



Analisa Ketebalan Dan Stabilitas Pipa Bawah Laut Di Kawasan Kerja Blok Masela Pulau Yamdena

Juswan Sade, Fuad Mahfud Assidiq, Ahmad Faiq Dhiyaulhaq Karya
Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia
Email: ahmadfaiq1319@gmail.com

Abstrak

Pipa bawah laut atau submarine pipeline merupakan alat atau konsep transportasi yang digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon seperti minyak mentah, gas alam bertekanan tinggi. Bahan fluida yang dibawa atau gas dipompa dari platform melewati dasar laut dengan menggunakan pipeline. Lapangan Abadi Wilayah Kerja Masela (Blok Masela) merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang terletak di Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Maluku. Wilayah kerja ini dikembangkan oleh perusahaan INPEX Masela Ltd. Blok ini secara geografis berbatasan dengan Timor Leste dan Australia. Cadangan ini pertama kali ditemukan pada tahun 2000 dan memiliki potensi cadangan gas yang sangat besar yang mencapai 10,73 triliun kaki kubik (Tcf). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ketebalan minimum pipa bawah laut, menentukan stabilitas vertikal dan stabilitas lateral yang sesuai dengan DNV RP-F109 dan visualisasi tekanan maksimal yang disebabkan oleh aliran arus signifikan terhadap permukaan pipa dengan menggunakan software Ansys Computational Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Pada hasil analisis yang telah diperoleh, ketebalan pipa 11,2 mm dengan menghitung stabilitas vertikal yang diperoleh 0,012 dan stabilitas lateral 0,008. Selain itu, dengan menggunakan software Ansys Computational Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version, diperoleh nilai tekanan maksimal (pressure max) sebesar 14 Pa.

Kata Kunci: *Pipa, Ketebalan, Stabilitas*

Abstract

Submarine pipeline is a transportation or concept used to transport hydrocarbon products such as crude oil and high-pressure natural gas. The fluid material or gas is pumped from the platform across the seabed using a pipeline. The Abadi Field in the Masela Block is one of the National Strategic Projects (PSN) located in the Tanimbar Islands Regency, Maluku Province. The block was developed by INPEX Masela Ltd. It geographically borders to Timor Leste and Australia. It was discovered in 2000 and contains potential gas reserves which reaching 10.73 trillion cubic feet (Tcf). This research aims to determine the minimum thickness of submarine pipelines, determine on-bottom stability in accordance with DNV RP-F109, and visualize the maximum pressure caused by significant current flow on the pipe surface by using Ansys Computational Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version. This research method is used a quantitative. The analysis result of this research that have been obtained, the thickness of the pipe is 11.2 mm. The calculated of on-bottom stability is 0.012 for vertical and 0.008 for lateral stability. In Additionally, by using Ansys Computational Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version, maximum pressure of the pipe is 14 Pa.

Keywords: *Pipeline, Stability, Wall Thickness*

1. PENDAHULUAN

Lapangan Abadi Wilayah Kerja Masela atau disingkat Blok Masela merupakan salah satu Proyek Strategis Nasioanal (PSN) yang terletak di Kepulauan Tanimbar, Maluku. Daerah ini merupakan salah satu lapangan minyak dan gas terbesar yang berada di Indonesia. Daerah ini secara geografis berbatasan dengan Timor Leste dan Australia. Wilayah kerja ini dikembangkan oleh oleh perusahaan INPEX Masela Ltd.

Daerah ini merupakan lapangan minyak dan gas terbesar yang berada di Indonesia. Blok ini secara geografis berbatasan dengan Timor Leste dan Australia. Cadangan ini pertama kali ditemukan pada tahun 2000 dan



memiliki potensi cadangan gas yang sangat besar yang mencapai 10,73 triliun kaki kubik (Tcf). Proyek ini dilakukan di zona seluas 4.291,35 km² di Laut Arafura dan sekitar 800 km di sisi timur Kota Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Hingga saat ini, proyek tersebut masih dalam tahap pengembangan. Pengembangan ini tentunya melibatkan para insinyur untuk merancang sebuah pipa bawah laut. Khusus pada perancangan atau pemodelan konstruksi pipa bawah laut sangat diperlukan sebagai media bagi para insinyur ke owner guna menghindari kegagalan pada saat operasi, hydrottest. Khusus pada perancangan atau pemodelan konstruksi pipeline sangat diperlukan sebagai media komunikasi bagi para insinyur ke owner guna menghindari kondisi kegagalan pada saat operasi, hydrottest maupun dalam konstruksi pekerjaan pipa bawah laut.

Selain itu terdapat *codes* dalam perancangan *pipeline* seperti *Det Norske Veritas (DNV)*, *American Petroleum Institute (API)* dan lain-lain. Dalam perancangan *submarine pipelines* harus menentukan ketebalan pipa berdasarkan *pressure containment*, *external pressure*, *buckle propagation* dan *on-bottom stability*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pipa bawah laut atau submarine pipeline merupakan alat atau konsep transportasi yang digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon seperti minyak mentah, gas alam bertekanan tinggi. Aspek yang sangat penting dalam desain pipa bawah laut adalah pemilihan material pipa, ketebalan pipa dan stabilitas. Bahan pipa dipilih berdasarkan aspek-aspek rancangan seperti tekanan internal, tekanan eksternal, dan diameter pipa yang sesuai code tertentu.

Dalam menentukan diameter pipa, kriteria-kriteria yang sangat perlu diperhatikan ialah *pressure containment* atau tekanan internal dan tekanan eksternal pada pipa. Sehingga terdapat regulasi yang mengatur pada ketebalan pipa hingga stabilitas pipa, seperti DNV (*Det Norske Veritas*), ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) dan API (*American Petroleum Institute*).

Desain tebal pipa yang direncanakan diatur dalam standar ASME B31.8 mengenai *Gas Transmission and Distribution Piping System*. Dari standar ASME B31.8, persamaan mengenai mencari ketebalan pipa disajikan ke persamaan :

$$t = \frac{Pd_0}{2FETS_y} \quad (1)$$

Persamaan tersebut digunakan agar hasil dari persamaan tersebut dapat memenuhi tebal pipa berdasarkan tekanan internal untuk menahan tekanan dengan arah tangensial. Pada pipa yang terendam pada permukaan bawah laut, tentu pipa tersebut akan mengalami tekanan hidrostatis. Tekanan hidrostatis merupakan tekanan zat cair yang dialami oleh benda. Dalam menentukan desain nilai tekanan hidrostatis, persamaan ini dijabarkan sebagai berikut :

$$Ph = \rho gh \quad (2)$$

Dari tekanan hidrostatis yang didapatkan, dapat menentukan nilai *Collapse Due to External Pressure* yang merupakan terjadinya kegagalan pada pipa tersebut yang disebabkan oleh tekanan eksternal. Tekanan eksternal dapat dianggap sebagai tekanan hidrostatis. Sehingga persamaan pada *collapse due to external pressure* adalah :

$$P_y = 2S \left(\frac{t}{D}\right) \quad (3)$$

$$P_e = 2E \left(\frac{t}{D}\right)^3 \quad (4)$$

$$P_c = \frac{P_y + P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}} \quad (5)$$

Pada struktur lepas pantai, semakin dalam titik lokasi pipa maka semakin besar tekanan eksternal yang bekerja pada pipa. Sehingga, dapat terjadinya *collapse* pada pipa sendiri. Setelah menghitung *collapse due to*

external pressure, selanjutnya adalah dengan menghitung *buckling due to combined bending* yang diberikan persamaan sebagai berikut :

$$Pbp = 24 S F_t \left(\frac{tbuck}{OD} \right)^{2.4} \quad (6)$$

Setelah mendapatkan nilai tekanan propagation buckling, selanjutnya dengan menentukan nilai minimum ketebalan pipa dengan persamaan :

$$t_{req} = t_{min} + t_{fab} \quad (7)$$

Stabilitas dasar laut merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mendesain pipeline. Pipeline yang terbentang di dasar laut akan menahan tekanan fluida baik dari arus maupun gelombang. Analisis tentang stabilitas dasar laut disebut sebagai *on-bottom stability*. Stabilitas tersebut juga terdapat dua, yaitu stabilitas vertikal dan stabilitas lateral.

Regulasi yang terkait dengan stabilitas pipa bawah laut adalah DNV RP-109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Pipa yang berada di bawah laut umumnya tersusun atas lapisan-lapisan yang memiliki jenis material pembentuk dan ketebalan yang berbeda-beda misalnya lapisan tebal dinding, lapisan anti korosi dan lapisan *concrete*.

Agar *pipeline* dapat stabil secara vertikal di permukaan dasar laut, berikut persamaan yang harus dipenuhi sesuai DNV RP-109

$$\gamma_w \frac{b}{w_s b} = \frac{\gamma_w}{s_g} \leq 1.00 \quad (8)$$

Dalam menganalisa stabilitas lateral, terdapat 3 metode yang digunakan. Menurut DNV RP 109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*, berikut 3 metode tersebut :

1. Metode *Dynamic Lateral Stability*
2. Metode *Generalized Lateral Stability*
3. Metode *Absolute Lateral Stability*

Dalam kasus metode absolute lateral stability, metode ini memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_{sc} = \frac{F_{\gamma B} + \mu \cdot F_{ZB}}{\mu \cdot W_s(t_{cc}) + F_R} \leq 1.00 \quad (9)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Labo Riset Manajemen Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan Bawah Air Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dengan cara mengumpulkan data, mengelola data serta menampilkan hasil yang valid sehingga diharapkan adanya hasil dari hipotesis yang diberikan.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu kuantitatif. Yaitu menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta menampilkan hasil dari penelitian ini dan studi Pustaka dengan mempelajari dan mengumpulkan literatur yang relevan dengan penelitian ini.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian ini dijelaskan pada langkah-langkah sebagai berikut :

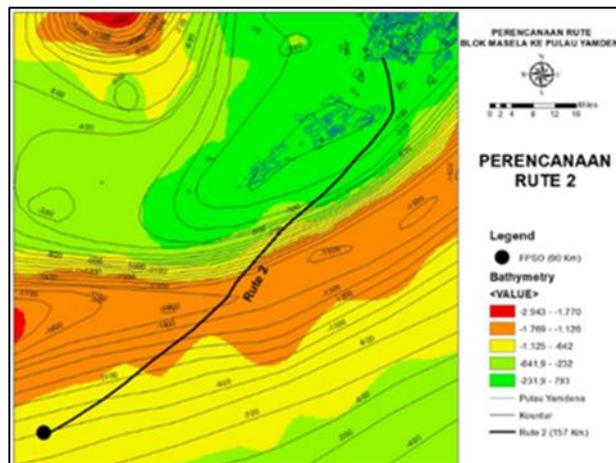


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Pengumpulan data.
Dalam penelitian ini akan mencari data arus, data gelombang, *layout* bathimetri dan dimensi pipa pada daerah Pulau Yamdena dan Wilayah Kerja Blok Masela.
2. Penentuan Ketebalan Pipa
Dalam menentukan ketebalan pipa, langkah pertama dilakukan adalah dengan menghitung *pressure containment*, tekanan hidrostatik, *propagation buckling*, *collapse due to external pressure*, dan *buckling due to combination bending*.
3. Analisa stabilitas atau *on-bottom stability*
Setelah menentukan ketebalan pipa, selanjutnya menghitung *on-bottom stability*. Pada kasus stabilitas lateral, metode yang digunakan adalah *absolute lateral stability*
4. Visualisasi tekanan maksimal
Tekanan yang disebabkan oleh aliran arus signifikan terhadap permukaan pipa dalam bentuk simulasi dengan menggunakan software Ansys *Computational Fluid Dynamics R2 2023 Student Version*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, data yang dipakai adalah *layout* bathimetri, arus, gelombang dan material pipa. Diameter pipa yang didapatkan pada penelitian sebelumnya adalah sebesar 24 inch. Data bathimetri digunakan untuk memberikan gambaran topografi dan kedalaman dasar laut. Gambar 9 menunjukkan elevasi dasar laut pada lokasi Pulau Yamdena dan sekitarnya menunjukkan elevasi dasar laut dari -100 m hingga -1500 m. Data bathimetri pada penelitian ini merupakan data sekunder sehingga data tersebut diambil dari GEBCO dan diolah melalui software Global Mapper dan ArcGIS Map.



Gambar 1. *Layout* Bathimetri [Hasil Analisis, 2024]

Berdasarkan pada Gambar 1, Pulau Yamdena merupakan pulau yang berada pada Kawasan Kerja Blok Masela dan merupakan pulau terbesar yang berbatasan dengan Australia serta terpisahkan oleh Laut Arafuru. Lokasi FPSO yang dimaksud berada pada titik koordinat 130°41'37.91"E Bujur Timur dan 9°18'56.60"S Lintang Selatan. Mengenai sumber daya alam, daerah yang akan dialiri pada pipa bawah laut adalah jenis Hydrocarbon. Gas ini dapat dicairkan. Sehingga, material yang ditentukan berdasarkan dengan kekuatan dari pipa yang akan digunakan, parameter dari operasi dan desain serta jenis fluida yang dialirkan. Berdasarkan data dari penelitian sebelumnya, perencanaan menggunakan diameter pipa 24 inch dengan material *Alloy Steel*. Berikut merupakan Tabel 1 data properties material pipa yang akan direncanakan.

Tabel 1. Data Material Pipa

Parameter	Unit	Value
<i>Size</i>	Inch	24
<i>Internal Pressure</i>	MPa	6.5
<i>Diameter</i>	Inch	24
<i>Density of Steel</i>	kg/m ³	7850
<i>SMYS</i>	MPa	290
<i>Poisson Ratio</i>		0,3



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Penggunaan material *Alloy Steel* sangat efisien dan cocok untuk pipa bawah laut. Efisiensi dari penggunaan material alloy steel adalah materi tersebut merupakan *anti-corroting coating*. Material tersebut sangat cocok dikarenakan salinitas pada air laut dapat menyebabkan benda mengalami korosi.

Dalam mendesain atau menentukan ketebalan pipa, ketebalan pipa harus dapat menahan tekanan internal dan tekanan eksternal terhadap pipa. Tekanan eksternal pipa dapat diasumsikan menjadi tekanan hidrostatik. Dari tekanan hidrostatik, besarnya gaya hidrostatik pada pipa dapat menyebabkan collapse pada pipa tersebut. Sehingga besarnya gaya hidrostatik disajikan dalam bentuk Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Tekanan Hidrostatik

<i>Hydrostatic Pressure</i>	Unit
1.005·10 ⁶	Pa

Faktor yang mempengaruhi tekana hidrostatik adalah percepatan gravitasi, massa jenis cairan dan kedalaman zat cair, Dikarenakan tekanan hidrostatik tergantung pada kedalaman zat cair, sehingga menjadi penyebab zat cair menekan suatu luasan bidang tekan pada kedalaman tertentu. Nilai kedalaman diambil dengan menggunakan kedalaman terbesar.

Pada struktur lepas pantai, semakin dalam suatu pipeline yang direncanakan maka semakin besar tekanan eksternal atau tekanan hidrostatik. Dari perbedaan nilai tersebut, tekanan eksternal yang bekerja dapat menyebabkan runtuh pada pipa tersebut. Sehingga dari tekanan hidrostatik, pipa tersebut dapat mengalami propagate pada pipa tersebut. Definsi tersebut merupakan suatu kondisi pipa mengalami deformasi bentuk penampang pipa atau komponen-komponen pipa lainnya. Dari gaya-gaya yang bekerja terhadap pipa pada saat kedalaman laut, perlu mendesain tebal pipa yang dapat menahan gaya tersebut. Sehingga Tabel 3 dibawah ini merupakan tebal pipa yang sesuai digunakan.

Tabel 3. Nilai Ketebalan Pipa

Formula Input	Unit	Nominal Thickness
<i>Pressure Containment</i>	mm	7,2
<i>Collapse Pressure</i>	mm	1,5
<i>Propagation Buckling</i>	mm	1,68
<i>Combination Bending</i>	mm	2,5

Dari nilai-nilai yang telah diperoleh, diambil dengan nominal terbesar dalam menentukan ketebalan pipa. Dalam menentukan, terdapat variabel-variabel yang diantaranya adalah mill tolerance, minimum wall thickness dan corrosion allowance. Setelah nilai-nilai pressure containment, propagation buckling dan collapse pressure telah didapatkan, selanjutnya adalah menentukan ketebalan minimum pipa. Tabel 4 dibawah ini merupakan ketebalan minimum yang disyaratkan.

Tabel 4. Ketebalan Minimum Pipa

Formula Input	Unit	Nominal Thickness
<i>Minimum Wall Thickness</i>	mm	11,2

Variabel-variabel yang diambil adalah variabel terbesar. Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai *pressure containment* merupakan nilai terbesar. Nilai tersebut ditambahkan dengan nilai *mill tolerance*, *corrosion allowance* dan nilai *construction allowance*. Untuk menentukan mill tolerance yaitu 15% dari variabel terbesar. Nilai corrosion allowance ditentukan sesuai aliran fluida yang dialir oleh pipa. Pipa yang dialiri oleh hidrokarbon menggunakan *corrosion allowance*, sehingga pada DNV OS F101, nilai *corrosion allowance* direkomendasikan nilai 3 mm.

Kestabilan pipa yang terinstalasi di dasar laut sangat dipengaruhi oleh gaya berat yang bekerja pada pipa. Sehingga untuk menganalisa stabilitas pipa, dilakukan dengan dua cara, yaitu stabilitas vertikal dan stabilitas lateral. Prosedur yang digunakan dalam menghitung stabilitas pada jurnal ini digunakan standar DNV RP-

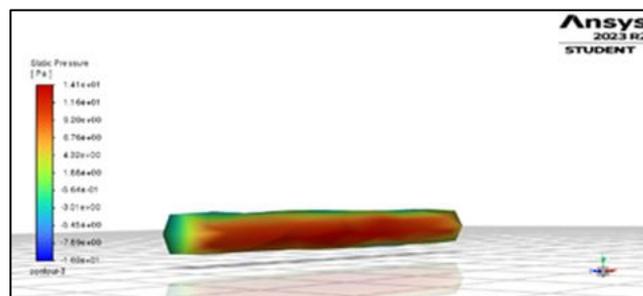
F109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline*. Berikut merupakan Tabel 5 yang mempresentasikan nilai stabilitas lateral dan stabilitas vertikal.

Tabel 5. Stabilitas Vertikal dan Lateral

Formula Input	Unit	Nominal
Vertical Stability	-	0,012
Lateral Stability	-	0,08

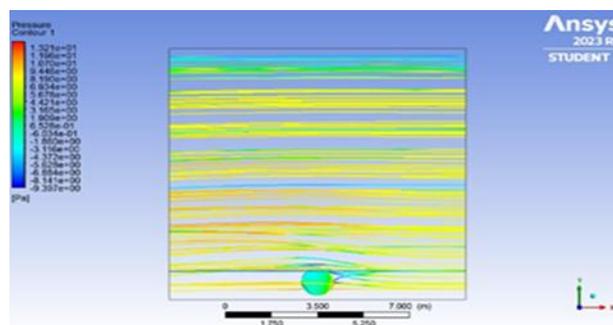
Pada stabilitas vertikal, gaya hidrodinamis atau lingkungan pada pipa bawah laut tidak berpengaruh pada objek tersebut. Namun, tekanan hidrostatik yang bekerja terhadap pipa sangat berpengaruh pada pipa. Agar pipa tersebut dapat stabil secara optimal, maka digunakan pemberat dengan selimut beton dengan ketebalan 12,4 mm dengan tebal anti karat sebesar 3 mm.

Metode yang digunakan dalam menghitung stabilitas lateral menurut DNV RP F109 “*On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*” adalah dengan menggunakan metode *Absolute Lateral Static Stability Method*. Sehingga metode ini merupakan keseimbangan secara statis terhadap gaya yang menentukan ketahanan pipa terhadap pergerakan untuk menahan beban maksimum hidrodinamika. Dalam menentukan stabilitas lateral, terdapat nilai safety factor yang ditentukan sesuai dengan kondisi lingkungan. Berdasarkan referensi terkait, terdapat dua kondisi yaitu *cyclonic* dan *winter*. *Cyclonic* diartikan sebagai kondisi dimana perairan suatu daerah cenderung terjadi badai. Sedangkan *winter* merupakan kondisi jarang terjadi badai. Permodelan pipa bawah laut dengan menggunakan *Ansys Computational Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version*. Permodelan ini didesain dengan menginput variabel kecepatan aliran signifikan pada pipa bawah laut sebesar 0,14 m/s dengan panjang pipa 12 m dengan diameter 0,609 m atau 24 inch.



Gambar 2. Kontur Tekanan Pipa [Hasil Analisis, 2024]

Pada Gambar 2 diatas, kontur berwarna merah mengindikasikan bahwa wall solid (pipa) mengalami tekanan (pressure) yang disebabkan oleh datangnya aliran arus signifikan (inlet). Inlet pada model kali ini merupakan arah datang kecepatan aliran signifikan dengan kecepatan 0,14 m/s yang berada pada pada sumbu X. Arus yang mengalir terhadap pipa tersebut mengalami aliran streamline. Gambar 3 dibawah ini merupakan aliran streamline yang berada pada sekitar pipa.



Gambar 3. Aliran *Streamline* [Hasil Analisis, 2024]

Aliran streamline yang tervisualisai pada Gambar 3 merupakan aliran arus yang menabrak pipa secara tegak lurus (perpendicular). Permukaan pipa yang secara langsung terkena dengan aliran arus signifikan mengalami tekanan maksimal sebesar 14 Pa. Nilai tersebut merupakan nilai batas untuk dikatakan bahwa pipa tersebut dikategorikan aman untuk beroperasi. Sehingga jika melebihi nilai 14 Pa yang dialami oleh

pipa, mengakibatkan pipa tersebut dapat turbulensi yang diakibatkan oleh aliran arus secara signifikan yang menabrak pada permukaan pipa tersebut. Selain itu, melebihi nilai tersebut dapat menyebabkan deformasi yang disebabkan oleh tekanan dari aliran arus tersebut.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketebalan pipa diperoleh sebesar 11,2 mm
2. Stabilitas vertikal diperoleh sebesar 0,012 dan stabilitas lateral sebesar 0,008 yang dimana pipa tersebut dalam kondisi telah dipasangkan tebal *concrete coating* dan *corrosion coating*. Sehingga berdasarkan regulasi DNV RP-F109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines* kurang dari 1,1 sehingga dari perhitungan manual telah memenuhi
3. Visualisasi dengan menggunakan *software* Ansys *Computation Fluid Dynamics 2023 R2 Student Version* yang disebabkan oleh kecepatan aliran arus signifikan, diperoleh nilai tekanan maksimal sebesar 14 Pa.

Demi pengembangan tema penelitian ini, maka disimpulkan saran sebagai berikut :

1. Perlu ditambahkan perhitungan *On-Bottom Roughness*, *VIV (Vortex-induced Vibration)* dan *Stress Analysis* sehingga analisa pipa bawah laut dapat lebih akurat
2. Perlu ditambahkan metode lain dalam menentukan stabilitas lateral seperti *Dynamic Lateral Stability* dan *Generalized Lateral Stability*
3. Proses instalasi yang lebih tepat dengan menggunakan simulasi *software* Orca Flex.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amalia, A. 2017, *Integrated Evaluation of Masela Block Development Concepts*. Univeritetet i Stavanger. Norway
- [2] American Petroleum Institute. 2009. *Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design)*. United States of America.
- [3] American Society of Mechanical Engineering. 2006. *Gas Transmission and Distribution Piping System*. United States of America.
- [4] Bai, Q., & Bai, Y. 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*. Elsevier. United States of America.
- [5] Bai, Y., & Bai, Q. (2011). *Subsea Structural Engineering Handbook*. Gulf Professional Pub. United States of America
- [6] Det Norske Veritas. (2010). *Recommended Practice Det Norske Veritas As On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Oslo. <http://www.dnv.com>

