

PENGEMBANGAN PENGECORAN BERBAHAN BAKU PADUAN MANGANESE BRONZE UNTUK PROPELLER KAPAL YANG BERBASIS BAHAN SCRAP

CASTING DEVELOPMENT OF MANGANESE BRONZE ALLOY FOR SHIP PROPELLER BASED ON SCRAP MATERIAL

Iwan Setyadi

Pusat Teknologi Industri Proses, BPPT Gedung Teknologi 2 Lantai 3
Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang, Telepon (021) 75875940 - 758944
E-mail : iwan.setyadi@bppt.go.id

Abstrak

Banyak upaya dilakukan untuk meningkatkan kualitas komponen kapal, khususnya baling-baling kapal yang dibuat melalui IKM pengecoran guna mengurangi ketergantungan impor dan dalam upaya peningkatan TKDN untuk industri kapal nasional. Salah satu upaya yang dilakukan adalah merancang neraca bahan paduan *manganese bronze* untuk diaplikasikan pada pengecoran baling-baling kapal dengan memanfaatkan bahan scrap. Dalam penelitian ini yang diatur adalah kadar prosentasi mangan dalam paduan. Pencapaian hasil penelitian yang optimal terjadi pada kandungan 3,27% Mn, dimana diperoleh peningkatan kekerasan menjadi 180,4 BHN atau naik 11,9 % dari kondisi awal dengan kandungan Mn 0,42%. Sedangkan ukuran butirnya mencapai 130,78 μm , atau lebih kecil 30,6 % dibanding saat kandungan 0,42% Mn.

Kata kunci : neraca bahan, prosentase mangan, pengecoran, manganese bronze, baling-baling kapal.

Abstract

Many attempts were made to improve the quality of ship components, in particular the ship's propeller made through little-middle industries of casting (IKM) in order to reduce dependence on imports and in order to increase local content for the national ship industries. One of the efforts is to design the material balance of manganese bronze alloy to be applied on a ship's propeller foundry by using scrap materials. In this research, the variable is the percentage level of manganese in the alloy. Achievement of optimal research results occurred in 3.27% Mn content, which obtained an increase in hardness into BHN 180.4, up 11.9% from the initial conditions with Mn content of 0.42%. While the grain size reached 130.78 μm , or 30.6% less than the current content of 0.42% Mn.

Keywords : material balance, percentage of mangan, casting, manganese bronze, propeller..

Diterima (recieved) : 23 September 2015, Direvisi (Revised) : 16 Oktober 2015, Disetujui (Accepted) : 29 November 2015

PENDAHULUAN

Saat ini pemerintah sedang berupaya mengurangi ketergantungan pada komponen impor dan menaikkan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) agar industri nasional bisa mandiri dan mampu menghasilkan

produk berkualitas. Upaya ini dilakukan terutama terhadap industri yang masuk kegiatan ekonomi prioritas nasional, yang diantaranya industri perkapalan¹⁾.

Usaha ini tidaklah mudah dilaksanakan oleh industri tanpa dukungan yang matang, khususnya IKM (industri kecil

dan menengah) karena masih kurangnya dukungan sumber daya manusia (SDM) dan sumber daya fasilitas (SDF) yang memadai. IKM Pengecoran Tegal merupakan salah satu IKM pengecoran yang besar yang terdapat di pulau Jawa yang diharapkan mampu membuat produk cor diantaranya komponen kapal yang berkualitas. Hal ini mengingat mata pencarian masyarakat setempat banyak yang menjadi nelayan/pelaut.

Salah satu komponen kapal yang cukup banyak permintaannya adalah baling-baling. Saat ini sudah beredar baling-baling produk lokal di pasar, namun kualitasnya masih rendah dan kalah bersaing dengan produk yang sama dari luar.

Supaya produk baling-baling kapal yang dihasilkan IKM pengecoran dapat bersaing, maka diperlukan perbaikan kualitas diantaranya melalui pemilihan dan penggunaan paduan yang tepat. Dalam hal ini perlu dibantu mulai dari pemilihan bahan baku, perancangan ramuan bahan sampai pada proses peleburan dan pengecorannya.

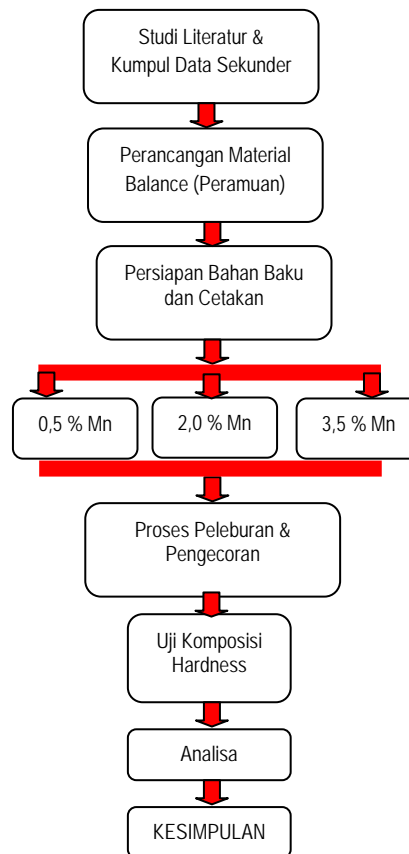
IKM pengecoran di Tegal umumnya menggunakan bahan baku berupa scrap karena disamping mudah didapat harganya pun relatif murah.

Dalam penelitian ini bahan yang dikembangkan untuk baling-baling adalah *manganese bronze*. Pertimbangannya adalah karena *manganese bronze* memiliki sifat mekanik dan juga daya tahan korosi yang sangat baik^(2,3,4,5,6). Peramuannya akan memanfaatkan bahan baku scrap yang biasa digunakan oleh IKM yang target komposisinya mengacu pada standar CU1 atau CU2 yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan pengaruh kandungan mangan (Mn) dalam paduan terhadap kualitas baling-baling khususnya sifat mekanis dan strukturmikro.

Beberapa penelitian terkait juga pernah dilakukan sebelumnya terutama melihat pengaruh struktur mikro pada sifat *bronze casting*⁷⁾, pengecoran berbasis pada bahan baku Al-Ni Bronze⁸⁾, serta penelitian Pengaruh Mn pada Lead-Tin Bronze⁹⁾ dan perancangan peramuannya bahan pada pengecoran SKD 61¹⁰⁾.

BAHAN DAN METODE

Adapun metodologi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1.
Diagram Alir Penelitian

a. Standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

Mutu bahan baling-baling yang diteliti mengacu pada standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), yaitu badan sertifikasi yang mempunyai kewenangan untuk menetapkan standard mutu produk komponen-komponen kapal, diantaranya baling-baling kapal. Untuk bahan baku jenis manganese bronze, BKI membagi paduan tembaga tersebut menjadi dua kelas yaitu CU1 dan CU2, tergantung pada komposisi kimianya seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1
Klasifikasi paduan tembaga untuk bahan
baling-baling kapal dan komposisi
kimianya¹¹⁾

Komposisi (%)	Klaifikasi	
	CU1	CU2
Cu	52 – 62	50 - 57
Al	0,5 – 3,0	0,5 – 2,0
Mn	0,5 – 4,0	1,0 – 4,0
Zn	35 – 40	33 – 38
Fe	0,5 – 2,5	0,5 – 2,5
Ni	Max. 1,0	2,5 – 8,0
Sn	0,1 – 1,5	0,1 – 1,5
Pb	Max. 0,5	Max. 0,5

b. Perancangan/Peramuan Bahan

Untuk mengetahui kebutuhan jenis dan berat bahan baku dan bahan paduan dikaitkan dengan target komposisi yang akan dicapai, maka perlu dibuat perancangan peramuan bahan^(12, 13). Pada penelitian ini logam paduan yang dibuat adalah jenis *manganese bronze* sebanyak 15 kg. Bahan baku utama adalah scrap kawat tembaga dan bahan paduan adalah ingot aluminium, scrap *nickel screen*, *ferro mangan*, geram bubutan besi cor.

Bahan baku dan bahan paduan yang dipakai dipilih bahan yang murah dan mudah diperoleh di daerah setempat, sehingga dapat diterapkan di industri kecil pengecoran logam yang umumnya kesulitan memperoleh bahan paduan (*master alloy*) impor.

c. Persiapan bahan baku dan cetakan

Untuk mengontrol kualitas produk yang akan dibuat maka diperlukan persiapan bahan baku dengan menimbang berat bahan baku dan bahan paduan yang didasari pada hasil rancangan peramuan bahan. Adapun cetakan yang dibuat adalah cetakan Y *block*⁽¹¹⁾ untuk benda uji dan cetakan untuk model baling-baling kapal berdaun lima yang menggunakan cetakan kombinasi, yaitu cetakan kulit (*shell moulding*) dan cetakan pasir basah (*green sand moulding*)^[5,14].

Cetakan kulit adalah cetakan yang terbuat dari campuran pasir silika dan bahan perekat (*resin thermoset*) setebal 5-20mm yang akan mengeras ketika campuran tersebut dibakar dengan suhu 175 – 350 °C pada permukaan pola yang terbuat dari logam aluminium sehingga menyerupai kulit.

Foto bahan baku dan cetakan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2

(i) Persiapan Bahan Baku, (ii) Penimbangan Paduan Mn & (iii) Persiapan Cetakan Y-Block dan (iv) Baling-baling

d. Proses Peleburan dan Pengecoran

Proses peleburan dilakukan dengan menggunakan dapur peleburan jenis krusibel (crucible furnace) menggunakan pemanas dari *burner* berbahan bakar solar/minyak tanah. Proses *loading* bahan baku (charging) mengacu pada peramuan bahan yang telah dirancang, dimana ada tiga jenis komposisi

yang dibuat, khususnya variasi unsur paduan mangan (Mn) masing-masing 0,5, 2,0 dan 3,5 %.

Adapun produk yang dicor adalah model baling-baling dan produk *Y-Block* yang akan digunakan untuk spesimen karakterisasi material yang dirancang.

Foto proses peleburan dan pengecoran yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.



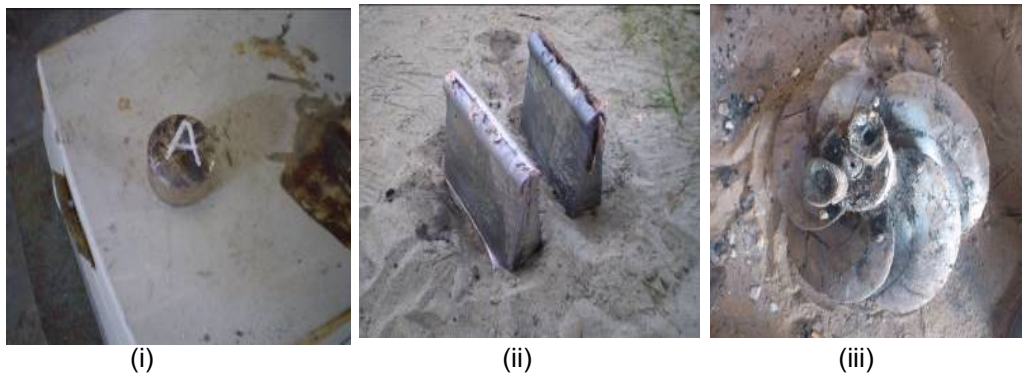
Gambar 3
Proses Peleburan & Pengecoran

e. Pengujian

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data validasi hasil peramuan bahan dan proses peleburan dengan target yang akan dicapai yaitu standar BKI CU1. Dalam ha ini pengujiannya

adalah pengujian komposisi kimia dan uji kekerasan (*hardness testing*).

Gambar 4 berikut adalah produk hasil pengecoran dalam bentuk *Y-Block* dan model baling-baling.



Gambar 4
(i). Sampel Chill Untuk Uji Spektrometer, (ii) *Y-Block*, (iii) Model Baling-baling

f. Analisa

Analisa dilakukan untuk mengetahui kesesuaian rancangan dengan target yang akan dicapai melalui data uji yang diperoleh. Hasil yang sudah valid akan dijadikan acuan untuk pengembangan pembuatan produk baling-baling ukuran sebenarnya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN
Rancangan peramuan bahan**

Adapun rancangan peramuan bahan untuk mencapai target komposisi kimia *manganese bronze* untuk CU1 berkapasitas 15 kg dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. Masing-masing dengan perkiraan target pencapaian kandungan Mn sebesar 0,5% (rancangan 1), 2%(rancangan 2) dan 3,5% (rancangan 3).

Tabel 2.
Rancangan Peramuan Bahan CU1 Berkapasitas 15 kg Dengan Perkiraan Kandungan Mangan 0,5 % (Rancangan 1)

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI											%	kg	KOMPOSISI										
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn			Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn
1	Mn ladle alloy						70,0					30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2	Ferro Mangan						15,9	0,12			0,1	76,9	0,68	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,52		
3	Paku halus					0,06	98,8		0,54		0,09	0,35	1,13	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,01	0,00	0,00	0,00		
4	Ingot Al	0					0,2			99,7			3,39	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	3,38	0,00	0,00		
5	Kabel Cu	99,9											56,55	8,48	56,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
6	Ingot Sn	0,03	99,8	0,05			0,05		0,05				0,46	0,07	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
7	Ingot Pb	0,05	0,15	99,5	0,015		0,03						0,12	0,02	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
8	Ni screen	0,07	0			97,62	0				0,072		0,33	0,05	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00			
9	Ingot Zn(HSC-SHG)	0,018	0	0,0014	99,997	0	0,0002	0	0	0	0	0	37,33	5,60	0,01	0	37,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Total													100,00	15,00	56,51	0,46	0,12	37,32	0,32	1,24	0,00	0,01	3,38	0,00	0,52
LOSSES																									
PENGARUH TERHADAP KOMPOSISI																									
A	Cu												-0,374		-0,21										
B	Sn												-1		0										
C	Pb												-10		-0,01										
D	Zn												0,67			0,25									
E	Ni												-0				0								
F	Fe												-2					-0,02							
G	P												+2						0						
H	Sb												0								0				
I	Al												-75									-2,54			
J	Si												0										0		
K	Mn												-5											-0,03	
Komposisi ramuan teoritis													56,29	0,46	0,11	37,57	0,32	1,21	0	0,01	0,85	0	0,50		
Komposisi ramuan teoritis (bila disesuaikan kembali jadi 100%)													57,84	0,47	0,11	38,61	0,33	1,24	0	0,01	0,87	0	0,51		
Komposisi riil																									
Komposisi target													58,00	0,50	0,10	38,20	0,40	1,30	-	-	1,00	0	0,50		

Tabel 3.
Rancangan Peramuan Bahan CU1 Berkapasitas 15 kg Dengan Perkiraan Kandungan Mangan 2,0 % (Rancangan 2)

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI											%	kg	KOMPOSISI										
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn			Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn
1	Mn ladle alloy						70					30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2	Ferro Mangan						15,9	0,12			0,1	76,9	2,63	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	2,03		
3	Paku halus					0,06	98,8		0,54		0,09	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
4	Besi Cor					0,04	93,3			0,01	2,88	0,3	1,12	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00		
5	Ingot Al	0					0,2			99,7			3,33	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	3,32	0,00		
6	Kabel Cu	99,9											55,44	8,32	55,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	Ingot Sn	0,03	99,8	0,05			0,05		0,05				0,45	0,07	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
8	Ingot Pb	0,05	0,15	99,5	0,015		0,03						0,12	0,02	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9	Ni screen	0,07	0			97,62	0				0,072		0,32	0,05	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10	Ingot Zn(HSC-SHG)	0,018	0	0,0014	99,997	0	0,0002	0	0	0	0	0	36,59	5,49	0,01	0,00	0,00	36,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Total													100,00	15,00	55,39	0,45	0,12	36,59	0,32	1,47	0,00	0,00	3,32	0,03	2,03
LOSSES																									
PENGARUH TERHADAP KOMPOSISI																									
A	Cu												-0,374		-0,21										
B	Sn												-1		0,00										
C	Pb												-10		-0,01										
D	Zn												0,67			0,25									
E	Ni												-0				0,00								
F	Fe												-2					-0,03							
G	P												+2						0,00						
H	Sb												0								0,00				
I	Al												-75									-2,49			
J	Si												0										0,00		
K	Mn												-5											-0,10	
Komposisi ramuan teoritis													55,18	0,45	0,11	36,83	0,32	1,44	0,00	0,00	0,83	0,03	1,93		
Komposisi ramuan teoritis (bila disesuaikan kembali jadi 100%)													56,82	0,46	0,11	37,92	0,33	1,48	0,00	0,00	0,85	0,04	1,98		
Komposisi riil																									
Komposisi target													58,00	0,50	0,10	38,20	0,40	1,30	-	-	1,00	0,00	2,00		

Tabel 4.
Rancangan Peramuan Bahan CU1 Berkapasitas 15 kg Dengan Perkiraan Kandungan Mangan 3,5 % (Rancangan 3)

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI											%	kg	KOMPOSISI												
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn			Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn		
1	Mn ladle alloy						70					30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
2	Ferro Mangan						15,9	0,12			0,1	76,9	4,77	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	3,67
3	Paku halus					0,06	98,8		0,54		0,09	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Besi Cor					0,04	93,3			0,01	2,88	0,3	1,10	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	
5	Ingot Al	0					0,2				99,7		3,25	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	3,24	0,00	0,00	0,00	
6	Kabel Cu	99,9											54,22	8,13	54,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	Ingot Sn	0,03	99,8	0,05			0,05		0,05				0,44	0,07	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	Ingot Pb	0,05	0,15	99,5	0,015		0,03						0,12	0,02	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	Ni screen	0,07	0			97,62	0			0	0,072		0,32	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10	Ingot Zn(HSC-SHG)	0,018	0	0,0014	99,997	0	0,0002	0	0	0	0	0	35,78	5,37	0,01	0,00	0,00	35,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total												100,00	15,00	54,17	0,44	0,12	35,78	0,31	1,79	0,01	0,00	3,24	0,04	3,67			
LOSSES												PENGARUH TERHADAP KOMPOSISI															
A	Cu												-0,374		-0,20												
B	Sn												-1		0,00												
C	Pb												-10		-0,01												
D	Zn												0,67			0,24											
E	Ni												-0				0,00										
F	Fe												-2					-0,04									
G	P												+2						0,00								
H	Sb												0							0,00							
I	Al												-75									-2,43					
J	Si												0										0,00				
K	Mn												-5													-0,18	
Komposisi ramuan teoritis												53,97	0,44	0,11	36,02	0,31	1,76	0,01	0,00	0,81	0,04	3,49					
Komposisi ramuan teoritis (bila disesuaikan kembali jadi 100%)												55,67	0,45	0,11	37,16	0,32	1,81	0,01	0,00	0,84	0,04	3,60					
Komposisi riil																											
Komposisi target												58	0,5	0,1	38,2	0,4	1,3	-	-	1	0	3,5					

Kebutuhan Bahan Baku

Mengacu pada rancangan peramuan bahan yang dibuat, besar jumlah masing-masing

kebutuhan bahan baku untuk setiap rancangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Data Kebutuhan Baku Untuk Peleburan *Manganese Bronze* (CU1) Berkapasitas 15 kg Dengan Perkiraan Kandungan Mn Sebesar 0,5, 2,0 dan 3,5 %

No	JENIS BAHAN	Pemakaian Bahan (kg)			Sub Total (kg)
		Target Mn (%)			
		0,5	2,0	3,5	
1	Kawat tembaga	8,48	8,32	8,13	24,93
2	Ferro Mangan	0,10	0,39	0,72	1,21
3	Ingot Sn	0,07	0,07	0,07	0,21
4	Ingot Pb	0,02	0,02	0,02	0,06
5	Ni screen	0,05	0,05	0,05	0,15
6	Ingot Zn(HSC-SHG)	5,60	5,49	5,37	16,46
7	Besi Cor	0,17	0,17	0,17	0,51
8	Ingot Al	0,51	0,50	0,49	1,5
Total		15	15	15	45

Hasil Uji Komposisi Kimia Logam Cor

Hasil uji komposisi logam cor dari ketiga rancangan material balance yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel 6.

Hasil Uji Kekerasan

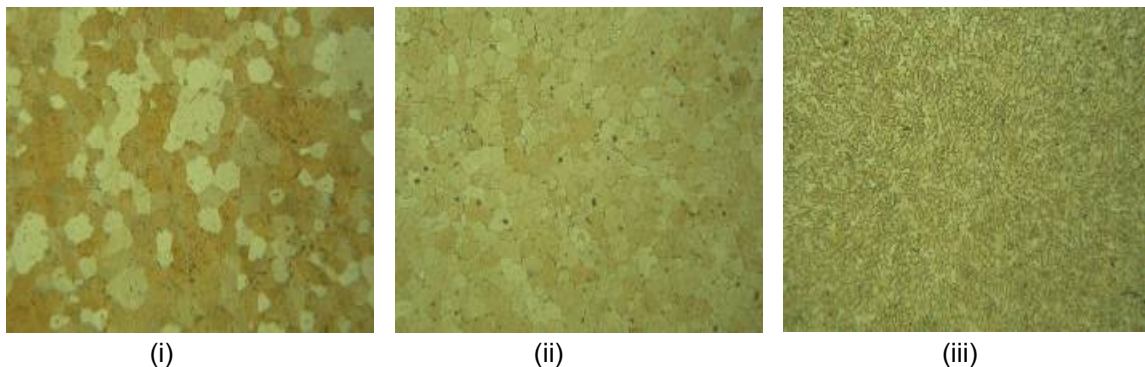
Hasil pengujian kekerasan terhadap ketiga rancangan *Manganese Bronze* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6.
Hasil Uji Komposisi Kimia Logam Cor Dari Tiga Macam Rancangan *Manganese Bronze* (Rancangan 0,5 , 2 dan 3,5 Kandungan Mangan)

Hasil Uji Coba	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn
Trial Rancangan 1	56,51	0,49	0,17	38,88	0,18	0,48	0,01	0,02	2,80	0,00	0,42
Trial Rancangan 2	56,88	0,46	0,15	37,08	0,31	0,72	0,08	0,02	3,09	0	1,16
Trial Rancangan 3	56,69	0,66	0,22	34,36	0,31	1,67	0,1	-	2,71	0	3,27
Acuan Standard											
BKI	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	P	Sb	Al	Si	Mn
	52-	0,1-	0,5	35-	1,0	0,5-			0,5-	0,1	0,5-
CU1	62	1,5	max	40	max	2,5	-	-	3,0	max	4,0

Tabel 7.
Hasil Uji Kekerasan (*Hardness*) Logam Cor Dari Tiga Macam Rancangan *Manganese Bronze* (Rancangan 0,5 , 2 dan 3,5 Kandungan Mangan).

SAMPEL	Kekerasan (BHN)					
	A	b	C	d	e	Rata-rata
Trial Rancangan 1	160	162	163	161	160	161,2
Trial Rancangan 2	165	171	171	168	164	167,8
Trial Rancangan 3	181	179	183	179	180	180,4



Gambar 5.

Foto Mikrostruktur Cor *Manganese Bronze* (Pembesaran 100X) untuk Rancangan (i) 0,5 % Mn, (ii) 2,0 % Mn (iii) 3,5% Mn

Hasil Uji Metalografi

Foto struktur mikro hasil uji metalografi dari masing-masing specimen rancangan *Manganese Bronze* ditunjukkan pada Gambar 5. Di atas.

Adapun hasil pengukuran butir-butir masing-masing struktur mikro dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8.
Hasil Pengukuran Butir (*grain size*)

SAMPEL	Grain Size (μm)
Trial Rancangan 1	188,4
Trial Rancangan 2	173,09
Trial Rancangan 3	130,78

Analisa Komposisi Kimia (Kesesuaian Rancangan Peramuan dengan Hasil Logam Coran)

Analisa kesesuaian rancangan ramuan bahan *Manganese Bronze* yang dibuat dengan hasil cor yang diperoleh dapat mengacu pada Tabel 6. Komposisi kimia hasil cor diketahui hampir mendekati komposisi target CU1. Masih terdapat 1 atau 2 unsur yang belum memenuhi, namun selisihnya relatif kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, seperti ketelitian/ketepatan saat penimbangan bahan baku, tahapan *charging*

bahan baku atau juga karena faktor *looses* saat proses peleburan berlangsung.

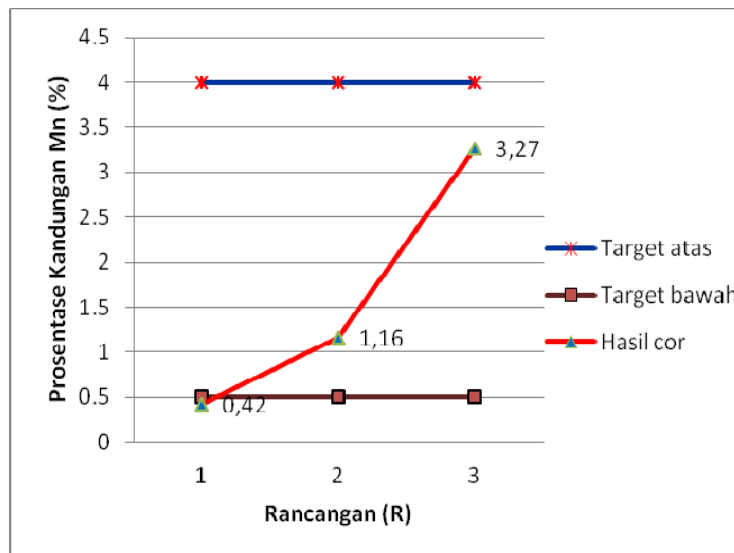
Pada rancangan 1 (rancangan untuk capaian Mn 0,5%), terdapat ada 2 unsur yang masih belum memenuhi, yaitu unsur Fe kurang 4% dari target (diperoleh 0,48%, minimal target 5%) dan unsur Mn sendiri kurang 16% dari target (diperoleh 0,42%, minimal target 5%).

Untuk rancangan 2 (rancangan untuk capaian Mn 2%), terdapat ada 1 unsur hasil produk cor yang masih belum memenuhi, yaitu unsur Al lebih 3% dari target (diperoleh 3,08%, maksimal target 3%).

Sedangkan untuk rancangan 3 (rancangan untuk capaian Mn 3,5%), terdapat ada 1 unsur yang masih belum memenuhi, yaitu unsur Zn kurang 1,8% dari target (diperoleh 34,36%, minimal target 35,00%). Hal ini

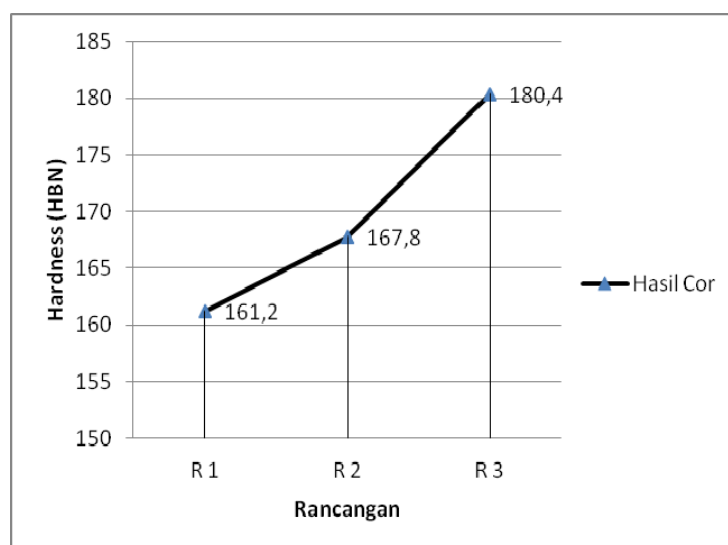
dapat terjadi diduga karena proses charging Zn terlalu cepat sehingga *looses*nya lebih banyak menjelang dituang. Zn yang ada banyak yang menguap karena temperatur leburnya 420 °C , sedangkan *bronze* yang berbasis tembaga memiliki temperatur lebur 1.085 °C.

Adapun kandungan Mangan yang diperoleh adalah untuk rancangan 1 didapatkan 0,42% Mn, rancangan 2 didapatkan 1,16% Mn sedangkan rancangan 3 diperoleh 3,27 Mn. Artinya bila mengacu pada syarat kandungan Mn pada CU1 adalah berkisar 0,5-4%, maka yang dapat memenuhi adalah rancangan 2 dan 3. Untuk rancangan 1 hanya kurang sedikit dari rentang minimum Mn (diperoleh 0,42%, minimal target 5%). Secara grafis dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6

Kandungan Mn Hasil Cor Rancangan Ramuan *Manganese Bronze* (R1, R2 dan R3)



Gambar 7

Kekerasan (HBN) Hasil Cor Rancangan Ramuan *Manganese Bronze* (R1, R2 dan R3)

Analisa Hasil Uji Kekerasan

Dari hasil uji kekerasan diketahui bahwa dengan semakin tinggi kandungan mangan (Mn) dalam coran manganese bronze akan meningkatkan nilai kekerasannya. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian pada tabel 7 dan grafik pada Gambar 7.

Mangan merupakan jenis unsur paduan yang termasuk kelompok paduan yang berfungsi meningkatkan kekuatan dalam *bronze*⁴¹. Kekuatan memiliki korelasi dengan kekerasan, dengan bertambahnya mangan pada *bronze* maka kekerasan *bronze* mengalami peningkatan.

Dari hasil penelitian ini prosentase peningkatan kekerasan yang terjadi pada produk *Manganese Bronze* hasil cor karena penambahan kandungan Mn dapat dilihat pada tabel 9 .

Tabel 9
Prosentase Peningkatan Kekerasan Produk *Manganese Bronze* Hasil Cor Terhadap Peningkatan Kandungan Mn .

Kandungan Mn (%)	Hardness (BHN)		
	Awal	Akhir	Kenaikan (%)
0,42 ke 1,16	161,2	167,8	4,09
1,16 ke 3,27	167,8	180,4	7,5

Dari Tabel 9 didapat bahwa kenaikan kekerasan yang terjadi dengan bertambahnya kandungan Mn (rentang 0,42-3,27%) berkisar 4,09-7,5%.

Kenaikan kekerasan tertinggi terjadi saat kandungan mangan 3,27% (untuk rancangan 3,5% Mn) yaitu sebesar 7,5% (dari 167,8 BHN menjadi 180,4 BHN) atau naik sebesar 11,9 % dari kondisi awal dengan kandungan Mn 0,42%.

Analisa Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada Gambar 5 pada masing-masing rancangan *Manganese Bronze* dengan kandungan Mn yang berbeda diketahui bahwa semakin besar kandungan Mn, maka ukuran butir yang dihasilkan semakin kecil. Ukuran butir yang paling kecil terjadi pada manganese bronze dengan kandungan 3,27%.

Hasil perhitungan ukuran butir pada Tabel 8 menunjukkan bahwa ukuran butir

yang diperoleh sebesar 130,78 μm . Ukuran ini lebih kecil 30,6 % dibanding saat kandungan 0,42% Mn atau lebih kecil 24,4% saat kandungan 1,16% Mn. Namun saat peningkatan kandungan Mn dari 0,42% menjadi 1,16% pengecilan ukuran butir hanya sebesar 8,1% atau hanya sepertiga-seperempat kali dibanding saat kandungan Mn 3,27%. Hal ini menunjukkan bahwa pada komposisi 3,27% ini fungsi Mn sebagai *grain refiner* cukup efektif. Kondisi ini juga yang menyebabkan kenaikan kekerasan *manganese bronze* paling tinggi, sebesar 180,4 BHN atau naik sebesar 11,9 % dari kondisi awal dengan kandungan Mn 0,42%. Mengacu kepada standar CU1 yang mensyaratkan kandungan maksimum Mn adalah 4 %, diperkirakan hasil penelitian dengan kandungan 3,27% merupakan hasil yang telah mendekati optimal.

SIMPULAN

Peningkatan prosentase kandungan Mn dalam *manganese bronze* untuk pengecoran baling-baling kapal memberikan pengaruh pada peningkatan sifat mekanisnya. Dari 3 rancangan yang diuji coba pembuatannya (0,5 , 2 dan 3,5% Mn) diperoleh peningkatan kekerasan dan penurunan ukuran butir produk yang dihasilkan. Hasil yang optimal terjadi pada kandungan 3,27% Mn, dimana diperoleh peningkatan kekerasan menjadi 180,4 BHN atau naik 11,9 % dari kondisi awal dengan kandungan Mn 0,42%. Sedangkan ukuran butirnya mencapai 130,78 μm , atau lebih kecil 30,6 % dibanding saat kandungan 0,42% Mn.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada Bapak Arie Hendarto (PTIP-BPPT) yang telah banyak membantu kami dalam memfasilitasi penelitian, sehingga pada akhirnya tulisan ini bisa kami selesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kemenko Perekonomian RI, *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI)*, Engineer Monthly No. 50, Juni 2011.

2. Pat L. Mangonon, Ph.D, *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Prentice Hall, Inc., USA, 1999.
3. ASM Handbook, Properties & Selection Non Ferrous Alloys & Special Purpose Materials, Formerly Tenth Edition Metal Handbook, , 2002.
4. Rohatgi P. K., Nonferrous Casting Alloys, ASM Metals Handbook, vol. 15 9th edition, 1992
5. Kalpakjian, Schmid, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th edition, Pearson Education, 2008
6. Sidney H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, MC. Graw-Hill Inc., 2004.J. Labanowski, T.Olkowski, *Effect of Microstructure on Mechanical Properties of BA 1055 Bronze Casting*, Archives of Foundry Engineering, Foundry Commission Polish Academy of Sciences, ISSN (1897-3310) Volume 14, 2014
7. Setyadi Iwan, Hendarto A., *Penelitian Pengembangan Paduan Aluminium-Nikel Bronze Untuk Aplikasi Model Baling-Baling Kapal Penumpang Berdaun Lima Pada Ikm Pengecoran Logam Di Kabupaten Tegal*, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia vol 15 no 2, Agustus 2013
8. Turhan H., M. Aksoy, V. Kuzucu, M.M. Yildirim, *The effect of manganese on the microstructure and mechanical properties of leaded-tin bronze*, *Journal of Materials Processing Technology 114 (2001) 207–211*
9. Setyadi Iwan, Suryadi, Hendarto A., *Perancangan Material Balance dan Pembuatan Baja Cetakan SKD 61 Untuk IKM Pengecoran Logam di Ceper-Klaten*, Proceeding Seminar Teknologi Untuk Negeri 2003, BPPT, Jakarta, 2003.
10. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), *Rules for The Classification and Conctruction of Seagoing Steel Ships*, Volume V, Biro Klasifikasi Indonesia, 2001.
11. Thornton, *British Foundryman*, 51, 559, 1958.
12. R Brown, *Foseco Non Ferrous Foundryman's Hand Book*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2002.
13. Tata Surdia, Kenji Chijiwa, *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2004