



Studi Numerik Perancangan *Pig Launcher* Terhadap Pembebanan dari Pipeline pada Wilayah Kerja Brantas

Mahasin Maulana Ahmad^{1*}, Moh. Miftachul Munir², Priyo Agus Setiawan³, Ika Erawati⁴, Akhmad Syamsul Huda⁵, Mukhammad Fauroq Zamroni⁶

^{1,3,4,5,6}Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia.

²Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia.

*Corresponding author: mahasinmaulana@ppns.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 20-09-2024
Revision: 03-10-2024
Accepted: 13-10-2024

Keywords:

Pig Launcher
Design Pressure
Stress
Deformation
Finite Element Method

ABSTRACT

Salah satu perusahaan minyak dan gas bertujuan untuk mengganti jaringan pipa yang ada di wilayah kerja Brantas dikarenakan umur pemakaian sudah hampir melebihi umur desain dan harus diganti dengan desain baru, sehingga diperlukan *pigging* pemeliharaan dan perawatan *pipeline* agar memiliki *lifetime* yang cukup lama dengan alat untuk *pigging* berupa *pig launcher*. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan desain *pig launcher* dengan *design pressure* sebesar 680 psig dan *design temperature* sebesar 200 °F yang disimulasikan dengan *finite element method* dengan memperhatikan beban *pipeline* pada *pig launcher*. Hasil analisis menghasilkan *equivalent von mises* pada kondisi *hydrotest* 30226 psi, *operating* 35704 psi, *sustained* 30178 psi, *expansion* 33833 psi dan *maximum shear stress* pada kondisi *hydrotest* 15381 psi, *operating* 17985 psi, *sustained* 15364 psi, *expansion* 17043 psi dan *total deformation* pada kondisi *hydrotest* 0,077553 inch, *operating* 0,10245 inch, *sustained* 0,077695 inch, *expansion* 0,10094 inch dimana nilai tersebut yakni *equivalent von mises*, *maximum shear stress* dan *total deformation* masih dibawah *allowable* sehingga desain dapat diterima berdasarkan ASME VIII Divisi I.

1. PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan minyak dan gas bertujuan untuk mengganti jaringan pipa yang ada di wilayah kerja Brantas dikarenakan umur pemakaian sudah hampir melebihi umur *design* sehingga harus diganti dengan *design* baru. Jaringan *pipeline* baru tersebut merupakan *pipeline above ground* yang masuk kedalam tanah menjadi *under ground pipeline* dengan panjang jaringan *pipeline* sepanjang ±16.8 km yang terbagi menjadi KP 0+000 sampai KP 16+000 dengan diameter *pipeline* 10 inch dan pada jaringan pipa ini, fluida yang dialirkan adalah *Sumatra Light Oil (SLC)*.

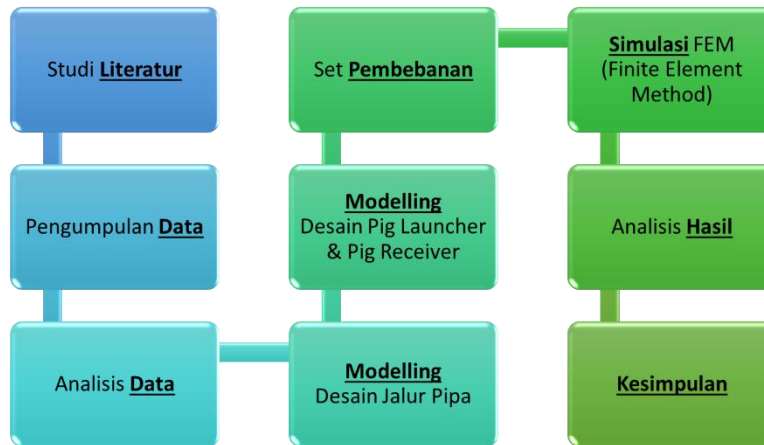
Dalam pengoperasian *pipeline* banyak hal yang harus diperhatikan, diantaranya pada saat proses melakukan pemeliharaan dan perawatan *pipeline* agar memiliki *lifetime* yang cukup lama, dalam proses desain suatu system perpipaan dibutuhkan *lifetime* yang cukup lama hal tersebut akan lebih efektif ketika system perpipaan tersebut menggunakan system *pigging* [1][6]. *Pigging* merupakan kegiatan operasi meluncurkan suatu alat yang disebut *pig* ke dalam suatu pipa saluran melalui tabung peluncur atau *pig launcher* yang dijalankan pada tekanan operasi dan akan dikeluarkan dari dalam saluran pipa melalui tabung penerima atau *pig receiver* [2][3]. Proses *pigging* mempunyai kelebihan jika dibandingkan dengan penggunaan injeksi kimia dalam menangani hambatan dalam pipa yaitu dapat membaca kerusakan dalam *pipeline* [4][5].

Penelitian ini, melakukan perancangan *design pig launcher*, dikarenakan pentingnya *pig launcher* sebagai alat untuk proses *pigging* dengan memperhatikan adanya *pipeline* sebagai beban yang diterima *pig launcher*. Dan simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan alat bantu *software* dengan metode yang digunakan adalah *Finite Element Method (FEM)*[15].

2. METODE PENELITIAN

A. Metodologi Penelitian

Proses pengerjaan studi numerik perancangan *pig launcher* terhadap efek pembebanan yang ditimbulkan *pipeline* dilakukan identifikasi dan perumusan masalah pada topik dengan dilanjutkan studi literatur terkait topik. Dari Langkah tersebut didapatkan hasil pada simulasi *finite element method* dilakukan dengan nilai *force* dan *moment* yang didapatkan dari *software khusus perpipa*an lalu dimasukan *setup* pada simulasi *finite element method* menggunakan alat bantu *software* [1]. Simulasi *finite element method* ini terdapat empat kondisi pembebanan yaitu *hydrotest load*, *operating load*, *sustained load* dan, *expansion load* dengan *output* hasil simulasi berupa *equivalent von misses stress*, *maximum shear stress* dan *total deformation* pada *pig launcher*[10]. Langkah pengerjaan tersebut sebagaimana alur proses penelitian pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Alur proses penelitian

B. Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pig launcher* yang terhubung dengan *pig receiver* yang terletak pada wilayah kerja Brantas. Dengan terhubungnya *outlet nozzle pig launcher* dengan *inlet nozzle pig launcher* maka diambil analisis tentang efek yang ditimbulkan *pig launcher* terhadap pembebanan yang diberikan *pipeline*. Dan untuk data penunjang penelitian ditunjukkan Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Data objek penelitian

| Deskripsi | Keterangan | Unit |
|-------------------------------|----------------|------|
| <i>OD minor/ major barrel</i> | 10/12 | inch |
| <i>Length Major Barrel</i> | 14,11 | ft |
| <i>Length Minor Barrel</i> | 4,95 | ft |
| <i>Length Reducer</i> | 0,67 | ft |
| <i>Design Temperature</i> | 200 | °F |
| <i>Design Pressure</i> | 680 | psi |
| <i>Shell Material</i> | API 5L Grade B | - |
| <i>Saddle Material</i> | SA 36 | - |

C. Engineering Data

Dalam simulasi diperlukan penentuan material yang akan digunakan. Penentuan material pada alat bantu *software ANSYS* ditentukan menggunakan *toolbox* berupa *engineering data* yang digunakan untuk mendefinisikan material yang dipakai dengan cara memilih material atau memasukkan nilai *properties* material yang dibutuhkan saat analisis [13][14].

D. Modelling Geometry

Pembuatan geometri dari *pig launcher* ini dilakukan pada alat bantu *software* pendukung yakni *Solidwork*. Alasan dilakukan desain pada alat bantu *software solidwork* agar lebih mudah dalam pembuatan desain *pig launcher* nya serta agar hasil geometri tidak merubah ukuran atau bentuk pada saat di-*import* ke *software ANSYS* [1][11][14].

E. Meshing

Meshing adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit, semakin baik kualitas *mesh* maka akan semakin tinggi tingkat konvergensinya [11]. Pada analisis ini jenis *mesh* yang digunakan adalah jenis *free meshing* dikarenakan bisa menjangkau untuk bentuk-bentuk yang tidak regular (bentuk-bentuk yang rumit, misalnya benda dengan banyak lekukan). Penentuan ukuran *meshing* ditentukan menggunakan metode studi konvergensi *mesh size*. Studi konvergensi dilakukan dengan cara mengamati tegangan yang dihasilkan dari setiap variasi ukuran *mesh* [11][12].

F. Setup

Pada *setup* simulasi analisa *pig launcher* ini terdapat beberapa kondisi batas yang digunakan untuk mengetahui efek pembebanan yang diterima *pig launcher* akibat beban pada *pipeline*. Pada simulasi ini terdapat empat kondisi pembebanan yaitu saat *hydrotest load*, *operating load*, *sustained load*, dan *expansion load*. Dan kondisi batas pada simulasi pembebanan pada *pig launcher* ini yaitu nilai tekanan internal, nilai *force*, nilai *moment*, *hydrostatic pressure* dan pemilihan *support* pada *pig launcher*. Untuk nilai *force* dan *moment* didapatkan pada *software* khusus perpipaan [13].

G. Solution

Solution merupakan tahap akhir simulasi yang nantinya berupa *output* simulasi yaitu *equivalent von misses stress*, *maximum shear stress* dan *total deformation*. Dalam kasus ini, material dikatakan mulai luluh ketika tegangan *von Misses* mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength* sehingga *allowable* yang digunakan berupa *yield strength material*, sedangkan pada *maximum shear stress* kegagalan akan terjadi bila tegangan *maximum shear* material tersebut melebihi nilai tegangan geser pada titik leleh pada uji tarik, dimana titik luluh geser bernilai separuh dari *yield material* dan untuk penentuan *allowable deformation* ditentukan berdasarkan beberapa klasifikasi, dan pada kasus *pig launcher* ini menggunakan klasifikasi *ordinary usage* dengan beban *dead load* dan *live load* maka mengacu persamaan berikut [7][8][9].

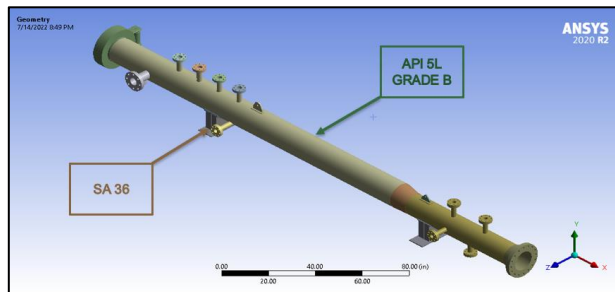
$$\text{Allowable Max Shear Stress} = \frac{\sigma_y}{2}$$

$$\text{Allowable Deformation} = \frac{L}{240}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Engineering Data

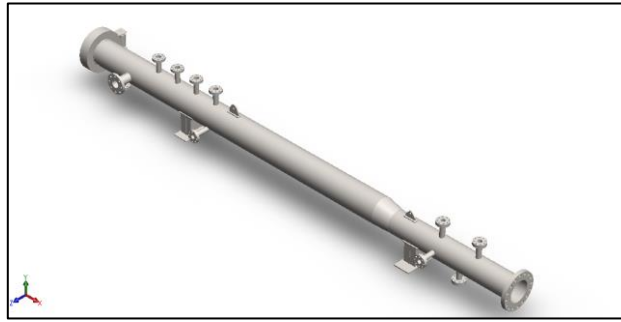
Pada analisis *pig launcher* ini *material data* yang digunakan adalah *API 5L Grade B* untuk *shell pig launcher* dan *SA 36* pada *saddle pig launcher*.



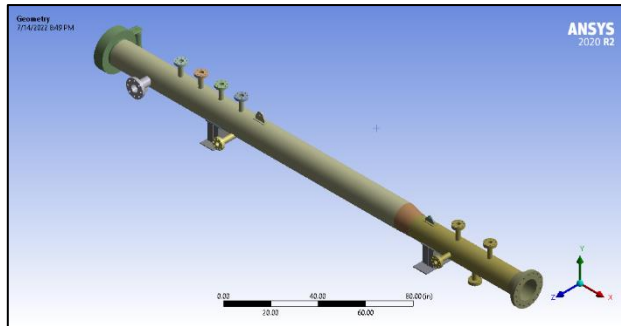
Gambar 2 Engineering Data

B. Modelling Geometry

Pembuatan geometri dari *pig launcher* ini dilakukan pada *software Solidwork*. Hal ini dilakukan pada *Solidwork* agar lebih mudah dalam pembuatannya serta agar hasil geometri tidak merubah ukuran pada saat di-*import* ke ANSYS. Untuk hasil geometri sebelum dan sesudah di-*import* dapat dilihat seperti Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 3 Geometri pada software solidwork



Gambar 4 Import Geometri pada software ANSYS

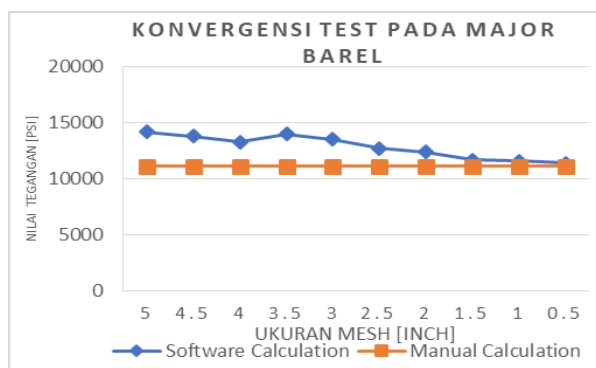
C. Meshing Sensitivitas

Pada studi konvergensi ini digunakan *major barrel* sebagai acuan. variasi *mesh size* yang digunakan ada pada range 5 *inch* sampai 0.1 *inch* lalu pada simulasi tekanan *internal major barrel* dibandingkan dengan hasil teoritis dan dipilih nilai error paling kecil yang nantinya akan digunakan dalam *meshing pig launcher*. Hasil perhitungan studi konvergensi *mesh size* bisa dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Meshing Konvergensi

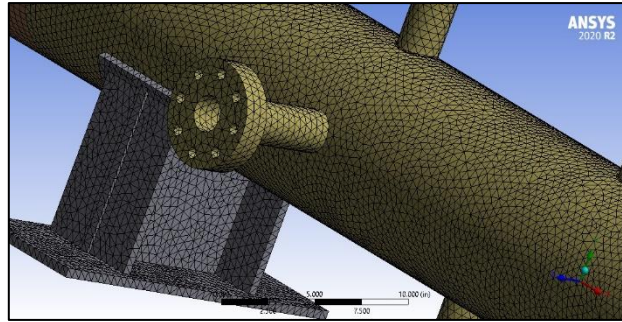
| <i>Size mesh (Inch)</i> | <i>Stress Ansys (Psi)</i> | <i>Stress Manual (Psi)</i> | <i>Error (%)</i> |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|
| 5 | 14163 | 11085,34 | 27.8 |
| 4,5 | 13777 | 11085,34 | 24.3 |
| 4 | 13276 | 11085,34 | 19.8 |
| 3,5 | 13993 | 11085,34 | 26.2 |
| 3 | 13527 | 11085,34 | 22.0 |
| 2,5 | 12705 | 11085,34 | 14.6 |
| 2 | 12354 | 11085,34 | 11.4 |
| 1,5 | 11664 | 11085,34 | 5.2 |
| 1 | 11547 | 11085,34 | 4.2 |
| 0,5 | 11369 | 11085,34 | 2.6 |
| 0.1 | Failed | 11085,34 | - |

Untuk hasil grafik konvergensi test pada *major barrel pig launcher* sesuai table 2 diatas dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Grafik konvergensi test major barrel

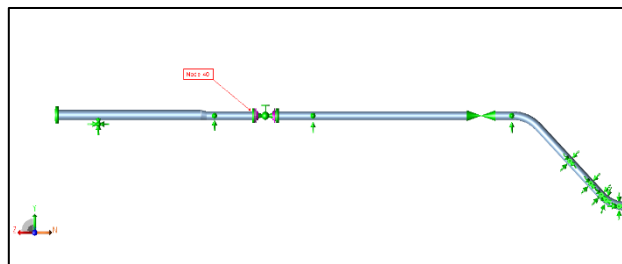
Berdasarkan grafik nilai perbandingan hasil studi konvergensi *mesh size*, persentase *error* terkecil terjadinya tegangan pada *major barrel pig launcher* berada pada *mesh size* 0,5 inch dengan nilai *error* sebesar 2,6% dan pada nilai *mesh* 0,1 mengalami kegagalan *meshing* sehingga pada *meshing pig launcher* menggunakan ukuran 0,5 inch karena mengalami nilai *error* paling kecil dan untuk hasil *meshing* pada *pig launcher* dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Hasil Meshing 0,5 inch pada pig launcher

H. Setup

Pada *setup* digunakan nilai *force*, nilai *moment*, *hydrostatic pressure* dan pemilihan *support* pada *pig launcher*. Untuk nilai *force* dan *moment* didapatkan pada *software* khusus perpipaan yang mana letak nilai tersebut pada node 40 tepat pada *nozzle outlet pig launcher* yang terhubung langsung dengan *pipeline* seperti Gambar 6 berikut:



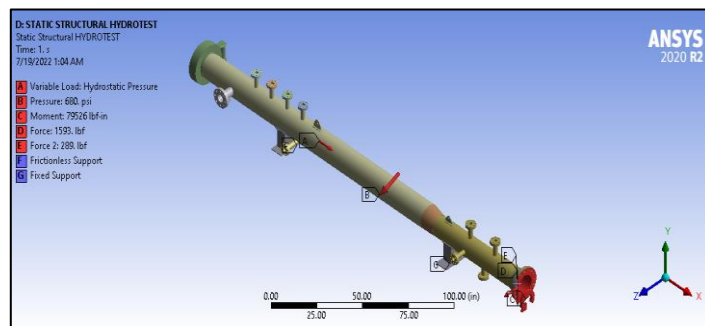
Gambar 7 Force & moment pada pig launcher

Berdasarkan Gambar 6, nilai *force* dan *moment* yang terletak pada *nozzle outlet pig launcher* diambil lalu ditabelkan untuk tiap kondisi, diantaranya *hydrotest load*, *operating load*, *sustained load* dan, *expansion load* yang tersaji pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Nilai *force & moment*

| Load Case | FX lb. | FY lb. | FZ lb. | MX ft.lb. | MY ft.lb. | MZ ft.lb. |
|-----------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Hydrotest | 0 | -855 | 289 | 2328,7 | 0 | 0 |
| Operating | 0 | -1593 | 12444 | 6627,2 | 0 | 0 |
| Sustained | 0 | -861 | 295 | 2353,5 | 0 | 0 |
| Expansion | 0 | -732 | 12150 | 4273,7 | 0 | 0 |

Berdasarkan Tabel 3, data nilai dari kondisi diatas nilai *force and moment* tersebut diinput kedalam kondisi batas pada *software* ANSYS sehingga didapatkan hasil *setup* seperti yang tertera pada Gambar 7 berikut.

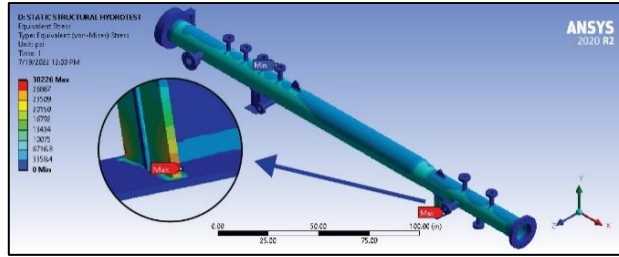


Gambar 8. Setup Pig Launcher pada Software ANSYS

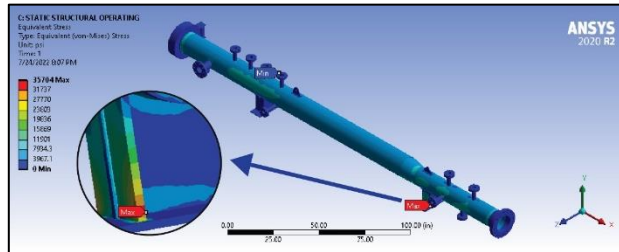
I. Solution

- Equivalent von misses stress

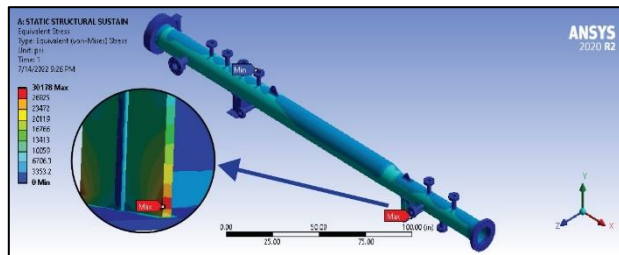
Output hasil running pertama adalah tegangan *equivalent von misses* pada *pig launcher* yang didapatkan nilai hasil tegangan yang terjadi tiap *load case* masih dibawah nilai *yield strength material* pada *saddle* adalah 36000 psi dan pada *shell pig launcher* yaitu 35000 psi dan untuk hasil running tertera pada Gambar 9 sampai Gambar 12 sebagai berikut.



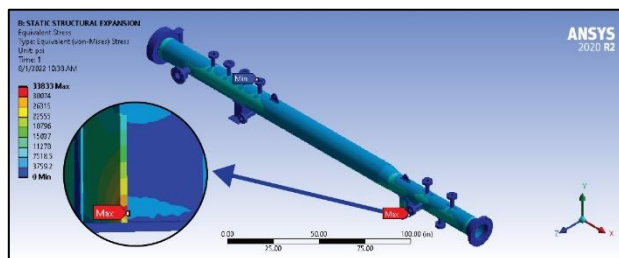
Gambar 9 Equivalent von misses pada kondisi Hydrotest Load



Gambar 10 Equivalent von misses pada kondisi operating Load



Gambar 11 Equivalent von misses pada kondisi Sustained Load



Gambar 12 Equivalent von misses pada kondisi Expansion Load

Dari hasil *output running* diatas data kemudian dikelompokan lalu ditabelkan untuk mempermudah analisis pada tahap selanjutnya, dan pada analisis hasil dari nilai *equivalent von misses stress* tidak boleh melebihi nilai dari *yield strength material* agar nilai dari tegangan *equivalent von misses stress* dapat diterima dan hasil nilai dari *equivalent von misses stress* dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

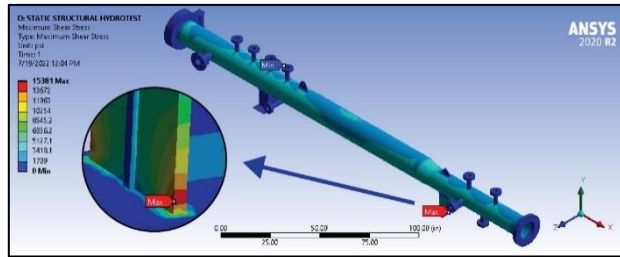
Tabel 4 Equivalent von misses stress

| Load Case | Max Equivalent Von Mises [psi] | Allowable [psi] | Result |
|-----------|--------------------------------|-----------------|----------|
| Hydrotest | 30226 | 36000 | Accepted |
| Operating | 35704 | 36000 | Accepted |
| Sustained | 30178 | 36000 | Accepted |
| Expansion | 33833 | 36000 | Accepted |

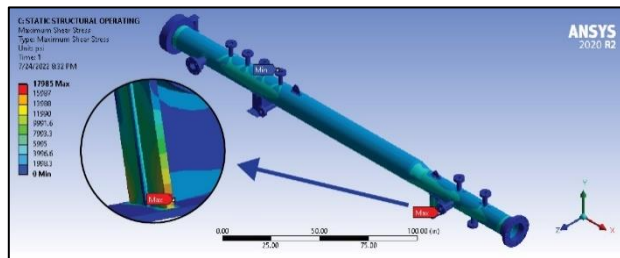
Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari *equivalent von misses stress* masih dibawah nilai dari *allowable yield strength* material sehingga nilai tegangan dapat diterima.

- *Maximum Shear Stress Stress*

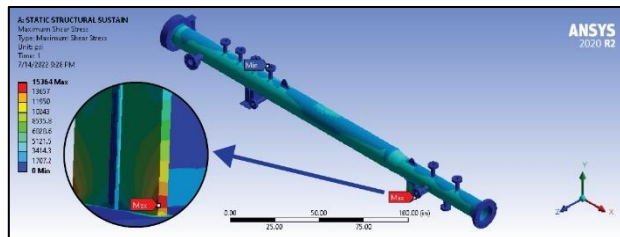
Output hasil *running* selanjutnya adalah tegangan *maximum shear stress* pada *pig launcher* yang didapatkan hasil yaitu semua tegangan yang terjadi per *load case* masih dibawah separuh nilai *yield strength* material pada *saddle* adalah 18000 psi dan pada *shell pig launcher* yaitu 17500 psi dan untuk hasil *running* simulasi *software* tertera pada Gambar 13 sampai Gambar 16 berikut.



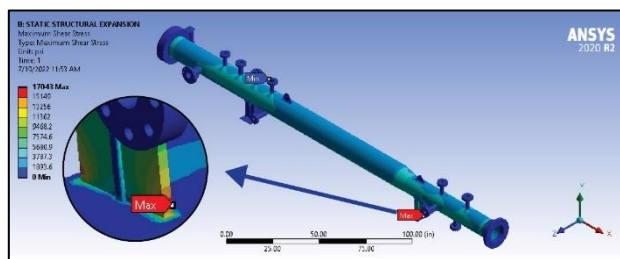
Gambar 13 *Maximum shear stress* pada kondisi *Hydrotest Load*



Gambar 14 *Maximum shear stress* pada kondisi *Operating Load*



Gambar 15 *Maximum shear stress* pada kondisi *sustained Load*



Gambar 16 *Maximum shear stress* pada kondisi *Expansion Load*

Berdasarkan hasil *running* output simulasi diatas, data dikelompokkan dan ditabelkan untuk mempermudah analisis pada tahap selanjutnya, dimana pada analisis hasil dari nilai *maximum shear stress* tidak boleh melebihi nilai dari titik luluh material. Nilai tegangan luluh geser bernilai separuh dari tegangan luluh/*yield* material agar nilai dari tegangan *maximum shear stress* dapat diterima. Persamaan dan hasil nilai dari *maximum shear stress* dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

$$\text{Allowable Max Shear Stress} = \frac{36000}{2}$$

$$\text{Allowable Max Shear Stress} = 18000 \text{ Psi}$$

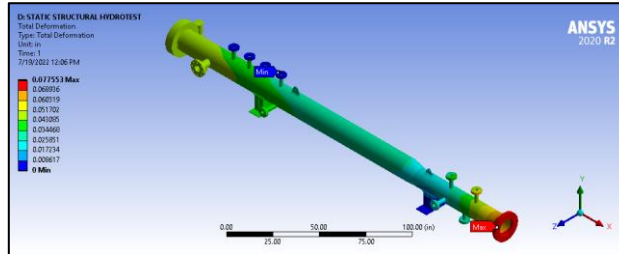
Tabel 5 Maximum shear stress

| Load Case | Maximum Shear Stress [psi] | Allowable [psi] | Result |
|-----------|----------------------------|-----------------|----------|
| Hydrotest | 15381 | 18000 | Accepted |
| Operating | 17985 | 18000 | Accepted |
| Sustained | 15364 | 18000 | Accepted |
| Expansion | 17043 | 18000 | Accepted |

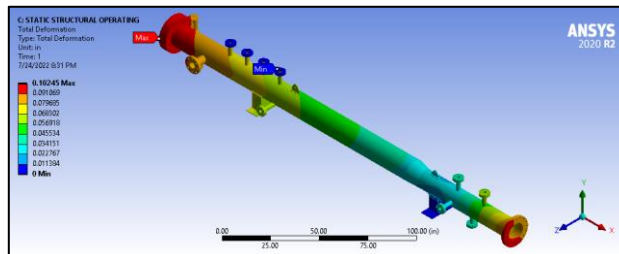
Dari Tabel 5 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari *maximum shear stress* masih dibawah nilai dari *yield strength material* sehingga nilai *maximum shear stress* dapat diterima.

- Total Deformation

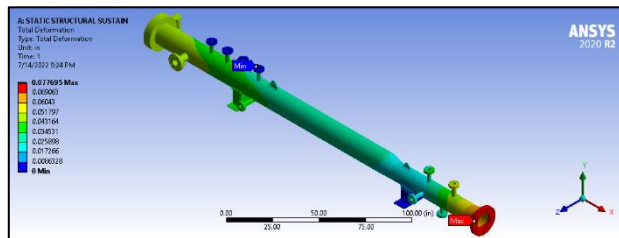
Output hasil *running* selanjutnya adalah *total deformation* pada *pig launcher* dengan hasil *output running* pada software ANSYS tertera pada Gambar 17 sampai Gambar 20.



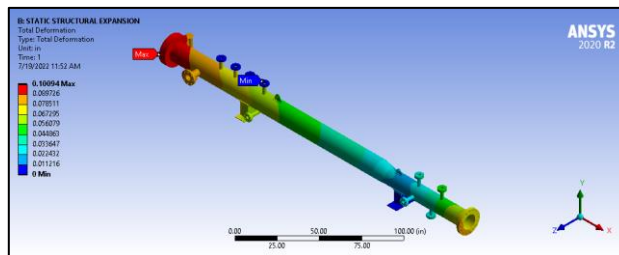
Gambar 17 Total deformation pada kondisi Hydrotest Load



Gambar 18 Total deformation pada kondisi Operating Load



Gambar 19 Total deformation pada kondisi Sustained Load



Gambar 20 Total deformation pada kondisi Expansion Load

Berdasarkan hasil *output running* diatas data kemudian dikelompokkan lalu ditabelkan untuk mempermudah analisis pada tahap selanjutnya, dimana pada analisis hasil dari nilai *total deformation* tidak boleh melebihi nilai dari *allowable deformation material* agar nilai dari *total deformation* dapat diterima. Untuk nilai *allowable deformation* tersaji pada perhitungan dibawah berdasarkan Persamaan dan hasil nilai dari *total deformation* dapat dilihat pada Tabel 6

$$\text{Allowable deformation} = \frac{135,36}{240}$$

$$\text{Allowable deformation} = 0,564 \text{ inch}$$

Tabel 6 *Maximum Deformation*

| Load Case | Total Deformation [inch] | Allowable [inch] | Result |
|------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|
| <i>Hydrotest</i> | 0,077553 | 0,564 | <i>Accepted</i> |
| <i>Operating</i> | 0,10245 | 0,564 | <i>Accepted</i> |
| <i>Sustained</i> | 0,077695 | 0,564 | <i>Accepted</i> |
| <i>Expansion</i> | 0,10094 | 0,564 | <i>Accepted</i> |

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai dari *total deformation* masih dibawah nilai dari *allowable deformation* material sehingga nilai *total deformation* dapat diterima berdasarkan ASME VIII Divisi I.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, yakni analisis perancangan pig launcher dengan metode simulasi software. Hasil analisis, simulasi dilakukan dengan bantuan software dengan dimensi meshing 0.5 inch dan pipeline sebagai pembebanannya didapatkan nilai maximum shear stress terjadi pada case operating load yakni sebesar 17985 psi. hal ini terjadi karena beban yang diberikan adalah beban kombinasi antara sustain load dan expansion load. Sedangkan stress terkecil terjadi pada case sustain load yakni sebesar 15364 psi, hal ini terjadi karena tidak adanya ekspansi akibat perbedaan temperature antara fluida hydrotest yang berupa air terhadap pig launcher. Total deformasi tertinggi terjadi pada case operating load yakni sebesar 0.10245 inch, hal ini terjadi dikarenakan operating load merupakan kombinasi antara beban sustain dan ekspansi. Sehingga dapat disimpulkan studi numerik untuk pig launcher ini masih dibawah allowable berdasarkan ASME VII Divisi I.

ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terimakasih disampaikan kepada DIPA PPNS yang telah memberikan pendanaan dalam penelitian ini, sehingga penelitian ini bisa selesai dan terbit pada jurnal Optimalisasi.

REFERENCES (IEEE Style)

- [1] Achmad Arifuddin. (2021). *Perancangan Kicker Line Dan Pig Launcher Pada Jalur Perpipaan Dari Jetty Menuju Storage Tank*.
- [2] Arista, D., Asyik, M., Ubaidillah, D., Prabu, A., Pertambangan, J. T., Kunci, K., Aliran, E., & Aliran, I. (2018). Analysis Of Flow Efficiency And Flow Index For Intensity Andpigging Time Determinationat Pt. Medco E&P Soka, South Sumatera. *Jp*, 2(4).
- [3] McAllister, E. W. (2002). *Pipeline Rules Of Thumb Handbook: Quick And Accurate Solutions To Your Everyday Pipeline Problems*. Gulf Professional Pub.
- [4] Putri, Marizta Perdani, Moh. Miftachul Munir dan Muhammad Shah (2018). Desain By Pass Line dan Pig Launcher pada Gas Trunkline BS Kambitin II- BS III Tanjung, Proyek Adaro Wilayah Field Tanjung Kalimantan Selatan. *3rd Conference on Piping Engineering and Its Application*
- [5] Yudhi Mandraguna, F., Afiff, J. M., Teknik, J., & Fakultas, M. (2018). Perancangan Pig Launcher Untuk Pipa Gas. In *Seminar Nasional Cendekiawan Ke* (Vol. 4).
- [6] Cordell, Jim., & Vanzant, Hershel. (2003). *The Pipeline Pigging Handbook*. Clarion Technical Publishers.
- [7] Hibbeler, R. C. (2014). *Mechanics Of Materials*.
- [8] J. H. N. Tiratsoo. (1992). *Pipeline Pigging Technology*.
- [9] Onouye, B. (2012). *Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction*.
- [10] Perwira Antartika, M., Ari, M., Suastika, K., (2020). Perbandingan Hasil Analisis Metode Elemen Hingga Berbasis Software Dengan Simple Supported Calculation Pada Kapal 50 Pax Crane Barge.
- [11] Bagus Prasetyo, A., Asyratul Azmi, A., Setyo Pamuji, D., & ilmal Yaqin, R. (2018). *Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik*.
- [12] Nurisa, T. M. A. (2019). Analisa Pembebanan Dinamik Pada Bodi Pesawat Terbang Dengan Simulasi Ansys 18.1.
- [13] Fahrudin, H. T., Yudo, H., Amiruddin, W., (2020). Analisa Tegangan Pada Saluran Pipa Transmisi Gas Bawah Tanah PT. Citra Panji Manunggal Dengan Menggunakan Software Berbasis Elemen Hingga.
- [14] Widyaningrum, F., Jatisukamto, G., & Ilminnafik, N. (2018). ANALISIS STRUKTUR STATIS PROVISION CRANE DENGAN SOFTWARE ANSYS 16.2.

- [15] Santoso, Y. A., Sulandari, N., & Pranata, Y. A. (2012). *Studi Pendahuluan Simulasi Numerikal Metode Elemen Hingga Sambungan Balok-Kolom Studi Pendahuluan Simulasi Numerikal Metode Elemen Hingga Sambungan Balok-Kolom Baja Tipe Clip-Angle*.