

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUJI FATIK BAUT ORTOPEDI MEDIS
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PAHL AND BEITS***

Skripsi

Oleh

**NIZAR RAHMAT YUDISTIRA
2015021084**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUJI FATIK BAUT ORTOPEDI MEDIS
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PAHL AND BEITS***

Oleh

Nizar Rahmat Yudistira

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT PENGUJI FATIK BAUT ORTOPEDI MEDIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PAHL AND BEITS*

Oleh:

NIZAR RAHMAT YUDISTIRA

Baut ortopedi merupakan komponen medis yang bekerja di bawah beban berulang selama masa pemakaian di dalam tubuh manusia, sehingga memiliki risiko kegagalan akibat fatik. Untuk menjamin keandalan dan keselamatan penggunaannya, diperlukan alat uji yang mampu mensimulasikan kondisi pembebanan tersebut secara representatif. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat uji fatik baut ortopedi medis dengan menerapkan metode perancangan Pahl and Beitz. Proses perancangan diawali dengan klarifikasi tugas dan analisis kebutuhan, dilanjutkan dengan tahap perancangan konseptual, perancangan wujud, dan perancangan detail. Beberapa alternatif desain dikembangkan dan dievaluasi berdasarkan kriteria teknis, mekanis, kemudahan perakitan, stabilitas struktur, serta efisiensi sistem penggerak dan mekanisme pemukul. Evaluasi dilakukan menggunakan metode penilaian berbobot untuk menentukan desain paling optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain ketiga memiliki performa terbaik dengan struktur rangka yang lebih kaku, mekanisme pemukul yang stabil dan terkalibrasi, serta sistem transmisi gaya yang mampu menghasilkan pembebanan berulang secara konsisten. Rancangan akhir divisualisasikan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak CAD untuk memastikan kesesuaian fungsi, kekuatan, dan keselamatan operasional. Alat uji fatik yang dirancang diharapkan dapat menjadi solusi atas keterbatasan fasilitas pengujian yang ada, serta mendukung kegiatan penelitian dan praktikum terkait pengujian fatik baut ortopedi di laboratorium teknik mesin.

Kata Kunci Fatik, Baut Ortopedi, Alat Uji Fatik, Rancang Bangun, Metode *Pahl And Beitz*.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A FATIGUE TESTING MACHINE FOR MEDICAL ORTHOPEDIC SCREWS USING THE PAHL AND BEITZ METHOD

By;

NIZAR RAHMAT YUDISTIRA

Orthopedic screws are medical components that operate under repeated loading during their service life in the human body, making them susceptible to fatigue failure. To ensure their reliability and safety, a testing device capable of realistically simulating such loading conditions is required. This study aims to design and develop a fatigue testing machine for medical orthopedic screws using the Pahl and Beitz design methodology. The design process begins with task clarification and requirement analysis, followed by conceptual design, embodiment design, and detailed design stages. Several design alternatives are generated and evaluated based on technical and mechanical criteria, including structural stability, impact mechanism performance, ease of assembly, maintenance efficiency, and force transmission effectiveness. A weighted evaluation method is applied to determine the most optimal design. The results show that the third design alternative provides the best overall performance, featuring a more rigid frame structure, a stable and calibrated impact mechanism, and a force transmission system capable of delivering consistent cyclic loading. The final design is modeled and analyzed using CAD software to verify functional suitability, structural integrity, and operational safety. The developed fatigue testing machine is expected to overcome existing laboratory limitations and support research and educational activities related to fatigue testing of orthopedic screws in mechanical engineering laboratories.

Keywords: *Fatigue, Orthopedic Screw, Fatigue Testing Machine, Design And Development, Pahl And Beitz Method.*

Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Penguji Fatik Baut Ortopedi
Medis Dengan Menggunakan Metode Pahl And
Beits
Nama : Nizar Rahmat Yudistira
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021084
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing Pembimbing 2



**Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T.,
M.T., Ph.D.**
NIP. 197108171998021003



Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197004121997031006

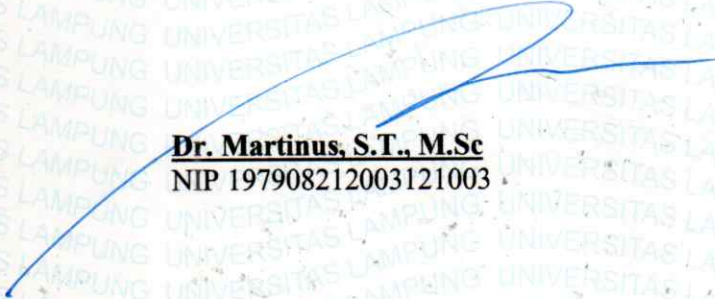
MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T., M.T
NIP 197408162000121001



Dr. Martinus, S.T., M.Sc
NIP 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D**



Anggota Penguji : **Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D.**



Penguji Utama : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin., M.T**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **28 Januari 2026**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Skripsi dengan judul “RANCANG BANGUN ALAT PENGUJI FATIK BAUT ORTOPEDI MEDIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PAHL AND BEITS*” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 9 Februari 2026

Penulis,



NIZAR RAHMAT YUDISTIRA
NPM.2015021084

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Seputih Mataram, Lampung Tengah pada 27 Maret 2002. Penulis adalah anak Pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak M. Efendi Yusuf dan Ibu Sumarni.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDS 1 Gula Putih Mataram yang diselesaikan pada tahun 2014. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Gula Putih Mataram yang diselesaikan pada tahun 2017. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMA Sugar Group dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada Tahun 2023 di Universitas Lampung penulis melaksanakan Kerja Praktik pada PT. Lajuperdana Indah serta ikut berkontribusi dalam pelaksanaan perawatan alat panen *combine harvester* di workshop mengambil penelitian dengan judul “Analisis Faktor Keausan Pisau Base Cutter Sugarcane Harvester Akibat Pengaruh Curah Hujan Selama Satu Tahun di PT. Lajuperdana Indah” dan juga ikut andil dalam pelaksanaan panen. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Puralaksana, Kecamatan Way Tenong, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung pada periode 1 tahun 2023. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), penulis menyusun skripsi yang Berjudul “Rancang Bangun Alat Penguji Fatik Baut Ortopedi Medis Dengan Menggunakan Metode Pahl And Beits” dengan bimbingan Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D. pada tahun 2025

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirahiim

Segala puji syukur penulis panjatkan hanya kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan kasih sayang nya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri yang telah berjuang dan berusaha bahwa saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas perjuangannya.

Saya persembahkan juga skripsi ini kepada kedua orang tua serta adik saya yang selalu mendukung, berjuang, dan berkorban untuk diri saya. Terimakasih atas semua kepercayaan, doa dan dukungannya baik berupa moril maupun materi yang kalian berikan.

Serta untuk semua orang yang telah menyayangiku dan berjalan bersamaku, dan untuk teman-teman yang telah berbagi keluh kesah serta suka dan duka selama perkuliahan ini. Terimakasih untuk semuanya.

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta bimbingan-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Alat Penguji Fatik Baut Ortopedi Medis Dengan Menggunakan Metode Pahl And Beits” Skripsi yang disusun ini memiliki tujuan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan Tugas Akhir bagi mahasiswa program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik.
2. Bapak Dr. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arah dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas kesabaran, ilmu, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah mengarahkan dan membimbing, meluangkan waktu untuk memberikan ilmu pengetahuan dan wawasan selama penelitian berlangsung hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin., M.T. selaku dosen penguji skripsi, terimakasih atas kritik dan saran yang ibu sampaikan sehingga dapat menjadi masukan dan membantu saya untuk menyelesaikan penelitian dan laporan skripsi ini.

6. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met., selaku dosen pembimbing akademik.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas ilmu pengetahuan yang telah disampaikan.
8. Pemimpin PT. Lajuperdana Indah terutama Bapak Beinarso Benny Sampurno dan Bapak Andreas serta rekan kerja yang telah membantu penelitian.
9. Kepada orang tua, adik, dan kerabat yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas dukungannya.

Semoga skripsi ini dapat menjadi sumber referensi dalam meningkatkan ilmu pengetahuan bagi pembaca. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan atau kekurangan dalam pelaksanaan dan penulisan. Demikian yang dapat penulis sampaikan, atas perhatian semua pihak dan kontribusinya penulis ucapkan terimakasih.

Bandar Lampung, 9 Februari 2026

Nizar Rahmat Yudistira

DAFTAR ISI

SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fatik	6
2.2 Alat Uji Fatik	8
2.3 Rancang Bangun	12
2.4 CAD (Computer Aided Design)	13
2.5 Tahapan Rancangan	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Lokasi Penelitian	16
3.2 Waktu Penelitian	16
3.3 Tahapan Penelitian	16
3.4 Peralatan Penelitian	17
3.5 Tahap Rancang Penelitian	17
3.6 Diagram Alir Penelitian	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Perbandingan Geometri dan Struktur Rangka	26
4.2 Perbandingan Mekanisme Pemukul	29

4.3	Perbandingan Sistem Penggerak dan Transmisi Gaya	34
4.4	Perbandingan Stabilitas Dudukan Spesimen dan Sistem Penjepitan	37
4.5	Perbandingan Respons Pembebanan (Simulasi dan Estimasi Mekanis)	41
4.6	Perbandingan Efisiensi Perakitan dan Perawatan Mekanis	46
4.7	Pemilihan Desain Akhir berdasarkan Metode Evaluasi Berbobot	48
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
	DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Simulasi Fatik.....	6
Gambar 2 Alat Uji Fatik Rotari – Bending	9
Gambar 3 Alat Uji Fatik Aksial.....	10
Gambar 4 Alat Uji Fatik Torsi.....	10
Gambar 5 Alat Uji Fatik Kombinasi.....	11
Gambar 6 Alat Uji Fatik Resonansi	12
Gambar 7 Software Solidworks.....	17
Gambar 8 Diagram Alir Perancangan.....	18
Gambar 9 Desain 1	22
Gambar 10 Desain 2.....	22
Gambar 11 Desain 3.....	22
Gambar 12 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 13. Desain 1 Alat Uji Fatik Baut Ortopedi	27
Gambar 14 Desain 2 Alat Uji Fatik Baut Ortopedi	27
Gambar 15 Desain 3 Alat Uji Fatik Baut ortopedi	28
Gambar 16. Mekanisme Pemukul Desain 1	31
Gambar 17 Mekanisme Pemukul Desain 2	32
Gambar 18 Mekanisme Pemukul Desain 3	33
Gambar 19 Dudukan dan Sistem Penjepitan Desain 1	38
Gambar 20 Dudukan dan Sistem Penjepitan Desain 2	38
Gambar 21 Dudukan dan Sistem Penjepitan Desain 3	39
Gambar 22 Tangkapan layar Simulasi Desain 1	42
Gambar 23 Tangkapan Layar Simulasi Desain 3	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan Tiap Desain	26
Tabel 2 Perbandingan Sistem Penggerak dan Transmisi Gaya	30
Tabel 3 Perbandingan Sistem Penggerak dan Transmisi Gaya	35
Tabel 4 Perbandingan Sistem Dudukan dan Penjepitan Spesimen	40
Tabel 5 Perbandingan Efisiensi Perakitan dan Perawatan	47
Tabel 6 Hasil Evaluasi Akhir Penilaian Berbobot	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Uji fatik pada baut merupakan salah satu langkah penting dalam memastikan keandalan komponen mesin. Baut, sebagai elemen pengikat, seringkali mengalami beban berulang yang dapat menyebabkan retakan mikroskopis dan akhirnya patah. Fenomena *fatigue* ini menjadi perhatian utama dalam industri karena kegagalan baut dapat berakibat fatal, terutama pada struktur yang kritis seperti jembatan, pesawat terbang, dan peralatan industri berat. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai perilaku fatik baut sangat krusial dalam merancang dan mengevaluasi ketahanan suatu struktur (Bhimadi et al., 2020).

Baut ortopedi adalah alat medis umum yang digunakan untuk mengobati patah tulang. Baut dapat digunakan secara mandiri atau dengan plat fixasi, sehingga mempercepat proses perawatan pasien (Ibrahim & Firmansyah, 2023). Baut ini dapat memberikan tekanan yang dibutuhkan untuk mendekatkan tulang yang rusak. Geometri sekrup, lokasinya, dan kekuatan yang diterima selama aktivitas sehari-hari dapat menyebabkan respons biologis yang berbeda dari tulang. Oleh karena itu, berdasarkan pengalaman, dokter bedah harus memilih sekrup yang paling aman dan ideal. Untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi, baut yang digunakan untuk menyambung tulang harus bersifat kuat dan tahan beban berulang.

Baut ortopedi kortikal ini merupakan jenis implan yang umum digunakan dalam prosedur bedah ortopedi untuk memperbaiki tulang yang mengalami fraktur atau patah tulang. Baut ini dirancang khusus untuk menempel pada bagian tulang yang padat atau kortikal. Bagian kortikal tulang ini memiliki

struktur yang lebih keras dan padat dibandingkan dengan bagian dalam tulang (kanselus). Baut kortikal biasanya memiliki ulir yang lebih rapat dan tajam dibandingkan dengan baut kanselus. Hal ini memungkinkan baut mencengkeram dengan kuat pada tulang kortikal dan memberikan stabilitas yang lebih baik pada fiksasi tulang. Baut kortikal sering digunakan pada tulang panjang seperti *femur*, *tibia*, dan *humerus*.

Ketahanan pada baut dapat diketahui melalui proses pengujian mekanik yang dilakukan untuk menentukan ketahanan suatu baut terhadap beban berulang atau siklik. Beban berulang ini dapat berupa tegangan tarik-tekan, lentur, atau torsi yang diterapkan secara berulang-ulang. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa banyak siklus beban yang dapat ditahan oleh baut sebelum terjadi retak atau patah. Fenomena patah akibat beban berulang ini dikenal sebagai kelelahan atau fatik (Budiyanto et al., 2018).

Penelitian tentang rancang bangun alat uji fatik sudah dilakukan oleh Maryadi dan Hakim (2022), dengan jenis alat uji fatik *rotary bending*. Alat uji fatik tersebut memberikan beban secara berulang namun beban yang diberikan menempel pada benda uji. Dalam penelitian Musapour (2024), dijelaskan bahwa dalam pengujian baut kortikal dan kanselus menggunakan metode uji fatik namun untuk alat uji berupa alat eskperimental. Dalam kedua penelitian itu, sama-sama dilakukan uji fatik namun dengan jenis pengujian yang berbeda.

Berkaitan dengan hal tersebut, di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, alat uji fatik yang tersedia belum mampu digunakan untuk pengujian dengan metode pembebanan *bending*. Keterbatasan ini mendorong perlunya perancangan alat uji baru yang dapat mensimulasikan beban berulang pada baut ortopedi melalui mekanisme pukulan terarah dan berulang pada titik yang sama. Dengan demikian, rancang bangun alat uji fatik baut ortopedi yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan data yang lebih representatif terhadap kondisi beban sebenarnya, serta menjadi solusi atas keterbatasan fasilitas pengujian di laboratorium..

Penelitian sejenis telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan metode yang berbeda dan pada objek yang tidak sama. Penelitian tentang rancang bangun alat pengujian fatik baut ortopedi dengan metode *Pahl and Beits* telah dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung. Oleh karena itu, Rancang Bangun Alat Pengujian Fatik Baut Ortopedi dengan Metode *Pahl and Beits* perlu dirancang dan dibangun untuk mensimulasikan uji fatik dengan pendekatan metode yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang bangun alat penguji baut ortopedi dengan metode Pahl and Beitz?
- b. Apakah alat penguji baut ortopedi dapat mensimulasikan uji fatik pada baut ortopedi dengan sempurna?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Gerakan pembenanan dilakukan dengan metode pembebanan bending dengan sumber gaya horizontal.
- b. Beban yang diberikan pada waktu simulasi secara konsisten.
- c. Hasil yang diukur adalah apakah hasil desain dapat digunakan untuk melakukan uji fatik yang diinginkan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Menerapkan metode *Pahl and Beits* untuk merancang alat uji fatik baut ortopedi.
- b. Mensimulasikan uji fatik dengan menggunakan rancang bangun alat uji fatik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Sebagai referensi ilmiah bagi mahasiswa dan peneliti yang akan melakukan studi lanjutan terkait perancangan alat uji mekanik, khususnya alat uji fatik untuk komponen ortopedi.
- b. Menjadi solusi alternatif terhadap keterbatasan alat uji fatik yang tersedia, khususnya untuk pengujian dengan metode pembebanan berulang aksial
- c. Menjadi dasar rancangan pengembangan alat uji fatik yang lebih efisien, akurat, dan aman dalam proses pengujian material.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penyusunan skripsi adalah sebagai berikut:

I PENDAHULUAN

Berisi penjelasan topik penelitian, latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi studi literatur, landasan teori dan penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang sedang dilakukan seperti fatik, alat uji fatik, rancang bangun, CAD, dan teori perancangan.

III METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian. Adapun metode-metode yang digunakan adalah perancangan alat uji fatik baut ortopedi, fase perencanaan dan penjabaran, fase preancangan konseptual, fase perancangan bentuk mesin, fase perancangan detail.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan penelitian yang dilakukan. Pada bagian hasil, dipaparkan secara sistematis hasil yang dicapai dalam penelitian. Sedangkan pada bagian pembahasan, memuat proses pengolahan data yang telah dikumpulkan dalam proses penelitian.

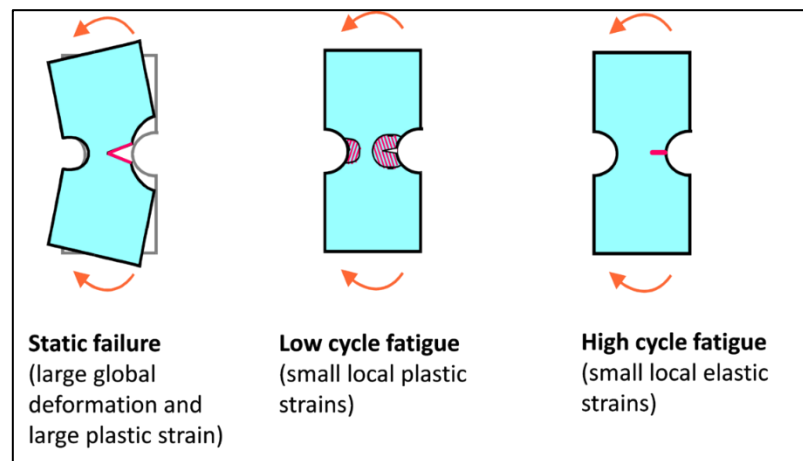
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari seluruh proses rangkaian penelitian dan juga saran untuk penelitian yang dapat dikembangkan pada masa mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fatik

Kelelahan diartikan sebagai proses perubahan struktur permanen dimana itu progresif dan terlokalisasi terhadap suatu kondisi akibat tegangan dan regangan. Progresif mengacu pada proses kelelahan yang terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama penggunaan. Terlokalisasi berarti proses kelelahan beroperasi secara lokal daerah yang memiliki tegangan dan regangan tinggi akibat pengaruh beban luar. Ini juga bisa disebabkan oleh perubahan geometri, perubahan suhu, dan tegangan sisa (Prasetyo et al., 2023).



Gambar 1 Simulasi Fatik

Sumber: (Prasetyo et al., 2023)

Kelelahan adalah kegagalan material atau mesin karena adanya tegangan yang berulang atau fluktuasi pada bagian mesin untuk beberapa kali. Kegagalan ini dimulai dengan sedikit retakan. Kegagalan ini sangat kecil sehingga perlu menggunakan alat *X-ray* untuk mendeteksinya. Retakan kecil ini akan berkembang menjadi retakan yang besar, lubang, maupun takikan. Tidak

seperti kegagalan lainnya, kegagalan *fatigue* terjadi secara tiba-tiba, sehingga sangat berbahaya untuk pengguna sebuah produk (Yasin et al. 2023).

Serangkaian kegagalan yang terjadi di atas disebabkan karena kegagalan *fatigue* atau kelelahan. Kemudian ketahanan terhadap beban berulang menjadi salah satu fokus utama dan juga syarat dalam perancangan. *Fatigue* adalah suatu sifat mekanik bahan yang dapat diketahui setelah melalui serangkaian uji coba. *Fatigue failure* biasanya akan bermula dari sebuah retakan kecil akibat beban berulang-ulang, lalu retakan itu akan merambat perlahan ke daerah tertentu hingga mengalami patah (Wardianto, 2022)

Setelah banyaknya kegagalan yang terjadi, maka fokus kepada ketahanan fatik menjadi yang utama. Seiring berjalannya waktu, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sudah semakin berkembang, maka diharapkan pengujian *fatigue* menjadi lebih baik. Hingga saat ini, sudah sangat banyak pengembangan alat untuk pengujian *fatigue* (Pratowo dan Apriansyah. 2016) Dengan adanya alat uji *fatigue* ini, diharapkan dapat memberikan informasi dengan jelas, lengkap, dan akurat, sehingga resiko kegagalan *fatigue* dapat diperkecil. Selain itu, pengujian *fatigue* selalu dilakukan semirip mungkin dengan kondisi riil. Beberapa jenis mesin uji *fatigue* adalah:

- a. Mesin uji fatik aksial (*Axial Fatigue Testing Machines*).
- b. Mesin uji fatik batang kantilever (*Cantilever-Beam fatigue Testing Machines*).
- c. Mesin fatik bengkok putar (*Rotating-Bending Fatigue Testing Machines*).
- d. Mesin fatik torsi bolak balik (*Reserved Torsion Fatigue Testing Machines*) (Dashpute & Shelar. 2021)

2.2 Alat Uji Fatik

Alat uji fatik adalah sebuah perangkat yang dirancang khusus untuk menguji kekuatan dan ketahanan suatu material atau komponen terhadap beban yang berulang-ulang. Bayangkan sebuah sendok yang terus-menerus ditekuk dan diluruskan; pada akhirnya, sendok tersebut akan patah. Alat uji fatik bekerja dengan prinsip yang sama, namun secara terkontrol dan terukur dalam lingkungan laboratorium (Maryadi & Hakim, 2022).

Secara sederhana, alat uji fatik memberikan beban berulang pada sebuah sampel material. Beban ini bisa berupa tarikan, tekanan, atau pun putaran. Selama proses pengujian, para peneliti akan mengamati perubahan yang terjadi pada sampel, seperti munculnya retakan kecil, pertumbuhan retak, hingga akhirnya sampel tersebut patah. Data yang diperoleh dari pengujian ini kemudian dianalisis untuk menentukan sifat fatik dari material tersebut (McAlorum et al. 2018).

Alat uji fatik diciptakan untuk mensimulasikan kondisi tersebut dalam lingkungan laboratorium. Alat ini akan memberikan beban berulang pada suatu material atau komponen dengan cara yang terkontrol. Beban ini bisa berupa tarikan, tekanan, lenturan, atau torsi yang diberikan secara berulang-ulang. Selama pengujian, benda uji akan diamati bagaimana material tersebut merespons beban tersebut. Apakah material tersebut mampu menahan beban berulang dalam jumlah yang banyak, atau justru dengan cepat mengalami kerusakan (Wicaksono, 2021).

Ada beberapa jenis alat uji fatik yang umum digunakan, di antaranya adalah mesin uji fatik rotasi-bending, mesin uji fatik aksial, dan mesin uji fatik torsi. Mesin uji fatik rotasi-bending memberikan tegangan siklik melalui pembengkokan berulang, sementara mesin uji fatik aksial memberikan tegangan siklik melalui tarikan dan tekanan berulang. Mesin uji fatik torsi memberikan tegangan siklik dalam bentuk puntiran (Zeng et al. 2024).

Jenis-jenis alat uji fatik bervariasi berdasarkan metode pembebanan yang diterapkan pada material atau komponen yang diuji. Berikut adalah beberapa jenis utama alat uji fatik yang digunakan dalam industri dan penelitian:

A. Mesin Uji Fatik Rotasi-*Bending*

Mesin uji fatik rotasi-bending adalah salah satu jenis yang paling umum digunakan. Dalam pengujian ini, spesimen material dipasang pada kedua ujung poros yang dapat berputar. Ketika poros tersebut berputar, spesimen mengalami pembengkokan siklikal secara berulang. Beban siklik ini menyebabkan tegangan maksimum terjadi di bagian luar spesimen dan minimum di bagian dalam, menciptakan pola pembengkokan yang berubah-ubah secara kontinu. Pengujian ini sering digunakan untuk menguji komponen yang mengalami pembengkokan berulang dalam aplikasi nyata, seperti poros, bilah kipas, atau komponen struktural dalam mesin (Ali et al. 2019).



Gambar 2 Alat Uji Fatik Rotari – *Bending*

Sumber: (Wicaksono, 2021)

B. Mesin Uji Fatik Aksial

Mesin uji fatik aksial dirancang untuk memberikan beban siklik dalam bentuk tarikan dan tekanan berulang yang diterapkan sejajar dengan sumbu spesimen. Spesimen ditempatkan dalam mesin dan ditarik atau ditekan

secara siklikal dengan amplitudo dan frekuensi tertentu. Jenis uji fatik ini cocok untuk menguji material yang mengalami tegangan siklikal aksial, seperti pada batang penghubung, baut, atau komponen struktural yang terbuat dari logam, plastik, atau komposit. Mesin ini sering digunakan untuk menentukan umur pakai material di bawah beban aksial berulang (Wahyono et al. 2020)



Gambar 3 Alat Uji Fatik Aksial
Sumber: (Adam & N S Dera, 2021)

C. Mesin Uji Fatik Torsi

Mesin uji fatik torsi mengaplikasikan beban puntiran atau torsi secara berulang pada spesimen. Dalam pengujian ini, spesimen diputar ke arah yang berlawanan secara siklikal, menciptakan tegangan puntir yang bervariasi di sepanjang material. Pengujian ini penting untuk material yang akan digunakan dalam aplikasi di mana puntiran berulang terjadi, seperti pada poros transmisi, as roda, dan bagian-bagian mesin yang mengalami torsi dalam operasi. Mesin ini memungkinkan penilaian ketahanan material terhadap kegagalan akibat tegangan puntir (Goanta. 2022).



Gambar 4 Alat Uji Fatik Torsi
Sumber: (Furqon et al., 2021)

D. Mesin Uji Fatik Kombinasi

Mesin uji fatik kombinasi mampu memberikan beban siklik dalam berbagai bentuk, seperti kombinasi antara tarikan, tekanan, torsi, dan pembengkokan. Alat ini dirancang untuk mensimulasikan kondisi pembebanan kompleks yang mungkin dialami oleh komponen dalam aplikasi nyata. Pengujian fatik kombinasi sangat penting dalam kedirgantaraan dan otomotif, di mana komponen sering kali mengalami berbagai jenis tegangan secara bersamaan. Misalnya, sayap pesawat atau komponen kendaraan yang mengalami pembebanan gabungan (Ogawa et al. 2019).

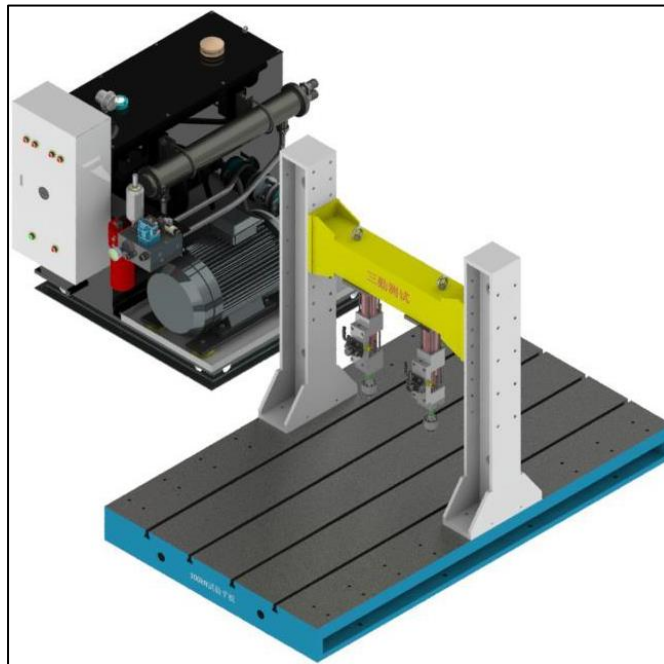


Gambar 5 Alat Uji Fatik Kombinasi
Sumber: (Amiruddin & Lubis, 2018)

E. Mesin Uji Fatik Resonansi

Mesin uji fatik resonansi menggunakan prinsip resonansi untuk menghasilkan tegangan siklik pada spesimen. Dalam mesin ini, spesimen digetarkan pada frekuensi resonansinya, yang menghasilkan amplitudo tegangan maksimum dengan input energi minimal. Uji fatik resonansi memungkinkan pengujian dengan frekuensi sangat tinggi, seringkali mencapai ribuan hingga jutaan siklus per detik. Mesin ini digunakan ketika dibutuhkan pengujian cepat untuk mengevaluasi umur fatik material dalam

waktu singkat, meskipun kondisi pengujian ini mungkin tidak sepenuhnya mewakili kondisi nyata (Wu et al. 2024).



Gambar 6 Alat Uji Fatik Resonansi

Sumber: (Wahyudi & Nugroho, 2014)

Setiap jenis alat uji fatik memiliki kelebihan dan kekurangan, tergantung pada aplikasi dan jenis material yang diuji. Pemilihan alat yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat dan relevan dengan kondisi operasional material atau komponen dalam penggunaan sebenarnya (Amiruddin & Lubis, 2018).

2.3 Rancang Bangun

Rancang bangun adalah proses sistematis yang melibatkan perencanaan, perancangan, dan pengembangan suatu produk, sistem, atau struktur. Proses ini dimulai dari tahap identifikasi masalah atau kebutuhan, dilanjutkan dengan pengumpulan data dan analisis, kemudian merancang solusi yang inovatif. Tahap selanjutnya adalah membuat desain rinci, melakukan simulasi, dan pembuatan prototipe. Setelah melalui serangkaian pengujian dan perbaikan, produk akhir yang fungsional dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan akan

dihasilkan. Rancang bangun tidak hanya melibatkan aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan faktor estetika, ergonomi, dan keberlanjutan (Appleton, 2008).

Pada buku Pengantar Perancangan Teknik, produk diperlukan oleh masyarakat dengan harapan hasil produksi tersebut dapat meringankan hidupnya, oleh karenanya perlu dilakukan perancangan sebagai tahap awal melakukan produksi. Setelah dilakukan tahap perancangan, proses selanjutnya adalah pembuatan produk. Seluruh kegiatan yang mencakup proses perancangan disebut sebagai fase, yang harus memiliki perbedaan antara proses satu dan lainnya. Perancangan lebih tepat disebut sebagai proses perancangan, karena merupakan deretan kegiatan yang berkesinambungan dari awal hingga akhir fase yang ada dalam perancangan tersebut. Secara garis besar, pembuatan produk dapat dibedakan menjadi dua proses pokok yaitu proses perancangan dan proses pembuatan. Deskripsi sebuah proses perancangan dapat meliputi fase-fase berikut, yaitu: identifikasi kebutuhan, penjabaran masalah, menyusun spesifikasi produk dan rencana pembuatan, pembuatan konsep produk, melakukan proses perancangan, penyusunan produk. Gambar hasil perancangan produk, meliputi seluruh komponen yang terdapat pada produk beserta geometrinya, ukuran, kekasaran permukaan, material, gambar rangkaian keseluruhan produk, keterangan gambar dan penjelasan spesifikasi yang tidak tertera pada gambar, *bill of material* (Kattimani et al. 2020).

2.4 CAD (*Computer Aided Design*)

CAD atau *Computer Aided Design* merupakan sebuah perangkat lunak yang memiliki fungsi untuk memudahkan manusia untuk menciptakan, rekayasa, analisis, dan optimasi desain. Semua program perangkat lunak pada komputer yang berfungsi untuk melakukan rekayasa dapat disebut juga dengan software CAD. Fungsi dasar dari CAD yaitu untuk membuat rancang bangun pada bagian mekanik, proses produksi, struktur arsitektur, dan lain lain. Dengan *software* CAD, memungkinkan untuk seluruh model dibangun dalam ruang imajiner, memungkinkan untuk divisualisasikan properti seperti tinggi, lebar,

jarak, bahan, atau warna sebelum model digunakan untuk aplikasi tertentu. Software CAD memungkinkan untuk memvisualisasikan objek 2D atau 3D dan membuat perubahan sebanyak yang dibutuhkan dengan lebih mudah daripada menggambarinya di atas kertas dengan pensil. Representasi digital dalam CAD sangat mirip dengan kehidupan nyata, menjadikannya akurat hingga level tertentu. Dengan CAD dapat menambahkan detail sebanyak yang dibutuhkan dengan banyak dan beragamnya alat gambar. Perangkat lunak CAD dapat membantu dengan cara yang sangat baik, meskipun tidak sempurna. Program CAD yang lebih canggih bahkan memungkinkan untuk menjalankan simulasi dan pengujian. Selain itu, memungkinkan untuk membawa desain digital ke dunia nyata dalam bentuk objek fisik dengan bantuan teknologi fabrikasi (Cruz et al., 2023)

2.5 Tahapan Rancangan

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Pada tahap perancangan tersebut dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan lain yang menyusulnya. Dalam melaksanakan tugas merancang, perancang memakai dan memanfaatkan ilmu dasar teknik, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi, yang semuanya dalam versi pengembangan dan kemajuan yang mutakhir (Pahl & Beitz, 1988).

Perancangan dan pembuatan produk adalah dua kegiatan manunggal. Artinya rancangan hasil kerja tidak ada gunanya jika rancangan tersebut tidak dibuat, sebaliknya pembuat tidak dapat merealisasikan benda teknik tanpa terlebih dahulu dibuat gambar rancangannya. Diambil kesimpulan bahwa gambar rancangan produk adalah hasil akhir perancangan, dan merupakan dasar atau titik awal pembuatan produk oleh pembuat produk. Dapat dinyatakan disini bahwa pembuatan atau penyusunan gambar rancangan produk oleh perancang dicapai melalui fase-fase dalam proses perancangan. (Mayda & Huseyin. 2014)

Proses perancangan memanfaatkan pengalaman dan pengetahuan tentang perancangan, serta semua pengetahuan yang terkait dengan produk dan pembuatan produk yang sedang dirancang. Dalam proses perancangan perlu adanya gambar teknik yang berfungsi sebagai media komunikasi efektif sehingga informasi lengkap tentang pembuatan peralatan dapat dipahami oleh pembuat. Disamping itu proses pembuatannya membutuhkan tahapan-tahapan pembuatan dari segi ide hingga menjadi sebuah mesin yang beroperasi (Nusyirwan. 2019).

Dalam proses perancangan banyak sekali model perancangan yang diajukan oleh para perancang, tetapi kebanyakan model yang lebih rumit sering mengaburkan tujuan utama dari perancangan dengan mencampurkan antara detail dari berbagai masalah dan aktivitas dalam melakukan pekerjaan rancangan. Salah satu model yang telah disempurnakan dikemukakan oleh *Pahl and Beitz*. Model ini berdasarkan pada tahap-tahap perhitungan sebagai berikut:

1. Klarifikasi dari masalah, mengumpulkan informasi tentang alat uji fatik sebagai referensi dan konsep yang akan diwujudkan dalam produk akhir dan juga mengumpulkan informasi tentang batasan masalah.
2. Membuat konsep perancangan (*Conceptual Design*), menetapkan cara kerja alat uji, penelitian untuk pemecahan masalah yang sesuai, penggabungan beberapa konsep yang akan dijadikan sebagai ide rancangan.
3. Perwujudan rancangan (*Embodiment Design*), dimulai dari konsep alat uji sesuai rujukan, membuat bentuk alat uji serta membuat produk atau sistem dengan pertimbangan teknik dan kemudahan.
4. Rincian rancangan (*Detailed Design*), penyusunan bentuk, dimensi dan sifat - sifat umum dari setiap komponen akhir yang berisi spesifikasi material, kelayakan teknik dan standar. Pemeriksaan kembali semua gambar dan dokumen produksi yang telah dihasilkan (Prasetyo et al. 2022)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian yang berjudul “ Rancang Bangun Alat Penguji Fatik Baut Ortopedi Medis Dengan Menggunakan Metode *Pahl and Beits*” dan melakukan uji rancang bangun setelah perancangan dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.2 Waktu Penelitian

Penelitian berlangsung 7 bulan, mulai dari 12 Juni 2025 hingga 15 Januari 2026

3.3 Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan selama penelitian ini adalah *reverse engineering* dan *Pahl and Beits* . Data yang diperlukan adalah rancang bangun dari alat uji serta metode yang dilakukan.

a. Sketsa Ukuran

Sketsa ukuran dari alat uji fatik diperlukan untuk menentukan ukuran dari alat uji yang akan disimulasikan agar bisa bekerja sesuai simulasi yang diinginkan serta diperlukan untuk spesimen uji agar bisa dilakukan pengujian di berbagai ukuran baut ortopedi.

b. Metode *Reverse Engineering*

Rancang bangun alat uji ini mengambil rancangan atau contoh dari berbagai sumber alat uji fatik yang ada. Dari berbagai sumber tersebut dipilih yang sesuai dan disatukan ke dalam sebuah rancang bangun alat uji yang memiliki semua nilai yang diperlukan dalam pengujian baut ortopedi

3.4 Peralatan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Laptop

Untuk mendukung berbagai perancangan serta simulasi, penulis menggunakan laptop.

2. *Solidworks*

Software selanjutnya yang digunakan adalah software Solidworks digunakan untuk membuat gambar 3D dari alat uji fatik yang akan disimulasikan.



Gambar 7 Software *Solidworks*

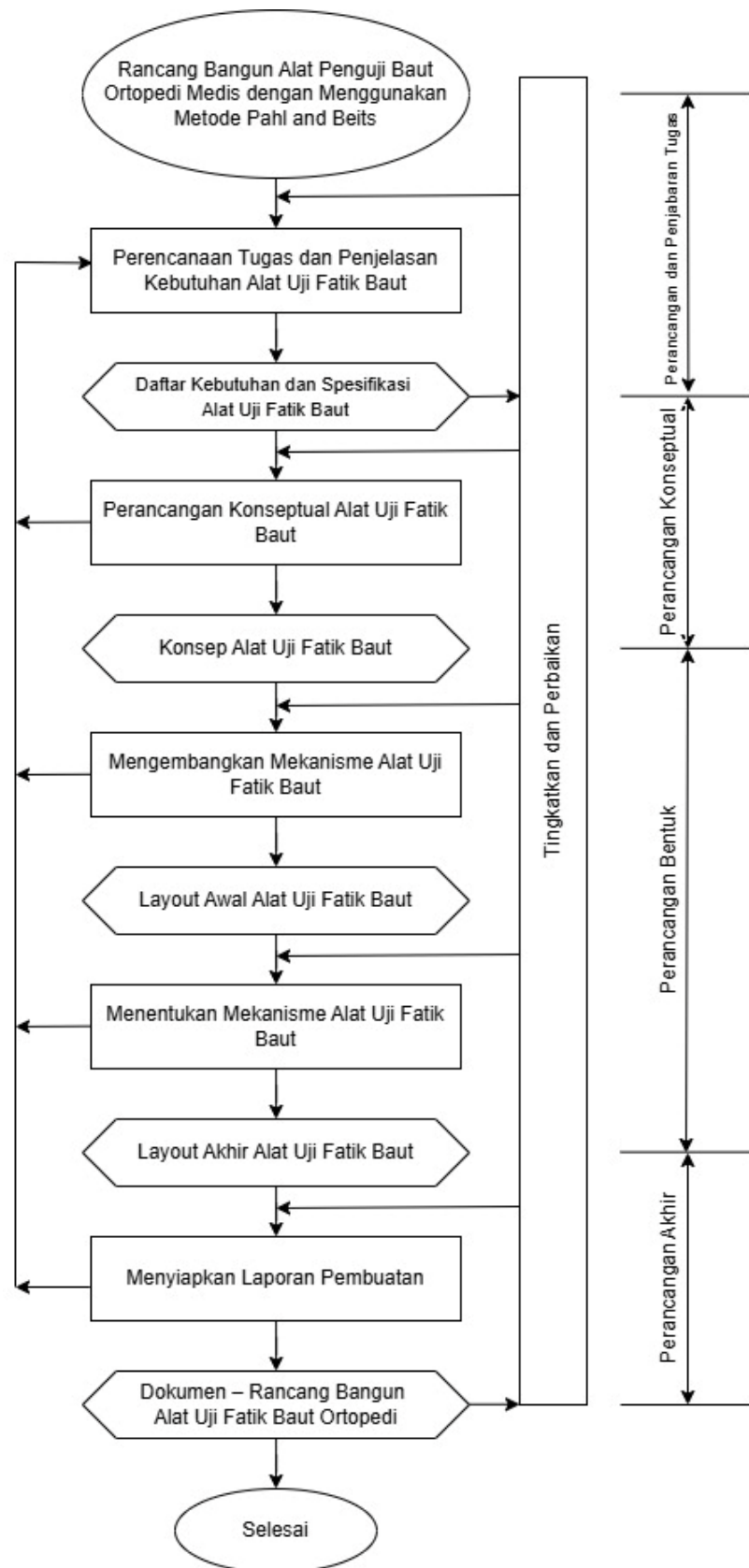
3.5 Tahap Rancang Penelitian

Penelitian ini mengikuti beberapa tahap sebagai berikut:

A. Perancangan Alat Uji Fatik Baut Ortopedi

Perancangan mesin Alat Uji Fatik Baut Ortopedi ini menggunakan metode perancangan yang disusun oleh Gerhardt Pahl dan Wolfgang Beits. Proses perancangan yang digunakan ini secara garis besar terdiri dari tahap-tahap:

- a. Penjabaran Tugas (*Clarification of Task*), menjelaskan tentang jenis alat uji yang akan dirancang nantinya
- b. Perancangan Dengan Konsep (*Conceptual Design*)
Menggabungkan beberapa konsep alat uji fatik tipe lainnya



Gambar 8 Diagram Alir Perancangan

- c. Perancangan Wujud (*Embodiment Design*) merealisasikan rancangan yang sudah dibuat menjadi satu alat uji yang sesuai dengan konsep awal.
- d. Perancangan Secara Terperinci (*Detail Design*). Merancang semua mekanis alat menjadi satu kesatuan. Tahapan proses perancangan ini dijelaskan pada diagram alir dalam Gambar 8.

B. Fase Perencanaan dan Penjabaran

Dalam fase ini diterangkan kebutuhan perencanaan dan penjabaran Alat uji Fatik Baut Ortopedi. Langkah-langkah yang terdapat pada fase pertama menurut prosesnya adalah:

a. Analisis Keadaan Alat Uji Fatik

Ditinjau dari rancang bangun, alat uji fatik baut akan mengalami siklus pembebanan terus menerus. Alat uji fatik baut tidak ada di Lab Terpadu Teknik Mesin, maka dari itu alat ini dibutuhkan tidak hanya untuk melakukan uji fatik pada praktikum namun juga bisa membantu untuk melakukan penelitian. Rancang bangun alat ini dapat melakukan simulasi uji fatik terhadap baut ortopedi dan sejenisnya.

Dari kondisi rancang bangun alat uji fatik dapat diidentifikasi kebutuhan tentang kemudahan pengujian yang lebih mudah dengan hasil yang lebih maksimal. Berdasarkan pernyataan analisis keadaan di atas maka diperlukan beberapa langkah analisis kebutuhan untuk memperjelas tugas perancangan mesin. Langkah-langkah analisis kebutuhan itu terdiri dari:

- Spesifikasi tenaga penggerak, dipilih berbasis penggerak motor untuk mendapatkan kestabilan dan kontinuitas yang lebih tinggi dan sesuai standar.
- Standar pembebanan, pembebanan yang dilakukan pada pengujian dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengujian yang dapat disesuaikan dengan alat uji
- Pertimbangan teknis perancangan mengacu pada mekanisme alat uji. Yang diinginkan adalah mudah dalam mengatur beban dan

mekanisme alat yang tidak rumit, proses perakitan mudah sehingga perawatannya nanti juga mudah dan murah

- Pertimbangan ergonomis, dimana mesin yang didesain tidak lagi menggunakan tenaga manusia, sederhana tetapi proporsional dengan fungsinya, khususnya terkait dengan proses pembebanan.
- Pertimbangan keselamatan kerja harus bisa memastikan bahwa setiap komponen alat uji memiliki fungsi pengaman terhadap potensi kecelakaan kerja.

b. Memformulasikan Desain Rancang Bangun Alat Uji Fatik Baut

Dari hasil analisis keadaan awal dan beberapa pertimbangan kebutuhan terhadap alat uji fatik dapat dirumuskan capaian-capaian desain yang harus dipenuhi, yaitu:

- Rancang bangun alat uji fatik baut dapat berjalan dengan baik
- Rancang bangun alat uji fatik baut dapat memberikan beban tepat pada spesimen uji

c. Analisis Persyaratan Produk

Beberapa prinsip solusi alat uji fatik yang terbaik untuk baut ortopedi dibedakan menjadi 2 kelompok kriteria, yaitu:

- Kriteria kebutuhan wajib yang harus dipenuhi adalah mampu melakukan uji fatik, harus mudah dan aman dalam pengoperasiannya, proses pembebanan yang lebih mudah dan prosesnya lebih efisien.
- Kriteria harapan yang diinginkan terdapat pada hasil perancangan adalah perawatan dan perbaikannya mudah, harga pembuatan mesin lebih murah dibandingkan dengan harga pasaran, komponen-komponen yang dibutuhkan oleh mesin diharapkan dapat dengan mudah di dapat di pasaran atau dibuat dengan biaya yang terjangkau, dan penampilan (estetika) alat menarik.

C. Fase Perancangan Konseptual

Fase ini merupakan bagian dari proses perancangan dimana dilakukan identifikasi masalah utama, melalui langkah-langkah berikut:

- a. mengidentifikasi masalah-masalah penting.
- b. menentukan mekanisme alat uji.
- c. mencari prinsip-prinsip kerja alat uji
- d. membentuk beberapa alternatif produk
- e. evaluasi terhadap kriteria teknis dan ekonomis

D. Fase Perancangan Bentuk Mesin

Dari fase-fase sebelumnya dapat dikembangkan beberapa varian desain yang memenuhi persyaratan produk dan lulus kriteria konseptual. Varian-varian desain tersebut dapat diuji dan dieliminasi sehingga dapat diperoleh kombinasi terbaik yang bisa ditampilkan dalam bentuk layout terbaik. Layout desain terakhir yang didapatkan harus menyediakan sarana pemeriksaan fungsi, kekuatan dan kelayakan tempat.

E. Fase Perancangan Detail

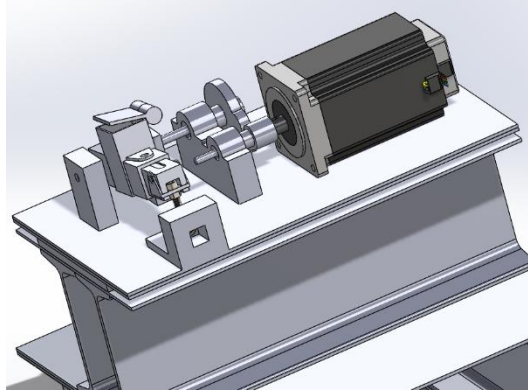
Pada tahap ini bentuk alat uji, dimensi, karakteristik komponen, spesifikasi material, pengecekan ulang berdasarkan kelayakan teknik dan ekonomi, seluruh gambar serta dokumen produksi telah dihasilkan. Dalam hal ini diperhatikan juga adanya keterkaitan umum yang terdapat pada sistem benda teknik yaitu:

- Kaitan fungsi (*Functional Interrelationship*), yaitu keterkaitan antara masukan dan keluaran dari suatu sistem untuk melakukan kerja tertentu yang berhubungan dengan lingkungan sekitar.
- Kaitan kerja (*Physical Interrelationship*), yaitu hubungan dimana kerja merupakan bagian dari proses fisika yang dipilih berdasarkan adanya efek fisika geometri seperti dimensi, struktur dan ciri-ciri material.
- Kaitan bentuk (*Form Interrelationship*), realisasi bentuk dari bahan menjadi struktur yang dilengkapi penataan lokasi dan pemilihan gerak.

- Kaitan sistem (*System Interrelationship*), dimana gambar teknik menampilkan bagian dari suatu sistem yang menyeluruh dari perancangan akhir.

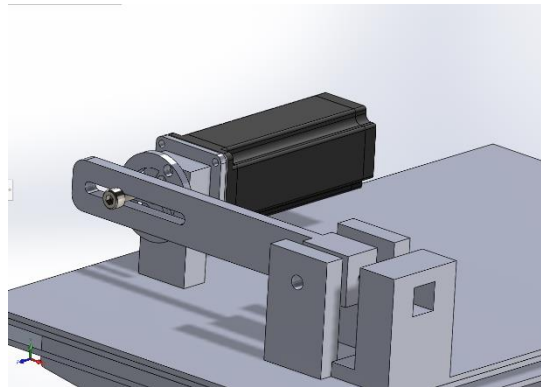
Berikut adalah hasil desain yang diperoleh sebagai berikut

1. Desain 1



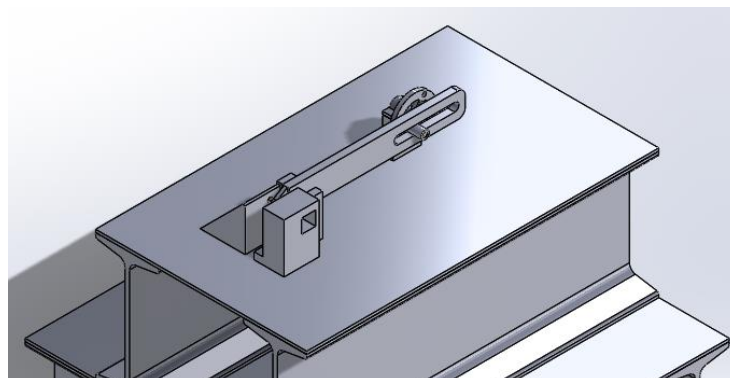
Gambar 9 Desain 1

2. Desain 2



Gambar 10 Desain 2

3. Desain 3



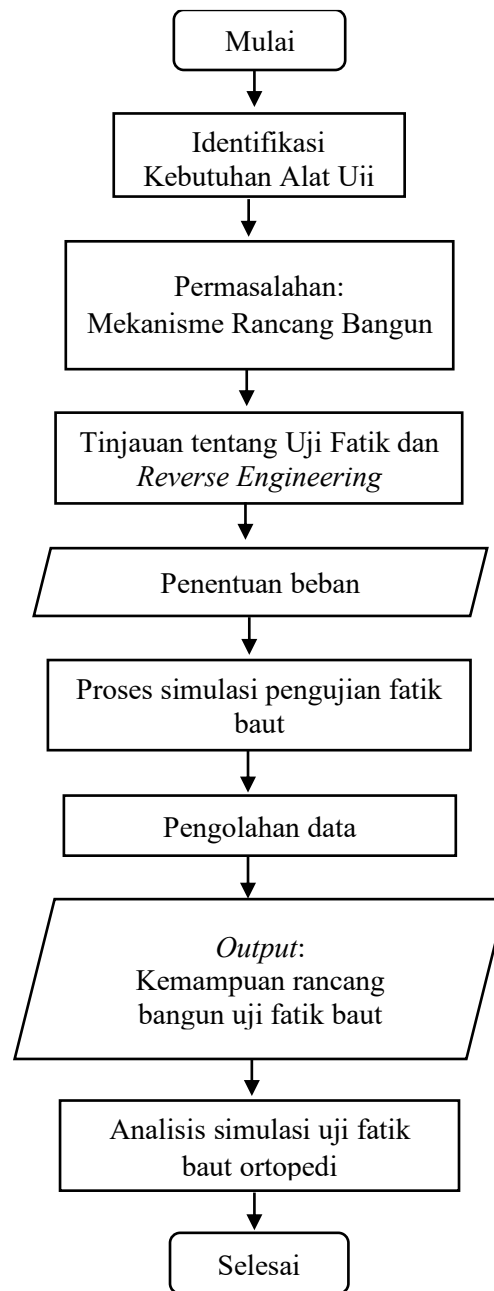
Gambar 11 Desain 3

3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menunjukkan proses penelitian yang dilakukan untuk mengumpulkan data. Gambar 12 menunjukkan diagram alir penelitian. Penelitian dimulai dengan menentukan tugas dan penjelasan kebutuhan alat uji fatik serta mencari studi literatur. Selanjutnya, dilakukan pembuatan daftar kebutuhan dan spesifikasi alat uji fatik baut ortopedi.

Data sekunder yang diperoleh pengujian simulasi adalah spesifikasi dari alat uji fatik baut ortopedi. Data primer yang dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan *software* untuk menguji mekanisme alat uji sudah sesuai standar atau perlu perubahan.

Hasil analisis kemudian digunakan untuk menyusun kesimpulan dan rekomendasi penelitian. Diagram alir ini dapat membantu peneliti untuk memahami langkah-langkah penelitian dengan lebih jelas dan sistematis.



Gambar 12 Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan proses perancangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan proses penelitian yang mencakup identifikasi kebutuhan alat uji fatik baut ortopedi, tinjauan teori, perancangan tiga model desain menggunakan pendekatan metode Pahl and Beitz, serta analisis komparatif berbasis kriteria teknis dan simulasi gerak, maka beberapa kesimpulan dapat dirumuskan secara sistematis. Penelitian ini berhasil merancang sistem alat uji fatik yang berfungsi untuk mensimulasikan beban berulang terhadap baut ortopedi, dengan mempertimbangkan aspek stabilitas pembebanan, akurasi mekanisme pemukul, ketahanan struktural, serta efisiensi rakitan dan pemeliharaan alat dalam konteks penggunaan laboratorium teknik medis.
2. Berdasarkan hasil proses klarifikasi kebutuhan dan perancangan bertahap, diperoleh tiga varian desain dengan karakteristik kinerja teknis yang berbeda. Desain pertama hanya memenuhi fungsi dasar tetapi menunjukkan keterbatasan pada akurasi gaya, kestabilan orientasi spesimen, dan ketahanan struktur terhadap siklus pembebanan. Desain kedua menunjukkan peningkatan performa melalui optimasi mekanisme transmisi, perbaikan penopang mekanis, dan peningkatan stabilitas proses pembebanan, namun masih terdapat deviasi arah gaya, *gearbox* transmisi, dan kebutuhan penyetelan berkala yang dapat memengaruhi repeatability hasil pengujian.
3. Desain ketiga menunjukkan performa terbaik pada seluruh parameter evaluasi teknis. Sistem transmisi gaya berbasis *gearbox*, mekanisme

pemukul dengan *dual bearing*, struktur rangka diperkuat, serta sistem penjepitan spesimen berkalibrasi berhasil meningkatkan stabilitas sistem secara signifikan. Simulasi gerak menunjukkan bahwa desain 1 memiliki distribusi tegangan yang merata, *displacement* rendah, serta daya tahan struktural pada rentang siklus tinggi yang sesuai untuk standar pengujian fatik baut ortopedi. Evaluasi menggunakan metode penilaian berbobot dengan enam kriteria menunjukkan bahwa desain ketiga memperoleh skor tertinggi yaitu 95,6, sehingga memenuhi seluruh parameter kinerja yang disyaratkan.

4. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil mencapai seluruh tujuan penelitian yang ditetapkan, yaitu merancang alat uji fatik baut ortopedi berbasis metode Pahl and Beitz, menghasilkan model desain yang mampu mensimulasikan beban siklik menyerupai kondisi biomekanis, dan menentukan desain terbaik berdasarkan analisis teknis dan evaluasi berbobot. Desain ketiga dinyatakan sebagai desain final yang layak direalisasikan dalam bentuk prototipe dan diuji secara fisik pada tahap penelitian lanjutan. Hasil akhir penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi sebagai referensi dalam pengembangan perangkat pengujian biomaterial, khususnya komponen fiksasi tulang di bidang ortopedi.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan proses pembuatan prototipe fisik berdasarkan desain yang telah dihasilkan guna memvalidasi hasil simulasi dan memastikan performa alat di kondisi nyata. Pengujian langsung diperlukan untuk mengetahui respon material, ketahanan komponen, serta kestabilan mekanisme pemukul selama siklus pembebanan berulang.
2. Perlu dilakukan optimasi ulang terhadap geometri dan pemilihan material pada beberapa komponen, terutama pada bagian lengan pemukul dan poros

penggerak, agar alat mampu bekerja pada frekuensi lebih tinggi tanpa meningkatkan deformasi maupun risiko kelelahan material. Peninjauan alternatif material seperti alloy steel atau paduan aluminium juga dapat dipertimbangkan.

3. Sistem pengendalian alat dapat dikembangkan melalui integrasi sensor percepatan, sensor gaya, dan sistem monitoring digital untuk mencatat data siklus pembebanan secara otomatis. Fitur ini akan meningkatkan akurasi pengujian serta memudahkan proses pencatatan data dalam kegiatan penelitian.
4. Penelitian lanjutan disarankan menambahkan mekanisme peredam getaran pada rangka utama untuk meningkatkan kenyamanan penggunaan dan meminimalkan resonansi yang dapat mempengaruhi kestabilan pembebanan. Analisis frekuensi alami (*modal analysis*) sangat direkomendasikan untuk mendukung pengembangan ini.
5. Desain alat dapat diperluas dengan menambahkan modul uji multi-spesimen, sehingga alat mampu menguji lebih dari satu baut ortopedi dalam satu siklus pengujian. Pengembangan ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan alat, terutama dalam skala penelitian yang membutuhkan data uji dalam jumlah besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, R., & N S Dera. 2021. Analisa Uji Ketahanan Kelelahan ASS Kuningan 70/30 dengan Mesin Uji Tipe Cantilever Rotary Bending. *Biomedical and Mechanical Engineering Journal (BIOMEJ)*. Universitas Gorontalo. 1(1), 9.
- Ali, S., Tahir, M. H., Saeed, M. A. Zaffar, N., Khan, M. K. 2019. Design and Development of *Fatigue* Machine: Rotating Bending *Fatigue* Testing on different Materials. *International Journal of Advanced Engineering and Management*. Pakistan Institute of Engineering and Technology. 4(2).
- Amiruddin, A., & Lubis, F. A. 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan. *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. 4(2), 93–99.
- Appleton, E. (2008). Product Design for Manufacture and Assembly. In *Assembly Automation* (Vol. 28, Issue 3).
- Bhimadi, T., Khoiriyah, R., & Budiono, B. 2020. Kecenderungan Sifat Fatik Dan Konstanta Persamaan Perambatan Retak Stainless Steel-304 Terhadap Perbedaan Dimensi Dan Rasio Beban. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*. Universitas Gajayana. 1(1), 141–152.
- Budiyanto, E., Nugroho, E., & Zainudin, A. 2018. Uji Ketahanan Fatik Aluminium Scrap Hasil Remelting Piston Bekas Menggunakan Alat Uji Fatik Tipe Rotary Bending. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. Universitas Muhammadiyah Metro. 7(1).
- Cruz, R. L. J., Ross, M. T., Nightingale, R., Pickering, E., Allenby, M. C., Woodruff, M. A., & Powell, S. K. 2023. An automated parametric ear model to improve frugal 3D scanning methods for the advanced manufacturing of high-quality prosthetic ears. *Computers in Biology and Medicine*, 162(April), 107033.
- Dashpute, S. P., & Shelar, S. 2021. *Design and FEA Analysis of Fatigue Testing Machine*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
- Furqon, M., Rahayuningtyas, A., Hidayat, D., & Yuwana, Y. 2021. Implementasi Reverse Engineering pada Rancang Bangun Prototipe Rotary Joint untuk Memasok Uap Panas pada Mesin Double Drum Dryer. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. Institut Teknologi Bandung. 15(2), 242–256.
- Goanta, V. (2022). Device for torsional *fatigue* strength assessment adapted for pulsating testing machines. *Sensors*. Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi. 22(7), 2667.

- Ibrahim, G. A., & Firmansyah, A. 2023. Peningkatan Kepresisian dan Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Ti-6Al-4V ELI Menggunakan Metode Polishing. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. Universitas Muhammadiyah Metro. 12(2), 221–229.
- Kattimani, M. A., et al. 2020. Design and Fabrication of *Fatigue* Testing Machine. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. Lords Institute of Engineering and Technology 7(1).
- Maryadi, M., & Hakim, D. R. L. 2022. Perancangan Ulang Alat Uji Fatik Tipe Rotary Bending. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*. Universitas Islah Raden Rahmat. 6(1), 23–31.
- Mayda, M., & Borklu, H. R. 2014. Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. Karamanoglu Mehmetbey University. 8(3).
- McAlorum, J., Rubert, T., Fusiek, G., Niewczas, P., & Zorzi, G. (2018). Design And Demonstration Of A Low-Cost Small-Scale *Fatigue* Testing Machine For Multi-Purpose Testing Of Materials, Sensors And Structures. *Machine. University of Strathclyde* 6(3), 30.
- Musapour, M., Nayebi, A., Ghavanloo, E. 2024. *Fatigue* life study of Cortical and Cancellous screws: Experimental method and critical plane models, *Engineering Failure Analysis*. Shiras University. 159, 108-109.
- Nusyirwan, D. (2019). Engineering design process pada perancangan transportasi personal. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Maritim Raja Ali Haji. 5(2).
- Ogawa, F., Shimizu, Y., Bressan, S., Morishita, T., & Itoh, T. (2019). Bending and torsion *fatigue*-testing machine developed for multiaxial non-proportional loading. *Metals*. Ritsumeikan University. 9(10), 1115.
- Pahl, G. & Beitz, W. 1988. Engineering Design: a systematic apporach. *Books*, 6.
- Prasetyo, P., Kurnia, M. A., & Widianoro, H. (2022). Perancangan mesin pengupas kulit ari kopi dengan model preskriptif Pahl & Beitz. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Politeknik Negeri Bandung. 17(3).
- Prasetyo, A., Afrizal, E., Nazatudin. 2023. Pengembangan Alat Uji Fatik Rotary Beanding Dengan Pendekatan Menggunakan Persamaan Josep Marin. *Prosiding SENANTIAS: Seminar Nasional Hasil Penelitian dan PkM*. Universitas Riau. 4(1), 24–34.
- Pratowo, B., & Apriansyah, N. 2016. *Analisis kekuatan fatik baja karbon rendah SC10 dengan tipe rotary bending*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Bandar Lampung. 4(1). 49-58
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill.
- Wahyudi, T. C., & Nugroho, E. 2014. Hubungan Siklus Putaran Dan Beban Terhadap Kekuatan Bahan Pada Uji Fatik Bending. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. Universitas Muhammadiyah Metro. 3(1).
- Wahyono, W., Nugroho, E., Handono, S. D., & Budiyanto, E. 2020. Analisa uji ketahanan *fatigue* aluminium scrap hasil remelting sepatu rem terhadap variasi

- beban menggunakan tipe rotary bending. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*. Universitas Muhammadiyah Metro. 1(2).
- Wardianto, D. 2022. *Analisis Kegagalan Mesin Screw Press Failure Analysis of the Screw Press Machine*. 12(1). Institut Teknologi Padang, 2089–4880.
- Wicaksono, A. A. 2021. *Rancang Bangun Alat Uji Fatigue Telapak Kaki Palsu Berdasarkan Standar Iso 10328 Skripsi Sarjana*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Wu, Y., He, W., & Li, D. 2024. Ultrasonic *Fatigue* Testing Machine Based On Resonance Principle. *Mechanika*. National Key Lab of Aerospace Power System and Plasma Technology, Air Force Engineering University. 30(6)
- Yasin, H., Badaruddin, M., Sukmana, I., Zulhanif, Z., & Savetlana, S. (2023). Investigasi Umur Fatik Aluminium 7075-T7 Yang Mengalami Korosi Air Laut. *MECHANICAL; Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Unoversitas Lampung. 14(2), 187.
- Zeng, X., et al. 2024. Design And Experimental Study Of A Down-Drive Piezoelectric High-Frequency *Fatigue* Testing Machine. *Applied Sciences*, 14(16), 6961.