

## PENGARUH PERLAKUAN MEDIA PENDINGIN NaCl TERHADAP PELAPISAN PERMUKAAN SURFACE TREATMENT PADA REL KERETA API UIC R54

- 1,2,3,4) Teknologi Mekanika  
Perekeretaapian, Politeknik  
Perekeretaapian Indonesia  
Madiun.
- 5) Jurusan Rekayasa Industri,  
Program Studi Teknologi  
Otomotif, Politeknik  
Negeri Tanah Laut, Tanah  
Laut, Kalsel, 70815.

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
hariboedi@.ppi.ac.id

Received: 02.11.2022  
Accepted: 03.12.2022  
Published: 28.12.2022

©2022 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Hari Boedi Wahjono <sup>1)</sup>, Rafli Rianzah Putra <sup>2)</sup>, Willy Artha  
Wirawan <sup>3)</sup>, Fadli Rozaq <sup>4)</sup>, Muhammad Rezki Fitri Putra <sup>5)</sup>**

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk memahami dan mengetahui seberapa efektif penambahan NaCl pada media quenching surface treatment rel kereta api UIC R54. Penelitian ini menerapkan metode yang mengacu pada teori surface treatment. Pertama, dilakukan proses surface treatment terhadap permukaan spesimen rel. Media pendingin yang digunakan pada proses surface treatment adalah campuran NaCl sebesar 200-800gr NaCl dengan interval 200gr dengan air 1000ml. Selanjutnya, dilakukan pengamatan struktur mikro dan pengukuran nilai kekerasan pada permukaan spesimen rel. Nilai kekerasan rata-rata pada spesimen raw material adalah 283,52 BHN. Nilai kekerasan paling tinggi pada spesimen yang telah dilakukan surface treatment adalah 346,36 BHN pada perlakuan penambahan 60% NaCl pada media quenching. Pada spesimen raw material, fasa yang terbentuk didominasi oleh ferrite dan pearlite. Sedangkan, fasa yang terbentuk setelah dilakukan proses surface treatment adalah martensite. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa campuran 60% NaCl dengan air yang digunakan sebagai media pendingin efektif untuk meningkatkan nilai kekerasan dari rel.

**Kata Kunci:** Surface Treatment, Media Pendingin, Kekerasan, Struktur Mikro, Rel UIC R-54

**Abstract.** This study aims to understand and determine how effective the addition of NaCl in the quenching surface treatment media for the UIC R54 railroad. This study applies a method that refers to the theory of surface treatment. First, the surface treatment process is carried out on the surface of the rail specimen. The cooling medium used in the surface treatment process is a mixture of NaCl of 200-800gr NaCl at intervals of 200gr with 1000ml of water. Furthermore, observations of the microstructure and measurement of the hardness value on the surface of the rail specimen were carried out. The average hardness value for raw material specimens is 283.52 BHN. The highest hardness value in specimens that have been surface treated is 346.36 BHN in the treatment of adding 60% NaCl to the quenching medium. In raw material specimens, the phase formed is dominated by ferrite and pearlite. Meanwhile, the phase formed after the surface treatment process is martensite. From these results it can be concluded that a mixture of 60% NaCl with water used as a cooling medium is effective in increasing the hardness value of the rail.

**Keywords:** Surface Treatment, Quenching Media, Hardness, Microstructure, UIC R.54 Railroad

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.213>

### 1. Pendahuluan

Ada beberapa permasalahan yang sering terjadi pada jalan rel antara lain, rel keriting, keretakan pengelupasan dan keausan pada permukaan rel. Permasalahan tersebut terjadi karena diakibatkan *overload* pada

sarana perkeretaapian yang melintas. Selain itu, faktor geometri yang kurang baik, serta kualitas fabrikasi dari jalan rel yang kurang maksimal bisa menjadi penyebab kerusakan pada jalan rel [1]

Ada juga permasalahan lain yang sering dialami seperti korosi pada rel yang menyebabkan rel mudah aus jika bergesekan dengan roda secara terus-menerus [2]. Oleh karena itu, sifat mekanik dari rel harus ditingkatkan agar laju keausan dari rel dapat berkurang. Laju keausan ini tergantung nilai kekerasan dari jalan rel tersebut, terutama pada bagian permukaan kepala rel yang bergesekan langsung dengan roda.

Inovasi-inovasi untuk peralatan perawatan jalan rel sangat dibutuhkan guna dapat mencegah dan meminimalisir terjadinya masalah pada jalan rel. Contohnya pembuatan dan manufaktur *Prototype Automatic Surface Treatment* pada jalan rel dengan menggunakan metode *flame hardening* [3]. Ada beberapa kelebihan dari alat *automatic surface treatment* ini, diantaranya alat ini bisa beroperasi secara otomatis untuk meningkatkan kekerasan jalan rel sehingga sangat efisien apabila diterapkan. Alat ini juga bisa mengurangi laju keausan jalan rel sebesar 66,76% [4]. Selain itu, desain yang diterapkan pada alat ini sudah sesuai dengan teknologi pada saat ini, sehingga akan lebih mudah pada saat pengaplikasiannya [5]. Oleh karena itu, peralatan ini cocok untuk diterapkan pada perawatan jalan rel, namun dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai variabel-variabel yang berpengaruh terhadap alat ini agar kinerjanya bisa optimal.

*Flame hardening* adalah salah satu metode yang sangat berguna untuk pengerasan permukaan rel guna memperbaiki sifat mekaniknya dengan cara memberikan *heat treatment* pada permukaan rel menggunakan nyala api gas oksidasi-asetilen hingga diatas temperatur kritis. Kemudian permukaan rel dilakukan *quenching* dengan media *quenching* tertentu. Media *quenching* yang diaplikasikan akan menjadi faktor yang berpengaruh terhadap hasil pengerasan permukaan jalan rel [6].

Pada *Prototype Automatic Surface Treatment* ini, media pendingin yang digunakan adalah air. Ada beberapa keunggulan air jika diterapkan pada proses *surface treatment* antara lain, sifatnya yang ramah lingkungan, tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan laju pendinginan yang cepat. Namun, air masih ada kekurangannya yaitu seringkali menyebabkan retak pada proses *surface treatment*, dan mempercepat terjadinya korosi [6]. Peningkatan kekerasan yang terjadi akan sia-sia jika laju korosi juga ikut meningkat. Maka dibutuhkan bahan tambahan lain yang bisa menghambat laju korosi oleh air, seperti contohnya inhibitor korosi. Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang bisa menghambat laju korosi pada baja, sehingga cocok untuk diterapkan pada alat ini [7]. Jadi nilai guna dari alat ini akan bertambah, selain meningkatkan kekerasan jalan rel, alat ini juga akan memperlambat laju korosi pada rel.

Ada beberapa jenis media *quenching* yang biasa digunakan untuk *flame hardening* seperti oli, air, dan campuran air dengan garam (*brine*). *Brine* merupakan salah satu media *quenching* terbaik yang bisa diterapkan pada *flame hardening* ini. Penggunaan *brine* atau larutan garam ini memiliki beberapa keuntungan, antara lain pemeliharaan yang mudah, dan kualitas hasilnya yang konsisten. Media pendingin menggunakan larutan garam memiliki laju pendinginan yang lebih cepat dan merata daripada media pendingin lain. Material yang didinginkan oleh larutan garam akan membuat permukaan logam menjadi lebih keras karena adanya pembentukan zat arang yang lebih banyak [8].

Pengaruh buruk dari proses pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam dapat dikurangi dengan menggunakan larutan garam. Pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam dapat menimbulkan retak dan distorsi. Distorsi ini dapat dikurangi dengan pemakaian larutan garam pada proses pendinginan. Hal ini dikarenakan larutan garam dapat mencegah terjadinya transformasi suhu secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan distorsi, terutama jika digunakan pada proses *surface treatment* rel [9].

Meskipun demikian, agar penerapan campuran air dan garam pada alat *automatic surface treatment* bisa mendapatkan hasil yang optimal, maka diperlukan beberapa eksperimen atau pengujian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan garam sebagai media *quenching* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro rel UIC R54. Hal ini dilakukan guna memenuhi persyaratan jalan rel yang telah ditentukan dan meminimalisir terjadinya masalah pada jalan rel. Maka dari itu, penulis tertarik untuk meneliti tentang Pengaruh Perlakuan Media Pendingin NaCl terhadap Pelapisan Permukaan *Surface Treatment* pada Rel Kereta Api.

## 2. Tinjauan Pustaka

### Rel

Rel adalah prasarana penunjang untuk pengoperasian kereta api. Definisi dari rel ialah struktur balok yang terus-menerus serta berada di tumpu oleh bantalan yang fungsinya adalah mengarahkan serta menuntun arah gerak roda dari sarana kereta api (Mahendra, 2020). Pada penelitian ini, rel yang digunakan adalah rel UIC R54. Berdasarkan JFE Steel Corporation, n.d., rel UIC R-54 memiliki spesifikasi teknis yaitu, *tensile strength* minimal 880-1030 N/mm<sup>2</sup>, *elongation* minimal 8 %, *test piece* D = 10 mm, dan nilai kekerasan 320-388 BHN.

### NaCl

Garam dapur adalah senyawa yang tersusun dari basa kuat NaOH dan asam kuat HCl. Apabila unsur ini direaksikan, maka akan terbentuk NaCl dan H<sub>2</sub>O. Hasil dari bahan tadi bila disatukan akan membentuk suatu larutan yang disebut larutan garam yang homogen, serta memiliki partikel sangat kecil yang merata. Garam dapur

tidak akan mengendap bila dibiarkan dan tidak dapat dipisahkan dari air dengan cara penyaringan. Zat terlarut dan pelarutnya tercampur secara homogen.

### Heat Treatment

*Heat treatment* adalah metode perlakuan panas pada material dengan memanfaatkan kolaborasi antara pemanasan, lalu dilakukan pendinginan cepat yang diterapkan pada logam agar dapat memperoleh sifat mekanik yang diinginkan. Ada beberapa tujuan dari proses *heat treatment* yang dilakukan pada material yaitu agar keuletan spesimen meningkat, meningkatkan nilai kekerasan dan untuk merubah struktur permukaan pada material [10].

Proses *heat treatment* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pemanasan (*heating*) hingga temperatur tertentu pada atau diatas daerah kritis untuk membentuk fasa *austenite*, lalu *holding* selama jangka waktu tertentu dan terakhir adalah *quenching* yang dilakukan dengan cepat akan membentuk struktur fasa *martensite*. Ketiga hal dilakukan dengan parameter tertentu untuk memperoleh sifat-sifat akhir yang diinginkan.

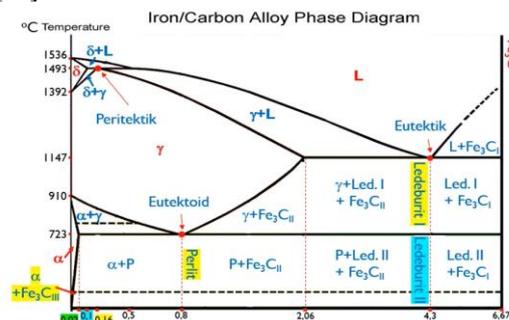
### Surface Treatment

*Surface treatment* merupakan sebuah proses guna mendapatkan keadaan yang optimal pada bagian permukaan benda [4]. Perlakuan pada permukaan logam dilakukan untuk memperoleh kondisi yang baik dan tahan terhadap suatu gesekan. Untuk menjaga agar material tidak mengalami kerusakan ataupun cacat perlu dilakukan pengerasan permukaan agar dapat menghasilkan sifat material yang tahan korosi dan tahan aus yang dikarenakan gesekan dua komponen yang berlebih. Pengerasan permukaan ini dapat memperpanjang *lifetime* komponen. Banyak metode yang bisa digunakan untuk menaikkan nilai kekerasan permukaan. Salah satu metode yang mudah dan efisien ialah *flame hardening* [5].

*Flame hardening* merupakan suatu *heat treatment* pada permukaan kulit tipis baja yang diberikan panas hingga temperatur kritis baja. Proses pemanasan ini akan membuat permukaan baja menjadi austenitik. Setelah itu, baja secara cepat dilakukan *quenching*, dan terjadi transformasi dari struktur *austenite* menjadi *martensite* pada permukaan yang tidak berpengaruh pada inti baja [11].

### Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

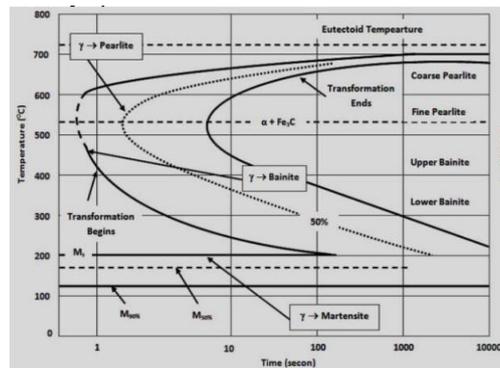
Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram tentang hubungan antara kadar karbon dengan temperature. Hubungan ini terjadi ketika adanya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan (Handoyo, 2015). Diagram ini menjadi dasar penetapan temperatur dalam proses perlakuan panas [12]. Pada suhu 723°C terjadi perubahan fasa *austenite* ke fasa *pearlite* (kombinasi fasa *ferrite* dan *cementite*) yang dikenal dengan *eutectoid*. Diagram ini memiliki beberapa manfaat yaitu untuk mengetahui dan memahami struktur mikro yang akan terbentuk. Selain itu, diagram ini juga berfungsi untuk mengetahui sifat paduan Fe-C pada temperatur dan komposisi karbon tertentu [13] [14].



Gambar 1. Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C  
(Sumber: Askar et al., 2013)

### Diagram Time Temperature Transformation

Diagram *Time Temperature Transformation* (TTT) adalah diagram tentang pengaruh waktu dan suhu terhadap transformasi austenite. Pembentukan fasa *austenite* sempurna juga dapat diketahui melalui diagram ini. Diagram ini digunakan sebagai penentu pembentukan fasa berdasarkan laju pendinginan atau waktu pendinginannya. Diagram TTT berfungsi untuk menentukan atau memprediksi pembentukan struktur fasa dari material yang disebabkan oleh proses pemanasan yang dilanjutkan proses pendinginan [15].



**Gambar 2.** Diagram TTT  
(Sumber: Jordi et al., 2017)

Pada diagram TTT ini dijelaskan bahwa ada 3 struktur fasa yang terbentuk akibat proses pendinginan setelah terjadi proses pemanasan di atas suhu kritis yaitu *pearlite*, *bainite* dan *martensite*.

a. *Pearlite*

*Pearlite* adalah fasa gabungan dari *cementite* dan *ferrite*. Hal ini dikarenakan adanya reaksi *eutectoid* di pada suhu austenisasi. *Pearlite* dibedakan menjadi 2 yaitu *pearlite* dan *pearlite* halus. Kekerasan dari *pearlite* halus lebih tinggi daripada *pearlite* kasar. Sifat dari fasa *pearlite* ini adalah keras dan ulet. Struktur fasa ini memiliki ciri-ciri morfologi fisik yaitu memiliki susunan lamelar secara bergantian dan berwarna gelap yang disebabkan oleh fasa *cementite*. *Pearlite* juga terlihat berwarna putih atau terang yang disebabkan oleh fasa *ferrite* [16].

b. *Bainite*

*Bainite* berbentuk seperti pelat atau jarum, tergantung dari temperatur transformasinya. Struktur mikro *bainite* sangat halus sehingga pengamatannya harus melalui mikroskop elektron [17]. *Bainite* dibedakan menjadi 2 yaitu *bainite* atas dan *bainite* bawah. Kekerasan *bainite* bawah lebih tinggi daripada *bainite* atas. Menurut Andre Dewantara (2021), fasa *bainite* memiliki beberapa sifat mekanis seperti ulet, kekuatan tarik yang tinggi, sifat tahan aus, sifat mampu redam yang tinggi, dan ketahanan leleh yang baik.

c. *Martensite*

Menurut Oktaviano (2019), *martensite* merupakan struktur mikro yang memiliki sifat paling kuat dan keras diantara struktur fasa yang lain, namun memiliki sifat getas sehingga keuletannya tidak diperhatikan [18]. *Martensite* memiliki bentuk seperti jarum yang terbentuk karena adanya proses pendinginan paduan besi-karbon austenit yang dilakukan sangat cepat sampai suhu kamar. *Martensite* memiliki bentuk struktur atom BCT (*Body Centered Tetragonal*).

**Pengujian Kekerasan Brinell**

Pengujian Kekerasan *Brinell* merupakan salah satu pengujian kekerasan yang paling umum dan banyak digunakan [18]. Uji kekerasan *Brinell* menggunakan indenter bola yang keras dan terbuat dari baja. Indenter ini berdiameter 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm. Beban maksimum yang dapat diberikan yaitu 3000 kgf. Agar jejak tidak terlalu dalam, beban yang digunakan pada logam lunak adalah 500 kgf. Sedangkan bahan yang sangat keras menggunakan paduan karbida tungsten agar tidak terjadi distorsi akibat indenter [14] [19].

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* memiliki keunggulan yaitu:

- Material yang tidak homogen dapat diuji pada metode ini
- Preparasi permukaan spesimen uji tidak perlu terlalu halus
- Jejak penetrasi lebih besar sehingga memudahkan pengukuran

Nilai kekerasan *brinell* atau (HBW) dinyatakan sebagai besar gaya tekan F dibagi luas permukaan indentasi, seperti berikut:

$$BHN = \frac{2F_{kgf}}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Keterangan:

BHN= Nilai kekerasan *brinell* (kg/mm<sup>2</sup>)

F<sub>kgf</sub> = Gaya tekan (kgf)

D = Diameter bola indenter (mm)

d = Diameter indentasi (mm)

**Mikrografi**

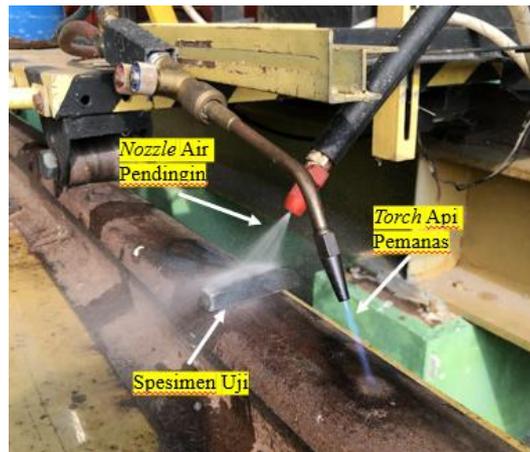
Menurut Manurung et al. (2020), mikrografi yaitu ilmu yang mempelajari tentang struktur logam yang dianalisis dengan mikroskop dan menggunakan perbesaran dari 20x sampai 2000x [20]. Hasil pengamatannya disebut dengan mikrostruktur. Tujuan dari mikrografi antara lain:

- Mengetahui unsur kimia yang terkandung di dalam paduan
- Mengetahui cacat mikro
- Mengetahui bentuk dan ukuran butir kristal
- Melihat dan memahami kualitas hasil dari proses *heat treatment*

### 3. Metodologi

Penelitian ini yaitu mengacu pada konsep teori *surface treatment*. Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini yaitu persiapan NaCl dan preparasi spesimen. Media *quenching* yang digunakan adalah campuran air dengan NaCl dengan variasi campuran NaCl sebesar 20-80% dengan interval 20%. Sedangkan, spesimen yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rel UIC R54 yang berukuran tebal 15 mm dan lebar 15 mm. Sebelum dilakukan *surface treatment*, spesimen ini nantinya akan dilakukn pembersihan karat atau kotoran pada permukaannya dengan menggunakan amplas dan *thinner*.

Selanjutnya, akan dilakukan proses *surface treatment*, menggunakan *Prototype Automatic Surface Treatment*. Proses *surface treatment* ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Pertama yaitu dengan memberikan *heating* pada permukaan spesimen dengan menggunakan nyala api dari gas oksasi-asetilen. Setelah itu, dilakukan *quenching* menggunakan media pendingin campuran NaCl dengan air.



Gambar 3. Proses Surface Treatment

Spesimen rel yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Spesimen R54 tanpa perlakuan *surface treatment* dan spesimen R54 dengan media *quenching* air dan NaCl. Kedua spesimen tersebut diberikan kode penamaan untuk mempermudah proses selanjutnya.

Tabel 1. Kode Penamaan Spesimen

Kode	Arti
Spesimen A	Spesimen R54 tanpa perlakuan <i>surface treatment</i>
Spesimen B	Spesimen R54 dengan media <i>quenching</i> larutan garam 20%
Spesimen C	Spesimen R54 dengan media <i>quenching</i> larutan garam 40%
Spesimen D	Spesimen R54 dengan media <i>quenching</i> larutan garam 60%
Spesimen E	Spesimen R54 dengan media <i>quenching</i> larutan garam 80%

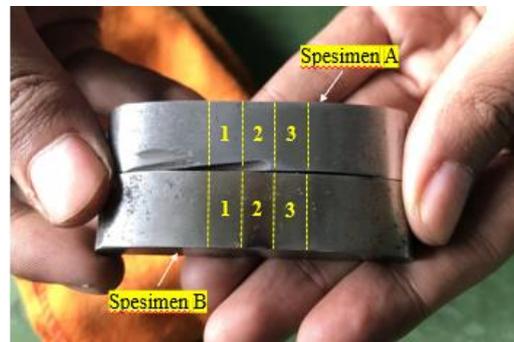
Ada 3 posisi pengujian yang dilakukan baik pada pengujian kekerasan maupun pengamatan struktur mikro, penentuan posisi pengujian ini dilakukan karena pemilihan permukaan yang rata dan adanya daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) pada permukaan spesimen tersebut. Berikut ini tabel kode penamaan posisi pengujian pada permukaan spesimen.

Tabel 2. Kode Penamaan Posisi Pengujian

Kode	Arti
A1	Spesimen A dengan posisi pengujian 1
A2	Spesimen A dengan posisi pengujian 2
A3	Spesimen A dengan posisi pengujian 3
B1	Spesimen B dengan posisi pengujian 1
B2	Spesimen B dengan posisi pengujian 2
B3	Spesimen B dengan posisi pengujian 3

Setelah itu, dilakukan pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan *GNEHM HORGEM OM 150*. Pengujian ini menggunakan indenter berukuran 5 mm dan menggunakan beban sebesar 250 kgf. Untuk waktu tahan yang diberikan sekitar 15-20 detik.

Untuk pengujian struktur mikro, dilakukan pembersihan permukaan spesimen uji. Amplas yang digunakan mulai amplas paling kasar ke amplas paling halus. Setelah itu, dilakukan *polishing* pada permukaan spesimen menggunakan *Autosol*. Permukaan spesimen dilakukan etsa agar batas butir dan fasa-fasa dapat terlihat pada mikroskop. Pada penelitian ini menggunakan etsa jenis nital 1 ml. Terakhir, dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran lensa sekitar 1500x.

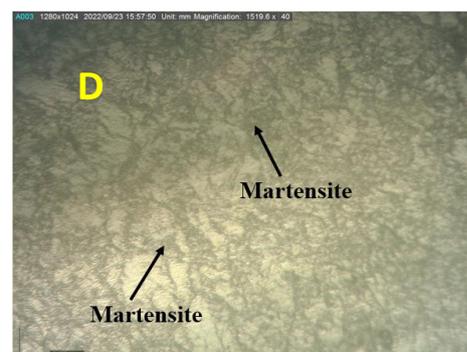
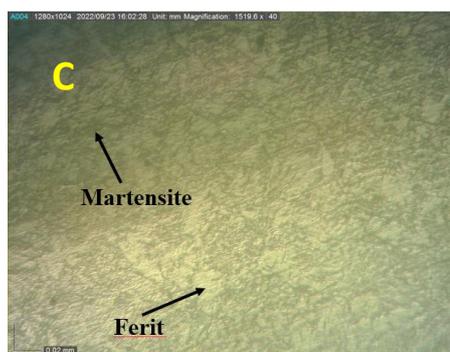
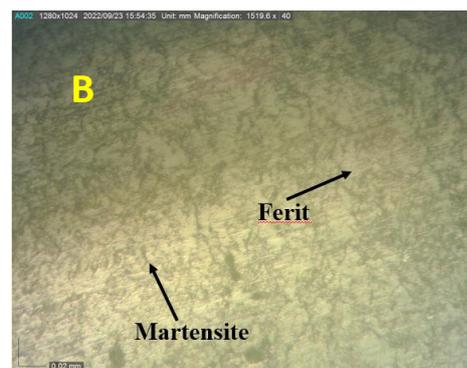
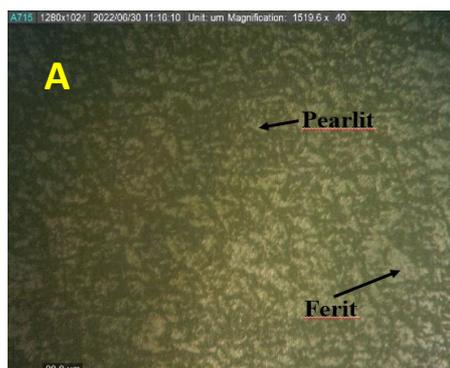


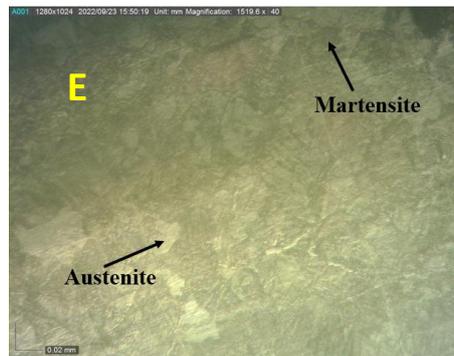
Gambar 4. Posisi Pengujian

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro permukaan spesimen dilakukan setelah mengukur nilai kekerasannya. Hasil pengamatan struktur mikro yang telah diperoleh dalam bentuk gambar kemudian dilakukan proses analisis gambar. Di bawah ini disajikan beberapa data yang terdiri dari data hasil pengamatan struktur mikro dari masing-masing spesimen menggunakan mikroskop. Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini menggunakan etsa nital 1 ml untuk baja karbon sedang dan menggunakan lensa dengan perbesaran 1500x. Pengamatan struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui struktur fasa yang terbentuk pada permukaan spesimen pengujian.





**Gambar 5.** Struktur Mikro Spesimen A, B, C, D, dan E

Setelah melakukan pengamatan struktur mikro dari spesimen rel R54 baik tanpa perlakuan *surface treatment* maupun yang telah dilakukan *surface treatment*, ada beberapa hasil yang disajikan dalam bentuk gambar untuk tiap-tiap spesimen. Masing-masing spesimen memiliki struktur mikro yang berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan media *quenching* yang digunakan. Dapat diamati dari Gambar 5 spesimen A yang tidak mendapat perlakuan *surface treatment* didominasi oleh fasa *ferrite* dan *perlite*. Fasa *pearlite* pada spesimen ini berwarna gelap, dan *ferrite* berwarna putih. Kedua struktur fasa ini membuat sifat dari spesimen A lebih lunak daripada spesimen lainnya [21].

Pada struktur mikro spesimen B pada Gambar, mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 20%, didapatkan pembentukan fasa *martensite* yang memiliki kekerasan tertinggi daripada fasa yang lain. Pembentukan fasa *martensite* dari spesimen ini masih sedikit sehingga nilai kekerasannya lebih rendah daripada spesimen C dan spesimen D [9].

Struktur mikro spesimen C pada Gambar, mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 40%, didapatkan pembentukan fasa *martensite* yang memiliki kekerasan tertinggi daripada fasa yang lain. Pembentukan fasa *martensite* dari spesimen ini mengalami peningkatan jumlah dari spesimen B sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi. Namun pembentukannya masih belum merata sehingga nilai kekerasannya lebih rendah daripada spesimen D.

Pembentukan Struktur mikro spesimen D pada Gambar, mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 60%, didapatkan pembentukan fasa *martensite* yang memiliki kekerasan tertinggi daripada fasa yang lain. Pembentukan fasa *martensite* dari spesimen ini rapat dan merata sehingga nilai kekerasannya spesimen ini menjadi tertinggi daripada spesimen yang lain, karena persentase yang digunakan sangat baik untuk dijadikan media *quenching* [12] [22].

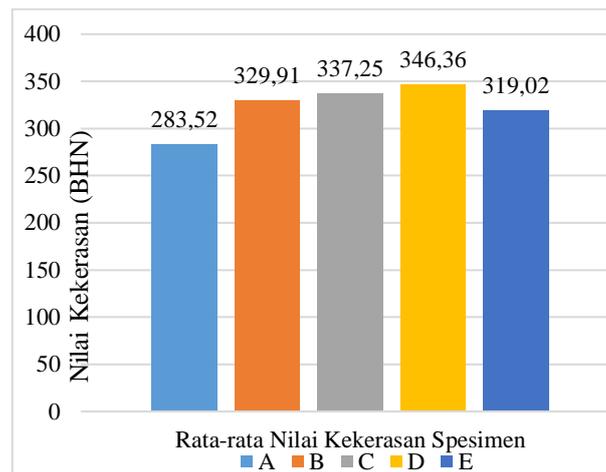
Struktur mikro spesimen E, mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 80%, didapatkan pembentukan fasa *martensite* yang memiliki kekerasan tertinggi daripada fasa yang lain. Pembentukan fasa *martensite* dari spesimen ini sangat sedikit, serta ditemukan fasa *austenite* sisa pada permukaan spesimen. Hal ini dikarenakan persentase pencampuran garam dengan air yang kurang baik, sehingga pelarutan garam terhadap air tidak terjadi secara sempurna. Oleh karena itu, terbentuk fasa *austenite* sisa karena laju pendinginan yang tidak teratur sehingga hal ini menurunkan sifat kekerasan dari spesimen.

Pembentukan fasa *martensite* pada spesimen yang dilakukan proses *surface treatment* disebabkan panas yang diterima pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) paparan *torch* pemanas memiliki panas yang cukup untuk melakukan heating pada permukaan material sehingga struktur fasa dari permukaan rel mengalami austenisasi pada suhu 723°C membentuk fasa *austenite*. Menurut Permana (2021), panas yang diterima spesimen pada daerah ini adalah 759°C [6] [11]. Sehingga, jika dilakukan *quenching* yang sangat cepat maka, karbon di dalam *austenite* tidak dapat terdistribusi keluar sehingga terbentuk fasa *martensite* dengan struktur *Body Centered Tetragonal* (BCT). Fasa *martensite* merupakan fasa yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan fasa lainnya.

### Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari data hasil pengujian nilai kekerasan permukaan spesimen R54 baik tanpa perlakuan *surface treatment* maupun yang telah dilakukan *surface treatment*, dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat perbedaan nilai kekerasan antara spesimen *raw material* dan spesimen yang telah dilakukan *surface treatment*. Dari grafik pada Gambar 6, dapat diamati bahwa adanya perbedaan pada masing-masing spesimen, dimana perbedaan tersebut menunjukkan bahwa proses *surface treatment* dapat meningkatkan nilai kekerasan dari suatu logam. Rata-rata nilai kekerasan permukaan pada spesimen A sebesar 283,52 BHN, pada spesimen B sebesar 392,91 BHN, pada spesimen C sebesar 337,25 BHN, pada spesimen D sebesar 346,36 BHN, dan pada spesimen E sebesar 319,02 BHN. Dengan adanya peningkatan nilai kekerasan dari spesimen setelah dilakukan proses *surface treatment*

menggunakan media *quenching* air garam, mengakibatkan nilai kekerasan dari rel menjadi sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan yaitu minimal 320 BHN.



**Gambar 6.** Nilai kekerasan specimen A-E

Adanya peningkatan nilai kekerasan pada spesimen yang digunakan di penelitian ini dikarenakan adanya proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan secara cepat dengan media *quenching* tertentu dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu logam [8] [22]. Media *quenching* disini sangat berpengaruh pada peningkatan nilai kekerasan yang didapatkan karena semakin cepat laju pendinginan, maka nilai kekerasannya juga semakin meningkat [2] [5]. Pada penelitian ini, menggunakan media *quenching* air garam dengan memvariasikan persentasenya, dimana hasil pengujiannya menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai kekerasan spesimen uji. Namun, persentase garam yang terlalu mendominasi bisa mengakibatkan laju pendinginan dari media *quenching* yang digunakan menjadi lambat. Oleh karena itu, dibutuhkan persentase yang tepat agar media *quenching* air garam memiliki laju pendinginan yang cepat. Maka dari itu, dapat ditarik kesimpulan bahwa pemilihan media *quenching* air ditambah garam memiliki pengaruh untuk meningkatkan nilai kekerasan dari suatu spesimen. Hal ini dikarenakan air garam memiliki laju pendinginan yang cepat pada proses *surface treatment*. Laju pendinginan yang cepat ini akan membuat banyak zat arang atau karbon yang tidak berdifusi keluar sehingga permukaan menjadi sangat keras.

## 5. Kesimpulan

Rata-rata nilai kekerasan permukaan pada spesimen A yang tidak mendapat perlakuan *surface treatment* sebesar 283,52 BHN, pada spesimen B yang mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 20% sebesar 329,91 BHN, pada spesimen C yang mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 40% sebesar 337,25 BHN, pada spesimen D yang mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 60% sebesar 346,36 BHN, dan pada spesimen E yang mendapat perlakuan *surface treatment* dengan media *quenching* air yang dicampurkan dengan NaCl dengan kadar 80% sebesar 319,02 BHN. Hal ini menunjukkan bahwa larutan garam sebagai media *quenching surface treatment* memiliki pengaruh pada peningkatan nilai kekerasan pada spesimen. Pada spesimen raw material, fasa yang terbentuk didominasi oleh ferrite dan pearlite. Sedangkan, pada semua spesimen yang setelah dilakukan proses *surface treatment* menggunakan media *quenching* air dan garam memiliki pembentukan fasa martensite. Fasa martensite merupakan fasa dengan nilai kekerasan tertinggi, sehingga membuat nilai kekerasan spesimen menjadi naik.

## Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun yang memfasilitasi kegiatan penelitian ini. Tidak hanya itu, terimakasih juga diucapkan kepada seluruh civitas akademika PPI Madiun yang telah berkenan memberikan *support* dan bantuan kepada penulis selama melakukan penelitian dan pengarahannya penelitian ini

## Daftar Pustaka

- [1] W. A. Wirawan, H. B. Wahjono, and F. Rozaq, "Desain Prototype Teknologi Automatic Surface Treatment Untuk Meningkatkan Ketahanan Jalan Rel Kereta Api," *J. Perkeretaapi. Indones. (Indonesian Railway Journal)*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.37367/jpi.v4i1.98.

- [2] A. Wanaradi, W. A. Wirawan, and T. S. S. I. Mahendra, "Design dan Manufacture Prototype Surface Treatment untuk Meningkatkan Ketahanan Permukaan Jalan Rel," p. 96, 2020.
- [3] T. S. S. I. Mahendra, "Pembuatan Prototype Surface Treatment Untuk Meningkatkan Ketahanan Permukaan Rel Kereta Api," Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, 2020.
- [4] F. P. Pamungkas, W. A. Wirawan, and N. F. Rachman, "Rancang Bangun Surface Treatment Rail Sebagai Upaya Mengurangi Keausan Pada Jalan Rel Kereta Api," *Pros. Simp. Forum Stud. Transp. antar Perguru. Tinggi ke-24*, no. November, pp. 4–6, 2021.
- [5] W. A. Wirawan, T. A. Cundoko, H. B. Wahjono, and F. Rozaq, "Rancang Bangun Prototipe Surface Treatmen Untuk Meningkatkan Ketahanan Pada Permukaan Jalan Rel Kereta Api," *J. Perkeretaapi. Indones.*, vol. V, pp. 1–9, 2021.
- [6] A. Ilves and M. Lindström, "METHOD FOR TRANSFERRING HEAT UTILIZING HEAT TRANSFER/COOLING FLUID HAVING TRI-METHYL GLYCINE," 2000.
- [7] A. P. Yanuar, H. Pratikno, and H. S. Titah, "Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 8–13, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18938.
- [8] Yunaidi, "Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses Quenching Baja Karbon Sedang S45C," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 3, pp. 70–76, 2016.
- [9] JFE Steel Corporation, *Rail*. .
- [10] T. V Rajan, C. P. Sharma, and A. Sharma, *Heat Treatment: Principles and Techniques*. Prentice-Hall of India, 1994.
- [11] A. C. Permana, "PENGUJIAN KEKERASAN DAN PENGAMATAN FOTO MAKRO HASIL PROTOTYPE AUTOMATIC SURFACE TREATMENT PADA PEMANAS DENGAN NOZZLE PENDINGIN," Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, 2021.
- [12] J. Budiman and R. Safutra, "Pembuatan dan Pengujian Alat Bantu Flame Hardening Untuk Meningkatkan Kekerasan Permukaan Poros Dengan Media Quenching Air," *STEMAN 2016*, pp. 1–7, 2016.
- [13] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft," *J. Ilm. Tek. Mesin Unisma "45" Bekasi*, vol. 3, no. 2, p. 97782, 2015.
- [14] S. Askar, S. Sinarep, and N. H. Sari, "Pengaruh Preheat Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Jis Ss 400," *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 16–25, 2013, doi: 10.29303/d.v3i1.84.
- [15] Y. Andre Dewantara, "PENGARUH MEDIA PENDINGIN QUENCHING TERHADAP KARAKTERISTIK KEKERASAN BESI COR KELABU Fc-25," UNIVERSITAS SANATA DHARMA YOGYAKARTA, 2021.
- [16] M. Jordi, H. Yudo, and S. Jokosisworo, "Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW," *J. Tek. PERKAPALAN*, vol. 5, no. 1, pp. 272–281, 2017.
- [17] T. G. T. Nindha, "Material Teknik I (Fase Ekiulibria, Logam dan Paduan)," Universitas Udayana, 2018.
- [18] D. D. Oktaviano, "ANALISIS PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BESI COR KELABU FC 25 DENGAN MANGAN 1,2 %," 2019.
- [19] A. Ambiyar and Z. A. Putra, "Pengaruh Temperatur ICA dan Temper Terhadap Baja Karbon Sedang," *Tek. Mesin FT UNP*, 2007.
- [20] V. A. Manurung, Y. T. J. Wibowo, and S. Y. Baskoro, *Panduan metalografi*. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra, 2020.
- [21] Astrini, "Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air dan Oli terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 4, no. 02, pp. 195–200, 2016.
- [22] Hari Boedi, Willy Artha Wirawan, Fadli Rozaq, Dadang Sanjaya Atmaja, "The Effect Of Quenching Media On Surface Treatment Process On The Rel UIC R42 (Union Internasionale Des Chemins De Fer-42) Endurance", *IJAST*, vol. 29, no. 6s, pp. 1329 - 1336, Apr. 2020.