

OPTIMASI PERLAKUAN PANAS BAJA ST60 DAN ST90 UNTUK *DOG CLUTH* KENDARAAN HEMAT ENERGI

Adrian Gilang Wibowo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: adriangilang.21029@mhs.unesa.ac.id

Hanna Zakiyya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: hannazakiyya@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi viskositas media pendingin dan temperatur austenisasi terhadap sifat mekanik baja ST60 dan ST90 yang diaplikasikan sebagai material dog clutch pada kendaraan mobil hemat energi. Permasalahan umum pada sistem transmisi konvensional seperti keausan dan kehilangan energi mendorong penggunaan dog clutch yang memerlukan material dengan kekerasan permukaan tinggi dan ketangguhan inti yang memadai. Penelitian dilakukan dengan metode perlakuan panas menggunakan variasi temperatur austenisasi 850°C, 900°C, dan 950°C, serta media pendingin oli dengan viskositas berbeda yaitu SAE 20, SAE 40, dan SAE 90. Pengujian dilakukan terhadap kekerasan menggunakan metode Rockwell, uji impak metode Charpy, serta pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenisasi serta penggunaan media pendingin dengan viskositas rendah mampu meningkatkan kekerasan secara signifikan. Kombinasi terbaik terdapat pada temperatur 900°C dengan pendingin SAE 20 yang menghasilkan kekerasan tertinggi mencapai 55–62 HRC, dengan struktur mikro didominasi oleh martensit. Simpulan dari penelitian ini adalah bahwa baja ST60 dan ST90 yang telah melalui proses perlakuan panas dapat memenuhi spesifikasi mekanik yang dibutuhkan untuk aplikasi dog clutch, serta berpotensi menjadi alternatif material terhadap baja paduan seperti AISI 4140 dan AISI 8620.

Kata Kunci: baja ST60, baja ST90, temperatur austenisasi, viskositas oli, perlakuan panas

Abstract

This study aims to analyze the effect of variations in cooling media viscosity and austenitizing temperature on the mechanical properties of ST60 and ST90 steels used as dog clutch materials in energy-efficient vehicles. Common issues in conventional transmission systems, such as wear and energy loss, have encouraged the use of dog clutch systems, which require materials with high surface hardness and sufficient core toughness. The research was conducted using heat treatment methods with austenitizing temperatures of 850°C, 900°C, and 950°C, and quenching media in the form of oil with different viscosities, namely SAE 20, SAE 40, and SAE 90. Testing included hardness testing using the Rockwell method, impact testing using the Charpy method, and microstructural analysis using an optical microscope. The results showed that increasing the austenitizing temperature and using a lower-viscosity cooling medium significantly increased the hardness. The best combination was obtained at a temperature of 900°C with SAE 20 oil, which produced the highest surface hardness reaching 55–62 HRC, with a microstructure predominantly composed of martensite. The conclusion of this research is that ST60 and ST90 steels that have undergone heat treatment are capable of meeting the mechanical specifications required for dog clutch applications, and they also have potential to serve as alternative materials to alloy steels such as AISI 4140 and AISI 8620.

Keywords: ST60 steel, ST90 steel, austenitizing temperature, oil viscosity, heat treatment

PENDAHULUAN

Di tengah isu global mengenai krisis energi dan pencemaran lingkungan, sektor otomotif mengalami pergeseran arah pengembangan teknologi. Fokus utama kini tertuju pada efisiensi energi, dengan tujuan menghasilkan kendaraan yang lebih hemat bahan bakar dan ramah lingkungan. Langkah ini menjadi krusial mengingat ketersediaan sumber daya energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan gas alam semakin menipis dari tahun ke tahun.

Sebagai bentuk respons terhadap tantangan tersebut, berbagai inovasi terus dikembangkan. Mulai dari penerapan teknologi kendaraan hibrida dan listrik, pengembangan sistem bahan bakar injeksi yang presisi, teknologi pengapian canggih, hingga pemanfaatan bahan bakar alternatif seperti bio-diesel dan bio-bensin. Seluruh upaya ini diarahkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan emisi karbon dari sektor transportasi.

Selain dari dunia industri, kalangan akademisi juga turut mengambil peran penting. Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) menjadi salah satu wujud nyata kontribusi

tersebut. Ajang ini memberikan ruang bagi mahasiswa dan peneliti untuk merancang serta menguji kendaraan inovatif yang mengedepankan efisiensi energi. Melalui kompetisi seperti KMHE, diharapkan lahir berbagai solusi kreatif yang mendukung masa depan transportasi yang berkelanjutan.

Dalam sebuah kendaraan, sistem transmisi berperan penting dalam mengatur perpindahan tenaga dari mesin menuju roda penggerak, dengan menyesuaikan kecepatan dan torsi sesuai kebutuhan. Pada umumnya, sistem transmisi konvensional menggunakan kopling gesek, yang mengandalkan gaya gesekan antara dua permukaan untuk mentransfer tenaga. Meskipun sistem ini banyak digunakan, ia memiliki sejumlah kekurangan seperti hilangnya efisiensi akibat gesekan, keausan komponen, risiko terjadinya selip, serta respons perpindahan gigi yang cenderung lambat.

Sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan sistem transmisi yang menggunakan *dog clutch* yaitu sebuah jenis kopling mekanis yang mengunci langsung antar poros tanpa melibatkan gesekan. Karena bekerja melalui mekanisme penguncian positif, sistem ini mampu menghilangkan potensi selip, meningkatkan efisiensi transmisi, serta mengurangi keausan komponen. Dengan demikian, penggunaan *dog clutch* dinilai lebih unggul dalam hal ketahanan dan efisiensi, terutama untuk aplikasi kendaraan yang membutuhkan respons cepat dan konsumsi energi minimal.

Dog clutch biasanya terbuat dari baja paduan seperti AISI 4140 atau AISI 8620 karena karakteristiknya yang kuat, tahan aus, dan tangguh. Namun, untuk menekan biaya produksi tanpa mengorbankan performa, diperlukan alternatif material yang lebih ekonomis namun tetap mampu memenuhi tuntutan kerja komponen transmisi. Baja ST60 dan ST90, sebagai baja struktural karbon rendah dan menengah, memiliki potensi sebagai alternatif material *dog clutch*. Namun, agar material ini mampu menyaingi baja paduan, perlu dilakukan proses perlakuan panas seperti *hardening* guna meningkatkan kekerasan permukaan dan mempertahankan ketangguhan inti.

Sejumlah studi sebelumnya menunjukkan bahwa dua parameter utama dalam proses *heat treatment* yakni temperatur austenisasi dan viskositas media pendingin memiliki pengaruh besar terhadap pembentukan struktur mikro martensit, serta sifat mekanik logam seperti kekerasan dan ketangguhan. Pemilihan temperatur austenisasi yang tidak tepat atau penggunaan media pendingin dengan viskositas yang kurang sesuai dapat menyebabkan perubahan signifikan pada sifat mekanik, seperti meningkatnya kerapuhan atau berkurangnya ketahanan terhadap beban kejut.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kombinasi terbaik antara temperatur austenisasi dan viskositas oli pendingin guna menghasilkan sifat mekanik optimal pada baja ST60 dan ST90. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi kedua parameter tersebut terhadap nilai kekerasan, ketangguhan, serta struktur mikro material. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan kelayakan baja ST60 dan ST90 sebagai

material alternatif untuk *dog clutch* pada kendaraan hemat energi, yang menuntut efisiensi dan ketahanan tinggi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh variasi viskositas media pendingin dan temperatur austenisasi terhadap sifat mekanik baja ST60 dan ST90, khususnya dalam konteks penggunaannya sebagai komponen *dog clutch* pada kendaraan hemat energi. Proses penelitian melibatkan serangkaian perlakuan panas (*heat treatment*), diikuti dengan pengujian kekerasan, ketangguhan, serta analisis struktur mikro. Tujuan dari rangkaian pengujian ini adalah untuk menentukan kombinasi parameter perlakuan panas yang paling optimal dalam meningkatkan performa mekanik kedua jenis baja tersebut.

Tempat dan Waktu Penelitian

• Tempat Penelitian

Proses pembuatan spesimen dilaksanakan di workshop Garnesa Racing Team Universitas Negeri Surabaya, Sementara itu, pengujian sifat mekanik dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

• Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, pada Mei – Juli 2025. Setelah proposal tugas akhir disetujui.

Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol, yang masing-masing berperan dalam mempengaruhi dan menjaga validitas hasil penelitian.

• Variabel Bebas

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi viskositas media pendingin dan temperatur austenisasi.

• Variabel Terikat

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekerasan material, ketangguhan material, dan analisis struktur mikro setelah perlakuan panas

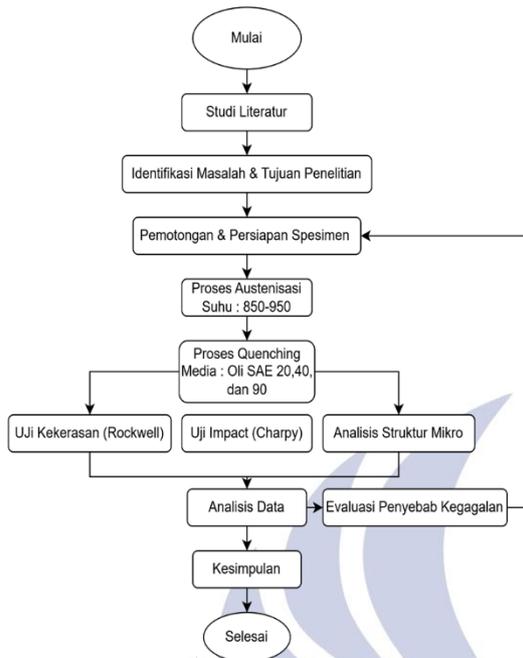
• Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah waktu tahan pada temperatur austenisasi dan waktu quenching sampai suhu ruangan

Optimasi Perlakuan Panas Baja St60 Dan St90 Untuk *Dog Cluth* Kendaraan Hemat Energi

Rancangan Penelitian

Tahapan penelitian disusun sesuai diagram alir di bawah ini



Gambar 1. Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian

Penjelasan Diagram Alir

- Dimulai dengan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan skripsi.
- Menentukan identifikasi masalah dan tujuan penelitian
- Melakukan pemotongan dan persiapan spesimen uji berupa baja ST60 dan ST90.
- Spesimen dipanaskan dalam proses austenisasi dengan variasi suhu 850°C, 900°C, dan 950°C.
- Setelah proses austenisasi, spesimen kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) menggunakan oli dengan viskositas berbeda yaitu SAE 20, SAE 40, dan SAE 90.
- Spesimen yang telah mengalami perlakuan panas kemudian diuji kekerasannya menggunakan metode *Rockwell*.
- Spesimen juga diuji ketangguhannya terhadap beban kejut dengan uji impact metode *Charpy*.
- Dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk setelah perlakuan panas.
- Seluruh data dari pengujian kemudian dianalisis secara menyeluruh, dari analisis tersebut dibuat kesimpulan dan jika ditemukan kegagalan material dilakukan evaluasi penyebab kegagalannya dan proses pengujian dapat diulang dari tahap persiapan spesimen.
- Namun, jika tidak ditemukan kegagalan maka penelitian dinyatakan selesai.

Persiapan Penelitian

- Persiapan Sampel
 - Baja ST60 dan baja ST90 dipotong sesuai ukuran standar uji kekerasan dan impact sesuai ASTM E23
- Proses Perlakuan Panas
 - Sampel dipanaskan dalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur austenisasi yang ditentukan, yaitu 850°C, 900°C, dan 950°C.
 - Dipertahankan pada temperatur tersebut selama 90 menit untuk memastikan transformasi austenite sempurna,
 - Setelah mencapai temperatur austenisasi, sampel segera didinginkan secara cepat dalam media pendingin, yaitu oli SAE 20, oli SAE 40, dan oli SAE 90.
- Pengujian Sifat Mekanik
 - Uji kekerasan menggunakan metode *Rockwell* sesuai ASTM E18.
 - Uji ketangguhan menggunakan metode uji impact *Charpy* sesuai ASTM E23.
 - Analisis struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik.
- Analisis Data
 - Analisis data menggunakan grafik hubungan antara temperatur dan viskositas terhadap kekerasan dan ketangguhan.
 - Hasil uji struktur mikro dibandingkan dengan literatur untuk mengidentifikasi transformasi fasa.
 - Hasil dianalisis untuk menentukan kombinasi optimal antara temperatur austenisasi dan viskositas media pendingin guna mencapai keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan yang optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan *Rockwell* terhadap baja ST60 menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan yang signifikan setelah dilakukan proses perlakuan panas dengan variasi temperatur austenisasi dan viskositas media pendingin. Nilai kekerasan awal sebesar 17 HRC meningkat secara drastis pasca perlakuan panas. Kondisi paling optimal diperoleh pada temperatur austenisasi 900°C dengan media pendingin SAE 20, yang menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 27 HRC. Peningkatan ini berkaitan erat dengan terbentuknya fasa martensit yang dominan akibat laju pendinginan cepat dari media pendingin dengan viskositas rendah.

Sebaliknya, pada kombinasi temperatur tinggi dengan pendingin berdaya viskositas tinggi seperti SAE 90, terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih lambat, sehingga menghasilkan struktur mikro yang terdiri dari campuran perlit dan bainit, yang memiliki tingkat kekerasan lebih rendah dibandingkan martensit

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan

No	Material	Suhu Austenisasi	Media Pendingin	HRC 1	HRC 2	HRC 3	Standart Deviasi	Rata rata data yang diterima
Kekerasan awal material baja ST60 sebelum diberi perlakuan 17 HRC								
Kekerasan awal material baja ST90 sebelum diberi perlakuan 32 HRC								
1.	ST60	850	Oli SAE 20	19	20	18	1.2247	19
2.	ST60	850	Oli SAE 40	10	11	10	0.7071	10,3
3.	ST60	850	Oli SAE 90	16	18	20	1.4142	18
4.	ST60	900	Oli SAE 20	19	28	26	3.8514	27
5.	ST60	900	Oli SAE 40	12	13	11	1.2247	12
6.	ST60	900	Oli SAE 90	12	14	12	1.4142	12,6
7.	ST60	950	Oli SAE 20	18	18	17	0.5774	18
8.	ST60	950	Oli SAE 40	17	16	15	0.7071	16
9.	ST60	950	Oli SAE 90	21	21	20	0.5774	21
10.	ST90	850	Oli SAE 20	51	52	54	1.2247	51,5
11.	ST90	850	Oli SAE 40	49	55	53	2.708	54
12.	ST90	850	Oli SAE 90	50	54	55	1.7321	54,5
13.	ST90	900	Oli SAE 20	52	58	57	2.5166	57,5
14.	ST90	900	Oli SAE 40	42	35	39	3.6742	40,5
15.	ST90	900	Oli SAE 90	51	53	53	0.8165	53
16.	ST90	950	Oli SAE 20	51	49	53	2.4495	51
17.	ST90	950	Oli SAE 40	25	30	31	2.1213	30
18.	ST90	950	Oli SAE 90	43	35	40	4.0415	41,5

Pada baja ST90, nilai kekerasan awal sebesar 32 HRC juga mengalami peningkatan yang lebih drastis setelah proses perlakuan panas. Kombinasi perlakuan terbaik ditunjukkan pada temperatur 900°C dengan pendinginan menggunakan oli SAE 20, yang menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 57,5 HRC. Hal ini mengindikasikan bahwa baja ST90 dengan kandungan karbon yang lebih tinggi mampu membentuk martensit lebih sempurna dibandingkan ST60. Kombinasi temperatur yang optimum dan pendinginan cepat memicu transformasi fasa austenit menjadi martensit secara dominan, yang sangat meningkatkan kekerasan material. Namun, jika proses pendinginan dilakukan dengan media yang lebih kental, seperti SAE 90, terbentuknya martensit menjadi tidak sempurna, sehingga kekerasan pun menurun.

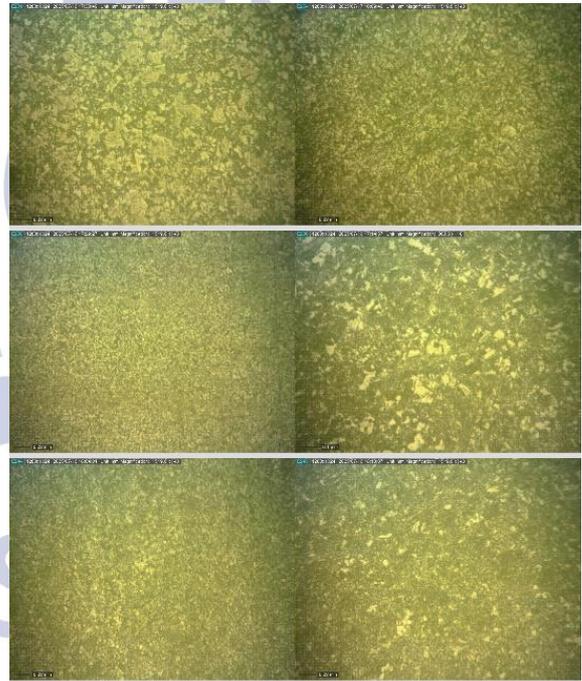
Tabel 2. Hasil Pengujian Impak

No	Spesimen	Sudut Awal	Sudut Akhir	Joule
1.	ST60-850-20	120	49.6	57,90
2.	ST60-850-40	120	43.3	61,97
3.	ST60-850-90	120	48.6	58,50
4.	ST60-900-20	120	38.9	64,40
5.	ST60-900-40	120	49.8	58,00
6.	ST60-900-90	120	63.9	47,46
7.	ST60-950-20	120	43.8	61,75
8.	ST60-950-40	120	71.6	41,20
9.	ST60-950-90	120	64	47,34
10.	ST90-850-20	120	100	16,46
11.	ST90-850-40	120	104.3	12,68
12.	ST90-850-90	120	103.8	12,73
13.	ST90-900-20	120	98.2	18,20
14.	ST90-900-40	120	110.3	7,92
15.	ST90-900-90	120	100.1	16,41
16.	ST90-950-20	120	105.6	12,03
17.	ST90-950-40	120	108.7	8,83
18.	ST90-950-90	120	107.8	9,57

Hasil pengujian ketangguhan atau impak menunjukkan bahwa nilai energi serapan baja ST60 secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan baja ST90. Energi impak tertinggi pada baja ST60 tercatat sebesar 64,4 Joule pada perlakuan temperatur 900°C dengan pendingin SAE 20. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun kekerasan meningkat, struktur mikro yang terbentuk masih mampu meredam energi benturan secara efektif. Penurunan ketangguhan terjadi seiring penggunaan media pendingin dengan viskositas lebih tinggi, terutama pada kombinasi

temperatur tinggi. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya fasa-fasa yang lebih kasar dan keras, seperti bainit kasar, yang bersifat getas dan menurunkan ketangguhan material. Pada ST60, kombinasi temperatur 850°C dan pendingin SAE 40 masih mampu menghasilkan struktur mikro yang relatif seimbang antara martensit dan perlit, sehingga ketangguhan tetap tinggi meskipun kekerasan sedikit menurun.

Sebaliknya, baja ST90 menunjukkan nilai ketangguhan yang jauh lebih rendah dibandingkan ST60 pada semua kombinasi perlakuan. Nilai impak tertinggi pada ST90 diperoleh sebesar 18,2 Joule pada temperatur 900°C dengan pendingin SAE 20. Struktur martensit yang terbentuk secara dominan pada baja ini meningkatkan kekerasan secara signifikan, namun juga menjadikan material lebih getas dan tidak mampu menyerap energi benturan dalam jumlah besar. Hal ini mengindikasikan bahwa pada baja dengan kandungan karbon tinggi, proses perlakuan panas perlu dikendalikan dengan hati-hati agar tidak menghasilkan struktur martensit penuh yang terlalu keras namun rapuh.



Gambar 2. Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya perubahan signifikan pada kedua jenis baja setelah perlakuan panas. Pada baja ST60 dengan pendinginan cepat menggunakan SAE 20, struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh martensit halus, yang menjelaskan peningkatan kekerasan yang cukup signifikan. Sementara itu, pada pendinginan lambat seperti menggunakan SAE 90, terbentuk fasa perlit dan bainit yang lebih dominan, yang menyebabkan nilai kekerasan menurun namun ketangguhan meningkat. Pada baja ST90, struktur mikro pada suhu 900°C dan pendingin SAE 20 menunjukkan dominasi martensit kasar, yang menyebabkan kekerasan sangat tinggi namun ketangguhan rendah. Kombinasi fasa martensit dan sedikit bainit ditemukan pada perlakuan

temperatur 900°C dan pendingin SAE 40, yang menunjukkan keseimbangan sifat mekanik meskipun tetap lebih cenderung ke arah getas.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur austenisasi dan viskositas media pendingin memberikan pengaruh nyata terhadap sifat mekanik baja ST60 dan ST90. Kombinasi perlakuan temperatur 900°C dengan pendingin SAE 20 terbukti menghasilkan kekerasan tertinggi untuk kedua jenis baja. Namun demikian, kombinasi ini juga menyebabkan penurunan ketangguhan, terutama pada ST90. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang memerlukan keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan, kombinasi temperatur 850°C hingga 900°C dengan pendingin viskositas sedang seperti SAE 40 dapat menjadi alternatif yang lebih seimbang. Penyesuaian parameter perlakuan panas ini penting terutama dalam aplikasi komponen transmisi seperti *dog clutch*, yang membutuhkan kekuatan permukaan tinggi sekaligus ketahanan terhadap beban kejut.

Simpulan

Variasi viskositas media pendingin dan temperatur austenisasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik baja ST60 dan ST90, khususnya dalam meningkatkan kekerasan dan ketangguhan material melalui pembentukan struktur martensit yang dominan akibat proses pendinginan cepat. Kombinasi perlakuan panas paling optimal diperoleh pada temperatur austenisasi 900°C dengan media pendingin SAE 20, yang menghasilkan kekerasan maksimum hingga 57,5 HRC dan ketangguhan impak tertinggi sebesar 64,4 Joule, dengan struktur mikro berupa martensit halus dan sedikit bainit. Berdasarkan hasil tersebut, baja ST60 dan ST90 yang telah mengalami perlakuan panas pada kondisi optimum dinyatakan memenuhi spesifikasi teknis sebagai material *dog clutch*, serta memiliki potensi kuat untuk menggantikan baja paduan seperti AISI 4140 dan AISI 8620, terutama karena keunggulannya dari aspek efisiensi biaya, ketersediaan material, dan kemudahan proses produksi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh saran sebagai berikut:

1. Untuk keperluan aplikasi *dog clutch* pada kendaraan mobil hemat energi, disarankan menggunakan baja ST90 dengan perlakuan panas temperatur austenisasi 900°C dan pendinginan oli SAE 20
2. Penambahan proses tempering setelah quenching, untuk mengetahui sejauh mana perlakuan ini dapat meningkatkan ketangguhan tanpa menurunkan kekerasan secara signifikan. Tempering juga penting untuk mengurangi sifat getas dari martensit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Surabaya (UNESA), khususnya Program Studi Teknik Mesin, atas dukungan akademik, fasilitas pendidikan, serta lingkungan belajar yang kondusif yang telah diberikan selama masa studi. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen pengajar yang

telah memberikan ilmu, pengalaman, dan inspirasi yang sangat bermanfaat sebagai bekal dalam penyusunan artikel ini.

Penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada ibu Hanna Zakiyya, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta memberikan bimbingan, saran, kritik yang membangun, dan motivasi yang sangat berarti selama proses penelitian dan penulisan artikel ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Politeknik Negeri Malang (Polinema), khususnya kepada Laboratorium Teknik Mesin atas bantuan fasilitas, peralatan, dan ruang uji dalam pelaksanaan eksperimen, seperti uji kekerasan Rockwell, uji impak Charpy, serta pengamatan struktur mikro. Dukungan teknis dan kemudahan akses dari pihak laboratorium sangat membantu kelancaran proses pengambilan dan pengolahan data.

Tidak lupa, penulis menyampaikan terima kasih kepada keluarga yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan dalam setiap tahapan proses studi dan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2021, yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuan teknis selama proses penelitian hingga artikel ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adolph, R. (2016). *Pengertian Kopling*, 1–23.
- Alzuwayer, B., Robert, P., Imtiaz, H., & Venhovens, P. (2017). An Advanced Automatic Transmission with Interlocking Dog Clutches: High-Fidelity Modeling, Simulation and Validation. *SAE Technical Papers, 2017-March*(March). <https://doi.org/10.4271/2017-01-1141>
- Andriawan. (2014). Hasil pengujian yang telah dilakukan dari hasil pengelasan oxy-acetylene dengan variabel nyala torch oksidasi terhadap baja karbon rendah. *Adapun* 43, 43–56.
- Farhan, F., Bukhari, B., Hamdani, H., Yusuf, I., & Zuhaimi, Z. (2021). Pengaruh Temperatur Pemanasan (Austenisasi) Perlakuan Panas Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja St 60. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.30811/jmst.v5i1.2135>
- Fish, B. (2020). Perancangan Kontruksi Sistem Penggerak Mobil Hemat Energi, 2507(February), 1–9.
- Fratama, W., Tuparjono, & Erwanto. (2022). Analisis Uji Impak Pada Pengelasan Baja St37Menggunakan Las Shield Metal Arc Welding (Smaw) Dengan Posisi Pengelasan 1G. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2(1), 300–306.
- Gustomo, H. T. (2015). 1.3 Bab 2 Hasyim Tri Gustomo 1410502008, 4–23.
- Handoyo. (2020). Program Studi Teknik Mesin , Universitas Islam 45 Bekasi, 1(1), 17–25.
- Heradiranto. (n.d.). No Title. Retrieved from <https://otoblitz.net/otopedia/glossary/transmisi-dog-drive-pindah-gear-tanpa-injak-pedal-kopling/>

- Hinkelmann, K. (2012). *Design and Analysis of Experiments. Design and Analysis of Experiments* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1002/9781118147634>
- Komaladewi, A., & Atmika, I. (2014). Karakteristik Traksi dan Kinerja Transmisi pada Sistem Gear Transmission dan Gearless Transmission. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 7(1), 57–62.
- Maulana, D. A., Supriyatna, D., & Artikel, H. (2024). url : <http://studentjournal.umpo.ac.id/index.php/komputer> Analisa Kerusakan dan Perawatan Komponen Sistem Power Train (Kopling) Mobil Avanza di PT Tunas Toyota Serang. Retrieved from <http://studentjournal.umpo.ac.id/index.php/komputer>
- Ombro. (2021). Komponen Transmisi Manual Dan Fungsinya. Retrieved from <https://bacabrosur.blogspot.com/2018/08/komponen-transmisi-manual.html>
- Praditya, J. (2018). Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Hardening Material 4340 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Komponen Axle Shaft. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–79.
- Putra, H. R., Syahrial, A. Z., & Wahyudi, D. (2021). *Effect of Quenching Medium on Mechanical Properties and Microstructure of Low Carbon Steel*. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6732–6739. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05724-3>
- Rodríguez, Velastequí, M. (2019). Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Laku Panas Baja Tahan Karat AISI 304 Terhadap Nilai Uji Tarik Dan Uji Impak, 1–23.
- Ryan Fakhruddin Syuffi. (2014). Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Terhadap Kekerasan Baja S45C Dengan Media Pendingin Air. *Jurnal Teknik Mesin*, 03(01), 106–112.
- Sari, N. H. (2017). Perlakuan Panas Pada Baja Karbon: Efek Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(4), 263. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i4.2091>
- Septian Effendi, A., & Prijo Budijono, A. (2023). Analisis Celah Katup Intake Dan Panjang Intake Manifold Terhadap Performa Mesin Yanmar L48N6. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 11 No, 6–11*.
- Shiotsu, I., Tani, H., Kimura, M., Nozawa, Y., Honda, A., Tabuchi, M., ... Kanzaki, K. (2019). Development of high efficiency dog clutch with one-way mechanism for stepped automatic transmissions. *International Journal of Automotive Engineering*, 10(2), 156–161. https://doi.org/10.20485/jsaeijae.10.2_156
- Sukarno, N. A., Legowo, A., Azis, A., Saputra, L. A., & Sunaryo, S. (2023). Analisis Sifat Mekanik Baja St 60 Setelah Proses Quenching Dengan Variasi Waktu. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 10(3), 196–202. <https://doi.org/10.32699/ppkm.v10i3.5440>
- Wicaksono, B. B., & Tanujaya, H. (2024). Analisis Perubahan Kekerasan Material Terhadap Pembubutan, 9(2), 8–17.
- Yunaidi, & Harnowo, S. (2015). Pendingin Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Quenching Baja St 60. *Jurnal Teknik Mesin Politeknik LPP Yogyakarta*, (October), 57–63.
- Zhao, X., Wang, S., & Li, J. (2020). *Influence of Cooling Rate on Microstructure and Hardness of Medium and High Carbon Steels*. *Materials Science Forum*, 1012, 87–92. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1012.87>