

$$y_{investasi} = y_{pipa} + y_{compressor}$$

$$y_{investasi} = \{[(1.157XD^{1.5})] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}] + [3\% * 1.05^{(N - 1)}] * [(1.157XD^{1.5}) + (0.07 * 1.157XD^{1.5})]\} + \left\{ \left[(6x10^{-4}) * \left[\frac{(\Delta P * 1.234 D^3)}{(f * L * \rho)} \right] + 0.459 * \left[\frac{(\Delta P * 1.234 D^3)}{(f * L * \rho)} \right]^{0.5} + 707 \right] + (10\% * 1.05^{N-1}) \left[(6x10^{-4}) * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (f * L * \rho)] + (4.59x10^3) * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (f * L * \rho)]^{0.5} + 707 \right] \right\}$$

Kasus yang Dianalisis

Tabel 4.1

Kasus yang Dianalisis

No.	Parameter	Jumlah
1.	Properti Fluida dalam Pipa	
	1.1 Specific Gravity (G)	0.05
	1.2 Density fluida (ρ)	50 kg/m ³
	1.3 Temperatur Operasi (T_{op})	35 ⁰ C
2.	Properti Pipa	
	2.1 Kelas Pipa (E)	1.00
	2.2 Faktor Disain Wilayah (F)	0.72
	2.3 Faktor Derating Temperatur (T)	1.00
	2.4 Tebal Dinding Ijin Untuk Korosi (t_a)	0.003 m
	2.5 Modulus Young (E_m)	2.07 x 10 ⁵ N/m ²
	2.6 Poisson Rasio (ν)	0.3
	2.7 Faktor Kekasaran (f)	0.02
	2.8 Density Pipa (ρ_p)	7850 kg/m ³
	2.9 Kekasaran Material (e)	0.046 m
	2.10 Kondisi Pipa Tertumpu (c)	1.571
	2.11 Faktor <i>collapse</i> pipa (f_0)	0.7
	2.12 Panjang Rute Pipa	160,000 m
3.	Kondisi Lingkungan	
	3.1 Density Air Laut (ρ_{laut})	1025 kg/m ³
	3.2 Kekasaran Dasar Laut (μ_s) (asumsi tanah berpasir)	0.7
4.	Parameter Ekonomi	
	4.1 Lama investasi (N)	15 tahun
	4.2 Harga rata-rata penjualan gas	5 USD/mmmbtu
	4.3 Bunga Pinjaman (i)	9 %
	4.4 Resiko <i>Shutdown time</i>	10 hari

Masukan nilai-nilai kasus yang dianalisis

$$y_{investasi} = \{[(1.157XD^{1.5})] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}] + [3\% * 1.05^{(N-1)} * [(1.157XD^{1.5}) + (0.07 * 1.157XD^{1.5})]]\} + \{(6 \times 10^{-4}) * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (0.02 * L * 50)] + 0.459 * [(\Delta P * 1.234 D^3) / (0.02 * L * 50)]^{0.5} + 707\}$$

Sederhanakan:

$$y_{investasi} = \{(1 + 0.0315^{(N-1)})[[1.157XD^{1.5}] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}]]\} + \{(1 + 0.105^{(N-1)})\left[\frac{0.037 * \Delta P * D^3}{L} + 3.605 * \left(\frac{\Delta P * D^3}{L}\right)^{0.5} + 707\right]\}$$

c. Optimasi Investasi

Syarat investasi optimal adalah keuntungan maksimum dan /atau investasi yang minimum. Dalam tugas akhir ini, penulis mengasumsikan investasi yang optimal adalah dengan biaya investasi minimum. Atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_{investasi\ optimal} = y_{investasi\ minimum} = y^* \dots\dots\dots [4.3]$$

Jadi fungsi objektifnya adalah:

$$y = y_{investasi}$$

$$y = \{(1 + 0.0315^{(N-1)})[[1.157XD^{1.5}] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}]]\} + n * \{(1 + 0.105^{(N-1)})\left[\frac{0.037 * \Delta P * D^3}{L} + 3.605 * \left(\frac{\Delta P * D^3}{L}\right)^{0.5} + 707\right]\}$$

Masukan nilai parameter

$$n = \frac{160\ 000}{L}$$

$$y = \left\{ (1 + 0.0315^{(15-1)}) \left[[1.157XD^{1.5}] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}] \right] \right\} + \frac{160000}{L} * \left\{ (1 + 0.105^{(15-1)}) \left[\frac{0.037 * \Delta P * D^3}{L} + 3.605 * \left(\frac{\Delta P * D^3}{L} \right)^{0.5} + 707 \right] \right\}$$

$$y = \left\{ (1 + 9.4699 \times 10^{-22}) \left[[1.157XD^{1.5}] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}] \right] \right\} + \frac{160000}{L} * \left\{ (1 + 1.9799 \times 10^{-14}) \left[\frac{0.037 * \Delta P * D^3}{L} + 3.605 * \left(\frac{\Delta P * D^3}{L} \right)^{0.5} + 707 \right] \right\}$$

$$y = \left[[1.157XD^{1.5}] + [0.07 * 1.157XD^{1.5}] \right] + \left[\frac{5920 * \Delta P * D^3}{L^2} \right] + 73440 \left(\frac{\Delta P * D^3}{L^3} \right)^{0.5} + \frac{1.1312 \times 10^8}{L} \dots \dots \dots [4.4]$$

Dimensi yang diperoleh dari optimasi ini nantinya, diharapkan mampu mempertahankan kehandalannya terhadap tekanan kritis buckling selama operasinya (kondisi batas).

$$\Delta P = f_0 \cdot P_c$$

$$\frac{S_y \cdot \Delta P - 2S_y \cdot \Delta P \cdot v^2 + \Delta P \cdot v^4}{f_0^2} = \frac{4S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 - 8S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 v^2 + 4S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 v^4}{4S_y \left(\frac{t}{D} \right)^2 f_0^2} + 4E_m^2 \left(\frac{t}{D} \right)^6$$

Masukan parameter dari tabel [4.1]:

$$\frac{S_y \cdot \Delta P - 2S_y \cdot \Delta P \cdot (0.3)^2 + \Delta P \cdot (0.3)^4}{(0.7)^2} = \frac{4S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 - 8S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 (0.3)^2 + 4S_y^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 (0.3)^4}{4S_y \left(\frac{t}{D} \right)^2 (0.7)^2} +$$

$$4(2.07 \times 10^5)^2 \left(\frac{t}{D} \right)^6$$

Sederhanakan:

$$1.874S_y \cdot \Delta P = 2.041 \cdot S_y - 0.367S_y + 2.041S_y + 8.28 \times 10^{10} \left(\frac{t}{D} \right)^6$$

$$\frac{3.715 \cdot S_y + (8.28 \times 10^{10} \left(\frac{t}{D} \right)^6)}{S_y \cdot \Delta P} = 1 \dots \dots \dots [4.5]$$

Sehingga *degree of difficulty* (DOD) persamaan-persamaan diatas adalah:

$$DOD = T - (N + 1)$$

$$DOD = (T_o + T_c) - (N_o + N_c + 1)$$

$$DOD = (5 + 2) - (4 + 2 + 1) = 0$$

$$y^* = \left(\frac{1.157}{w_1}\right)^{w_1} \left(\frac{0.08099}{w_2}\right)^{w_2} \left(\frac{5920}{w_3}\right)^{w_3} \left(\frac{73440}{w_4}\right)^{w_4} \left(\frac{1.1312 \times 10^8}{w_5}\right)^{w_5} \\ \left(\frac{3.715}{w_6}\right)^{Mw_6} \left(\frac{8.28 \times 10^{10}}{w_7}\right)^{Mw_7}$$

Jadi:

$$\begin{aligned} X: & w_1 + w_2 = 0 \\ D: & 1.5w_1 + 1.5w_2 + 3w_3 + 1.5w_4 - 6Mw_7 = 0 \\ \Delta P: & w_3 + 0.5w_4 - Mw_6 - Mw_7 = 0 \\ L: & -2w_3 - 1.5w_4 - w_5 = 0 \\ S_y: & -Mw_7 = 0 \\ t: & 6Mw_7 = 0 \\ & w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 = 1 \\ & -Mw_6 - 2Mw_7 = M \end{aligned}$$

Dengan substitusi didapat:

Tabel 4.2
Rekapitulasi Nilai w

w_1	-2.217
w_2	2.217
w_3	-0.475
w_4	0.581
w_5	1.02
w_6	-0.421
w_7	0.319
M	0.429

Sehingga:

$$y^* = \left(\frac{1.157}{-2.217}\right)^{-2.217} \left(\frac{0.08099}{2.217}\right)^{2.217} \left(\frac{5920}{-0.475}\right)^{-0.475} \left(\frac{73440}{0.581}\right)^{0.581} \left(\frac{1.1312 \times 10^8}{1.02}\right)^{1.02} \\ \left(\frac{3.715}{-0.421}\right)^{-0.181} \left(\frac{8.28 \times 10^{10}}{0.319}\right)^{0.137}$$

$$y^* = (-4.228)(6.508 \times 10^{-4})(-0.0113)(920.705)(1.606 \times 10^8) \\ (-1.483)(36.623)$$

$$y^* = 2.497 \times 10^8$$

Maka:

$$U_n = y^* \times w_n$$

Tabel 4.3

Rekapitulasi nilai U

U ₁	- 553 589 405.5
U ₂	553 589 405.5
U ₃	- 118 608 465.3
U ₄	145 076 880.7
U ₅	254 696 072.9
U ₆	- 105 124 555.6
U ₇	79 654 948.29

Sehingga:

Dipilih pipa dengan diameter 32" x 15.88mm W.T. Grade X65

Tabel 4.4

Resume Analisis Optimasi Dengan Asumsi Diameter Berbeda

D (m)	t (m)	ΔP (Pa)	Sy (MPa)	Q mmscfd
0.711	50.19125097	23819.076	674.011	440
0.762	26.90665342	19349.458	547.533	440
0.813	15.0189481	15931.699	450.821	440
0.864	8.686218394	13273.715	375.608	440
0.916	5.13328248	11139.028	315.202	440
813	mm	X65	14.27mm W.T	

4.2. Analisis Keekonomian

1. Analisis Bill of Quantity

Tabel 4.5

LABUHAN MARINGGAI - MUARA TAWAR (PGN SSWJ-II)									
Cost Breakdown Linepipe and Subsea Valves Procurement									
LABUHAN MARINGGAI - MUARA TAWAR (PGN SSWJ-II)							DATE	June, 2006	
							CURRENCY	USD	
No.	Item	Description / Spec	Quantity	Unit	Unit Cost	Reference	Item Cost	Total Cost	
1.0	Jaringan Pipa Labuhan Maringgai - Muara							\$	204,251,222
1.1	32" Pipeline								
		Labuhan Maringgai - Muara Bekasi (PGN SSWJ-II)	160000	m					
		Line Pipe Allowance (Buckling &	1,50%	%					
		Line Pipe Spare (freSPAN & repairs)	0,50%	%					
		Tie in Spool (Tie in spool length from end of pipeline to	0	m					
		Purchase Order Adjustment	0	m					
		Total Line Pipe Length	163200	m					
		Total Line Pipe Quantity	13600	Joints					
		Line Pipe Diameter	0,356	m					
		Line Pipe Wall Thickness	0,0143	m					
		Line Pipe Unit Weight	282,00	kg/m					
	1.1.1	Total Weight of Line Pipe (Plus \$40 for tra	46022	Te	\$ 4,269	Supplier	\$ 196,469,626		
	1.1.2	Anti-Corrosion Coating FBE (450 micron) in	163200	m	\$ 46,32	Supplier	\$ 7,559,424		
	1.1.3	Anodes	5,00	Te	\$ 8,625	Supplier	\$ 43,125		
	1.1.4	Field Joint Coating (included in DLB day ra	13599	ea.	\$ -	Supplier	\$ -		
	1.1.5	Free Span Material (included in DLB day ra	20	lot	\$ -	Supplier	\$ -		
	1.1.6	Pipeline and Umbilical Crossing (incl. Mat	15	Te	\$ 7,937	Supplier	\$ 119,048		
	1.1.7	Storage Cost	1		\$ 50,000	Supplier	\$ 50,000		

Bill of Quantity

1.2	Flowline Mounted Equipments								
1.2.1	Barred Tee 14" x 8"	0	ea	\$ 2,217	Supplier	\$	-		
1.2.2	Tee/Valve Assembly &	0.0	Te	\$ 7,937	Supplier	\$	-		
1.2.3	90 Deg Elbow 8"	0	ea	\$ 317	Supplier	\$	-		
1.2.4	Barred Tee 14" x 14"	0	ea	\$ 1,800	Plug Estimate (ref. other project)	\$	-		
1.2.5	Barred Tee 8" x 8"	0	ea	\$ 1,320	Plug Estimate (ref. other project)	\$	-		
1.2.6	8" Flanges (3 tie in spools and flange at each end)	0	ea	\$ 362	Supplier	\$	-		
1.2.7	14" Flanges (3 tie in spools and flange at each end)	0	ea	\$ 792	Supplier	\$	-		
1.2.8	Waco Quick Connector	0	ea	\$ 6,000	Plug Estimate	\$	-		
1.2.9	Blinds, Bolts, Nuts and Gaskets included in	0	lot	\$ 12,000	Plug Estimate	\$	-		
1.2.10	Withodling Tax for item 1.2.2	0	lot	\$ -	3% from total cost	\$	-		
1.3	Custom Fees	1	lot	\$ 10,000		\$	10,000		
TOTAL								\$	204,251,222

2. Analisis Rekapitulasi Capital Expenditure (Capex)

Tabel 4.6

Rekapitulasi Capital Expenditure

LABUHAN MARINGGAI - MUARA TAWAR (PGN SSWJ-II)						DATE	June, 2006	
						CURRENCY	USD	
No.	Item	Description / Spec	Quantity	Unit	Unit Cost	Item Cost	Total Cost	
1.0	JARINGAN PIPA LABUHAN MARINGGAI - MUARA TAWAR						\$	249,771,965
1.1	32" Pipeline							
		Panjang Jaringan Pipa	160.00	km				
		Penggelaran Efektif Rata-rata	2.00	km/day				
		Kehilangan Waktu Karena Masalah Mesin	5	%				
		Kehilangan Waktu karena Cuaca	3	days				
		Pek. Peggelaran	5	days				
	1.1.1	Durasi Peggelaran	80	days				
	1.1.2	Durasi Peggelaran (termasuk wkt. yg. hilang)	92	days	\$ 291,000	\$ 26,772,000		
	1.1.3	Waktu Tambahan Untuk Pek. Peggelaran	1	day	\$ 291,000	\$ 291,000		
	1.1.4	Durasi Pengurukan	24	days	\$ 115,000	\$ 2,760,000		
	1.1.5	Waktu Tambahan Untuk Pek. Pengurukan	1	day	\$ 115,000	\$ 115,000		
1.2	Survey Bawah Laut (Included in 3.1 - lump sum)							
	1.2.1	Pre-lay Survey (using anchor handler tug & side scan sonar)	5	days	-	\$ -		
	1.2.2	Lay survey (concurrent with pipelay)	92	days	-	\$ -		
	1.2.3	Freespan Correction	2	days	291,000	\$ 582,000		
	1.2.4	Post lay / As Built Survey	7	days	-	\$ -		
1.3	Pre Commissioning							
		Cost Split 20:80 between Infield & Export						
	1.3.1	Deploy Pig Launcher/Receiver (installed integral with pipeline)	1	lump sum	\$ 1,708,000	\$ 1,708,000		
	1.3.2	Flood, Gauge & Hydrotest for 32" (by pipelay barge) - incld. in item 1.4.1	3	days	-	\$ -		
	1.3.3	3rd Party Flooding, Gauging, Hydrotesting for 32" - incld. in item 1.4.1	1	lump sum	-	\$ -		

1.4	Mobilisasi & Demobilisasi						
1.4.1	Lay Barge incl Pipehaul Barge + Tug	1	lump sum	\$ 9,442,000	\$ 9,442,000		
1.4.2	Additional Mobilization for ROV & Grouting Spread	1	lump sum	\$ 411,653	\$ 411,653		
1.4.3	3rd Party Flooding, Gauging, Hydrotesting for 32" - incl. in item 1.4	1	lump sum	\$ -	\$ -		
1.5	Crossing 3rd Party Pipeline						
1.5.1	CNOOC 22" Pipeline, Formality Costs & Pertamina West Java Cable	2	lot	\$ 20,000	\$ 30,000		
1.6	Transportation of Line Pipe from Coating Yard to Field (incl. 1.7.1 - 1.7.3)						
1.6.1	32" Line Pipe	1	lump sum	\$ 1,998,000	\$ 1,998,000		
1.6.2	Transportation Cost for Line Pipe Barge & Tugs						
1.6.3	Miscellaneous Transportation Cost						
1.6.4	Transportation from	1	lump sum	\$ 8,000	\$ 8,000		
1.7	Withholding Tax						
		1	lot	\$ 1,403,090	\$ 1,403,090		
1.8	Pipeline Material & Utility Procurement						
		1	lump sum	\$ 204,251,222	\$ 204,251,222		

2.0	BIAYA KONTRAKTOR						\$ 2,652,000
2.1	Contractor Procurement Cost (incl. in 2.2)	1	lot	\$ -	\$ -		
2.2	Contractor PMT, Engineering & Documentation Cost	1	lot	\$ 2,652,000	\$ 2,652,000		
3.0	KOMPRESSOR						\$ 1,250,000
3.1	Pembelian Kompessor	1	ea	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000		
3.2	Pek. Pemasangan Kompessor	1	lump sum	\$ 250,000	\$ 250,000		
TOTAL							\$ 252,423,965

3. Analisis Rekapitulasi Operational Expenditure (Opex)

Tabel 4.7

Rekapitulasi *Operational Expenditure*

Operational Expenditure			
1	Biaya Perawatan Pipeline	=	$3\% \times 1.05^{(n-1)}$ x Capex
2	Biaya Perawatan Compressor	=	$3\% \times 1.05^{(n-1)}$ x Compressor
3	Biaya Operasional Compressor	=	$10\% \times 1.05^{(n-1)}$ x Compressor
4	Biaya Overhaul Compressor (pada tahun ke-5)	=	50% x Compressor

Item Cost	Sat.	Total	2006	2007	2008	2009	2010
Biaya Perawatan Pipeline	\$MM	\$ 147.278	\$ -	\$ -	\$ 7.212	\$ 7.573	\$ 7.951
Biaya Perawatan Compressor	\$MM	\$ 0.694	\$ -	\$ -	\$ 0.038	\$ 0.039	\$ 0.043
Biaya Operasional Compressor	\$MM	\$ 2.560	\$ -	\$ -	\$ 0.125	\$ 0.131	\$ 0.145
Biaya Overhaul Compressor	\$MM	\$ 2.500					
		Total	\$ 153.031		\$ 7.375	\$ 7.743	\$ 8.139

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
\$ 8,766	\$ 9,205	\$ 9,665	\$ 10,148	\$ 10,656	\$ 11,188	\$ 11,748
\$ 0,046	\$ 0,048	\$ 0,050	\$ 0,053	\$ 0,055	\$ 0,058	\$ 0,061
\$ 0,152	\$ 0,160	\$ 0,168	\$ 0,176	\$ 0,185	\$ 0,194	\$ 0,204
\$ 0,625					\$ 0,625	
\$ 9,589	\$ 9,412	\$ 9,883	\$ 10,377	\$ 10,896	\$ 12,065	\$ 12,012

2018	2019	2020	2021
\$ 12,335	\$ 12,952	\$ 13,600	\$ 14,279
\$ 0,064	\$ 0,067	\$ 0,071	\$ -
\$ 0,214	\$ 0,224	\$ 0,236	\$ 0,247
			\$ 1,250
\$ 12,613	\$ 13,244	\$ 13,906	\$ 15,777

4. Analisis Rekapitulasi Depresiasi (Metode Double Declining Balance)

Tabel 4.8

Rekapitulasi Depresiasi (metode *double declining balance*)

Depresiasi Nilai Aset					
1	Depresiasi Pipeline	=	$P \cdot [1 - (2/N)]^n$	x	Capex
	Umur Produktivitas (N)	=	15 th		
2	Depresiasi Pipe Fitting & Valve	=	$3\% \cdot 1.05^{(n-1)}$	x	Compressor
	Umur Produktivitas(N)	=	5 th		
3	Depresiasi Compressor	=	$10\% \cdot 1.05^{(n-1)}$	x	Compressor
	Umur Produktivitas(N)	=	10 th		

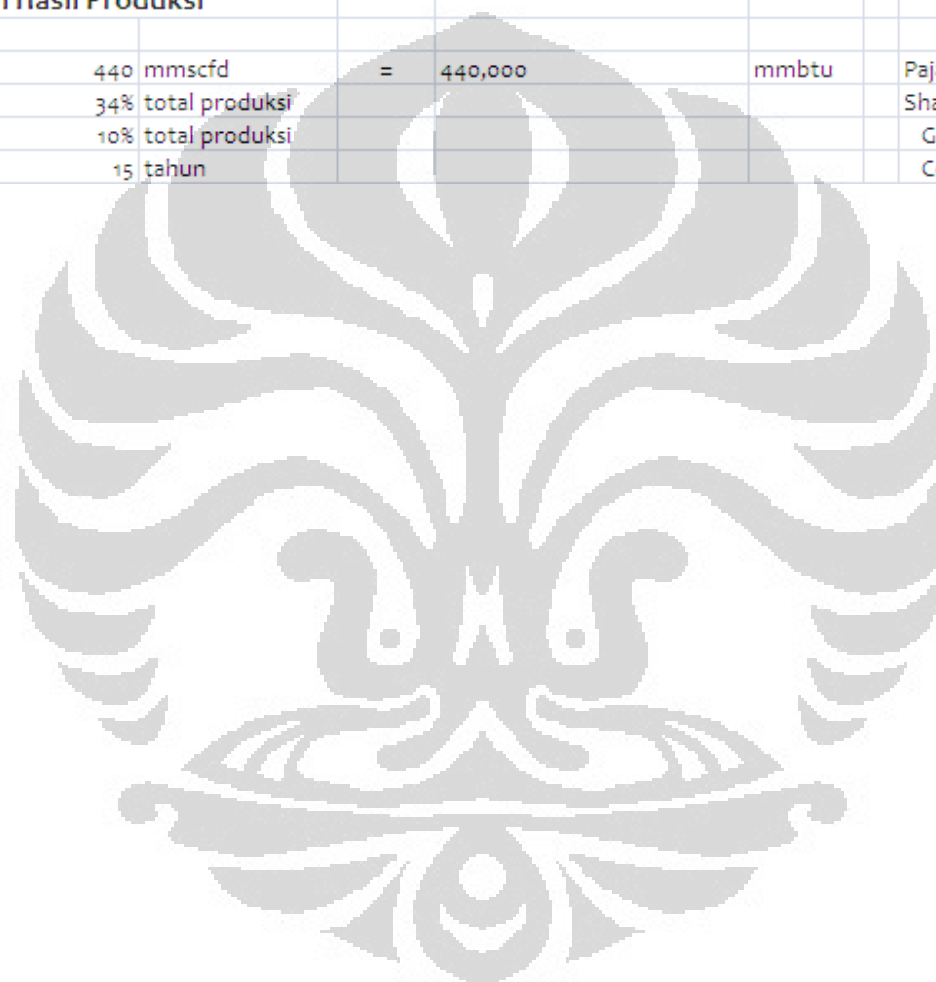
Item Cost		Total	2006	2007	2008	2009	2010
Nilai Buku Pipeline(P)	\$MM	\$ 255.214	\$ 41.912	\$ 36.324	\$ 31.481	\$ 23.646	
Depresiasi Pipeline	\$MM	\$ 32.816	\$ -	\$ 5.588	\$ 4.843	\$ 3.638	
Nilai Buku Pipe Fitting & Valve (P)	\$MM	\$ 483.864	\$ 211.915	\$ 127.149	\$ 76.289	\$ 27.464	
Depresiasi Pipe Fitting & Valve	\$MM	\$ 181.299	\$ -	\$ 84.766	\$ 50.860	\$ 18.309	
Nilai Buku Compressor(P)	\$MM	\$ 6.640	\$ 1.250	\$ 1.000	\$ 0.800	\$ 0.512	
Depresiasi Compressor	\$MM	\$ 1.035	\$ -	\$ 0.250	\$ 0.200	\$ 0.128	
Total	\$MM		\$ 255.077	\$ 254.827	\$ 164.273	\$ 73.569	

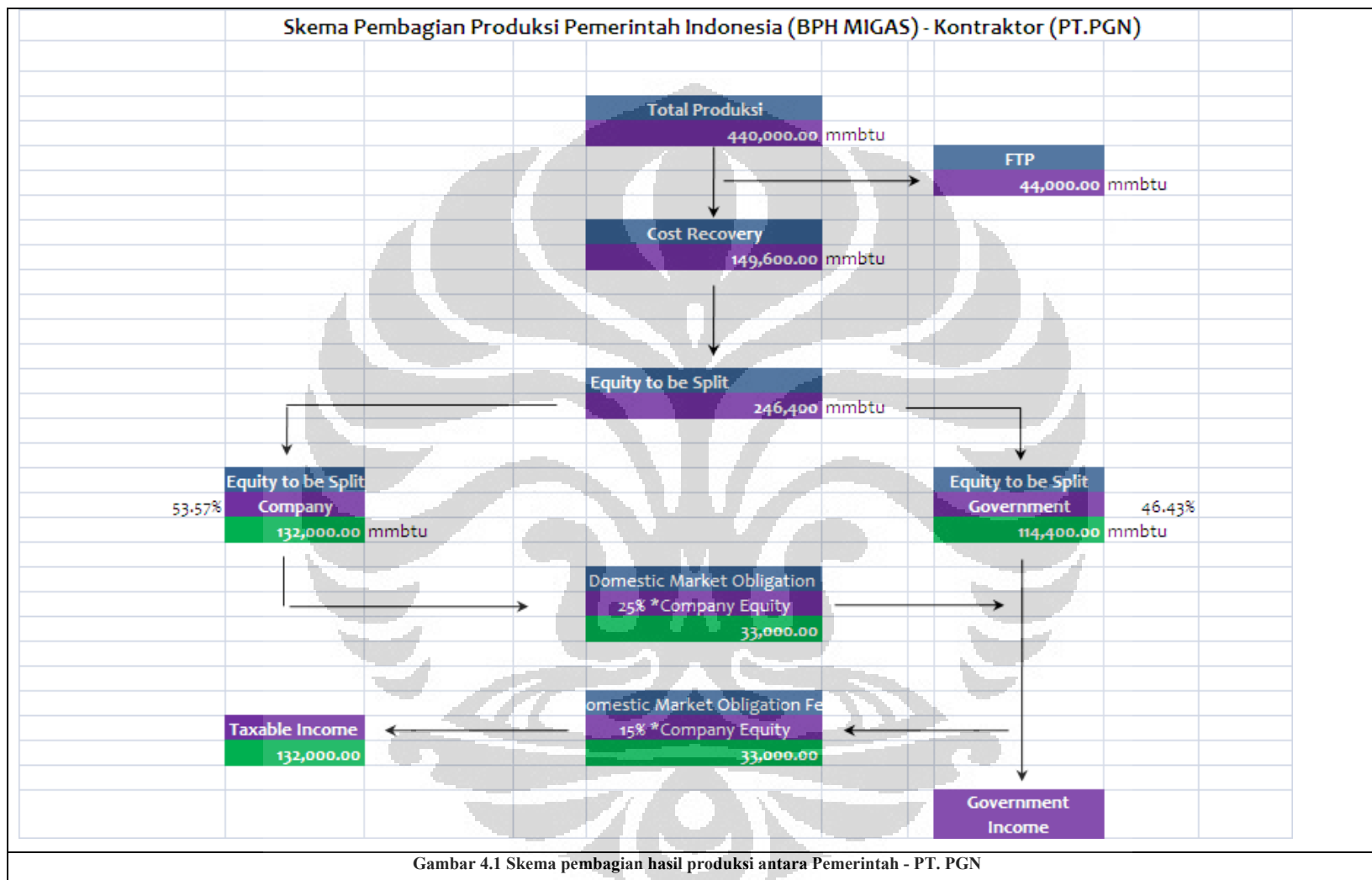
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
\$ 20.493	\$ 17.760	\$ 15.392	\$ 13.340	\$ 11.561	\$ 10.020	\$ 8.684
\$ 3.153	\$ 2.732	\$ 2.368	\$ 2.052	\$ 1.779	\$ 1.542	\$ 1.336
\$ 16.478	\$ 9.887	\$ 5.932	\$ 3.559	\$ 2.136	\$ 1.281	\$ 0.769
\$ 10.986	\$ 6.591	\$ 3.955	\$ 2.373	\$ 1.424	\$ 0.854	\$ 0.513
\$ 0.410	\$ 0.328	\$ 0.262	\$ 0.210	\$ 0.168	\$ 0.134	\$ 0.107
\$ 0.102	\$ 0.082	\$ 0.066	\$ 0.052	\$ 0.042	\$ 0.034	\$ 0.027
\$ 51.519	\$ 37.299	\$ 27.910	\$ 21.534	\$ 17.067	\$ 13.831	\$ 11.409

2018	2019	2020	2021
\$ 7.526	\$ 6.523	\$ 5.653	\$ 4.899
\$ 1.158	\$ 1.003	\$ 0.870	\$ 0.754
\$ 0.461	\$ 0.277	\$ 0.166	\$ 0.100
\$ 0.308	\$ 0.185	\$ 0.111	\$ 0.066
\$ 0.086	\$ 0.069	\$ 0.055	\$ 1.250
\$ 0.021	\$ 0.017	\$ 0.014	\$ -
\$ 9.539	\$ 8.056	\$ 6.854	\$ 7.069

5. Skema Pembagian Produksi Pemerintah – PGN

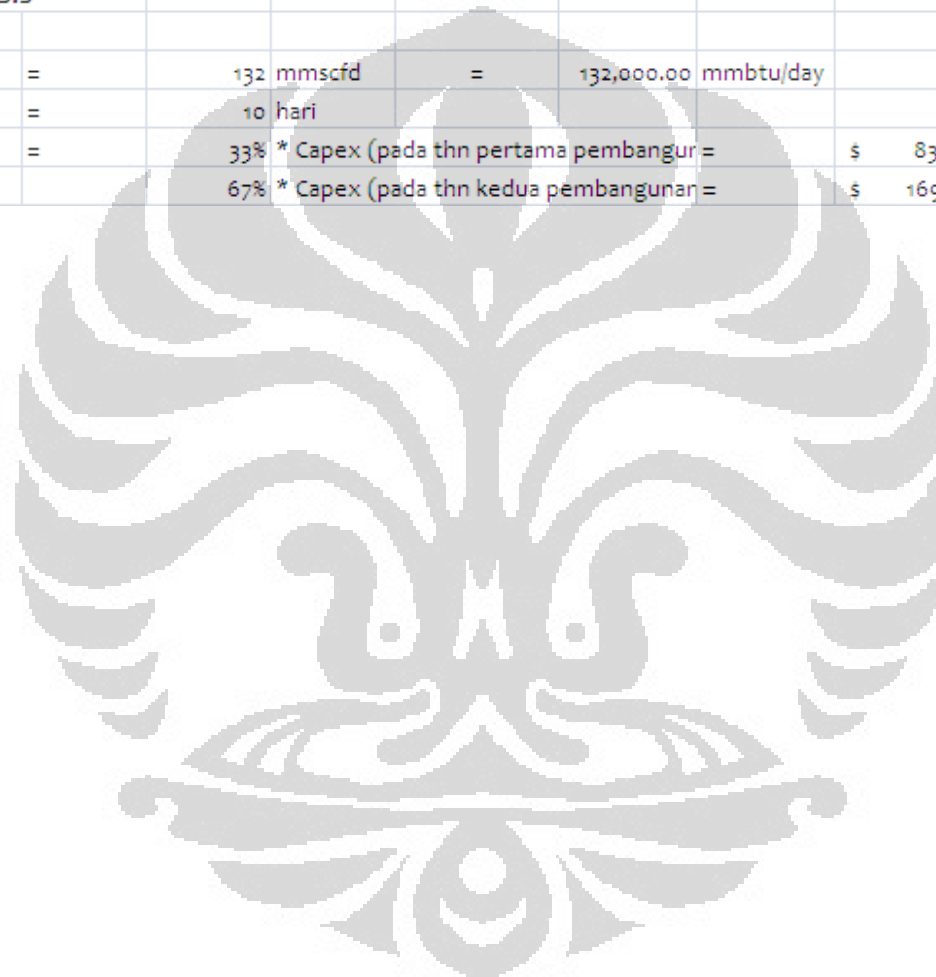
Perhitungan Pembagian Hasil Produksi								
Produksi	440	mmscfd	=	440,000	mmbtu	Pajak	=	44%
Cost Recovery	34%	total produksi				Share Product (SP)		
First Trench Petroleum	10%	total produksi				Government	=	70%
Umur Investasi	15	tahun				Company	=	30%





6. Rekapitulasi Aliran Kas

Cash Flow Analysis					
Produksi Harian	=	132 mmscfd	=	132,000.00	mmbtu/day
Shutdown time	=	10 hari			
Investasi (\$MM)	=	33% * Capex (pada thn pertama pembangun	=	\$	83.300
		67% * Capex (pada thn kedua pembangun	=	\$	169.124



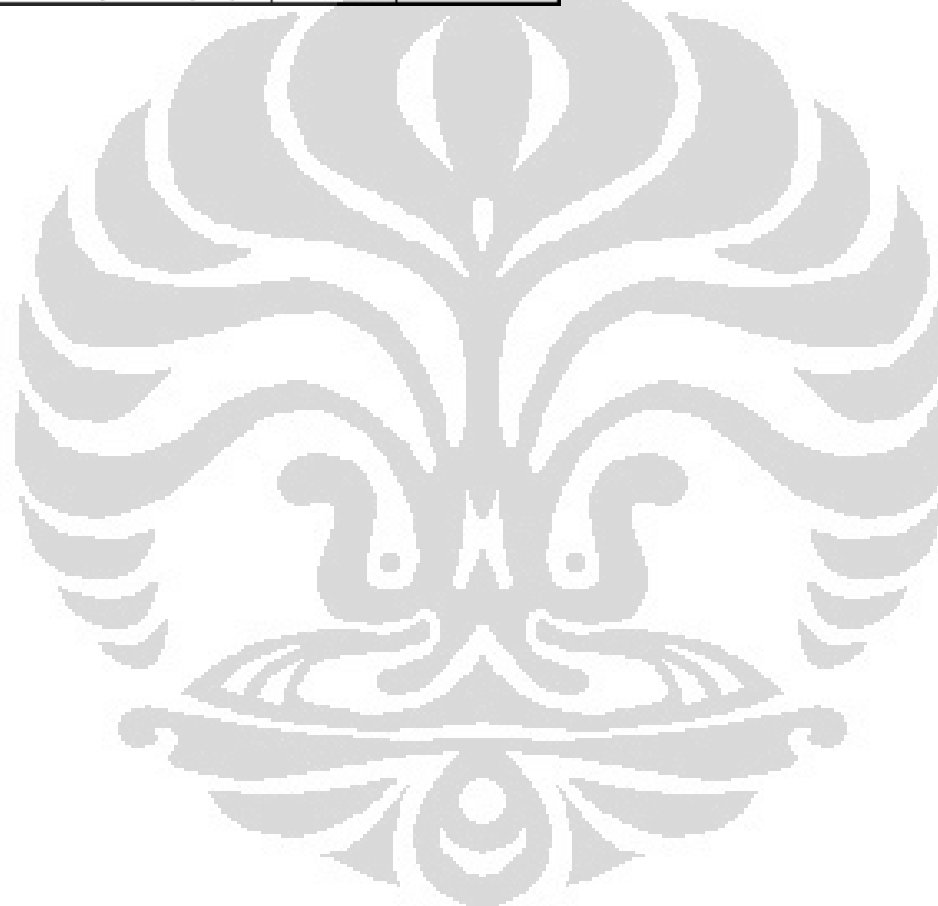
Tabel 4.9
Rekapitulasi aliran kas

			Total	2006	2007	2008	2009	2010
Tingkat Pengembalian								
	Produksi	mmbtu	281,160,000			46,860,000	46,860,000	46,860,000
	Harga Pasar	\$/mmbtu	5			\$ 5	\$ 5	\$ 5
	Pengembalian	\$MM	1,406			\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
Analisis Pajak								
	Pengembalian	\$MM	1,406	-	-	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
	Depresiasi (Metode Declining Balar	\$MM	(581)			\$ (254.827)	\$ (164.273)	\$ (73.569)
	Pengeluaran Selama Operasional	\$MM	(42)			\$ (7.375)	\$ (7.743)	\$ (8.139)
	Pemasukan Kena Pajak	\$MM	548			\$ (27.902)	\$ 62.284	\$ 152.592
	Tax Payment	44% \$MM	241			\$ (12.277)	\$ 27.405	\$ 67.140
Cash Flow Calculation								
	Revenue	\$MM	1,406	-	-	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
	Capex	\$MM		\$ (83.300)	\$ (169.124)	-	-	-
	Depresiasi (Metode Declining Balar	\$MM				(\$254.83)	(\$164.27)	(\$73.57)
	Opex	\$MM		-	-	\$ (7.375)	\$ (7.743)	\$ (8.139)
	Tax	\$MM		-	-	\$ (12.277)	\$ (27.405)	\$ (67.140)
	Cash Flow	\$MM		\$ (83.300)	\$ (169.124)	\$ (40.178)	\$ 34.879	\$ 85.451
	Cumulative			\$ (83.300)	\$ (252.424)	\$ (292.602)	\$ (257.723)	\$ (172.272)

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
46,860,000	46,860,000	46,860,000	46,860,000	46,860,000	46,860,000	46,860,000
\$ 5	\$ 5	\$ 5	\$ 5	\$ 5	\$ 5	\$ 5
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
\$ (51.519)	\$ (37.299)	\$ (27.910)	\$ (21.534)	\$ (17.067)	\$ (13.831)	\$ (11.409)
\$ (9.589)	\$ (9.412)	\$ (9.883)	\$ (10.377)	\$ (10.896)	\$ (12.065)	\$ (12.012)
\$ 173.192	\$ 187.589	\$ 196.508	\$ 202.389	\$ 206.337	\$ 208.403	\$ 210.879
\$ 76.204	\$ 82.539	\$ 86.463	\$ 89.051	\$ 90.788	\$ 91.697	\$ 92.787
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
-	-	-	-	-	-	-
(\$51.52)	(\$37.30)	(\$27.91)	(\$21.53)	(\$17.07)	(\$13.83)	(\$11.41)
\$ (9.589)	\$ (9.412)	\$ (9.883)	\$ (10.377)	\$ (10.896)	\$ (12.065)	\$ (12.012)
\$ (76.204)	\$ (82.539)	\$ (86.463)	\$ (89.051)	\$ (90.788)	\$ (91.697)	\$ (92.787)
\$ 96.987	\$ 105.050	\$ 110.044	\$ 113.338	\$ 115.549	\$ 116.706	\$ 118.092
\$ (75.285)	\$ 29.765	\$ 139.809	\$ 253.147	\$ 368.696	\$ 485.402	\$ 603.494

2018	2019	2020	2021
46,860,000	46,860,000	46,860,000	46,860,000
\$ 5	\$ 5	\$ 5	\$ 5
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
\$ (9.539)	\$ (8.056)	\$ (6.854)	\$ (7.069)
\$ (12.613)	\$ (13.244)	\$ (13.906)	\$ (15.777)
\$ 212.148	\$ 213.000	\$ 213.540	\$ 211.454
\$ 93.345	\$ 93.720	\$ 93.957	\$ 93.040
\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300	\$ 234.300
-	-	-	-
(\$9.54)	(\$8.06)	(\$6.85)	(\$7.07)
\$ (12.613)	\$ (13.244)	\$ (13.906)	\$ (15.777)
\$ (93.345)	\$ (93.720)	\$ (93.957)	\$ (93.040)
\$ 118.803	\$ 119.280	\$ 119.582	\$ 118.414
\$ 722.297	\$ 841.577	\$ 961.159	\$ 1.079.574

Economic Indicators		
Net Present Value (9% DR)	\$MM	\$326.28
Internal Rate of Return		23%
Capital Productivity Index (B/C)		2.5



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis berusaha menarik kesimpulan berdasarkan analisis optimasi dimensi jaringan pipa dan analisis studi keekonomian berdasar pada bab sebelumnya

5.1. Optimasi Dimensi Jaringan Pipa

Dari perhitungan optimasi pada bab sebelumnya, penulis menarik kesimpulan antara lain:

Tabel 5.1

Kesimpulan hasil optimasi dimensi terhadap debit aliran fluida dalam pipa

No.	Faktor-faktor yang dianalisis	Hasil Analisis
1.	Material pipa terpakai	API 5L X65
2.	Diameter optimum jaringan pipa	NPS 32 inchi
3.	Tebal dinding optimum jaringan pipa	15.88 mm
4.	Tebal selimut beton jaringan pipa	85 mm
5.	Berat pipa keseluruhan	50.950 MT
6.	Stabilitas jaringan pipa pada saat operasional	$f^s/f_n = 1.44$

5.2. Analisis Keekonomian Jaringan Pipa

Dari analisis keekonomian jaringan pipa transmisi gas lepas pantai Labuhan Maringgai-Muara Bekasi pada bab sebelumnya, penulis menarik kesimpulan antara lain:

Tabel 5.2

Kesimpulan analisis keekonomian terhadap optimasi dimensi pipa

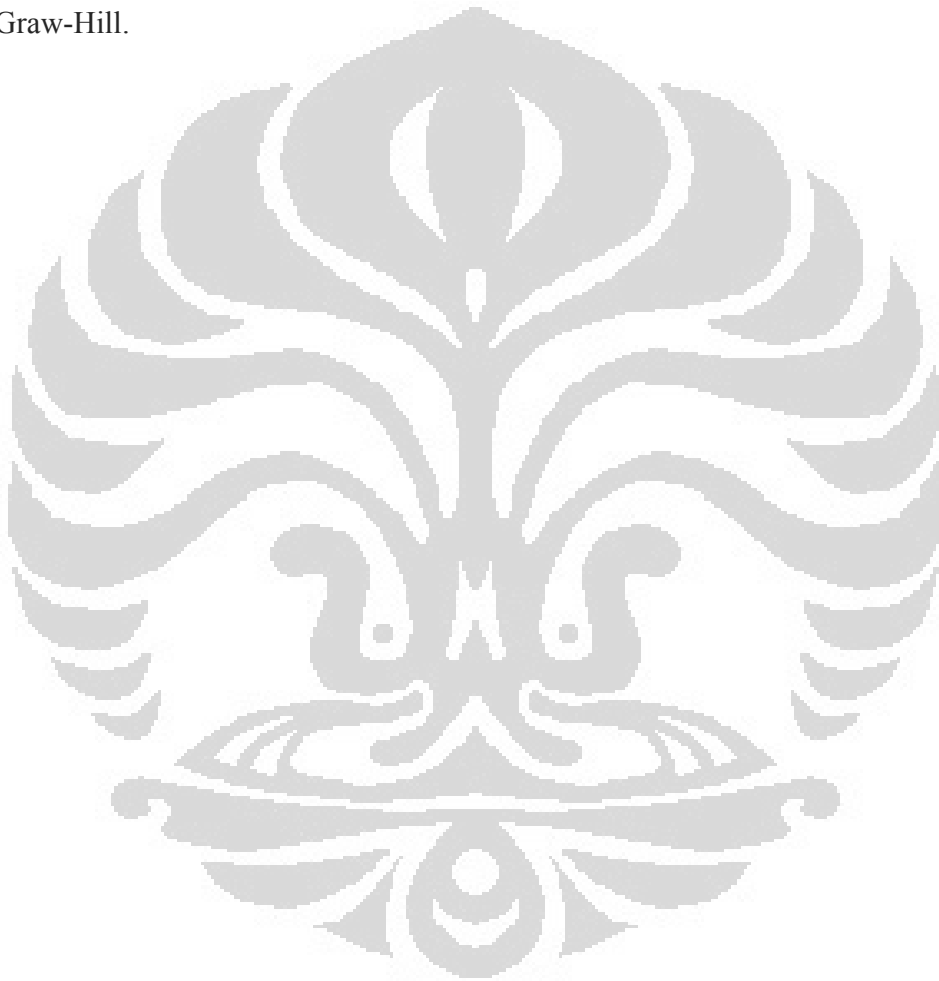
No.	Faktor-faktor yang dianalisis	Hasil Analisis	No. Tabel
1.	Total biaya investasi	\$MM 252,423	Tabel 4.6
2.	Total biaya operasi	\$MM 153,031	Tabel 4.7
3.	Total biaya pajak penghasilan	\$MM 241	Tabel 4.9
4.	Nett Present value	345,24	Tabel 4.9
5.	Tingkat pengembalian internal (<i>internal rate of return</i>)	23%	Tabel 4.9
6.	Bunga pengembalian minimum yang diharapkan/MARR (<i>minimum attractive rate of return</i>)	10%	Tabel 4.9
7.	Perbandingan manfaat/biaya (B/C)	2.5	Tabel 4.9

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, penulis menyimpulkan bahwa proyek tersebut layak dibangun. Dengan syarat pihak pemilik pekerjaan mengikuti spesifikasi teknis yang diajukan oleh penulis.

Daftar Referensi

- [1.] DeGarmo Paul E. et al. (1997). *Engineering Economic, 10th editopn*. New Jersey: Prentice Hall.
- [2.] Donald G. Newnan. (1998). *Engineering Economic Analysis*. California: Engineering Press, Inc.
- [3.] Engineer, A. S. (2007). *ASME B.31.8, para.841.11*. New York: American Society of Mechanical Engineer.
- [4.] Hossain, Sanwar. *Pipeline Design and Constriction*.
- [5.] S. Braskoro, dkk. (2004). From Shallow to Deep Implications for Offshore Pipeline Design . *Komunitas Migas Indonesia* .
- [6.] W.F., S. (1989). *Design of Thermal System 3rd edition, hal.148*. Singapore: McGraw-Hill.
- [7.] A.H. Moselli. (1981). Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods. In A. Moselli, *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods* (p. 37). Penwell.
- [8.] A.H. Muselli. (1981). *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods, p.6* . Penwell.
- [9.] Boyun Guo, Dr. (et.al). (2005). Offshore Pipeline. In D. (. Boyun Guo, *Offshore Pipeline* (p. 21). Elsevier.
- [10.] General Electric. (n.d.). *GE Infrastructure, Pipe Manufacturing*. Retrieved 2011, from http://www.gepower.com/prod_serv/serv/pipeline/en/about_pipelines/pipe_mfg.htm.
- [11.] DeGarmo Paul E. et al. (1997). *Engineering Economic, 10th editopn*. New Jersey: Prentice Hall.

- [12.] Donald G. Newnan. (1998). *Engineering Economic Analysis*. California: Engineering Press, Inc.
- [13.] Engineer, A. S. (2007). *ASME B.31.8, para.841.11*. New York: American Society of Mechanical Engineer.
- [14.] W.F., S. (1989). *Design of Thermal System 3rd edition, hal.148*. Singapore: McGraw-Hill.



**Lampiran 1 Analisis Stabilitas Jaringan Pipa Transmisi Gas
Labuhan Maringgai ke Muara Bekasi**



E. Analisis Tegangan Pipa saat Pengoperasian

Tegangan Izin Material Pipa

$$\sigma = F E Y T$$
$$\sigma = 46,800.00 \text{ psi}$$

Tegangan Tarik Pipa Akibat Tegangan Kerja Fluida

$$\sigma = \frac{P D}{2t}$$
$$\sigma = 7,710.75 \text{ psi}$$

Aman, tegangan tarik lebih kecil dari tegangan izin

Bilangan Strouhal

$$S = \frac{0.21}{(C_D)^{0.75}}$$
$$S = 0.27$$

Frekuensi vortex shedding

$$f_s = \frac{S \cdot U}{D}$$
$$f_s = 0.42$$

Frekuensi Natural Pipa

$$f_n = f_s \times 1.4285714$$
$$f_n = 0.60 \text{ 1/s}$$

Displesmen Pipa

$$M_a = \frac{\pi}{4} O D^2 \rho_L g$$
$$M_a = 8,192.95 \text{ N/m}$$

Kombinasi massa pipa dengan massa tambahan

$$M = W_a + M_a$$
$$M = 10,043.06 \text{ N/m}$$

Panjang Rentang Tidak Tertumpu

(Agar tidak terjadi vortex shedding)

$$L = \sqrt{\left(\frac{1.57}{f_n} \sqrt{EI/M}\right)}$$
$$L = 25.53 \text{ m}$$

Analisis Tekuk (Buckling)

Tekanan kritis Tekuk

$$P_y = 2S_y \left(\frac{t}{D} \right)$$

$$P_y = 10,503,721$$

$$P_e = 2E \frac{\left(\frac{t}{D} \right)^3}{(1 - \nu^2)}$$
$$732,155$$

$$P_c = \frac{P_y P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}}$$
$$730,382 \text{ N/m}^2$$

Kedalaman Pipa

(Agar tidak terjadi tekukan)

$$h_c = \frac{P_c}{\rho_w g}$$

$$h_c = 72.64 \text{ m}$$

Tekanan Perambatan Tekuk

$$P_p = 24S_y \left(\frac{t}{D} \right)^{2.4}$$

$$P_p = 249,435.47 \text{ N/m}^2$$

Kedalaman Pipa Maksimum

(Agar tidak terjadi tekukan)

$$h_p = \frac{P_p}{\rho_L g}$$

$$h_p = 24.81 \text{ m}$$

Panjang Rentangan Maksimum

(Agar tidak terjadi kegagalan saat melewati palung atau gundukan)

$$L_c = \left(\frac{K_{eff}}{W_{pf}} \right)^{1/3}$$

$$L_c = 61.78 \text{ m}$$

Karakteristik Tegangan

Max Tensile Strength

API 5L X65 $\implies \sigma_m = 531 \text{ Mpa}$

$$\sigma_c = \frac{E_s r_c}{L_c}$$

$$= 1539.16 \text{ MPa}$$



$$\sigma_m / \sigma_c = 0.345$$

Dari grafik diperoleh

$$\delta / L_c \times 100 = 5$$

Tinggi Gundukan Max

$$\delta = 3.09 \text{ m}$$

