

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KARAKTERISTIK XRD PADA MATERIAL STAINLESS STEEL DENGAN KADAR KARBON YANG BERBEDA

Vuri Ayu Setyowati¹ dan Eriek Wahyu Restu Widodo²

Jurusan Teknik Mesin – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}

e-mail: vuri@itats.ac.id

ABSTRACT

Either AISI 304 or 304 L are the most common type of stainless steel that usually used as defence material and nuclear power industries due to their resistance to corrosion. This research has investigated the mechanical properties and XRD characterization from both of them. The measurements were taken from the AISI 304 and 304 L stainless steel without any treatment before. The mechanical properties of AISI 304 stainless steel are better than AISI 304L generally, shown by tensile strength of 466.67 MPa to 410.67 MPa and rupture strength of 410.26 MPa to 384 MPa, although the yield strength of AISI 304 is lower than 304L's by 353.85 MPa to 368 MPa. The XRD characterization was used to investigate phases of stainless steel and supported by EDX composition test to investigate carbon % of AISI 304 and 304 L that related to the corrosion resistance of its stainless steel. The AISI 304 L stainless steel had lower carbon % than AISI 304 stainless steel, that means AISI 304 L stainless steel is more resistance to corrosion than AISI 304 stainless steel.

Key words: *stainless steel, AISI 304, AISI 304 L, mechanical properties, corrosion resistance*

ABSTRAK

AISI 304 dan AISI 304 L merupakan jenis *stainless steel* yang paling umum yang biasanya digunakan sebagai material pertahanan dan industri tenaga nuklir karena sifat ketahanan korosinya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dan karakteristi XRD dari kedua *stainless steel* tersebut. Pengukuran dilakukan pada *stainless steel* AISI 304 dan 304 L tanpa perlakuan sebelumnya. Sifat-sifat mekanik *stainless steel* 304 lebih baik dibanding AISI 304 L secara umum, ditunjukkan oleh kekuatan tarik 466.67 MPa dibandingkan dengan 410.67 MP dan kekuatan patah pada 410.26 MPa dengan 384 MPa, walaupun kekuatan luluh pada AISI 304 lebih rendah daripada AISI 304 L dengan 353.85 MPa dibanding 368 MPa. Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada SS dan didukung dengan penjujian komposisi EDX untuk mengetahui persen karbon pada AISI 304 dan AISI 304 L yang berhubungan dengan ketahanan korosi pada *stainless steel* itu sendiri. *Stainless steel* AISI 304 L mempunyai persen karbon yang lebih rendah daripada *stainless steel* AISI 304, ini berarti bahwa *stainless steel* AISI 304 L lebih tahan korosi dibanding dengan *stainless steel* AISI 304.

Kata kunci: *stainless steel, AISI 304, AISI 304 L, sifat mekanik, ketahanan korosi*

PENDAHULUAN

Stainless Steel (SS) pada umumnya banyak digunakan pada dunia industri seperti industri makanan, pupuk, dan industri tenaga listrik. Penggunaan SS yang luas dikarenakan SS memiliki jangka waktu umur pemakaian yang lama dan ketahanan terhadap korosi yang bagus [1]. Terdapat beberapa macam SS berdasarkan sifat masing-masing tipe. Austenitic SS merupakan jenis SS yang paling umum digunakan karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang paling bagus dan ketahanan terhadap korosi.

SS 304 dan SS 304L adalah austenitik SS yang sangat umum digunakan. SS 304L digunakan sebagai material pertahanan dan bidang nuklir karena ketahanan korosi pada lingkungan air laut yang sangat bagus. Sifat seperti itu dikarenakan memiliki kandungan *molybdenum* untuk mencegah korosi karena unsur klorida. Selain itu kandungan karbon yang rendah dapat meningkatkan ketahanan pada korosi batas butir (*intergranular corrosion*) [2]. Rendahnya kadar karbon SS 304L sebesar 0,03 wt% menyebabkan sedikit presipitasi karbida yang terbentuk. Hal tersebut membuat SS 304 L cocok untuk pengelasan dan digunakan sebagai aplikasi pembangkit tenaga (*power plant*) [3]. Komposisi kimia paduan SS 304 dan SS 304 L sama kecuali kadar karbonnya. SS 304 memiliki

kadar karbon lebih tinggi yaitu 0,8% sehingga mengandung karbida yang tinggi. SS 304 juga sebagai reaktor *pressure vessel* yang merupakan bagian dari *power plant* [4].

TINJAUAN PUSTAKA

Stainless Steel (SS) adalah baja paduan dengan kandungan kromium minimal 10,5% dengan atau tanpa elemen lain untuk menghasilkan tipe *austenitic*, *ferritic*, *duplex (ferritic-austenitic)*, *martensitic*. Penamaan SS berdasarkan AISI menggunakan 3 digit angka untuk membedakan jenis SS [5]. Adapun klasifikasi jenis SS dapat digolongkan menjadi empat macam.

Tipe pertama adalah *Austenitic Stainless Steels* (2xx – 3xx), umumnya terdiri dari paduan 16 – 26% Cr, 0.75 – 19.0% Mn, 1 – 40% Ni, 0.03 – 0.35% C, dan kandungan N sebagai penstabil *austenite* pada temperatur ruang dan kenaikan temperature tertentu. Pada seri 2xx (Cr-Mn-Ni) baja mengandung N, 5.5–15.5% Mn, dan mencapai 6% Ni. Sedangkan pada seri 3xx (Cr-Ni) mengandung kadar Ni yang cukup banyak dan Mn yang mencapai 2%. Mo, Cu, dan Si yang ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Ti dan Nb untuk menurunkan sensitifitas terhadap intergranular corrosion (korosi pada batas butir) [5]. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada *austenitic Stainless Steels* tidak dapat menaikkan kekerasan akan tetapi dapat dilakukan melalui pengerjaan dingin. Pemanasan hasil pengelasan yang dilakukan pada temperatur 427 – 871 °C menyebabkan kromium membentuk endapan batas butir sehingga berpengaruh pada ketahanan korosi [6].

Tipe kedua, *Ferritic Stainless Steel* (4xx), terdiri dari 10,5-30% Cr dengan penambahan Mn, Si, selain itu juga sering kali ditambahkan Mo, Ni, Al, Ti, atau Nb untuk sifat khusus yang diinginkan. SS tipe ini tidak dapat dinaikkan kekerasannya dengan perlakuan panas. Temperatur transisi dari getas ke ulet lebih tinggi dibandingkan dengan temperature kamar. Kekuatan luluh pada *Ferrite Stainless Steels* sekitar 275 – 415 MPa (40-60 ksi). SS tipe ini sering digunakan karena memiliki sifat ulet, ketahanan korosi pada medium cairan, oksidasi pada temperatur tinggi, ketahanan pada korosi sumuran dan cracking corrosion, dan harganya lebih murah dibandingkan *austenitic Stainless Steels*. Berdasarkan standar, *ferrite Stainless Steels* memiliki tipe 405, 409, 429, 430, 430F, 430F-Se, 434, 436, 439, 444, dan 446 [5].

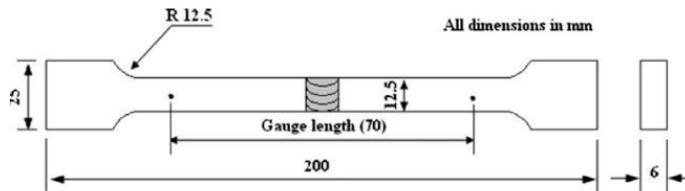
Tipe ketiga, *Martensitic Stainless Steel* (4xx), SS tipe ini memiliki kandungan 11.5–18% Cr, 0.08–0.20% C, dan elemen paduan lainnya yang kurang dari 2-3%. SS ini dapat dikeraskan dan di-*tempering* hingga mendapatkan kekuatan luluh sebesar 550-1900 MPa [5]. Seri martensit juga memungkinkan untuk dilakukan proses pengelasan setelah melalui proses anealling, tempering, atau perlakuan peningkatan kekerasan (*hardened*). Pengelasan akan menghasilkan “martensit” pada hasil lasan. Pengontrolan temperatur pada saat pengelasan adalah cara yang efektif untuk menghindari retak pada logam [6].

Tipe terakhir adalah *Precipitation Hardened Stainless Steel*, tipe ini merupakan paduan yang memiliki kekuatan tinggi dengan sifat keuletan dan ketahanan korosi yang bagus yang diperoleh dari proses perlakuan panas untuk mendapatkan struktur martensit dan perlakuan pada temperature yang rendah. Adapun elemen paduannya adalah Mo, Cu, Al, Ti, Nb, dan N. Baja tahan karat ini diklasifikasikan berdasarkan tipe *martensitic*, tipe *semi-austenitic*, dan tipe *austenitic* [5].

Sifat mekanik bergantung dengan komposisi SS, SS memiliki sifat tahan terhadap korosi karena kandungan kromium dapat membentuk lapisan pasifasi yang melindungi. Menurut Bringas, 2002 [7], komposisi plat SS 304 terdiri dari 0.08% C, 18 – 20% Cr, 8 – 10.5% Ni, 2% Mn, 0.75% Si, dan 0.045% dengan kekuatan luluh 205 MPa, kekuatan tarik 515 MPa, dan elongasi 40%, sedangkan untuk komposisi SS 304L terdiri dari 0.03% C, 18 – 20% Cr, 8 – 10.5% Ni, 2% Mn, 0.75% Si, dan 0.045% dengan kekuatan luluh dan kekuatan tarik masing-masing sebesar 170 MPa dan 485 MPa serta elongasi sebesar 40%.

METODE

Plat SS 304 dan 304L tanpa diberi perlakuan apapun terlebih dahulu dipotong sesuai dengan bentuk standar pengujian tarik untuk dilakukan pengujian tarik, sehingga dapat diperoleh nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekuatan patahnya. Bentuk standar pengujian tarik sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM E08 seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan kadar karbon terhadap kekuatan tarik dari material SS 304 dan 304L.



Gambar 1. Dimensi spesimen uji tarik (Kumar dan Shahi, 2011)

Selanjutnya dilakukan karakterisasi XRD, bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa struktur material dan mengetahui fasa yang terbentuk pada material tersebut. Karakterisasi XRD ini diperoleh data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari suatu material. Perbedaan kadar karbon pada material SS 304 dan 304 L dapat diamati dengan karakterisasi XRD ini melalui perbedaan intensitas fasa-fasa yang terbentuk pada grafik hasil XRD.

Data hasil karakterisasi XRD didukung dengan data hasil pengujian komposisi EDX, dimana pada pengujian komposisi ini akan diperoleh persentase kadar setiap unsur penyusun material SS 304 dan 304 L. Sehingga dari data-data pengujian ini dapat dibandingkan berapa persen kadar unsur-unsur penyusunnya secara detail dan akurat.

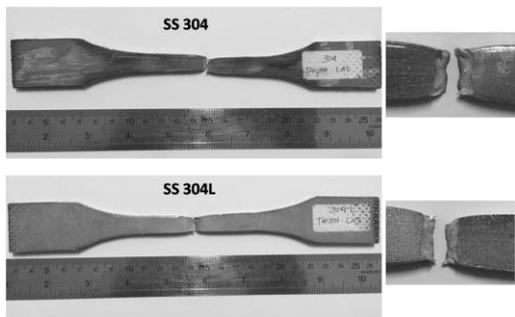
Selanjutnya adalah menganalisis data-data yang diperoleh dari pengujian kekuatan tarik pada material SS 304 dan 304 L yang didukung dengan data-data karakterisasi XRD dan pengujian komposisi EDX. Sehingga diperoleh bagaimana pengaruh kadar karbon pada material SS 304 dan 304 L terhadap kekuatan mekanik material tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

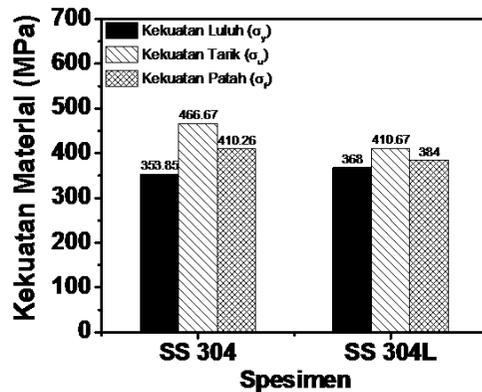
Pengaruh Kadar Karbon terhadap Sifat Mekanik

Sifat mekanik material SS 304 dan 304 L dalam penelitian ini diamati dengan menggunakan pengujian tarik. Prinsip pengujian tarik ialah pemberian beban pada material yang diuji hingga material tersebut patah. Sampel uji tarik dibentuk sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM E08. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik diperoleh data-data berupa kekuatan luluh, kekuatan tarik, dan kekuatan patah dari masing-masing sampel SS 304 dan 304 L. Hasil pengujian tarik untuk material SS 304 dan 304 L dapat dilihat pada Gambar 3.

Nilai kekuatan tarik untuk material SS 304 yang diperoleh sebesar 466.67 MPa, lebih tinggi dibanding dengan kekuatan tarik untuk material SS 304 L sebesar 410.67 MPa. Hal ini dikarenakan perbedaan kadar karbon pada kedua jenis SS tersebut, dimana semakin besar kadar karbon maka sifat mekanik pada SS akan semakin tinggi. Tetapi, untuk ketahanan korosi SS 304 lebih rendah dibandingkan dengan SS 304 L, hal ini dikarenakan semakin kecil kadar karbon dalam SS, maka semakin meminimalkan pengendapan karbida yang terjadi akibat proses pengelasan pada SS. Kadar karbon yang terkandung dalam SS 304 dan 304 L dapat dilihat pada Gambar 5, grafik hasil uji komposisi EDX, dan untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk dalam material SS 304 dan 304 L dapat dilihat pada Gambar 4, karakterisasi XRD. Sedangkan untuk kekuatan luluh pada SS 304 diperoleh sebesar 353.85 MPa dan untuk SS 304 L diperoleh sebesar 368 MPa. Perbandingan nilai kekuatan tarik, kekuatan patah, dan kekuatan luluh dari masing-masing material SS 304 dan SS 304 L dapat dilihat pada Tabel 1 dan diagram batang pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil uji tarik pada spesimen SS 304 dan 304 L



Gambar 3. Kekuatan tarik, patah, dan luluh material SS 304 dan 304 L

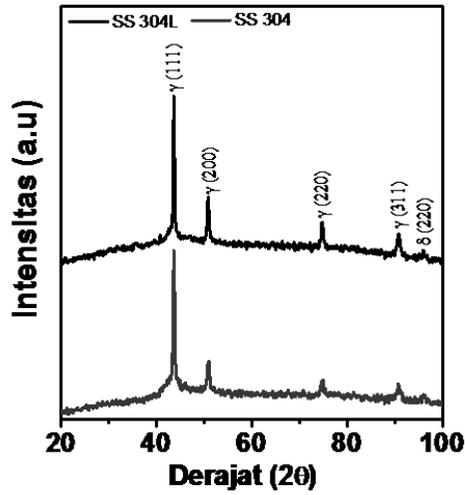
Tabel 1. Perbandingan nilai kekuatan tarik, kekuatan patah, dan kekuatan luluh pada material SS 304 dan 304 L

Mateial	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekutan Patah (MPa)	Kekuatan Luluh (MPa)
SS 304	466.67	410.26	353.85
SS 304 L	410.67	384	368

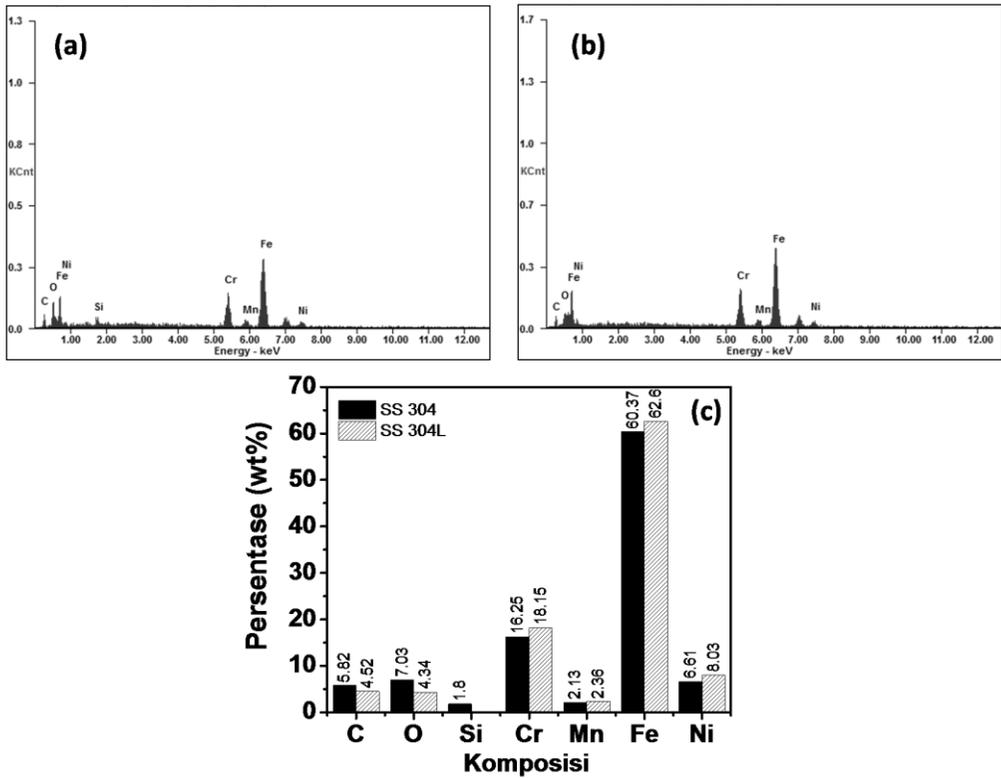
Pengaruh Kadar Karbon terhadap Karakterisasi Material

Karakterisasi XRD dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan fasa yang terbentuk pada material SS 304 dan 304 L yaitu kadar karbon dan kromium dalam kedua material SS tersebut. Gambar 4 merupakan hasil karakterisasi XRD untuk material SS 304 dan 304 L, dimana terlihat perbedaan antara SS 304 dan 304 L terdapat pada fasa penyusunnya. SS 304 hanya terbentuk fasa austenit (γ), sedangkan pada material SS 304 L selain terbentuk fasa austenit (γ) juga terbentuk fase delta (δ) walaupun intensitas fasa delta (δ) yang terbentuk sangat kecil [8].

Pengujian komposisi EDX digunakan untuk mendukung pengujian karakterisasi XRD, dimana pada pengujian komposisi EDX ini diperoleh data persentase unsur-unsur penyusun SS 304 dan 304 L secara lengkap. Unsur karbon pada SS 304 sebesar 5.82% dibanding SS 304 L sebesar 4.52%, sedangkan untuk unsur kromium pada SS 304 sebesar 16.25% dibandingkan 18.15% pada SS 304 L. Perbandingan kadar unsur-unsur penyusun SS 304 dan 304 L dapat dilihat pada Gambar 5 secara lebih detail. Berdasarkan data persentase unsur-unsur penyusun tersebut dapat dibuktikan bahwa kadar karbon yang tersusun pada material SS 304 L lebih kecil daripada SS 304, sehingga diperoleh sifat mekanik untuk material SS 304 lebih baik dibanding SS 304 L. Sebaliknya, untuk sifat tahan korosi pada material SS 304 L lebih baik dibanding SS 304.



Gambar 4. Karakterisasi XRD material SS 304 dan 304 L



Gambar 5. Hasil uji komposisi EDX pada material SS 304 dan 304 L

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kadar karbon penyusun material SS maka semakin rendah pula sifat mekanik SS tersebut. Tetapi berbanding terbalik dengan sifat ketahanan korosinya, semakin rendah kadar karbon penyusun SS, maka semakin tinggi sifat ketahanan korosinya. Hal ini dikarenakan, semakin rendah kadar karbon, semakin sedikit karbon yang akan bereaksi membentuk karbida yang membentuk lapisan korosi apabila material SS itu dilas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Yuan, L. Chen, Y. Zhao, H. Di, and F. Zhu, "Influence of annealing temperature on mechanical properties and microstructures of a high manganese austenitic steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 217, pp. 278-285, 2015/03/01/ 2015.
- [2] R. K. Desu, H. Nitin Krishnamurthy, A. Balu, A. K. Gupta, and S. K. Singh, "Mechanical properties of Austenitic Stainless Steel 304L and 316L at elevated temperatures," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 5, pp. 13-20, 2016/01/01/ 2016.
- [3] H. G. Simms, "Oxidation Behaviour of Austenitic Stainless Steel at High Temperature in Supercritical Plant," *University of Birmingham*, 2011.
- [4] N. Arivazhagan, S. Singh, S. Prakash, and G. M. Reddy, "Investigation on AISI 304 austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 3036-3050, 2011/05/01/ 2011.
- [5] G. E. Totten, "Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies," *CRC Press*, 2006.
- [6] Y. A. B. Supriyanto, "Kajian Pengaruh Tempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pengelasan Stainless Steel," *Jurnal Teknik Vol. 2*, 2012.
- [7] J. E. Bringas, "Comparative World Steel Standart," 2002.
- [8] G. R. Mirshekari, E. Tavakoli, M. Atapour, and B. Sadeghian, "Microstructure and corrosion behavior of multipass gas tungsten arc welded 304L stainless steel," *Materials & Design*, vol. 55, pp. 905-911, 2014/03/01/ 2014.