

Kajian Eksperimental terhadap Sifat Kekuatan Tarik Material pada Poros Baling-Baling Kapal

Suardi^{1,*}, Alamsyah¹, Muhammad Uswah Pawara¹, Wira Setiawan¹,
Andi Najwa Ramadana¹

¹Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan dan Kemaritiman,
Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia, 76127

*Email: suardi@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Poros baling-baling kapal memegang peran krusial dalam sistem propulsi, mengalirkan tenaga dari mesin utama ke baling-baling untuk menciptakan daya dorong. Poros ini menopang beban tarik dan puntir yang dapat menyebabkan kegagalan fatik pada material. Fokus utama dalam penelitian ini yaitu ada pada uji tarik *Stainless Steel* (SS 304), *Stainless Steel* (SS 316), dan *Stainless Steel* (SS 316L) sebagai bahan poros baling-baling kapal, dengan tujuan memastikan kecocokannya sesuai standar Badan Klasifikasi Indonesia (BKI). Spesimen uji dibentuk sesuai ASTM A370 dan dianalisis dengan mesin UTM (*Universal testing machine*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa SS 304 memiliki kekuatan tarik maksimum 800,4 MPa dengan kekuatan luluh 692,4 MPa, SS 316 dengan kekuatan tarik 769,9 MPa dan kekuatan luluh 553 MPa, serta SS 316L dengan kekuatan tarik 706,2 MPa dan kekuatan luluh 567,5 MPa. SS 304 menonjol sebagai pilihan superior berdasarkan nilai kekuatan. Uji kekuatan tarik telah memenuhi standar BKI, menandakan bahwa SS 304 dapat diandalkan sebagai bahan poros baling-baling. Penelitian ini memberikan wawasan kritis terkait performa material dalam lingkungan maritim, memberikan kontribusi penting pada pengembangan teknologi kapal yang aman dan efisien.

Abstract

Experimental Study on the Tensile Strength Properties of Materials for Ship Propeller Shafts. The propeller shaft of a ship plays a crucial role in the propulsion system, transmitting power from the main engine to the propeller to generate thrust. This shaft bears both tensile and torsional loads that can lead to fatigue failure in the material. The primary focus of this research is on the tensile testing of *Stainless Steel* (SS 304), *Stainless Steel* (SS 316), and *Stainless Steel* (SS 316L) as materials for ship propeller shafts, with the goal of ensuring their compatibility with the standards set by the Indonesian Classification Society (BKI). Test specimens were prepared according to ASTM A370 and analyzed using a Universal Testing Machine (UTM). The research results indicate that SS 304 has a maximum tensile strength of 800.4 MPa with a yield strength of 692.4 MPa, SS 316 with a tensile strength of 769.9 MPa and a yield strength of 553 MPa, and SS 316L with a tensile strength of 706.2 MPa and a yield strength of 567.5 MPa. SS 304 stands out as a superior choice based on its strength values. The tensile strength tests have met the BKI standards, signifying that SS 304 can be relied upon as a material for propeller shafts. This research provides critical insights into the performance of materials in the maritime environment, making a significant contribution to the development of safe and efficient ship technology.

Kata Kunci: Poros baling-baling; kekuatan tarik; kegagalan fatik; stainless steel; standar BKI

1. Pendahuluan

Dalam industri konstruksi kapal, pemilihan material merupakan aspek kritis yang memengaruhi keberhasilan desain dan kinerja keseluruhan kapal. Sistem pembangunan kapal melibatkan beberapa elemen utama, di antaranya adalah konstruksi lambung, sistem permesinan, dan unsur lainnya [1]–[3]. Salah satu aspek yang memerlukan perhatian khusus adalah pemilihan material pada poros baling-baling kapal, yang memiliki peran vital dalam

mentransfer tenaga dari mesin utama ke baling-baling guna menciptakan daya dorong yang diperlukan untuk menggerakkan kapal [4]–[6]. Material dalam Konstruksi Lambung umumnya menggunakan material baja sebagai pilihan utama. Material ini dipilih karena kekuatan dan daya tahannya, memberikan fondasi yang kuat untuk integritas struktural kapal [7], [8]. pada sistem penggerak seperti poros baling-baling kapal, material *stainless steel* (SS) menjadi pilihan yang umum digunakan. *Stainless steel*, dengan keunggulan seperti penampilan menarik,

tahan korosi, perawatan rendah, dan kekuatan tinggi, menjadi solusi yang populer untuk mengatasi tantangan lingkungan maritim yang korosif [9].

Keunggulan stainless steel dalam konstruksi kapal telah memicu peningkatan penggunaannya di seluruh dunia. Tampilannya yang menarik, ketahanan terhadap korosi, perawatan rendah, dan kekuatan tinggi menjadi karakteristik kunci yang mendukung kepopulerannya [10]. Namun, pembuatan stainless steel bukan tanpa tantangan. Proses pembuatan yang memerlukan teknologi tinggi dan teknik yang tepat sering kali menjadi tugas yang sulit, bahkan dapat menyebabkan pemborosan bahan dan peningkatan biaya produksi [11].

Di galangan kapal Balikpapan, penggunaan stainless steel pada poros baling-baling kapal menjadi praktik umum. Meskipun ada dua jenis SS yang sering digunakan, yaitu SS 304 dan SS 316, kecenderungan lebih banyak menggunakan SS 304 karena pertimbangan ekonomi. Namun, keputusan ini tidak datang tanpa tantangan. Kesulitan dalam pembuatan baja tahan karat tanpa menggunakan teknologi tinggi dan teknik yang tepat dapat menjadi hambatan serius dalam industri ini. Penggunaan *stainless steel* yang kurang efisien dapat menyebabkan pemborosan bahan dan peningkatan biaya produksi, sehingga menimbulkan pertimbangan serius bagi para insinyur dan pemilik galangan kapal. Dalam menghadapi tantangan kegagalan fatik pada poros baling-baling kapal, pengujian material menjadi langkah kritis dalam menilai kelayakan penggunaan *stainless steel* pada konstruksi ini [12]. Beban-beban seperti beban puntir, tekukan rotasi, tekanan, dan tarikan merupakan bahaya besar, karena bersifat repetitif dan pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan material [13]. Untuk mengidentifikasi dampak beban-beban ini pada kekuatan tarik material poros, diperlukan pengujian tarik yang cermat.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk menguji kekuatan tarik material poros baling-baling kapal, khususnya pada material SS 304, SS 316, dan SS 316L. Penelitian sebelumnya memberikan hasil tegangan tarik material SS 304 sebesar 495,16 MPa. Namun, penelitian ini akan memperluas cakupan dengan mencakup material SS 316 dan SS 316L, memberikan wawasan lebih luas dan mendalam terkait kekuatan material dalam lingkungan yang memerlukan ketahanan terhadap beban yang berulang. Pengujian dilakukan dengan cara membuat spesimen berbentuk round bar dari ketiga material tersebut. Teknik uji tarik akan diterapkan untuk mengevaluasi kekuatan tarik maksimum yang dapat dicapai oleh material dan menentukan parameter penting dalam menilai performa material ini dalam kondisi beban eksternal. Dengan memahami bagaimana material SS 304, SS 316, dan SS 316L merespon beban tarik [14], penelitian ini memberikan

pandangan yang lebih holistik terhadap kekuatan material. Hasil penelitian ini menjadi landasan bagi para insinyur dan desainer kapal dalam membuat keputusan yang informasional dalam pemilihan material poros baling-baling kapal. Keputusan ini tidak hanya berdampak pada kinerja kapal, tetapi juga pada efisiensi biaya produksi dan pemeliharaan.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dimana ketiga sample material poros akan diujikan di laboratorium terpadu kampus ITK Kalimantan. Adapun proses pengujian diawali dengan membuat spesimen uji sesuai dengan standar ASTM A370.

2.1. Prosedur Pembuatan Material

Proses pembuatan spesimen uji tarik antara lain;

1. Pemilihan material pada penelitian ini merupakan material SS jenis 304, 316 dan 316L. Pembentukan pola dari material ini disesuaikan dengan ukuran yang telah ditentukan sesuai dengan standar ASTM A370 / ASME SA-370 dengan menggunakan aplikasi AutoCad.
2. Proses pengukuran pada material menggunakan alat ukur sigmat/jangka sorong lalu ditandai dengan spidol sehingga sesuai dengan pola spesimen yang telah dibuat
3. Setelah pengukuran pada material selesai lalu dilakukan pembentukan spesimen dengan mesin bubut dengan cara memutar material kemudian dikenakan dengan alat pahat yang bergerak secara sejajar dengan sumbu putar material.



Gambar 1. Hasil pembentukan spesimen ASTM A370

2.2. Tahapan Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dari suatu material yang dibuat. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine*. Beberapa langkah yang dilakukan pada proses uji tarik yaitu :

1. Spesimen yang akan di uji tarik disiapkan lalu diukur menggunakan jangka sorong, pengukuran dilakukan pada bagian gauge length, Panjang total dan diameter pada material yang akan diuji
2. Selanjutnya menginput keseluruhan data yang ada pada spesimen serta beri nama/judul pada setiap spesimen yang akan dilakukan uji tarik.
3. Dilanjutkan pemasangan spesimen pada kedua ragam penjepit dari alat uji tarik tersebut dan mengencangkan kedua bagian ragam tersebut agar saat berlangsungnya proses penarikan spesimen tidak bergerak dan bergeser.
4. Pengujian dimulai dengan menekan tombol start. Kemudian spesimen diberikan beban tarik sampai putus, pada proses ini akan diperoleh nilai kekuatannya yang nilainya akan secara otomatis muncul dilayar komputer pada alat uji tarik tersebut.
5. Selanjutnya hal yang sama akan dilakukan pada semua spesimen pengujian uji tarik dengan mengikuti langkah-langkah diatas. Spesimen yang telah diuji dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Spesimen terputus disebabkan oleh beban maksimal

2.3. Uji Tarik

Dalam uji tarik, gaya tarik aksial yang terus meningkat diterapkan pada spesimen sambil secara bersamaan mengamati perpanjangan benda hingga putus. Elastisitas maksimum dari suatu bahan disebut "kekuatan tarik tertinggi". Perlengkapan uji yang digunakan dalam uji tarik ini diharuskan memiliki daya tahan yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Kekuatan tarik penting untuk sifat mekanik dalam desain struktural dan proses manufaktur. Kekuatan tarik suatu bahan diperoleh dari hasil uji tarik standar ASTM A370 (SA-370) dengan dimensi ukuran 200 mm x 8.7 mm. Kekuatan tarik mempunyai rumus sebagai berikut:

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A_0} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (1)$$

Dimana σ_u adalah Tegangan tarik maksimum (MPa), P_{max} adalah beban maksimum (N), dan A_0 adalah luas mula dari penampang batang uji spesimen (mm^2).

Kekuatan luluh adalah tegangan yang diperlukan untuk menginduksi deformasi plastis kecil tertentu. Titik luluh dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (2)$$

Dimana σ_y adalah Tegangan luluh (%), A_0 adalah luas mula dari penampang batang uji spesimen (mm^2) dan A_1 adalah luas akhir dari penampang batang uji spesimen (mm^2).

Untuk nilai regangan dari sampel material dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{A_0 - A_1}{A_0} (100\%) \quad (3)$$

Dimana ε adalah regangan maksimum (MPa, N/mm^2), P_y adalah beban pada titik luluh (N), dan A_0 adalah luas mula dari penampang batang uji spesimen (mm^2).

Modulus elastisitas (E) adalah ukuran kekakuan material dalam diagram tegangan-regangan. Modulus elastisitas dapat dihitung dari kemiringan garis elastisitas linier. Untuk rumus mencari modulus elastisitas sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

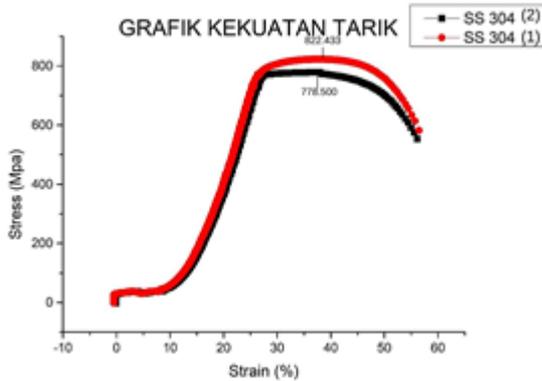
Dimana E adalah modulus elastisitas (MPa), σ adalah tegangan (N/mm^2), ε adalah regangan maksimum (%).

Standar regulasi yang digunakan dalam acuan adalah Peraturan yang digunakan oleh BKI untuk material poros harus memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) antara 480 dan 800 sesuai dengan (Vol.III *Rules for Machinery Installation* 2022 sec.4) [15]. Bahan material yang digunakan untuk proses pembuatan poros baling-baling (*propeller shaft*) adalah *stainless steel* dan *karbon steel*.

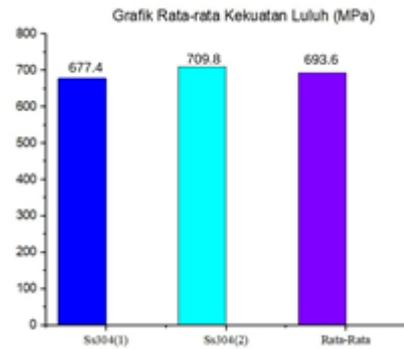
3. Pembahasan

Pengujian kekuatan tarik ini menggunakan total sample uji tarik yaitu 6 spesimen dengan 2 sampel per masing-masing variasi, maka data yang didapatkan dari pengujian berupa soft file yang selanjutnya akan diolah menjadi grafik.

3.1. Hasil Uji Tarik SS 304



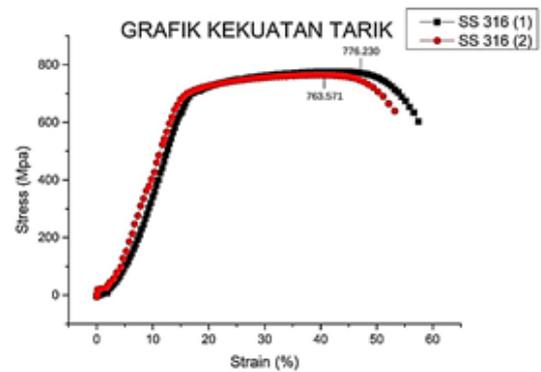
Gambar 3. Grafik kekuatan tarik maksimum SS 304



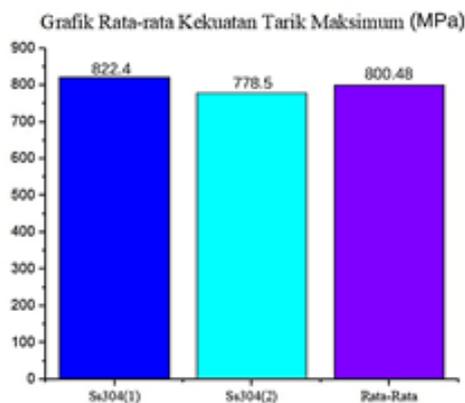
Gambar 6. Grafik rata-rata kekuatan luluh SS 304



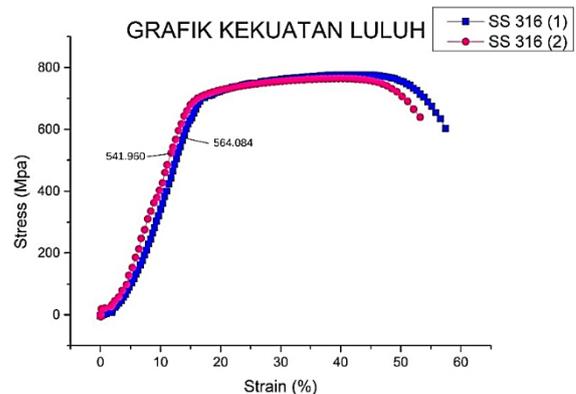
Gambar 4. Grafik kekuatan luluh SS 304



Gambar 7. Grafik kekuatan tarik maksimum SS 316

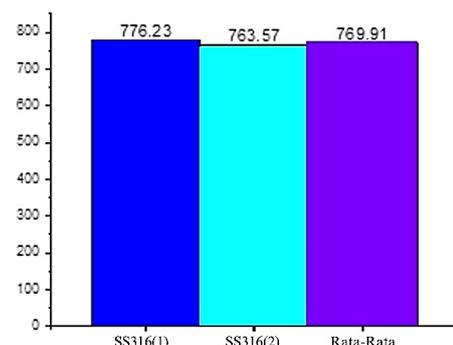


Gambar 5. Grafik rata-rata kekuatan tarik SS 304



Gambar 8. Grafik kekuatan luluh SS 316

Grafik Rata-rata Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)



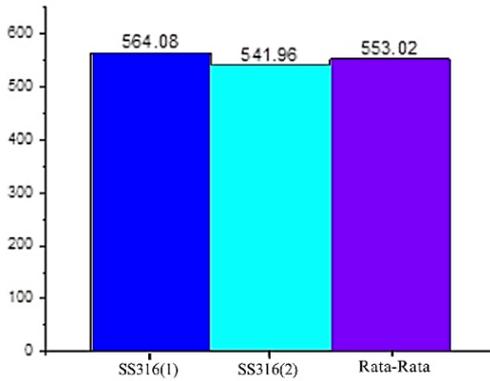
Gambar 9. Grafik rata-rata kekuatan tarik SS 316

Grafik pada Gambar 4 diatas menjelaskan tentang hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 304 (1) yaitu sebesar 822.4 MPa dengan kekuatan tarik maksimum SS 304 (2) yaitu 778.5 MPa, dan pada Gambar 5 menunjukkan dengan kekuatan luluh SS 304 (1) yaitu sebesar 654.1 Mpa dan kekuatan luluh Stainless Steel 304 (2) yaitu 709.8 MPa.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 304 yaitu 800.4 MPa dengan regangan sebesar 56.2 %, kekuatan luluh yaitu 693.6 Mpa dan modulus elastisitas 27.5 MPa.

Pada Gambar 8 dapat dilihat hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 316 (1) yaitu sebesar 776.2 MPa dengan kekuatan tarik maksimum SS 316 (2) yaitu 763.5 MPa, dan pada Gambar 9 menunjukkan dengan kekuatan luluh SS 316 (1) yaitu sebesar 564 Mpa dan kekuatan luluh SS 316 (2) yaitu 541.9 MPa.

Grafik Rata-rata Kekuatan Luluh (MPa)

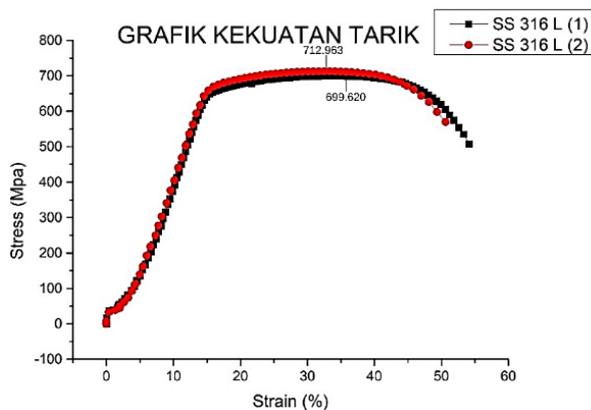


Gambar 10. Grafik rata-rata kekuatan luluh SS 304

Dari Gambar 10 dapat dilihat hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 316 yaitu 769.9 MPa dengan regangan sebesar 55.3 %, kekuatan luluh yaitu 553 MPa dan modulus elastisitas 42.7 MPa.

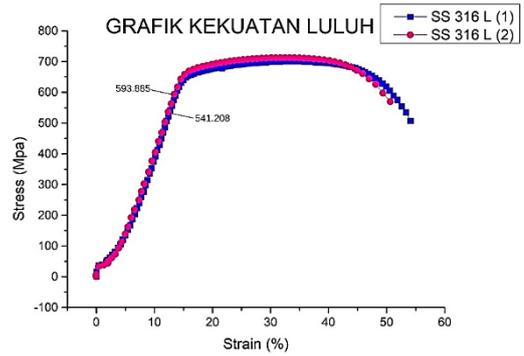
3.3. Hasil Uji Tarik SS 316

Grafik pada Gambar 11 dapat dilihat hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 316L (1) yaitu sebesar 699.6 MPa dengan kekuatan tarik maksimum SS 316L (2) yaitu 712.9 MPa, dan pada Gambar 12 menunjukkan dengan kekuatan luluh SS 316L (1) yaitu sebesar 541.2 Mpa dan kekuatan luluh SS 316L (2) yaitu 593.8 MPa.



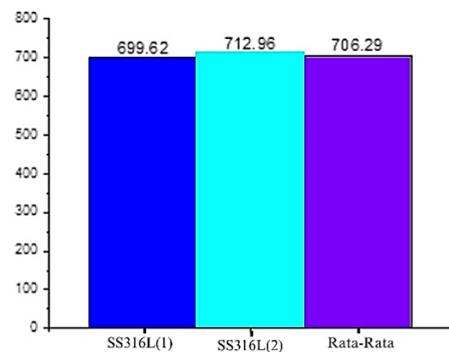
Gambar 11. Grafik kekuatan tarik maksimum SS 316 L

Dari Gambar 12 dapat dilihat hasil kekuatan tarik maksimum pada material SS 316L yaitu 706.2 MPa dengan regangan sebesar 52.3 %, kekuatan luluh yaitu 567.5 MPa dan modulus elastisitas 42.4 MPa.



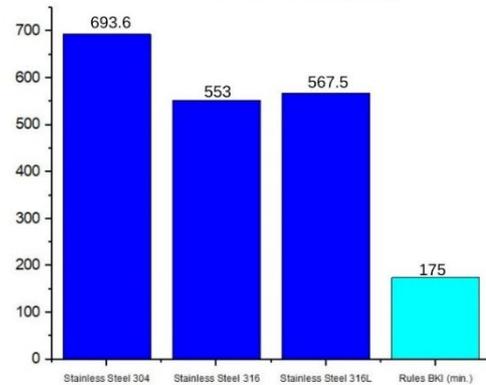
Gambar 12. Grafik kekuatan luluh SS 316 L

Grafik Rata-rata Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)



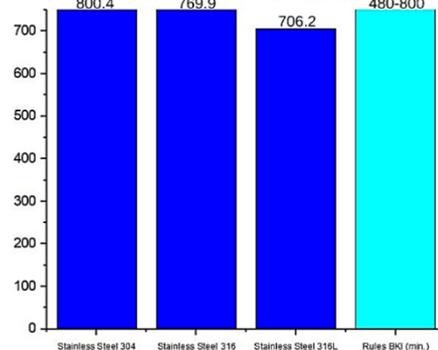
Gambar 13. Grafik Rata-rata Kekuatan tarik SS 316 L

Kekuatan Luluh (MPa)



Gambar 14. Grafik rata-rata kekuatan luluh SS 316 L

Kekuatan Tarik (MPa)



Gambar 15. Perbandingan kekuatan tarik tiap material dengan standar BKI

3.4. Hasil Uji Tarik Terhadap Peraturan BKI

Grafik pada Gambar 15 dapat diketahui hasil pada varian material Stainless Steel pada nilai tertinggi spesimen uji yaitu untuk material SS 304 memiliki kekuatan tarik sebesar 804.4 MPa, sedangkan untuk SS 316 memiliki kekuatan tarik sebesar 769.9 MPa dan SS 316L memiliki kekuatan tarik sebesar 706.2 MPa.



Gambar 16. Perbandingan kekuatan luluh tiap material dengan standar BKI

Dari Gambar 16 dapat diketahui hasil pada varian material SS pada nilai tertinggi spesimen uji yaitu untuk material SS 304 memiliki kekuatan tarik sebesar 693.6 MPa, sedangkan untuk SS 316 memiliki kekuatan tarik sebesar 553 MPa dan SS 316L memiliki kekuatan tarik sebesar 567.5 MPa. Hasil pengujian yang dibandingkan dengan persyaratan BKI menunjukkan bahwa semua sampel yang diuji memenuhi persyaratan BKI minimum.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari uji tarik pada seluruh material Stainless steel yaitu, SS 304 menghasilkan kekuatan tertinggi dengan nilai kuat tarik maksimum sebesar 800.4 MPa dan kekuatan terendah pada material SS yaitu SS 316L dengan nilai kuat tarik terendah sebesar 702.6 Mpa. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan persyaratan BKI. Semua sampel yang diuji terbuat dari bahan yang memenuhi persyaratan kekuatan tarik minimum BKI, yaitu SS 304, SS 316 dan SS 316L. Untuk nilai kekuatan luluh Dari hasil pengujian pada SS 304 yaitu 692.4 MPa, SS 316 yaitu 553 MPa dan SS 316L yaitu 567.5 MPa. Pengujian ini memenuhi standar kelas

BKI dan dapat digunakan sebagai bahan utama untuk poros baling-baling kapal (*propeller shaft*).

Referensi

- [1] Suardi *et al.*, "Design of Motorcycle Passenger Ship (Klotok) Catamaran Type for Kampung Baru Balikpapan-Penajam Paser Utara," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, pp. 430–435, 2023.
- [2] Suardi *et al.*, "Design a Phinisi-Type Tourist Ship to Increase Tourist Interest in Vacationing at Taka Bonerate National Park," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, pp. 161–166, 2023.
- [3] Suardi, "Desain Kapal Penangkap Ikan Multipurpose 70 Gt," *J. INOVTEK POLBENG*, vol. 8, pp. 175–180, 2018.
- [4] J.-Z. Liu, H.-P. Guo, and Z. Zou, "A Study on Interaction Among hull, Diesel Engine and Propellers of a Twin-Screw Ship During Turning Circle Maneuver," *Appl. Ocean Res.*, vol. 135, 2023.
- [5] J. Kruszewski, "Ship's Propulsion Neural Controller Main Engine - Pitch Propeller - Shaft Generator," in *Third International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems*, Kanpur, 2014, pp. 905–912.
- [6] J.-Z. Liu, Z.-J. Zou, H.-P. Guo, and C.-Z. Chen, "A Study on the Interaction Among Hull, Engine and Propeller During Self-Propulsion of a Ship," *Ocean Eng.*, vol. 286, 2023.
- [7] B. Lin and X. Dong, "Ship Hull Inspection: A Survey," *Ocean Eng.*, vol. 289, 2023.
- [8] H. Nubli, Suryanto, A. Fajri, J. M. Sohn, and A. R. Prabowo, "A Review on the Hull Structural Steels for Ships Carrying Liquefied Gas: Materials Performance Subjected to Low Temperatures," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 48, pp. 73–80, 2023.
- [9] J. Firouzi, H. Ghassemi, and M. Shadmani, "Analytical Model for Coupled Torsional-Longitudinal Vibrations of Marine Propeller Shafting System Considering Blade Characteristics," *Appl. Math. Model.*, vol. 94, pp. 737–756, 2021.
- [10] A. P. Pasupulla, H. A. Agisho, S. Seetharaman, and S. Vijayakumar, "Characterization of an Energy Efficient Pulsed Current TIG Welding Process on AISI 316 and 304 Stainless Steels," *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 935–938, 2022.
- [11] Y. Ge, L. Chang, M. Bojinov, T. Saario, and Z. Que, "Mechanistic Understanding of the Localized Corrosion Behavior of Laser Powder Bed Fused 316L Stainless Steel in Pressurized Water Reactor Primary Water," *Scr. Mater.*, vol. 238, 2024.
- [12] A. Sierra-Soraluce *et al.*, "Exploring the Effect of Complex Hierarchic Microstructure of Quenched and Partitioned Martensitic Stainless Steels on Their High Cycle Fatigue Behaviour," *Mater. Des.*, vol. 233, 2023.
- [13] X. Xie, D. Yu, J. Chen, Z. Liang, and J. Wang, "Enhancement of High-Temperature Fatigue Properties of 310S Stainless Steel Welded Joints by Strengthened Grinding Process Inducing Gradient Structure," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 157, 2024.
- [14] Alamsyah, W. Setiawan, A. I. Wulandari, R. J. Ikhwan, and Suardi, "Fatigue Life Assessment of Deck Barge Construction Using Numerical Simulation Methods," *Zo. Laut J. Inov. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 4, pp. 41–49, 2023.
- [15] "Peraturan Lambung Edisi Konsolidasi 2022 Biro Klasifikasi Indonesia," 2022.