

Analysis of Bending Methods on BjTP 280 Roundbars on Hardness and Microstructure

Adzin Hanif Muttaqin*, Mohammad Miftachul Munir, Imam Khoirul Rohmat

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal,

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

* Corresponding author: ladzinhanif@student.pnns.ac.id

Article Processing Dates:

Received 2023-08-22

Accepted 2023-08-31

Available online 2023-12-30

Keywords:

Hot Bending

Cold Bending

Roundbars

BjTP 280

Embedded plate

Abstract

Reinforcing steel or commonly called roundbars is a material that is often used in industry, this is because the material is strong and easy to find anywhere. Deformation has a relationship to hardness. The higher the deformation value, the higher the material hardness value, but this is inversely proportional to the grain change, where the greater the deformation, the smaller the grain size. This research aims to determine the hardness and microstructure values of cold bending and hot bending treatments. Research by carrying out cold bending and hot bending which is connected to roundbars material without BjTP 280 bending treatment with the SMAW welding process. The highest hardness value is shown in the HAZ area of the hot bending specimen with a hardness value of 239.97 HV with a fine and small microstructure so it has the highest hardness value.

1. Pendahuluan

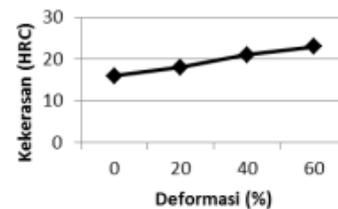
Baja tulangan atau biasa disebut *roundbars* merupakan salah satu material yang sering digunakan di industri, hal ini dikarenakan materialnya yang kuat dan mudah didapatkan dimana saja. Baja tulangan juga mudah digunakan serta dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Ada dua macam metode dalam melakukan pembengkokan (*bending*) baja tulangan, yaitu dengan cara *cold work* maupun *hot work*. Tetapi keadaan aktual menunjukkan bahwa perlakuan *cold bending* maupun *hot bending* dinilai sudah mengalami deformasi plastis yang mempengaruhi bentuk dan luas penampang. Perlakuan *cold bending* ataupun deformasi plastis berdampak pada peningkatan kekerasan pada material. Deformasi memiliki hubungan terhadap kekerasan, semakin tinggi nilai deformasi maka semakin bertambah nilai kekerasan material, namun berbanding terbalik dengan perubahan butir dimana semakin besar deformasi maka ukuran butir semakin kecil. Gambar 1 menunjukkan bentuk struktur butir *low carbon steel* yang di *bending*.



Gambar 1. Struktur mikro akibat deformasi [1].

Proses deformasi dapat merubah kekerasan, bentuk dan ukuran butir suatu bahan sesuai dengan besar deformasi yang dikenakan pada bahan [1]. Gambar 2 menunjukkan hubungan deformasi yang dilakukan terhadap suatu material dengan nilai kekerasan yang dihasilkan. bahwa dari hasil bending terdapat perubahan signifikan dari besar ukuran butir baja yang mengalami bending dengan tanpa perlakuan bending. Dampak dari proses tersebut dapat mempengaruhi

nilai *impact* dan *hardness* dari hasil pengujian yang dilakukan. Hal ini didasarkan pada seringnya terjadi penurunan toughness dan ketangguhan serta struktur mikro menjadi pipih pada proses pengerolan maupun pembentukan lengkungan atau *bending*. Hal ini menunjukkan bahwa dari hasil bending terdapat perubahan signifikan dari besar ukuran dan bentuk butir baja yang mengalami bending dengan tanpa perlakuan *bending* [2].



Gambar 2. Grafik hubungan deformasi terhadap kekerasan [1].

Penelitian diperlukan untuk mengetahui hasil penggunaan metode *cold bending* maupun *hot bending* dalam perlakuan pembengkokan (*bending*) terhadap *mechanical properties* dan juga struktur mikro pada masing masing daerah sambungan pengelasan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan N. Pornputsiri [3] memiliki hasil bahwa efek dari *bending* akan mengakibatkan transformasi fasa dan *strain hardening*, dan struktur mikronya akan memanjang di arah tegangan mengikuti *elongated direction*. Dengan adanya perlakuan panas yang menyebabkan struktur mikro menjadi berukuran lebih besar sehingga menyebabkan nilai kekerasan material juga akan semakin kecil [4]. Sebelum dilakukannya *cold bending* proses, *weld metal* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan *base metal*. Setelah *cold bending* dilakukan, nilai kekerasan *base metal* akan lebih tinggi dibanding *base metal*. [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro perlakuan *cold bending* dan

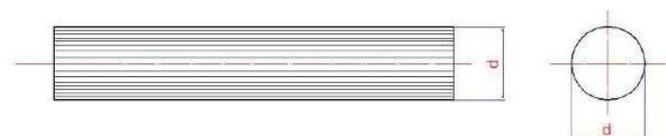
hot bending terhadap material BjTP 280 yang dilas dengan material BjTP280 tanpa *bending*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara ekperimental dengan melakukan *cold bending* dan *hot bending* yang disambungkan pada material tanpa perlakuan *bending* BjTP 280 dengan proses pengelasan SMAW.

2.1 Material

Baja tulangan beton merupakan baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau bersirip dan. Digunakan untuk penulangan beton maupun konstruksi lainnya, baja ini diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara *hot rolling*. BjTP merupakan baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip atau ulir [2]. Bentuk baja tulangan polos ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penampang baja tulangan polos [2].

2.2 Bending

Proses *bending* dilakukan dengan dua metode yang berbeda. *Cold bending* menggunakan mesin *Rebar Bender Krisbow KW1500837* dengan radius *bending* sebesar 90°. Gambar 4 menunjukkan proses saat *cold bending* dilakukan.



Gambar 4. Proses *cold bending* dengan mesin *rebars bender Krisbow KW1500837*



Gambar 5. Proses *hot bending* menggunakan *brander oxy-acetylene*

Metode berikutnya yang digunakan adalah *hot bending*, dilakukan dengan memanaskan material *roundbars* dengan menggunakan *brander torch oxy-acetylene* hingga suhu 250° kemudian ditekuk hingga membentuk 90° secara manual. Gambar 5 menunjukkan suhu yang digunakan dan proses saat *hot bending* dilakukan,

2.3 Pengelasan

Setelah proses *bending* dilakukan, selanjutnya dilakukan *fit-up* dilanjutkan dengan mengelas spesimen pengujian. Pengelasan dilakukan sebanyak 2 sambungan pengelasan, sambungan material *cold bending* dan tanpa *bending* serta sambungan material *hot bending* dan tanpa *bending* BjTP 280. Bentuk spesimen sebelum dilakukan proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 6.



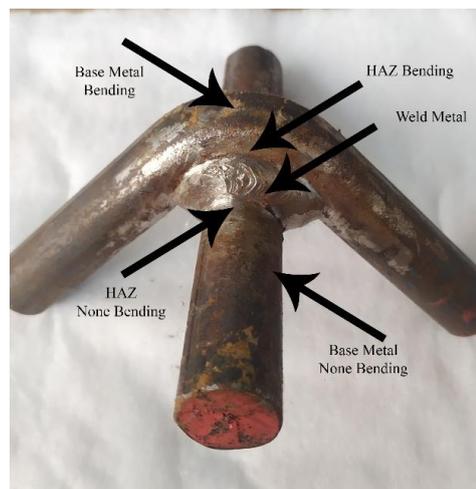
Gambar 6. Proses *fit-up* spesimen sebelum dilakukan proses pengelasan.

Semua spesimen dilakukan pengelasan menggunakan proses SMAW dengan elektroda E7018 Ø3.2 mm dengan parameter pengelasan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengelasan

Arus (A)	165
Voltase (V)	24 - 26
Polaritas	DCEP

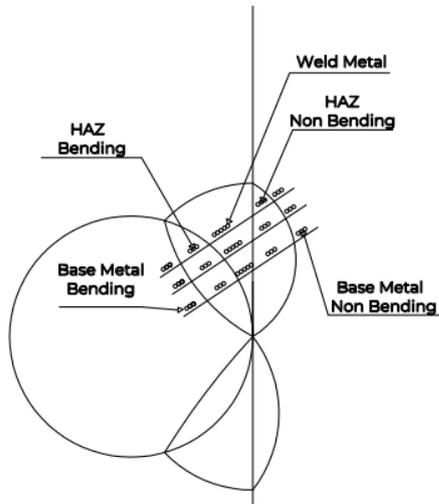
Pengelasan dilakukan sebanyak tiga layer pada masing-masing spesimen, dengan parameter yang sama pada setiap layer pengelasan. *Roundbars* diusahakan menempel dengan sempurna untuk meminimalisir gap akibat jarak antar *roundbars*. Hasil pengelasan spesimen dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengelasan spesimen.

2.3 Hardness Vickers Test.

Pengujian kekerasan menggunakan metode *hardness vickers* dengan satuan nilai yang dihasilkan adalah HV. Titik yang diuji adalah *base metal* tanpa *bending*, HAZ tanpa *bending*, *weld metal*, HAZ *bending*, *base metal bending* pada masing masing spesimen. Dengan system pengambilan indentasi 3 baris yaitu pada bawah, tengah, dan atas bagian pada masing masing spesimen. Titik pengambilan *hardness* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Lokasi indentasi *hardness vickers*

2.4 Microstructure Testing.

Berdasarkan proses pengelasan, analisis struktur mikro dilakukan untuk mengetahui tipe dari fasa yang terbentuk. Cairan etsa yang digunakan pada masing masing spesimen sama yaitu dengan cairan *Nital 2%*. Cairan etsa ini terdiri dari 98 ml alcohol dan 2 ml HNO_3 yang dicampurkan menjadi satu. Cairan *nital* ini digunakan pada umumnya untuk spesimen *carbon steel* [6]. Spesimen di foto dengan pembesaran 200x dimana pengambilan foto pada lima daerah yaitu *base metal* tanpa *bending*, HAZ tanpa *bending*, *weld metal*, HAZ *bending*, *base metal bending* pada masing-masing spesimen.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil *hardness test*

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai tertinggi berada pada HAZ *hot bending*, hal ini disebabkan oleh adanya fenomena pengerasan regangan atau *strain hardening* dimana pada saat deformasi berlangsung akan menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi sebagai akibat adanya deformasi [7]. radius bagian dalam material yang mendapat perlakuan *bending* memiliki beban tarik lebih kecil dibanding radius luar, sehingga dislokasi dan kerapatan butir lebih rapat yang menyebabkan kenaikan kekerasan material [8]. Selain itu, HAZ memiliki nilai kekerasan tinggi juga disebabkan oleh struktur butir yang mengecil dikarenakan terkena panas dari pengelasan dan terjadi pendinginan secara cepat setelah proses pengelasan selesai dilakukan. Grafik hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian *hardness vickers*

Hasil penelitian tentang *cold bending effect on residual stress, microstructure and mechanical properties* [5] karena adanya proses *hot working* pada material, didapat hasil kekerasan pada material yang dikenai perlakuan pekerjaan panas mengalami penurunan kekerasan, disebabkan material mengalami proses pendinginan yang lambat sehingga menyebabkan material tersebut menjadi lebih ulet dan lunak. Hal ini menyebabkan material yang terkena *hot bending* kekerasannya akan menurun dan juga menurunkan kekerasan *weld metal* karena seakan-akan material terkena efek *preheat* sebelum dilakukan pengelasan. Penurunan kekerasan ini akan diikuti oleh kenaikan nilai kuat tarik dan penurunan nilai *impact* meskipun tidak terlalu signifikan [9]

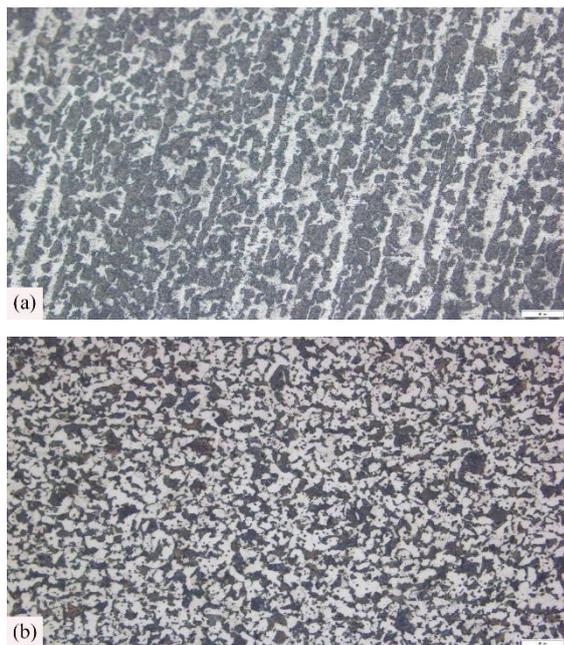
3.2 Hasil pengujian struktur mikro

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan perbedaan pada setiap daerahnya, pada daerah *base metal* yang terkena *cold bending* menunjukkan struktur butir akan memipih dan arahnya mengikuti arah deformasi yang dilakukan pada material. Merujuk pada penelitian [10] mengenai efek *cold bending* terhadap tegangan sisa, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi pada *base metal* yang terkena perlakuan *bending* pada radius dalam dikarenakan adanya butiran yang banyak dislokasi akibat deformasi dan terdapat tegangan sisa. Tegangan sisa semakin besar seiring dengan meningkatnya sudut yang digunakan ketika proses *bending*. Gambar 9 (a) menunjukkan struktur mikro *base metal cold bending*.

Proses peregangan atau deformasi plastis yang dilakukan pada plat baja karbon rendah akan menyebabkan perubahan struktur mikro atau dengan istilah lain terjadi fenomena penyeratan mekanis (*mechanical fibbering*). Fenomena tersebut dikarakteristik dengan adanya perubahan dari bentuk butir awalnya yaitu *equiaxial* menjadi bentuk butir yang terdeformasi atau terelongasi (pipih) [7].

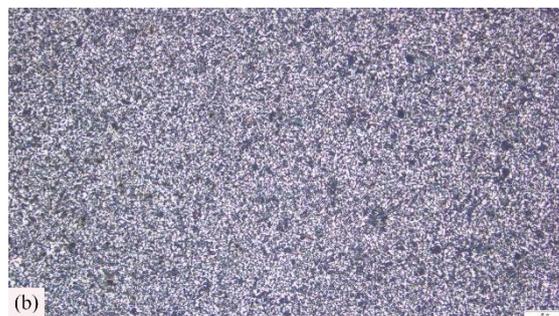
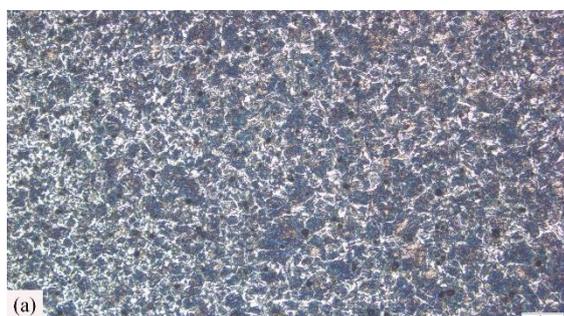
Struktur mikro pada daerah *base metal hot bending* menunjukkan butir yang lebih halus dan acak dan tidak mengikuti arah bending atau deformasi material. Fasa *pearlite* yang ada pada struktur mikro spesimen *cold bending* cenderung lebih banyak dan memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding fasa *ferrite* yang memiliki

ukuran lebih kecil dan sedikit. Sifat *pearlite* adalah lebih keras dan lebih kuat dari *ferrite* tetapi kurang ulet dan tidak magnetis [4]. Gambar 10 (b) menunjukkan struktur mikro daerah *base metal hot bending*.



Gambar 10. Struktur Mikro base metal: (a) *cold bending*, (b) *hot bending*.

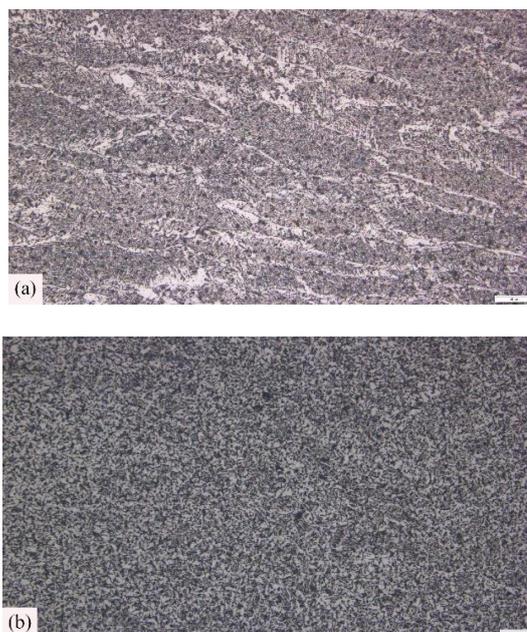
Hasil struktur mikro pada HAZ menunjukkan daerah HAZ *hot bending* memiliki struktur mikro yang lebih halus dibanding dengan struktur mikro pada HAZ *cold bending*. Selaras dengan hasil pengujian kekerasan, daerah HAZ *hot bending* memiliki kekerasan paling tinggi dibanding daerah lain karena memiliki ukuran butir yang halus. Spesimen yang terkena perlakuan *hot bending* lebih didominasi oleh fasa *ferrite* karena proses *hot work* yang dilakukan sebelum pengelasan. Kumpulan *pearlite* sebelumnya akan berubah ketika pemanasan di atas A_1 dan kemudian terurai menjadi butiran *ferrite* dan *pearlite* yang sangat halus selama pendinginan dan kumpulan *ferrite* sebelumnya tidak terpengaruh sehingga akan meningkatkan jumlah kandungan fasa *ferrite* [11]. Gambar 11 menunjukkan hasil uji struktur mikro pada daerah HAZ. Sesuai dengan hasil pengujian *hardness*, nilai kekerasan HAZ pada spesimen *cold bending* lebih rendah dibanding dengan nilai kekerasan HAZ pada spesimen *hot bending*. Hal ini disebabkan spesimen *hot bending* memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dan struktur mikro yang lebih halus, sehingga menyebabkan nilai kekerasan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan adanya proses pengerjaan panas sebelumnya yang dilakukan pada spesimen tersebut [12]



Gambar 11. Struktur Mikro HAZ : (a) *cold bending*, (b) *hot bending*.

Fasa *ferrite* yang terjadi pada *hypoeutectoid* adalah *ferrite proeutectoid* dan *ferrite eutectoid*. *Ferrite proeutectoid* adalah *ferrite* yang terbentuk sebelum terjadinya reaksi *eutectoid* pada temperatur di bawah A_1 , sedangkan *ferrite eutectoid* adalah *ferrite* yang terdapat pada *pearlite* [13]. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan perlakuan *hot bending* memiliki fasa *ferrite* lebih banyak. Hal ini mengakibatkan weld metal pada spesimen *hot bending* akan lebih lunak dikarenakan kandungan lebih didominasi oleh *ferrite*. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Istianto Budhi Rahardja [14] bahwa perlakuan *hot working* akan meningkatkan nilai ketangguhan, tetapi nilai kekerasan akan menurun.

Struktur mikro *weld metal* pada spesimen *cold bending* memiliki struktur mikro *ferrite* yang memipih dan lebih didominasi oleh *pearlite* dengan ukuran yang lebih besar serta lebar. Berbanding terbalik dengan ukuran struktur butir *weld metal hot bending* yang halus dan bercampur merata antara *ferrite* dan *pearlite*. Gambar 12 menunjukkan hasil pengujian struktur mikro *weld metal*.



Gambar 12. Struktur Mikro *weld metal* : (a) *cold bending*, (b) *hot bending*.

Dari hasil pengujian struktur mikro, susunan struktur mikro pada suatu paduan bergantung pada variabel seperti unsur-unsur paduan, konsentrasinya, dan perlakuan panas terhadap paduan tersebut [15].

4. Kesimpulan

Pada perlakuan *bending* BjTP 280 Ø22 mm proses *hot work* atau *cold work* dapat mempengaruhi kekerasan pada material serta struktur mikronya. Nilai kekerasan terkecil pada *weld metal hot bending* dengan nilai 183.29 HV, dan tertinggi 239.97 HV pada HAZ *hot bending*. Hasil pengujian struktur mikro *cold bending* menyebabkan struktur menjadi pipih dan mengikuti arah deformasi *bending*, dan *hot bending* memiliki struktur mikro yang halus dan tak beraturan. Nilai kekerasan akan semakin meningkat ketika pengujian kekerasan diambil pada garis terluar pada setiap bagian sambungan pengelasan

Referensi

- [1] E. Didik, M. Mardjuki, and J. Jumiadi, "Analisa pengaruh deformasi plastis terhadap struktur mikro dan kekerasan pada baja St 42," *Transmisi*, vol. 11, no. 1, pp. 19–26, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmt/article/view/4536/pdf>
- [2] BSN, *Baja tulangan beton*. 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [3] N. Pornputsiri and K. Kanlayasiri, "Effect of bending temperatures on the microstructure and springback of a TRIP steel sheet," *Def. Technol.*, vol. 16, no. 5, pp. 980–987, 2020, doi: 10.1016/j.dt.2019.11.018.
- [4] M. N. Insani, "Analisis Stuktur Micro Material Baja Karbon Rendah (ST37) SNI Akibat Proses Bending," *Fak. Tek. Univ. Negeri Makassar*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2019.
- [5] Y. Wan, W. Jiang, and H. Li, "Cold bending effect on residual stress, microstructure and mechanical properties of Type 316L stainless steel welded joint," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 117, no. June 2019, p. 104825, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104825.
- [6] D. A. Munir, M. Miftachul, M. Thoriq W. Hendri Budi K., *Metallography Praktik DT NDT*. Surabaya, 2019.
- [7] A. G. Putra, "Pengaruh variasi Proses Peregangan terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja St 37 pada Proses Roll Bending.pdf," *Jur. Tek. Mesin Fak. Tek. - Univ. Jenderal Achmad Yani*, 2008.
- [8] Sulaiman, "Pengaruh Proses Pelengkungan Dan Pemanasan Garis Pelat Baja Kapal Aisi E 2512 Terhadap Nilai Kekerasan," Universitas Diponegoro Semarang, 2010.
- [9] S. Sahri, "Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of Steel ASTM A36 with Variations Cooling," p. 95, 2015.
- [10] S. Ir. Wahid, *Pengetahuan Bahan*. Surabaya, 1987.
- [11] S. Kou, *Welding Metallurgy Second Edition*, Second., vol. 2. United State of America, 2003. doi: 10.22486/iwj.v4i3.150243.
- [12] D. J. Purnomo, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, "Analisa Pengaruh Holding Time Tempering terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Baja ST 70," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 1, pp. 49–58, 2019.
- [13] R. Simanjuntak, "Pengaruh Proses Pembentukan Deformasi Plastis Pada Pengelasan SMAW Dengan Menggunakan Metode Cold Working Dan Fairing Terhadap Nilai Impact Dan Hardness," Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2015. [Online]. Available: <http://repository.ppns.ac.id/362/>
- [14] Istianto Budhi Rahardja *et al.*, "Analisis Pengaruh Radius Bending Pada Proses Bending Menggunakan Pelat Spcc-Sd Terhadap Perubahan Struktur Mikro," *J. Tek. Mesin Mech. Xplore*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.36805/jtmmx.v1i1.1279.
- [15] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Characteristics, Application, and Processing of Polymers*. 2018.