



## PERANCANGAN MESIN PEMULIH MINYAK DARI LUMPUR BERMINYAK KAPASITAS 50 KG/JAM DENGAN METODE SENTRIFUGASI

Zainuddin<sup>1</sup>, Triyana Arfan Azhar<sup>2</sup>, Suwantri<sup>3\*</sup>, Ngatou Rohman<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Politeknik Negeri Bandung

<sup>3</sup>Politeknik Pratama Mulia

<sup>4</sup>Universitas Sebelas Maret

E-mail : suwantri1981@gmail.com

Masuk : 14 Agustus 2025

Direvisi : 3 September 2025

Disetujui : 18 September 2025

**Abstrak:** Lumpur berminyak merupakan kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengendapan kontaminan minyak di dalam tangki penyimpanan. Komponen yang terkandung dalam lumpur berminyak ini antara lain air (30–85%), minyak (15–50%), dan padatan (5–46%). Dengan jumlah kandungan air dan minyak yang masih banyak, dilakukan pengelolaan lumpur berminyak dengan memulihkan minyak yang masih terkandung di dalamnya untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada pembakaran genteng atau batu bata merah. Proses pemulihan minyak pada lumpur berminyak menggunakan metode sentrifugasi. Rancang bangun mesin pemulih minyak dari lumpur berminyak merupakan solusi yang dirancang untuk memudahkan proses pemisahan padatan dan cairan yang terkandung di dalamnya. Proses rancang bangun mesin meliputi empat tahap kegiatan, yaitu perencanaan, perancangan konsep, perancangan detail, dan dokumentasi. Spesifikasi mesin dari hasil perencanaan hingga *3D modelling* adalah mesin pemulih minyak dari lumpur berminyak dengan metode sentrifugasi berdimensi  $924 \times 600 \times 942$  mm dan berat 57 kg, dengan kapasitas 50 kg/jam yang dilengkapi pengatur kecepatan putaran gaya sentrifugal serta pengukur aliran digital. Rancangan yang dibuat dapat dijadikan studi banding atau rujukan untuk pengembangan teknologi pemulihan minyak ke depannya.

Kata kunci: Rancang Bangun, Lumpur Berminyak, Metode Sentrifugasi, Pemulihan.

**Abstract:** Oily sludge is oil residue formed from the settling process of oil contaminants in storage tanks. The components contained in this oily sludge include water (30–85%), oil (15–50%), and solids (5–46%). Due to the significant amount of water and oil content, oily sludge is managed by recovering the oil still contained within it and utilizing it as fuel for firing roof tiles or red bricks. The process of oil recovery from oily sludge uses the centrifugation method. The design and construction of an oil recovery machine from oily sludge is a solution designed to facilitate the process of separating the solids and liquids contained within it. The design and construction process of the machine involves four stages of activities: planning, conceptual design, detailed design, and documentation. The specifications of the machine from planning to 3D modeling are an oil recovery machine from oily sludge using the centrifugation method with dimensions of  $924 \times 600 \times 942$  mm and a weight of 57 kg, with a capacity of 50 kg/hour, equipped with a centrifugal force speed regulator and a digital flow meter. The design created can serve as a benchmark or reference for the future development of oil recovery technology.

**Keywords:** Design and Construction, Oily Sludge, Centrifugation Method, Recovery.

---

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan sumber daya alam (SDA) yang melimpah. Minyak dan gas (migas) merupakan salah satu SDA yang didapatkan dari hasil pertambangan [1]. Sektor migas menjadi andalan bagi Indonesia dalam mendapatkan devisa negara untuk mendukung kelangsungan pembangunan [2]. Namun, sektor ini juga menghadapi beberapa tantangan yang perlu diatasi, salah satunya adalah pengolahan lumpur berminyak. Usaha hilir migas merupakan kegiatan industri penting dalam menghasilkan berbagai produk bernilai ekonomis sebagai energi dan bahan baku industri [3]. Kegiatan penyimpanan migas termasuk ke dalam usaha hilir migas yang berpotensi menghasilkan lumpur berminyak pada tangki timbun minyak mentah [4].

Lumpur berminyak merupakan sejenis limbah padat emulsi yang dihasilkan industri perminyakan. Umumnya, limbah ini terdiri dari air, minyak, dan partikel padat. Lumpur berminyak mengandung sikloalkana, seri benzena, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan zat beracun lainnya dalam jumlah besar yang dapat menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pengolahan diperlukan untuk mengurangi kadar racunnya [5]. Menurut PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), lumpur berminyak termasuk ke dalam daftar Limbah B3 kode D220 [6]. Bahan-bahan dalam lumpur berminyak merupakan zat beracun dan berbahaya sehingga secara langsung maupun tidak langsung dapat merusak lingkungan, mengganggu kesehatan, dan mengancam kelangsungan hidup manusia serta organisme lainnya [7].

PT Pertamina EP Balongan merupakan salah satu industri minyak dengan 14 tangki penyimpanan berisi *crude oil*, di mana setiap tangki menghasilkan limbah lumpur berminyak sebanyak 21,937 m<sup>3</sup>/tahun [8]. Limbah ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar cair karena masih banyak mengandung hidrokarbon [9]. Komposisi lumpur berminyak berbeda-beda tergantung pada tempat ataupun waktu pengambilannya [10]. Dengan jumlah kandungan air dan minyak yang masih tinggi, proses pengolahan limbah perlu diperhatikan agar komponen yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal. Beberapa metode ekstraksi minyak dari lumpur migas menurut Ofellia Thong dkk., antara lain ekstraksi pelarut (*solvent extraction*), *freeze-thaw* (pembekuan → pencairan), pengolahan gabungan, dan metode fisik. Metode ekstraksi secara fisik di antaranya adalah sentrifugasi dan *pyrolysis* [11].

Pengolahan lumpur berminyak dengan metode sentrifugasi dapat memulihkan minyak dan air dalam jumlah signifikan untuk digunakan kembali. Metode ini umum digunakan sebagai pemisahan padatan dan cairan karena mudah diaplikasikan, tidak memakan banyak ruang, serta layak secara ekonomi untuk mengolah lumpur dalam jumlah besar [12]. Penelitian yang dilakukan oleh Jun Wang dkk. tentang perilaku migrasi minyak, air, dan padatan dalam lumpur berminyak selama proses sentrifugasi menunjukkan bahwa ukuran partikel padatan berubah signifikan setelah proses (misalnya dari rata-rata 61 µm menjadi 31 µm pada lapisan atas, dan 235 µm pada lapisan bawah). Ditemukan pula bahwa rasio pelarut terhadap minyak memengaruhi fraksi berat molekul minyak yang terpisahkan, yang menunjukkan bahwa pra-perlakuan (misalnya penambahan pelarut) dapat meningkatkan efisiensi pemisahan [13].

Lumpur berminyak memiliki karakteristik kompleks (emulsi minyak-air, padatan bercampur, zat berbahaya) yang menjadikan proses pemisahan sebagai tantangan teknis [14]. Oleh karena itu, pengembangan mesin sentrifugasi harus mempertimbangkan kondisi lumpur (komposisi, emulsi, padatan) serta tujuan ganda, yaitu pemulihan minyak dan pengolahan air/padatan secara aman. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan mesin pemulih minyak dari lumpur berminyak dengan metode sentrifugasi berdimensi 1000 × 600 × 1200 mm dan kapasitas 50 kg/jam sehingga diharapkan mampu bekerja secara stabil dan efektif dalam memisahkan lumpur berminyak menjadi tiga fase utama (minyak, air, padatan).

## METODOLOGI

Metode penyelesaian rancang bangun mesin pemulih minyak menggunakan metode Pahl & Beitz [15]. Metode tersebut dibuat dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 2.1 Perencanaan

Tahap perencanaan menghasilkan keluaran berupa daftar tuntutan alat yang diperoleh dengan mengkaji produk eksisting dan melakukan wawancara. Daftar tuntutan ini menjadi acuan dalam melaksanakan tahap selanjutnya.

Tabel 1. Daftar tuntutan

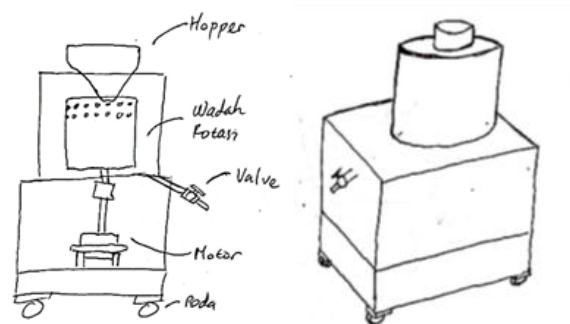
TPKM		REQUIREMENT LIST RANCANG BANGUN MESIN PEMULIHAN MINYAK DARI LUMPUR BERMINYAK DENGAN METODE SENTRIFUGASI	Issued on 20/04/2024 Page: 1/1
Change	D/W	REQUIREMENT	Responsible
	D	1. <u>Geometry</u> : Panjang total 1000 mm	Triyana
	D	Lebar total 600 mm	
	D	Tinggi total 1200 mm	
	D	2. <u>Forces</u> Kapasitas 50 kg/jam	
	D	Berat mesin maksimum 150 kg	
	D	3. <u>Energy</u> Penggerak motor listrik	
	D	Daya motor maksimum 1 HP	
	D	4. <u>Material</u> Tidak mudah berkarat	
	D	5. <u>Safety</u> Keselamatan operator	
	D	6. <u>Operation</u> Sistem kontrol untuk mengetahui volume cairan	
	W	Dapat dioperasikan oleh 1 orang	
Replaces issue of 20/04/2024			

## 2.2 Perancangan Konsep

Perancangan konsep dilakukan untuk memperoleh konsep rancangan yang sesuai dengan daftar tuntutan. Tahap-tahap yang dilakukan pada subbab ini meliputi:

- Deskripsi fungsi utama
- Fungsi bagian
- Morfologi
- Evaluasi alternatif solusi
- Variasi konsep
- Penilaian variasi konsep rancangan
- Konsep terpilih

Konsep rancangan terpilih ditunjukkan pada Gambar 2 berdasarkan pertimbangan kriteria pengguna dan manufaktur yang memiliki nilai terbaik.



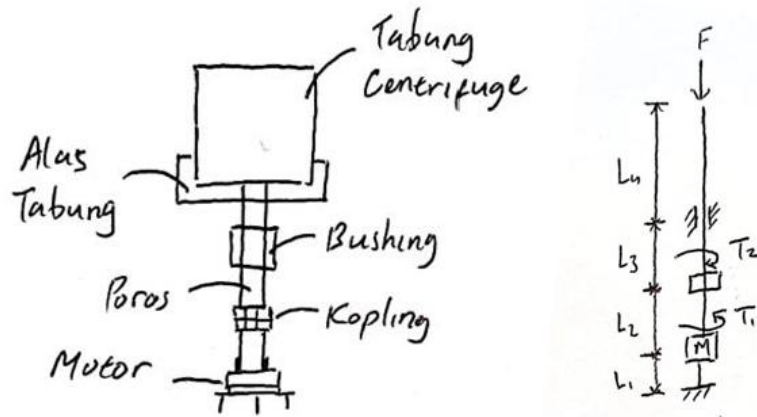
Gambar 2. Konsep Rancangan Terpilih

## 2.3 Perancangan Detail

Perancangan detail dilakukan untuk menjelaskan analisis gaya luar, perhitungan, pemilihan komponen standar dan nonstandar, perancangan sistem kelistrikan, serta model 3D rancangan.

### 2.3.1 Analisis Gaya Luar

Analisis gaya luar dilakukan pada empat subfungsi alat, yaitu memasukkan, memulihkan, mengarahkan, dan mengeluarkan cairan. Setelah itu ditentukan bagian atau *part* yang kemungkinan mengalami kerusakan (kritis). Pada mesin pemulih minyak ini, bagian yang dianggap paling kritis terdapat pada poros penggerak.



Gambar 3. Analisis *Part* Kritis

### 2.3.2 Perhitungan Kapasitas Kerja

Perhitungan kapasitas kerja diperoleh dengan mempertimbangkan data perolehan limbah dan kegiatan operasional pengguna. Kapasitas kerja alat ditetapkan sebesar 50 kg/jam berdasarkan perolehan limbah 21.937 L/tangki atau setara 110 drum/tangki, dengan satu drum dikerahkan maksimal dua alat dan target waktu pengolahan limbah selama satu bulan dengan delapan jam kerja per hari. Pertimbangan ukuran tabung didapat dari kapasitas material masuk, yaitu 10 kg dalam waktu 12 menit per siklus dan persentase volume material masuk sebesar 50%. Maka digunakan rumus berikut:

$$V_{tabung} = \frac{V_{material}}{\text{persentase masuk } V_{material}} \quad (1)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot V_{tabung}}{\pi \cdot t}} \quad (2)$$

dengan  $V$  adalah volume ( $m^3$ ) dan  $d$  adalah diameter ( $m$ ).

### 2.3.3 Perhitungan Daya Motor

Penentuan daya motor dilakukan untuk memperoleh diameter minimum poros yang dihitung berdasarkan kebutuhan torsi menggunakan rumus berikut:

$$T = I \times \alpha = I \times \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

$$P = \frac{T2\pi n}{60} \quad (4)$$

### 2.3.4 Perhitungan Poros Penggerak

Perhitungan dilakukan mengikuti alur perencanaan sabuk dari Sularso & Suga [16]. Ukuran poros minimum menggunakan bahan poros SS304 ( $\sigma_u = 517$  MPa) dengan faktor koreksi  $S_{f1} = 6$ ;  $S_{f2} = 2$ ;  $C_b = 1,2$ ;  $K_t = 1,5$ ; dan  $f_c = 1,2$ .

$$d \geq \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \cdot T \cdot C_b \cdot K_t \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Volume Tabung

#### 3.4.4 Volume Tabung

Dengan asumsi massa jenis material 1 kg/L (massa jenis air), dapat ditentukan kapasitas tabung sentrifugasi yang diperlukan menggunakan rumus (1).

$$V_{tabung} = \frac{10 L}{50\%} = 20 L = 0,02 m^3$$

Setelah menghitung volume tabung, selanjutnya menentukan diameter atau tinggi tabung untuk memperoleh dimensi keseluruhan. Misal tinggi tabung yang digunakan adalah 0,3 m, maka diameter tabung dapat dicari menggunakan rumus (2):

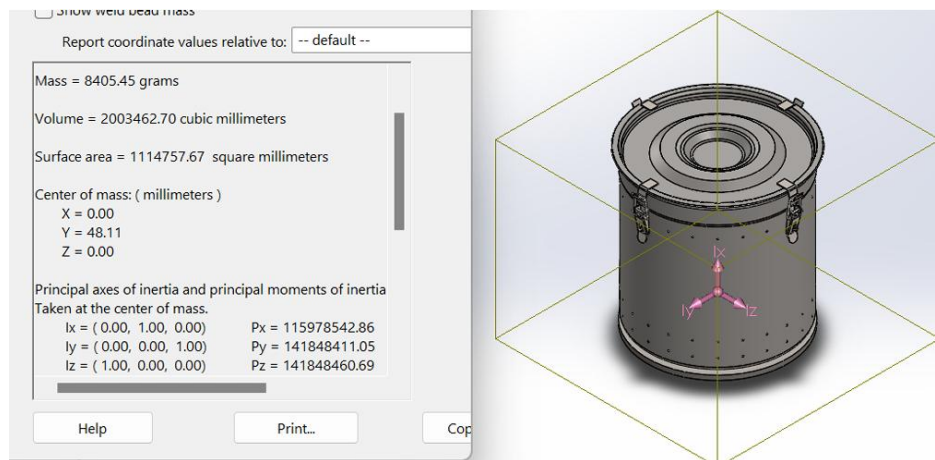
$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,02}{\pi \cdot 0,3}}$$

$$d \geq 0,291 m$$

Maka dipilih diameter tabung sentrifugasi sebesar 0,3 m atau 300 mm.

#### 3.4.5 Daya Motor

Dalam menentukan daya motor, tabung sentrifugasi dibuat dalam bentuk model 3D untuk mengetahui momen inersianya.



Gambar 4. Pemodelan 3D Tabung Sentrifugasi

Setelah dilakukan desain model tabung sentrifugasi, momen inersia total dihitung menggunakan rumus berikut:

$$I = I_{model} + I_{material}$$

$$I = 0,116 + \frac{1}{2} m_2 r_1^2$$

$$I = 0,116 + \frac{1}{2} \times 10 \times 0,147^2$$

$$I = 0,224 kgm^2$$

Berdasarkan Hukum II Newton tentang rotasi dengan kecepatan 1450 rpm atau 151,84 rad/s dalam waktu 30 detik, maka perhitungan torsi menggunakan rumus (3):

$$T = I \times \alpha = I \times \frac{d\omega}{dt}$$

$$T = 0,224 \times 5,061$$

$$T = 1,134 \text{ N.m}$$

Menggunakan rumus (4) untuk menghitung daya yang dibutuhkan pada kecepatan motor 1450 rpm:

$$P = \frac{T2\pi n}{60}$$

$$P = \frac{1,134 \times 2\pi \times 1450}{60}$$

$$P = 172,1 \text{ Watt}$$

Motor yang digunakan adalah motor AC jenis *Wash Motor XD-180 Tins*. Spesifikasinya yaitu diameter as 12 mm, tinggi as 7 cm, tegangan kerja 220 V, frekuensi 50 Hz, daya 180 Watt, kapasitor 14 µF, dan kecepatan 1450 rpm.

#### 3.4.6 Poros Penggerak

Perhitungan ukuran poros minimum dilakukan menggunakan rumus (5) dengan bahan SS304 ( $\sigma_u = 517 \text{ MPa}$ ) dan faktor koreksi:  $S_{f1} = 6$ ;  $S_{f2} = 2$ ;  $C_b = 1,2$ ;  $K_t = 1,5$ ; dan  $f_c = 1,2$ .

- a. Daya rencana

$$Pd = fc \times P$$

$$Pd = 1,2 \times 0,18$$

$$Pd = 0,216 \text{ kW}$$

- b. Torsi

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,216}{1450}$$

$$T = 145,1 \text{ kgmm} = 1423,43 \text{ N.mm}$$

- c. Tegangan geser izin

$$\tau_a = \frac{\sigma_u}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_a = \frac{517}{6 \times 2}$$

$$\tau_a = 43,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- d. Ukuran poros

$$d \geq \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \cdot T \cdot C_b \cdot K_t \right]^{\frac{1}{3}}$$

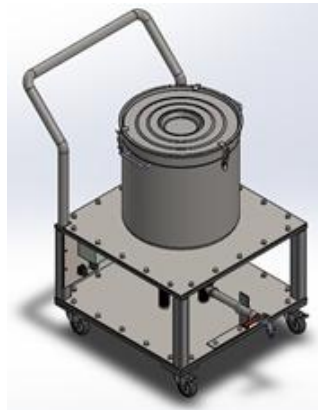
$$d \geq \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \times 1423,43 \times 1,5 \times 3 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d \geq 9,12 \text{ mm}$$

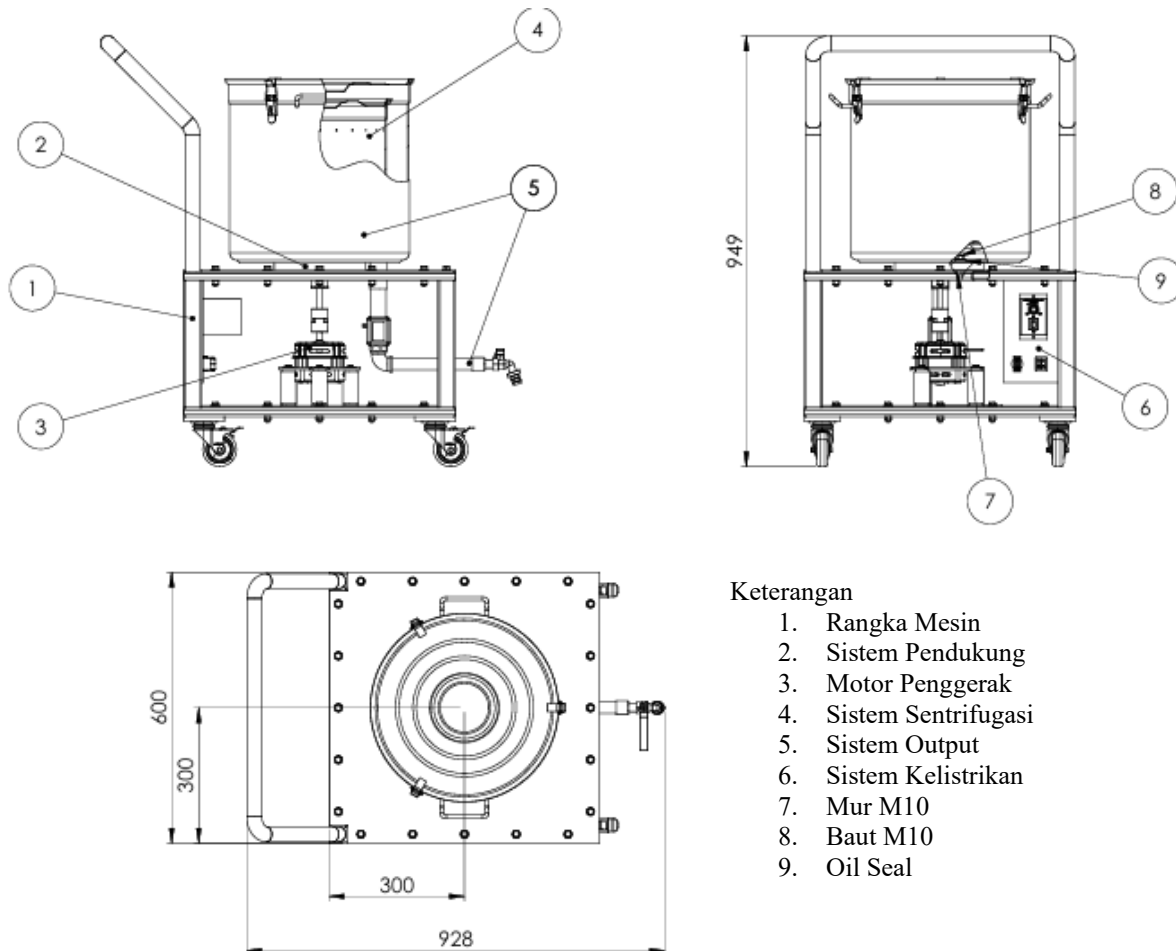
Diameter poros penggerak yang dipilih adalah 10 mm.

### 3.2 Pemodelan 3D

Pemodelan 3D merupakan aspek penting dalam rekayasa dan desain. Hal ini digunakan untuk mengomunikasikan ide, konsep, dan spesifikasi suatu produk atau sistem. Setelah melalui tahapan dari perencanaan hingga perancangan detail, rancangan mesin pemulih minyak digambarkan dalam bentuk *3D modeling* menggunakan perangkat lunak CAD. Gambar 5 dan Gambar 6 merupakan *assembly* dari rancangan alat.



Gambar 5. Isometrik 3D Modeling

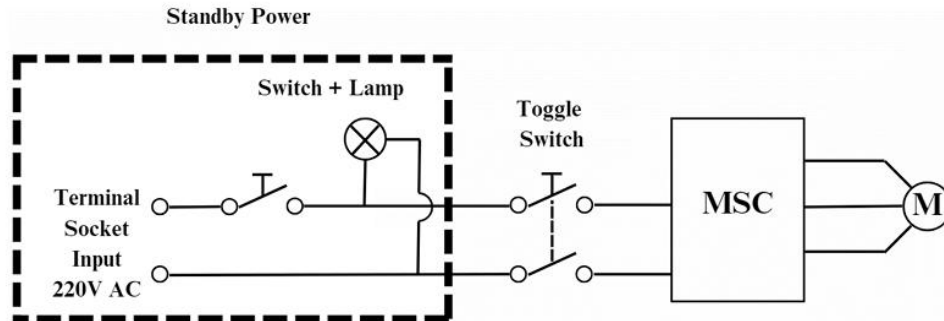


Gambar 6. Gambar Rakitan



### 3.3 Diagram Kelistrikan

Diagram kelistrikan dirancang untuk memberikan gambaran mengenai sistem kelistrikan pada mesin pemulih minyak. Komponen listrik dan aliran arus dalam sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Kelistrikan

Listrik yang berasal dari stop kontak mengalir menuju *switch + lamp* untuk menunjukkan adanya listrik yang masuk saat tombol ditekan. Selanjutnya listrik menuju *toggle switch* yang dapat meneruskan arus ke *motor speed control* (MSC). Saat MSC aktif, pengaturan kecepatan putar motor dapat dilakukan.

### 3.4 Analisis Tegangan

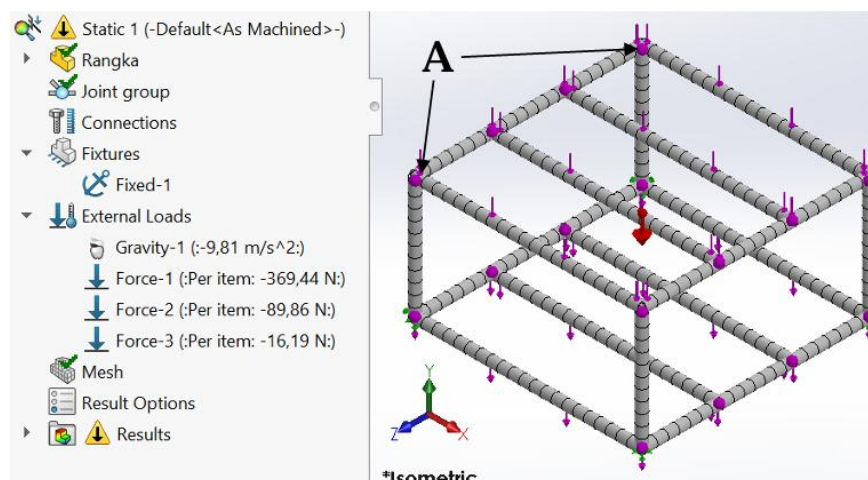
#### 3.4.1 Analisis Tegangan pada Rangka

Beban maksimum pada rangka diakibatkan oleh pembebanan input material dan komponen yang menumpu pada rangka. Dengan input material maksimal 10 liter atau sekitar 10 kg serta komponen penumpu seberat 27,66 kg (perhitungan CAD), maka beban total yang diterima rangka bagian atas adalah 37,66 kg atau 369,44 N.

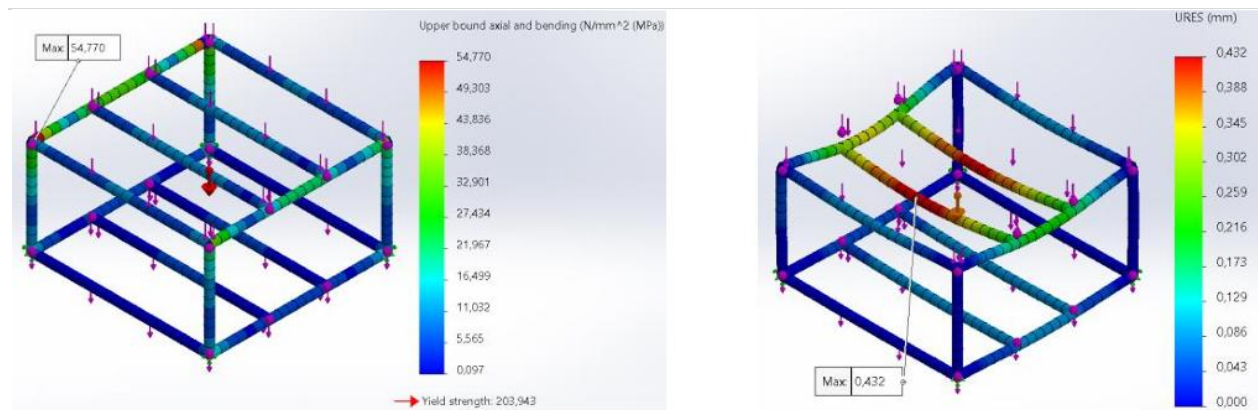
Selanjutnya, pada rangka bagian bawah terjadi pembebanan sebesar 9,16 kg atau 89,86 N, dan pada titik A sebesar 1,65 kg atau 16,19 N. Berikut adalah kondisi batas (*boundary condition*) dan hasil simulasi CAE pada rangka, dengan kondisi kontak antarbatang diasumsikan *rigid joint* karena menggunakan sambungan las.

Tabel 2. Spesifikasi Material Rangka

Material	Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Modulus Young (GPa)	Rasio Poisson	Batas Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik Ult. (MPa)
Galvanized Steel	7850	210	0,3	260	370-460



Gambar 8. Kondisi Batas pada Rangka

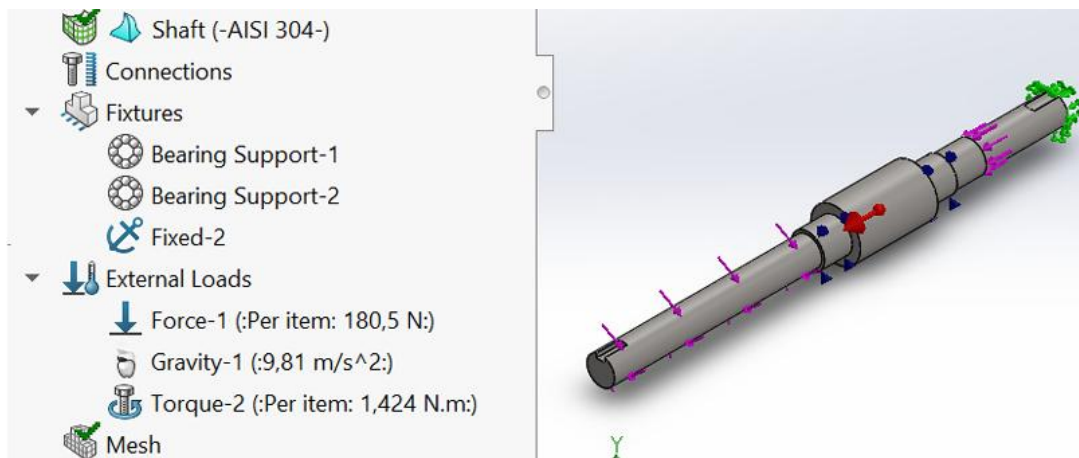


Gambar 9. Hasil Simulasi Analisis Tegangan pada Rangka

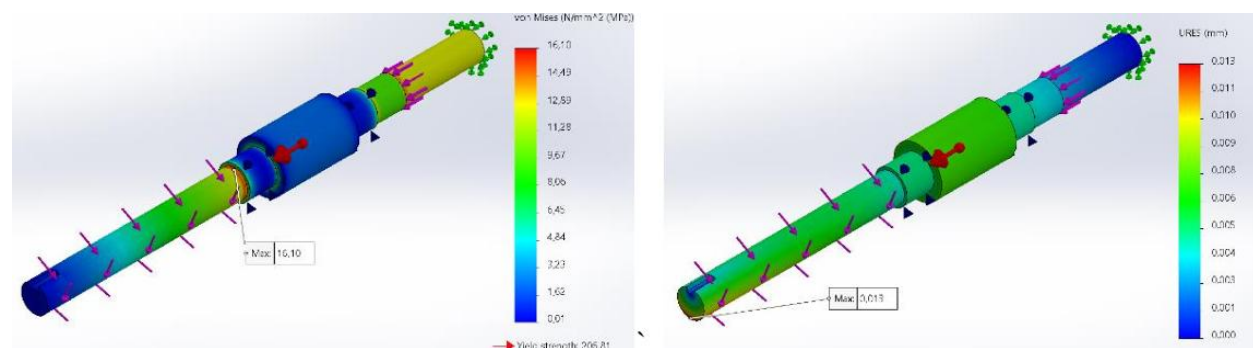
Hasil simulasi pembebanan maksimum pada rangka berbahan baja galvanis menunjukkan tegangan maksimum sebesar 54,77 MPa, sedangkan *yield strength* material galvanized steel adalah 203,943 MPa. Dengan demikian, rangka dinyatakan aman. Selain itu, rata-rata perubahan bentuk maksimum pada rangka adalah 0,432 mm pada area berwarna merah.

### 3.4.2 Analisis Tegangan pada Poros Penggerak

Poros mengalami beban aksial sebesar 18,4 kg atau 180,5 N dan torsi sebesar 1,424 N·m. Selain itu terdapat *support* berupa dua buah bantalan. Berikut kondisi batas (*boundary condition*) dan hasil simulasi CAE pada poros penggerak.



Gambar 10. Kondisi Batas pada Poros Penggerak



Gambar 11. Hasil Analisis Tegangan pada Poros Penggerak

Beban maksimum pada poros berbahan SS304 diakibatkan oleh pembebanan input material dan komponen yang menumpu pada poros, serta adanya bantalan aksial dan radial. Simulasi dilakukan sebanyak tiga kali dan diperoleh tegangan sebesar 15,58 MPa. Maka didapat faktor keamanan 13,27 kali, sehingga poros dinyatakan aman digunakan.

### 3.5 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat ditentukan berdasarkan perhitungan, pemilihan komponen standar, dan pemodelan 3D yang telah dilakukan. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi mesin pemulih minyak.

Tabel 3. Spesifikasi Mesin Pemulih Minyak

No	Keterangan	Spesifikasi teknis
1	Kapasitas	50 kg/jam
2	Dimensi Alat	924 × 600 × 942 mm
3	Berat	57 kg
4	Motor	Motor AC 180 Watt
5	Sistem Kontrol	Pengatur kecepatan motor dan pengukur aliran



Gambar 12. Mesin Pemulih Minyak

### 3.6 Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat hasil rancangan adalah mendorong lumpur berminyak di dalam tabung sentrifugasi keluar dari pusat rotasi dengan kecepatan putar 1450 rpm. Efek gaya sentrifugal ini dimanfaatkan untuk memisahkan fase cair dan padat yang terdapat pada lumpur berminyak selama 8 menit. Cairan yang keluar dari tabung sentrifugasi akan menabrak dinding tabung luar dan jatuh secara gravitasi menuju keran. Padatan yang tertinggal di dalam tabung diambil untuk kemudian digantikan dengan material baru berkapasitas 10 kg.

## KESIMPULAN

Setelah dilakukan proses rancang bangun mesin pemulih minyak dari lumpur berminyak dengan metode sentrifugasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun mesin pemulih minyak memiliki dimensi 928 × 600 × 949 mm dan berat 57 kg, dengan kapasitas kerja sebesar 50 kg/jam.

2. Daya yang digunakan untuk mengoperasikan alat adalah 180 W.
3. Penggunaan sistem kontrol pada mesin ini mampu mengatur kecepatan putar motor dari 0–1450 rpm serta menghitung volume cairan yang keluar melalui pipa keluaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Andriani, H. Silitonga, and A. Wanto, “Analisis Jaringan Syaraf Tiruan untuk prediksi volume ekspor dan impor migas di Indonesia,” *Regist. J. Ilm. Teknol. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 30–40, 2018, doi: <https://doi.org/10.26594/register.v4i1.1157>.
- [2] T. U. Setiawan, A. Taufiq, and L. Astrika, “Pemberdayaan Masyarakat Berbasis Koperasi pada Tambang Minyak Tradisional Desa Bangoan Kecamatan Jiken Kabupaten Blora,” *J. Polit. Gov. Stud.*, vol. 6, no. 04, pp. 111–120, Sep. 2017.
- [3] C. Liza, “Industri Migas (minyak dan gas) Indonesia.” Accessed: Dec. 29, 2023. [Online]. Available: <https://sertifikasi.biz/migas>
- [4] Suwarno, “Pemanfaatan Padatan Sludge Minyak Sebagai Bahan Pencampur Pembuatan Bata Merah,” Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, 2002.
- [5] K. Hui, J. Tang, H. Lu, B. Xi, C. Qu, and J. Li, “Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review,” *Arab. J. Chem.*, vol. 13, no. 8, pp. 6523–6543, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.009>.
- [6] A. Mizwar, T. Rohman, and Bakhtiar, “Pemanfaatan Limbah Lumpur Berminyak melalui Proses Stabilisasi-Solidifikasi untuk Pembuatan Bata Beton Berlubang,” *J. Purifikasi*, vol. 13, no. 2, pp. 9–16, 2012.
- [7] A. DLH, “Pengertian Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun),” Dinas Lingkungan Hidup. Accessed: Dec. 29, 2023. [Online]. Available: <https://dlh.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/pengertian-limbah-b3-bahan-berbahaya-beracun-41>
- [8] P. Fitri, “Pengolahan limbah lumpur minyak (oil sludge) dari pembersihan tangki PT Pertamina EP balongan dengan metode pirolisis,” Universitas Trisakti, 2015.
- [9] Y. T. Sarungu and R. P. Sihombing, “Pemanfaatan Lumpur Minyak dengan Solar sebagai Energi Alternatif Bahan Bakar,” *KOVALEN J. Ris. Kim.*, vol. 7, no. 2, pp. 103–108, 2021, doi: <https://doi.org/10.22487/kovalen.2021.v7.i2.15509>.
- [10] N. Motevali, “Investigating Centrifuging Conditions for Sustainable Recovery of Fuel from Oily Sludge,” Concordia University, 2020.
- [11] O. Thong, A. Ibrahim, H. A. Rahim, W. J. Yong, and N. Ismail, “A Review of Crude Oil Extraction Methods from Petroleum Sludge,” *Int. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 40–50, 2021, doi: <https://doi.org/10.15282/ijets.8.1.2021.1006>.
- [12] J. Wang, X. Han, Q. Huang, Z. Ma, Y. Chi, and J. Yan, “Characterization and migration of oil and solids in oily sludge during centrifugation,” *Environ. Technol.*, vol. 39, no. 10, pp. 1350–1358, May 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1329352>.
- [13] A. F. Jahromi and M. Elektorowicz, “Electrokinetically assisted oil-water phase separation in oily sludge with implementing novel controller system,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 358, pp. 434–440, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.032>.
- [14] G. Lei and Z. Liu, “Research progress on resource utilization and harmless treatment of oily sludge treatment technology,” *Acad. J. Environ. Earth Sci.*, vol. 5, no. 7, pp. 70–74, 2023, doi: <https://dx.doi.org/10.25236/AJEE.2023.050710>.
- [15] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K.-H. Grote, *Engineering Design: A Systematic Approach*. London: Springer, 2006. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>.
- [16] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2018.