

Analisa Pengaruh Suhu Tempering 440°C, 460°C, 480°C Dengan Suhu Oli Quenching 50°C Pada Baja 50CrV4 Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro

Zamrony Irawan¹, Lisa Puspita Aryanto², Meryanalinda³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

^{1,2,3} Jl. Arif Rahman Hakim Gresik No.2B Kramatandap, Gapurosukolilo, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61111

Email: zamronyirawan061@gmail.com

ABSTRAK

Untuk memperoleh kualitas pegas daun yang memenuhi standar pelanggan, diperlukan serangkaian proses produksi yang kritis, salah satunya adalah proses heat treatment. Penelitian ini bertujuan mengembangkan material baru di PT X, yaitu baja 50CrV4, yang sebelumnya hanya menggunakan material SUP 9, SUP 11, dan SUP 11AM. Data yang dikumpulkan meliputi sifat mekanik dan struktur mikro baja 50CrV4 dengan variasi temperatur tempering 440°C, 460°C, dan 480°C, serta temperatur oli pendingin 50°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa struktur mikro setelah tempering pada ketiga variabel (N1, N2, dan N3) sesuai standar, yaitu berupa struktur tempered martensite. Nilai kekerasan material 50CrV4 pada variabel N1 (457–478 Hv) melebihi batas maksimum standar kekerasan, pada N2 (434–455 Hv) mendekati batas atas standar, dan pada N3 (414–438 Hv) berada di kisaran tengah standar kekerasan. Berdasarkan temuan ini, untuk menghindari kegagalan proses heat treatment pada material baja 50CrV4, disarankan untuk memberikan identifikasi khusus pada material tersebut dan menetapkan parameter temperatur tempering yang spesifik.

Kata kunci: Pegas Daun, Sifat Mekanik, Struktur Mikro, Baja 50CrV4.

ABSTRACT

Critical production processes are required to obtain leaf spring quality that meets customer standards, including the heat treatment. This study aims to develop new materials at PT X, namely 50CrV4 steel, which has previously been used only with SUP 9, SUP 11, and SUP 11 AM materials. The data collected include the mechanical properties and microstructure of 50CrV4 steel with variations in tempering temperatures of 440°C, 460°C, and 480°C, and a cooling oil temperature of 50°C. The test results show that the microstructure after tempering in the three variables (N1, N2, and N3) is by the standard, namely a tempered martensite structure. The hardness value of the 50CrV4 material in variable N1 (457–478 Hv) exceeds the maximum limit of the hardness standard, in N2 (434–455 Hv) it approaches the upper limit of the standard, and in N3 (414–438 Hv) it is in the middle range of the hardness standard. Based on these findings, to avoid failure of the heat treatment process on 50CrV4 steel material, it is recommended to provide special identification to the material and set specific tempering temperature parameters.

Keywords: Leaf Spring, Mechanical Properties, Microstructure, 50CrV4 Steel.

Pendahuluan

Beberapa rangkaian penting dalam proses awal manufaktur otomotif untuk kendaraan bermotor siap untuk diperjualkan ke konsumen. Diantaranya termasuk persiapan alat, proses produksi bahkan desain produk. Tiap tahapan manufaktur memiliki peranan masing-masing untuk mendapatkan produk akhir yang optimal. Tahap awal dalam tahapan manufaktur yaitu desain dan pengembangan produk. Tim desain melakukankolaborasi dan inovasi agar konsumen kendaraan tertarik terhadap produk mereka[1]–[3]. Untuk memenuhi standar kualitas yang ketat, mereka menggunakan teknologi canggih agar mendapatkan bentuk dan fungsi yang ideal. Selain itu pengujian dan evaluasi ketat juga dilakukan. Inovasi-inovasi besar kelas dunia dilakukan sebagai suatu terobosan dalam Industri manufaktur otomotif sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas produk dan efisiensi produksi[4]–[6].

Banyak bisnis juga berkonsentrasi pada pembuatan pegas daun komposit untuk LCV dan kendaraan listrik[7], [8]. Menurut Society of Indian Automobile Producers, penjualan kendaraan niaga ringan mencapai 475.989 menjadi 603.465 unit dan kendaraan niaga sedang dan berat meningkat dari 240.577 menjadi 359.003 unit pada TA-2022–2023. Dengan demikian, permintaan pegas daun akan terus meningkat karena meningkatnya penggunaan penjualan dan produksi komersial[9]–[11].

Dalam kendaraan bermotor roda empat, salah satu jenis spare part yang digunakan yaitu pegas daun[12]–[14]. Pegas daun merupakan komponen yang mengutamakan kekuatan agar mampu menerima beban yang sangat besar. PT X salah satu dari beberapa produsen perusahaan otomotif di dunia industri yang memproduksi komponen kendaraan berbahan dasar pegas daun. Pabrik ini salah satu perusahaan dari beberapa perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur pegas otomotif yang memproduksi di daerah Jawa Timur, Indonesia. Dimana dalam proses produksinya, PT X menggunakan lisensi dari Mitsubishi Steel MFG, Jepang sebagai pedoman.

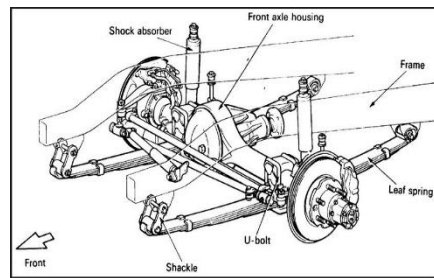
Terdapat beberapa proses untuk memperoleh kualitas pegas sesuai standart pelanggan. Dalam memproduksi pegas daun terdapat satu proses kritis agar pegas dapat memperoleh kekuatan dan masa pakai sesuai dengan standart pelanggan[15]–[17]. Salah satu proses kritis dalam pembuatan pegas adalah proses Heat Treatment. Sebelumnya PT X hanya menggunakan *grade* material SUP 9, SUP 11 dan SUP 11AM, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada *grade* material baru yaitu material 50CrV4[18]–[20]. Adapun data yang diambil adalah sifat mekanik dan struktur mikro baja 50CrV4 dengan menggunakan temperatur tempering 440°C, 460°C, 480°C dengan temperatur oli pendingin 50°C[21]–[23]. Oleh karena itu dalam penelitian ini PT X memperoleh parameter pengaturan temperatur tempering pada baja 50CrV4, dan mendapatkan gambaran struktur mikro dan sifat mekanik pegas sesuai dengan standart pelanggan.

Dari studi literatur terdahulu diperoleh kesamaan metode pengujian yaitu menggunakan proses *heat treatment* namun berbeda dalam menentukan variable pengujiannya, diantaranya yaitu temperatur oli 50°C dan temperatur *tempering* 440°C, 460°C, 480°C [24]–[26]. Selain itu juga *grade* material spesimen uji sebelumnya diantaranya menggunakan baja ST40 dan baja S50C sedangkan penelitian kali ini menggunakan *grade* material 50CrV4 dengan dilakukan uji analisa struktur mikro dan juga kekerasannya dari masing-masing variable ujinya.

Baja merupakan salah satu jenis logam, dimana besi merupakan unsur dasar sedangkan karbon merupakan paduan utamanya. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai dengan kadarnya. Unsur karbon sendiri memiliki fungsi sebagai salah satu unsur penguat logam. Kemajuan di bidang industri saat ini untuk mengembangkan material yaitu logam terkhusus baja semakin maju. Oleh karena itu material baja semakin lebih baik dan kompleks. Selain itu material baja yang mempunyai kekuatan impak maupun daya tahan keausan yang tinggi baik untuk digunakan pada peralatan modern saat ini. Hal ini dikarenakan disebabkan oleh adanya pergerakan linear dan kecepatan putar yang semakin meningkat serta frekuensi pembebanan yang semakin meningkat pada peralatan yang diaplikasikan pada jaman modern saat ini.

Baja 50CrV4/AISI-6150 banyak digunakan dalam pembuatan pegas katup, batang piston, bagian pompa, dan poros spline. Baja 50CrV4 adalah baja paduan kromium vanadium berbutir halus dengan ketahanan yang sangat baik terhadap abrasi dan guncangan. Baja 50CrV4 juga digunakan untuk memproduksi komponen perkakas tangan yang mengutamakan ketangguhan. Baja ini ditempa pada suhu 950°C hingga 1175°C. Baja ini juga mudah dilas menggunakan metode pengelasan standar. Semua pengerjaan fabrikasi dan permesinan sangat baik karena kekerasan dalam kondisi perlakuan panas bervariasi antara 34-54 HRC. Beberapa perlakuan panas yang dapat digunakan pada baja 50CrV4 adalah *normalizing*, *annealing*, *hardening and tempering*, *austempering*, *spheroidizing and martempering*. Pengerjaan perlakuan panas dapat dipilih dengan tepat untuk menyesuaikan sifat mekanik baja ini. Baja dapat dinitridasi untuk mendapatkan kekerasan permukaan dan ketahanan abrasi maksimum, karena memiliki karakteristik nitridasi yang mirip dengan baja 4140 dan 4340.

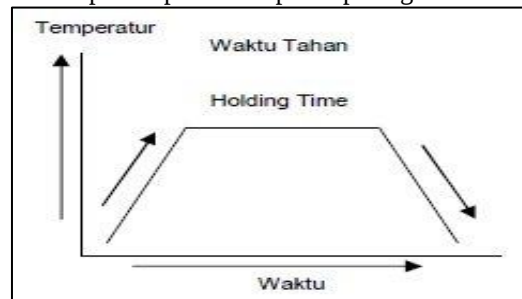
Pegas atau yang dikenal dengan sebutan *shock absorber* atau *shock breaker* merupakan perangkat mekanik yang dirancang untuk berfungsi meredam guncangan kinetik yang ditimbulkan. Alat ini berfungsi untuk meredam pengaruh energi kinetik yang ditimbulkan oleh kekasaran permukaan jalan saat berkendara. Tanpa adanya peredam kejut pada kendaraan, bisa menyebabkan kendaraan terlempar karena energi yang tersimpan pada pegas dilepaskan pada kendaraan. Suspensi tanpa peredam kejut dikarenakan gerakan berlebih, diredam secara paksa oleh pegas yang kaku dan bisa menyebabkan ketidaknyamanan selama mengendarai kendaraan. Pegas yang lembut yang bisa mengontrol gerakan suspensi sebagai peredam kejut dalam merespon gundukan atau lubang.



Gambar 1. Pegas Daun

Gambar diatas merupakan penerapan pegas daun pada mobil dimana pemasangan pegas daun pada gardan kendaraan ditentukan berdasarkan jenis kendaraan. Jika kendaraan menginginkan lantai rendah, pegas daun dipasang di bawah gardan. Begitu juga apabila menginginkan lantai kendaraan tinggi, pegas daun dipasang pada atas gardan. Jarak antara kedua mata pegas juga sangat berpengaruh dan perlu diperhatikan saat pemasangan[27], [28].

Perlakuan panas atau *heat treatment process* merupakan suatu proses yang terdiri dari pemanasan dan pendinginan baja pada temperatur fasa austenit. Selanjutnya material ditahan pada suhu yang sama selama beberapa waktu, kemudian didinginkan pada laju pendinginan sesuai dengan waktu tertentu. Berikut ini adalah gambaran besar proses perlakuan panas pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva siklus perlakuan panas

Berdasarkan gambar diagram di atas, ketika baja dipanaskan pada suhu tertentu, kemudian dilakukan penahanan selama waktu tertentu, hal tersebut dapat berpengaruh terhadap struktur baja. Proses berikutnya adalah baja didinginkan dengan kecepatan tertentu serta menggunakan proses pendinginan media tertentu

Metode Penelitian

Prosedur Pengambilan Data

Data yang diambil selama penelitian berupa data sekunder, yaitu data laporan Research & Development, QC dan Laboratorium. Diantaranya adalah laporan tentang metalurgi produk setelah proses perlakuan panas. Data-data yang diambil terdiri dari :

1. Data selama proses *heat treatment* antara lain temperatur *heating furnace*, temperatur *quenching*, temperatur *tempering*, dan *cycle time*.
2. Data uji kekerasan (*vickers*) dengan standart ASTM E-92-82 dan struktur mikro material dengan standart ASTM E407-99.

Data *specimen* yang dilakukan pengujian sebanyak 1 sample dari masing-masing variable pengujian, dimana setiap prosesnya menggunakan 30 sample material uji dari setiap percobaan.

Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian dari gambar 3 sebagai berikut :

1. Tahap identifikasi

Pada tahap ini merupakan tahap awal yang dilakukan saat penelitian dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan merumuskan suatu masalah secara tepat yaitu *grade* baru material 50CrV4. Tahap pengumpulan dan pengolahan data

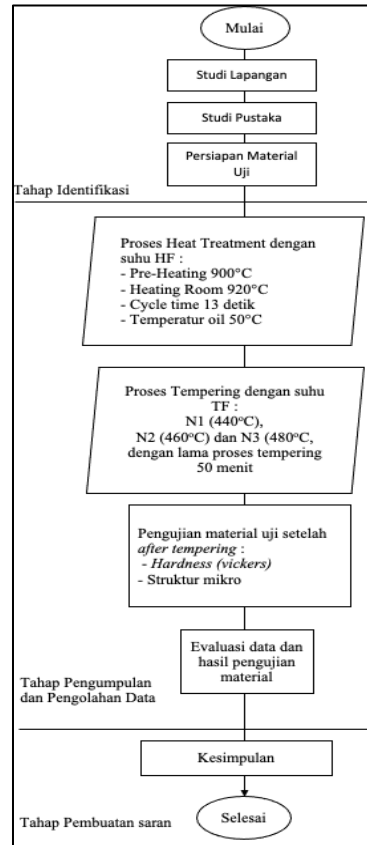
2. Tahap pengumpulan dan pengolahan data

Pada tahap ini dilakukan setelah dilakukan penelitian dimana membandingkan sifat mekanis baja berupa nilai kekerasan dan jenis struktur mikro pada material 50CrV4. Dimana perbandingan tersebut

diambil dari setting parameter pada area tempering furnace dengan 3 variable temperatur tempering mulai dari 440°C, 460°C dan 480°C.

3. Tahap pembuatan saran dan kesimpulan

Setelah semua tahapan pengujian dilakukan, maka diperoleh data hasil pengujian yaitu sifat mekanik kekerasan (*Vickers*) dan struktur mikro dari penelitian yang dilakukan. Selanjutnya data ini dapat dijadikan sebagai latar belakang dalam membuat simpulan dan saran untuk penelitian ini dan khususnya untuk perusahaan PT X



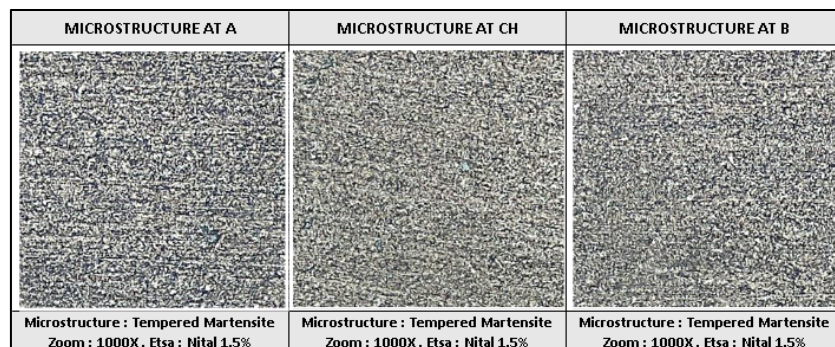
Gambar 3. Flowchart penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Variable N1 Temperatur Tempering Furnace 440°C

- Mikrostruktur

Berikut gambar struktur mikro material uji *after tempering* pada material 50CrV4 dengan *tempering furnace* 440°C dan perbesaran 1000x.

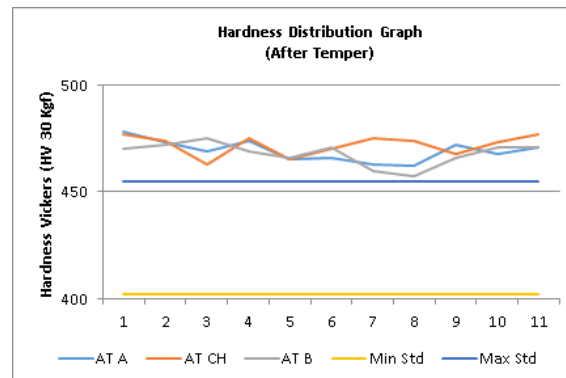


Gambar 4. Foto struktur mikro material 50CrV4 pada variable N1

Berdasarkan gambar foto struktur mikro diatas didapatkan struktur material 50CrV4 variable N1 sama-sama memiliki struktur mikro *tempered martensit* (berbentuk jarum dan berwarna putih).

- Kekerasan Material

Berikut merupakan kekerasan material 50CrV4 after tempering dalam satuan *hardness Vickers* pada temperatur tempering furnace 440°C.



Gambar 5. Grafik hardness Vickers material 50CrV4 pada variable N1

Berdasarkan grafik *hardness vickers* diatas didapatkan nilai *hardness* material 50CrV4 maksimal 478 hv, minimal 457 hv dengan nilai rata-rata 469 hv, sehingga didapatkan *judgement* hasil kekerasan material NG (melebihi batas std max 455 hv) atau material terlalu keras. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh nilai karbon *equivalent* material 50CrV4 memiliki komposisi nilai karbon tinggi sehingga dengan *temperature tempering* rendah 440°C, nilai kekerasan material tinggi atau keras.

Variable N2 Temperatur Tempering Furnace 460°C

- Mikrostruktur

Berikut gambar struktur mikro material uji after tempering pada material 50CrV4 dengan *tempering furnace* 460°C dan perbesaran 1000x.

MICROSTRUCTURE AT A	MICROSTRUCTURE AT CH	MICROSTRUCTURE AT B
Microstructure : Tempered Martensite Zoom : 1000X, Etsa : Nital 1,5%	Microstructure : Tempered Martensite Zoom : 1000X, Etsa : Nital 1,5%	Microstructure : Tempered Martensite Zoom : 1000X, Etsa : Nital 1,5%

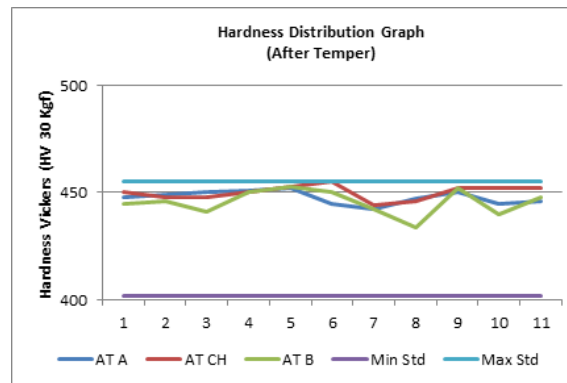
Gambar 6. Foto struktur mikro material 50CrV4 pada variable N2

Berdasarkan gambar foto struktur mikro diatas didapatkan struktur material 50CrV4 pada variable N2 sama-sama memiliki struktur mikro *tempered martensit* (berbentuk jarum dan berwarna putih).

- Kekerasan Material

Berikut merupakan kekerasan material 50CrV4 *after tempering* dalam satuan *hardness Vickers* pada temperatur tempering furnace 460°C.

Berdasarkan grafik *hardness vickers* diatas didapatkan nilai *hardness* material 50CrV4 maksimal 455 hv, minimal 434 hv dengan nilai rata-rata 447.7 hv, sehingga didapatkan *judgement* hasil kekerasan material OK (berada pada batas std max-min 402-455 hv) namun cenderung mendekati standart batas atas 455 hv.

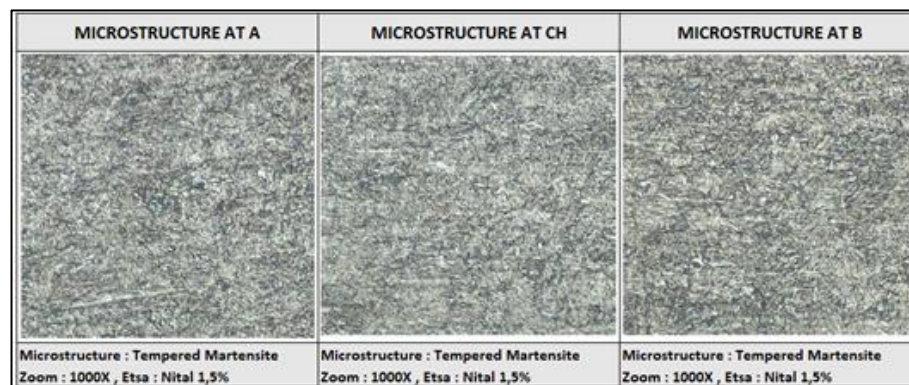


Gambar 7. Grafik hardness Vickers material 50CrV4 pada variable N2

Variable N3 Temperatur Tempering Furnace 480°C

- Mikrostruktur

Berikut gambar struktur mikro material uji *after tempering* pada material 50CrV4 dengan *tempering furnace* 480°C dan perbesaran 1000x.

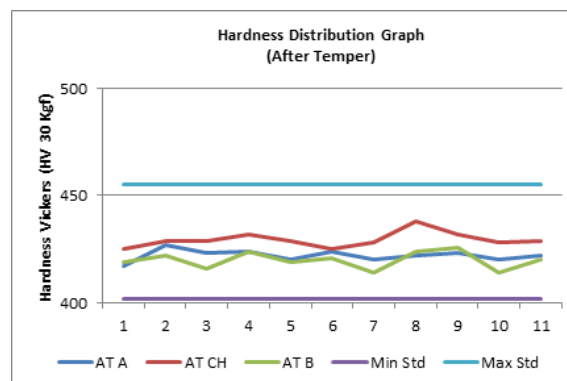


Gambar 8. Foto struktur mikro material 50CrV4 pada variable N3

Berdasarkan gambar foto struktur mikro diatas didapatkan struktur material 50CrV4 pada variable N3 sama-sama memiliki struktur mikro *tempered martensit* (berbentuk jarum dan berwarna putih).

- Kekerasan Material

Berikut merupakan kekerasan material 50CrV4 *after tempering* dalam satuan *hardness Vickers* pada temperatur tempering furnace 480°C.



Gambar 9. Grafik hardness vickers material 50CrV4 pada variable N3

Berdasarkan grafik *hardness vickers* diatas didapatkan nilai *hardness* material 50CrV4 maksimal 438 hv, minimal 414 hv dengan nilai rata-rata 423.8 hv, sehingga didapatkan judgement hasil kekerasan material OK (sesuai batas std max-min 402-455 hv) dan berada di batas nilai tengah standart max-min.

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan pengaruh parameter *setting temperature tempering furnace* material 50CrV4 yaitu jenis struktur mikro pada 3 variable pengujian adalah struktur *tempered martensit*. Sedangkan nilai distribusi *hardness* pada variable N1 sebesar 457-478 hv, nilai *hardness* berada diluar nilai maksimal standart *hardness* (455). Nilai distribusi *hardness* pada variable N2 sebesar 434-455 hv, nilai *hardness* cenderung berada pada nilai maksimal standart *hardness* (455). Dan nilai distribusi *hardness* pada variable N3 sebesar 414-438 hv, nilai *hardness* berada pada nilai tengah standart minimal-maksimal standart *hardness* (402-455). Sehingga didapatkan *setting* parameter *temperature tempering* lebih baik pada variable N3 (Temperatur *tempering furnace* 480°C).

Daftar Pustaka

- [1] R.Fadilah, G.Widyaputra, T.Mesin, and F.Teknik, "Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Material Komposit Pada Body Mobil Listrik Prosoe Kmhe 2019," *Jurnal Teknik Mesin*. academia.edu, 2020. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/111424123/3886.pdf>
- [2] D. F.Rochman and M. A.Irfai, "Pengaruh konsentrasi larutan KOH terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro komposit hibrid serat rami dan serat bambu," *Jurnal Teknik Mesin*. ejournal.unesa.ac.id, 2020. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/37325/33112>
- [3] D.Permatasari, Z.Zuhaimi, and..., "Analisa Sifat Mekanik Aluminium Alloy 6151 setelah Mengalami Perlakuan Panas," *J. Mesin Sains ...*, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.pnl.ac.id/mesinsainsterapan/article/view/1737>
- [4] Y.Winardi, F.Fadelan, M.Munaji, and..., "Pengaruh elektroda pengelasan pada Baja AISI 1045 dan SS 202 terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik," *J. Pendidik. ...*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPTM/article/view/27772>
- [5] G. D.Haryadi, A. F.Utomo, and I. M. W.Ekaputra, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045," *J. Rekayasa Mesin*, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/2633>
- [6] W.Anderson, H.Rudianto, and..., "Pengaruh komposisi Cu terhadap sifat mekanik dan stuktur mikro dari pengecoran Al-Si," *J. Ilm. Teknol. ...*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/tekno/article/view/2464>
- [7] M. I. Hamdy, "Analisa Overall Equipment Effectiveness pada Mesin Breaker," *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. Dalam Bid. Tek. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 70–74, 2015.
- [8] M. Nur, "Analisis Nilai Overall Equipment Effectiveness Pada Mesin Packer Di PT. Semen Padang Unit Produksi Dan Pengantongan Dumai," *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. Dalam Bid. Tek. Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 119–124, 2017.
- [9] A. D. S.DeJesus and G.Soebiyakto, "Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment," *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*. core.ac.uk, 2020. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/267076589.pdf>
- [10] S.Suherman, S.Sarjianto, and N.Bahri, "Penambahan Sr pada Aluminium Paduan A356 dengan Metode Lost Foam Casting (LFC)," *J. Rekayasa Mesin*, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/2615>
- [11] S.Mahardika, "Analisa Rekayasa Sifat Mekanik Baja Aisi 4140 Dengan Variasi Suhu Tempering Untuk Meningkatkan Keuletan Dan Kekerasan Material," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/2306>
- [12] M. A.Lutfinandha and N. S.Drastiawati, "Pengaruh Waktu Perendaman Serat Pada Larutan Natrium Bikarbonat (NaHCO₃) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Komposit Serat Kulit Batang Kersen ...," *J. Tek. Mesin*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/34383>
- [13] S.Dharma, S.Suherman, S.Sarjianto, and..., "Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW," *J. Rekayasa ...*, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/3068>
- [14] A. Arifah and S.Ruswanto, "Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW," *J. Mek. Terap.*, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/jmt/article/view/3354>
- [15] H. M.Munawar, I. N.Gusniar, and..., "Pengaruh Jenis Elektroda Las SMAW Terhadap Sifat

- Mekanik dan Struktur Micro,” *J. Pendidik. Tek. ...*, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPTM/article/view/56007>
- [16] D. Leni and R.Sumati, “Perbandingan Alogaritma Machine Learning Untuk Prediksi Sifat Mekanik Pada Baja Paduan Rendah,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan ...*, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/11407>
- [17] M. I. R.Yuniarto, H.Pratikno, andD. M.Chamelia, “Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BK1 Grade A terhadap Sifat Mekanik,” *Jurnal Teknik ITS*. core.ac.UK, 2020. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/304915757.pdf>
- [18] I.Azmy, M. A. K.Umam, andR.Muliawan, “Studi pengaruh proses tempering terhadap struktur mikro dan kekerasan post-annealing baja mangan austenitik,” *J. Polimesin*, 2021, [Online]. Available: <https://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/2285>
- [19] D. Tsamroh and M. R.Fauzy, “Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging,” *G-Tech J. Teknol. ...*, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.uniramalang.ac.id/index.php/g-tech/article/view/1217>
- [20] J. G. A. Paksi, I. A. Cristian, R. Indriansyah, and..., “Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas,” *JTM-ITI (Jurnal ... scholar.archive.org*, 2021. [Online]. Available: <https://scholar.archive.org/work/4rzyd2hxtvbh7f4vr7ki65qyh4/access/wayback/https://www.jtmiti.org/index.php/JTM/article/download/575/pdf>
- [21] A. W.Permana, R. D.Anjani, andI. N.Gusniar, “... Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Proses HeatTreatment Metode Hardening-Tempering Material Baja S45C Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro,” *J. Rekayasa Mesin*, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/1989>
- [22] I.Hamdi and H.Oktadinata, “Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja Ss400 Menggunakan Metode Gmaw,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, 2020, [Online]. Available: <https://www.jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/jitm/article/view/1998>
- [23] M. R. A.Rachman andA. M.Sakti, “Analisa Perbedaan Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Baja S45C Dengan Perlakuan Quenching dan Tempering Pada Media Udara, Air, Dan Oli Untuk Aplikasi ...,” *Jurnal Teknik Mesin*. ejournal.unesa.ac.id, 2020. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/37272/33079>
- [24] W. Wartono and A.Aprianto, “Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Butt-Joint Las TIG Aluminium,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan ...*, 2021, [Online]. Available: https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/848
- [25] M.Khusaini, F.Fadelan, and..., “Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Mig (Metal Inert Gas) Aluminium 6061,” *AutoMech J. ...*, 2021, [Online]. Available: <https://studentjournal.umpo.ac.id/index.php/JTM/article/view/4271>
- [26] F.Bahfie, Z.Aleiya, A.Milandia, and..., “Studi pengaruh kadar mangan dan temperatur austenitasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja mangan,” ... *Teknik Mesin: Jurnal ... dinamika.unram.ac.id*, 2020. [Online]. Available: <https://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/article/download/317/208>
- [27] W. Anggraini and D. F.Ramadani, “Usulan Strategi Perawatan Mesin Breaker dan Mesin Hammermill di PT. P&P Bangkinang,” *J. Tek. Ind..*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [28] A. A.Purba, A.Sunani, andI. P. D. A. S.Prabowo, “Analisis Penggantian Mesin Hot Press dengan Menggunakan Metode Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) di PT Xyz,” *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. Dalam Bid. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 132–139, 2022.