



EVALUASI PERFORMA MESIN UJI FATIGUE ROTARY DENGAN VARIASI TUMPUAN TETAP DAN GULIR PADA SPESIMEN STAINLESS STEEL 304

Aini Lostari¹, Ellys Kumala Pramartaningthyas², Supardi³, Didik Sugiono⁴, Miftahul Ulum⁵, Umi Kulsum⁶, Yudi Hartono⁷

^{1, 4-7}Teknik Mesin, Teknik, Universitas Qomaruddin, Indonesia

²Teknik Elektro, Teknik, Universitas Qomaruddin, Indonesia

³Teknik Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

email: ¹ainims31@gmail.com

ABSTRAK

Fenomena fatigue atau kelelahan material merupakan salah satu penyebab utama kegagalan komponen mesin akibat pembebahan berulang dengan tegangan yang berfluktuasi di bawah batas luluh (*yield strength*) maupun tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hasil uji *fatigue rotary* pada spesimen Stainless Steel 304 dengan tumpuan tetap (*fixed support*) dan tumpuan gulir (*roll support*). Pengujian dilakukan menggunakan spesimen berbahan Stainless Steel 304 sesuai standar ASTM A276 dengan variasi beban 60 kg, 80 kg, dan 100 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan beban menghasilkan kenaikan tegangan maksimum namun menurunkan jumlah siklus kelelahan material. Pada beban 60 kg, diperoleh tegangan sebesar 3530,4 MPa dengan 2299,1 siklus dalam waktu 99 detik; pada beban 80 kg diperoleh tegangan 4903,3 MPa dengan 1166,9 siklus dalam waktu 54 detik; dan pada beban 100 kg diperoleh tegangan 6080,1 MPa dengan 506,54 siklus dalam waktu 24 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterapkan, semakin rendah umur kelelahan (*fatigue life*) material *Stainless Steel 304*.

Kata kunci: *fatigue rotary, tumpuan tetap, tumpuan gulir, Stainless Steel 304*

PENDAHULUAN

Kelelahan (*fatigue*) merupakan salah satu bentuk kegagalan material yang disebabkan oleh pembebahan dinamis berulang yang terjadi di bawah batas kekuatan luluh (*yield strength*)[1]. Fenomena ini menyebabkan akumulasi kerusakan mikroskopis yang secara progresif menurunkan kemampuan material untuk menahan beban dan akhirnya mengakibatkan kegagalan struktural[2]. Secara umum, proses kegagalan akibat fatigue terdiri atas tiga tahap, yaitu inisiasi retak (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*), dan patah (*fracture*). Inisiasi retak biasanya terjadi pada daerah permukaan yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi akibat pembebahan berulang, sedangkan perambatan retak berkembang dari microcracks menjadi macrocracks yang pada akhirnya mengakibatkan kegagalan total material[3]. Selain faktor pembebahan, kondisi lingkungan seperti korosi, temperatur tinggi, dan tegangan tarik turut mempercepat proses kegagalan akibat fatigue [4].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memahami fenomena fatigue dan mengembangkan alat uji yang mampu mensimulasikan kondisi tersebut. Clementinus Agung Bambayu dkk. (2015) melakukan perancangan ulang alat uji fatigue rotary bending dengan hasil putaran motor sebesar 1498 rpm, beban 25 N, serta jarak pembebahan 60 cm dan 71 cm

dengan capaian 7962 siklus[5]. Bambang Pratowo dkk. (2016) meneliti kekuatan fatigue baja karbon rendah SC10 menggunakan metode rotary bending tanpa perlakuan panas dengan variasi pembebahan sebesar 40%, 50%, 60%, dan 70% dari ultimate tensile stress sesuai standar ASTM E466[6]. Penelitian serupa dilakukan oleh Udur Januari Hutabarat dkk. (2017) yang merancang mesin uji fatigue baja poros dengan pembebahan puntir dinamis berdasarkan standar ASME E466, mampu menguji spesimen baja berdiameter maksimum 10 mm pada putaran konstan dengan beban 5–20 kg[7].

Penelitian lanjutan oleh Syihabudin Attamimi (2020) menghasilkan desain mesin uji fatigue rotary menggunakan motor listrik 1 HP dengan variasi pembebahan 22,6 kg, 30,6 kg, dan 40,6 kg, serta spesimen uji mengacu pada standar ASTM E466[8]. Sementara itu, Ahmad Fadlil (2020) melakukan pengujian kinerja mesin rotary fatigue menggunakan bahan baja ST 41 dan ST 60, yang menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kelelahan antara kedua material tersebut[9]. Selain itu, beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa material Stainless Steel 304 memiliki ketahanan fatigue yang baik karena sifat mekaniknya yang stabil dan kemampuan membentuk lapisan pasif pelindung terhadap korosi[10]. Ketahanan tersebut menjadikan Stainless Steel 304 relevan untuk digunakan sebagai spesimen dalam uji rotary bending fatigue[11].

Namun demikian, berbagai penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan, terutama pada aspek efisiensi mekanisme pengujian[12]. Proses pergantian spesimen masih dinilai tidak praktis dan memakan waktu yang lama, sementara komponen pencekam memiliki ketahanan rendah sehingga menghambat kelancaran proses pengujian[13]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan untuk melakukan analisis uji mesin fatigue rotary dengan tumpuan fix dan roll menggunakan spesimen Stainless Steel 304, dengan tujuan meningkatkan efisiensi, keandalan, serta kemudahan operasi sistem pengujian fatigue.

Sejalan dengan fokus penelitian tersebut, rumusan masalah yang dikaji mencakup tiga hal utama yang saling berkaitan. Penelitian ini berupaya untuk menganalisis pengaruh variasi beban terhadap jumlah siklus yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami kegagalan, menentukan panjang perpindahan yang terjadi pada setiap satu putaran poros drat dalam sistem pengujian, serta mengetahui lama waktu yang dibutuhkan hingga spesimen mengalami patah akibat pembebahan berulang. Berdasarkan rumusan tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara beban, siklus kelelahan, dan waktu patah spesimen, sekaligus menganalisis karakteristik mekanis sistem poros drat yang berpengaruh terhadap kinerja mesin uji fatigue rotary.

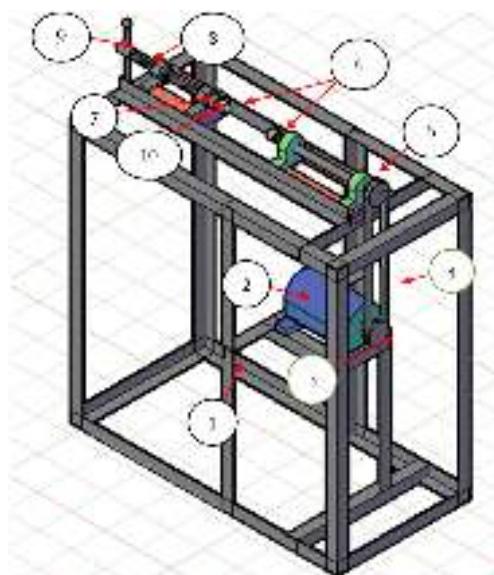
PROSEDUR EKSPERIMEN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk melakukan redesain sistem pencekam spesimen pada mesin uji *fatigue rotary* menggunakan tumpuan fix dan roll[14]. Kegiatan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang relevan mengenai prinsip kerja mesin *rotary bending fatigue*, mekanisme pencekaman spesimen, serta standar pengujian seperti ASTM E466 dan ASME E466. Sumber literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, artikel, video, dan dokumen teknis lain yang mendukung perancangan sistem uji fatigue yang efektif dan efisien[15].

Tahap selanjutnya adalah perumusan masalah, di mana fokus penelitian ini diarahkan pada peningkatan efisiensi waktu pengujian dan keandalan sistem pencekaman spesimen. Berdasarkan hasil identifikasi masalah, dilakukan perancangan ulang (*redesign*) mesin uji *fatigue rotary* dengan memperhatikan kelemahan desain sebelumnya. Material uji yang

digunakan adalah *Stainless Steel* 304 berbentuk silinder dengan panjang 200 mm dan diameter antara 6 hingga 10 mm, sesuai dengan standar ASTM A276[16].

Proses perancangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak desain teknik dan melibatkan konsultasi dengan dosen pembimbing untuk memastikan kesesuaian rancangan dengan prinsip mekanika material[17-19]. Komponen utama mesin meliputi rangka dari besi siku berukuran $4 \times 4 \times 1/8$ inci, motor AC 1 HP dengan kecepatan 1400 rpm sebagai penggerak utama, sistem transmisi menggunakan pulley dan V-belt, serta mekanisme pencekaman dengan arbor tipe rahang tiga[20]. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan bantalan (*bearing*), *spindle*, poros drat, dan rumah bantalan sebagai penopang serta transmisi gaya. Bentuk redesain mesin uji fatigue rotary dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Redesain mesin uji *fatigue rotary*

Keterangan gambar

- 1) Rangka mesin
- 2) Motor AC
- 3) Puli
- 4) V belt
- 5) Bantalan (Bearing)
- 6) Rangka mesin
- 7) Motor AC
- 8) Puli
- 9) V belt
- 10) Bantalan (Bearing)

Pada tahap perhitungan dan perancangan mekanisme, dilakukan analisis untuk menentukan titik tengah pembebanan, besar gaya yang bekerja pada spesimen, serta momen lentur yang dihasilkan[21]. Perhitungan juga mencakup perencanaan dimensi baut pencekam dan ketahanan material terhadap beban dinamis berulang. Semua perhitungan didasarkan pada teori mekanika bahan dan sifat mekanik *Stainless Steel* 304 guna menjamin keamanan serta keandalan sistem saat pengujian berlangsung[22].

Tahapan berikutnya adalah pembuatan alat, yang mencakup proses fabrikasi rangka mesin melalui pemotongan dan pengelasan besi siku, perakitan komponen penggerak berupa motor AC, pulley, dan V-belt, serta pemasangan sistem pencekaman yang telah didesain

ulang. Setelah itu dilakukan proses penyelesaian akhir berupa penggerindaan, pengamplasan, dan pengecatan untuk mendapatkan hasil yang rapi dan kokoh. Spesifikasi bahan utama yang digunakan dalam pembuatan alat meliputi motor AC 1 HP, dua buah pulley, satu buah V-belt, bantalan, poros baja diameter 25 mm dengan panjang 50 cm, serta pelat baja tebal 8 mm berukuran 40×20 cm. Adapun proses pembuatan alat dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini



Gambar 2. Proses pembuatan alat

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan uji kinerja mesin dengan menggunakan spesimen Stainless Steel 304. Pengujian dilakukan dengan variasi pembebahan untuk mengetahui pengaruh beban terhadap umur fatigue material. Parameter yang diamati antara lain jumlah siklus hingga terjadi kegagalan, respon spesimen terhadap variasi beban, serta ketahanan sistem pencekam selama proses pengujian. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi desain baru, khususnya dalam hal kemudahan pergantian spesimen dan kestabilan pencekaman selama siklus pembebahan berulang.



Gambar 2. Proses pengujian alat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Qomaruddin Bungah Gresik selama kurang lebih sepuluh minggu. Seluruh kegiatan meliputi tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian dilakukan di laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pembebahan terhadap siklus kelelahan (*fatigue cycle*) pada material *Stainless Steel* 304 menggunakan mesin uji fatigue

rotary hasil redesain dengan sistem tumpuan *fix dan roll*. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi pembebanan, yaitu 60 kg, 80 kg, dan 100 kg.

Sebelum pengujian, dilakukan kalibrasi pada sistem pencekaman untuk memastikan posisi spesimen tepat di sumbu rotasi dan bebas dari tegangan awal akibat kesalahan pemasangan. Pengujian dilakukan dengan kecepatan putaran rata-rata antara 1245 hingga 1387 rpm, dan waktu pencatatan dimulai bersamaan dengan pengoperasian mesin hingga spesimen mengalami patah. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa pembebanan berbanding terbalik dengan jumlah siklus dan waktu patah spesimen. Data hasil analisis pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil pengambilan data

no	100 kg (1 kn)		80 kg (0,80 kn)		60 kg (0,60 kn)	
	Detik (t)	rpm	Detik (t)	rpm	Detik (t)	rpm
1	31,7	1245,33	51,3	1299	117,0	1387,7
2	18,4	1245,33	70,7	1299	83,4	1387,7
3	21,2	1245,33	39,1	1299	96,3	1387,7
Rata-rata	24	1245,33	54	1299	99	1387,7

Sebelum proses perhitungan data maka dilakukan proses pengambilan data rata-rata terlebih dahulu seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengambilan data rata-rata

No	Rpm	m (kg)	d (mm)	t (detik)	L (mm)
1	1387,7	60	6	99	505,7
2	1299	80	6	54	505,7
3	1245,33	100	6	24	505,7

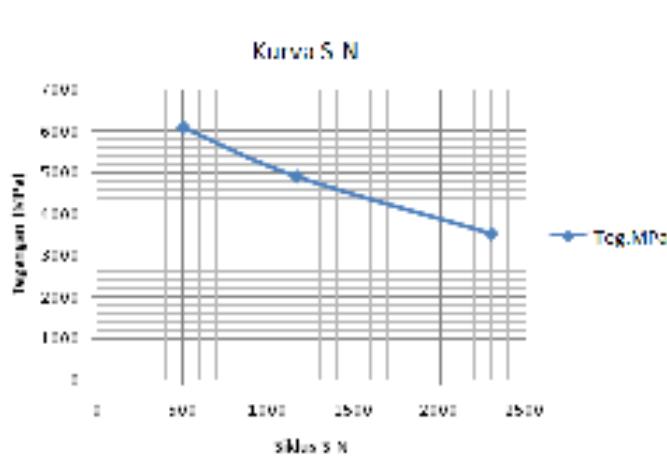
Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, selanjutnya hasil perhitungan di masukkan ke dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data hasil analisis

no	m (kg)	Tegangan (MPa)	siklus
1	60	3530,4	2299,1
2	80	4903,3	1166,9
3	100	6080,1	506,54

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa peningkatan beban menyebabkan terjadinya penurunan jumlah siklus yang signifikan. Pada beban 60 kg, spesimen mampu bertahan hingga 2299,1 putaran, sedangkan pada beban 100 kg jumlah siklus menurun menjadi 506,54 putaran. Penurunan siklus ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterapkan, semakin cepat terjadinya kegagalan material akibat meningkatnya tegangan lentur yang bekerja pada permukaan spesimen.

Dari data hasil analisis kemudian diaplikasikan dalam gambar kurva S-N sebagaimana gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kurva S-N

- Analisis Tegangan dan Siklus Fatigue

Perhitungan tegangan dilakukan berdasarkan besar beban yang diberikan dan momen lentur pada titik kritis spesimen. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada beban 100 kg mencapai 6080,1 MPa, sedangkan pada beban 60 kg hanya sebesar 3530,4 MPa. Kenaikan tegangan ini diikuti dengan penurunan jumlah siklus kelelahan, sehingga menunjukkan hubungan terbalik antara beban dan umur fatigue.

Hubungan antara tegangan dan jumlah siklus digambarkan dalam kurva S-N (*Stress-Number of Cycles*). Pola kurva menunjukkan karakteristik umum fatigue failure, yaitu semakin tinggi tegangan yang diterapkan, semakin kecil jumlah siklus yang dapat dicapai sebelum material mengalami patah. Fenomena ini konsisten dengan perilaku fatigue pada material logam yang mengalami pembebanan dinamis berulang di bawah batas kekuatan luluh.

Kurva S-N yang ditunjukkan pada Gambar di atas menggambarkan hubungan antara tegangan kerja (S) dan jumlah siklus sampai patah (N) pada spesimen Stainless Steel 304 yang diuji menggunakan mesin *fatigue rotary* dengan tumpuan *fix* dan *roll*. Dari grafik tersebut terlihat adanya hubungan berbanding terbalik antara besarnya tegangan yang diterapkan terhadap umur kelelahan material.

Pada hasil pengujian, ketika beban yang diberikan sebesar 100 kg, spesimen mengalami tegangan maksimum sekitar 6080,1 MPa dengan jumlah siklus patah hanya 506,54 putaran. Hal ini menunjukkan bahwa pada tegangan tinggi, proses inisiasi retak (*crack initiation*) terjadi sangat cepat karena gaya lentur berulang menghasilkan regangan plastis mikro yang melampaui batas elastis material. Akibatnya, umur *fatigue* menjadi sangat pendek.

Sebaliknya, pada pembebanan 60 kg, tegangan yang dihasilkan turun menjadi 3530,4 MPa, dan spesimen mampu mencapai 2299,1 siklus sebelum mengalami patah. Kondisi ini menandakan bahwa pada tegangan lebih rendah, deformasi plastis mikro berkurang secara signifikan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi patah menjadi lebih lama. Dengan demikian, semakin rendah tegangan yang bekerja, semakin panjang umur kelelahan (*fatigue life*) dari spesimen Stainless Steel 304.

Pola kurva S-N ini memperlihatkan penurunan tegangan yang hampir linier terhadap peningkatan jumlah siklus dalam skala logaritmik, yang merupakan karakteristik umum material logam ulet seperti Stainless Steel 304. Fenomena ini konsisten dengan hukum dasar kelelahan material (*Basquin's Law*), di mana hubungan antara tegangan dan siklus dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma = \sigma_f (2N_f)^b$$

di mana σ adalah tegangan nominal, N_f adalah jumlah siklus hingga patah, σ_f' adalah kekuatan *fatigue*, dan b merupakan eksponen yang menggambarkan sensitivitas material terhadap pembebahan berulang. Hasil ini juga sejalan dengan temuan[23], yang melaporkan bahwa Stainless Steel 304 memiliki ketahanan *fatigue* yang baik pada pembebahan menengah, namun menunjukkan penurunan drastis pada beban tinggi akibat percepatan perambatan retak mikro di permukaan material.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa desain mesin *fatigue rotary* dengan sistem tumpuan *fix* dan *roll* berhasil menghasilkan pola hubungan S–N yang konsisten dengan teori *fatigue*. Kurva tersebut mengonfirmasi bahwa peningkatan beban berbanding lurus dengan kenaikan tegangan dan berbanding terbalik dengan jumlah siklus patah. Hal ini menegaskan bahwa rancangan alat uji yang dikembangkan mampu memberikan hasil eksperimental yang akurat serta dapat digunakan untuk mengevaluasi ketahanan *fatigue* berbagai jenis material logam dengan tingkat keandalan tinggi.

- Interpretasi Hasil

Dari hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa material Stainless Steel 304 menunjukkan penurunan ketahanan fatigue yang signifikan terhadap peningkatan beban. Pada pembebahan ringan (60 kg), spesimen memiliki umur fatigue yang relatif panjang karena tegangan yang dihasilkan masih berada dalam batas elastis material. Namun, pada pembebahan tinggi (100 kg), tegangan yang terjadi melebihi batas kritis yang menyebabkan akumulasi deformasi plastis mikro pada permukaan spesimen, mempercepat proses inisiasi retak, dan memperpendek umur fatigue. Selain itu, pengaruh panjang langkah poros drat yang sebesar 3,175 mm per putaran juga berkontribusi terhadap ketelitian proses penyekam. Nilai ini memastikan bahwa jarak antar pencekam dapat diatur dengan presisi, sehingga mencegah tegangan awal yang tidak diinginkan pada spesimen sebelum pengujian dimulai.

Secara keseluruhan, hasil eksperimen membuktikan bahwa desain ulang sistem pencekam yang menggunakan kombinasi tumpuan *fix* dan *roll* mampu meningkatkan stabilitas dan efisiensi proses pengujian. Proses pergantian spesimen menjadi lebih cepat dan posisi spesimen lebih terjaga selama pengujian berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi desain yang dilakukan memberikan peningkatan performa terhadap alat uji fatigue rotary dibandingkan rancangan sebelumnya.

- Diskusi Hasil dengan Teori dan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori dasar kelelahan material yang menyatakan bahwa umur fatigue berkurang secara eksponensial terhadap peningkatan tegangan kerja. Hal ini juga konsisten dengan penelitian[23], yang menunjukkan bahwa Stainless Steel 304 memiliki ketahanan fatigue yang baik pada tegangan menengah, namun mengalami penurunan signifikan saat beban mendekati batas elastisnya. Pola hubungan ini juga serupa dengan hasil uji *rotary bending fatigue* yang dilakukan oleh[24], di mana peningkatan beban mengakibatkan penurunan jumlah siklus hingga patah.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa pengaruh beban merupakan faktor dominan dalam menentukan umur fatigue suatu material. Hasil uji ini juga menunjukkan bahwa desain alat yang efisien dan presisi berperan penting dalam memastikan hasil pengujian yang akurat serta reproduktif untuk aplikasi penelitian material kelelahan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian mesin uji fatigue rotary dengan tumpuan fix dan roll menggunakan spesimen Stainless Steel 304, dapat disimpulkan bahwa peningkatan beban berpengaruh signifikan terhadap umur kelelahan material. Semakin besar beban yang diberikan, jumlah siklus dan waktu yang dibutuhkan hingga spesimen patah semakin menurun, menunjukkan hubungan terbalik antara tegangan dan umur fatigue. Mekanisme poros drat dengan diameter 24 mm dan jenis ulir Suri Gang 8 menghasilkan perpindahan linear sebesar 3,175 mm per putaran, memungkinkan pengaturan jarak pencekam yang presisi selama pengujian. Hasil uji menunjukkan bahwa pada beban 60 kg, 80 kg, dan 100 kg, tegangan yang terjadi masing-masing sebesar 3530,4 MPa, 4903,3 MPa, dan 6080,1 MPa, dengan jumlah siklus berturut-turut 2299,1, 1166,9, dan 506,54 putaran. Secara keseluruhan, desain ulang mesin fatigue rotary dengan sistem tumpuan fix dan roll terbukti meningkatkan efisiensi, kestabilan, serta kemudahan penggantian spesimen dibandingkan desain sebelumnya, sehingga layak digunakan sebagai alat pengujian fatigue yang andal dan akurat.

REFERENSI

- [1] C. M. Smudde, C. C. San Marchi, M. R. Hill, and J. C. Gibeling, “The Influence of Residual Stress on Fatigue Crack Growth Rates in Stainless Steel Processed by Different Additive Manufacturing Methods,” *Journal of Materials Engineering and Performance* 2024 33:15, vol. 33, no. 15, pp. 7703–7713, May 2024, doi: 10.1007/S11665-024-09558-5.
- [2] A. Pambudi, M. Badaruddin, and S. Sugiyanto, “Low-Cycle Fatigue Of Cold-Drawn Type 304 Austenitic Stainless Steel In Annealing Conditions,” *Indonesian Journal Of Engineering And Science*, Vol. 3, No. 2, Pp. 039–046, Jul. 2022, Doi: 10.51630/Ijes.V3i2.39.
- [3] Z. Zhou And Y. Ding, “A Study On The Fatigue Performance And Corrosion Resistance Of 304/45 Bimetallic Composite Bolts,” *Materials (Basel)*, Vol. 16, No. 12, Jun. 2023, Doi: 10.3390/Ma16124454.
- [4] T. Fu, Y. Zhang, Z. Han, L. Chen, J. Zhu, And S. Peng, “Analisis Perambatan Retak Fatik Pada Stainless Steel 304 Yang Dilapisi Aluminium Celup Panas,” *Siwah: Multidisciplinary Scientific Journal*, Vol. 1, No. 3, Pp. 11–21, May 2025, Doi: 10.1016/J.Jmrt.2023.12.077.
- [5] A. A. Al-Bakri, Z. Sajuri, M. Abdulrazzaq, A. K. Ariffin, And M. S. Fafmin, “Fatigue Properties Of Strained Thin 304 Stainless Steel Sheets,” *International Journal Of Automotive And Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 2, Pp. 4171–4182, Jun. 2017, Doi: 10.15282/Ijame.14.2.2017.5.0334.
- [6] M. Riza, R. Muhida, I. Zein Muhamad, M. Kunarto, And M. Harjono Saputro, “Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah Sc10 Dengan Tipe Rotary Bending,” *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 7, No. 1, Oct. 2019, Accessed: Dec. 03, 2025. [Online]. Available: <Https://Jurnal.Ubl.Ac.Id/Index.Php/Jtm/Article/View/1280>
- [7] U. J. Hutabarat, M. Bismark, And H. Sitorus, “Perancangan Mesin Uji Lelah Baja Poros Dengan Pembebanan Puntir Dinamis,” *Jurnal Teknik Mesin (Journal Of Mechanical Engineering)*, Vol. 6, No. 4, Pp. 258–262, Dec. 2017, Doi: 10.22441/Jtm.
- [8] Y. Y. Cui, W. T. Wang, H. Wang, B. Li, P. Zhao, And F. Z. Xuan, “Cyclic Behavior and damage mechanism of 304 austenitic stainless steel under different control modes,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 30, pp. 854–865, May 2024, doi: 10.1016/J.JMRT.2024.03.114.

- [9] A. D. Kurniawan, "Ketahanan Lelah Sambungan Las Gesek (Cdfw) Bahan Stainless Steel 304 Pada Uji Rotary Bending," Jan. 2023.
- [10] T. Bhimadi, R. Khoiriyah, And U. Gajayana Malang, "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*, Vol. 1, No. 1, Pp. 141–152, Nov. 2020,
- [11] P. Menggunakan Persamaan Josep Marin, A. Prasetyo, And E. Afrizal, "Pengembangan Alat Uji Fatik Rotary Beanding Dengan Pendekatan Menggunakan Persamaan Josep Marin," *Prosiding Senantias: Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, Vol. 4, No. 1, Pp. 24–34, Jul. 2023, Accessed: Dec. 03, 2025.
- [12] A. Pambudi, M. Badaruddin, And S. Sugiyanto, "Low-Cycle Fatigue Of Cold-Drawn Type 304 Austenitic Stainless Steel In Annealing Conditions," *Indonesian Journal Of Engineering And Science*, Vol. 3, No. 2, Pp. 039–046, Jul. 2022, Doi: 10.51630/Ijes.V3i2.39.
- [13] A. A. Al-Bakri, Z. Sajuri, M. Abdulrazzaq, A. K. Ariffin, and M. S. Fafmin, "Fatigue properties of strained thin 304 stainless steel sheets," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 4171–4182, Jun. 2017, doi: 10.15282/IJAME.14.2.2017.5.0334.
- [14] S.-H. Nahm, H.-B. Shim, U.-B. Baek, and C.-M. Suh, "Very High Cycle Fatigue Behaviors and Surface Crack Growth Mechanism of Hydrogen-Embrittled AISI 304 Stainless Steels," *Materials Sciences and Applications*, vol. 09, no. 04, pp. 393–411, Apr. 2018, doi: 10.4236/MSA.2018.94027.
- [15] C. M. Smudde, C. C. San Marchi, M. R. Hill, and J. C. Gibeling, "The Influence of Residual Stress on Fatigue Crack Growth Rates in Stainless Steel Processed by Different Additive Manufacturing Methods," *Journal of Materials Engineering and Performance* 2024 33:15, vol. 33, no. 15, pp. 7703–7713, May 2024, doi: 10.1007/S11665-024-09558-5.
- [16] M. M and R. Septiawan, "Analisa Pengujian Lelah Material Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 64–73, Sep. 2018, doi: 10.30596/RMME.V1I1.2437.
- [17] K. Mochammad et al., "Pengukuran Performa Jaringan Internet Menggunakan Quality of Service dengan Wireshark," *Nusantara Computer and Design Review*, vol. 3, no. 1, pp. 9–14, Apr. 2025, doi: 10.55732/NCDR.V3I1.1633.
- [18] Lostari Aini, dkk. "Perancangan Alat Pengangkut Material Gerobak Sorong Yang Ergonomis Untuk Efisiensi Dan Peningkatan Produktivitas". *Jurnal Ilmiah* Vol. 16, No. 1, Juli 2022.
- [19] Lostari Aini ,dkk. "Optimization Of Tambourine Kecer Punching Machine With Two Axis Movement System Using Trimmer Machine To Improve Efficiency And Product Quality", Vol.14, No.01, (151-160) Januari 2023.
- [20] T. Fu, Y. Zhang, Z. Han, L. Chen, J. Zhu, And S. Peng, "Analisis Perambatan Retak Fatik Pada Stainless Steel 304 Yang Dilapisi Aluminium Celup Panas," *Siwah: Multidisciplinary Scientific Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 11–21, May 2025, doi: 10.1016/J.JMRT.2023.12.077.
- [21] P. Strzelecki, A. Mazurkiewicz, J. Musiał, T. Tomaszewski, and M. Słomion, "Fatigue Life for Different Stress Concentration Factors for Stainless Steel 1.4301," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 22, Nov. 2019, doi: 10.3390/MA12223677.
- [22] A. Apriliana -1, A. Ichsan Pradana -, and D. Hartanti -, "COMPARISON OF THE USE OF TELEGRAM AND BLYNK PLATFORMS IN IOT-BASED GAS LEAK

- DETECTION," *Jurnal Riset Informatika*, vol. 7, no. 3, pp. 145–155, Jun. 2025, doi: 10.34288/JRI.V7I3.381.
- [23] Y. Zhou, Z. Zhao, S. Jiang, and D. Duan, "Effect of heat treatment on the tribocorrosion behavior of 20Cr13 martensitic stainless steel," *Tribol Int*, vol. 197, p. 109768, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2024.109768.
- [24] S. Slavov, D. Dimitrov, M. Konsulova-Bakalova, and D. Vasileva, "Impact of Ball Burnished Regular Reliefs on Fatigue Life of AISI 304 and 316L Austenitic Stainless Steels," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 10, May 2021, doi: 10.3390/MA14102529.