

PERANCANGAN MESIN PENGADUK LIMBAH GLISERIN (STUDI KASUS DI INDUSTRI PABRIK SEMEN)

Ahmad Syifa Ubaidillah¹, Fipka Bisono^{1*}, Amanda Rosalina¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: fipka@ppns.ac.id

Abstrak

Limbah gliserin merupakan produk samping dari industri biodiesel yang memiliki nilai kalor sebesar 25.175,98 kJ/kg, sehingga berpotensi menggantikan sebagian penggunaan batu bara dalam proses pembakaran di industri semen. Penggunaannya dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung upaya transisi energi menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Namun, karakteristik fisiknya yang kental dan mudah mengeras pada suhu rendah menyebabkan tantangan dalam aplikasinya sebagai bahan bakar alternatif. Untuk itu, dibutuhkan mesin pengaduk khusus guna menjaga limbah gliserin tetap dalam kondisi cair dan homogen sebelum digunakan dalam proses pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk merancang mesin pengaduk limbah gliserin menggunakan metode Ulrich, yang mencakup identifikasi kebutuhan, penetapan spesifikasi teknis, pengembangan serta seleksi konsep desain, hingga penyempurnaan desain akhir. Tiga konsep desain dikembangkan berdasarkan kriteria proses manufaktur, kemudahan operasional, dan perawatan jangka panjang. Desain dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Analisis kekuatan rangka dengan Metode Elemen Hingga menunjukkan bahwa desain memiliki faktor keamanan sebesar 2,83, dengan tegangan maksimum 15,794 MPa, masih berada di bawah batas tegangan yang diizinkan (125 MPa), sehingga aman secara struktural. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi dalam pengembangan mesin serupa, mendukung pemanfaatan limbah gliserin, mengurangi emisi karbon, memperpanjang umur pakai peralatan, serta meningkatkan daya saing industri semen di masa depan.

Kata kunci: limbah gliserin, mesin pengaduk, metode elemen hingga, metode ulrich, tegangan statis

Abstract

Glycerin waste is a by-product of the biodiesel industry with a calorific value of 25,175.98 kJ/kg, making it a potential substitute for part of the coal used in the combustion process in the cement industry. Its use reduces dependence on fossil fuels. However, its viscous nature and tendency to solidify at low temperatures pose challenges for its application as a fuel. Therefore, a mixing machine is required to keep the glycerin waste in a liquid state. This study aims to design a glycerin waste mixing machine using the Ulrich method, which includes identifying needs, setting technical specifications, developing and selecting design concepts, and refining the final design. Three design concepts were developed based on manufacturing, operational, and maintenance criteria. The design and simulation were carried out using Autodesk Fusion 360 software. Finite Element Method (FEM) analysis of the frame strength showed that the design has a safety factor of 2.83, with a maximum stress of 15.794 MPa, which is below the allowable stress limit of 125 MPa, indicating that the structure is safe. The results of this study are expected to serve as a reference for developing similar machines, supporting glycerin waste processing, reducing carbon emissions, and increasing the competitiveness of the cement industry.

Keywords: finite element method, glycerin waste, mixer machine, static stress, ulrich method

PENDAHULUAN

Batubara masih menjadi bahan bakar utama dalam proses pembakaran bahan baku di industri pabrik semen. Pemilihan batubara didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah dan efisiensi energinya yang tinggi. Namun, penggunaan batubara juga membawa tantangan, terutama terkait dampak lingkungan, kesehatan, dan ekonomi sosial. Salah satu dampak lingkungannya yaitu emisi gas rumah kaca. Mengutip data dari Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia (2024), pemerintah berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca antara 31,89% hingga 43,2% pada tahun 2030. Salah satu langkah penting dalam upaya pengurangan emisi tersebut adalah transisi energi, yang melibatkan transformasi sistem energi saat ini. Salah satu inovasi yang diterapkan pada industri semen secara bertahap adalah pemanfaatan limbah gliserin sebagai bahan bakar alternatif.

Limbah gliserin merupakan produk samping dari industri biodiesel yang memiliki nilai kalor 25.175,98 kJ/kg (Arifin et al., 2017). Sehingga dapat menjadi alternatif energi dalam proses pembakaran di industri semen. Mengutip dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 (2014), limbah gliserin tergolong limbah B3 kategori bahaya 1 dengan kode limbah A343-1. Dengan memanfaatkan limbah gliserin yang tergolong limbah B3 menjadi bahan bakar alternatif, tentunya dapat mengurangi pencemaran dan kerusakan lingkungan, serta membantu memenuhi persyaratan peraturan pemerintah tentang pengelolaan limbah berbahaya, sekaligus dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (batubara).

Salah satu permasalahan yang terjadi di industri pabrik semen dalam proses pemanfaatan limbah gliserin sebagai bahan bakar alternatif adalah sifat fisiknya. Kondisi limbah gliserin yang biasanya berbentuk cair cenderung kental, dapat mengeras pada kondisi ketika suhu lingkungan turun dan terlalu lama dibiarkan (Rowe et al., 2009). Proses pemanasan ini dapat menghambat pemanfaatan limbah gliserin terhadap distribusi bahan bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan teknologi pendukung yang dapat menjaga viskositas limbah gliserin dalam kondisi optimal setiap saat. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan mesin pengaduk limbah gliserin.

Untuk saat ini, beberapa produk *existing* dapat ditemui di pasar yang dapat mengaduk limbah gliserin. Pihak perusahaan memutuskan untuk tidak menggunakan alat-alat *existing* pada beberapa alasan. Pertama, produk *existing* kurang cocok untuk mengolah limbah gliserin dengan viskositas tinggi (47,27 Pa.s). Mesin yang tersedia di pasaran memiliki daya 0,75-2,2 kW dan kecepatan hingga 1500 RPM, tetapi torsinya terlalu rendah untuk menangani bahan kental. Akibatnya, pengadukan bisa tidak merata, mesin cepat panas, dan berisiko mengalami kerusakan. Kedua, biaya membeli alat dari pasar dan jasa pembiayaan semacam kontraktor lebih mahal dibandingkan dengan membuat alat mandiri. Ketiga, perusahaan memiliki peralatan dan sistem yang tersedia yang dapat digunakan untuk membuat mesin tersebut. Dengan demikian, penggunaan sumber daya internal menjadi lebih efektif.

TINJAUAN PUSTAKA**Tabel 1.** Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Syaifudin (2022)	Rancang Bangun Mesin Pengaduk dan Pencetak Getuk Pisang Untuk Industri Skala Rumahan Kapasitas 30 Kg/Jam.	Ulrich	Telah berhasil dirancang sebuah mesin pengaduk dan pencetak adonan getuk pisang dengan kapasitas produksi 31,74 kg getuk dalam 1 jam, melampaui target keberhasilan sebesar 30 kg per jam. Biaya produksi mesin ini sebesar adalah Rp6.491.500,00,
2	Bayuarima (2024)	Perancangan Mesin Press Hidraulik Kapasitas 350 Ton Untuk Proses <i>Deep Drawing</i> Material SUS304 <i>Design of a 350 Capacity Hydraulic Press Machine Tons for the Deep Drawing Process of SUS304 Material</i>	Ulrich	Telah berhasil dirancang sebuah mesin press hidraulik 350 ton. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum 89,137 MPa, yang aman karena lebih kecil dari tegangan izin 166,67 MPa. Perhitungan gaya <i>deep drawing</i> untuk material SUS304 adalah <i>gaya blank holder</i> 12,17 ton dan gaya <i>deep drawing</i> 29,95 ton, dengan <i>displacement</i> maksimum 107,494 mm, memenuhi target kedalaman 100 mm.

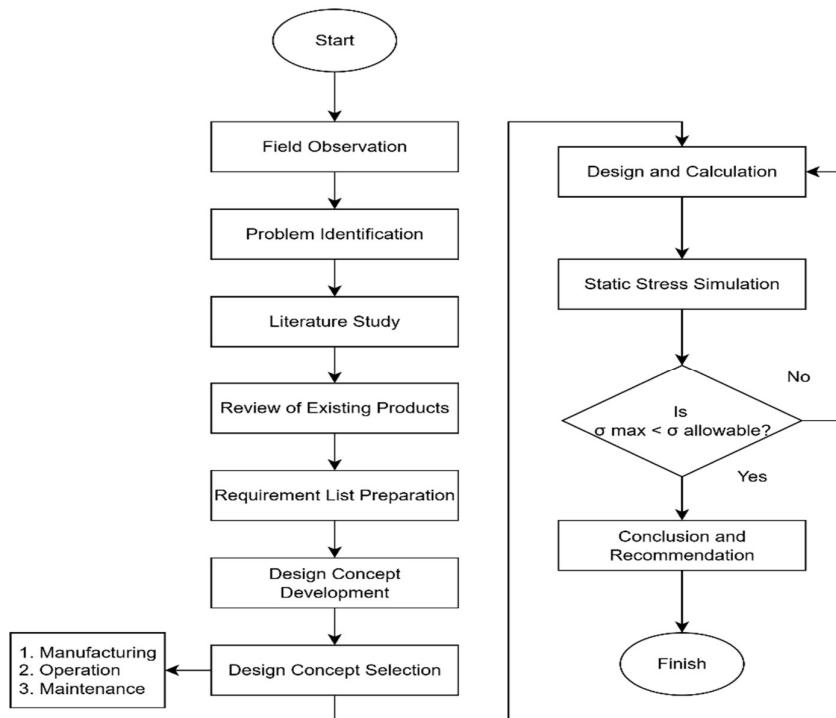
(A) Metode Ulrich

Metode penelitian yang diterapkan adalah metode Ulrich, yang diawali dengan identifikasi daftar kebutuhan. Setelah itu, dikembangkan tiga alternatif konsep desain, kemudian dipilih satu konsep terbaik yang akan direalisasikan menjadi produk akhir (Ulrich & Eppinger, 2016). Berikut merupakan tahapan dalam proses perancangan:

- (1) Mengidentifikasi kebutuhan melalui wawancara dengan pihak perusahaan.
- (2) Merancang konsep desain yang disesuaikan dengan kebutuhan tersebut.
- (3) Melakukan penilaian dan penghitungan skor untuk menentukan konsep desain yang paling tepat.
- (4) Melakukan perhitungan komponen guna memperoleh spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan.
- (5) Melaksanakan simulasi untuk menguji kekuatan struktur rangka dan memastikan kesesuaiannya dengan standar yang ditetapkan.

METODE

Penelitian disusun untuk memahami informasi atau sumber data secara rinci, sesuai dengan permasalahan yang akan diteliti untuk mendapat hasil yang optimal. Tahapan metode penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir

(A) Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan langkah awal yang dilakukan sebagai dasar dalam penentuan topik penelitian ini. Tujuan dari tahap ini adalah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dalam proses pengadukan limbah gliserin. Observasi ini menjadi langkah awal dalam pengumpulan data terkait kebutuhan mesin pengaduk limbah gliserin yang belum tersedia, dengan lokasi observasi di pabrik semen.

(B) Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan langkah awal dalam penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi masalah guna memahami konsep serta menentukan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, dalam proses perumusan masalah, diperlukan penetapan batasan-batasan tertentu untuk memfokuskan pembahasan. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan proses penelitian sehingga tujuan penelitian dapat dicapai dengan lebih efektif.

(C) Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap dimana penulis akan mencari, membaca dan mengulas segala teori dan referensi yang selaras dengan topik yang akan diteliti, sehingga memiliki landasan keilmuan yang baik dan sesuai. Tahap studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan teori-teori yang mampu mendukung penggerakan penelitian sesuai dengan permasalahan dan dapat dijadikan pembanding terhadap objek penelitian. Teori-teori yang dibutuhkan dapat ditemukan melalui jurnal, artikel ilmiah, *text book*, *e-book* ataupun melalui internet.

(D) Kajian Produk Existing

Tahap kajian produk *existing* merupakan tahap dimana penulis akan mengkaji dan menjelaskan tentang alat yang sudah pernah dibuat untuk mengaduk atau mengencerkan gliserin. Tujuan tahap tersebut adalah menemukan kelebihan dan kekurangan pada produk *existing* yang dikaji.

(E) Penyusunan Daftar Kebutuhan

Penyusunan daftar kebutuhan ini mengacu pada data yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan spesifikasi produk yang dibutuhkan yang sesuai dengan permasalahan yang diperoleh. Selain itu dilakukan pengkajian terhadap produk *existing*, sehingga didapatkan data yang dapat dijadikan pembanding dalam menyusun daftar kebutuhan. Daftar kebutuhan yang telah dibuat dapat digunakan untuk pedoman pembuatan konsep desain pada penelitian ini.

(F) Pembuatan Konsep Desain

Pembuatan konsep desain merupakan tahap pembuatan konsep desain dari alat yang akan dibangun dengan mengacu pada daftar kebutuhan yang telah disusun sehingga alat yang akan dibangun memenuhi spesifikasi. Di dalam pembuatan konsep desain dibutuhkan beberapa konsep, sehingga terdapat beberapa pilihan untuk konsep produk yang akan dibuat. Selain itu, saat pembuatan konsep desain mengacu pada produk *existing* yang telah dikaji yaitu mesin pengaduk limbah gliserin yang pernah dibuat sebelumnya. Pada produk *existing* tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti desain alat yang kurang optimal serta operasional alat yang kurang efisien, sehingga perlu dibuatkan konsep desain yang memiliki desain yang lebih tepat dan optimal dan terdapat beberapa kriteria lain yang harus diperhatikan yang terdapat pada daftar kebutuhan.

(G) Pemilihan Konsep Desain

Tahap setelah pembuatan konsep desain selesai adalah pemilihan konsep desain sesuai dengan kriteria pada daftar kebutuhan. Pemilihan konsep desain dapat menggunakan tabel matriks pemilihan konsep.

(H) Perancangan dan Perhitungan

Tahap perancangan dan perhitungan dilakukan sesuai dengan konsep terpilih. Pemilihan komponen pada suatu produk yang dirancang didasari dengan perhitungan, dimana perhitungan yang sesuai akan menghasilkan produk yang berkualitas sehingga dapat bekerja sesuai fungsinya, jika terjadi kesalahan pada perhitungan maka akan menyebabkan kesalahan pemilihan komponen yang berakibat produk tidak bekerja dengan maksimal sesuai dengan rancangan produknya. Kesalahan dalam perancangan dan perhitungan juga memengaruhi biaya pembuatan.

(I) Simulasi Static Stress

Pada tahap ini, setelah perancangan dan perhitungan, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi *static stress* pada konsep desain yang terpilih. Tujuan dilakukannya simulasi adalah untuk mengetahui tegangan maksimum pada rangka harus lebih kecil

dari tegangan yang diizinkan dan mengetahui apakah saat perwujudan konsep desain produk dapat bekerja sesuai dengan ketentuan, sehingga konsep desain memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Jika hasil analisis tidak memenuhi ketentuan tegangan yang diizinkan, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan perbaikan konsep desain hingga memenuhi ketentuan tegangan yang diizinkan.

(J) Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan setelah mesin pengaduk limbah gliserin selesai dilakukan pengujian adalah membuat kesimpulan dan saran dari hasil pengujian pada penelitian ini, dari kesimpulan tersebut akan menghasilkan beberapa masukan untuk menjadi pedoman pada penelitian yang lebih baik kedepannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Kajian Produk *Existing*

Produk yang dijadikan acuan dalam penelitian ini merupakan mesin yang tersedia di pasaran, dengan spesifikasi sebagai berikut.

- (1) Dimensi: 1100 x 500 x 1014 mm
- (2) Operasional: motor listrik & hidrolik
- (3) Kap. *Barrel*: 100 L
- (4) Operator: 1 orang
- (5) Material: SS304

(B) Penyusunan Daftar Kebutuhan

Daftar kebutuhan disusun berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan di perusahaan yang diperoleh melalui penyebaran kuesioner dan wawancara. Rincian daftar kebutuhan tersebut disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Daftar Kebutuhan

Daftar Kebutuhan			
Aspek	S/H	Uraian Kebutuhan	Penanggung Jawab
Manufaktur	S	Dapat dimanufaktur Dapat dirakit	Tim Desain dan Manufaktur
Operasional Mesin	S	Dapat dioperasikan dengan mudah Pengoperasian yang efisien	Tim Desain dan Manufaktur
Perawatan Mesin	H	Mudah untuk dibersihkan Perawatan komponen mesin yang mudah	Tim Desain dan Manufaktur

(C) Pembuatan Konsep Desain

Dalam penelitian ini akan dirancang tiga konsep desain mesin pengaduk limbah gliserin. Dari ketiga konsep tersebut, satu konsep terbaik akan dipilih melalui tahapan seleksi konsep dengan menganalisis masing-masing kriteria penilaian, yaitu aspek operasional, proses manufaktur, kemudahan perawatan, dari setiap konsep desain.

(D) Penetapan Konsep Desain Terpilih

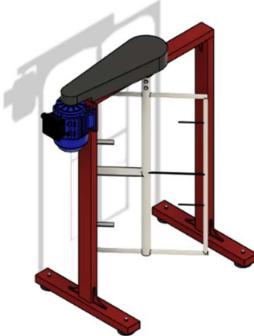
Penetapan konsep desain dilakukan dengan menggunakan model matriks

penilaian konsep. Karena hanya terdapat tiga konsep desain, maka tahapan penyaringan tidak diperlukan. Setelah masing-masing konsep dijabarkan berdasarkan kriteria yang disesuaikan dengan daftar kebutuhan, proses selanjutnya adalah penilaian dalam bentuk matriks, dengan hasil yang ditampilkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Penilaian Konsep Mesin Pengaduk Limbah Gliserin

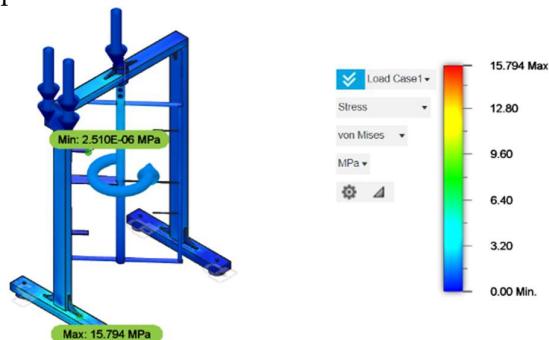
Kriteria Seleksi	Bobot	Matriks Penilaian Konsep							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor
Manufaktur	35%	5	1,75	4	1,4	4	1,4	3	1,05
Operasional	40%	2	0,8	4	1,6	2	0,8	3	1,2
Perawatan	25%	5	1,25	4	1	5	1,25	3	0,75
Nilai Absolut		12	3,8	12	4	12	3,45	9	3
Nilai Relatif (%)			28,7		27,3		23,5		20,5
Ranking		1		2		3		4	

Visualisasi dari konsep desain 1 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Konsep Desain Terpilih

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan Fusion 360, ditemukan distribusi tegangan maksimum pada area-area spesifik dari model struktur. Nilai tegangan ini menggambarkan bagaimana material merespons beban yang diberikan dalam kondisi simulasi tersebut. Hasil simulasi menunjukkan adanya konsentrasi tegangan pada beberapa titik tertentu yang perlu menjadi perhatian dalam analisis kekuatan struktur. Visualisasi nilai tegangan maksimum beserta penyebarannya dapat dilihat secara lebih rinci pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Hasil Simulasi *Static Stress*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tegangan statis (*static stress*) menggunakan metode *Von Mises* pada model mesin pengaduk, diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 15,794 MPa yang terletak pada area sambungan atau titik tumpuan beban. Area ini menunjukkan konsentrasi tegangan tertinggi sehingga perlu mendapat perhatian lebih dalam evaluasi kekuatan struktur dan sambungan. Sementara itu, nilai tegangan minimum tercatat sebesar $2,510 \times 10^{-6}$ MPa dan berada pada bagian struktur yang tidak secara langsung menerima beban, yang ditunjukkan dengan warna biru tua pada hasil simulasi. Secara keseluruhan, distribusi tegangan pada struktur berada dalam kisaran yang aman. maka dapat disimpulkan bahwa desain struktur mesin pengaduk limbah gliserin ini telah memenuhi kriteria kekuatan terhadap beban yang diberikan dalam skenario simulasi ini.

Berdasarkan hasil analisis *static stress* dengan metode *Von Mises*, diperoleh tegangan maksimum sebesar 15,794 MPa yang muncul pada area sambungan atau titik tumpuan beban. Tegangan minimum tercatat sebesar $2,510 \times 10^{-6}$ MPa pada bagian yang tidak menerima beban langsung. Sebagian besar struktur menunjukkan tegangan rendah dan masih dalam batas aman. Karena nilai maksimum tegangan masih jauh di bawah batas leleh material, dapat disimpulkan bahwa struktur mesin aman terhadap beban kerja pada kondisi simulasi tersebut.

REFERENSI

- Arifin, L., Helwani, Z., & Fatra, W. (2017). Proses Densifikasi Produk Karbonisasi Tandan Kosong Sawit Menjadi Briket Menggunakan Crude Gliserol Produk Samping Biodiesel Sebagai Filler. *Jom FTEKNIK*. 4(1).
- Bayuarima, S. (2024). *Perancangan Mesin Press Hidraulik untuk Proses Deep Drawing Material SUS304*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. (2024). *Dorong Transisi Energi Berkelanjutan, Pemerintah Optimis Swasembada Energi Indonesia Segera Dicapai*. <https://ekon.go.id/publikasi/detail/5668/dorong-transisi-energi-berkelanjutan-pemerintah-optimis-swasembada-energi-indonesia-segera-dicapai>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (2014). www.limbahb3.com
- Rowe, C. R., Sheskey, J. P., & Quinn, E. M. (2009). *Handbook of Pharmaceutical Excipients* (6th ed.). Pharmaceutical Press.
- Syaifudin, A. (2022). *Rancang Bangun Mesin Pengaduk dan Pencetak Adonan Gethuk Pisang untuk Industri Skala Rumahan*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education.