

PROSES PEMBEKUAN SEARAH PADA PRODUK COR PROPELER KUNINGAN

Hera Setiawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus

Kampus Gondang Manis, Po. Box. 53 Bae Kudus

Email: herasetiawan6969@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis produk cor propeler pada kapal nelayan dengan material kuningan (brass) melalui proses pembekuan searah (*unidirectional solidifications*), sehingga dihasilkan struktur *columnar dendrite* pada logam. Pengecoran dilakukan dengan pasir cetak (*sand casting*) dan proses peleburan logam dilakukan pada dapur *crucible* dengan bahan bakar minyak. Teknik pembekuan searah dilakukan dengan pendinginan logam cor dengan *chiller* pendingin yang dialiri air dengan dorongan pompa. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa teknik pembekuan searah dengan *chiller* pendingin dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik material, kekerasan dan kekuatan tarik semakin meningkat dengan semakin dekatnya jarak sampel ke *chiller* dan semakin besar diameter *chiller*.

Kata kunci: pembekuan searah, *chiller*, kuningan, propeler.

1. PENDAHULUAN

Upaya meningkatkan kualitas produk menjadi prioritas utama dalam upaya meningkatkan daya saing produk. Produk yang berkualitas dihasilkan dari pemilihan bahan baku, penguasaan teknik produksi, serta pengujian kualitas yang melekat. Salah satu metode untuk meningkatkan kualitas produk cor adalah memperbaiki teknik produksi melalui proses pembekuan searah (*unidirectional solidification*). Produk cor seperti baling-baling kapal, atau sudu-sudu turbin sangat membutuhkan orientasi butir searah sehingga mampu menahan beban aksial dan memiliki kekuatan mulur yang tinggi (Axmann, 1983).

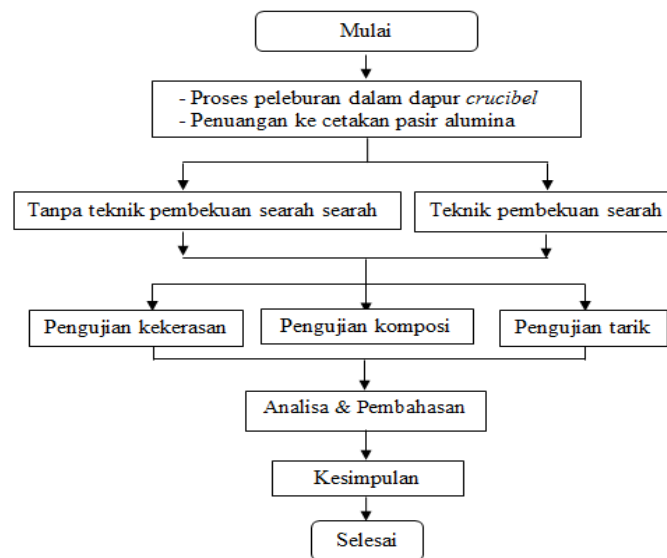
Smith (1967) meneliti pembekuan searah pada material baja. Cole (1967) meneliti aliran fluida selama proses pembekuan ingot Al-Cu. Axmann (1983) meneliti pembekuan searah dinamis (*Dynamic Directional Solidification*) melalui tahapan pendinginan lambat dilanjutkan pendinginan cepat paduan nikel. Stone (1998) mengembangkan teknik untuk memproduksi batangan (*ingot*) dengan menerapkan metode pembekuan searah Bridgman paduan aluminium Al-Fe-Si. Gunduz (2001) meneliti pembekuan searah paduan aluminium-tembaga. Roviglione, (2002) meneliti pembekuan searah besi tuang abu-abu dan Oakwood (2002) meneliti pengaruh grafitasi pada pembekuan searah besi tuang abu-abu dengan teknik Bridgman.

Proses pembekuan searah meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan mulur (*creep*) (Axmann, 1983) dan kekuatan bending (Smith, 1967). Analisis perpindahan panas konduksi pada proses pembekuan searah untuk paduan binary, pertumbuhan butir dimulai dari bagian tepi cetakan logam sangat bergantung seberapa besar tahanan thermalnya (Chakraborty, 2008).

Struktur selular terjadi melalui proses pendinginan superkomposisi dengan bentuk butir saling sejajar dan searah pertumbuhan kristal. Adanya gradien temperatur, bidang antar permukaan menjadi kurang stabil dan cenderung tumbuh kearah lain. Proses ini berlangsung terus-menerus akhirnya terbentuk sederetan struktur selular yang disebut juga struktur *closed packed*. Selular dendrit terjadi bila gradien temperatur berkurang dan luas daerah pendinginan superkomposisi semakin dominan, karakteristiknya akan berubah menjadi struktur dendrit. Bentuk selular dengan ujung semi-lingkaran, berubah menjadi struktur dendrit dengan ujung berbentuk piramid dan berbentuk kubah. Secara keseluruhan struktur selular dendrit membentuk cabang dari jaring-jaring yang saling berhubungan satu dan lainnya. *Columnar-dendrit* merupakan bentuk butir kristal yang menyerupai cabang pohon. Struktur ini terjadi jika gradien temperatur pada permukaan coran besar, misalnya pada pengecoran dengan cetakan logam (Surdia dan Saito, 1992). Struktur *equiaxed* terjadi karena laju pendinginan yang tinggi, sehingga mudah terjadi makro segregasi.

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dibawah.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengujian komposisi logam digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam logam dasar tersebut. Menggunakan acuan diagram fase biner Cu-Zn untuk menentukan temperatur maksimal untuk mencapai titik liquidus. Hal ini menghindari temperatur peleburan berlebih yang justru merusak cairan logam cor. Hal lain yang sangat menentukan keberhasilan dari proses penelitian ini adalah mendesain cetakan dari bahan pasir cetak dan alumina/serbuk batu tahan api yang dicampur dengan binder pengikat, termasuk menempatkan pipa pendingin/chiller yang akan dialiri fluida pendingin.

Ketahanan bahan terhadap indentasi secara kualitatif menunjukan kekuatannya. Skala yang lazim dalam pengujian kekerasan antara lain skala Brinell, Vickers, Rockwell dan Knop. Metode Rockwell merupakan metode yang paling umum digunakan karena sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus, biasa digunakan untuk bahan paduan logam (*metal alloys*) dan *polymer* mulai dari bahan yang lunak sampai keras. Digunakan variasi *indenter* kerucut intan (*conical diamond*) dan bola baja yang dikeraskan (*spherical and hardened steel balls*) dan variasi beban sesuai dengan kekerasan bahan seperti terlihat pada gambar 2 dibawah (Callister, 2000).

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number*	Scale Symbol	Indenter	Major Load (kg)
		Side View	Top View					
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	A	Diamond	80
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854 P/d^2$	B	1/16 in. ball	100
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2 P/a^2$	C	Diamond	150
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone 1/8, 1/16, 1/32 in. diameter steel spheres			60 kg	$R = \frac{N}{S}$ N = depth of penetration in mm S = scale factor	D	Diamond	100
				100 kg		E	1/16 in. ball	100
				150 kg		F	1/8 in. ball	80
				15 kg		G	1/16 in. ball	150
				30 kg		H	1/8 in. ball	80
				45 kg		K	1/4 in. ball	150

* For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, a, and l are all in mm.
Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulfer, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Gambar 2. Metode pengujian kekerasan dan skala kekerasan Rockwell (Callister, 2000)

Pada penelitian ini digunakan metode Rockwell dengan indenter bola baja diameter 1/16 inchi dengan beban mayor 100 kg (HRB). Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mesin *Servopulser* dengan beban maksimal yang digunakan 2000 kg.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Proses pengecoran

Proses peleburan logam kuningan menggunakan dapur *crucible* dengan bahan bakar minyak dan pengecoran dengan pasir cetak (*sand casting*) seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peleburan logam dan pengecoran dengan pasir cetak

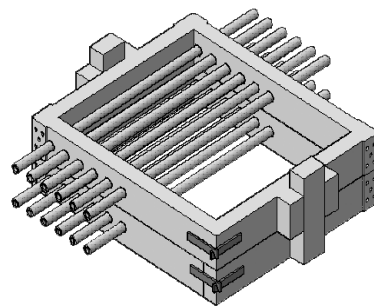
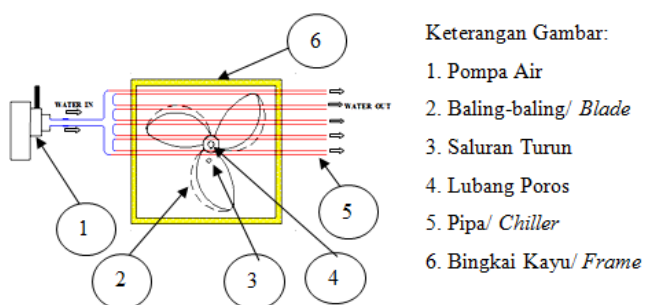
Produk cor yang akan diuji adalah propeler kapal nelayan tiga sudu dengan pola cetakan dari logam dan bingkai cetakan (*frame*) dari kayu nangka seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola cetakan logam dan produk cor propeler kapal tiga sudu

3.2. Teknik pembekuan searah

Teknik pembekuan searah dilakukan dengan mengalirkan air pendingin ke chiller dengan dorongan pompa pada saat penuangan logam kuningan dengan pengecoran pasir cetak seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 dibawah.



Gambar 5. Disain cetakan cor dan bingkai



Gambar 6. Proses pengecoran cetakan pasir dengan metode pembekuan searah

Proses pembekuan searah dilakukan dengan memasang chiller pada bingkai atau rangka (*frame*) berupa pipa tembaga dengan variasi diameter $\frac{1}{4}$ " , $\frac{5}{16}$ " dan $\frac{3}{8}$ " ($\frac{4}{16}$ " , $\frac{5}{16}$ " , $\frac{6}{16}$ ") yang dialiri air pendingin dengan bantuan pompa.

3.3 Komposisi kimia

Tabel 1 dibawah menunjukkan komposisi kimia material kuningan (*brass*) yang digunakan pada penelitian ini, seperti yang biasa digunakan pada UKM atau industri pengecoran logam yang ada di Juwana. Tabel 5.1 hasil pengujian pada penelitian tahap ke-1 dan tahap ke-2 hasil pengujian pada penelitian tahap ke-2.

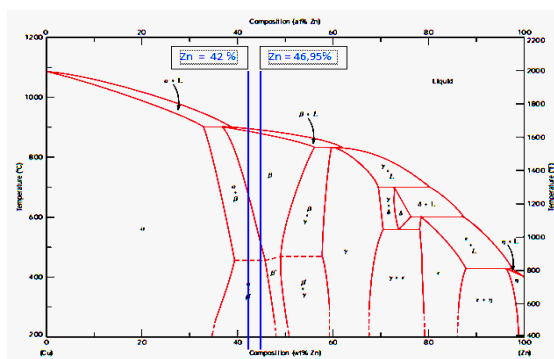
Tabel 1. Komposisi kimia kuningan

a. Pengujian tahap ke-1

b. Pengujian tahap ke-2

B.1 Pengujian tanah ke-1													B.1 Pengujian tanah ke-2												
No.	Komposisi (%)												No.	Komposisi (%)											
	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Si	Mn	Al	Cd	P	S		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Si	Mn	Al	Cd	P	S
1	57,7	0,92	1,94	38,5	0,25	0,66	0,1	0,02	0	0,02	0	0	1	52,2	0,85	1,65	41,1	0,26	0,55	0,12	0,05	0,02	0,01	0	0
2	37,7	0,84	2,67	55,4	0,11	0,08	0,11	0,09	2,91	0,4	0,01	0,02	2	53,5	0,85	1,68	42,9	0,24	0,54	0,15	0,05	0	0,01	0	0
Mean	47,7	0,88	2,31	47	0,18	0,37	0,11	0,06	1,46	0,21	0,01	0,01	Mean	52,9	0,85	1,67	42	0,25	0,54	0,14	0,05	0,01	0,01	0	0

Dari diagram fase biner Cu-Zn seperti yang terlihat pada Gambar 7 dibawah, untuk kuningan dengan kandungan 46,95% Zn dan 42% 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 (Callister, 2001 dan Brown, 2001).



Gambar 7. Diagram fase biner Cu-Zn (46,95 % Zn dan 42% Zn)

3.4 Pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada pengecoran propeler konvensional tanpa menggunakan chiller dan dengan menggunakan chiller pendingin sampel pada jarak 10 mm dan 20 mm dari chiller adalah seperti pada Tabel 2 dan grafik kekerasannya pada Gambar 8.

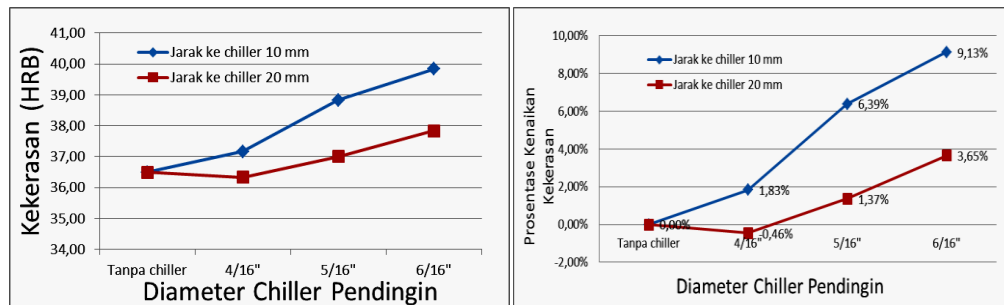
Tabel 2. Kekerasan rata-rata material :

a. pada jarak 10 mm dari chiller

b. pada jarak 20 mm dari chiller

No.	Diameter	Rata-rata	Naik	Prosentase	No.	Diameter	Rata-rata	Naik	Prosentase
	Chiller	HRB	HRB	Kenaikan		Chiller	HRB	HRB	Kenaikan
1	Tanpa chiller	36,5	0	0	1	Tanpa chiller	36,5	0	0
2	4/16"	37,17	0,67	1,83%	2	4/16"	36,33	-0,17	-0,46%
3	5/16"	38,83	2,33	6,39%	3	5/16"	37	0,5	1,37%
4	6/16"	39,83	3,33	9,13%	4	6/16"	37,83	1,33	3,65%

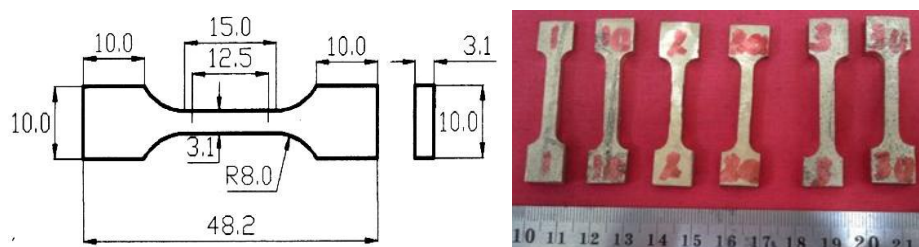
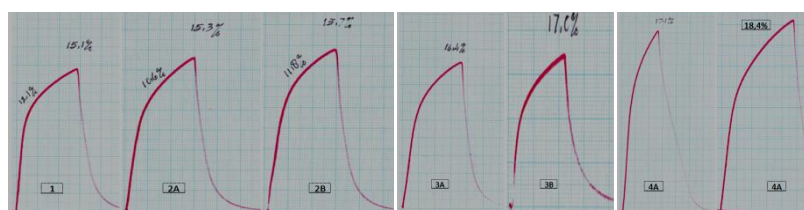
Dari Tabel 3 dapat dibuat grafik kekerasan rata-rata material propeler hasil pengecoran untuk masing pengambilan sampel pada jarak 10 mm dan 20 mm seperti yang terlihat pada Gambar 8.

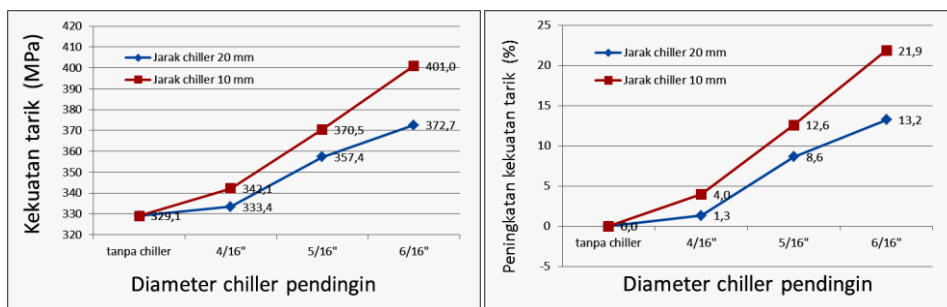
**Gambar 8. Grafik kekerasan rata-rata material propeler dan prosentase peningkatannya**

Dari Grafik 8 diatas terlihat bahwa kekerasan material untuk masing-masing jarak pengambilan sampel baik 10 mm maupun 20 mm mengalami kenaikan dengan naiknya diameter chiller pendingin. Kenaikan atau peningkatan kekerasan terbesar adalah 9,13% , terjadi pada sampel dengan jarak terdekat dengan chiller 10 mm dengan diameter chiller terbesar 6/16" yaitu naik sebesar 3,33 HRB dari 36,50 HRB menjadi 39,83 HRB.

3.5 Uji Tarik

Pengujian dilakukan menggunakan mesin Servopulser dengan pembebanan maksimum sebesar 2000 kg. Ukuran spesimen uji tarik disesuaikan dengan standar JIS Z2201 seperti yang terlihat pada gambar 9 dengan merubah panjang seksi uji (Lo) dari 12,5 mm menjadi 25 mm dan tebal (t) dan lebar (w) seksi uji dari 3,1 mm menjadi 3 mm. Grafik Beban-Regangan hasil uji tarik terlihat pada Gambar 10.

**Gambar 9. Dimensi dan foto spesimen uji tarik****Gambar 10. Grafik Beban-Regangan hasil uji tarik**



Gambar 11. Grafik kekuatan tarik material dan peningkatannya

Dari hasil pengujian tarik pada Gambar 17 dan 18 diatas terlihat bahwa kekuatan tarik akan mengalami peningkatan dengan bertambah besarnya diameter chiller pendingin dan semakin dekat jarak dengan chiller. Peningkatan kekuatan tarik terbesar adalah 21,9 % yang terjadi pada diameter chiller 6/16" dan jarak chiller pendingin 10 mm dari 329,1 MPa menjadi 401 MPa.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknik pembekuan searah dengan *chiller* pendingin dapat meningkatkan kekerasan material, kekerasan semakin meningkat dengan semakin dekatnya jarak sampel ke *chiller* dan semakin besar diameter *chiller*. Peningkatan kekerasan paling besar adalah 9,13 %.
2. Teknik pembekuan searah dengan *chiller* pendingin juga dapat meningkatkan kekuatan tarik material, kekuatan tarik semakin meningkat dengan semakin dekatnya jarak sampel ke *chiller* dan semakin besar diameter *chiller*. Peningkatan kekuatan tarik paling besar adalah 21,9 %.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang teknik dan metode pembekuan searah pada pengecoran propeler baik dengan material kuningan maupun material yang lain, misalnya aluminium seperti yang banyak digunakan nelayan dan diproduksi oleh UMKM, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan daya saing.

DAFTAR PUSTAKA

- Axmann, W., 1983, "Dynamic Directional Solidification", Workshop RWTH Aachen, pp.71-95.
- Brown, JR. (2001). *Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook*, Eleventh Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Callister Jr., W.D., 2000, "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Fifth Edition, pp. 177 – 181.
- Cole, G.S., and Bolling, G.F., 1967, "Importance of fluid motion during ingot solidification", Ford Motor Co. Dearborn, Michigan, pp.323-329.
- Chakraborty, Suman, Dutta, Pradip, 2008, "An analytical solution for conduction-dominated unidirectional solidification of binary mixtures, Elsevier, pp. 123.
- Gunduz, M., and Cadirh, E., 2001, "Directional solidification of Aluminium-Copper alloys," Elsevier, pp.167-185.
- Oakwood, T.G., Goodrich, G.M., 2002, "Role of Gravity Forces on the Directional Solidification of Gray Cast Iron", *American Foundry Society, USA*, pp.1-17.
- Roviglione, A.N., and Hermida, J.D., 2002, "A New Directional Solidification Method to Study Gray Cast Iron", Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina, pp.235.
- Smith, L., and Beeley, P.R., 1967, "Controlled directional solidification of steel," Leeds University, pp.330-333.
- Surdia, T dan Saito, S., 1992, "Pengetahuan bahan teknik", P.T. Pradnya Paramitha, Jakarta, pp. 135.
- Stone, I.C., Jones, H., 1998, "Improved techniques for the production of remelt feedstock for Bridgman directional solidification of aluminium alloys", Chapman & Hall, pp.19-21.