

ANALISIS KONSTRUKSI PIPA POMPA SUCTION 112-JB

Pungkas Satria

Departemen Teknik Mesin,
Universitas Diponegoro
pungkassatriast@gmail.com

Achmad Widodo

Departemen Teknik Mesin,
Universitas Diponegoro
awidodo2010@gmail.com

Ismoyo Haryanto

Departemen Teknik Mesin,
Universitas Diponegoro
ismoyo2001@yahoo.de

Djoeli Satrijo

Departemen Teknik Mesin,
Universitas Diponegoro
djoeli_satrijo@yahoo.com

Budi Setiyana

Departemen Teknik Mesin,
Universitas Diponegoro
bsetiyana@yahoo.com

ABSTRACT

The 101-JTC condenser tank has excess steam condensate due to the addition of admission steam from 101-JT. Therefore, it is necessary to design a piping system that connects 101-JTC condenser tank with the 112-JB pump to drain the condensed excess steam. The designed piping system will encounter a dynamic response caused by fluid flow fluctuation over the time. This dynamic response causes the pipe to experience stress. To find out the resulting voltage which will not cause damage or failure, it is necessary to estimate the safety factor in a piping system that has been given static and dynamic loading. This research uses the fluid structure interaction or FSI method with the help of ANSYS software as a simulation tool. The results of this study are, the flow in the pipe causes an impact load which makes the structure vibrate freely damped. The resulting dynamic response describes, the structure displacement amplitude decreases with increasing time. This indicates a stable vibration. Finally, when viewed from the value of stress against time, the fatigue that occurs in the pipe structure induce a stress below the stress limit on Goodman diagram. It can be estimated that the structure has no service life limit. The fatigue safety factor is 7.1.

Keyword: pipe system, safety factor, structure, fluid flow

LATAR BELAKANG

Tangki kondensor 101-JTC memiliki kelebihan *condensed steam* yang diakibatkan oleh penambahan *admission steam* dari 101-JT. Hal ini menyebabkan tangki kondensor 101-JTC mengalami kegagalan karena melebihi kapasitas penyimpanan *condensed steam*. Oleh karena itu, dibutuhkan rancangan sistem perpipaan yang menyambungkan tangki kondensor 101-JTC dengan pompa 112-JB untuk mengalirkan kelebihan *condensed steam*. Sistem perpipaan dalam suatu pabrik merupakan bagian terpenting untuk menghubungkan komponen-komponen pabrik dengan mengalirkan fluida dari satu komponen ke komponen lainnya [1]. Sistem perpipaan terdiri dari bagian-bagian pipa yang memiliki fungsi spesifik [2]. Sistem perpipaan adalah cara yang paling umum

dan murah dalam memindahkan fluida dari satu titik pemrosesan ke titik yang lain. Oleh karena itu, pabrik selalu menggunakan sistem perpipaan sebagai konstruksi utama [3]. Rancangan suatu sistem perpipaan harus mampu menahan semua beban yang terjadi, baik beban konstan maupun beban fluktuatif sebagai fungsi waktu. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan analisis konstruksi untuk memastikan bahwa sistem perpipaan mampu menahan beban sehingga bekerja dengan aman [4]. Tanpa analisis konstruksi maka akan ada potensi kebocoran pada sambungan, kerusakan, dan distorsi pada komponen sistem perpipaan lainnya, termasuk komponen yang terhubung ke tangki kondensor dan sisi hisap pompa [5]. Sistem perpipaan memiliki standar yang telah ditentukan oleh *American Society of Mechanical Engineering* (ASME) [6]. Pada pabrik, digunakan standar ASME B 31.3 (*process piping*) dalam merancang dan memilih komponen sistem perpipaan [7]. Nilai tegangan pada rancangan sistem perpipaan yaitu tegangan yang disebabkan oleh berbagai beban harus memenuhi standar keamanan dan tidak boleh melebihi tegangan luluh dari material pipa. Hal tersebut harus diperhatikan agar tidak mengalami kegagalan [8]. Apabila tegangan yang terjadi melebihi tegangan ijin sesuai kode standar ASME B 31.3 maka akan terjadi perubahan bentuk pipa yang dapat menyebabkan kegagalan [9]. Pembebanan dinamis diketahui melalui pendekatan *fluid structure interaction* (FSI). FSI adalah penting untuk memastikan masalah dari aliran yang menyebabkan getaran. Hal ini dapat menyebabkan terlepasnya sistem perpipaan dari mekanisme tumpuan seperti penggantung dan balok penyangga, serta meningkatkan resiko kerusakan pada sistem perpipaan tersebut. Pengaruh aliran fluida pada struktur perpipaan tergantung dengan karakteristik fluida, komposisi, massa jenis, viskositas, dan turbulensinya [10]. Dalam penelitian ini, rancangan sistem perpipaan 112-JB telah ditentukan melalui survey lokasi. Rancangan sistem perpipaan membutuhkan perkiraan tegangan yang disebabkan oleh pembebanan statis dan dinamis, agar memiliki faktor keamanan yang sesuai. Penentuan perkiraan tegangan tersebut dilakukan menggunakan perangkat lunak melalui permodelan dan simulasi

computational fluid dynamics (CFD) dan *finite element methods* (FEM). Permodelan dan simulasi dengan bantuan komputer tersebut menghasilkan nilai perkiraan tegangan rancangan sistem perpipaan 112-JB yang akurat dan memiliki nilai yang komprehensif [11]. Penjelasan lebih detailnya, sistem perpipaan akan mengalami respon dinamis yang disebabkan oleh aliran fluida yang berfluktuasi terhadap waktu. Respon dinamis tersebut menyebabkan pipa mengalami tegangan. Untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan agar tidak menyebabkan kerusakan atau kegagalan maka perlu perkiraan factor keamanan (*safety factor*) pada sistem perpipaan tersebut.

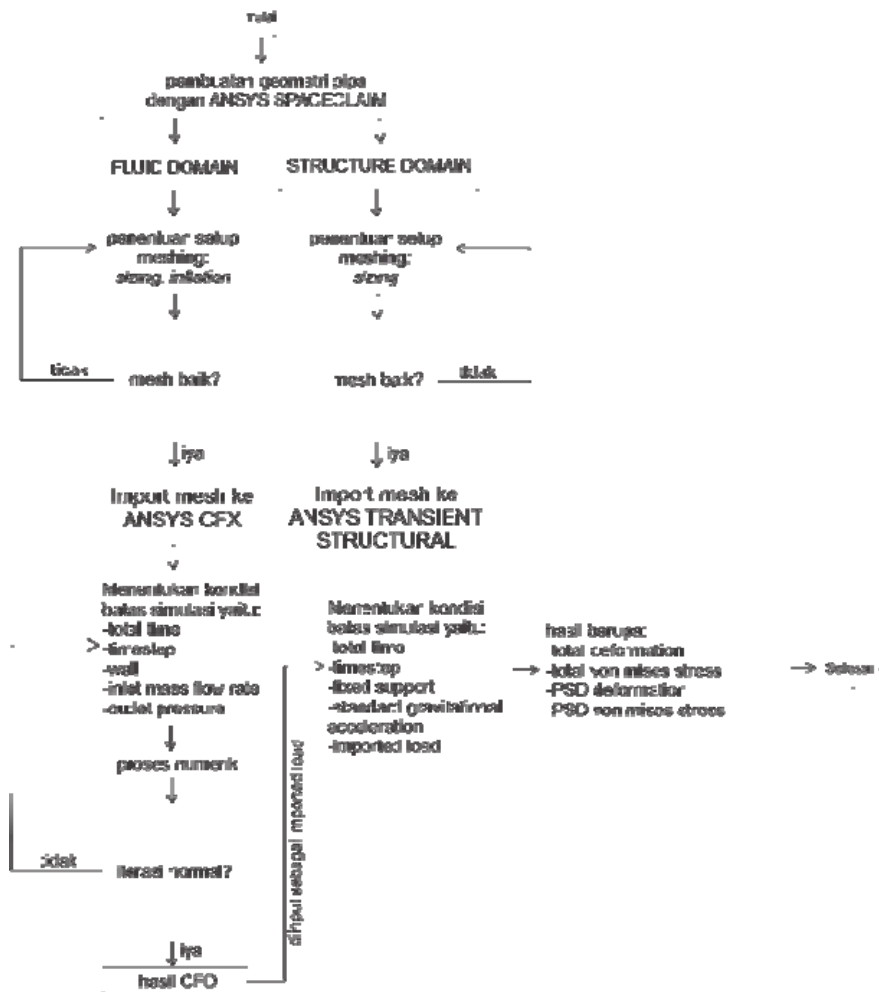
METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan diagram alir simulasi untuk menganalisis pengaruh pembebanan dinamis dan statis.

Penelitian dimulai dengan pembuatan geometri menggunakan ANSYS SPACECLAIM. Dasar

pembuatan geometri adalah gambar isometrik dari sistem perpipaan untuk pompa 112-JB dan ASME B31.3. Simulasi dilakukan dua kali simulasi yaitu 1) simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) untuk mengetahui tekanan pada fluida, 2) simulasi *finite element methods* (FEM) untuk mengetahui tegangan yang disebabkan oleh beban pipa, dan komponen pipa. Simulasi kedua menggunakan hasil dari simulasi pertama sebagai *imported load*.

Proses *meshing* terhadap *fluid domain*, dilakukan dengan memberikan fungsi *sizing* dimana ukuran pada setiap *element* yang dihasilkan sebesar 50 mm dan fungsi inflasi untuk mendapatkan profil kecepatan alir yang lebih baik. Proses *meshing* menghasilkan 77.119 nodal dan 18.236. Fungsi *sizing* elemen dilakukan pada *structure domain*, dimana *size* pada setiap elemen yang dihasilkan sebesar 45 mm. Selanjutnya khusus pada *support*, ukuran setiap elemen adalah 25 mm. Hasil *meshing* berupa 130.194 nodal dan 18.776 elemen.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Penentuan kondisi batas pada *domain* fluida dilakukan setelah *meshing*, kemudian hasilnya diekspor ke ANSYS CFX. Berikutnya ditentukan pengaturan solusi (*setting solver*) dimana fluida bergerak dengan fungsi waktu. Parameter pengaturan pada *solver settings* dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Setting solver* pada ANSYS CFX

<i>Solver settings</i>	<i>Settings used</i>
<i>Analysis Type</i>	<i>Transient</i>
<i>Total Time</i>	<i>10 s</i>
<i>Time step</i>	<i>0.01 s</i>
<i>Material type</i>	<i>Water vapor at 25° C</i>
<i>Turbulence type</i>	<i>k-epsilon</i>
<i>Wall</i>	<i>No-slip wall</i>

Langkah selanjutnya penentuan kondisi syarat batas dimana *inlet* memiliki *mass flow rate* sebesar 0.023 kg/s dan kondisi batas *outlet* yaitu *pressure outlet* sebesar 0 MPa.

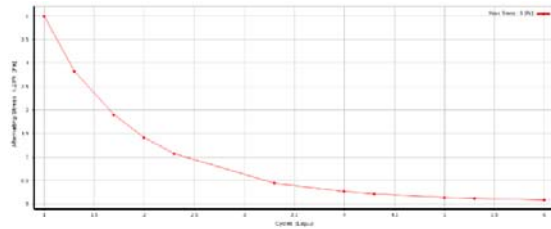
Masukan untuk *structure domain* adalah beban pada setiap komponen pipa, terdiri dari beban *valve* yaitu 144 kg, beban *strainer* 96 kg, beban *expansion joint* 36,38 kg, dan *fixed support* yang diletakan di bagian ujung pipa. Selanjutnya dimasukkan nilai percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/detik² dan penentuan permukaan *imported load*, hasil dari simulasi CFD.

Material yang digunakan pada analisis ini adalah *structural steel* dan *water vapor*. Material *structural steel* digunakan pada struktur pipa sedangkan *water vapor* untuk fluida yang mengalir di dalam struktur pipa tersebut. Sifat material diperoleh dari ANSYS 18.2 *engineering data* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data sifat material pipa.

<i>Structural Steel</i>	
<i>Density</i>	7850 kg/m ³
<i>Young's Modulus</i>	2E+11 Pa
<i>Poisson's ratio</i>	0,3
<i>Tensile Yield Strength</i>	2,5E+11 Pa
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	4,6E+8 Pa
<i>Mass-Matrix Damping Multiplier</i>	12,56
<i>K- Matrix Damping multiplier</i>	0,003

Untuk menentukan kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan pada material, diperlukan diagram *S-N curve*. Titik *alternating stress* dan *mean stress*, dibawah diagram Goodman yang ditentukan oleh *endurance stress* dan *ultimate tensile strength*. Gambar 2 menunjukkan diagram *S-N curve* untuk material *structural steel*.



Gambar 2. *S-N curve* untuk *structural steel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

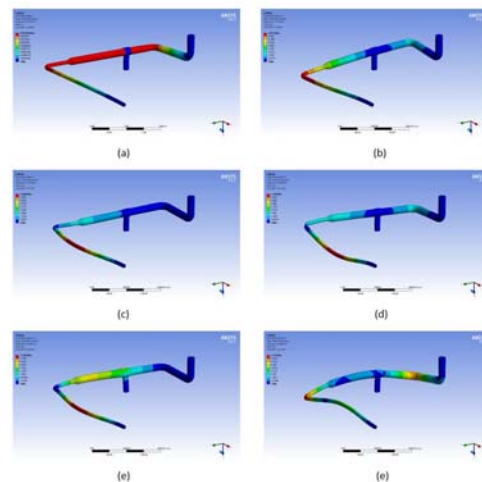
Hasil Analisis Modal

Hasil *output* perpindahan pada analisis modal, tidak dapat didefinisikan sebagai nilai perpindahan total dari sistem perpipaan yang dirancang, namun hasil perpindahan di setiap modus getar (*mode shape*). Hal ini menjelaskan orientasi dan letak getaran yang akan terjadi. Sementara itu, nilai frekuensi adalah hasil perkiraan frekuensi pribadi. Tabel 3 menunjukkan hasil dari analisis modus getar.

Tabel 3. Frekuensi pribadi sistem

Modus	Frekuensi (Hz)
1	8,7196
2	15,374
3	33,543
4	35,368
5	42,563
6	58,287

Modus *shape* yang dihasilkan pada frekuensi tersebut dapat diperlihatkan pada gambar 3.

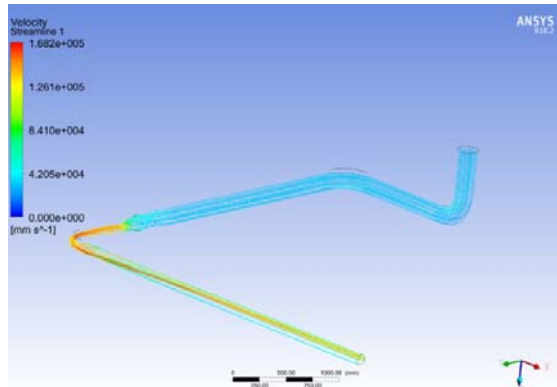


Gambar 3. Modus *shape* untuk frekuensi pribadi sistem: a) modus 1, b) modus 2, c) modus 3, d) modus 4, e) modus 5, f) modus 6.

Hasil dari analisis modal berfungsi untuk verifikasi nilai getaran yang terjadi pada analisis struktur.

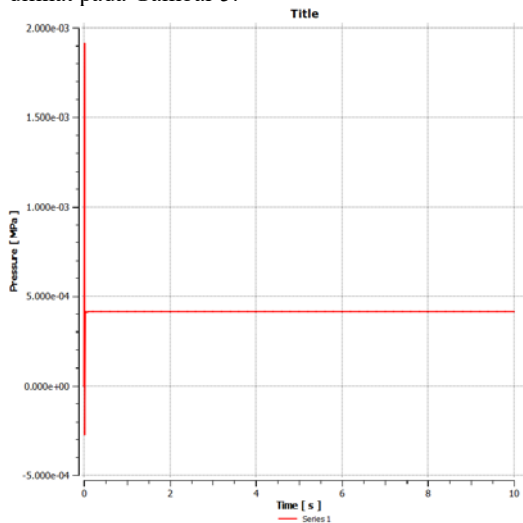
Hasil Simulasi CFD

Salah satu luaran hasil simulasi CFD adalah *plot* tekanan terhadap waktu. Luaran ini diperoleh dengan cara mendefinisikan titik pada *wall*. Titik tersebut ditentukan dengan mempertimbangkan aliran yang mengalami *vortex*. Aliran hasil simulasi CFD dapat dilihat pada profil *streamline* yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil *streamline* kecepatan alir.

Aliran terlihat mengalami *vortex* pada bagian sebelum *reducer*. Bagian tersebut diperiksa lewat luaran *plot* tekanan terhadap waktu. Hasil *plot* dapat dilihat pada Gambar 5.



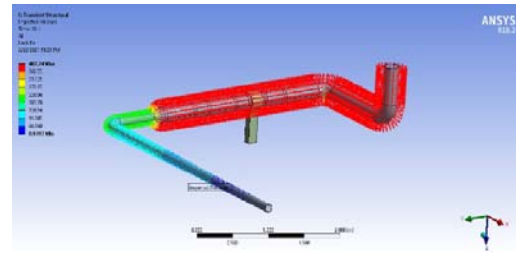
Gambar 5. *Plot* tekanan terhadap waktu pada rentang 0-10 detik.

Dapat dijelaskan bahwa fluida mengalami *impulse* pada detik-detik awal sehingga tekanan menjadi tinggi. Aliran mengalami osilasi setelah *impulse*. *Plot* ini berfungsi untuk menunjukkan karakteristik getaran yang terjadi pada fluida.

Hasil Simulasi Finite Element Methods

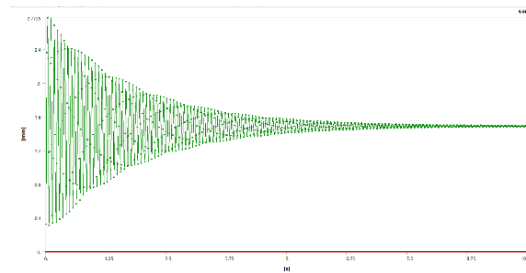
Hasil simulasi CFD digunakan sebagai *imported load* untuk FEM. Letak *imported load*

didefinisikan pada dinding dalam pipa. Hasil CFD kemudian diinterpolasi ke dalam struktur *domain*. Hasil *imported load* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil *imported load*.

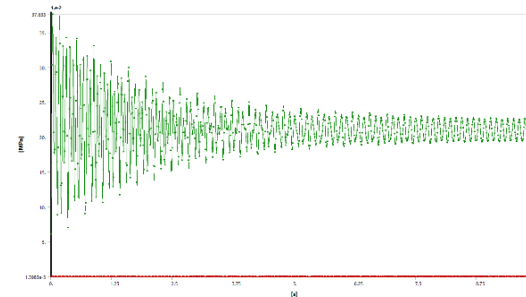
Setelah semua kondisi batas ditentukan, proses numerik dilakukan untuk menghasilkan perpindahan total, *total equivalent stress*, *power spectral density* (PSD), dan *fatigue*. Nilai hasil perpindahan total, ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik *displacement* terhadap waktu.

Berdasarkan *plot* tersebut terlihat bahwa perpindahan maksimum sebesar 2,77 mm terjadi pada waktu 0,04 detik. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa semakin lama durasi sistem, semakin kecil perpindahan yang terjadi pada pipa. Hal ini menandakan adanya redaman getaran yang disebabkan oleh material pipa. Daerah perpindahan tertinggi terjadi pada lekungan pipa 4 inci.

Gambar 8 menunjukkan nilai tegangan total yang dinyatakan dengan *plot* tegangan sebagai fungsi waktu.



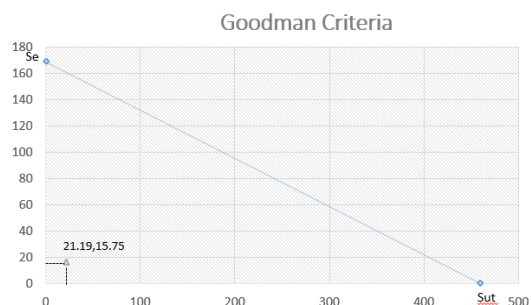
Gambar 8. *Plot* tegangan terhadap waktu.

Berdasarkan gambar tersebut nampak bahwa tegangan maksimum sebesar 37,633 MPa pada waktu 0,04 detik. Selanjutnya, tegangan yang terjadi

mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Namun demikian, nilai tegangan terus beresilasi. Tegangan maksimum terjadi di daerah tumpuan.

Kriteria Lelah Goodman

Kelelahan pada material yang disebabkan oleh fluktuasi tegangan dapat dilihat dengan kriteria *Goodman* pada *structural steel*, dimana *fatigue limit*, S_e , sebesar 169 MPa dan *ultimate tensile strength*, S_{ut} sebesar 460 MPa. Berikutnya pada hasil pembebanan dinamis yaitu nilai tegangan terhadap waktu, memiliki nilai *alternating stress*, σ_a sebesar 15,75 MPa dan *mean stress*, σ_m , sebesar 21,19 MPa. Kriteria *Goodman* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram *Goodman*

Hasil simulasi pembebanan statis maupun dinamis tidak melewati kriteria *Goodman* pada material *structural steel*. Nilai *fatigue safety factor* sebesar 7,1 yang berarti aman.

KESIMPULAN

Aliran dalam pipa menyebabkan *impulse* sehingga struktur mengalami getaran paksa. Hasil respon dinamis menunjukkan bahwa amplitudo *displacement* struktur menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini menandakan bahwa getaran stabil dan tidak mengalami resonansi.

Kelelahan yang terjadi pada struktur pipa, apabila ditinjau dari nilai tegangan terhadap waktu, menunjukkan bahwa tegangan tersebut tidak melebihi batas pada diagram *Goodman*. Struktur diperkirakan aman, tidak memiliki batas umur pemakaian dan memiliki nilai faktor keamanan sebesar 7.1.

PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan variasi posisi tumpuan pada struktur pipa dan variasi nilai *mass flow rate* pada simulasi CFD. Jumlah titik plot tekanan terhadap waktu, dan *plot PSD* akan ditambah.

REFERENSI

[1] Mahardika, P., 2017, "Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa SLF

Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami", *Jurnal Iptek* **21**(2), pp. 27-34.

[2] Firdaus, H. H., dan Satrijo, D., 2017, "Perancangan dan Analisa Sistem Perpipa-an *Process Plant* Dengan Metode Elemen Hingga", *Jurnal Teknik Mesin* **2**(4), pp. 487-496.

[3] Rohmah, S. M., Chamsudi, A., Soetijono, A., 2017, "Analisa Tegangan Sistem Perpipa-an *Air Fin Cooler* Pada Project Petrochemical Complex PT Trans Pasific Petrochemical Indotama-Tuban", Tugas Akhir Mahasiswa FMIPA, ITS.

[4] American Society Of Mechanical Engineering, 2006, "ASME B 31.3 *Process Piping*", ASME, New York.

[5] Mahardhika, P., 2018, "Analisa Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3", *Teknik*, **39**(1), pp. 67-77.

[6] Salifu, S.A., 2019, "Thermo-Mechanical Stress Simulation of Unconstrained Region of Straight X20 Steam Pipe", *Proc. Manufacturing* **35**, pp. 1330-1336.

[7] Husodo, A. W., Mahardhika, P., Viqqi Vadilla, V. A., 2019, "Analisa Fleksibilitas Sistem Perpipa-an Pada Fatty Acid Plant Akibat Pergeseran Posisi Evaporator", *Jurnal Integrasi* **11**(2), pp. 112-118.

[8] Yusuf, M. R., Heroe Poernomo, H., Abul Gafur, A. 2017, "Analisa Tegangan Sistem Perpipa-an Line BTF-PJUTIPCTP-PI-DW-005 ORF (Onshore Receiving Facility) Akibat Soil Settlement", *Proc. of 4th Conf. Piping Engineering and Its Appl.*, Program Studi D4 Teknik Perkapalan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

[9] Haryono, S., Purwadi, M. D., Basori., 2014), "Analisis Tegangan Sistem Perpipa-an Minyak Pada Sisi Hisap Pompa Dengan Perangkat Lunak Caesar II", *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* **16**(2), pp. 28-38.

[10] Balakrishnan, S., Veerappan, A.R., Shanmugam, S. 2019, "B2 stress index for structurally distorted pipe bends under in-plane opening bending moment", *Intl. J. Pressure Vessels and Piping* **176**, 103957.

[11] Ahn, M.Y., Cho, S., Lee, E. H., Park, Y.-H., Lee, Y., 2016 "Pipe stress analysis on HCCR-TBS ancillary systems in conceptual design", *Fusion Engineering and Design* **109-111**(Part B), pp. 1169-1173.

[12] Raafat, E., Nassef, A., Medhat El-hadek, M., El-Megharbel, A. 2019, "Fatigue and thermal stress analysis of submerged steel pipes using ANSYS software", *Ocean Engineering* **193**, 106574.