

ANALISIS STRUKTUR MIKRO PADA BAJA ST 60 HASIL PERLAKUAN HARDENING DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI MEDIA PENDINGIN

Dewi Izzatus Tsamroh^{1*)}, Agus Dwi Putra², Jibril Maulana³

^{1*),3}Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang, Indonesia

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

^{*)}Corresponding author: dewi.tsamroh.fv@um.ac.id

ABSTRACT

This study aims to analyze the microstructure of ST 60 steel after hardening treatment using various cooling media. ST 60 steel was chosen because of its wide application in the construction and machinery industries, which require high mechanical properties such as hardness and toughness. The hardening process is carried out by heating the steel to the austenitization temperature (850–900°C), followed by rapid cooling using three different media, namely water, oil, and salt solution. The microstructure of the treatment results was analyzed using an optical microscope to identify the phases formed, such as martensite, ferrite, and pearlite. The results showed that the variation of cooling media had a significant effect on the microstructure and mechanical properties of ST 60 steel. Cooling using water resulted in the formation of more dominant martensite, increasing hardness but potentially causing cracks. Cooling with oil resulted in a mixed structure of martensite and pearlite with moderate hardness and minimal cracks. Meanwhile, cooling with salt solution gave similar results to water, but with a more uniform distribution of martensite. This study reveals that choosing the right cooling media is very important to optimize the mechanical properties of ST 60 steel according to its application needs.

Keywords: ST 60 steel, Hardening, Microstructure, Martensite, Cooling media.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur mikro baja ST 60 setelah perlakuan pengerasan (hardening) dengan menggunakan variasi media pendingin. Baja ST 60 dipilih karena aplikasinya yang luas dalam industri konstruksi dan mesin, yang membutuhkan sifat mekanik tinggi seperti kekerasan dan ketangguhan. Proses hardening dilakukan dengan memanaskan baja hingga suhu austenitasi (850–900°C), diikuti dengan pendinginan cepat menggunakan tiga media berbeda, yaitu air, oli, dan larutan garam. Struktur mikro hasil perlakuan dianalisis menggunakan mikroskop optik untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk, seperti martensit, ferit, dan perlit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi media pendingin memiliki pengaruh signifikan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja ST 60. Pendinginan menggunakan air menghasilkan pembentukan martensit yang lebih dominan, meningkatkan kekerasan namun berpotensi menyebabkan retakan. Pendinginan dengan oli menghasilkan struktur campuran martensit dan perlit dengan kekerasan sedang serta retakan yang lebih minim. Sementara itu, pendinginan dengan larutan garam memberikan hasil serupa dengan air, namun dengan distribusi martensit yang lebih seragam. Penelitian ini mengungkapkan bahwa pemilihan media pendingin

yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan sifat mekanik baja ST 60 sesuai kebutuhan aplikasinya.

Kata Kunci: Baja ST 60, Hardening, Struktur mikro, Martensit, Media pendingin.

PENDAHULUAN

Baja ST 60 merupakan salah satu jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan dalam industri konstruksi, otomotif, dan mesin karena memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik tinggi dan ketangguhan [1]. Namun, untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan dan daya tahan terhadap keausan yang lebih tinggi, baja ST 60 sering kali memerlukan perlakuan panas, seperti pengerasan (hardening). Proses hardening bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan mekanik dengan memodifikasi struktur mikro baja melalui pemanasan dan pendinginan cepat [2].

Struktur mikro baja setelah perlakuan hardening sangat dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan. Media pendingin, seperti air, oli, dan larutan garam, memiliki laju pendinginan yang berbeda-beda, yang berpengaruh langsung terhadap pembentukan fasa-fasa dalam baja, seperti martensit, perlit, dan ferit [3]. Fasa martensit, yang terbentuk akibat pendinginan cepat, dikenal memiliki kekerasan tinggi tetapi cenderung rapuh. Oleh karena itu, pemilihan media pendingin yang tepat menjadi langkah penting untuk mendapatkan kombinasi sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi baja ST 60 [4].

Pada proses hardening, air sering digunakan karena memberikan laju pendinginan yang tinggi, sehingga menghasilkan struktur martensit dalam jumlah besar. Namun, penggunaan air dapat menyebabkan risiko retakan akibat tegangan termal [5]. Oli sebagai media pendingin menawarkan laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air, sehingga mengurangi risiko retakan tetapi menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Sementara itu, larutan garam memberikan laju pendinginan yang dapat disesuaikan, sehingga memungkinkan pembentukan martensit yang lebih seragam [6].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi media pendingin terhadap struktur mikro baja ST 60 hasil perlakuan hardening. Struktur mikro yang diamati mencakup distribusi fasa martensit, perlit, dan ferit, yang diidentifikasi menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna dalam menentukan media pendingin yang optimal untuk aplikasi baja ST 60, sehingga sifat mekaniknya dapat disesuaikan dengan kebutuhan [7]. Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang metalurgi, tetapi juga memiliki relevansi praktis dalam industri manufaktur. Pemilihan media pendingin yang tepat dapat meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses produksi, sehingga mampu menjawab tantangan dalam pengembangan material dengan performa tinggi di berbagai aplikasi. Banyak penelitian yang membahas tentang pengaruh media pendingin terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja karbon sedang, akan tetapi terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian sebelumnya. Banyak penelitian yang hanya berfokus pada satu jenis media pendingin tanpa membandingkan dengan media pendingin yang lain, dan masih sedikit yang membahas baja karbon sedang.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental berskala laboratorium. Berikut adalah tahapan metode yang dilakukan:

1. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan baja ST 60 sebagai material uji. Media pendingin yang digunakan adalah air, oli, dan larutan garam dengan konsentrasi tertentu. Alat yang digunakan meliputi:

- Tungku pemanas untuk proses pemanasan (furnace)
- Mikroskop metalografi untuk analisis struktur mikro
- Mesin uji kekerasan (Hardness Tester) untuk mengukur kekerasan material
- Alat potong dan polishing untuk persiapan sampel uji.

2. Proses Penelitian

a. Persiapan Sampel

Baja ST 60 dipotong menjadi spesimen dengan dimensi tertentu, kemudian permukaannya dipoles hingga halus untuk analisis struktur mikro.

b. Proses Hardening

Spesimen dipanaskan dalam furnace hingga mencapai suhu austenitisasi (850–900 °C) selama waktu tertentu (± 30 menit) untuk memastikan seluruh material berada pada fasa austenit.

c. Pendinginan

Setelah pemanasan, spesimen segera didinginkan menggunakan tiga media pendingin berbeda:

- Air
- Oli
- Larutan garam (misalnya NaCl dengan konsentrasi 10–15%)
- Tujuan dari variasi media ini adalah untuk mengamati pengaruh kecepatan pendinginan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja.

3. Analisis Struktur Mikro

Setelah pendinginan, sampel dipotong dan dipreparasi untuk pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop metalografi. Struktur mikro seperti martensit, bainit, atau fasa lainnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap transformasi fasa.

4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell. Nilai kekerasan diukur pada setiap spesimen untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik yang terjadi akibat proses hardening.

5. Analisis Data

Data dari analisis struktur mikro dan pengujian kekerasan dibandingkan untuk setiap variasi media pendingin. Hasil ini dianalisis untuk menentukan:

- Hubungan antara kecepatan pendinginan dan perubahan struktur mikro
- Pengaruh struktur mikro terhadap kekerasan material

HASIL DAN PEMBAHASAN

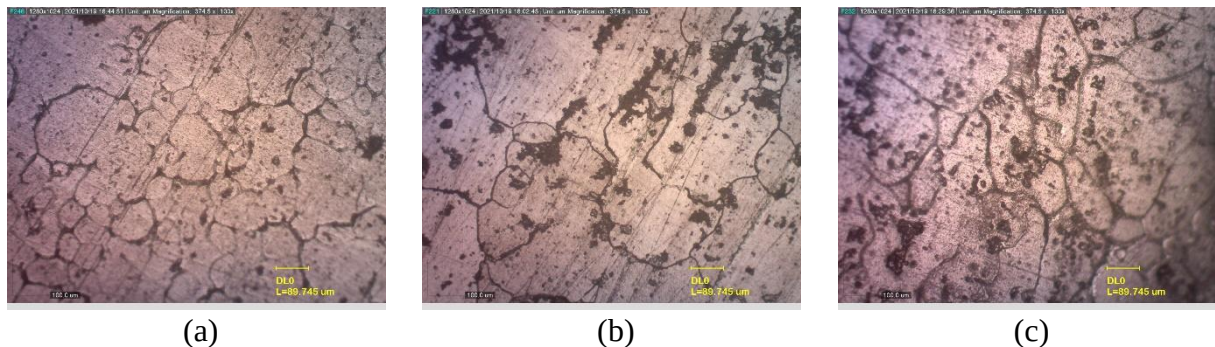
Proses hardening atau pengerasan pada baja ST 60 dapat dilakukan dengan metode quenching, yaitu pemanasan baja hingga suhu tertentu kemudian didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin. Variasi media pendingin yang dapat digunakan antara lain air, air garam, dan oli [8].

1. Pengaruh Variasi Media Pendingin terhadap Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada gambar 1 menunjukkan bahwa variasi media pendingin menghasilkan perbedaan signifikan pada struktur mikro baja ST 60:

- **Air:** Pendinginan cepat menghasilkan struktur martensit dominan. Martensit adalah struktur yang keras dan rapuh, terbentuk karena transformasi austenit yang terjadi sangat cepat.
- **Oli:** Pendinginan sedang menghasilkan struktur campuran antara martensit dan bainit. Kecepatan pendinginan oli lebih lambat dibandingkan air, sehingga memungkinkan pembentukan bainit yang lebih stabil.
- **Larutan Garam:** Pendinginan lebih agresif dibandingkan air karena memiliki konduktivitas termal tinggi. Struktur mikro didominasi martensit, namun dengan distribusi lebih seragam dibandingkan air.

Penggunaan media pendingin yang berbeda akan mempengaruhi sifat kekerasan dari baja ST 60. Secara umum, media pendingin air garam menghasilkan kekerasan tertinggi dibandingkan media pendingin lainnya [9]. Hal ini disebabkan karena air garam memiliki laju pendinginan yang lebih cepat sehingga dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih keras. Selain itu, holding time atau waktu penahanan pada suhu pemanasan juga mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik baja. Semakin lama holding time, maka struktur mikro yang terbentuk akan semakin homogen dan sifat mekanik yang dihasilkan juga akan semakin baik [5].



Gambar 1. a, b, dan c merupakan Struktur Mikro ST 60 dengan Variasi Media Pendingin

2. Hubungan Struktur Mikro dan Kekerasan Material

Pengujian kekerasan menunjukkan korelasi erat antara struktur mikro dan nilai kekerasan:

- **Air:** Kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel yang didinginkan dengan air. Hal ini disebabkan oleh dominasi martensit yang memiliki sifat mekanik sangat keras.
- **Oli:** Kekerasan lebih rendah dibandingkan air karena struktur campuran martensit dan bainit, yang memberikan keseimbangan antara kekerasan dan keuletan.
- **Larutan Garam:** Kekerasan mendekati hasil pendinginan air, tetapi dengan stabilitas struktur lebih baik karena distribusi martensit yang merata.

Tabel 1 berikut merupakan nilai kekerasan yang diperoleh berdasarkan variasi media pendingin, disertai dengan penjelasan terkait.

Tabel 1. Angka Kekerasan ST60 dengan Variasi Media Pendingin

Media Pendingin	Struktur Mikro Dominan	Kekerasan (HRC)	Keterangan
Air	Martensit	50–60	Pendinginan cepat menghasilkan martensit dominan, memberikan kekerasan tertinggi tetapi rentan terhadap retak.
Oli	Martensit + Bainit	40–50	Pendinginan sedang menghasilkan struktur campuran, memberikan keseimbangan kekerasan dan keuletan.
Larutan Garam	Martensit	50–58	Pendinginan cepat menghasilkan martensit dengan distribusi lebih seragam, memberikan stabilitas kekerasan lebih baik.

Tabel ini menggambarkan hubungan antara media pendingin, struktur mikro dominan, dan nilai kekerasan yang dihasilkan. Nilai kekerasan dalam tabel ini bersifat perkiraan berdasarkan literatur dan teori transformasi fasa baja karbon medium seperti ST 60. Jika Anda ingin memasukkan data eksperimental, hasil pengujian aktual perlu ditambahkan [10].

Pada media pendingin air dan larutan garam, ditemukan potensi retak atau distorsi akibat tegangan internal yang tinggi dari pendinginan cepat. Oli memiliki keuntungan dalam mengurangi risiko ini, meskipun menghasilkan kekerasan yang sedikit lebih rendah [8]. Variasi struktur mikro memberikan fleksibilitas aplikasi material. Struktur martensit yang keras cocok untuk komponen dengan kebutuhan ketahanan aus tinggi, seperti gigi roda atau alat potong. Campuran martensit dan bainit dari pendinginan oli lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan keseimbangan antara kekerasan dan keuletan, seperti poros atau komponen mesin lainnya [7].

Analisis struktur mikro pada baja ST 60 hasil perlakuan hardening dapat dilakukan dengan pengamatan metalografi. Struktur mikro yang terbentuk akan berbeda-beda tergantung pada media pendingin dan parameter proses hardening yang digunakan. Secara keseluruhan, pemilihan media pendingin dan parameter proses hardening yang tepat sangat penting untuk mendapatkan sifat mekanik dan struktur mikro baja ST 60 yang diinginkan sesuai dengan aplikasinya [2], [11].

Struktur mikro baja ST 60 sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan dari fasa austenit pada proses hardening. Variasi media pendingin memengaruhi transformasi fasa sebagai berikut:

- **Pendinginan Cepat (Air dan Larutan Garam):**
Transformasi austenit terjadi sangat cepat, menghasilkan struktur martensit. Martensit terbentuk akibat trapping atom karbon dalam kisi kristal, menghasilkan struktur tetragonal terdistorsi yang sangat keras namun rapuh.
- **Pendinginan Sedang (Oli):**
Kecepatan pendinginan lebih lambat memungkinkan transformasi sebagian austenit menjadi bainit. Bainit memiliki struktur mikro yang lebih kompleks, terdiri dari ferrit dan karbida, memberikan kombinasi antara kekerasan dan keuletan.

3. Karakteristik Struktur Mikro Berdasarkan Media Pendingin

- **Air:**
Struktur mikro terdiri hampir seluruhnya dari martensit dengan jarak antar lath martensit yang sangat kecil. Struktur ini menunjukkan kekerasan tinggi tetapi sangat rentan terhadap retak.
- **Larutan Garam:**
Mirip dengan air, namun struktur martensitnya lebih merata dan seragam karena larutan garam meningkatkan efisiensi transfer panas, mengurangi variasi suhu lokal selama pendinginan.
- **Oli:**
Struktur mikro menunjukkan campuran martensit dan bainit. Struktur bainit memberikan peningkatan ketangguhan karena pengendapan karbida dalam matriks ferrit memperkuat material tanpa mengurangi fleksibilitasnya secara signifikan.

4. Analisis Distribusi Fasa

Pengamatan pada mikroskop metalografi menunjukkan pola distribusi fasa sebagai berikut:

- Pada sampel yang didinginkan dengan air dan larutan garam, martensit mendominasi seluruh area struktur mikro, terlihat dari pola acicular (jarum) yang homogen.
- Pada sampel oli, terdapat pola granular (butir) bainit yang menyebar di antara matriks martensit, memberikan tampilan yang lebih kompleks dan heterogen [12], [13].

5. Hubungan Struktur Mikro dengan Retensi Austenit

Pada tabel 2 menunjukkan pendinginan dengan oli, ditemukan kemungkinan adanya retensi austenit. Hal ini terjadi karena kecepatan pendinginan yang lebih lambat, memungkinkan sebagian kecil austenit tidak mengalami transformasi sepenuhnya. Retensi austenit dapat meningkatkan ketangguhan tetapi berpotensi menyebabkan penurunan stabilitas dimensi dalam aplikasi jangka panjang [11].

Struktur martensit yang didapatkan dari media pendingin air dan larutan garam memberikan sifat mekanik berupa kekerasan tinggi, cocok untuk aplikasi dengan beban tekan besar. Namun, risiko retak internal dan eksternal perlu dikelola. Sebaliknya, campuran martensit dan bainit dari oli menawarkan keuletan lebih baik, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi dinamis dengan variasi beban. Tabel di bawah ini merangkum perbandingan hasil struktur mikro dan sifat mekanik [14].

Tabel 2. Perbandingan Hasil Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Media Pendingin	Struktur Mikro Dominan	Kekerasan (HRC)	Kelebihan	Kekurangan
Air	Martensit	Tertinggi	Kekerasan maksimal	Risiko retak tinggi
Oli	Martensit + Bainit	Sedang	Keseimbangan kekerasan & keuletan	Kekerasan lebih rendah
Larutan Garam	Martensit	Hampir Tertinggi	Kekerasan tinggi & distribusi baik	Risiko retak seperti air

Hasil penelitian ini mendukung teori transformasi fasa pada baja karbon tinggi, di mana media pendingin sangat memengaruhi kecepatan transformasi austenit dan sifat akhir material. Penelitian ini relevan untuk industri manufaktur, terutama dalam menentukan proses hardening yang optimal sesuai kebutuhan aplikasi komponen.

KESIMPULAN

Variasi media pendingin memiliki dampak signifikan pada struktur mikro dan sifat mekanik baja ST 60 hasil perlakuan hardening. Pemilihan media pendingin harus mempertimbangkan kebutuhan aplikasi material untuk mendapatkan kombinasi sifat mekanik yang sesuai. Struktur mikro baja ST 60 hasil hardening sangat tergantung pada media pendingin yang digunakan. Air dan larutan garam menghasilkan martensit dominan dengan kekerasan tinggi, cocok untuk aplikasi beban tinggi tetapi memiliki risiko retak. Oli menghasilkan kombinasi martensit dan bainit, memberikan kekerasan moderat dengan ketangguhan yang lebih baik. Penelitian lanjutan dapat memperluas analisis dengan menguji kinerja material yang dihasilkan, seperti daya tahan terhadap keausan, ketahanan terhadap termal, dan kemampuan menahan beban dinamis. Hasil ini akan memberikan panduan lebih praktis untuk aplikasi di industri.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] D. A. Utama, "Pengaruh Quenching Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Tinggi," Univeristas Sriwijaya, 2022.
- [2] Z. H. Song, H. Y. Song, J. X. Liu, and H. T. Liu, "Tuning heterogeneous microstructure and improving mechanical properties of twin-roll strip cast low carbon steels by on-line heat treatments," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 30, no. 11, pp. 5894–5904, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.04.143.
- [3] S. Sabarudin, Pratikto, A. Suprpto, and Y. S. Irawan, "Effect of heat treatment and Cryogenics on hardness of ductile cast iron microstructure (FCD50)," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 12–92, pp. 20–26, 2018, doi: 10.15587/1729-4061.2018.129013.
- [4] S. Kristiadi, U. Lesmanah, and A. Raharjo, "Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap

- Kekerasan dan Mikrostruktur Pada Pengecoran Aluminium 6061,” *J. Tek. Mesin*, pp. 6–13, 2023, [Online]. Available: <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/20665>.
- [5] A. K. L. Wujakshana, S. Sinarep, and I. Okariawan, “Pengaruh Proses Perlakuan Panas Plat Strip Stainless Steel AISI 304 dengan Media Pendingin Air Pohon Pisang, Air Garam, dan Air Terhadap Uji Kekerasan Vickers, Uji Impact, dan Struktur Mikro,” Universitas Mataram, 2021.
- [6] D. I. Tsamroh and M. Riza Fauzy, “Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i1.1217.
- [7] K. Wang *et al.*, “Toughening optimization on a low carbon steel by a novel Quenching-Partitioning-Cryogenic-Tempering treatment,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 743, pp. 259–264, 2019, doi: 10.1016/j.msea.2018.04.104.
- [8] R. N. Fattah, S. Sugiyanto, B. H. Priyambodo, A. Nurhidayat, and R. I. Yaqin, “Rekayasa Peningkatan Kekerasan Permukaan Gear Sprocket Sepeda Motor dengan Metode Quenching Variasi Media Pendingin,” *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 8–13, 2023, doi: 10.18196/jqt.v5i1.19418.
- [9] D. B. Darmadi and M. Talice, “Improving the strength of friction stir welded joint by double side friction welding and varying pin geometry,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 24, no. 3, pp. 637–647, 2021, doi: 10.1016/j.jestch.2020.11.001.
- [10] A. Suprpto and A. Mokhtar, “Analisis Kemampuan Bahan St 37 Dan Scm 440 Untuk Dikeraskan Pada Produk Gear,” *Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2021, doi: 10.22219/skpsppi.v1i0.4192.
- [11] M. A. Essam, A. Y. Shash, M. K. El-Fawakhry, E. El-Kashif, and H. Megahed, “Influence of micro-alloying elements and deep cryogenic treatment on microstructure and mechanical properties of S5 cold work shock resisting tool steel,” *Results Mater.*, vol. 17, no. January, p. 100374, 2023, doi: 10.1016/j.rinma.2023.100374.
- [12] Anne Zulfia, Ratna Juwita, Ari Uliana, I Nyoman Jujur, and Jarot Raharjo, “Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting,” *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 13–20, 2010, doi: 10.9744/jtm.12.1.13-20.
- [13] C. Chen, X. Yin, W. Liao, Y. Xiang, M. Gao, and Y. Zhang, “Microstructure and properties of 6061/2A12 dissimilar aluminum alloy weld by laser oscillation scanning,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 14, pp. 2789–2798, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.08.105.
- [14] A. Dermawan, Mustaqim, and F. Sidiq, “Pengaruh Temperatur Carburizing Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Sifat – Sifat Mekanis Baja S 21 C,” *Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 7–14, 2017, [Online]. Available: <http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/738>.