

## PENGUJIAN KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO PRODUK COR PROPELER KUNINGAN

Hera Setiawan

Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muria Kudus  
Email: [herasetiawan6969@yahoo.com](mailto:herasetiawan6969@yahoo.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro propeler kapal nelayan tiga sudu dengan material kuningan (*brass*) produk dari UKM logam di Juana Pati. Proses peleburan logam kuningan dengan dapur *crucible* menggunakan bahan bakar minyak dan pengecoran dilakukan dengan teknik pasir cetak (*sand casting*). Pengujian *spectrometer* digunakan untuk mengetahui komposisi kimia material kuningan. Untuk melihat struktur mikro digunakan mikroskop optik logam dengan perbesaran 200 kali. Pengujian kekerasan digunakan metode Rockwell dengan *indenter* bola baja diameter 1/16 inchi dengan beban mayor 100 kg (HRB). Mesin *servopulser* digunakan untuk pengujian kekuatan tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material merupakan kuningan atau paduan Cu-Zn tipe  $\alpha+\beta$  dengan kandungan Zn sebesar 46,95% dan titik cair (*melting point*) sekitar 900° C. Kekerasan material adalah 35,4 HRB dengan tegangan tarik maksimum  $\sigma_{max}=342$  MPa dan regangan  $\varepsilon =4,8\%$ . Bentuk dari struktur mikro belum menunjukkan struktur *columnar dendrite*.  
Kata kunci: kuningan, propeler, pasir cetak, struktur mikro, kekerasan, tarik.

### ABSTRACT

*The aim of this work is to study tensile properties, hardness and microstructure of brass (Cu-Zn alloy) three blades ship propeller. The alloy material was melted on a crucible furnace with sand casting methode. Spectrometer test was used to know chemicals compositions of brass. Optical microscope was used to observe the microstructure of alloy. The results of this study show that the material is  $\alpha + \beta$  type of Cu-Zn alloy (brass) with 46,95% Zn and melting point occur at about 900°C. The tensile strength  $\sigma_{max}=342$  MPa and strain  $\varepsilon =4,8\%$  with 35,4 HRB hardnes with non-columnar denrite microstructure.*  
*Keywords: Brass, propeller, sand casting, microstructure, hardness, tensile strength.*

### 1. PENDAHULUAN

Pengecoran logam merupakan salah satu ilmu pengetahuan tertua yang dipelajari oleh umat manusia. Walaupun telah berumur sangat tua, ilmu pengecoran logam terus berkembang dengan pesatnya.[1] Berbagai macam metode pengecoran logam telah ditemukan dan terus disempurnakan, diantaranya adalah *centrifugal casting*, *investment casting*, dan *sand casting* serta masih banyak lagi metode-metode lainnya.[1,3]

Industri pengecoran logam tumbuh seiring dengan perkembangan teknik dan metode pengecoran, berbagai model produk cor membanjiri pasar domestik. Produk cor banyak kita jumpai mulai dari perabotan rumah tangga, komponen otomotif, pompa air sampai propeler kapal seperti yang terlihat pada gambar 1 dibawah.[4]



Gambar 1. Produk propeler untuk kapal nelayan dari UKM – Juwana

Sentra-sentra industri pengecoran menengah-kecil (UKM) banyak tersebar di Propinsi Jawa Tengah seperti Klaten, Pati, Tegal dan Surakarta. Salah satu sentra industri logam khususnya pengecoran adalah Kecamatan Juwana di Kabupaten

Pati Jawa Tengah. Tidak kurang dari 12 pengrajin dalam skala industri menengah kecil (UKM) menekuni pekerjaan pengecoran logam dari bahan aluminium maupun kuningan. Beberapa industri menengah dengan produk yang cukup kompleks yaitu : UKM Citra Widi Mandiri, Timbulindo Gear, Yamusu, Indogas Maju Saputra, Barokah Jaya Abadi dan KTM. Salah satu produk yang dibuat dan telah dipasarkan untuk industri galangan kapal nasional adalah baling-baling kapal/propeler. UKM pengecoran logam ini juga telah menjalin kemitraan dengan PT. National Gobel, Panasonic, Pindad Material, PT. Pura Box dan PT. Galangan Kapal.[4]

Permintaan pasar akan produk logam cor yang prospektif dan luas ini, kurang di imbangi dengan peningkatan kualitas produk. Ironisnya walaupun banyak industri cor di tanah air, produk logam cor dari pengrajin lokal masih kalah bersaing dengan produk impor baik dari sisi kualitas dan harga. Hal ini merupakan tantangan yang harus segera dibenahi, agar industri kita dapat bersaing dipasar domestik maupun luar negeri.

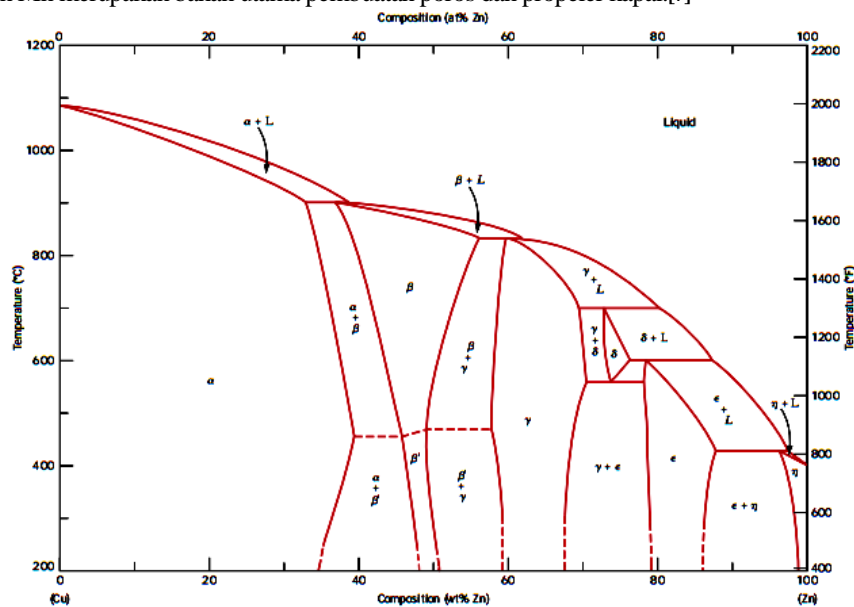
Upaya meningkatkan kualitas produk menjadi prioritas utama dalam upaya meningkatkan daya saing produk di pasar domestik maupun global. Produk yang berkualitas tentu dihasilkan dari pemilihan bahan baku yang baik, penguasaan teknik produksi, serta pengujian kualitas yang melekat.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian struktur mikro (*metalografi*), pengujian kekerasan, dan pengujian kekuatan tarik pada propeler kuningan hasil pengecoran produk UKM dari Juana Pati.

Propeler yang merupakan salah satu komponen sistem penggerak kapal sangat menentukan keberhasilan rancang bangun kapal. Kualitas produk cor propeler sangat ditentukan oleh keunggulan sifat mekanisnya, hal ini masih dikeluhkan oleh UKM dan konsumen pengguna produk propeler. Upaya memperbaiki sifat mekanis tersebut selain dari pemilihan bahan baku (*raw material*) dan pengaturan komposisi paduan, juga sangat ditentukan oleh proses dan teknik pengecoran yang akan mempengaruhi bentuk mikrostruktur logam cor. Sebagaimana diketahui sebelum proses pembekuan akan didahului oleh proses pengintian untuk selanjutnya terbentuk butir (*crystal*) dengan batas butir (*grain boundary*).

Produk cor seperti propeler kapal dan sudu-sudu turbin sangat membutuhkan orientasi butir searah sehingga mampu menahan beban aksial dan memiliki kekuatan mulur yang tinggi serta tahan terhadap beban berulang atau retak fatik.[3,5,6]

Gambar 2 menunjukkan diagram fasa Cu-Zn (kuningan). Dalam sistem ini terdapat fasa yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  dan  $\eta$ , dari semua fasa itu yang penting secara industri adalah dua yaitu  $\alpha$  dan  $\beta$ .  $\alpha$  mempunyai struktur fcc dan  $\beta$  mempunyai struktur bcc. Ada juga fasa  $\beta'$  dengan kisi super. Sebagaimana diketahui dari diagram fasa untuk kuningan 70-30, fasa  $\alpha$  merupakan fasa yang lunak dan mudah dikerjakan, sedangkan kuningan 60-40, adalah fasa  $\alpha+\beta$  yang mempunyai kekuatan tinggi, dan banyak dari paduan ini yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Paduan dengan kira-kira 45%Zn mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dapat dikerjakan, jadi hanya dipergunakan untuk paduan coran.[1,2] Kuningan dengan paduan Sn, Fe dan Mn merupakan bahan utama pembuatan poros dan propeler kapal.[7]



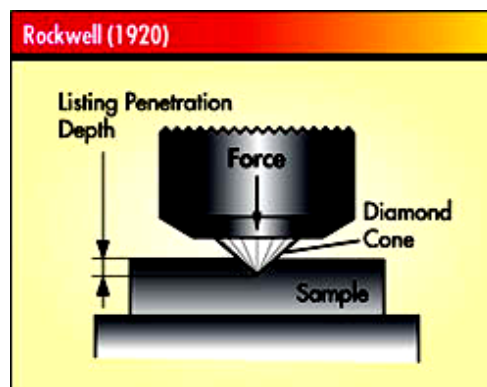
Gambar 2. Diagram fasa biner Cu-Zn [2]

Kekerasan suatu bahan (logam) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metoda atau teknik yang umum dilakukan yaitu metoda Brinell, Rockwell dan Vickers seperti yang terlihat pada gambar 3 dibawah.[1-3]

Uji kekerasan Rockwell sering dipakai untuk material yang keras. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja atau logam yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian bagian yang mendapatkan perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan.[1,2]

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>⎧ Diamond cone</li> <li>⎧ 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres</li> </ul>	 	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>60 kg</li> <li>100 kg</li> <li>150 kg</li> </ul> } Rockwell <ul style="list-style-type: none"> <li>15 kg</li> <li>30 kg</li> <li>45 kg</li> </ul> } Superficial Rockwell	

Gambar 3. Teknik pengujian kekerasan [2]



Gambar 4. Pengujian kekerasan dengan metoda Rockwell [2]

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengukurannya dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (*indenter*) seperti terlihat pada gambar 4 diatas.[1,2]

Prinsip pengujian pada metoda Rockwell adalah dengan menekan *penetrator* ke dalam benda kerja dengan pembebanan, dan kedalaman *indentasi* akan memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman *indentasi* yang didapatkan dari beban mayor dan minor. [1,2]

Uji tarik banyak dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Tujuan dari pengujian tarik adalah untuk mengetahui tegangan tarik maksimum, tegangan luluh dan regangan bahan melalui kurva tegangan-regangan.[1,3]

Metalografi adalah pengetahuan tentang bentuk-bentuk struktur mikro suatu logam. Sifat-sifat mekanik dan fisik suatu logam akan ditentukan oleh gambar bentuk struktur mikronya. Gambar tersebut berasal dari ketidakteraturan butir, ukuran butir, distribusi fase, unsur pengatur, perubahan karena deformasi dan lainnya. [1,2,6] Pengujian secara metalografi dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

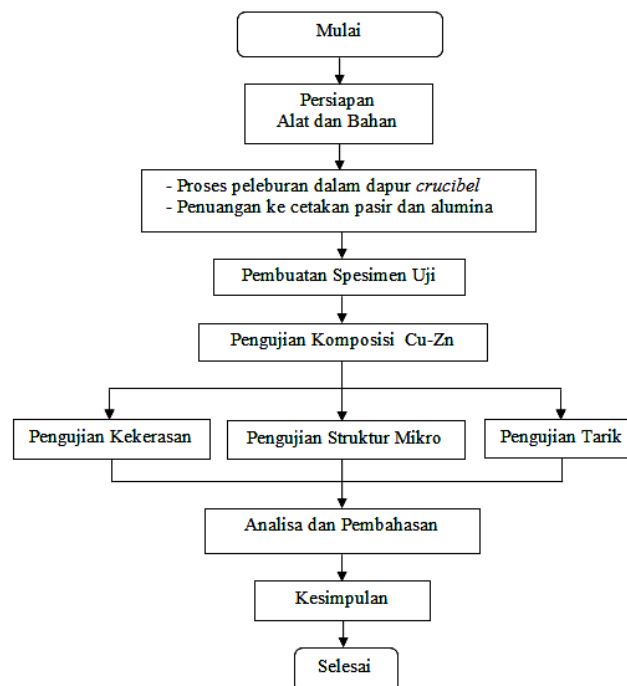
- a. Pengujian struktur makro : perubahan bentuk dan ukuran butir karena deformasi atau karena ketebalan kulit pada pengerasan permukaan dapat dilihat dengan cara : benda kerja cukup dilihat dengan mata setelah melalui proses pemolesan dan etsa.
- b. Pengujian struktur mikro : untuk mengetahui bentuk-bentuk fase dan perbandingan komposisi, diperlukan mikroskop dengan perbesaran tertentu setelah benda kerja dipoles dan dietsa.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro propeler kapal nelayan tiga sudu dengan material kuningan (*brass*).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan Cu-Zn atau kuningan (*brass*). Pengujian komposisi paduan logam kuningan dengan *spektrometer* digunakan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat dalam logam tersebut. Selanjutnya dengan menggunakan acuan diagram fase biner paduan Cu-Zn dapat ditentukan berapa temperatur untuk mencapai titik *liquidus* (*melting point*). Hal ini penting untuk menghindari temperatur peleburan berlebih yang justru merusak cairan logam cor.

Untuk melihat struktur mikro digunakan mikroskop optik logam dengan perbesaran 200 kali. Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell (HRB) dan pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mesin *servopulser*. Gambar 5 dibawah ini menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah kuningan (*brass*) logam paduan tembaga dan seng (Cu-Zn) berupa propeler kapal nelayan tiga sudu hasil pengecoran produk UKM dari Juana Pati. Proses peleburan logam kuningan menggunakan dapur *crucible* menggunakan bahan bakar minyak dan pengecoran dengan pasir cetak (*sand casting*) dengan pola cetakan dari logam dan bingkai cetakan (*frame*) dari kayu seperti yang terlihat terlihat pada gambar 6 sampai dengan gambar 9 dibawah.



Gambar 6. Peleburan logam kuningan dengan dapur *crucible*



Gambar 7. Pengecoran dengan pasir cetak



Gambar 8. Pola cetakan logam





Gambar 9. Produk cor propeller kapal tiga sudu

Pada penelitian ini digunakan uji kekerasan logam metode Rockwell dengan *indenter* bola baja diameter 1/16 inci dengan beban mayor 100 kg (HRB), seperti yang terlihat pada tabel 1 dibawah.

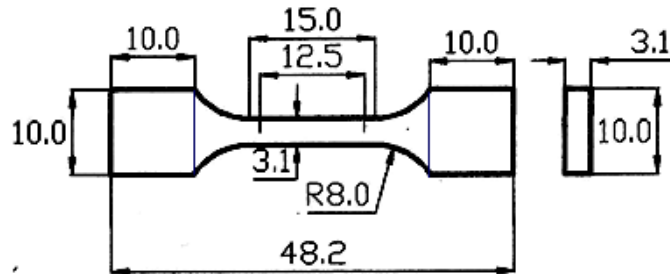
Tabel 1. Skala kekerasan Rockwell [2]

Scale Symbol	Indenter	Major Load (kg)
A	Diamond	60
B	$\frac{1}{16}$ in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	$\frac{1}{8}$ in. ball	100
F	$\frac{1}{16}$ in. ball	60
G	$\frac{1}{8}$ in. ball	150
H	$\frac{1}{16}$ in. ball	60
K	$\frac{1}{8}$ in. ball	150



Gambar 10. Uji kekerasan dan uji tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mesin Servopulser seperti yang terlihat pada gambar 10 diatas dengan beban maksimal yang digunakan 2000 kg. Ukuran spesimen uji tarik disesuaikan dengan standar JIS Z2201 seperti yang terlihat pada gambar 11 dibawah dengan menambah seksi uji panjang  $L_0$  dari 12,5 mm menjadi 25 mm dan tebal benda uji dari 3,1 mm menjadi 3 mm.



Gambar 11. Ukuran spesimen uji tarik JIS Z2201

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

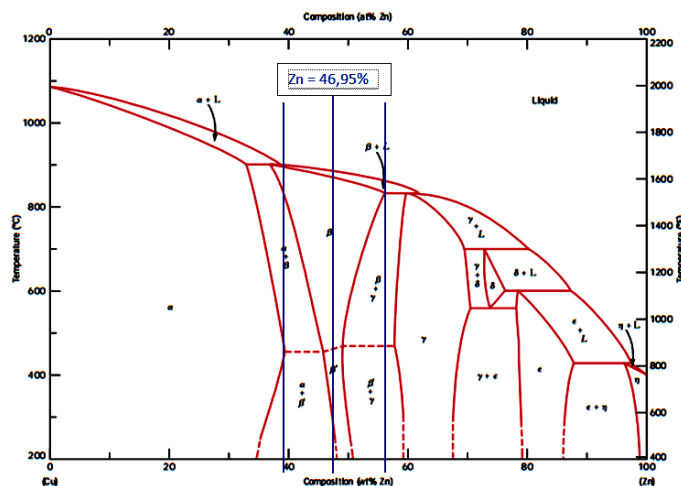
#### 3.1. Komposisi kimia

Tabel 2 menunjukkan komposisi kimia material kuningan propeler kapal hasil pengecoran produk UKM dari Juwana Pati yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2 Komposisi kimia kuningan propeler kapal

No.	Komposisi (%)											
	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Si	Mn	Al	Cd	P	S
1	57,65	0,92	1,94	38,50	0,25	0,66	0,10	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
2	37,71	0,84	2,67	55,40	0,11	0,08	0,11	0,09	2,91	0,40	0,01	0,02
Mean	47,68	0,88	2,31	46,95	0,18	0,37	0,11	0,06	1,46	0,21	0,01	0,01

Dari diagram fase biner Cu-Zn seperti yang terlihat pada gambar 12 dibawah, untuk kuningan dengan kandungan 46,95% Zn termasuk kuningan tipe  $\alpha + \beta$  dengan titik cair (*liquid*) sekitar 900° C. Temperatur ini dapat dijadikan acuan untuk proses peleburan sehingga dapat dihindari temperatur peleburan berlebih yang justru merusak cairan logam cor.[1-3]



Gambar 12. Diagram fase biner Cu-Zn (46,95% Zn) [2]

#### 3.2. Kekerasan

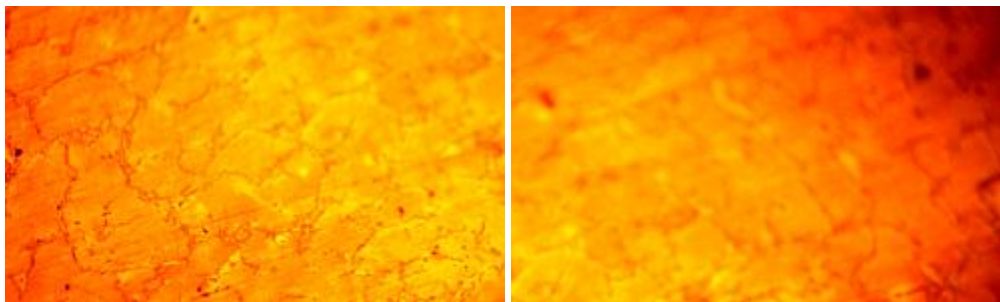
Hasil pengujian kekerasan material propeler kuningan adalah seperti terlihat pada tabel 3 dibawah. Dari tabel terlihat kekerasan rata-rata material kuningan adalah 35,4 HRB dan kekerasan ini dapat dikatakan relatif merata pada setiap titik pengujian dengan nilai standar deviasi yang kecil yaitu 0,65.

Tabel 3. Kekerasan kuningan propeler kapal

No.	HRB	Jumlah	Rata-rata	St.Dev.
1	34,5			
2	36			
3	35,5	177	35,4	0,65192
4	35			
5	36			

### 3.3. Struktur Mikrografi

Hasil pengujian struktur mikrografi material kuningan propeler kapal dengan perbesaran 200 kali adalah seperti terlihat pada gambar 13 dibawah.



Gambar 13. Struktur mikrografi material kuningan propeler

Gambar struktur mikro diatas kelihatan masih ada garis-garis dan goresan, menunjukkan bahwa proses perataan dan pemolesan sampel uji kurang halus. Sedang gambar masih ada yang kabur menunjukkan penyetelan fokus mikroskop logam atau atau pengambilan gambar dengan kamera kurang sempurna. Garis skala yang melekat pada gambar juga belum ada. Untuk penelitian selanjutnya harus disempurnakan sehingga lebih jelas dan memudahkan dalam menganalisa gambar struktur mikro dari material propeler.

Pada struktur mikro terlihat fase  $\beta$  (yang terlihat terang) lebih mendominasi dibanding fase  $\alpha$  (terlihat gelap) sesuai dengan kandungan Zn yang besar termasuk (46,95%), lebih dari 36% yang merupakan batas fase  $\alpha$ . [2]

Bentuk struktur mikro belum menunjukkan struktur *columnar dendrite* dengan orientasi butir searah yang sangat dibutuhkan untuk material propeler dan sudu turbin sehingga mampu menahan beban aksial dan memiliki kekuatan mulur yang tinggi serta tahan terhadap beban berulang atau *fatigue*. [3,5,6]

Dari struktur mikro ini perlu dilakukan penelitian proses pengecoran yang lebih baik sehingga didapatkan struktur mikro *columnar dendrite* yang dibutuhkan untuk material propeler.

### 3.4. Uji Tarik



Gambar 14. Spesimen uji tarik



Spesimen uji tarik adalah seperti yang terlihat pada gambar 14 diatas dengan perhitungan hasil uji tarik seperti yang terlihat pada tabel 4 dibawah.

$$A_o = 3mm \cdot 3mm = 9mm^2 = 9 \cdot 10^{-6} m^2 \quad (1)$$

$$\Delta L = L_1 - L_o = 26,2mm - 25mm = 1,2mm \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{1,2mm}{25mm} = 4,8\% \quad (3)$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_o} = \frac{314,9,8N}{9 \cdot 10^{-6} m^2} = 342MPa \quad (4)$$

Tabel 4. Hasil uji tarik material propeler kuningan

t	W	Lo	L <sub>1</sub>	P <sub>max</sub>	Ao	ΔL	ε	σ <sub>max</sub>
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Kg)	(m <sup>2</sup> )	(mm)	(%)	(MPa)
3	10	25	26,2	314	9.10 <sup>-6</sup>	1,2	4,8	342

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah kuningan dengan kandungan 46,95% Zn termasuk kuningan tipe  $\alpha + \beta$  dengan titik cair (*liquid*) sekitar 900°C.
2. Bentuk struktur mikro belum menunjukkan struktur *columnar dendrite* dengan orientasi butir searah
3. Kekerasan material adalah 35,4 HRB.
4. Tegangan tarik maksimal material  $\sigma_{max} = 342$  MPa dan regangan  $\varepsilon = 4,8\%$ .

#### 5. SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan proses dan teknik pengecoran propeler kapal kuningan sehingga didapatkan material yang mampu menahan beban aksial dan memiliki kekuatan mulur yang tinggi serta tahan terhadap beban berulang atau *fatigue*.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surdia, T dan Saito, S. (1992). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramitha.
- [2] Callister Jr.,W.D. (2001). *Fundamentals of Materials Science and Engineering, An Interactive e.Text*, Seventh Edition, New York, USA : John Wiley & Sons.
- [3] Brown, JR. (2001). *Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook*, Eleventh Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [4] Disperindag Pati. (2008). *Profil Usaha Industri Kecil Menengah Perlogaman*. Pati.
- [5] Slamet, S. (2007). *Pengaruh Konsentrasi Cu pada Proses Pembekuan Searah Paduan Al-Cu*. Thesis, Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.
- [6] Smallman, R.E. and Bishop, R.J. (1999). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering, Science, process, applications*. Sixth Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann