

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Propeller*



Gambar 2. 1 Propeller Kapal

(Sumber: <https://id.supersoarmarine.com/product/large-bulk-cargo-ship-propeller>)

Propeller kapal merupakan komponen utama pada sistem propulsi kapal yang berfungsi mengubah energi putar dari mesin menjadi gaya dorong (*thrust*) untuk menggerakkan kapal di air. Propeller bekerja berdasarkan perbedaan tekanan fluida pada daun propeller sehingga menghasilkan dorongan yang menggerakkan kapal ke depan. Menurut (Carlton, 2018), performa propeller sangat memengaruhi efisiensi propulsi, kecepatan kapal, konsumsi bahan bakar, dan kestabilan manuver kapal. Material yang digunakan pada propeller harus mampu menahan beban puntir, getaran, benturan, serta gesekan fluida laut selama operasi. Menurut Davis (2001), material propeller yang umum digunakan adalah paduan berbasis tembaga seperti bronze dan kuningan karena memiliki ketahanan korosi dan sifat yang baik pada lingkungan laut. Selain itu, material aluminium dan paduan aluminium juga mulai banyak digunakan karena memiliki massa jenis rendah sehingga dapat mengurangi berat propeller dan meningkatkan efisiensi putaran mesin.

Penggunaan material pada propeller disesuaikan dengan kebutuhan operasional kapal dan karakteristik lingkungan kerja. Material kuningan banyak digunakan karena mudah dicor, memiliki kekuatan tarik yang baik, dan tahan terhadap korosi air laut. Namun, kuningan memiliki densitas yang relatif tinggi sehingga menyebabkan propeller menjadi lebih berat. Sementara itu, aluminium memiliki karakteristik ringan, tahan korosi, dan memiliki kemampuan cor (*castability*) yang baik. Penelitian (Alam et al., 2022) menunjukkan bahwa penambahan aluminium pada paduan kuningan mampu meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik material akibat terbentuknya ikatan antarbutir yang lebih kuat pada struktur mikro hasil pengecoran. Selain itu, penelitian (Aminuddin et al., 2025) menunjukkan bahwa pemilihan material propeller sangat memengaruhi performa dan efisiensi propeller kapal, sehingga pengembangan material paduan seperti kuningan–aluminium menjadi salah satu alternatif untuk menghasilkan propeller yang lebih ringan, kuat, dan ekonomis.

2.1.1 Perhitungan Propeller

Perencanaan propeller kapal dilakukan untuk memperoleh desain baling-baling yang mampu menghasilkan efisiensi propulsi optimal sesuai kebutuhan operasional kapal. Dalam proses perancangannya, beberapa parameter utama perlu diperhatikan, yaitu daya mesin, kecepatan kapal, tahanan kapal (resistance), diameter propeller, jumlah daun propeller, pitch, serta putaran propeller (RPM). Kesalahan dalam menentukan parameter tersebut dapat menyebabkan propeller tidak bekerja secara optimal sehingga performa kapal menurun.

Secara umum, tahapan perencanaan propeller dimulai dengan menentukan kebutuhan daya kapal berdasarkan hambatan total kapal (total resistance). Setelah itu dilakukan penentuan diameter propeller, jumlah daun (blade), rasio pitch terhadap diameter (P/D ratio), dan bentuk geometri daun propeller yang disesuaikan dengan karakteristik kapal serta pengecekan kavitasi propeller agar propeller yang akan digunakan tidak mengalami kavitasi sehingga terbebas dari kerusakan yang ditimbulkan oleh kavitasi. Pada kapal nelayan, pemilihan propeller biasanya mempertimbangkan kebutuhan gaya dorong besar pada kecepatan relatif rendah sehingga menghasilkan efisiensi propulsi yang baik selama operasi penangkapan ikan.

2.1.2 Perhitungan Kekuatan Material

Perhitungan kekuatan material propeller menentukan kemampuan material dalam menahan pembebanan kerja selama kapal beroperasi. Propeller kapal menerima beban berupa gaya dorong (*thrust*) dan momen lentur akibat interaksi dengan fluida air, sehingga menimbulkan tegangan kerja pada bagian daun. Nilai tegangan kerja ini dibandingkan dengan kekuatan material yang diperoleh dari hasil pengujian tarik untuk menentukan kemampuan material dalam menahan beban tanpa mengalami kegagalan. Dalam perhitungan tersebut dibutuhkan data utama kapal sebagai berikut:

2.1.2.1 Perhitungan Tegangan Kerja

Dari nilai thrust dilakukan perhitungan tegangan kerja pada daun propeller pada titik 0,6R. menurut (Carlton, 2018) pada buku Marine Propellers and Propulsion perhitungan tegangan kerja menggunakan persamaan:

$$\sigma_{working} = \frac{M_b}{W} \quad (2.1)$$

Untuk langkah-langkah menghitung nilai tegangan kerja adalah sebagai berikut :

1. Distribusi *thrust* pada daun propeller

Thrust total dibagi pada setiap daun propeller

$$F_b = \frac{T}{Z} \quad (2.2)$$

Keterangan:

F_b = gaya pada satu daun (N)

T = *thrust* total (N)

Z = jumlah blade

2. Momen Lentur Pangkal Daun

Setelah didapatkan nilai thrust atau gaya yang bekerja pada tiap daun propeller, dilakukan perhitungan momen lentur pangkal daun.

$$M_b = F_b \times r \quad (2.3)$$

$$M_b = F_b \times 0,6R$$

Keterangan:

M_b = momen lentur pangkal daun (Nmm)

r = jarak titik resultan gaya hidrodinamis terhadap daun

propeller (mm)

R = jari-jari propeller (mm)

3. Modulus Penampang Aksial

Modulus penampang aksial pada penampang pangkal daun menggunakan pendekatan empiris yang didemonstrasikan oleh (Carlton, 2018) dalam contoh perhitungan desain propeller, yaitu:

$$W = C_n \times c \times t^2 \quad (2.4)$$

Keterangan:

W = modulus penampang aksial (mm^3)

C_n = koefisien modulus penampang aksial pada geometri profil aerofoil

b = lebar pangkal daun (mm)

t = tebal maksimum pangkal daun (mm)

4. Tegangan kerja minimum ($\sigma_{minimum}$)

Setelah didapatkan nilai momen lentur dan modulus penampang, dilakukan perhitungan tegangan kerja.

$$\sigma_{minimum} = \frac{M_b}{W} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\sigma_{minimum}$ = tegangan kerja (N/mm^2) / MPa

M_b = momen lentur pangkal daun (Nmm)

W = modulus penampang (mm^3)

5. Interpretasi

Jika:

$$\sigma_{minimum} < \sigma_{yield}$$

Maka material masih aman secara elastis.

2.1.2.2 Factors of Safety

Menurut (Gere & Goodno, 2011) pada buku Mechanics of Materials yang membahas tentang faktor keamanan menjelaskan bahwa,

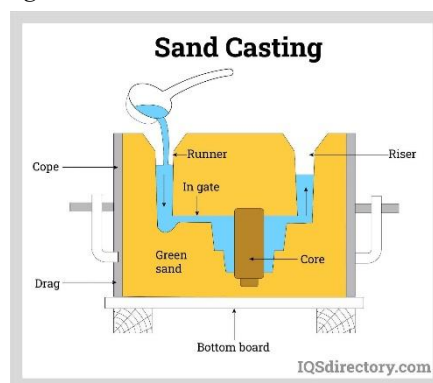
$$Factor\ of\ safety\ n = \frac{Actual\ strength}{Required\ Strength} \quad (2.6)$$

Berdasarkan konsep faktor keamanan tersebut, suatu material harus memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan tegangan kerja yang diterima selama penggunaan agar kegagalan dapat dihindari. Perbandingan antara kekuatan aktual material dengan kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan. Nilai faktor keamanan harus lebih besar dari satu agar struktur dinyatakan aman. Nilai faktor keamanan harus lebih besar dari satu agar struktur dinyatakan aman. Oleh karena itu, dalam penelitian ini hasil uji tarik material digunakan untuk mengevaluasi kelayakan material propeller dengan membandingkannya terhadap nilai tegangan kerja minimum.

2.2 Pengecoran Logam

Pengecoran logam (*metal casting*) adalah proses pembuatan benda dengan cara mencairkan logam, lalu menuangkannya ke dalam cetakan yang bentuknya sudah dibuat sesuai dengan produk yang diinginkan. Setelah dituangkan, logam cair akan mendingin dan mengeras sehingga menjadi benda padat mengikuti bentuk cetakan. Proses ini terdiri dari beberapa tahap, mulai dari pembuatan pola, pembuatan cetakan, peleburan logam, penuangan, hingga pembersihan hasil cor. Dalam proses ini juga terjadi aliran logam cair ke dalam cetakan serta perpindahan panas saat logam mulai membeku, yang sangat memengaruhi kualitas produk akhir (Pane & Sudiyanto, 2021; Sudiyanto & Shiddiq, 2020). Selain itu, kualitas hasil pengecoran sangat dipengaruhi oleh proses pembekuan logam dan pengaturan parameter saat pengecoran. Ketika logam cair mulai membeku, terjadi proses pembentukan dan pertumbuhan kristal yang menentukan struktur dan kekuatan material. Jika prosesnya tidak dikontrol dengan baik, dapat muncul cacat seperti rongga udara, permukaan kasar, atau logam tidak mengisi cetakan dengan sempurna. Hal ini bisa disebabkan oleh suhu penuangan yang tidak sesuai, aliran logam yang kurang baik, atau desain saluran yang tidak tepat (Bhirawa, 2015). Oleh karena itu, pengaturan suhu, kecepatan penuangan, dan desain cetakan sangat penting agar hasil pengecoran memiliki kualitas yang baik dan minim cacat (Campbell, 2015).

2.2.1 Metode *Sand Casting*



Gambar 2. 2 Pengecoran Logam Sand Casting
(Sumber: www.iqsdirectory.com)

Sand casting merupakan salah satu metode pengecoran logam yang menggunakan pasir sebagai bahan utama cetakan. Metode ini termasuk salah satu metode pengecoran tertua dan paling banyak digunakan karena proses pembuatannya sederhana, biaya cetakan relatif murah, serta mampu digunakan untuk berbagai jenis logam. (Gemilang, 2026) *Sand casting* didefinisikan sebagai metode pengecoran serbaguna yang melibatkan pembuatan cetakan dari berbagai jenis pasir, seperti silika dan zirkon, untuk menghasilkan produk logam yang kompleks. Proses ini dapat memanfaatkan berbagai sistem pengikat (*binder*) untuk menjaga integritas cetakan dan meningkatkan produktivitas sekaligus meminimalkan cacat.

Dari sisi keunggulan, *sand casting* memungkinkan produksi massal, dapat memproduksi bentuk yang tipis atau rumit, meminimalisir *surface finishing*, mempertahankan keakuratan produk, serta memiliki *reusability* yaitu kemampuan pasir bekas cetakan untuk didaur ulang. (Bhirawa, 2015) *Sand casting* tetap banyak digunakan baik dalam produksi skala kecil maupun besar karena kesederhanaan prosesnya. Sementara itu, kelemahannya meliputi proses

pengecoran yang relatif panjang, kebutuhan pasir cetak berkualitas tinggi dengan biaya yang cukup mahal, serta keterbatasan ukuran produk karena cetakan pasir rentan pecah (Oguntuyi et al., 2025).

2.2.2 Proses *Sand Casting*

Proses *sand casting* dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis dan terstruktur. Langkah-langkah yang diperlukan dalam proses pengecoran logam menggunakan *sand casting* adalah sebagai berikut:

- a) Pembuatan Pola (*Pattern Making*)
Pola dibuat sesuai bentuk dan ukuran produk yang akan dicetak. Pola berfungsi sebagai model untuk membentuk rongga cetakan pada pasir. Material pola dapat berupa kayu, plastik, atau logam.
- b) Pembuatan Cetakan Pasir
Pasir cetak dicampur dengan bahan pengikat kemudian dipadatkan mengikuti bentuk pola sehingga membentuk rongga cetakan. Pada tahap ini juga dibuat sistem saluran (*gating system*) dan saluran udara.
- c) Pembuatan Inti (*Core Making*)
Inti digunakan apabila produk memiliki rongga atau bentuk bagian dalam tertentu. Inti biasanya dibuat dari pasir khusus yang memiliki kekuatan lebih tinggi.
- d) Peleburan Logam
Material logam dipanaskan menggunakan tungku peleburan hingga mencapai temperatur cair sesuai titik lebur material. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah kuningan dan aluminium.
- e) Penuangan Logam Cair
Logam cair dituangkan ke dalam cetakan melalui sistem saluran dengan temperatur dan kecepatan tertentu agar rongga cetakan terisi sempurna.
- f) Proses Pendinginan dan Pembekuan
Setelah penuangan selesai, logam cair didinginkan hingga membeku mengikuti bentuk rongga cetakan. Proses pendinginan memengaruhi struktur mikro dan sifat material hasil cor.
- g) Pembongkaran Cetakan (*Shake Out*)
Setelah logam membeku sempurna, cetakan pasir dibongkar untuk mengambil hasil coran.
- h) Pembersihan dan Finishing
Sisa pasir yang menempel dibersihkan, kemudian dilakukan pemotongan saluran cor dan proses perapihan permukaan hasil coran.
- i) Pengujian dan Pemeriksaan Produk
Produk hasil pengecoran diperiksa untuk mengetahui adanya cacat cor serta dilakukan pengujian seperti uji tarik dan uji bending.

2.3 Jenis Material

2.3.1 Kuningan

Kuningan (*brass*) merupakan paduan tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang memiliki sifat lebih tinggi dibandingkan aluminium, terutama dalam hal kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus. Secara konseptual, sifat kuningan sangat dipengaruhi oleh komposisi Zn, di mana peningkatan kandungan Zn dapat meningkatkan kekuatan material, namun juga memengaruhi keuletan dan ketahanan korosi. Penelitian (Ernawan et al., 2019) menunjukkan bahwa kombinasi aluminium dan kuningan dalam satu sistem material dapat

menghasilkan perubahan struktur mikro yang berpengaruh langsung terhadap peningkatan kekuatan sambungan maupun sifat material secara keseluruhan. Oleh karena itu, material kuningan menjadi salah satu komponen kombinasi yang dapat menghasilkan material propeller yang lebih optimal, yaitu ringan namun tetap memiliki kekuatan dan ketahanan aus yang baik.

2.3.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang banyak digunakan dalam rekayasa teknik karena memiliki kombinasi sifat yang baik, densitas rendah, serta ketahanan korosi yang tinggi. Secara konseptual, aluminium dan paduannya dikenal memiliki kekuatan yang cukup tinggi dengan massa jenis rendah sehingga menghasilkan rasio kekuatan terhadap berat yang baik, serta memiliki kemampuan pembentukan dan pemesinan yang baik (Kurniawan & Isranuri, 2016). Aluminium diposisikan sebagai variabel material yang memengaruhi sifat mekanis propeller, khususnya kekuatan tarik dan ketahanan terhadap beban kerja.

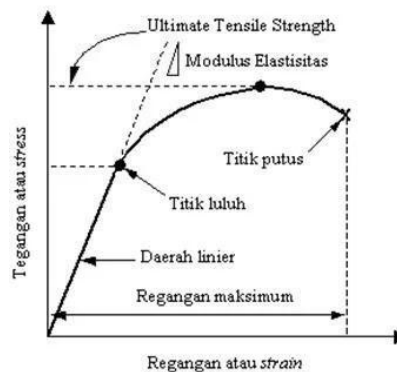
Berdasarkan penelitian nasional, perubahan komposisi paduan dan kondisi proses pengecoran terbukti memengaruhi struktur mikro dan meningkatkan sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan kekerasan pada paduan aluminium (Wisnujati & Sepriansyah, 2018). Namun, secara kritis aluminium memiliki kelemahan pada ketahanan aus dan kekuatan yang relatif lebih rendah, sehingga perlu dipadukan dengan logam lain untuk meningkatkan performanya (*Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 1990).

2.4 Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima beban tarik hingga mengalami deformasi dan patah. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan gaya tarik secara bertahap pada spesimen hingga material mengalami kerusakan. Menurut standar ASTM International ASTM E8/E8M, uji tarik digunakan untuk menentukan sifat material seperti kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*), dan pertambahan panjang (*elongation*). Dalam bidang ilmu material, pengujian tarik merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material logam karena mampu menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan material selama proses pembebanan.

Fungsi utama uji tarik adalah untuk mengevaluasi kekuatan material terhadap pembebanan dan menentukan kelayakan material pada aplikasi teknik. Dalam bidang manufaktur dan material teknik, pengujian tarik banyak digunakan untuk menganalisis karakteristik material logam hasil pengecoran, pengelasan, maupun perlakuan panas. Penelitian (Boangmanalu et al., 2024) menjelaskan bahwa hasil uji tarik dapat digunakan untuk mengetahui kualitas dan kestabilan sifat material berdasarkan nilai tegangan maksimum yang mampu diterima material sebelum mengalami patah.

2.4.1 Parameter Uji Tarik



Gambar 2. 3 Kurva Tegangan-Regangan
(Sumber: (Mulyana & Saputra, 2023))

Hasil pengujian tarik menghasilkan beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik material. Parameter utama pada pengujian tarik meliputi kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*), dan regangan (*elongation*).

1. Kekuatan Tarik Maksimum (*Ultimate Tensile Strength*)

Kekuatan tarik maksimum merupakan nilai tegangan maksimum yang mampu diterima material sebelum mengalami patah. Nilai ini menunjukkan kemampuan material dalam menerima pembebanan tarik terbesar selama pengujian. Menurut ASTM E8/E8M, kekuatan tarik maksimum dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum terhadap luas penampang awal spesimen.

Secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (2.7)$$

dengan:

- σ_{max} = kekuatan tarik maksimum (MPa)
- P_{max} = beban maksimum (N)
- A_0 = luas penampang awal spesimen (mm^2)

2. Tegangan Luluh (*Yield Strength*)

Tegangan luluh merupakan batas tegangan ketika material mulai mengalami deformasi plastis permanen. Pada kondisi ini, material tidak dapat kembali ke bentuk awal setelah beban dilepaskan. Menurut (Callister Jr & Rethwisch, 2020) tegangan luluh digunakan sebagai parameter utama dalam perancangan komponen teknik karena menunjukkan batas aman material terhadap pembebanan kerja.

$$\sigma_{yield} = \frac{P_{yield}}{A_0} \quad (2.8)$$

dengan:

- σ_{yield} = regangan luluh (MPa)
- P_{yield} = tegangan luluh (N)
- A_0 = luas penampang awal spesimen (mm^2)

3. Regangan (*Elongation*)

Regangan merupakan perubahan panjang material akibat pembebanan tarik dibandingkan dengan panjang awal spesimen. Nilai

regangan menunjukkan tingkat keuletan (*ductility*) material sebelum mengalami patah.

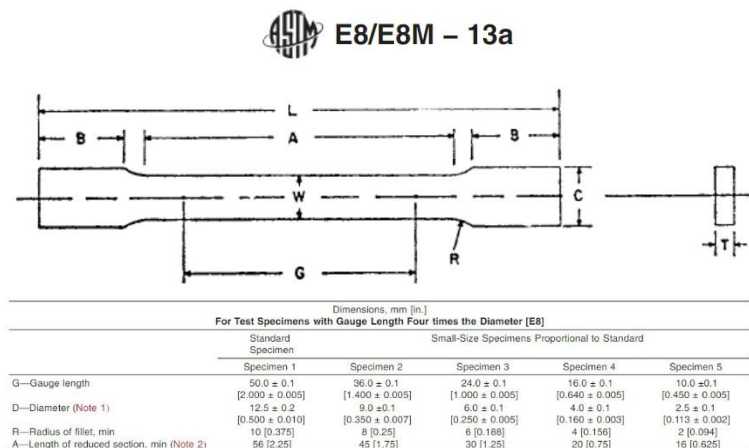
Persamaan regangan dinyatakan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \times 100\% \quad (2.9)$$

dengan:

- ε = Regangan/strain saat load max (%) L_i
- L_0 = Panjang awal benda (mm)
- δ = Displacement saat load max (mm)

2.4.2 Standar ASTM E8/E8M



Gambar 2. 4 Standar Ukuran Spesimen ASTM E8/E8M
(Sumber: ASTM E8/E8M)

Standar pengujian tarik logam yang digunakan pada penelitian ini adalah standar ASTM International ASTM E8/E8M yang merupakan standar internasional untuk pengujian tarik material logam. Standar ini mengatur bentuk spesimen, dimensi spesimen, prosedur pengujian, kecepatan pembebanan, dan metode perhitungan parameter material. Menurut ASTM E8/E8M, tujuan utama standar ini adalah untuk memperoleh data material secara seragam dan akurat sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara ilmiah. Standar ini banyak digunakan pada penelitian material hasil pengecoran karena mampu memberikan hasil pengujian yang konsisten terhadap sifat logam.

2.5 Pengujian Bending

Uji bending (*bending test*) merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima pembebanan lentur hingga mengalami deformasi atau kegagalan. Pada pengujian ini, spesimen diberikan gaya transversal sehingga menghasilkan distribusi tegangan berupa tegangan tarik pada satu sisi dan tegangan tekan pada sisi lainnya, sedangkan bagian tengah penampang mengalami tegangan netral (Callister Jr & Rethwisch, 2020).

Metode 3-point bending merupakan metode pengujian lentur yang paling umum digunakan pada material logam. Dalam metode ini, spesimen diletakkan pada dua titik tumpuan dan diberikan gaya tekan pada satu titik di bagian tengah spesimen. Konfigurasi tersebut menghasilkan momen lentur maksimum pada bagian tengah bentang (*span*) sehingga lokasi tersebut menjadi titik kritis terjadinya deformasi maupun kegagalan material.

2.5.1 Parameter Uji Bending

Berdasarkan ketentuan pelaporan hasil pengujian bending pada ASTM E290, parameter yang dievaluasi dalam penelitian ini meliputi:

1. Hubungan Load-Displacement

Grafik yang menggambarkan hubungan antara besarnya gaya tekan (*load*) yang diberikan dengan perpindahan/defleksi (*displacement*) yang terjadi pada spesimen selama proses pembebanan lentur, sebagai data pendukung yang direkam langsung dari mesin uji (*Universal Testing Machine*) untuk mengamati perilaku material secara umum selama pembebanan.

2. Sudut Lentur (*Angle of Bend*)

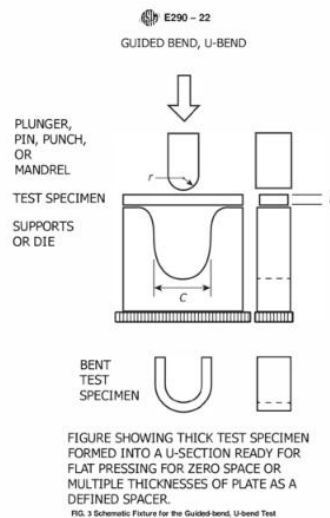
Sudut yang terbentuk antara proyeksi garis permukaan datar spesimen di luar area lengkungan, diukur pada saat spesimen masih berada di bawah gaya pembebanan, sesuai ketentuan pengukuran untuk *guided-bend test*.

3. Kondisi Permukaan (Ada/Tidaknya Retak)

Hasil pemeriksaan visual dengan mata telanjang terhadap permukaan cembung spesimen setelah pengujian, untuk menentukan ada tidaknya retak atau ketidakrataan permukaan (*surface irregularity*) yang terbentuk akibat pembebanan lentur.

Ketiga parameter tersebut saling melengkapi: kurva load-displacement menggambarkan perilaku mekanik material secara deskriptif selama pembebanan, sedangkan sudut lentur dan kondisi retak menjadi indikator utama tingkat keuletan material sesuai kriteria evaluasi dalam ASTM E290. Material dinyatakan memenuhi kriteria keuletan apabila mampu mencapai sudut lentur tertentu tanpa menunjukkan retak yang signifikan pada permukaan tarik.

2.5.2 Standar Uji Bending ASTM E290



Gambar 2. 5 Guided Bend, U-Bend ASTM E-290
(Sumber: ASTM E-290)

Pengujian bending pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM International ASTM E290, yaitu *Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility*. Standar ini digunakan untuk mengevaluasi sifat keuletan (*ductility*) material logam melalui proses pembebanan lentur dengan metode tertentu hingga spesimen mengalami deformasi plastis atau menunjukkan

indikasi retak (*ASTM E290 - Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility*, 2022).

Pada ASTM E290, parameter pengujian yang diperhatikan meliputi dimensi spesimen, metode pembebanan, diameter penekan (*former*), jarak antar tumpuan (*span*), ketebalan spesimen, dan kondisi permukaan spesimen setelah pengujian selesai. Evaluasi hasil pengujian dilakukan berdasarkan kemampuan material menahan deformasi lentur tanpa mengalami keretakan yang signifikan

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan agar mendapatkan dan mengetahui perbandingan atau acuan pada penelitian saat ini. Selain itu agar menghindari kesamaan dengan penelitian sebelumnya. Oleh sebab itu dalam kajian Pustaka ini peneliti mencantumkan hasil dari penelitian terdahulu sebagai berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh (Setiawan, 2021) dengan judul “*Analisa Sifat Mekanik Uji Tarik Logam Paduan Kuningan 60/40 (CuZn), Baja Karbon 0,4% (Oil Quench-Temper) dan Perunggu Aluminium*” bertujuan membandingkan sifat mekanik beberapa jenis logam melalui pengujian tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuningan CuZn 60/40 memiliki kekuatan luluh sebesar 186,48 MPa, kekuatan tarik maksimum 260,12 MPa, sedangkan perunggu aluminium memiliki kekuatan tarik maksimum 488,29 MPa. Penelitian tersebut hanya terbatas pada pengujian masing-masing logam dan belum membandingkan antar komposisi material yang digunakan sebagai propeller kapal nelayan. Selain itu, penelitian tersebut belum melakukan pengujian bending maupun mengevaluasi apakah sifat mekanik material telah memenuhi kekuatan minimum dari propeller kapal.

Penelitian yang dilakukan oleh (Alam et al., 2022) berjudul “*Influence of Aluminum Addition on the Mechanical Properties of Brass/Al Composites Fabricated by Stir Casting*” mengkaji pengaruh penambahan aluminium terhadap sifat mekanik komposit kuningan menggunakan metode *stir casting*. Variasi aluminium yang digunakan yaitu 2%, 4%, dan 6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aluminium meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, serta memperhalus struktur mikro material. Penambahan aluminium 4% menghasilkan sifat mekanik terbaik dengan peningkatan kekuatan tarik sekitar 10,67% dibandingkan dengan kuningan murni. Penelitian tersebut menggunakan metode *stir casting* bukan *sand casting*, selain itu penelitian hanya berfokus pada pengujian tarik, kekerasan, dan mikrostruktur tanpa melakukan pengujian bending maupun evaluasi terhadap kebutuhan kekuatan propeller kapal.

Penelitian oleh (Akhyar, 2023) yang berjudul “*Numerical-Hydrodynamic Analysis, Vickers Hardness, and Tensile Test of Cast-Brass Alloy for Boat Propellers*” mengombinasikan analisis hidrodinamika dengan pengujian sifat mekanik propeller berbahan kuningan hasil pengecoran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material kuningan cor memiliki kekuatan tarik maksimum 352 MPa, tegangan luluh 330 MPa, sedangkan nilai kekerasan pada hasil pengecoran mengalami penurunan dibandingkan dengan material mentah. Penelitian tersebut hanya menggunakan material kuningan tanpa variasi komposisi aluminium. Selain itu penelitian hanya mengevaluasi sifat tarik dan kekerasan tanpa melakukan uji bending maupun mengevaluasi kekuatan material minimum propeller kapal.

Penelitian oleh (Nugroho & Wibowo, 2017) dengan judul “*Optimalisasi Sifat Mekanik Penambahan Aluminium pada Logam Kuningan pada Prototype Baling-Baling*” bertujuan mengetahui pengaruh penambahan aluminium terhadap sifat mekanik kuningan untuk aplikasi baling-baling kapal. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa

penambahan aluminium mampu meningkatkan sifat mekanik kuningan sehingga berpotensi digunakan sebagai material baling-baling kapal. Penelitian masih terbatas pada pengujian tarik dan kekerasan tanpa melakukan pengujian bending untuk propeller kapal. Hasil pengujian belum dievaluasi berdasarkan kebutuhan kekuatan minimum propeller kapal.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan