Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume X, No.2, April 2025 Hal 12888 - 12894
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

# Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Nilai Kekerasan *Expeller Arm Digester* di PT. Hindoli Mill Sungai Lilin

**Emilia Mianti*, Fenoria Putri, Soegeng Witjahjo**

Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang
***Koresponden email**: miaemilia231@gmail.com

Diterima: 12 Januari 205 Disetujui: 20 Januari 2025

**Abstract**
This study investigated the effect of varying heat treatment on the hardness of expeller arm digesters. Wear is a surface failure that can alter the surface profile and affect the performance of components. This is due to the release of particles from the surface of the material and the low hardness of the Expeller Arm Digester which is made from low carbon steel with a carbon content of 0.189%. One method of increasing its hardness is through heat treatment in the form of a hardening process. The study investigated hardening using different holding times (25, 30 and 35 minutes) and cooling media (water, brine and oil). Vickers hardness tests were then carried out on both the original expeller arm digester samples and the treated samples. The best results were obtained with a 35 minute holding time and water cooling, giving a hardness of 548.12 VHN and an influence percentage of 99.45%. The lowest hardness of 276.76 VHN and 0.7% influence percentage was observed with a holding time of 35 minutes and oil cooling. The microstructure affects the hardness of the steel, the steel with a higher martensite content will cause an increase in the hardness of the steel.
**Keywords***: expeller arm digester, hardening, holding time, hardness, microstructure, quenching, wear*

**Abstrak**
Penelitian ini mengkaji dampak variasi perlakuan panas pada kekerasan *Expeller Arm Digester*. Keausan adalah kegagalan permukaan yang dapat mengubah permukaan sehingga dapat memengaruhi kinerja komponen. Ini terjadi karena pelepasan partikel dari permukaan material dan kekerasan *Expeller Arm Digester* terbuat dari baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,189%. Salah satu metode untuk meningkatkan kekerasannya adalah melalui perlakuan panas berupa proses *hardening*. Studi ini mengeksplorasi pengerasan dengan *holding time* yang bervariasi (25, 30, dan 35 menit) dan media pendinginan (air, air garam, dan *oil*). Pengujian kekerasan *Vickers* kemudian dilakukan pada sampel *Expeller Arm Digester* asli dan juga sampel yang sudah mengalami perlakuan. Hasil terbaik dicapai dengan *holding time* 35 menit dan pendinginan air menghasilkan kekerasan 548,12 VHN dan persentase pengaruh 99,45%. Kekerasan terendah 276,76 VHN dan persentase pengaruh 0,7% diamati dengan *holding time* 35 menit dan pendinginan *oil*. Struktur mikro memengaruhi kekerasan baja, baja yang memiliki kandungan martensite lebih tinggi akan menyebabkan peningkatan kekerasan pada baja.
**Kata Kunci :** *expeller arm digester, hardening, holding time, kekerasan, struktur mikro, quenching, aus*

## 1. Latar Belakang

PT Hindoli Mill Sungai Lilin sendiri memiliki banyak permesinan kelapa sawit salah satunya mesin digester. Mesin *digester* merupakan salah satu mesin yang ada di pabrik kelapa sawit, mesin *digester* berfungsi untuk mengaduk lumatkan buah sawit sehingga daging buah sawit bisa terpisah dari nut/biji sehingga mempermudah proses kerja mesin *screw press*. Mesin digester di PT Hindoli Mill Sungai Lilin mempunyai beberapa komponen salah satunya *expeller arm digester* yaitu pisau pelempar buah kelapa sawit berbahan baja karbon rendah yang sebelumnya sudah diaduk lumatkan oleh arm digester yang berfungsi untuk melempar atau menolak brondolan keluar dari *digester* menuju *chute press*.

Menurut Evtushenko peningkatan energi panas dari gesekan antara roda kereta dan rel berubah menjadi panas pada permukaan kontaknya. Jika suhu permukaan ini menjadi cukup tinggi untuk mengubah sifat mekanik material, hal itu dapat memengaruhi mekanisme keausan dan mempercepat laju keausan, yang pada akhirnya memperpendek umur komponen[1].

Sementara itu baja dicirikan sebagai paduan yang terdiri dari besi dan karbon, dengan karbon (C) sebagai komponen utama campuran ini. Selain itu, baja juga mengandung berbagai unsur lain seperti S, P, Mn, Cr, dan Co. Kandungan karbon dalam baja biasanya berkisar antara 0,1% hingga 1,7%, sedangkan persentase unsur lainnya dijaga seminimal mungkin. Baja dapat dikategorikan menjadi tiga jenis menurut

kandungan karbonnya, yaitu; baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3% C, baja karbon sedang mengandung kadar karbon berkisar antara 0,3% C hingga 0,6% C, baja karbon tinggi terdiri dari 0,6% C hingga 1,5% C . Untuk meningkatkan kekuatan dari sifat mekanis pada baja diperlukan proses yaitu *heat treatment*. Proses ini merupakan serangkaian pemanasan dan pendinginan yang diterapkan pada logam. Proses ini meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tekanan dan melunakkan material baja.[2]. Proses *heat treatment* secara umum terdiri dari proses *hardening, tempering, carburizing* dan *annealing*. Proses perlakuan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah proses *hardening*.[3]

Korawan melakukan penelitian mengenai *hardening* baja AISI-4120 dengan variasi *holding* time. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah struktur kristal logam dengan cara dipanaskan pada temperatur rekristalisasi, menahan pada temperatur konstan, selanjutnya didinginkan pada media pendingin. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada benda uji dengan variasi *holding time* 30 menit sebesar 623 HVN. Untuk hasil pengujian mikrostruktur terdapat struktur berupa martensit dan bainit, persentase martensit pada benda uji dengan variasi waktu penahanan 30 menit yaitu 97%. Semakin lama *holding time* maka nilai kekerasan dan persentase mikrostruktur martensit yang terbentuk akan semakin meningkat[4].

Apriatun et al. melakukan penelitian mengenai analisa pengaruh variasi *holding time* pada proses *pack carburizing* terhadap kekerasan baja karbon rendah ST 37. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekerasan pada baja karbon rendah ST 37 yang mendapatkan perlakuan *pack carburizing* dengan arang tempurung kelapa. Pada penelitian ini spesimen dibagi menjadi sepuluh bagian yaitu lima spesimen di lakukan dengan perlakuan karburasi *pack carburizing* tidak dilakukan *quenching*, serta lima bagian lagi dengan perlakuan karburasi pack carburing dan hardening dengan *quenching* menggunakan oli bekas. Media karbon yang digunakan adalah arang tempurung kelapa dengan persentase kandungan *volatile* 10,60%, karbon 76,32%, abu 13,08% dan CaCO3 sebagai katalisnya. Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur 9500C dengan *holding time* 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 10 jam, dengan material baja karbon rendah ST 37 dengan media *quenching* oli bekas, kemudian dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui berapa kekerasan pada permukaan spesimen yang telah melewati perlakuan *pack carburizing* dan *hardening*[5].

Saktisahdan et al. Melakukan penelitian mengenai pengaruh proses *heat treatment* terhadap perubahan struktur mikro baja karbon rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah struktur logam dengan memanaskan spesimen menggunakan *electric terance*. Hasilnya adalah perubahan struktur material yang mengalami proses *heat treatment* dengan *holding time* 20 menit dengan temperatur 900ºC[6].

Purwanto melakukan penelitian mengenai analisa *quenching* pada baja karbon rendah dengan media solar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *heat treatment* pada suhu 700°C, 800°C, 900°C, lama pemanasan yaitu satu jam terhadap kekerasan dengan pengujian *charpy*. Hasil uji kekerasan didapat nilai *impact* rata-rata *raw material* adalah 3.146861 J/mm² dan pada spesimen yang di *quenching* adalah 0.386832 J/mm² (turun 83 %) dari *raw material*, 0.404233 J/mm² (turun 84 %) dari *raw material*, 0.331952 J/mm² (turun 83 %) dari *raw material*. Untuk pengujian kekerasan baja ST 37 *raw material* adalah 63, 60,6 HRC dan pada spesimen yang di *quenching* adalah 64, 61.5 HRC, 64.6, 62.7 HRC, 68.5, 63.6 HRC. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami peningkatan yang kurang signifikan seiring dengan peningkatan suhu pemanasan benda kerja, dan kandungan karbon yang terdapat pada solar tidak mempengaruhi hasil peningkatan kekerasan pada proses *quenching*[7].

Rimpung melakukan penelitian mengenai pengaruh *heat treatment* terhadap kekerasan baja ST 42 dengan temperatur pemanasan 800ºC menggunakan metode brinell. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekerasan baja ST 42. Baja ST 42 di *hardening* dengan suhu 800ºC dan didinginkan dengan air tawar menjadi lebih lunak. Terbukti dari angka kekerasan ST 42 *hardening* yaitu 87,65032 Kg/mm2. sedangkan kekerasan ST 42 standar yaitu 101,1608 kg/mm2. Hal ini menunjukkan perbedaan dimana logam yang di keraskan semestinya menjadi lebih keras dari standar logam. Baja ST 42 *annealing* yang dilunakkan dengan suhu 800ºC dan didinginkan, menjadi lebih lunak dibandingkan dengan baja ST 42 Standar maupun dengan baja ST.42 *hardening*. Hal ini terbukti dari hasil penelitian ST 42 *annealing* =79,97096 Kg/mm2, jauh lebih lunak dari ST 42 standar maupun St 42 *hardening*[8].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *holding time* dan variasi media pendinginan yang lebih cocok untuk melakukan *heat treatment* pada *expeller arm digester*. Penelitian ini mengambil beberapa referensi studi literatur dari penelitian sebelumnya untuk menunjang keberhasilan penelitian.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis data kuantitatif untuk mengetahui perbandingan nilai kekerasan *expeller arm digester* berdasarkan variasi *holding time* dan variasi media pendingin.

### 2.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang digunakan yaitu sebagai berikut : *Electric Melting Furnace*, Tang Penjepit, Cawan Pemanas, Bak Penampung, Amplas, Sarung Tangan, *Vickers Hardness Tester*, Teko Ukur, Mesin Bubut, Spektrometer dan Mikroskop Metalografi. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : Spesimen, Air, Garam dan *Oil* SAE 40.

### 2.2 *Heat Treatment*

*Heat treatmen*t merupakan proses yang dilakukan untuk mengubah struktur logam dengan memanaskan specimen *electric furnace* (tungku pemanasan) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti air, air garam, *oil*, solar dan media pendingin lainnya yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda Pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung pada kandungan karbon, temperatur pemanasan, serta bentuk dan ketebalan logam. Terdapat 5 macam *heat treatment* yaitu, *annealing*, *normalizing*, *tempering*, *hardening* dan *quenching* [9].

### 2.3 Pengujian Komposisi Kimia

Fluoresensi sinar-X (XRF) adalah teknik karakterisasi material yang umum digunakan yang memanfaatkan spektrometri untuk menentukan susunan kimia dan konsentrasi unsur dalam sampel tertentu[10].

### 2.4 Pengujian Kekerasan

Salah satu sifat mekanis suatu material adalah kekerasan. Kekerasan dicirikan dengan kapasitas material untuk menahan beban lekukan, penetrasi, atau kompresi. Uji kekerasan mengukur seberapa baik suatu objek dapat menahan beban; akibatnya, ketika gaya tertentu diberikan pada objek uji, deformasi akan terjadi pada objek tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan dalam setiap variasi *holding time* dan media pendingin. Pengujian dilakukan dengan menggunkan metode *vickers*, pengujian dilakukan pada spesimen yang telah dikeraskan dan spesimen yang tidak dilakukan proses pengerasan yaitu proses *heat treatment*[11].

### 2.5 Pengujian Struktur mikro

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi fase spesimen atau objek uji. Bergantung pada jenis informasi yang dibutuhkan, mikrostruktur dan sifat paduan dapat diperiksa melalui berbagai metode. Salah satu pendekatan untuk menganalisis struktur material melibatkan teknik metalografi, yang memanfaatkan pengujian mikroskopis. Mikroskop yang digunakan untuk mengamati struktur material memainkan peran penting dalam proses ini.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

**Tabel 1** menampilkan hasil Pengujian komposisi kimia *expeller arm digester* dengan menggunakan alat *spectrometer* dengan metode ASTM E 415 – 08.

**Tabel 1**. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

| Unsur | Sampel uji | |
|---|---|---|
| | 175/24-S550 (%) | Standar Deviasi |
| C | 0,189 | 0,042 |
| Si | 0,688 | 0,023 |
| Mn | 1,393 | 0,035 |
| P | 0,025 | 0,0001 |
| S | 0,018 | 0,0003 |
| Cr | 0,022 | 0,0015 |
| Mo | <0,0100 | 0,0019 |
| Ni | 0,019 | 0,0002 |
| Cu | 0,015 | 0,0004 |

| Unsur | Sampel uji | |
|---|---|---|
| | 175/24-S550 (%) | Standar Deviasi |
| Al | 0,020 | 0,023 |
| Co | <0,0050 | 0,0008 |
| Mg | <0,0050 | 0,00004 |
| Nb | 0,020 | 0,0009 |
| Ti | <,0030 | 0,00004 |
| V | <0,0050 | 0,0005 |
| W | <0,100 | 0,0038 |
| Fe | 97,59 | 0,040 |

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Dalam pengujian ini pengambilan data kekerasan dilakukan pada sampel material *expeller arm digester* asli dan material *expeller arm digester* yang mengalami proses perlakuan panas berupa *hardening* dengan proses pemanasan menggunakan *electric melting furnace* pada baja karbon rendah dengan variasi *holding time* 25 menit, 30 menit, 35 menit dan didinginkan dengan variasi *quenching* air, air garam dan *oil*. Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji *vickers hardness tester* dengan indentor piramid 136º dan gaya tekan 30 kgf Seperti yang ditampilkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2**. Hasil pengujian kekerasan *expeller arm digester* tanpa perlakuan

| Spesimen | Titik Pengujian | Indentor | P (Kgf) | VHN | VHN rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|
| Tanpa Perlakuan | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 226,09 | 274,81 |
| | 2 | | | 226,09 | |
| | 3 | | | 249,32 | |

**Tabel 3**. Hasil pengujian kekerasan setelah perlakuan panas dengan *holding time* 25 menit

| Spesimen | Titik Pengujian | Indentor | P (Kgf) | VHN | VHN rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|
| *Holding time* 25 menit, *quenching* air Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 448,54 | 435,84 |
| | 2 | | | 427,84 | |
| | 3 | | | 431,162 | |
| *Holding time* 25 menit, *quenching* air garam Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 339,14 | 343,27 |
| | 2 | | | 327,17 | |
| | 3 | | | 363,52 | |
| *Holding time* 25 menit, *quenching oil* Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 475,38 | 461,28 |
| | 2 | | | 463,5 | |
| | 3 | | | 444,96 | |

**Tabel 4**. Hasil pengujian kekerasan setelah perlakuan panas dengan *holding time* 30 menit

| Spesimen | Titik Pengujian | Indentor | P (Kgf) | VHN | VHN rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|
| *Holding time* 30 menit, *quenching* air Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 515 | 496,92 |
| | 2 | | | 487.89 | |
| | 3 | | | 487,89 | |
| *Holding time* 30 menit, *quenching* air garam Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 333,05 | 341,46 |
| | 2 | | | 337,09 | |
| | 3 | | | 354,26 | |
| | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 310,72 | 301,84 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Holding time* 30 menit, *quenching* oli Suhu 885ºC | 2 | | | 312,47 | |
| | 3 | | | 282,33 | |

**Tabel 5**. Hasil pengujian kekerasan setelah perlakuan panas dengan *holding time* 35 menit

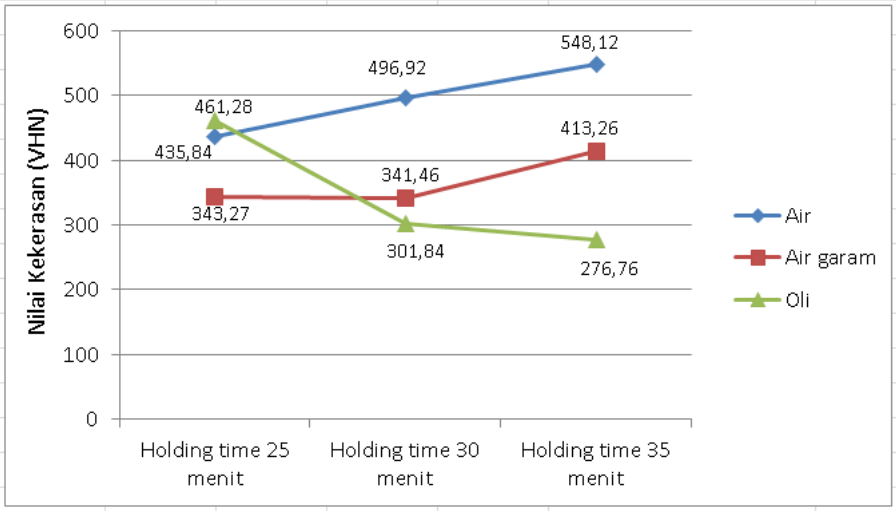
| Spesimen | Titik Pengujian | Indentor | P (Kgf) | VHN | VHN rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|
| *Holding time* 35 menit, *quenching* air Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 561,81 | 548,12 |
| | 2 | | | 611,20 | |
| | 3 | | | 471,35 | |
| *Holding time* 35 menit, *quenching* air garam Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 400,14 | 413,26 |
| | 2 | | | 415,07 | |
| | 3 | | | 424,58 | |
| *Holding time* 35 menit, *quenching oil* Suhu 885ºC | 1 | Piramid Intan 136º | 30 | 289,68 | 276,76 |
| | 2 | | | 261,12 | |
| | 3 | | | 279,49 | |

**Tabel 6**. Data keseluruhan hasil uji kekerasan setelah perlakuan panas (*hardening)*

| Suhu 885ºC | *Holding time* 25 menit | *Holding time* 30 menit | *Holding time* 35 menit |
|---|---|---|---|
| Air | 448,54 | 515 | 561,81 |
| | 427,84 | 487,89 | 611,2 |
| | 431,162 | 487,89 | 471,35 |
| Air Garam | 339,14 | 333,05 | 404,14 |
| | 327,17 | 337,09 | 415,07 |
| | 363,52 | 354,26 | 424,58 |
| Oil | 475,38 | 310,72 | 289,68 |
| | 463,5 | 312,47 | 261,12 |
| | 444,96 | 282,33 | 279,49 |

Setelah data hasil uji kekerasan didapatkan pada **Tabel 6** dari hasil pengujian *hardening* yang dilakukan dengan suhu 885ºC dengan variasi *holding time* dan media *quenching*. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa *hardening* pada *holding time* 35 menit dengan media *quenching* air mengalami kenaikan kekerasan paling tinggi yaitu 548,12 VHN meningkat secara signifikan sebesar 99,45% dari baja *expeller arm digester* tanpa perlakuan, hal itu dikarenakan laju pendinginan air lebih cepat, karbon yang terjebak dari struktur *austenit* (FCC) menjadi *martensit* (BCT) lebih banyak dan *austenite* sisa pada temperatur kamar yang tidak sempat bertransformasi menjadi *martensit* lebih sedikit, hal inilah yang menyebabkan kekerasan dengan pendingin mengunakan air lebih tinggi peningkatan kekerasannya[12]. Sedangkan angka kekersaan paling rendah terjadi pada *holding time* 35 menit dengan media *quenching oil* yaitu 276,7 dengan presentase peningkatan yang tidak signifikan sebesar 0,7%.

Hal itu disebakan karena *oil* memiliki konduktivitas panas yang lebih rendah dibandingkan air, sehingga proses transfer panas dari logam ke *oil* berlangsung lebih lambat, tetapi media pendingin *oil* merupakan media pendingin yang relatif baik, karena dapat meningkatkan nilai ketahanan tanpa mengalami keretakan pada sampel. Maka *holding time* menjadi salah satu faktor perubahan nilai kekerasan. Apabila nilai kekerasan suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tesebut semakin keras. Disisi lain kesesuaian antara *holding time* dan juga media *quenching* menjadi faktor lain yang menyebabkan pertambahan dan penuruanan kekerasan seperti pada hasil uji kekerasan spesimen media *quenching oil* mengalami penuruan seiring bertambahnya *holding time*, sedangkan spesimen media *quenching* air mengalami peningkatan kekerasan seiring bertambahnya *holding time*.

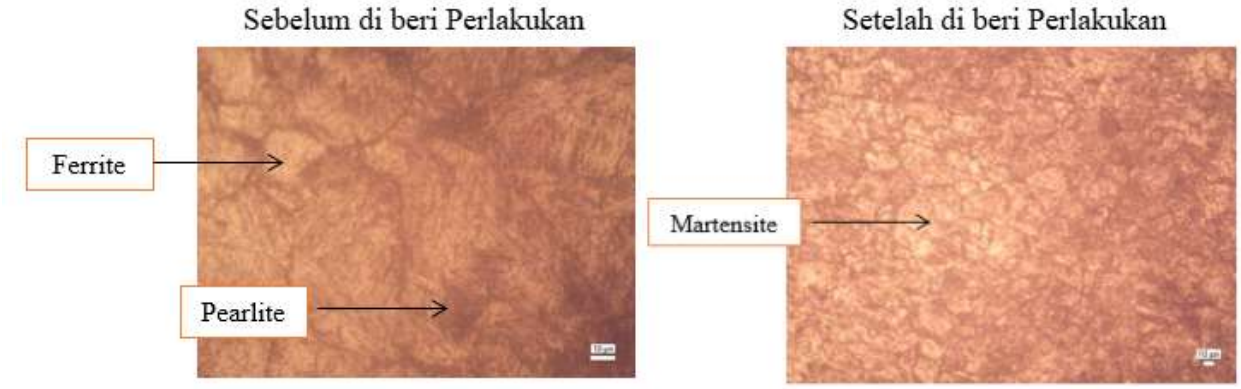



**Gambar 1.** Grafik uji kekerasan perbandingan antara *holding time* dan media *quenching*

**Gambar 1** menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *heat treatment* berupa *hardening* menunjukkan perbandingan antara tiap spesimen dengan hasil kekerasannya masing-masing. Perbedaan *holding time* dan media *quenching* mempengaruhi kekerasan dari masing-masing spesimen yang diuji. Kekerasan maksimum setelah *heat treatment* berupa *hardening* diperoleh dari *holding time* 35 menit dan media *quenching* air, sedangkan kekerasan minimum diperoleh dari *holding time* 35 menit dan media *quenching oil*.

### 3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Di bawah ini adalah data hasil uji struktur mikro yang dilakukan dengan menggunakan peralatan pengujian *Ceper Manufacturing Institute* pada sampel yang tidak diberi perlakuan dan pada sampel dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu sampel dengan *holding time* 35 menit dan media pendinginan air.




**Gambar 2.** Hasil pengujian struktur mikro sebelum dan sesudah diberi perlakuan

**Gambar 2** menunjukan hasil pengujian mikrostruktur pada perbesaran 100x. Hubungan kekerasan dengan struktur metalografi sangat berpengaruh. Jika struktur metalografi martensit meningkat maka menunjukkan bahwa sampel mempunyai kekerasan yang tinggi. Jika struktur mikro fasa ferit semakin banyak maka spesimen akan menjadi lebih lunak[13]. Pada pendinginan yang cepat tidak ada waktu untuk pemisahan karbon dimana kristal austenit (FCC) tanpa memisahkan karbon berubah menjadi kristal ferrit (BCC)[14]. Jika jumlah ferit lebih banyak maka spesimen tidak akan sekeras spesimen dengan fasa perlit lebih banyak dibandingkan ferit. Hal ini dipengaruhi oleh proses pemanasan serta waktu penahanan dan pendinginan yang berbeda. Oleh karena itu, fasa struktur mikro dan kekerasan akan berubah sesuai pemanasan dengan waktu penahanan dan pendinginan yang berbeda[15].

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *holding time* dan media *quenching* berpengaruh terhadap kekerasan *expeller arm digester* setelah dilakukan proses *hardening* dengan penambahan kekerasan tertinggi 99,45% pada *holding time* 35 menit dengan media pendingin air dan

penambahan kekerasan paling rendah 0,7% pada *holding time* 35 menit dengan media *quenching oil*. 2. Dari hasil pengolahan data menggunakan metode *Two Way* ANOVA *holding time* berpengaruh yaitu F > Fcrit, F 76,881106 > F 3,5545571 dan variabel media *quenching* berpengaruh yaitu F > Fcrit, F4,4491693 > F 3,5545571 dan juga interaksi antara *holding time* dan media *quenching* berpengaruh karena F > Fcrit F 27,810206 > 2,9277442. 3. Dari hasil pengujian struktur mikro struktur baja pada spesimen *holding time* 35 menit dan media *quenching* air memiliki struktur yang lebih padat dari pada material asli, struktur mikro akan mempengaruhi tingkat kekerasan baja, baja yang mengalami peningkatan kekerasan akan memiliki lebih banyak kandungan *martensite*.

## 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya dan seluruh staf Jurusan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan yang telah memberikan dukungan moral dan ilmu pengetahuan bagi pelaksanaan penelitian ini.

## 6. Referensi

[1] D. Payana, I. M. Widiyarta, and M. Sucipta, "Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi Suhu Permukaan Material," *J. METTEK*, vol. 4, p. 43, 2018, doi: 10.24843/METTEK.2018.v04.i02.p02.

[2] A. D. Wilujeng, M. Fatah, and L. Ulfiyah, "Studi eksperimental variasi media pendingin dan holding time tempering terhadap kekerasan material pengganti pin track link," *J. Progr. Stud. Tek. Mesin UM Metro*, vol. 12, no. 1, pp. 23–29, 2023.

[3] M. H. Alfariji Munandar, K. Kardiman, and D. T. Santoso, "Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Heat Treatment (Hardening) Untuk Baja S50c Sebagai Pisau Mesin Pencacah Kayu," *J. Mesin Nusant.*, vol. 6, no. 2, pp. 127–136, 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i2.20304.

[4] A. Korawan, "Hardening Baja Aisi-4120 Dengan Variasi Holding Time," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 8, pp. 19–23, 2022, doi: 10.33019/jm.v8i1.2235.

[5] E. Sundari, J. Srijaya, N. Bukit, and B. Palembang, "Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah St 37," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–27, 2021.

[6] T. J. Saktisahdan, U. Asahan, J. J. A. Yani, T. / Fax, and P. T. Mesin, "Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah," *J. Laminar*, vol. 1, no. 1, pp. 28–33, 2019.

[7] Purwanto, "Analisa Quenching Pada Baja Karbon Rendah Dengan Media Solar," *Momentum*, vol. 7, no. 1, pp. 36–40, 2011.

[8] I. K. Rimpung, "Pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan baja (St. 42) dengan temperatur pemanasan 800◦C, metode brinell, di laboratorium uji bahan Politeknik Negeri Bali," *J. Log.*, vol. 16, no. 2, p. 88, 2016.

[9] F. Putri *et al.*, "Pengaruh Quenching Media Pendingin Minyak Goreng Bekas Terhadap Kekerasan Baja S45C Yang Telah Di Pack Carburizing," *Austenit*, vol. 13, no. 2, pp. 28–32, 2021, [Online]. Available: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/3260

[10] R. A. Sirait, S. Salomo, J. Muhammad, and E. Taer, "Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Oksida Besi Menggunakan Metode Ball Milling Dan Kopresipitasi," *Komun. Fis. Indones.*, vol. 19, no. 2, p. 91, 2022, doi: 10.31258/jkfi.19.2.91-98.

[11] I. Artikel, "Variasi Tekanan Dan Penambahan Unsur Magnesium Terhadap Pengecoran Aluminium Pada Kopling Perahu," vol. 5, no. 2, pp. 73–80, 2024.

[12] S. Sopiyan, B. Basori, and F. B. Susetyo, "the Effect of Water Temperature As Quenching Media on the Characteristics of Hv 350 Weld Deposits," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, p. 118, 2020, doi: 10.24853/sintek.14.2.118-122.

[13] D. Herizen and R. Siswanto, "Pengaruh Variasi Holding Time Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Sus 630 Metode Hardening," *Jtam Rotary*, vol. 2, no. 2, p. 149, 2020, doi: 10.20527/jtam_rotary.v2i2.2411.

[14] Purnomo, "Pengaruh Perlakuan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Impak Baja JIS G 4051 S15C Sebagai Bahan Konstruksi," *Traksi*, vol. 10, no. 1, pp. 56–68, 2010.

[15] Syahputra, E. D. A., & Nafi, M. (2023). Analisa Kekuatan Baja Profil L Menggunakan Metode Hardening Dengan Pengujian Hardness Dan Micro Menggunakan Variasi Waktu Tahan Dan Media Pendingin. *Prosiding Senakama*, *2*, 196–212. http://eprints.unpam.ac.id/6313/3/BAB