

**Rancang bangun *friction welding portable* untuk
memperbaiki kebocoran pada tangki timbun
bahan bakar**

***Design and development of a portable friction welding system for
repairing leaks in fuel storage tanks***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Muhammad Athfal

NPM: 223030059



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Muhammad Athfal

Nomor Pokok Mahasiswa : 223030059

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 24 Juni 2026

Penulis,



Muhammad Athfal

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Muhammad Athfal

NPM: 223030059

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Rancang bangun *friction welding portable* untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 24 Juni 2026

Yang menyatakan,



Muhammad Athfal

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Rancang bangun *friction welding portable* untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar



Nama: Muhammad Athfal
NPM: 223030059

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Rancang bangun *friction welding portable* untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar



Nama: Muhammad Athfal
NPM: 223030059

Tanggal sidang skripsi: 27 Juni 2026

Ketua : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

.....

Sekretaris : Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.

.....

Anggota : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

.....

Anggota : Dr. Ir. Agus Sentana, M.T.

.....

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT., karena berkat Rahmat dan karunia-NYA, peneliti dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Penelitian ini berjudul “*Rancang bangun friction welding portable untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar*”, yang diharapkan bisa memberikan pemahaman lebih mendalam tentang perbaikan kebocoran pada tangki timbun bahan bakar menggunakan *friction welding portable*. Penelitian ini disampaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan. Saya menyadari bahwa dalam proses penelitian ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian, penyelesaian skripsi ini dapat terwujud atas bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Penghargaan serta ucapan terima kasih secara khusus penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT atas rahmat-Nya yang telah memberikan kemudahan dan petunjuk selama pembuatan laporan ini,
2. Teruntuk kedua orang tua penulis, Bapak H. Ujang Rustandi, S.Si. dan Ibu Hj. Yanti, terima kasih atas segala doa-doa kalian panjatkan selama ini, sehingga penulis bisa sampai ke titik ini. Maaf jika selama proses skripsi ini ada hal yang melukai hati kalian, baik sengaja ataupun tidak disengaja. Penulis meminta doa dan restu agar perjalanan penulis dari penulisan skripsi ini hingga kedepannya dapat berjalan dengan lancar.
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping, terima kasih atas waktu dan usaha Bapak untuk membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Teruntuk nenek saya Amih Hj. Een, Terima kasih telah memberikan doa-doa serta dukungan kepada penulis. Semoga selalu diberikan kesehatan, kelancaran, rezeki, selalu dimudahkan urusannya dan dalam lindungan Allah SWT.
5. Teruntuk adik penulis, Zaiza Alna Almakiah, Terima kasih selalu atas *support* yang diberikan selama proses penulisan ini. Semoga bahagia selalu.
6. Khoerunnisa, S.I.Kom. *The best partner of my life*. Terima kasih telah menjadi teman, sahabat dan partner yang sangat berarti dan menjadi bagian penting dalam pencapaian ini.
7. Terima kasih untuk Akbar Daya Utama, Rianki Febrianta, Rodiana, dan Ramdan sidiq, selaku teman-teman bimbingan Tim *Friction Welding*, yang selalu memberikan

- semangat, kebersamaan, dan dukungan moral. Terima kasih telah berjuang bersama-sama, semoga kalian sukses dimanapun berada, senang bisa bertemu dengan kalian.
8. Terima kasih untuk keluarga besar, terutama Muhammad Ashar L.H, A.Md.Ak, Rafly Athar R., Rossi Dara Putri, Zulvy Noerhaliza P., yang telah memberikan doa-doa serta dukungan kepada penulis. Semoga kalian selalu diberikan kesehatan, kelancaran, rezeki, selalu dimudahkan urusannya dan dalam lindungan Allah SWT.
 9. Teruntuk sahabat penulis, Ahmad Jouhari, Irpan Maulana dan Muhammad Agung Jaelani, Terima kasih telah memberikan semangat dan dukungan moral atau imoral kepada penulis sehingga bisa pada titik ini, semoga kalian sukses selalu.
 10. Kawan satu kontrakan Akbar daya utama, Diddal ammah S, Imam Ahmad Nugraha, Rodiana, Sabda Bintang, Azrin Karim, dan N.M. Ghibran Terima kasih sudah berjuang bersama dan semoga kalian sukses dimanapun berada, senang bisa bertemu dengan kalian.
 11. Semua rekan satu perjuangan Mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2022 Universitas Pasundan yang selalu memberikan semangat dan kebersamaan selama proses perkuliahan.

Pada penulisan laporan ini jauh dari kata sempurna dan dimungkinkan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun penulis guna menyempurnakan laporan ini.

Bandung, 24 Juni 2026

Penulis,



Muhammad Athfal

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL	XII
ABSTRAK	XIII
<i>ABSTRACT</i>.....	XIV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Batasan masalah	3
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Kajian pustaka	5
A. Penelitian Kurniawan dkk. (2022)	5
B. Penelitian Muhammad, Bastomi, dan Assiddiq (2023).....	5
C. Penelitian G. Darmawan (2020).....	6
2. Tangki timbun bahan bakar	6

3.	Korosi pada tangki timbun.....	8
A.	Korosi internal.....	8
B.	Korosi eksternal	8
4.	Pengelasan (<i>Welding</i>)	9
5.	<i>Friction welding</i>	10
A.	Prinsip kerja <i>friction welding</i>	11
B.	Parameter proses <i>friction welding</i>	11
C.	Penerapan <i>friction welding</i> pada perbaikan kebocoran tangki timbun.....	12
6.	Sistem pneumatik	12
A.	Komponen sistem pneumatik	12
B.	Prinsip kerja sistem pneumatik	14
7.	Sistem penggerak.....	15
A.	Motor bor listrik	15
8.	Elemen mesin	15
A.	Poros.....	15
B.	<i>Bearing</i>	16
C.	Roda gigi	16
D.	<i>Chuck bor</i>	17
E.	Baut dan mur	17
F.	<i>Linear slide block bearing</i>	18
G.	Rangka.....	19
9.	<i>Software</i> untuk perancangan.....	19
BAB III METODOLOGI		20
1.	Tahapan penelitian.....	20
2.	Tempat penelitian	22
3.	Alat dan bahan	22
A.	Alat.....	22

B. Bahan.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
1. Perancangan konseptual alat <i>friction welding portable</i>	25
A. Konsep perancangan	25
B. Penentuan komponen pada alat <i>friction welding portable</i>	30
C. Gambar teknik	37
2. Pembuatan komponen pada alat <i>friction welding portable</i>	40
A. Pembuatan rangka	40
B. Pembuatan rumah sistem transmisi	41
3. Perakitan pada alat <i>friction welding portable</i>	42
A. Perakitan sistem pemutar	43
B. Perakitan sistem penekan	43
C. Perakitan keseluruhan alat.....	43
4. Pengujian fungsi pada alat <i>friction welding portable</i>	45
A. Prosedur pengujian.....	45
B. Hasil pengujian fungsi.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
1. Kesimpulan.....	48
2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	51
1. Pengujian <i>friction welding</i>	51
2. Jadwal kegiatan.....	52
3. Anggaran kegiatan	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perbedaan <i>aboveground tank</i> dan <i>underground tank</i>	7
Gambar 2. Perbedaan <i>fixed roof tank</i> dan <i>floating roof tank</i>	7
Gambar 3. Korosi pada tangki timbun (<i>storage tank</i>).....	8
Gambar 4. Perbedaan <i>fusion welding</i> dan <i>solid state welding</i>	9
Gambar 5. Jenis <i>friction welding</i>	10
Gambar 6. Kompresor.....	13
Gambar 7. Air filter regulator	13
Gambar 8. Katup pengarah pneumatik	13
Gambar 9. Silinder pneumatik	14
Gambar 10. Selang dan <i>fitting</i>	14
Gambar 11. Motor bor listrik	15
Gambar 12. Poros.....	16
Gambar 13. <i>Bearing</i>	16
Gambar 14. Roda gigi.....	17
Gambar 15. <i>Chuck bor</i>	17
Gambar 16. Baut dan mur.....	18
Gambar 17. <i>Linear slide block bearing</i>	18
Gambar 18. Rangka	19
Gambar 19. Alur diagram penelitian.....	20
Gambar 20. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung.....	22
Gambar 21. Diagram konsep perancangan	25
Gambar 22. Rancangan konseptual menggunakan air motor.....	27
Gambar 23. Rancangan prototipe menggunakan motor bor listrik	27
Gambar 24. <i>Assembly alat friction welding portable</i>	31
Gambar 25. Model <i>assembly alat friction welding portable</i>	38
Gambar 26. Gambar teknik pada rumah sistem transmisi	39
Gambar 27. Gambar teknik pada rangka	39
Gambar 28. Proses pembuatan rangka.....	40
Gambar 29. Proses pembuatan rumah sistem transmisi.....	42
Gambar 30. Perakitan sistem pemutar	43
Gambar 31. Perakitan sistem penekan	44
Gambar 32. Perakitan keseluruhan alat.....	44

Gambar 33. Alat <i>friction welding portable</i> yang telah selesai dirakit	45
Gambar 34. Hasil pengujian menunjukan putaran 1340 rpm dan tekanan 65 psi.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat yang digunakan	22
Tabel 2. Bahan yang digunakan.....	23
Tabel 3. Spesifikasi rancangan.....	26
Tabel 4. <i>Concept screening</i>	28
Tabel 5 <i>Concept scoring</i>	29
Tabel 6. Komponen standar	31
Tabel 7. Komponen manufaktur	33
Tabel 8. Dimensi utama rangka	41
Tabel 9. Dimensi utama rumah sistem transmisi	41
Tabel 10. Hasil pengujian fungsi alat.....	46

ABSTRAK

Kebocoran pada tangki timbun bahan bakar memerlukan metode perbaikan yang aman dan efektif, salah satunya menggunakan proses *friction welding*. Namun, peralatan yang tersedia umumnya berukuran besar sehingga kurang fleksibel untuk digunakan di lapangan. Penelitian ini bertujuan merancang, membuat, dan menguji alat *friction welding portable* sebagai media penelitian yang mendukung pengembangan teknologi perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar. Metode penelitian meliputi perancangan menggunakan SolidWorks, penentuan spesifikasi komponen, proses manufaktur, perakitan, serta pengujian fungsional alat. Parameter perancangan yang digunakan adalah putaran kerja 1400 rpm dan tekanan sistem pneumatik 65 psi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat berhasil dirancang dan dibuat sesuai dengan konsep perancangan. Pengujian menunjukkan sistem pemutar menghasilkan putaran poros keluaran sebesar 1490 rpm, sedangkan sistem penekan mampu bekerja secara stabil pada tekanan 65 psi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat mampu beroperasi sesuai dengan parameter perancangan sehingga layak digunakan sebagai media penelitian pada proses *friction welding* dan dapat menjadi dasar pengembangan alat untuk aplikasi perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar.

Kata kunci: *friction welding portable*, tangki timbun bahan bakar, pengelasan gesek, sistem *pneumatic*, rancang bangun.

ABSTRACT

Leaks in fuel storage tanks require safe and effective repair methods, one of which is friction welding. However, available equipment is typically bulky, limiting its flexibility for field use. This study aimed to design, fabricate, and test a portable friction welding tool to serve as a research platform supporting the development of leak repair technology for fuel storage tanks. The research methodology encompassed design using SolidWorks, component specification, manufacturing, assembly, and functional testing. Design parameters included an operating speed of 1400 rpm and a pneumatic system pressure of 65 psi. The results demonstrated that the tool was successfully designed and fabricated in accordance with the design concept. Testing revealed that the rotation system achieved an output shaft speed of 1490 rpm, while the pressing system operated stably at 65 psi. These results indicate that the tool operates within the design parameters, making it suitable as a research platform for friction welding processes and a foundation for developing tools for fuel storage tank leak repair applications.

Keywords: *portable friction welding, fuel storage tank, friction welding, pneumatic system, design and fabrication.*

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Kebocoran pada tangki penyimpanan bahan bakar merupakan masalah yang memerlukan penanganan khusus karena berpotensi menyebabkan hilangnya produk, mengganggu kelancaran operasional, serta menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan keselamatan masyarakat di sekitar lokasi penyimpanan. Risiko kebocoran pada tangki penyimpanan bahan bakar juga berkaitan dengan potensi pencemaran lingkungan dan bahaya yang ditimbulkan oleh terlepasnya bahan bakar maupun uap hidrokarbon ke lingkungan sekitar[1].

Perbaikan kebocoran pada tangki bahan bakar memiliki tingkat kesulitan yang tinggi karena tangki mengandung bahan yang mudah terbakar. Metode perbaikan konvensional yang menggunakan proses pengelasan busur listrik bisa menghasilkan sumber panas berupa nyala busur dan percikan api, sehingga penerapannya memerlukan prosedur keselamatan yang ketat. Sebelum perbaikan pekerjaan dilakukan, tangki umumnya harus dihentikan operasinya, dikosongkan, dibersihkan, dan dipastikan bebas dari uap yang mudah terbakar untuk mengurangi risiko kebakaran maupun ledakan selama proses perbaikan. Kondisi tersebut menyebabkan waktu perbaikan menjadi lebih panjang dan berpotensi mengganggu keberlangsungan operasi fasilitas penyimpanan[2].

Salah satu metode yang dapat dipertimbangkan dalam penanganan kebocoran tangki timbun adalah metode pengelasan *solid-state* dimana proses pengelasan ini penyambungan material dilakukan tanpa mencairkan logam dasar sehingga tidak memerlukan busur listrik sebagai sumber panas utama[3]. Pada proses pengelasan ini tidak menciptakan percikan api, sehingga aman untuk tangki yang mudah terbakar. Prinsip *friction welding* dapat digunakan sebagai metode perbaikan pada tangki timbun karena proses penyambungannya memanfaatkan gaya tekan dan gerakan putar untuk menghasilkan panas akibat pemanasan pada permukaan kontak material yang akan disambung. Panas yang terbentuk menyebabkan material pada daerah sambungan mengalami pembekuan plastis dan pelunakan, sehingga ikatan sambungan dapat terbentuk tanpa melalui proses peleburan, penggunaan busur listrik, maupun penambahan logam pengisi. Kondisi tersebut menjadikan pengelasan lebih aman untuk diterapkan pada lingkungan kerja yang memiliki potensi bahaya kebakaran[4].

Meskipun berpotensi digunakan untuk perbaikan kebocoran tangki timbun, pengelasan di lapangan masih terkendala oleh ukuran dan konfigurasi peralatan yang kurang fleksibel pada area kerja terbatas. Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada dua paragraf sebelumnya timbul gagasan untuk membuat alat yang mudah dipindahkan, dipasang, dan dioperasikan pada berbagai posisi sesuai lokasi kebocoran. Penelitian ini fokus pada perancangan dan pembuatan alat *friction welding portable* serta mengetahui hasil pengujian fungsi alat untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membuat alat *friction welding portable* untuk mendukung perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar?
- b. Bagaimana menentukan spesifikasi komponen utama pada sistem pemutar dan sistem penekan yang sesuai dengan kebutuhan alat *friction welding portable*?
- c. Bagaimana hasil pengujian fungsional alat *friction welding portable* yang telah dirancang berdasarkan parameter perancangan yang ditetapkan?

3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat *friction welding portable*, Menentukan komponen utama yang sesuai untuk sistem pemutar dan sistem penekan berdasarkan kebutuhan parameter perancangan alat, serta menguji fungsi alat *friction welding portable* untuk mengetahui kemampuan sistem pemutar dan sistem penekan dalam mencapai parameter yang telah dirancang.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi dalam pengembangan alat *friction welding portable*, khususnya pada proses perancangan, manufaktur, perakitan, dan pengujian fungsional alat. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana penerapan ilmu di bidang perancangan mesin, sistem transmisi, dan sistem pneumatik serta menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dalam mengembangkan alat *friction welding portable* yang lebih optimal dan dapat diaplikasikan pada kondisi operasi yang mendekati perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar.

5. Batasan masalah

Agar pembahasan ini lebih fokus diperlukan batasan masalah penelitian. Beberapa masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian difokuskan pada proses perancangan, manufaktur, perakitan, dan pengujian fungsional alat *friction welding portable*.
- b. Perancangan alat dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks.
- c. Sistem pemutar menggunakan motor bor listrik 450 W yang dihubungkan dengan sistem transmisi roda gigi menggunakan rasio Mio J.
- d. Sistem penekan menggunakan silinder pneumatik tipe SC40×25 dengan tekanan kerja 65 psi.
- e. Pengujian yang dilakukan terbatas pada pengujian fungsi alat, meliputi pengujian putaran sistem pemutar dan tekanan kerja sistem pneumatik.
- f. Penelitian tidak membahas pengujian sifat mekanik, struktur mikro, maupun kualitas sambungan hasil *friction welding*.
- g. Pengujian alat dilakukan pada posisi vertikal sebagai validasi fungsi alat dan belum mencakup implementasi langsung pada kondisi operasi sebenarnya di tangki timbun bahan bakar

6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai isi dan pembahasan pada setiap bab. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini memuat teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi tangki timbun bahan bakar, kebocoran pada tangki timbun, metode *friction welding*, *friction plug welding*, sistem pneumatik, elemen mesin, penelitian terdahulu, dan kerangka berpikir yang digunakan sebagai dasar dalam perancangan alat.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi jenis penelitian, tempat dan waktu penelitian, tahapan penelitian, alat dan bahan yang digunakan,

prosedur perancangan dan pembuatan alat, metode pengujian, teknik pengumpulan data, serta teknik analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil penelitian yang meliputi proses perancangan alat *friction welding portable*, pembuatan dan perakitan alat, hasil pengujian fungsi alat, serta pembahasan mengenai kinerja alat yang telah dibuat.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijelaskan tentang kesimpulan dan saran yang terkait dengan perancangan dan pembuatan alat *friction welding portable* untuk memperbaiki kebocoran pada tangki timbun bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan tentang sumber-sumber acuan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian. Daftar pustaka memuat referensi berupa buku, jurnal ilmiah, artikel, maupun sumber daring.

LAMPIRAN

Pada bab ini dijelaskan tentang dokumen pendukung yang berkaitan dengan hasil penelitian namun tidak dimuat secara rinci dalam isi utama laporan. Lampiran berfungsi sebagai pelengkap agar pembaca dapat melihat bukti teknis, data, atau informasi tambahan pada penelitian.

BAB II STUDI LITERATUR

1. Kajian pustaka

Kajian pustaka digunakan sebagai landasan dalam pelaksanaan penelitian serta untuk mengetahui perkembangan penelitian yang berkaitan dengan perancangan dan pembuatan alat *friction welding portable*. Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

A. Penelitian Kurniawan dkk. (2022)

Melakukan rancang bangun mesin friction welding untuk pengelasan baja ST 37 dengan diameter maksimum $\frac{1}{2}$ inci. Penelitian tersebut meliputi tahap perancangan, perhitungan elemen mesin, pembuatan komponen, perakitan, serta pengujian fungsi alat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin yang dibuat mampu beroperasi sesuai dengan rancangan dan dapat digunakan untuk melakukan proses pengelasan gesek pada spesimen uji[5].

Penelitian tersebut memberikan gambaran mengenai tahapan perancangan dan pembuatan mesin *friction welding*, mulai dari penentuan spesifikasi komponen hingga pengujian fungsi alat. Perbedaannya dengan penelitian ini terletak pada tujuan penggunaan alat. Mesin yang dikembangkan oleh Kurniawan dkk. digunakan untuk proses penyambungan material pada skala laboratorium, sedangkan penelitian ini difokuskan pada perancangan alat friction welding portable untuk perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar.

B. Penelitian Muhammad, Bastomi, dan Assiddiq (2023)

Melakukan penelitian mengenai rancang bangun alat bantu tekan berbasis hidrolik pada proses pengelasan gesek. Penelitian tersebut membahas proses perancangan sistem penekan, pemilihan komponen utama, pembuatan alat, hingga pengujian kemampuan sistem dalam menghasilkan gaya tekan selama proses pengelasan berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hidrolik yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan kebutuhan proses pengelasan gesek[6].

Penelitian tersebut memberikan informasi mengenai pentingnya sistem pemberian gaya tekan dalam proses *friction welding*. Keberhasilan proses pengelasan gesek sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam menghasilkan tekanan yang sesuai selama proses penyambungan berlangsung. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada sistem

penekan yang digunakan. Penelitian terdahulu menggunakan sistem hidrolik, sedangkan penelitian ini menggunakan sistem pneumatik yang memiliki konstruksi lebih sederhana dan mudah diaplikasikan pada alat yang bersifat *portable*.

C. Penelitian G. Darmawan (2020)

Melakukan penelitian mengenai pengembangan mesin *friction welding* yang dirancang berdasarkan modifikasi mesin bubut. Penelitian tersebut meliputi tahap perancangan konstruksi mesin, pemilihan sistem penggerak, pembuatan komponen, serta pengujian awal untuk mengetahui kemampuan mesin dalam menjalankan proses pengelasan gesek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin yang dikembangkan mampu beroperasi sesuai dengan konsep desain yang telah direncanakan[7].

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengembangan mesin *friction welding* memerlukan integrasi antara sistem penggerak, sistem penjepit, dan sistem penekan. Perbedaannya terletak pada bentuk dan tujuan penggunaan alat, mesin yang dikembangkan oleh G. Darmawan. digunakan sebagai mesin pengelasan gesek stasioner, sedangkan penelitian ini mengembangkan alat *friction welding portable* yang dirancang untuk mendukung proses perbaikan kebocoran pada tangki timbun bahan bakar.

2. Tangki timbun bahan bakar

Tangki timbun (*storage tank*) merupakan salah satu fasilitas penting dalam industri perminyakan yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan berbagai jenis fluida, seperti minyak mentah, bahan bakar minyak (BBM), produk hasil pengolahan minyak, serta bahan kimia lainnya. Peralatan ini tersedia dalam berbagai bentuk dan tipe, yang masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan, kekurangan, serta fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan operasional. Berdasarkan klasifikasi tekanan kerjanya, tangki penyimpanan secara umum dibagian umum menjadi dua, yaitu tangki atmosferik yang beroperasi pada tekanan rendah dan tangki bertekanan (*pressure tank*) yang bekerja pada tekanan di atas 11,1 psi[8].

Berdasarkan lokasi pemasangannya, tangki penyimpanan diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu tangki di atas permukaan tanah dan tangki di bawah permukaan tanah. Tangki yang berada di atas permukaan tanah umumnya digunakan untuk penyimpanan minyak bakar serta berbagai fluida kimia, sedangkan tangki yang ditanam di bawah permukaan tanah umumnya dimanfaatkan untuk penyimpanan bahan bakar minyak pada stasiun pengisian bahan bakar umum[8].



Gambar 1. Perbedaan *aboveground tank* dan *underground tank*

Berdasarkan konfigurasi atapnya, tangki penyimpanan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu *fixed roof tank* dan *floating roof tank*. *Fixed roof tank* merupakan tangki yang memiliki atap yang terhubung secara permanen dengan dinding tangki. Bentuk atap pada jenis tangki ini umumnya berupa kerucut (*cone roof*) atau kubah (*dome roof*). Sementara itu, *floating roof tank* adalah tangki yang dilengkapi atap terapung yang bergerak mengikuti perubahan ketinggian permukaan cairan di dalam tangki. Untuk meminimalkan pelepasan uap hidrokarbon melalui celah antara atap dan dinding tangki, jenis tangki ini dilengkapi dengan *seal* yang berfungsi sebagai penyekat sehingga kehilangan produk akibat penguapan dapat dikurangi[8].



Gambar 2. Perbedaan *fixed roof tank* dan *floating roof tank*

Tangki timbun (*storage tank*) merupakan fasilitas penting dalam industri minyak dan gas yang berfungsi sebagai sarana penyimpanan berbagai jenis fluida, termasuk minyak mentah, bahan bakar, pelumas, dan produk kimia lainnya. Dalam pembuatannya, material yang banyak digunakan adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*) karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang memadai, kemudahan proses fabrikasi, serta ketahanan yang baik terhadap beban operasional. Salah satu material yang sering dipilih untuk konstruksi tangki timbun adalah baja ASTM A283 Grade C, yang dikenal memiliki karakteristik kekuatan dan keandalan yang sesuai untuk aplikasi penyimpanan fluida dalam skala industri[9].

3. Korosi pada tangki timbun

Korosi adalah fenomena penurunan kualitas material yang terjadi akibat interaksi kimia maupun elektrokimia antara material dan lingkungan di sekitarnya. Pada tangki timbun (storage tank), korosi sering menjadi salah satu penyebab terjadinya kebocoran yang dapat mengurangi efektivitas operasi serta berdampak pada mutu minyak bumi yang disimpan. Proses korosi tersebut dapat dipercepat oleh adanya kandungan pengotor (impurities) dalam minyak mentah yang berinteraksi dengan permukaan dinding tangki selama proses penyimpanan[10].



Gambar 3. Korosi pada tangki timbun (*storage tank*)

Material yang digunakan dalam konstruksi tangki timbun pada umumnya berupa baja, yang memiliki potensi mengalami korosi selama masa operasinya. Korosi merupakan proses penurunan kualitas logam akibat reaksi kimia maupun elektrokimia yang terjadi antara material dan lingkungan di sekitarnya. Tingkat korosi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi lingkungan yang agresif serta interaksi antara tangki dengan komponen atau struktur lain yang terhubung. Berdasarkan lokasi terjadinya, korosi pada tangki timbun dapat dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu korosi internal dan korosi eksternal.

A. Korosi internal

Korosi internal merupakan korosi yang terjadi pada permukaan bagian dalam tangki akibat keberadaan gas CO_2 dan H_2S dalam minyak bumi. Ketika gas-gas tersebut berinteraksi dengan air, dapat terbentuk senyawa asam yang bersifat korosif sehingga memicu degradasi material pada dinding bagian dalam tangki.

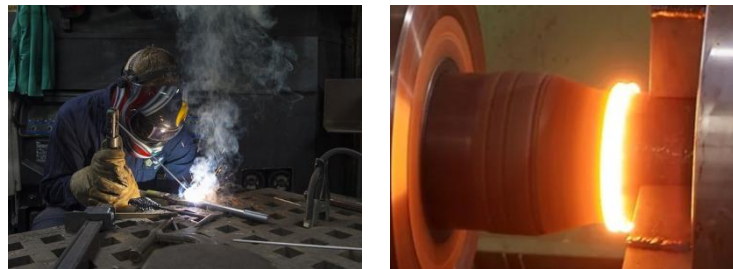
B. Korosi eksternal

Korosi eksternal merupakan korosi yang terjadi pada bagian luar tangki, baik yang kontak dengan udara, tanah, air dan lingkungan lainnya[11].

Apabila pada tangki timbun terjadi kebocoran yang disebabkan oleh korosi, maka diperlukan tindakan perbaikan untuk mengembalikan fungsi dan integritas struktur tangki. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan menutup atau menambal bagian yang mengalami kebocoran. Proses perbaikan tangki timbun harus dilaksanakan menggunakan metode yang sesuai dengan ketentuan dan standar yang berlaku, mengingat pekerjaan tersebut memiliki tingkat risiko yang tinggi. Kesalahan dalam pelaksanaan perbaikan dapat menyebabkan terjadinya kebakaran maupun ledakan, terutama apabila tangki masih mengandung sisa bahan yang mudah terbakar. Oleh karena itu, setiap tahapan perbaikan harus direncanakan dan dilaksanakan dengan memperhatikan aspek keselamatan kerja secara menyeluruh.

4. Pengelasan (*Welding*)

Berdasarkan standar DIN (*Deutsche Industrie Norm*), pengelasan adalah proses pembentukan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan logam yang dilakukan dalam keadaan cair. Secara umum, pengelasan dapat diartikan sebagai proses penyambungan dua bagian logam melalui pemanasan hingga bagian yang akan disambung meleleh, yang umumnya menggunakan panas yang dihasilkan oleh busur listrik[12]. Berdasarkan kondisi material selama proses penyambungan berlangsung, pengelasan dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu pengelasan lebur (*fusion welding*) dan pengelasan keadaan padat (*solid-state welding*).



Gambar 4. Perbedaan *fusion welding* dan *solid state welding*

Pengelasan fusi (*fusion welding*) merupakan metode penyambungan logam yang dilakukan dengan melelehkan sebagian logam induk, kemudian membiarkannya membeku kembali hingga terbentuk sambungan yang menyatu. Proses ini memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda dan logam induk sebagai sumber energi untuk mencairkan material yang akan disambung[13]. Dalam penerapannya, pengelasan fusi banyak digunakan untuk menyambung berbagai komponen logam, seperti pelat datar, pelat siku, dan pipa. Beberapa metode yang termasuk dalam kategori

pengelasan fusi dan sering digunakan di industri adalah *gas tungsten arc welding (GTAW)*, *shielded metal arc welding (SMAW)*, serta *metal inert gas (MIG)*.

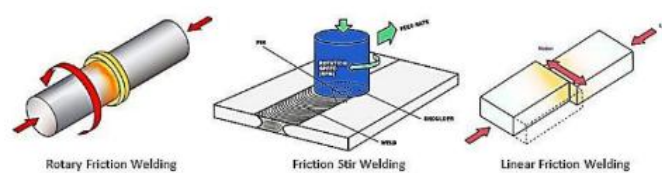
Pengelasan *solid state* merupakan proses penyambungan yang dihasilkan baik dari penekanan maupun kombinasi dari panas dan tekan. Jika panas digunakan, temperatur dalam proses harus berada dibawah *melting point* dari material yang akan dilakukan pengelasan. *Solid state welding* dapat dikategorikan menjadi *diffusion welding (DFW)*, dua permukaan material yang akan disatukan dan ditahan dibawah tekanan pada temperatur tinggi kedua material akan mengalami difusi (*solid state diffusion*). Proses pengelasan difusi berlangsung dimana material tidak mencapai titik lelehnya yang membedakannya dari pengelasan fusi[13].

Karakteristik *solid state welding* memungkinkan pengelasan difusi dapat diterapkan pada material dengan titik leleh tinggi atau rentan terhadap distorsi thermal. Proses ini umumnya digunakan dalam industri dimana kekuatan tinggi dan sambungan prformasi tinggi diperlukan, seperti pada aplikasi ke-dirgantaraan dan otomotif [14]. Jenis pegelasan *solid state* yang sering dijumpai adalah *friction welding (FRW)*, *friction stir welding (FSW)*, *diffusion welding (DFW)*, *ultrasonic welding (USW)*, dan lainnya.

5. Friction welding

Friction welding merupakan salah satu metode *solid-state welding* yang menggunakan panas akibat gesekan antara dua permukaan material yang saling berkontak. Proses penyambungan dilakukan melalui kombinasi gerak relatif dan pemberian tekanan, tanpa memanfaatkan busur listrik maupun bahan tambah[5], [15].

Berbeda dengan *fusion welding* proses *friction welding* tidak melibatkan peleburan material secara menyeluruh. Oleh karena itu, metode ini mampu menghasilkan sambungan dengan perubahan mikrostruktur yang lebih kecil serta menurunkan kemungkinan terjadinya cacat las yang umum ditemukan pada proses pengelasan konvensional. beda dengan pengelasan leleh (*fusion welding*), proses *friction welding* tidak menyebabkan material mencair secara keseluruhan[5].



Gambar 5. Jenis *friction welding*

A. Prinsip kerja *friction welding*

Prinsip kerja *friction welding* didasarkan pada pemanfaatan energi gesek yang diubah menjadi energi panas. Salah satu material diputar menggunakan sumber penggerak, sedangkan material lainnya diberikan gaya tekan sehingga terjadi kontak pada permukaan yang akan disambung. Gesekan yang terjadi menyebabkan temperatur pada daerah kontak meningkat secara bertahap[5], [15].

Setelah temperatur yang dibutuhkan tercapai, proses putaran dihentikan dan gaya tekan dipertahankan atau ditingkatkan. Kondisi tersebut menyebabkan material mengalami deformasi plastis pada daerah sambungan sehingga terbentuk ikatan antar material. Proses ini berlangsung tanpa menggunakan nyala api maupun busur listrik sebagai sumber panas[15].

Pada penelitian ini, prinsip *friction welding* digunakan untuk menghasilkan panas pada area kontak antara plug dan spesimen sehingga dapat digunakan sebagai metode perbaikan kebocoran pada tangki timbun bahan bakar.

B. Parameter proses *friction welding*

Keberhasilan proses *friction welding* dipengaruhi oleh beberapa parameter utama yang menentukan jumlah panas dan kualitas penyambungan yang dihasilkan. Parameter tersebut meliputi kecepatan putar, gaya tekan, dan waktu gesekan[5], [6].

Kecepatan putar

Kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya gesekan yang terjadi pada permukaan kontak kedua material. Peningkatan kecepatan putar akan menyebabkan panas yang dihasilkan pada daerah sambungan menjadi semakin besar.

Tekanan

Gaya tekan berperan dalam mempertahankan kontak antara kedua material selama proses pengelasan. Besar gaya tekan yang diberikan memengaruhi jumlah panas yang terbentuk serta tingkat deformasi plastis pada daerah sambungan.

Waktu gesekan

Waktu gesekan adalah lamanya kontak antara kedua material selama proses putaran berlangsung. Waktu gesekan yang terlalu singkat dapat menghasilkan panas yang tidak

mencukupi untuk proses penyambungan, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan deformasi material yang berlebihan.

Pada alat yang dirancang dalam penelitian ini, kecepatan putar dihasilkan oleh motor listrik bor, sedangkan gaya tekan diperoleh dari sistem pneumatik yang digunakan selama proses pengelasan.

C. Penerapan *friction welding* pada perbaikan kebocoran tangki timbun

Pada penelitian ini, metode *friction welding* diterapkan melalui penggunaan plug yang diputar dan ditekan ke area kebocoran menggunakan sistem pneumatik. Konsep tersebut menjadi dasar dalam perancangan alat *friction welding* portable yang dikembangkan sebagai alternatif perbaikan kebocoran pada tangki timbun bahan bakar.

Metode *friction welding* memiliki potensi untuk digunakan dalam proses perbaikan kebocoran pada tangki timbun bahan bakar karena proses penyambungannya tidak menggunakan busur listrik sebagai sumber panas. Kondisi tersebut dapat mengurangi risiko timbulnya percikan api yang berpotensi menyebabkan kebakaran pada lingkungan yang mengandung bahan mudah terbakar[5], [15].

6. Sistem pneumatik

Sistem pneumatik merupakan sistem penggerak yang memanfaatkan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan mekanis. Udara bertekanan tersebut diperoleh dari kompresor dan dialirkan ke berbagai komponen melalui saluran udara. Dalam dunia industri, sistem pneumatik banyak digunakan karena konstruksinya relatif sederhana, mudah dalam pengoperasian, serta memiliki tingkat keselamatan yang baik[16].

Pada penelitian ini, sistem pneumatik digunakan untuk menghasilkan gaya tekan yang dibutuhkan selama proses *friction welding*. Gaya tekan tersebut digunakan untuk mendorong *plug* menuju permukaan spesimen sehingga terjadi gesekan yang menghasilkan panas dan memungkinkan terbentuknya sambungan las.

A. Komponen sistem pneumatik

Sistem pneumatik pada alat yang dirancang terdiri atas beberapa komponen yang bekerja secara terpadu untuk menghasilkan dan mengendalikan gerakan silinder. Komponen-komponen tersebut meliputi:

Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai sumber udara bertekanan yang digunakan untuk mengoperasikan sistem pneumatik. Udara yang dihasilkan kompresor kemudian disalurkan menuju komponen lain melalui saluran udara.



Gambar 6. Kompresor

Air filter regulator

Air filter regulator berfungsi untuk menyaring partikel atau kotoran yang terbawa oleh aliran udara serta mengatur tekanan udara yang masuk ke dalam sistem. Pengaturan tekanan dilakukan agar gaya tekan yang dihasilkan dapat sesuai dengan kebutuhan selama proses pengelasan berlangsung.



Gambar 7. Air filter regulator

Katup pengarah pneumatik

Katup pengarah berfungsi mengatur arah aliran udara menuju silinder pneumatik. Komponen ini memungkinkan piston bergerak maju maupun mundur sesuai kebutuhan operasi alat.



Gambar 8. Katup pengarah pneumatik

Silinder pneumatik

Silinder pneumatik merupakan aktuator yang mengubah energi udara bertekanan menjadi gerakan linier. Pada alat yang dirancang, silinder pneumatik digunakan untuk memberikan gaya tekan pada plug selama proses *friction welding* berlangsung.



Gambar 9. Silinder pneumatik

Selang dan *fitting*

Selang dan *fitting* berfungsi sebagai penghubung antar komponen pneumatik sekaligus sebagai jalur distribusi udara bertekanan. Komponen ini berperan dalam menjaga kelancaran aliran udara selama sistem beroperasi.



Gambar 10. Selang dan *fitting*

B. Prinsip kerja sistem pneumatik

Sistem pneumatik bekerja dengan memanfaatkan udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor[17]. Udara tersebut terlebih dahulu melewati air filter regulator untuk disaring dan diatur tekanannya sebelum dialirkan ke katup pengarah. Selanjutnya, katup mengarahkan aliran udara menuju salah satu sisi silinder pneumatik sehingga piston bergerak sesuai arah yang diinginkan.

Pada alat *friction welding portable* yang dirancang, gerakan maju piston digunakan untuk memberikan gaya tekan pada *plug* selama proses pengelasan berlangsung. Setelah proses selesai, aliran udara dialihkan ke sisi lainnya sehingga piston kembali ke posisi semula. Dengan mekanisme tersebut, proses pemberian dan pelepasan tekanan dapat dilakukan secara lebih mudah dan terkontrol.

7. Sistem penggerak

A. Motor bor listrik

Pada umumnya, bor listrik digunakan untuk proses pengeboran, pengencangan baut, maupun pekerjaan permesinan ringan. Namun, gerak putar yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber penggerak pada berbagai peralatan mekanis yang membutuhkan putaran poros. Motor penggerak yang digunakan pada penelitian ini adalah bor listrik NLG 450RE dengan daya sebesar 450 W. Bor listrik tersebut digunakan sebagai penggerak utama untuk memutar plug selama proses *friction welding* berlangsung. Putaran yang dihasilkan digunakan untuk memutar *plug* sehingga terjadi gesekan antara *plug* dan spesimen yang menghasilkan panas pada daerah kontak.



Gambar 11. Motor bor listrik

8. Elemen mesin

Sistem transmisi merupakan komponen yang digunakan untuk membentuk suatu sistem mekanik sehingga alat dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Pada alat *friction welding portable* yang dirancang, elemen mesin berperan dalam meneruskan putaran, menopang komponen yang bergerak, mengarahkan gerakan penekanan, serta menjaga kekuatan konstruksi alat. Komponen yang digunakan meliputi poros, *bearing*, *gearbox*, *chuck bor*, baut dan mur, batang pemandu, serta rangka.

A. Poros

Poros merupakan komponen yang digunakan untuk menyalurkan putaran dari sumber penggerak ke bagian yang menerima putaran. Selain meneruskan daya, poros juga harus mampu menahan beban puntir yang timbul selama alat beroperasi [18].

Pada alat *friction welding portable* yang dirancang, poros digunakan untuk meneruskan putaran dari sistem penggerak menuju chuck penjepit plug. Putaran tersebut diperlukan untuk menghasilkan gesekan antara plug dan spesimen sehingga panas yang

dibutuhkan dalam proses *friction welding* dapat terbentuk. Oleh karena itu, poros harus memiliki kekuatan yang memadai agar mampu bekerja secara stabil selama proses pengelasan berlangsung.



Gambar 12. Poros

B. Bearing

Bearing atau bantalan digunakan untuk menopang poros yang berputar sekaligus mengurangi gesekan yang terjadi pada saat operasi[18]. Penggunaan bearing membantu menjaga posisi poros agar tetap sejajar sehingga putaran yang dihasilkan menjadi lebih stabil.

Pada alat yang dirancang, bearing dipasang padaudukan poros untuk mendukung sistem putar selama proses pengelasan. Keberadaan bearing juga membantu mengurangi getaran yang dapat mempengaruhi kestabilan putaran plug ketika proses *friction welding* dilakukan.



Gambar 13. Bearing

C. Roda gigi

Roda gigi merupakan komponen transmisi yang digunakan untuk menyesuaikan karakteristik putaran sesuai kebutuhan sistem kerja[18]. Melalui mekanisme roda gigi di

dalamnya, roda gigi dapat mengubah perbandingan antara putaran dan torsi yang diterima dari sumber penggerak.

Pada penelitian ini, gearbox digunakan sebagai penghubung antara motor bor dan sistem pemutar plug. Penggunaan roda gigi bertujuan untuk menghasilkan torsi yang lebih besar sehingga proses pengelasan gesek dapat berlangsung dengan lebih baik. Selain itu, roda gigi juga membantu menjaga kestabilan putaran selama alat digunakan.



Gambar 14. Roda gigi

D. Chuck bor

Chuck bor merupakan komponen penjepit yang digunakan untuk memegang benda kerja atau komponen yang akan diputar. Sistem penjepitan yang baik diperlukan agar benda yang dijepit tetap berada pada posisinya selama proses operasi berlangsung[18].

Pada alat *friction welding portable* yang dirancang digunakan dua buah chuck. Chuck pertama terpasang pada motor bor dan berfungsi meneruskan putaran dari sumber penggerak. Chuck kedua dipasang pada bagian bawah sistem transmisi dan digunakan untuk menjepit plug yang akan diputar selama proses pengelasan. Penggunaan dua buah chuck bertujuan menjaga kestabilan putaran serta memudahkan proses pemasangan plug.



Gambar 15. Chuck bor

E. Baut dan mur

Baut dan mur digunakan sebagai elemen pengikat untuk menyatukan beberapa komponen menjadi satu kesatuan konstruksi[18]. Sambungan menggunakan baut dan mur banyak

digunakan karena proses pemasangan maupun pembongkarannya dapat dilakukan dengan mudah.

Pada alat yang dirancang, baut dan mur digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen, sepertiudukan, rangka, dan sistem transmisi. Penggunaan sambungan baut juga memudahkan proses perawatan apabila diperlukan penggantian komponen tertentu.



Gambar 16. Baut dan mur

F. *Linear slide block bearing*

Linear slide block bearing merupakan komponen yang berfungsi mengarahkan gerakan linier agar tetap berada pada jalur yang telah ditentukan. Komponen ini banyak digunakan pada sistem yang memerlukan pergerakan maju-mundur atau naik-turun secara teratur[18].

Pada alat *friction welding portable*, *Linear slide block bearing* digunakan untuk menjaga keselarasan gerakan sistem penekanan yang digerakkan oleh silinder pneumatik. Dengan adanya batang pemandu, gaya tekan dapat diberikan secara lebih stabil dan tetap berada pada satu sumbu dengan sistem pemutar.

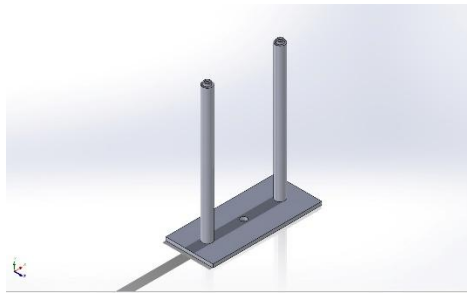


Gambar 17. *Linear slide block bearing*

G. Rangka

Rangka merupakan bagian utama yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen penyusun alat[18]. Kekuatan rangka berpengaruh terhadap kestabilan alat selama digunakan karena seluruh beban kerja diteruskan ke struktur ini.

Pada penelitian ini, rangka dirancang untuk menopang sistem pneumatik, motor penggerak, gearbox, serta komponen lainnya dalam satu konstruksi yang terintegrasi. Selain mempertimbangkan kekuatan, desain rangka juga dibuat dengan ukuran yang relatif ringkas sehingga alat lebih mudah dipindahkan dan digunakan pada berbagai kondisi kerja.



Gambar 18. Rangka

9. *Software* untuk perancangan

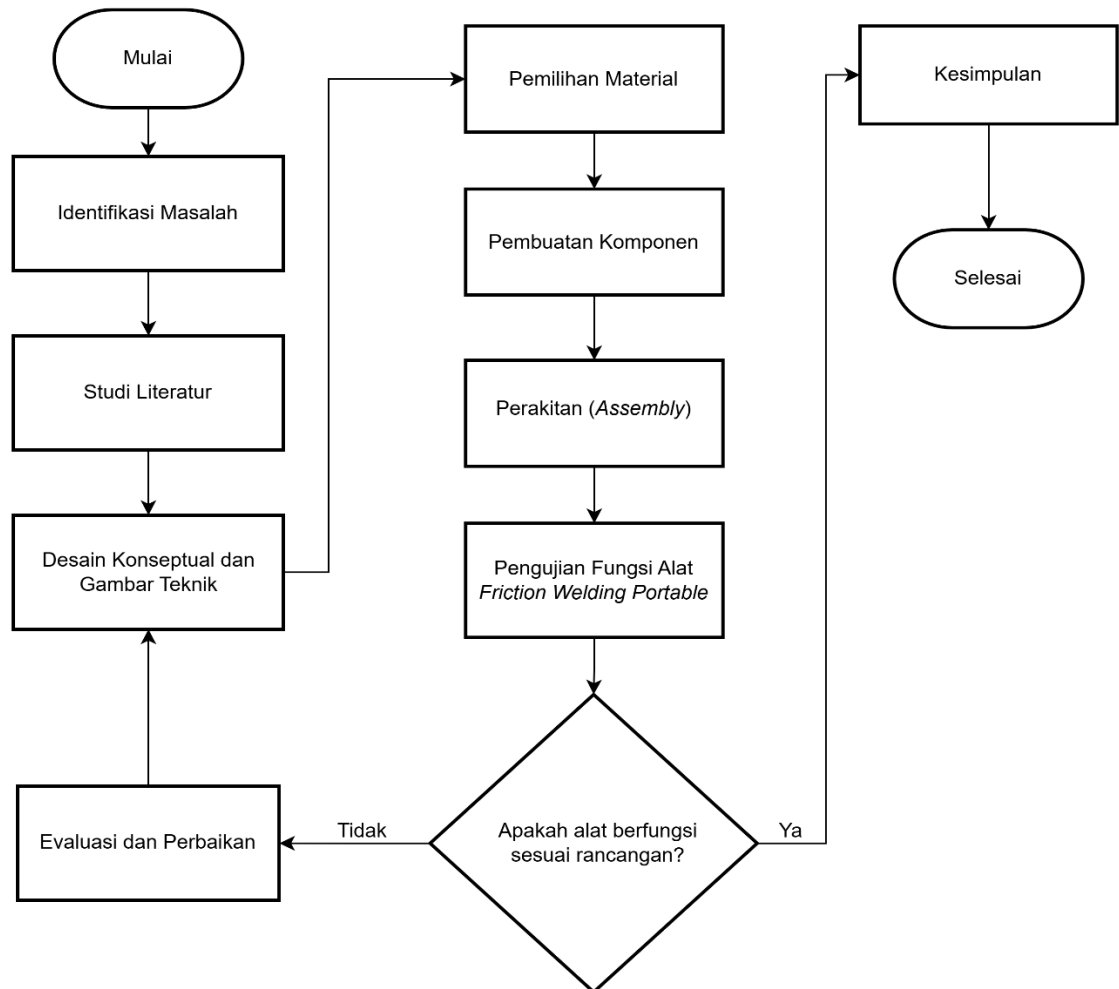
Perancangan dan pemodelan pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. SolidWorks merupakan perangkat lunak berbasis *Computer-Aided Design* (CAD) yang digunakan untuk membuat gambar teknik serta model tiga dimensi secara parametrik. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *Dassault Systèmes* dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang teknik, khususnya teknik mesin, manufaktur, otomotif, serta pengembangan produk. Kemampuannya dalam menghasilkan desain yang detail dan presisi menjadikan SolidWorks sebagai salah satu perangkat lunak yang umum digunakan untuk merancang komponen maupun sistem mekanis sebelum proses pembuatan dilakukan.

SolidWorks menyediakan berbagai fitur yang mendukung proses perancangan teknik, mulai dari pembuatan komponen tunggal (*part*), penyusunan beberapa komponen menjadi satu sistem (*assembly*), hingga penyajian gambar kerja (*drawing*) yang memuat informasi teknis seperti ukuran, toleransi, dan keterangan lainnya. Selain digunakan untuk desain, perangkat lunak ini juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan analisis perilaku suatu komponen atau struktur melalui fitur simulasi. Beberapa analisis yang dapat dilakukan meliputi pengujian tegangan, perpindahan panas, dan getaran.

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Proses perancangan dan pembuatan alat *friction welding portable* dijelaskan dalam bentuk diagram alir. Alur diagram alir tersebut dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Alur diagram penelitian

Penjelasan tahapan penelitian yang digambarkan dengan menggunakan diagram alir pada gambar 19 adalah sebagai berikut:

- Identifikasi dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian. Permasalahan yang ditemukan adalah perlunya suatu metode perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar yang dapat dilakukan dengan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan pengelasan konvensional. Berdasarkan kondisi tersebut,

dirancang sebuah alat *friction welding portable* yang diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif dalam proses perbaikan kebocoran.

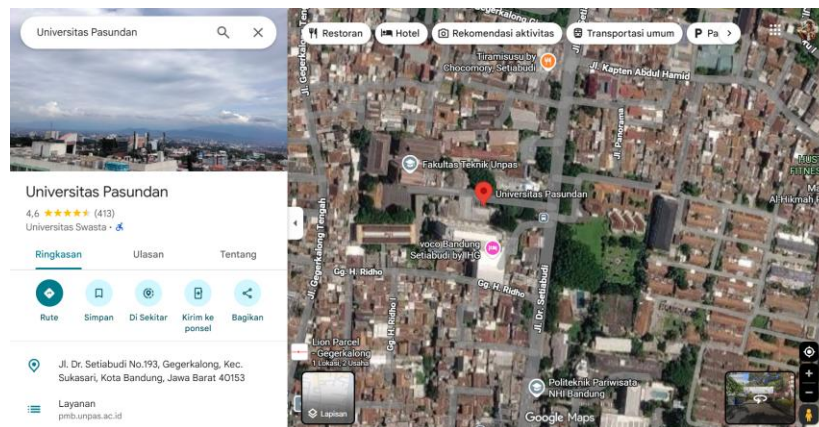
- Studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam proses perancangan alat. Referensi yang digunakan diperoleh dari jurnal, buku, tugas akhir, serta sumber ilmiah lain yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang dipelajari meliputi tangki timbun bahan bakar, proses *friction welding*, sistem pneumatik, motor listrik, elemen mesin, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan perancangan alat.
- Desain Konseptual dan Gambar dilakukan untuk menentukan konsep kerja alat yang akan dibuat. Konsep yang telah ditetapkan kemudian dituangkan dalam bentuk gambar teknik yang digunakan sebagai acuan pada proses pembuatan komponen dan perakitan alat. Gambar teknik yang dibuat meliputi gambar keseluruhan alat maupun gambar masing-masing komponen yang diperlukan.
- Pemilihan Material dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi setiap komponen, kemudahan proses pengerjaan, serta ketersediaan material di pasaran. Material yang dipilih diharapkan mampu mendukung kinerja alat selama proses pengoperasian berlangsung.
- Pembuatan Komponen dilakukan berdasarkan gambar teknik yang telah dibuat sebelumnya. Proses yang dilakukan meliputi pemotongan material, pembubutan, pengeboran, pengelasan, dan proses manufaktur lainnya sesuai kebutuhan masing-masing komponen. Tahap ini bertujuan menghasilkan komponen yang sesuai dengan ukuran dan spesifikasi yang telah direncanakan.
- Perakitan (*Assembly*) setelah seluruh komponen selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah perakitan alat. Pada tahap ini komponen-komponen yang telah dipersiapkan dirakit menjadi satu kesatuan sistem sehingga dapat berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.
- Pengujian fungsi alat *friction welding portable* dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi pemeriksaan sistem penggerak, sistem transmisi, sistem pneumatik, serta pengoperasian alat secara keseluruhan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui kelayakan fungsi alat sebelum digunakan lebih lanjut.
- Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil pengujian fungsi alat. Apabila selama pengujian ditemukan kendala yang memengaruhi kinerja alat, maka dilakukan perbaikan pada

desain maupun komponen yang digunakan. Tahap ini dilakukan agar alat yang dihasilkan dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan penelitian.

- Tahap kesimpulan dilakukan setelah seluruh rangkaian penelitian selesai dilaksanakan. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil yang diperoleh dari proses perancangan, pembuatan, perakitan, dan pengujian alat *friction welding portable*.

2. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan jalan Dr. Setiabudi No. 193, Gegerkalong, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153. Tempat penelitian dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung

3. Alat dan bahan

A. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mesin perkakas, alat ukur, dan peralatan pendukung yang digunakan selama proses pembuatan serta pengujian alat *friction welding portable*. Daftar alat yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat yang digunakan

No	Alat	Fungsi
1.	Laptop	Membuat laporan
2.	SolidWorks	Mendesain komponen alat
3.	Mesin bubut	Membuat poros sesuai dimensi
4	Mesin bor duduk	Membuat lubang pada komponen

No	Alat	Fungsi
5.	Mesin <i>frais</i>	Membentuk permukaan komponen
6.	Mesin las SMAW	Menyambung komponen rangka
7.	Gerinda tangan	Merapikan hasil pemotongan dan pengelasan
8.	Kompresor	Menyuplai udara bertekanan ke sistem pneumatik
9.	<i>Stroboscope/Tachometer</i>	Mengukur putaran
10.	Jangka sorong	Mengukur dimensi komponen
11.	Kunci-kunci	Perakitan komponen

B. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas material utama pembentuk struktur alat serta komponen standar yang berfungsi sebagai sistem pemutar, sistem penekan, dan sistem transmisi. Daftar bahan yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan yang digunakan

No	Alat	Fungsi
1.	Plat baja tebal 6 mm	Pembuatan rangka dan gearbox
2.	Batang <i>Stainless steel</i> Ø20 mm	Guide shaft
3.	Rasio Mio J	Sistem transmisi
4.	<i>Bearing</i>	Menumpu poros
5.	Silinder pneumatik SC40×25	Sistem penekan
6.	Motor bor 300 Watt	Sumber putaran
7.	Chuck bor	Menjepit spesimen
8.	Selang pneumatik	Saluran udara
9.	<i>Fitting</i> pneumatik	Penyambung saluran udara
10.	Baut dan mur	Penyambung komponen

No	Alat	Fungsi
11.	<i>Linear slide block bearing</i>	Penopang guide shaft
12.	<i>Air filter Regulator</i>	Pengatur tekanan
13.	Katup Pengarah Pneumatik	Mengatur naik turunnya alat
14.	<i>Coupler</i>	Penghubung ke kompresor

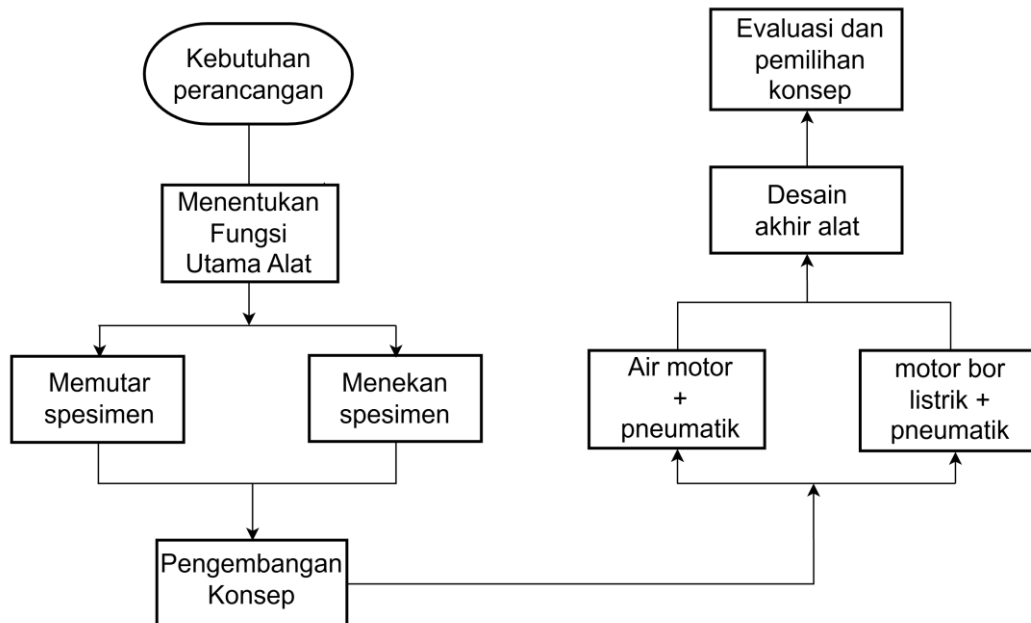
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perancangan konseptual alat *friction welding portable*

Perancangan konseptual merupakan tahap awal dalam penelitian yang bertujuan menghasilkan rancangan alat *friction welding portable* sesuai kebutuhan proses pengelasan gesek. Pada tahap ini dilakukan penyusunan konsep, penentuan komponen utama, serta pembuatan gambar teknik sebagai dasar proses manufaktur. Seluruh tahapan perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks sehingga diperoleh rancangan yang sesuai dengan fungsi kerja alat.

A. Konsep perancangan

Tahap awal perancangan dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan alat berdasarkan fungsi yang harus dipenuhi pada proses *friction welding*. Alat dirancang mampu menghasilkan putaran, gaya tekan, serta memiliki konstruksi yang kokoh sehingga seluruh sistem dapat bekerja secara terpadu. Selain itu, alat juga dirancang dalam bentuk portable agar mudah dipindahkan dan digunakan sebagai media penelitian untuk memperoleh parameter awal proses *friction welding*.



Gambar 21. Diagram konsep perancangan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, ditetapkan beberapa kebutuhan fungsional yang menjadi dasar dalam proses perancangan alat. Kebutuhan tersebut bertujuan agar setiap sistem yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan selama

proses *friction welding*. Berdasarkan kebutuhan proses *friction welding*, alat dirancang untuk menghasilkan putaran kerja sekitar 1400 rpm dan tekanan kerja sebesar 65 psi sebagai acuan dalam pemilihan sistem pemutar dan sistem penekan.

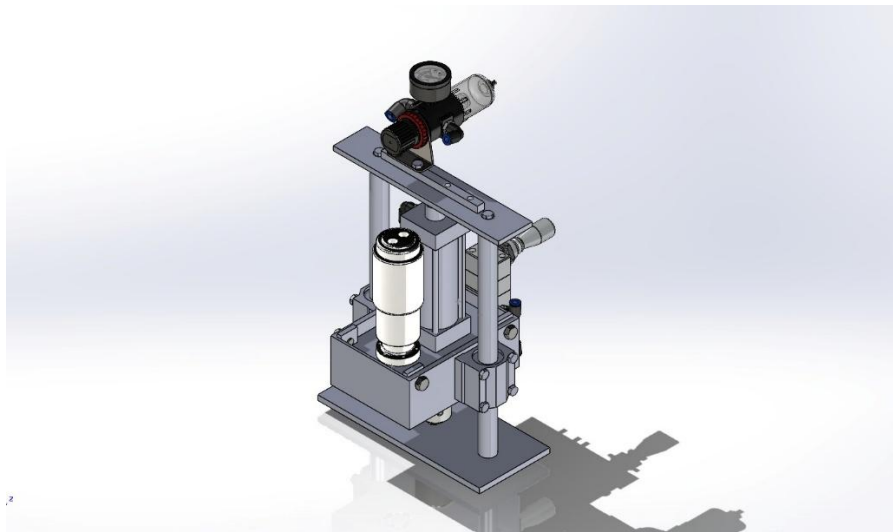
Tabel 3. Spesifikasi Rancangan

No	Kriteria	Kebutuhan
1	Sistem pemutar	Mampu menghasilkan putaran 1400 Rpm
2	Sistem pneumatik	Mampu memberikan gaya tekan 65 Psi
3	Sistem transmisi	Mampu meneruskan putaran dari sumber penggerak menuju poros
4	Struktur alat	Memiliki konstruksi yang kokoh dan portable
5	Manufaktur	Dapat dibuat menggunakan fasilitas laboratorium yang tersedia
6	Perawatan	Menggunakan komponen standar yang mudah diperoleh dan diganti

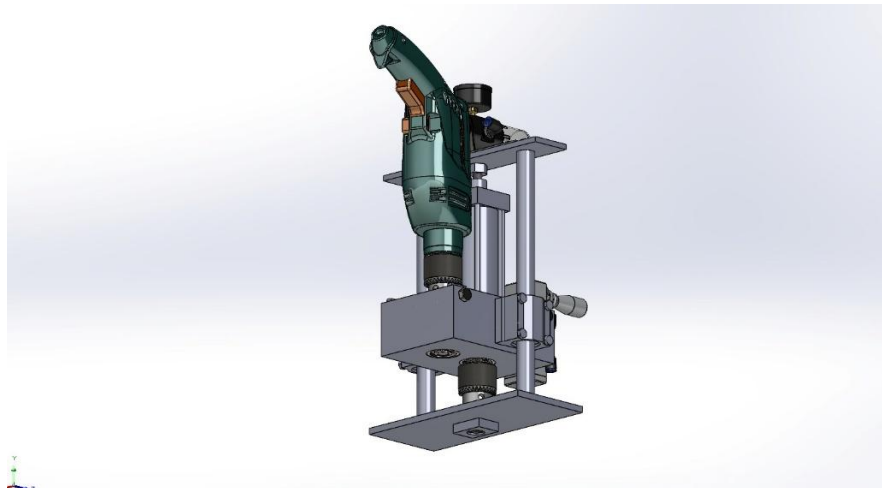
Kriteria perancangan tersebut menjadi acuan dalam penyusunan konsep alat sehingga setiap sistem yang dirancang mampu memenuhi fungsi yang telah ditetapkan. Berdasarkan kebutuhan tersebut dipilih konfigurasi yang terdiri atas sistem pemutar, sistem transmisi, sistem penekan, dan struktur penopang yang saling terintegrasi menjadi satu kesatuan alat. Pada tahap pembuatan prototipe, sistem pemutar menggunakan motor bor listrik sebagai sumber putaran untuk mendukung proses pengujian awal serta memperoleh parameter *friction welding* sesuai dengan fasilitas laboratorium yang tersedia.

Selanjutnya dilakukan pengembangan rancangan konseptual sebagai dasar pembuatan prototipe. Pada tahap awal, rancangan alat menggunakan air motor sebagai sumber putaran karena secara konseptual lebih sesuai untuk aplikasi *friction welding* pada perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar. Penggunaan air motor dipertimbangkan karena tidak menghasilkan percikan listrik sehingga lebih aman apabila diterapkan pada lingkungan yang berpotensi mengandung uap bahan bakar. Hasil desainnya ditunjukkan pada Gambar 23.

Meskipun demikian, pada tahap pembuatan prototipe dilakukan penyesuaian dengan mengganti sumber putaran menggunakan motor bor listrik. Perubahan tersebut dilakukan karena keterbatasan kapasitas kompresor yang tersedia di laboratorium, sehingga penggunaan air motor dan silinder pneumatik secara bersamaan belum mampu menghasilkan performa yang optimal. Oleh karena itu, motor bor dipilih sebagai sumber putaran pada prototipe agar proses manufaktur dan pengujian awal dapat dilaksanakan untuk memperoleh parameter dasar proses *friction welding*. Hasil desainnya ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 22. Rancangan konseptual menggunakan air motor



Gambar 23. Rancangan prototipe menggunakan motor bor listrik

Penggunaan motor bor pada penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai rancangan akhir alat, melainkan sebagai media pengembangan prototipe untuk memperoleh parameter awal proses *friction welding*. Parameter yang diperoleh dari hasil pengujian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan alat menggunakan sistem penggerak yang lebih sesuai untuk aplikasi lapangan pada penelitian selanjutnya.

Setelah beberapa alternatif konsep sistem pemutar diperoleh, dilakukan proses pemilihan konsep untuk menentukan alternatif yang paling sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pemilihan konsep dilakukan menggunakan metode *Concept Screening* dan *Concept Scoring* berdasarkan metode yang dikemukakan oleh Ulrich dan Eppinger. Metode tersebut digunakan untuk mengevaluasi setiap alternatif konsep secara sistematis

berdasarkan beberapa kriteria perancangan sehingga diperoleh konsep yang paling sesuai untuk dikembangkan menjadi prototipe.

Concept screening

Tahap Concept Screening merupakan proses penyaringan awal terhadap alternatif konsep menggunakan metode perbandingan relatif (*Pugh Concept Selection*). Pada tahap ini, salah satu konsep ditetapkan sebagai konsep acuan (reference concept), kemudian konsep lainnya dibandingkan terhadap konsep acuan berdasarkan beberapa kriteria perancangan. Penilaian dilakukan menggunakan simbol (+), (0), dan (-). Simbol (+) menunjukkan bahwa konsep yang dibandingkan memiliki performa lebih baik dibandingkan konsep acuan pada kriteria tertentu, simbol (0) menunjukkan kinerja yang setara, sedangkan simbol (-) menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibandingkan konsep acuan.

Pada penelitian ini, konsep yang menggunakan air motor ditetapkan sebagai konsep acuan karena secara teoritis lebih sesuai untuk aplikasi pada lingkungan yang berpotensi mengandung uap bahan bakar. Selanjutnya, konsep menggunakan motor bor listrik dibandingkan terhadap konsep acuan berdasarkan beberapa kriteria yang meliputi aspek keselamatan, kemudahan manufaktur, kemudahan perakitan, kemudahan perawatan, biaya, kemudahan pengoperasian, serta kebutuhan udara (*air consumption*).

Tabel 4. *Concept screening*

Selection Kriteria	Konsep 1 (Air motor)	Konsep 2 (Motor bor Listrik)
Safety	0	–
Air consumption	0	+
Ease Of Manufacture	0	+
Ease Of Assembly	0	+
Ease Of Maintenance	0	+
Cost	0	+
Ease Of Operation	0	+
Sum (+)	0	6
Sum (0)	7	1
Sum (-)	0	1

Net Score	0	5
Rank	0	1
Continue?		Yes

Berdasarkan hasil *Concept screening*, konsep menggunakan motor bor listrik memperoleh nilai bersih (*net score*) yang lebih tinggi dibandingkan konsep acuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsep motor bor memiliki keunggulan pada beberapa aspek, seperti kemudahan manufaktur, kemudahan perakitan, biaya, serta tidak memerlukan suplai udara bertekanan sebagai sistem penggerak. Oleh karena itu, konsep tersebut dipilih untuk dievaluasi lebih lanjut menggunakan metode *concept scoring*.

Concept scoring

Tahap berikutnya adalah *Concept scoring*, yaitu proses evaluasi secara kuantitatif terhadap alternatif konsep yang telah lolos tahap *concept screening*. Berbeda dengan tahap sebelumnya yang hanya menggunakan simbol perbandingan, pada *concept scoring* setiap kriteria diberikan bobot (*weight*) sesuai tingkat kepentingannya terhadap tujuan perancangan, kemudian masing-masing konsep diberikan rating berdasarkan hasil evaluasi teknis. Nilai akhir diperoleh dari hasil perkalian antara bobot dan rating pada setiap kriteria, kemudian dijumlahkan sehingga diperoleh total *weighted score*.

Bobot yang digunakan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan tingkat pengaruh masing-masing kriteria terhadap keberhasilan perancangan alat. Sementara itu, nilai rating diberikan berdasarkan hasil evaluasi terhadap karakteristik teknis setiap konsep. Semakin tinggi nilai *weighted score*, maka semakin baik konsep tersebut dalam memenuhi kebutuhan perancangan.

Tabel 5 *Concept scoring*

Selection kriteria	Weight	Air Motor rating	Air motor score	Motor bor rating	Motor bor score
Safety	20	5	1.00	3	0.60
Air consumption	20	2	0.40	5	1.00
Ease of manufacture	15	3	0.45	5	0.75
Ease of assembly	15	3	0.45	5	0.75

Ease of maintenance	10	3	0.30	5	0.50
Cost	10	2	0.20	4	0.40
Ease of operation	10	3	0.30	5	0.50
Total			3.10		4.50

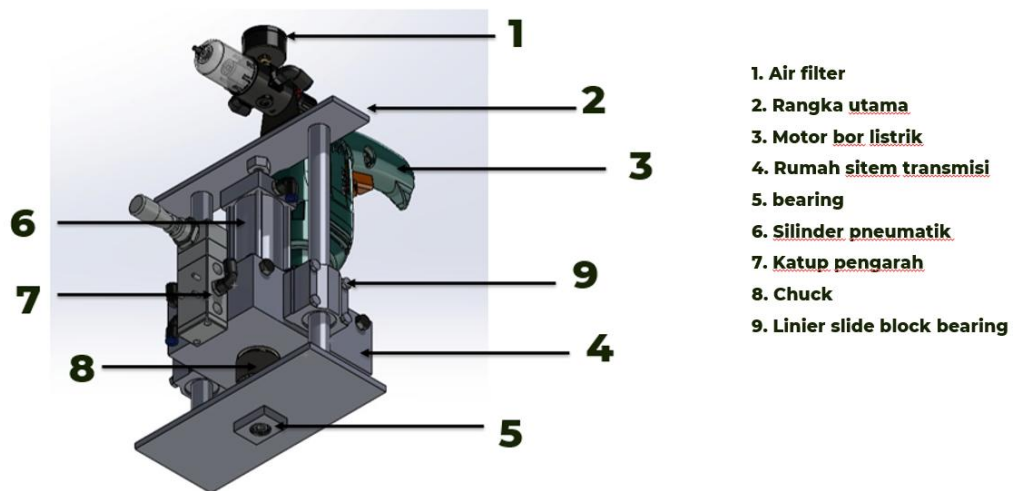
Berdasarkan hasil *concept scoring*, konsep menggunakan motor bor listrik memperoleh total *weighted score* yang lebih tinggi dibandingkan konsep menggunakan air motor. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsep motor bor lebih sesuai dengan kebutuhan penelitian, khususnya pada tahap pengembangan prototipe skala laboratorium. Penggunaan motor bor menghasilkan sistem pemutar yang lebih stabil serta tidak bergantung pada suplai udara bertekanan, sehingga udara dari kompresor dapat difokuskan untuk mengoperasikan sistem penekan pneumatik.

Meskipun demikian, penggunaan motor bor listrik pada penelitian ini hanya diterapkan sebagai sistem penggerak untuk pengembangan prototipe dan penentuan parameter proses. Apabila alat dikembangkan untuk aplikasi pada proses perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar, penggunaan air motor tetap lebih direkomendasikan karena memiliki tingkat keselamatan yang lebih tinggi pada lingkungan yang berpotensi mengandung uap bahan bakar.

B. Penentuan komponen pada alat *friction welding portable*.

Setelah konsep perancangan ditetapkan, tahap selanjutnya adalah menentukan komponen yang akan digunakan pada alat *friction welding portable*. Pemilihan komponen dilakukan berdasarkan kebutuhan fungsi masing-masing sistem, kemudahan memperoleh komponen di pasaran, kemudahan proses manufaktur, serta kesesuaian dengan konsep perancangan yang telah disusun. Komponen yang digunakan terdiri atas komponen standar yang tersedia di pasaran dan komponen hasil manufaktur yang dibuat sesuai kebutuhan desain.

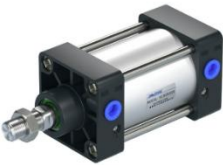
Gambar 24. Menunjukkan hasil perancangan tiga dimensi (*assembly*) alat *friction welding portable*. Model *assembly* digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antar komponen sehingga posisi pemasangan, kesesuaian dimensi, dan mekanisme kerja setiap sistem dapat dianalisis sebelum proses manufaktur dilakukan. Selain itu, model ini juga menjadi acuan dalam proses pembuatan dan perakitan alat.



Gambar 24. *Assembly alat friction welding portable*

Komponen yang digunakan terdiri atas komponen standar yang tersedia di pasaran dan komponen hasil manufaktur yang dibuat sesuai kebutuhan desain.

Tabel 6. Komponen standar

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Air Filter Regulator		AFC 2000, maksimal tekanan 1,5 Mpa	1
2	Katup Pengarah Pneumatik		Model 4H210-08 Pressure 0.15-0.8 Mpa	1
3	Silinder Penumatik		Type SC40X25	1
4	Selang Pneumatik		Diameter 6 dan 8 mm	2

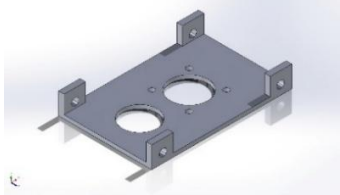
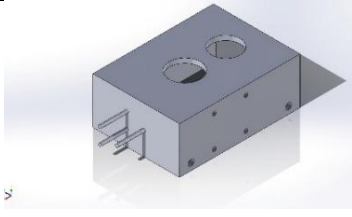
No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
5	Fitting Pneumatik		Diameter 6 dan 8 mm	7
6	Motor Bor Listrik		450 W	1
7	Bearing		6301,6203 dan 608	5
8	Chuck Bor		Kapasitas 1–13 mm	1
9	Baut dan Mur		M10,M8,M6,M4,M13	19
10	Linear slide block bearing		SCS20UU, 20mm	2
11	Coupler		Ph20	1

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
12	Kompresor		Bertekanan 180 psi	1
13	Gear rasio Mio J		Jumlah gigi 41, diameter luar 78 mm, tebal 12 mm, diameter lubang tengah 13 mm	1
14	Pinion Rasio Mio J		Panjang poros 70 mm, diameter poros 13 mm, jumlah gigi 19, diameter luar roda gigi 17 mm, tebal roda gigi 2 mm	1
15	Poros Rasio Mio J		Panjang total 70 mm, diameter dudukan bearing 12 mm, diameter dudukan roda gigi 15 mm, diameter dudukan chuck 12 mm, diameter terbesar 15 mm	1

Komponen standar dipilih karena memiliki spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan alat, mudah diperoleh di pasaran, serta mempermudah proses perawatan maupun penggantian apabila terjadi kerusakan. Namun demikian, tidak seluruh kebutuhan perancangan dapat dipenuhi oleh komponen standar. Oleh karena itu, beberapa komponen dirancang dan dibuat secara khusus agar sesuai dengan konfigurasi alat yang telah direncanakan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Komponen manufaktur

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi
1	Rangka		Dimensi alas 232 mm × 130 mm × 6 mm, guide shaft diameter 20 mm, panjang 316 mm, jumlah 2 buah, material alas baja dan guide shaft stainless steel

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi
2	Tutup Rumah sistem transmisi		Dimensi 153 mm × 113 mm × 25 mm, tebal plat 6 mm, diameter dudukan bearing besar 40 mm, diameter dudukan bearing kecil 37 mm, material baja
3	Rumah sistem transmisi		150 mm × 115 mm × 60 mm, t = 8 mm, Ø40 mm, Ø37 mm
4	Tutup base		232 mm × 42 mm × 8 mm, Ø13 mm, baut M6

Berdasarkan hasil identifikasi komponen, diperoleh kombinasi antara komponen standar dan komponen hasil manufaktur yang saling terintegrasi dalam satu sistem. Komponen standar digunakan untuk meningkatkan kemudahan pengadaan dan efisiensi proses perakitan, sedangkan komponen hasil manufaktur dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks agar sesuai dengan konfigurasi alat yang telah ditetapkan. Seluruh komponen tersebut kemudian menjadi dasar dalam penyusunan gambar teknik yang dibahas pada subbab berikutnya.

Perhitungan rasio transmisi

Berdasarkan parameter proses yang digunakan pada penelitian ini, putaran kerja sistem pemutar direncanakan sebesar 1400 rpm, sedangkan tekanan kerja sistem pneumatik ditetapkan sebesar 65 psi. Parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi komponen utama sehingga alat yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan proses *friction welding*. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan sederhana terhadap sistem transmisi dan sistem penekan sebagai dasar dalam pemilihan komponen. Perhitungan rasio transmisi mengacu pada teori elemen mesin[18].

Rasio transmisi roda gigi dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (1)$$

Keterangan:

i = Rasio Transmisi

Z_1 = Jumlah gigi roda gigi penggerak

Z_2 = Jumlah gigi roda gigi yang digerakkan

Diketahui:

$Z_1 = 19$ gigi

$Z_2 = 41$ gigi

Sehingga diperoleh:

$$i = \frac{41}{19}$$

$$i = 2,16$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rasio transmisi sebesar 2,16:1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem transmisi mampu mereduksi putaran sebesar 2,16 kali dari putaran poros penggerak menuju poros keluaran.

Perhitungan kebutuhan putaran motor

Setelah rasio transmisi diketahui, dilakukan perhitungan kebutuhan putaran motor sebagai dasar dalam pemilihan motor penggerak[18]. Hubungan antara putaran motor dan putaran poros keluaran dinyatakan pada Persamaan (2).

$$n_1 = n_2 \times i \quad (2)$$

Keterangan:

n_1 = Putaran roda gigi penggerak (rpm)

n_2 = Putaran roda gigi yang digerakkan (rpm)

i = Rasio transmisi

Target putaran keluaran:

$$n_2 = 1400 \text{ rpm}$$

Rasio transmisi:

$$i = 2,16$$

Sehingga diperoleh:

$$n_1 = 1400 \text{ rpm} \times 2,16$$

$$n_1 = 3024 \text{ rpm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa sistem membutuhkan putaran motor sekitar 3024 rpm agar menghasilkan putaran keluaran mendekati 1400 rpm. Oleh karena itu dipilih motor bor listrik 450 W dengan putaran maksimum 4000 rpm, karena masih mampu memenuhi kebutuhan putaran tersebut setelah diteruskan melalui sistem transmisi roda gigi.

Perhitungan gaya tekan silinder pneumatik

Sistem penekan dirancang menggunakan tekanan kerja sebesar 65 psi. Untuk mengetahui kemampuan silinder pneumatik dalam menghasilkan gaya tekan, dilakukan perhitungan berdasarkan luas penampang piston dan tekanan kerja sistem pneumatik[16].

Luas penampang piston dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$A = \frac{(\pi d^2)}{4} \quad (3)$$

Keterangan:

A = Luas penampang piston (m^2)

d = diameter piston (m)

Diketahui:

Diameter piston:

$$d = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh:

$$A = \frac{3,14(0,04^2)}{4}$$

$$A = 0,001256 \text{ m}^2$$

Selanjutnya gaya tekan silinder dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$F = P \times A \quad (4)$$

Keterangan:

F = gaya tekan (N)

P = tekanan kerja (Pa)

A = luas penampang piston (m^2)

Tekanan kerja:

$$P = 65 \text{ psi}$$

Konversi tekanan:

$$P = 448.159 \text{ Pa}$$

Sehingga diperoleh:

$$F = 448.159 \text{ Pa} \times 0,001256 \text{ m}^2$$

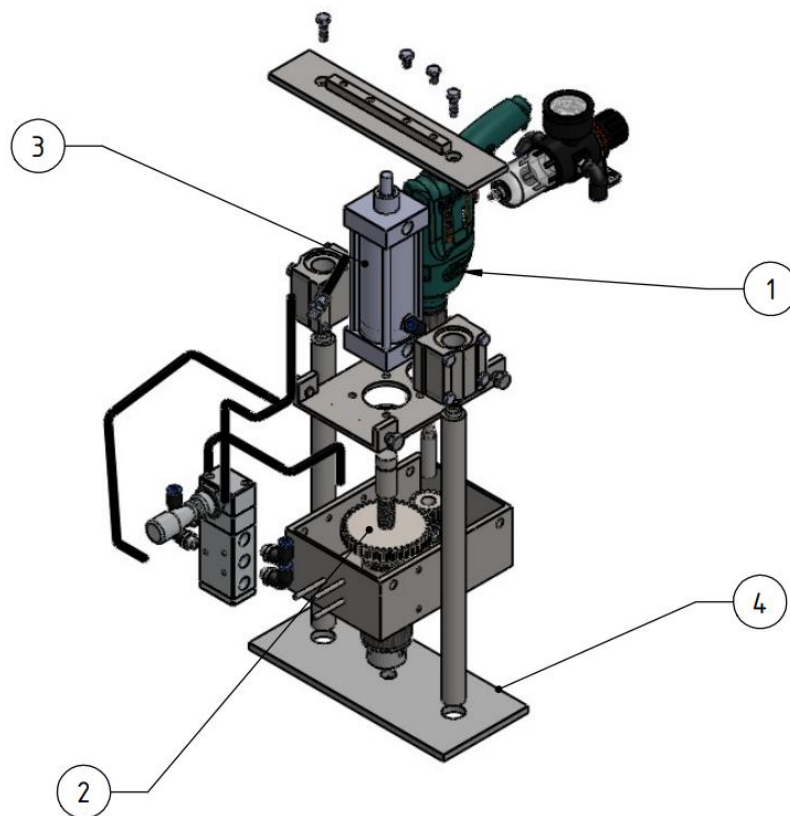
$$F = 562,9 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa silinder pneumatik tipe SC40×25 mampu menghasilkan gaya tekan teoritis sebesar 562,9 N pada tekanan kerja 65 psi. Oleh karena itu, silinder tersebut dipilih sebagai sistem penekan karena mampu memenuhi kebutuhan gaya tekan pada proses *friction welding* yang dirancang.

C. Gambar teknik

Setelah komponen penyusun alat ditentukan, tahap selanjutnya adalah menyusun gambar teknik sebagai acuan dalam proses manufaktur. Gambar teknik dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks Penyusunan gambar teknik bertujuan agar setiap komponen dapat diproduksi sesuai dengan hasil perancangan sehingga mempermudah proses perakitan serta mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan manufaktur. Pembuatan Gambar Teknik ini hanya pada rangka dan *gearbox*.

Pada penelitian ini, pembuatan gambar teknik difokuskan pada rangka dan gearbox sebagai komponen utama alat. Gambar teknik tersebut digunakan sebagai pedoman dalam proses manufaktur agar komponen yang dibuat sesuai dengan hasil perancangan. Selain itu, gambar teknik juga membantu dalam proses perakitan karena memberikan acuan mengenai dimensi dan posisi pemasangan masing-masing komponen, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan selama proses manufaktur dan perakitan. Dengan adanya gambar teknik yang terstruktur, proses manufaktur dan perakitan dapat dilakukan secara lebih terarah serta mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pembuatan maupun pemasangan komponen.



Gambar 25. Model *assembly* alat *friction welding portable*

Model *assembly* alat *friction welding portable* menunjukkan hubungan antar komponen penyusun alat secara keseluruhan. Melalui gambar ini dapat diketahui posisi pemasangan setiap komponen serta keterkaitan antara sistem pemutar, sistem transmisi, sistem penekan, dan struktur penopang sehingga mempermudah proses perakitan alat.

Gambar teknik pada rumah sistem transmisi

Rumah sistem transmisi yang berfungsi sebagaiudukan poros, bearing, dan roda gigi. Pada gambar teknik ditampilkan dimensi utama, posisi lubang pemasangan bearing, serta dimensi lubang baut yang digunakan sebagai acuan proses pemesinan. Gambar Teknik pada gearbox dapat dilihat pada Gambar 26.

Gambar teknik pada rangka

Rangka utama merupakan struktur yang menopang seluruh komponen alat. Gambar teknik memuat dimensi keseluruhan rangka, posisi lubang baut, serta ukuran setiap bagian sehingga proses pemotongan, pengeboran, dan pengelasan dapat dilakukan sesuai desain. Gambar Teknik pada rangka dapat dilihat pada Gambar 27.

2. Pembuatan komponen pada alat *friction welding portable*.

Setelah gambar teknik selesai disusun, tahap berikutnya adalah proses pembuatan komponen sesuai dengan hasil perancangan. Seluruh komponen dibuat berdasarkan dimensi pada gambar teknik menggunakan berbagai proses manufaktur di laboratorium, kemudian dirakit menjadi satu kesatuan alat *friction welding portable*. Proses pembuatan dilakukan secara bertahap sesuai karakteristik masing-masing komponen.

A. Pembuatan rangka

Rangka merupakan struktur utama yang berfungsi menopang seluruh komponen penyusun alat *friction welding portable*. Pembuatan rangka dilakukan berdasarkan gambar teknik yang telah disusun pada tahap perancangan sehingga dimensi dan posisi setiap komponen dapat sesuai dengan hasil desain.



Gambar 28. Proses pembuatan rangka

Tabel 8. Dimensi utama rangka

Parameter	Nilai
Material	Baja, stainless steel
Panjang	250 x 232mm
Lebar	47 x 65mm
Tinggi	322mm

Pembuatan rangka diawali dengan proses pemotongan material sesuai ukuran pada gambar teknik. Material kemudian diproses menggunakan mesin frais dan mesin bor untuk menghasilkan dimensi serta posisi lubang sesuai hasil perancangan. Selanjutnya dilakukan proses pengelasan untuk menyatukan setiap bagian rangka sehingga membentuk konstruksi yang utuh. Setelah proses pengelasan selesai, permukaan sambungan dirapikan menggunakan gerinda agar hasil manufaktur lebih rapi dan siap digunakan pada proses perakitan.

B. Pembuatan rumah sistem transmisi

Rumah sistem transmisi merupakan komponen yang berfungsi sebagai rumah sistem transmisi dan tempat pemasangan poros, bearing, serta roda gigi. Dimensinya ditentukan berdasarkan kebutuhan ruang pemasangan komponen transmisi sehingga seluruh komponen dapat terpasang dengan presisi.

Tabel 9. Dimensi utama rumah sistem transmisi

Parameter	Nilai
Material	Baja
Panjang	150mm
Lebar	119mm
Tinggi	60mm
Diameter dudukan bearing	Ø40 mm
Jumlah lubang baut	4

Pembuatan rumah sistem transmisi dilakukan melalui proses pengefraisan untuk membentuk dimensi utama serta dudukan bearing sesuai gambar teknik. Selanjutnya dilakukan proses pengeboran guna menghasilkan lubang baut dan lubang pemasangan komponen transmisi. Ketelitian proses pemesinan diperlukan untuk menjaga kesesuaian posisi setiap komponen sehingga sistem transmisi dapat bekerja sesuai dengan rancangan.



Gambar 29. Proses pembuatan rumah sistem transmisi

3. Perakitan pada alat *friction welding portable*

Setelah seluruh komponen utama selesai diproduksi, tahap berikutnya adalah proses perakitan alat *friction welding portable*. Perakitan dilakukan berdasarkan gambar *assembly* yang telah disusun pada tahap perancangan sehingga setiap komponen dapat dipasang sesuai dengan posisi dan fungsinya. Tahap ini bertujuan membentuk satu kesatuan sistem yang mampu bekerja sesuai dengan konsep desain yang telah ditetapkan.

A. Perakitan sistem pemutar

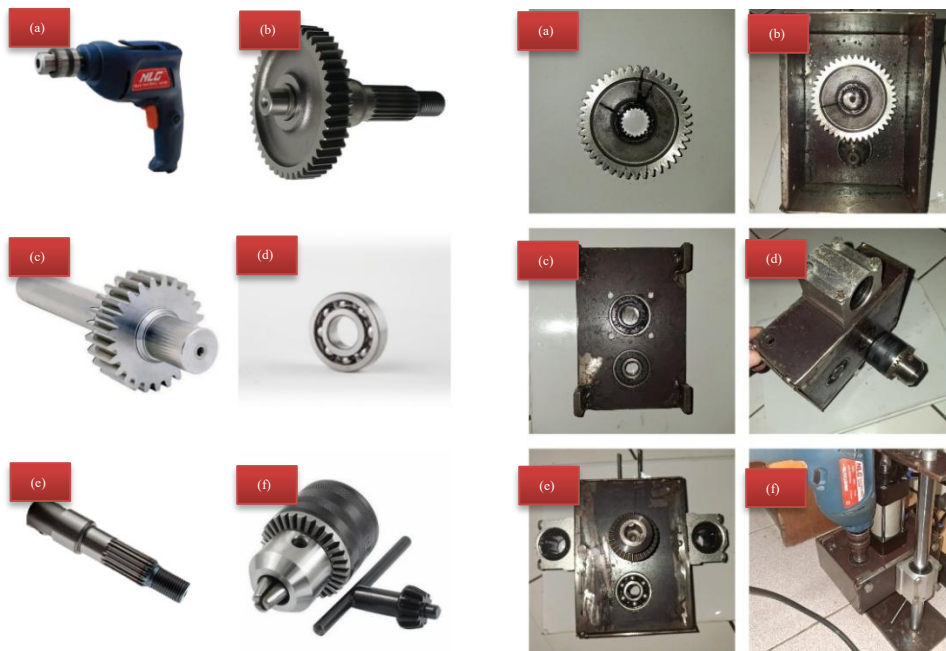
Perakitan diawali dengan pemasangan sistem pemutar yang terdiri atas motor bor listrik beserta dudukannya. Motor dipasang pada rangka menggunakanudukan yang telah dirancang sehingga posisi sumbu putar sejajar dengan poros input gearbox. Selanjutnya chuck dipasang pada poros keluaran motor sebagai penghubung menuju sistem transmisi. Perakitan sistem pemutar bisa dilihat pada gambar 30.

B. Perakitan sistem penekan

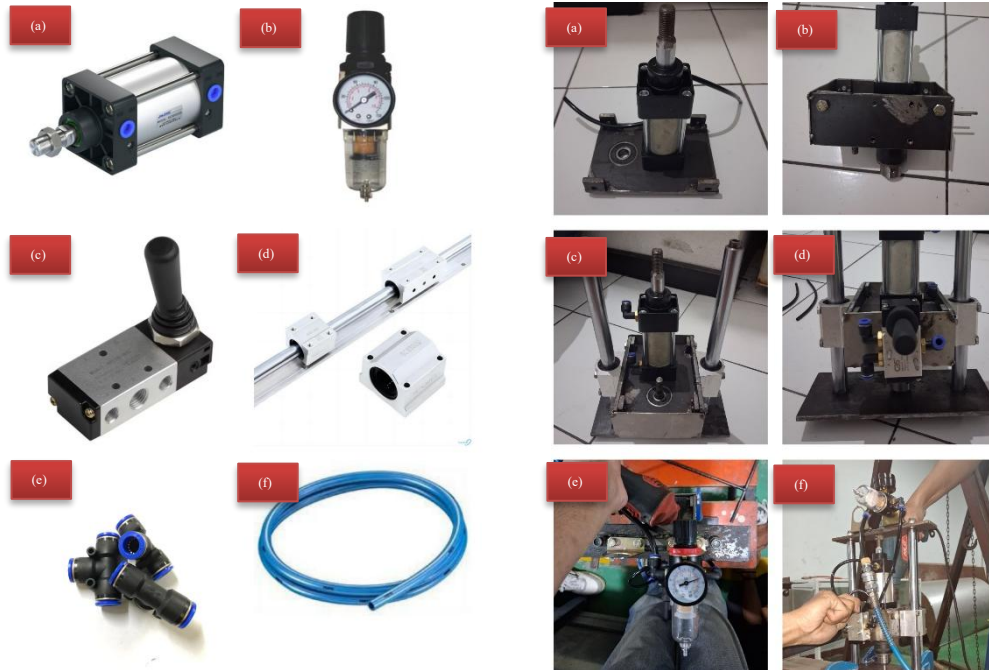
Pemasangan sistem penekan yang terdiri atas silinder pneumatik beserta dudukannya. Silinder dipasang pada rangka menggunakan baut pengikat sehingga posisi sumbu silinder sejajar dengan arah gerak poros. Perakitan sistem penekan bisa dilihat pada gambar 31.

C. Perakitan keseluruhan alat

Tahap akhir perakitan dilakukan dengan menggabungkan seluruh sub-sistem pada rangka utama sehingga membentuk alat friction welding portable secara utuh. Gearbox dipasang sebagai sistem transmisi, motor bor dipasang sebagai sumber putaran, dan sistem pneumatik dipasang sebagai mekanisme penekanan. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan pemeriksaan terhadap kekencangan baut, keselarasan posisi komponen, kelancaran putaran poros, serta fungsi gerak sistem penekan. Perakitan keseluruhan alat bisa dilihat pada gambar 32.



Gambar 30. Perakitan sistem pemutar



Gambar 31. Perakitan sistem penekan



Gambar 32. Perakitan keseluruhan alat

Berdasarkan proses perakitan yang telah dilakukan, alat *friction welding portable* berhasil dirakit menjadi satu kesatuan sistem yang terdiri atas sistem pemutar, sistem transmisi, sistem penekan, dan struktur penopang. Hasil pemeriksaan awal menunjukkan

bahwa seluruh komponen telah terpasang sesuai dengan gambar *assembly*, sehingga alat siap digunakan pada tahap pengujian fungsional.

4. Pengujian fungsi pada alat *friction welding portable*

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja *friction welding portable* yang telah dirancang dan diproduksi. Pengujian bertujuan untuk memverifikasi bahwa sistem pemutar dan sistem penekan mampu bekerja sesuai dengan parameter perancangan, yaitu menghasilkan putaran keluaran mendekati 1400 rpm dan tekanan kerja sistem pneumatik sebesar 65 psi. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dapat berfungsi dengan baik setelah proses perakitan selesai.



Gambar 33. Alat *friction welding portable* yang telah selesai dirakit

A. Prosedur pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pemutar dan sistem penekan pada alat *friction welding portable*. Sebelum pengujian dilakukan, seluruh komponen diperiksa kembali untuk memastikan tidak terdapat baut yang longgar, komponen yang bergeser, maupun gangguan pada sistem transmisi dan sistem pneumatik.

Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan alat *friction welding portable* yang telah selesai dirakit.
- b. Menghubungkan motor bor listrik dengan sumber listrik.
- c. Menghubungkan sistem pneumatik dengan kompresor melalui *air filter regulator*.
- d. Mengatur tekanan udara menggunakan regulator hingga mencapai 65 psi.
- e. Menjalankan motor bor sehingga putaran diteruskan menuju poros keluaran melalui sistem transmisi roda gigi.
- f. Mengukur putaran poros keluaran menggunakan *stroboscope*
- g. Mengamati gerakan silinder pneumatik selama proses penekanan.
- h. Mendokumentasikan hasil pengukuran putaran dan tekanan sebagai data hasil pengujian.

B. Hasil pengujian fungsi

Pengujian dilakukan terhadap parameter utama yang telah ditetapkan pada tahap perancangan, yaitu putaran sistem pemutar dan tekanan kerja sistem pneumatik. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian fungsi alat

Parameter	Target perancangan	Hasil pengujian	Keterangan
Putaran poros keluran	1400 rpm	1340 rpm	Berfungsi dengan baik
Tekanan kerja sistem pneumatik	65 psi	65 psi	Sesuai perancangan

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa putaran poros keluaran yang diukur menggunakan *stroboscope* sebesar 1340 rpm. Nilai tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan target perancangan sebesar 1400 rpm, dengan selisih sekitar 60 rpm atau 6,4%. Selisih tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima mengingat adanya karakteristik motor listrik, toleransi manufaktur komponen, serta kondisi operasi saat pengujian berlangsung. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 34.

Pada sistem penekan, tekanan kerja sebesar 65 psi berhasil dicapai dan dipertahankan selama proses pengujian menggunakan *air filter regulator*. Pada tekanan tersebut, silinder pneumatik tipe SC40×25 mampu menghasilkan gerakan penekanan secara stabil sehingga sistem penekan dapat bekerja sesuai dengan parameter yang telah dirancang. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 34.



Gambar 34. Hasil pengujian menunjukkan putaran 1340 rpm dan tekanan 65 psi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat *friction welding portable* yang telah dirancang mampu beroperasi sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Sistem transmisi roda gigi berhasil menghasilkan putaran poros keluaran sebesar 1340 rpm, yang mendekati target perancangan sebesar 1400 rpm. Perbedaan putaran sebesar 90 rpm menunjukkan bahwa sistem pemutar mampu bekerja dengan baik sehingga dapat digunakan sebagai sumber putaran pada proses *friction welding*.

Sistem penekan juga menunjukkan kinerja yang baik. Tekanan kerja sebesar 65 psi dapat dipertahankan selama proses pengujian sehingga silinder pneumatik mampu menghasilkan gerakan penekanan secara stabil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan silinder pneumatik tipe SC40×25 telah sesuai dengan kebutuhan sistem penekan yang dirancang pada alat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa komponen utama yang dipilih pada tahap perancangan telah mampu memenuhi kebutuhan sistem pemutar dan sistem penekan. Dengan demikian, alat *friction welding portable* yang telah dibuat dapat beroperasi sesuai dengan parameter perancangan dan siap digunakan sebagai media penelitian pada tahap selanjutnya.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan posisi alat secara vertikal. Pemilihan posisi tersebut bertujuan untuk mempermudah proses pemasangan spesimen, pengamatan kinerja sistem pemutar dan sistem penekan, serta pengukuran parameter pengujian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, manufaktur, perakitan, dan pengujian alat *friction welding portable*, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- a. Telah berhasil dirancang dan dibuat alat *friction welding portable* yang terdiri atas sistem pemutar, sistem penekan pneumatik, rangka, dan sistem transmisi roda gigi. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, kemudian direalisasikan melalui proses manufaktur dan perakitan sehingga menghasilkan alat yang sesuai dengan konsep perancangan.
- b. Pemilihan komponen utama dilakukan berdasarkan kebutuhan parameter proses, yaitu putaran kerja sebesar 1400 rpm dan tekanan kerja sistem pneumatik sebesar 65 psi. Berdasarkan hasil perhitungan perancangan, dipilih motor bor listrik 450 W, sistem transmisi roda gigi dengan rasio 2,16 : 1, serta silinder pneumatik tipe SC40×25 yang mampu memenuhi kebutuhan sistem pemutar dan sistem penekan.
- c. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu beroperasi dengan baik. Sistem pemutar menghasilkan putaran poros keluaran sebesar 1340 rpm, sedangkan sistem penekan bekerja stabil pada tekanan 65 psi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat yang telah dirancang mampu memenuhi fungsi dasar sesuai dengan parameter perancangan sehingga layak digunakan sebagai media penelitian pada proses *friction welding*.

2. Saran

- a. Pengujian alat dapat dikembangkan pada kondisi operasi yang lebih mendekati aplikasi sebenarnya, seperti pada posisi horizontal atau pada media yang menyerupai tangki timbun bahan bakar.
- b. Sistem penggerak pada alat dapat dikembangkan kembali dengan menggunakan air motor sebagai penggerak utama sesuai dengan konsep awal perancangan,
- c. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menyempurnakan desain alat agar lebih ringkas, mudah dipindahkan, dan lebih fleksibel saat digunakan pada berbagai posisi kerja sehingga mendukung penerapan alat pada proses perbaikan kebocoran tangki timbun bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Lestari, dan Warid Nurdiansyah Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, and F. Kesehatan Masyarakat, “Potensi bahaya kebakaran dan ledakan pada tangki timbun bahan bakar minyak (bbm) jenis premium,” 2007.
- [2] M. A. G. , B. P. , & M. C. Milazzo, “Penilaian risiko perforasi untuk tangki penyimpanan atmosfer yang mengandung pelarut,” *Transaksi Teknik Kimia*, vol. 86, pp. 259–264, 2021, doi: 10.3303/CET2186044.
- [3] W. Widjaja Basuki *et al.*, “Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin *Friction Stir Welding* pada Paduan Aluminium 6061 dan HDPE menggunakan Mesin Frais,” vol. 10, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.25170/cylinder.v10i1.5497>.
- [4] F. Ahmad Mir, N. Zaman Khan, A. Noor Siddiquee, and S. Parvez, “*Friction based solid state welding – A review*,” *Mater. Today Proc.*, vol. 62, pp. 55–62, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.457.
- [5] I. Kurniawan, M. Nurhilal, and D. Prabowo, “Rancang bangun mesin *friction welding* untuk pengelasan baja st 37 dengan diameter maksimal ½ inch,” 2022.
- [6] F. Muhammad, M. Bastomi, and H. A. S, “Rancang bangun alat bantu tekan berbasis hidrolik pada proses pengelasan gesek,” *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 3, pp. 256–263, Dec. 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i3.417.
- [7] G. Darmawan, “Rancang bangun *rotary type friction welding machine*,” Universitas Pasundan, Bandung., 2020.
- [8] A. Setiawan *et al.*, “Analisis ketebalan dinding pelat dan sisa umur pada tangki 11-15000 kl di PT. Pertamina Patra Niaga integrated terminal wayame kota ambon,” *Journal Mechanical Engineering (JME)*, vol. 1, no. 3, p. 2023, Dec. 2023.
- [9] B. Pristyawan and M. Amin, “Prediksi umur pakai material ASTM A283 grade c sebagai tangki timbun bahan bakar pertalite menggunakan metode NDT *prediction of lifetime of ASTM A283 grade c material as a pertalite fuel storage tank using ndt methods*,” 2024.
- [10] R. W. R. Puji Astuti Ibrahim, “analisa laju korosi tangki T-03 kapasitas 35000 m3 di perusahaan x,” vol. 4, 2019.

- [11] R. Alida *et al.*, “*The determination of storage tank usage time through the data analysis of ultrasonic thickness calculation result on tank TEP-028 at jemenang collecting station of pt pertamina ep asset 2 limau field,*” 2020.
- [12] M. M. A. Miranda Yofan, “Analisa perbedaan temperatur pada material baja karbon rendah S355JO terhadap distorsi pada penelasan SMAW,” vol. 9, 2018.
- [13] A. Sunar Baskoro, D. Ubaszti Putra, and dan Dominggus Benhur Rumbiak, “*The effect of welding parameters on microstructure in dissimilar welding of stainless steel 316l and structural steel on gas metal arc welding (gmaw),*” 2019.
- [14] Arifin Amir, *Pengantar Teknologi Pengelasan*, vol. 13. 2024. Accessed: Jun. 11, 2026. [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/143347/1/Buku%20Ajar-Pengantar%20Teknologi%20Pengelasan>
- [15] A. Sunardi, M. Mariyana, A. Gamayel, M. N. Mohammed, and M. Zaenudin, “*Design & development of friction welding machine based on lathe machine,*” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Nov. 2022. doi: 10.1063/5.0106341.
- [16] F. E. P. Croser, *Pneumatics*. 2002. Accessed: Jun. 11, 2026. [Online]. Available: <https://repositori.mypolycc.edu.my/jspui/bitstream/123456789/5320/1/Pneumatics%20basic%20level%20by%20Festo%20Didactic%20%28z-lib.org%29.pdf>
- [17] A. S. M. D. Sakuri, “Industri sistem pneumatik,” 2024.
- [18] Sularso dan K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2004.

LAMPIRAN

1. Pengujian *friction welding*



2. Jadwal kegiatan

No	Kegiatan	WAKTU KEGIATAN																							
		2025				2026																			
		Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Judul																								
2	Identifikasi Masalah																								
3	Studi Literatur																								
4	Set Up Alat Experimen																								
5	Seminar Usulan Proposal																								
6	Melakukan <i>pretrial</i>																								
7	Pembuatan alat																								
8	Pengujian kinerja alat																								
9	Pengujian kekuatan torsi																								
10	pengujian keras																								
11	Pengamatan struktur mikro																								
12	Pengolahan Data																								
13	Penulisan laporan																								
14	Seminar Tugas Akhir																								
15	Sidang Tugas Akhir																								

3. Anggaran kegiatan

No	Alat dan bahan	Volume	Satuan	Unit cost (Rp)	Jumlah
1	Kunci torsi	1	Buah	Rp 106.950,00	Rp 106.950,00
2	Material baja karbon	1	Meter	Rp30.000,00	Rp 30.000,00
3	Amplas	6	Lembar	Rp3.000,00	Rp 18.000,00
4	Pressure gauge	2	Buah	Rp110.000,00	Rp 220.000,00
5	Selang angin	10	Meter	Rp13.000,00	Rp 130.000,00
6	Air motor	1	Buah	Rp270.000,00	Rp 270.000,00
7	Actuator	1	Buah	Rp310.000,00	Rp 310.000,00
8	Roda gigi	2	Buah	Rp150.000,00	Rp 300.000,00
9	Pengatur tekanan	1	Buah	Rp100.000,00	Rp 100.000,00
10	Plat baja	1	Lembar	Rp200.000,00	Rp 200.000,00
11	Resin	1	Liter	Rp122.000,00	Rp 122.000,00
12	Pengujian metalografi	4	Sampel	Rp150.000,00	Rp 600.000,00
13	Jasa bubut	1	Komponen	Rp130.000,00	Rp 130.000,00
14	Selang kang	1	Meter	Rp17.730,00	Rp 17.730,00
15	Slip lock Y	1	Buah	Rp8.520,00	Rp 8.520,00
16	Kawat las	10	Batang	Rp1.000,00	Rp 10.000,00
17	Bearing	1	Buah	Rp14.000,00	Rp 14.000,00
18	Mur & baut	6	Buah	Rp2.000,00	Rp 12.000,00
19	Mata pahat	1	Buah	Rp170.000,00	Rp 170.000,00
20	Mata milling	1	Buah	Rp310.000,00	Rp 310.000,00
21	Nepel L & Y	4	Buah	Rp5.000,00	Rp 20.000,00
22	Stemplet	1	Buah	Rp7.000,00	Rp 7.000,00
Jumlah					Rp3.106.200,00

8 7 6 5 4 3 2 1

F F

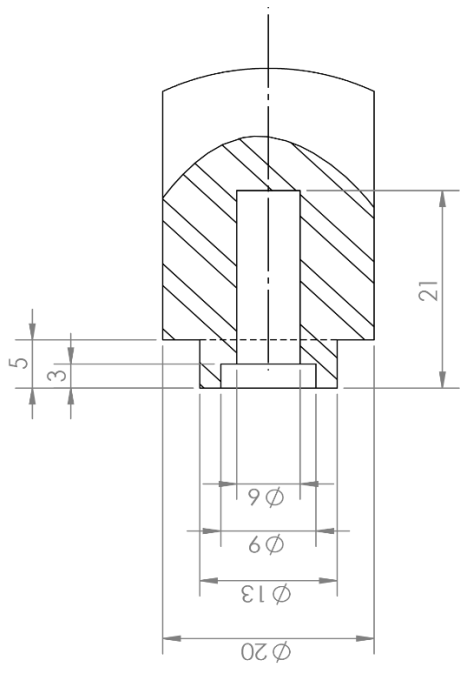
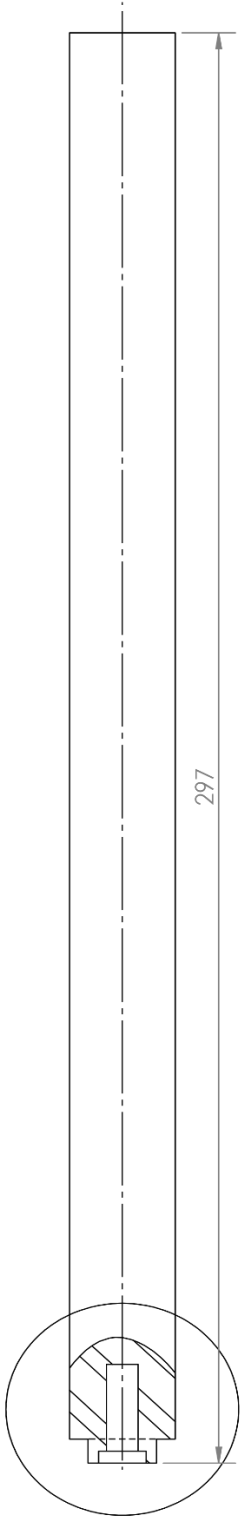
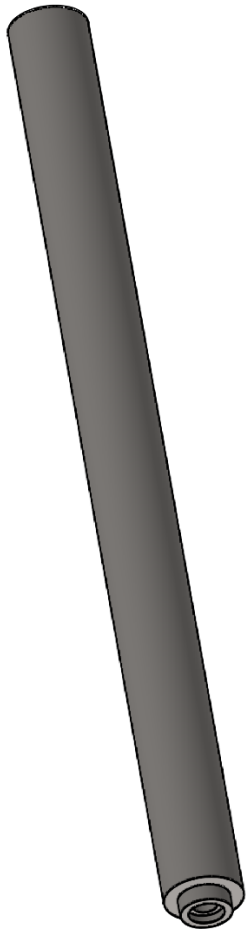
E E

D D

C C

B B

A A

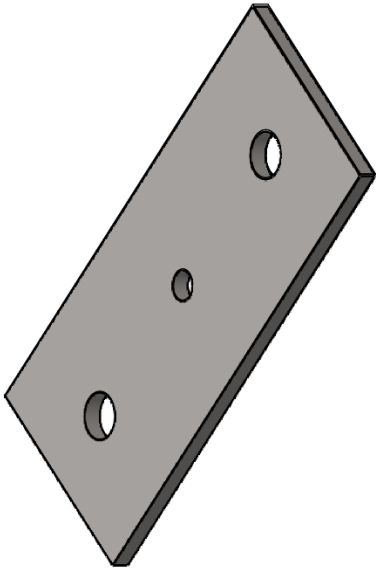
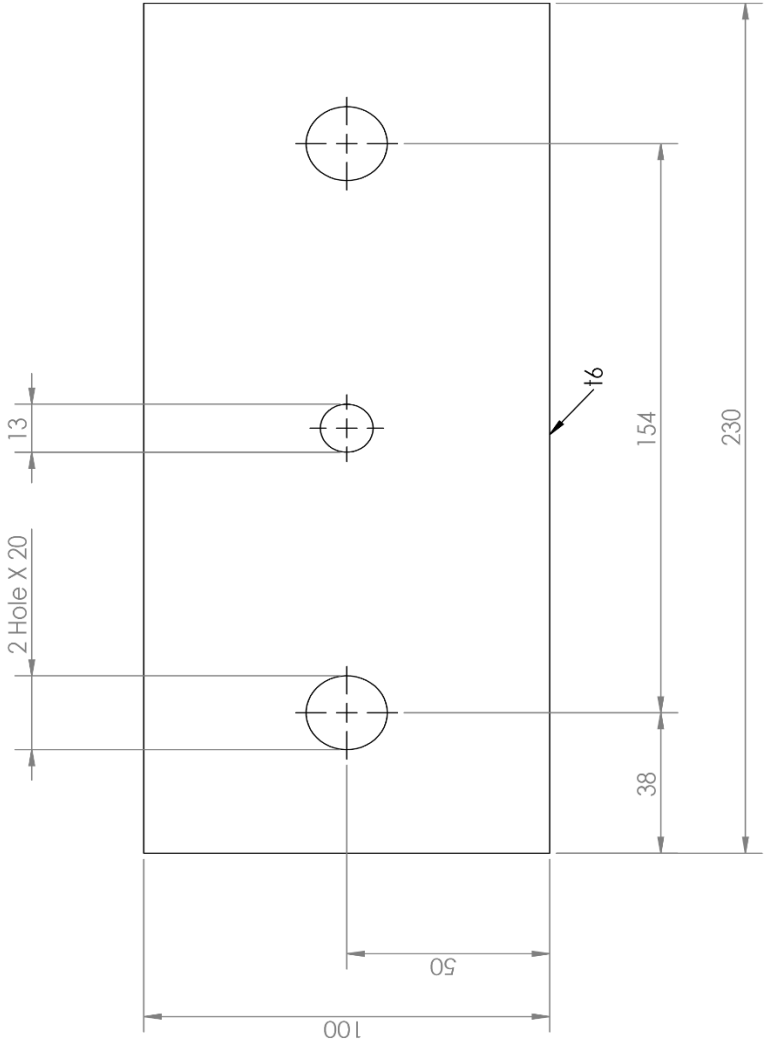


DETAIL A
SCALE 2 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONAL DECIMAL ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:			
DRAWN											
CHK'D											
APP'D											
MFG											
Q.A											

8 7 6 5 4 3 2 1

F F E D C B A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	

8 7 6 5 4 3 2 1

F

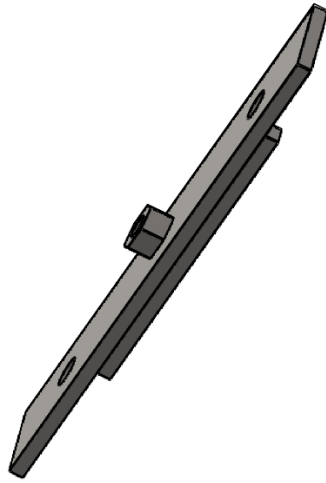
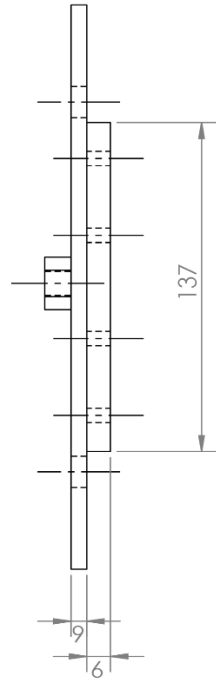
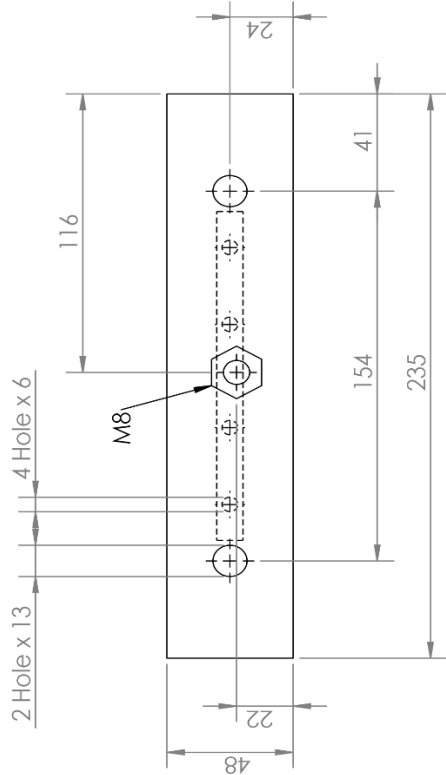
E

D

C

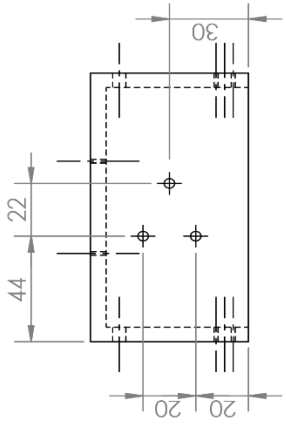
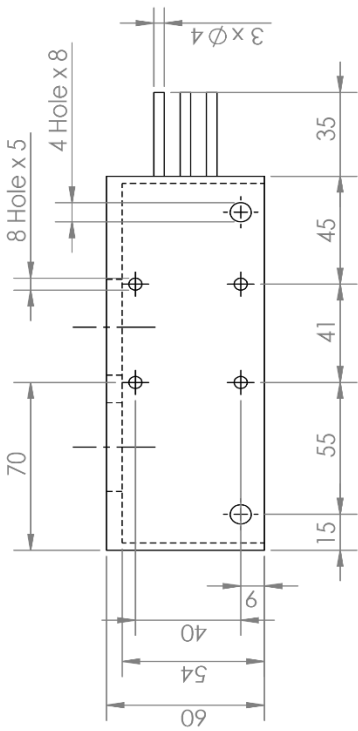
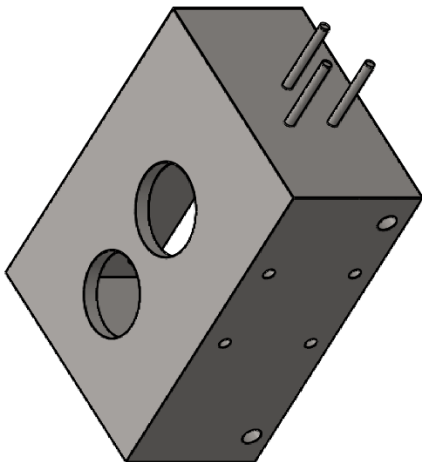
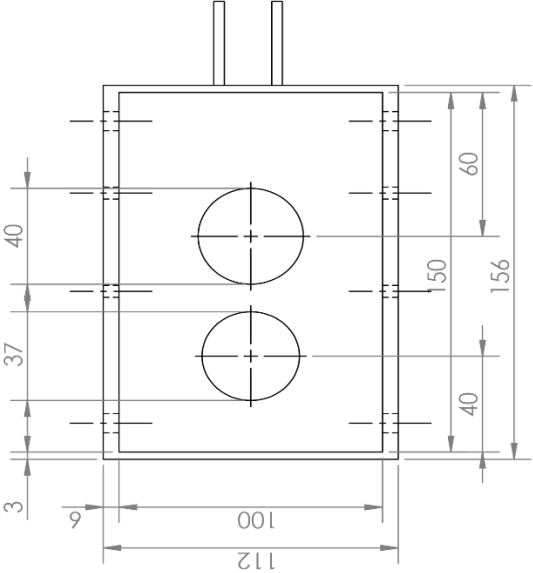
B

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:		Base rangka			
DRAWN											
CHK'D											
APP'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		18	
										A3	
										SHEET 1 OF 1	
						WEIGHT:		SCALE: 1:2			

8 7 6 5 4 3 2 1



F

E

D

C

B

A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SIGNATURE	DATE								
DRAWN										
CHECKD										
APPROVD										
MFG										
Q.A										

8 7 6 5 4 3 2 1

F

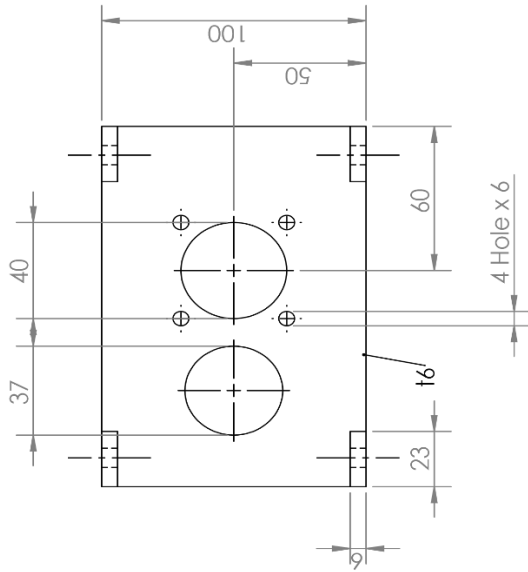
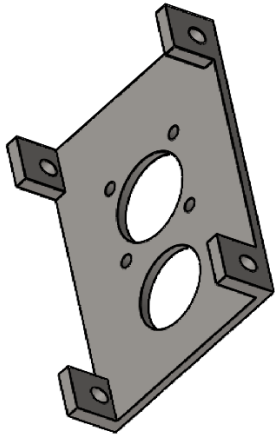
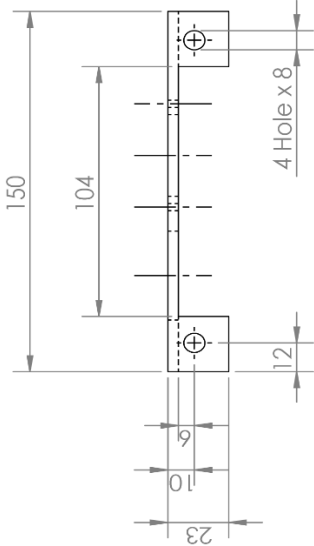
E

D

C

B

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES:				SURFACE FINISH:							
TYPICAL:				HARDNESS:							
ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE							
DRAWN											
CHKD											
APP'D											
MFG											
Q.A											
				MATERIAL:		DWG NO.		17		A3	