P-ISSN: 2549-5038, E-ISSN: 2580-4979
URL: http://jurnal.umt.ac.id/index.php/mjtm

STUDI NUMERIK PENGARUH EXTERNAL FORCE TERHADAP KEKUATAN POROS POMPA SENTRIFUGAL JENIS N 32–125

[1)]Ilham Ariawan Ashar, [2*)]Muhamad Safi'i, [3)]Ahmad Ramdhani, [4)]Muhamad Idrokul Fahmi, [5)]Syahrul Maulana Rozaki, [6)]Hamdan Ramadhan, [7)]Muhamad Juli Saputra, [8)]Anugrah Widi Pangestu, [9)]Yafid Effendi, [10)]Oktarina Heriyani.

[1,2,3,4,5,6,7,8)] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo.
Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibeber, Kec. Mojotengah, Kab. Wonosobo 56351.
[9)]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang.
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang.
[10)]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta.
Jl. Limau II No.2, RT.3/RW.3, Kramat Pela, Kec. Kby. Baru, City, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12130.

E-mail: [1]*muhamadsafii17@unsiq.ac.id.*

Submitted Date: Desember 29, 2024 Reviewed Date: Januari 29, 2024
Revised Date: Januari 30, 2024 Accepted Date: Januari 31, 2024

Abstract

A pump is a machine that moves fluids by converting mechanical energy into fluid energy and pressure, transporting fluids through a piping system. The reliability and strength of the centrifugal pump shaft are the main concerns in this research. Research on the influence of the magnitude of the force acting on the centrifugal pump shaft on the strength of the centrifugal pump shaft using the Finite Element Method (FEM) numerical method was carried out using the Solidworks computer simulation application. The magnitude of the force acting on the centrifugal pump shaft with AISI 1020 steel material is 50 N, 75 N, and 100 N as proposed. The research results show that the centrifugal pump shaft has high values of von Mises stress, displacement, and strain as the working force increases. It is hoped that these results can be used to design references for centrifugal pump shafts and can be applied to consider safety factors in centrifugal pump shafts in the field.
Keywords: *Shaft, Von Mises, Displacement, Strain*

Abstrak

Pompa adalah mesin yang berfungsi untuk memindahkan fluida dengan cara merubah energi mekanis menjadi energi fluida dan tekanan, mengangkut fluida melalui sistem perpipaan. Keandalan dan kekuatan poros pompa sentrifugal menjadi perhatian utama pada penelitian ini. Penelitian tentang pengaruh besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal terhadap kekuatan poros pompa sentrifugal dengan metoda numerik *Finite Element Method* (FEM) dilakukan dengan menggunakan aplikasi komputer *Solidworks simulation*. Besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal dengan material baja AISI 1020 sebesar 50 N, 75 N, dan 100 N di usulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa poros pompa sentrifugal memiliki nilai tegangan *von Mises*, *displacement*, dan *strain* yang tinggi seiring ditingkatkannya *force* yang bekerja. Hasil ini diharapkan dapat digunakan untuk referensi perancangan poros pompa sentrifugal dan dapat diterapkan untuk mempertimbangkan faktor kemanan pada poros pompa sentrifugal di lapangan.
Kata kunci: Poros*, Von Mises, Displacement, Strain*.

1. Pendahuluan

Pompa adalah mesin yang berfungsi untuk memindahkan fluida dengan cara merubah energi mekanis menjadi energi fluida dan tekanan, mengangkut fluida melalui sistem perpipaan (M. Safi'i dkk, 2024). Pompa sentrifugal digunakan sebagai konversi energi yang banyak digunakan dalam konservasi air, industri kimia, minyak bumi, dan industri lainnya (X. Su dkk, 2024). Pompa Sentrifugal menjadi peralatan penting dalam bidang teknologi perkapalan, pembangkit listrik tenaga nuklir, dan kedirgantaraan (Lili Zhang dkk, 2022).

Desain transmisi pada pompa sentrifugal menjadi perhatian khusus, dalam hal ini adalah poros pompa yang dirancang seminim mungkin sesuai dengan teori kekuatan dan dimensi struktural yang sesuai (K. H. Wu dkk, 2014). Poros adalah komponen yang berfungsi sebagai penerus daya putar pada pompa dan proses pengubung energi yang akan mendapatkan pembebanan torsi dan tekuk secara dinamis (M. Safi'i dkk, 2024). Penelitian terhadap kekuatan poros pompa terus dilakukan guna untuk mengetahui sifat fidik, sifat mekanik, serta kekuatannya (Y. Xiao, 2024).

Selain itu, mekanisme kerusakan umum dalam poros adalah fatik. Kerusakan fatik dimulai pada titik rentan seperti cacat *metallurgical* dan *structural* yang mengandung tegangan terpusat yang tinggi (Bendt & V. Bennekom, 2001). Analisis kerusakan poros pompa sentrifugal yang beroperasi di lingkungan korosif dengan bahan AISI 304 dilakukan guna untuk mengetahui kekuatan dan faktor kegagalan poros, hasilnya poros dikategorikan dalam batas aman pada beban maksimum sebesar 66357,5 kg/mm (D. Taylor, 2002). Perancangan proses permesinan poros pompa sentrifugal diameter 56 mm panjang 342 mm dengan bahan *stainles steel* 31 diteliti untuk mengetahui kekuatan poros pompa, hasil penelitian menunjukkan besar tegangan ijin bahan poros 5,25 kg/mm^2, sedang tegangan geser yang bekerja pada poros 1,32 kg/mm^2. Sehingga kekuatan poros pompa aman digunakan (A. Goksenli, 2009). Variasi tekanan masuk pompa sentrifugal di uji untuk mengetahui kekuatan poros dan performa pompa, tekanan masuk 0,01 kg/cm^2, 0,02 kg/cm^2, 0,03 kg/cm^2, 0,04 kg/cm^2, 0,05 kg/cm^2 diusulkan. Hasilnya, tekanan maksimum terbaik ditemukan pada nilai 0,04 kg/cm^2 dengan nilai kekuatan poros sebesar 6,28 kg/mm^2 dengan nilai efisiensi sebesar 50,01% (Y. H. Anoi dkk, 2022).

Analisis kegagalan dan kekuatan pada poros pompa sentrifugal 107 JA menggunakan meh (metode elemen hingga) di PT. PETROKIMIA GRESIK dengan material *stainless steel* 17-4 PH dilakukan dengan variasi besaran Rpm 1200 Rpm dan 1500 Rpm, hasilnya poros menerima beban tegangan maksimum sebesar 609,79 MPa di bagian tengah porosnya dekat dengan rumah pasak. Material *stainless steel* 17-4 PH hanya mampu menahan beban tegangan maksimum sebesar 655 MPa sehingga nilai tegangan maksimum yang terjadi pada poros sangat mendekati nilai *fatigue limit material* (N. F. Nelfandi, 2023). Poros pompa sentrifugal dikarakterisasi dengan pendekatan studi numerik untuk mengetahui deformasi dan modulus elastisitas poros terhadap besaran eksternal *force* dengan metode *Finite Element Method* (FEM), hasilnya hasilnya besaran eksternal force sebesar 50 N ke 75 N menunjukkan adanya peningkatan deformasi sebesar 1% dan modulus elastisitas sebesar 5% (H. Kuang, 1996). Poros pompa sentrifuga dengan material baja EN 25 diteliti dengan studi eksperimen untuk mengetahui efek kegagalan poros tersebut. Beban sebesar 100 N diusulkan, hasilnya poros pompa sentrifugal dengan material baja EN 25 ini nmemiliki umur operasi yang disarankan 100.000 jam pada beban 100 N yang biasanya rusak dalam waktu 80.000 jam karena kelelahan material (N. Parida dkk, 2003).

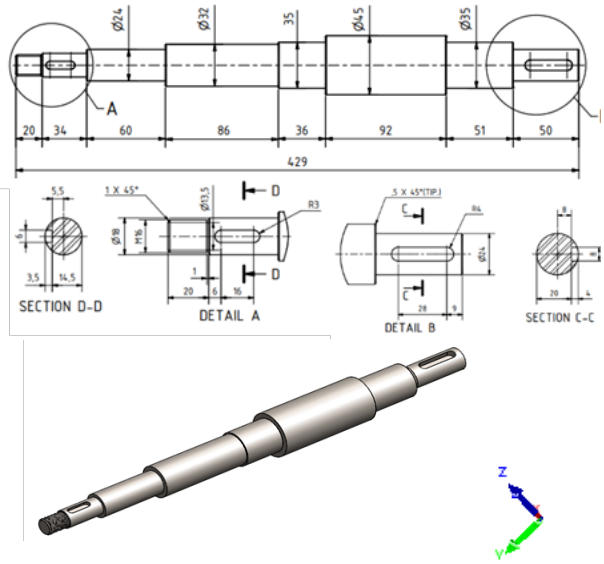
Sudah banyak penelitian yang dikembangkan baik eksperimen maupun numerik tentang kekuatan poros pompa sentrifugal dengan berbagai macam variasi seperti jenis material, beban poros, dimensi porosRpm pompa, laju aliran fluida dan lain sebagainya. Namun belum ada study numerik tentang kekuatan material poros pompa sentrifugal jenis N 32–125 menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan material baja AISI 1020 dan variasi *force* sebesar 50 N, 75 N, dan 100 N terhadap kekuatan poros pompa tersebut. Studi numerik *Finite Element Method* (FEM) dilakukan dengan menggunakan Program Komputer Solidworks 2020 SP1 untuk mengkarakterisasi hasil numerik berupa besaran *Strain, Displacement*, dan *von*

Mises hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk referensi perancangan poros pompa sentrifugal dan dapat diterapkan untuk mempertimbangkan faktor kemanan pada poros pompa sentrifugal di lapangan.

2. Metode Penelitian

2.1 Model Fisik

Gambar 1 merupakan tampak atas bentuk dan 3D geometri poros pompa sentrifugal beserta ukurannya yang digambar dengan mengguakan Program Komputer Solidworks 2020 SP 1 dengan mempertimbangkan geometri saat eksperimen. Dari metode ini didapatkan detail *engineering design* berupa detail dan spesifikasi fisik dari material yang telah ditentukan yakni baja AISI 1020.



Gambar 1. Tampak Atas dan 3D Poros Pompa Sentrifugal Jenis N 32–125.

2.2 Material

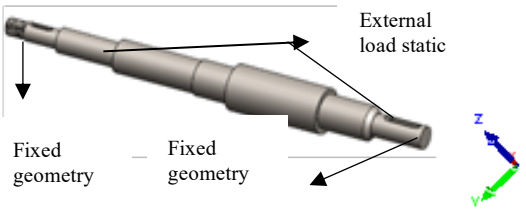
Material yang diguanakan dalam studi numerik dengan metode *Finite Element Method* (FEM) adalah baja AISI 1020 dengan desain geometris dengan spesifikasi dan sifat material yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dan Sifat Mekanik Material baja AISI 1020.

Property	*Value*	*Unit*
Elastic Modulus	205000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	80000	N/mm^2
Mass Density	7870	Kg/m^3
Tensile Strength	420	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	350	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	1.17e-05	/K
Thermal Conductivity	51.9	W/(m·K)
Specific Heat	486	J/(kg·K)

2.3 Domain Komputasi

Domain komputasi dilakukan dengan teknik berbasis *control volume* yang mengatur skema *elapsed time* untuk akurasi yang lebih tinggi. Domain komputasi poros pompa sentrifugal ditetapkan dan ditentukan dengan kondisi batas seperti yang dijelaskan pada Gambar 2. Penentuan dinding pada kondisi batas berupa analisis numerik pembebanan pada poros pompa sentrifugal dengan keadaan *steady*. Domain komputasi dalam pekerjaan sekarang ini menggunakan sistem koordinat kartesius, dimana sumbu-Y adalah sumbu searah *external load static* (pembebanan), sumbu-Z adalah sumbu *transversal fixed geometry*. Bagian domain komputasi yang dibuat terdiri atas 2 bagian, yaitu *external load static* (pembebanan), dimaksudkan untuk memperoleh beban yang bekerja, daerah *fixed geometry* dimaksudkan untuk geometri paten yang memungkinkan menerima *external load static* (pembebanan).

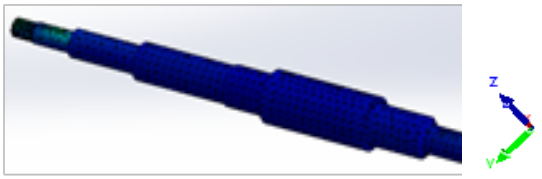


Gambar 2. Domain Komputasi dan Penentuan Kondisi Batas.

2.4 *Meshing*

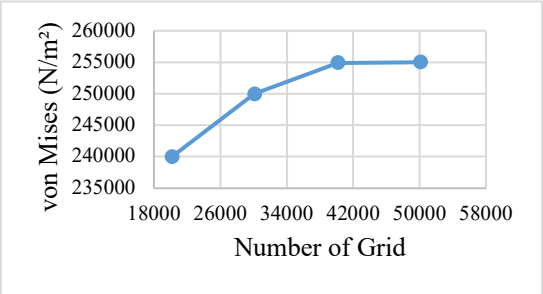
Penggenerasian *mesh* dipilih jenis *grid tetrahedral* dengan terstruktur penuh dan resolusi tinggi didaerah dekat dinding untuk menangkap efek lapisan batas *strain, displacement*, dan *von Mises* seperti yang dijelaskan pada Gambar 3 yakni detail *mesh*. Pembuatan jaring mesh dilakukan pada menu *Mesh* pada aplikasi *Solidworks simulation*. *Body sizing* dipilih untuk

mendefinisikan geometry poros pompa sentrifugal yang akan di *mesh* dengan ukuran sebesar 0,5 mm.



Gambar 3. Detail *Mesh*.

2.5 Uji *Grid Independent*

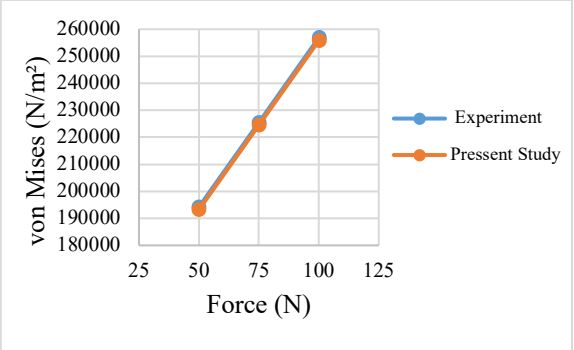


Gambar 4. Grafik Hubungan Nomor *Grid* terhadap *von Mises*.

Uji grid independent dilakukan untuk menentukan titik optimum *mesh* dari nilai percobaan simulasi berupa *external load static* poros pompa sentrifugal. Uji *grid* dilakukan dengan mempertimbangkan ukuran jumlah *cell mesh* pada domain komputasi antara, 21134, 31122, 41140, dan 51128. Hasil uji *grid* disajikan dalam grafik hubungan antara nomor *grid* dan nilai tegangan *von Mises* yang dijelaskan pada Gambar 4. Perhitungan pada studi numerik dalam uji *grid* menunjukkan kesalahan relatif antara *grid* 21134 dengan 31122 adalah ±1,1%, 31122 dengan 41140 adalah ±0,92%, 41140 dengan 51128 ±0,90%. Jumlah *grid* 50140 merupakan jumlah *grid* yang paling optimum karena berdasarkan uji simulasi dengan variasi penambahan jumlah *grid* terlihat nilai tegangan *von Mises* sebesar 259500 N/m^2 dan 260000 N/m^2 dianggap tidak berubah terhadap jumlah *grid*, sehingga jumlah *grid* 50140 digunakan dalam mengambil data simulasi pada *shock absorber* terhadap variasi yang sudah ditentukan.

2.6 Validasi

Validasi dilakukan melalui pendekatan simulasi terhadap eksperimen, parameter yang ingin dicari dalam penelitian ini adalah nilai tegangan *von Mises* guna untuk menentukan performa poros pompa sentrifuga yang baru diusulkan. Validasi dilakukan dengan variasi nilai *force* terhadap nilai tegangan *von Mises*. Hasil validasi disajikan dalam Gambar 5. Hubungan *force* terhadap tegangan *von Mises*. Hanya hasil yang terbaik yang kami sajikan dalam laporan ini. Untuk berbagai macam *force* memiliki kesalahan relatif terbesar dengan nilai 0,85% dengan nilai tegangan *von Mises* antara eksperimen dan numerik 269500 N/m^2 dan 270000 N/m^2 saat numerik, sedangkan yang terendah adalah 0,45% dengan nilai 270000 N/m^2 saat eksperimen dan 270200 N/m^2 saat studi numerik. Hasil tersebut menunjukkan adanya kesepakatan yang baik antara hasil eksperimen terhadap studi numerik yang sedang divalidasi



Gambar 5. Grafik Hubungan *Force* terhadap *von Mises*.

2.7 Reduksi Data Simulasi

1. Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

2. Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

3. Deformasi

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

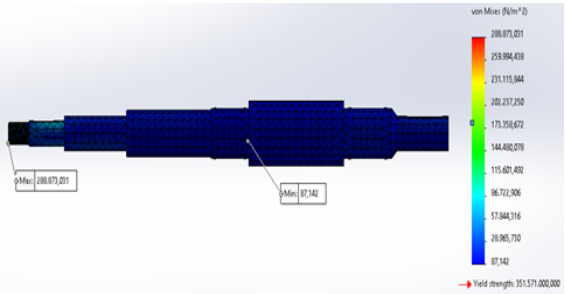
4. von Mises

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh *Force* terhadap Tegangan *Von Mises* pada Poros Pompa Sentrifugal Jenis N 32–125

Pada mulanya prinsip kerja poros pompa sentrifugal dalam penelitian ini adalah meneruskan daya berupa transmisi putaran, putaran tersebut menggerakkan impeller yang digunakan untuk memindahkan fluida air. Besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal sebesar 50 N, 75 N, dan 100 N diusulkan dan diteliti untuk mengetahui kekauatan poros pompa sentrifugal. Nilai tegangan *von Mises* menjadi salah satu parameter hasil pengujian simulasi untuk dibahas lebih lanjut dalam penelitian ini. Tegangan *von Mises* merujuk pada nilai tegangan ekuivalen berdasarkan energi putar untuk menentukan apakah material akan gagal (melengkung atau patah) di bawah kondisi beban (*force*) tertentu. Gambar 5 menunjukkan distribusi kontur tegangan *von Mises* yang terjadi pada poros pompa sentrifugal.



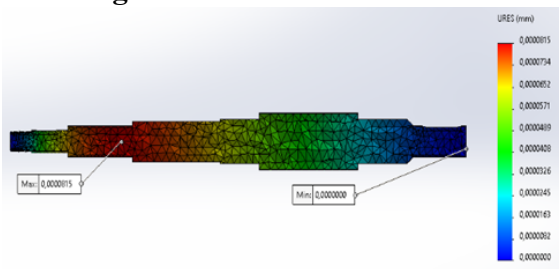
Gambar 6. Distribusi *von Mises*.

Umumnya fenomena putaran yang terjadi pada poros pompa sentrifugal mengalami tegangan *von Mises* pada ketika poros pompa sentrifugal bekerja berputar. Tegangan *von Mises* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal pada penelitian ini berkisar antara 270000 N/m^2 hingga 1100000 N/m^2 dengan *force* yang bekerja sebesar 50 N. Umumnya pada poros pompa sentrifugal *force* bekerja pada tumpuan *impeller* dan *couple* pompa, sehingga distribusi kontur tegangan *von Mises* terbesar diterima oleh bagian tersebut. Tabel 1 menjelaskan tabel hubungan antara *force* dengan tegangan *von Mises*. Dengan adanya peningkatan besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal maka tegangan *von Mises* pada *shock absorber* konvesional mengalami kenaikan sekitar 6%. Besaran *Force* 50 N memiliki nilai tegangan *von Mises* terendah dengan nilai 270000 N/m², besaran *force* 75 N memiliki nilai tegangan *von Mises* 285100 N/m², sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai tegangan *von Mises* tertinggi dengan nilai 295600 N/m².

Tabel 1. Hubungan *Force* terhadap Tegangan *von Mises*.

Force (N)	*von Mises* (N/m²)
50	205400
75	235200
100	265700

3.2 Pengaruh *Force* terhadap *Displacement* pada Poros Pompa Sentrifugal Jenis N 32–125



Gambar 7. Distribusi Kontur *Displacement.*

Besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal dikarakteridasi dengan pendekatan simulasi, *displacement* pada poros pompa sentrifugal merupakan perpindahan yang terjadi pada poros pompa sentrifugal akibat adanya *force* yang bekerja. Besarnya *displacement* dapat memengaruhi nilai putaran dan respon getaran poros pompa sentrifugal. Ada kemungkinan ketika poros pompa sentrifugal terdapat *force* yang bekerja, maka poros pompa sentrifugal melakukan putaran yang lebih besar setelah mendapatkan *force*. Selain itu poros pompa sentrifugal memiliki kemampuan berputar

dan menahan posisi agar tak terlalu mluntir saat menerima *force* berupa bobot putaran *impeller*, sehingga masih tetap ada jarak saat putaran bekerja dan mempertahankan *displacement*nya. Umumnya distribusi *displacement* pada simulasi yang sedang dipelajari berada pada bagian *dekat impeller dan couple pompa* yang memungkinkan adanya penambahan kelonggaran, keausan, mluntir, melengkung, bahkan patah pada spesimen tersebut dengan nilai yang sudah dijelaskan pada Tabel 2.

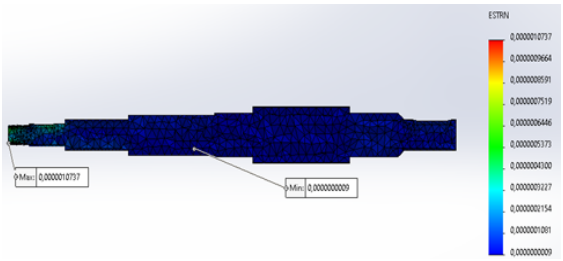
Tabel 2. Hubungan *Force* terhadap *Displacement.*

Force (N)	*Displacement* (mm)
50	0,000001248
75	0,000001464
100	0,000001640

Gambar 6 merupakan kontur distribusi *displacement* pada *shock absorber* konvesional. *Displacement* yang bekerja pada *shock absorber* konvesional memungkinkan *force* yang bekerja dan yang dibutuhkan untuk memampatkan atau memanjangkan pegas pada jarak tertentu untuk memperoleh suspensi yang ideal. Tabel 2 menunjukkan hubungan *force* terhadap *displacement.* Dengan adanya peningkatan besaran *force* yang bekerja pada *shock absorber* konvesional maka *displacement* pada *shock absorber* konvesional mengalami kenaikan sekitar 4%. Besaran *Force* 50 N memiliki nilai *displacement* terendah dengan nilai 0,000001248 mm, besaran *force* 75 N memiliki nilai *displacement* 0,000001464 mm, sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai *displacement* tertinggi dengan nilai 0,000001640 mm.

3.3 Pengaruh *Force* terhadap *Strain* pada Poros Pompa Sentrifugal Jenis N 32–125

Dalam studi numerik yang sedang dipelajari, *strain* sangat berperan penting terhadap performa poros pompa sentrifugal. Gambar 7 merupakan distribusi strain pada poros pompa sentrifugal. Pada studi numerik poros pompa sentrifugal dengan *force* sebesar 50 N, 75 N, dan 100 N bekerja dengan memperlambat atau menetralkan gerakan dan putaran pada sistem poros pompa sentrifugal. Putaran poros pompa sentrifugal yang lemah dapat menyebabkan gangguan distribusi perpindahan fluida air dalam pompa, bahkan membuat komponen pompa lainnya seperti *impeller, couple, dan mechanical seal* cepat rusak. Pada Gambar 7 *strain* terjadi akibat adanya *force* yang bekerja, akibatnya deformasi yang dihasilkan oleh tegangan, atau rasio perubahan panjang terhadap panjang awal pada poros pompa sentrifugal menjadi perhatian utama dalam penelitian ini.



Gambar 8. Distribusi Kontur *Strain.*

Tabel 3. Hubungan *Force* terhadap *Strain.*

Force (N)	*Strain* (mm)
50	0,0000002642
75	0,0000004022
100	0,0000006228

Dalam hal poros pompa sentrifugal, *strain* dapat digunakan untuk menganalisis data *input force* pada poros pompa sentrifugal untuk mengetahui beban aktual pada komponen pompa. Sehingga redaman dan energi putar dapat dijadikan sebagai tolok ukur tambahan pada performa poros pompa sentrifugal. Pada studi numerik yang sedang dipelajari, umumnya distribusi *strain* terjadi pada poros dekat *impeller* dan *couple* kemudian secara perlahan menuju ke bagian lainnya dengan besaran *strain* dan *displacement* yang sangat kecil. Ada kemungkinan faktor redaman, energi putar menjadikan distribusi *strain* dan *displacement* cenderung merata di daerah tersebut.

Tabel 3 menunjukkan hubungan *force* terhadap *strain*. Dengan adanya peningkatan besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal maka *nilai*

strain pada poros pompa sentrifugal mengalami kenaikan sekitar 4,2%. Besaran *Force* 50 N memiliki nilai *strain* terendah dengan nilai 0,0000002642 mm, besaran *force* 75 N memiliki nilai *strain* 0,0000004022 mm, sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai *strain* 0,0000006228 mm. Hasil tersebut mengkonfirmasi bahwa poros pompa sentrifugal masih dalam kategori aman dalam penggunaan dilapangan.

4. Kesimpulan

Dengan adanya peningkatan besaran *force* yang bekerja pada poros pompa sentrifugal maka tegangan *von Mises* pada *shock absorber* konvesional mengalami kenaikan sekitar 6%. Besaran *Force* 50 N memiliki nilai tegangan *von Mises* terendah dengan nilai 205400 N/m², besaran *force* 75 N memiliki nilai tegangan *von Mises* 235200 N/m², sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai tegangan *von Mises* tertinggi dengan nilai 265700 N/m². Besaran *Force* 50 N memiliki nilai *displacement* terendah dengan nilai 0,000001248 mm, besaran *force* 75 N memiliki nilai *displacement* 0,000001464 mm, sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai *displacement* tertinggi dengan nilai 0,000001640 mm. Besaran *Force* 50 N memiliki nilai *strain* terendah dengan nilai 0,0000002642 mm, besaran *force* 75 N memiliki nilai *strain* 0,0000004022 mm, sedangkan besaran *force* 100 N memiliki nilai *strain* 0,0000006228 mm. Hasil tersebut mengkonfirmasi bahwa *shock absorber* masih dalam kategori aman dalam penggunaan dilapangan.

Ucapan Terima Kasih

Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI). Gedung C Lantai 13 Jl. Jenderal Sudirman Senayan, Jakarta Pusat 10270.

Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo. Jl. KH. Abdurrahman Wahid KM. 03, Krasak, Kec. Mojotengah, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah 56351.

CFD Research Group Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo. Jl. KH. Abdurrahman Wahid KM. 03, Krasak, Kec. Mojotengah, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah 56351.

Daftar Pustaka

M. Safi'i, R. Muhammad, N. B. Jannati, 2024. "*Analisa Kerusakan Pompa Oli Temperature Control Unit pada Mesin Longitudinal Strecher ditinjau dari Kerugian Biaya Produksi di PT. Polidayaguna Perkasa Ungaran*". STORAGE – Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer, Vol. 3, No. 1, PP. 106 – 115.

X. Su, Q. Xu, C. Yang, X. Dai, L. Guo, 2024. "*Numerical Study of Gas Pocket Distribution and Pressurization Deterioration Mechanism in a Centrifugal Pump*". Progress in Nuclear Energy. Vol. 177, No. 2, PP. 1-13.

Zhang, L., Tang, L., Wen, Q., & Luo, W, 2022. "*Study on Optimization of Pump Shaft Transmission System of Plastic Centrifugal Pump". Journal of Engineering*, Vol 11. No. 1, PP. 1-14.

K. H. Wu, B. J. Lin, and C. I. Hung, *"Novel design of centrifugal pump impellers using generated machining method and CFD," Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, Vol. 2, No. 2, PP. 195–207, 2014.

Y. Xiao, Z. Sun, G. Sun, L. Wan, 2024. "*Numerical Study on Dynamic Response of Double Drive Shafts of Dual-Coupled Axial Piston Pump Under Various Load Ratios*". Engineering Failure Analysis. Vol. 163, No. 2, PP. 1-14.

F. Bendt, V. A. Bennekom, 2021" *Pump Shaft Failures a Compendium of Case Studies", Engineering Failure Analysis*, Vol 140, No. 2, PP. 135-144.

Y. H. Anoi, F. L. Fenriyati, Irianto, A. Yani, 2022. "*Studi Eksperimental Variasi Tekanan Masuk (Suction Preasure) Terhadap Kinerja Pompa Air Sentrifugal Pada Alat Praktikum Mesin*

Fluida Stti Bontang". Jurnal Taguchi. Vol. 2, No. 2, PP. 238-248.

D., Taylor, 2002. "*Prediction Of Fatigue Failure Location on a Component Using a Critical Distance Method". International Journal Fatigue,* Vol. 22, No. PP. 735-742.

A. Goksenli, I. B. Eryurek, 2009. "*Failure Analysis of an Elevator Drive Shaft". Engineering Failure Analysis,* Vol. 16, No. 4, PP. 1001-1009.

N. Parida , S. Tarafder, S. K. Das, P. Kumar, G. Das, V. R. Ranganath, D. K. Bhattacharya, 2003. "*Failure Analysis of Coal Pulverizer Mill Shaft". Engineering Failure Analysis*. Vol. 10, No. 6, PP. 733-744.

H. Kuang, 1996. "*Deformation of Materials Under External Forces". Journal of Materials Science*. Vol. 31, No. 12, PP. 3201-3210.

N. F. Nelfandi, A. R. Saleh, F. Hilmy, 2023. "*Analisis Kegagalan Pada Poros Pompa Sentrifugal 107 Ja Menggunakan Meh (Metode Elemen Hingga) Di PT. PETROKIMIA GRESIK"*. PROSIDING SEMINAR NASIONAL RISET TEKNOLOGI TERAPAN – TEKNIK MESIN UNTIDAR. Vol. 3, No. 1, PP. 1-8.