



## Pengaruh temperatur terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dalam proses *fussion brazing* Ni-Hard 4 dengan S45C menggunakan CuZn 35 sebagai logam pengisi

### *Effect of temperature on microstructure and mechanical properties in Ni-Hard 4 brazing fusion process with S45C using CuZn 35 as filler metal*

A. Siswanto\*, W. Purwadi

Jurusan Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kenayakan No.21, Bandung, Jawa Barat, 40135, Indonesia. HP. 08121474056

\*E-mail: [aryousiswanto@polman-bandung.ac.id](mailto:aryousiswanto@polman-bandung.ac.id)

---

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

---

##### Article History:

Received 14 May 2019

Accepted 20 December 2019

Available online 1 April 2020

---

##### Keywords:

Diffusion brazing

White cast iron Ni-Hard 4

Medium carbon steel S45C

Micro structure

Mechanical properties

This research was conducted on white cast iron (Ni-Hard 4) and medium carbon steel (S45C) cast iron materials using a thin brass plate (CuZn 35) 0.3 mm as filler metal by heating at temperatures of 850 to 1050<sup>o</sup>C for 120 minutes with a pressure of 2 Mpa in the muffle furnace. The effect of temperature on the microstructure was observed using an optical microscope and scanning electron microscopy equipped with energy dispersive X-ray system (EDS) to determine the chemical composition that occurred between the three material layers. The thickness of the interface layer increases with increasing holding temperature. The highest shear strength (79.86 Mpa) was obtained at a temperature of 950<sup>o</sup>C.



### 1. PENDAHULUAN

Selama lebih dari setengah abad, kelompok besi cor putih salah satunya *Ni-Hard* dipergunakan dalam proses industri yang menuntut ketahanan abrasi yang tinggi. Biaya pembuatan yang murah dan kateristik material yang baik membuat keluarga *Ni-Hard* banyak digunakan di industri pertambangan, pembangkit listrik, semen, keramik, cat, batu-bara, baja, dan industri pengecoran yang dipergunakan sebagai *grinding balls*, *mill liners*, *pulverizer rings* dan *roll heads*, *slurry pump parts*, *pipes* dan *elbows*, *wearbacks* dan *metalworking rolls*. Keluarga *Ni-Hard* dapat dibuat menjadi *bimetalic* material melalui proses pengecoran, untuk mencapai kekerasan yang di harapkan, *Ni-Hard* dilakukan perlakuan panas temperatur rendah, hal ini dilakukan untuk menghindari perubahan sifat serta koefesien muai yang berbeda dari dua bahan yang berbeda, Rohrig (1996).

Logam *Ni-Hard 4* merupakan salah satu keluarga besi cor putih paduan nikel dan kromium yang mempunyai kekerasan serta ketahanan abrasi yang tinggi. Logam *Ni-Hard 4* sulit untuk disatukan dengan logam lainnya bila menggunakan cara panas. Umumnya proses penyatuannya dilakukan dengan proses *Bi-metallic casting* dan *centrifugal casting*. Logam *Ni-Hard 4* juga tidak dianjurkan untuk dilakukan proses pengelasan karena akan menimbulkan retak dan hal tersebut harus dihindari. Retakan terjadi karena adanya karbida dan dapat terjadi disekitar daerah fusi dan *Heat Affected Zone (HAZ)*, Rohrig (1996), Anonimus 1 (2007).

Yoon dan Na (2003) melakukan penelitian pembuatan *Rapid Lami-nated Tooling* dengan membandingkan proses *brazing* dengan solder mendapatkan bahwa metode *brazing* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi, jika kekuatan penyambungan yang menjadi pertimbangan maka metode *brazing* menjadi pilihannya. Beberapa metode *brazing* yang dapat digunakan dalam penggabungan logam antara lain: *furnance brazing*, *induction brazing*, *dip brazing*, *resistance brazing*, dan *diffusion brazing*, American Welding Society (2007). Salah satu metode penyambungan logam *Ni-Hard 4* dengan baja karbon medium S45C dapat menggunakan metode *brazing* salah satunya menggunakan *torch brazing* tetapi penggabungan dengan metode ini dimungkinkan dapat menimbulkan cacat retak pada besi cor putih karena terjadinya perubahan temperatur yang cepat, Harsono dan Toshie (2010).

Pengembangan metode *diffusion brazing* menggunakan meterial logam induk tanpa menggunakan logam pengisi, Gao dkk. (2014), Carboga (2014), Negemiya dkk. (2019), Eroglu dan Kurt (2007). Dari penelitian tersebut didapatkan memerlukan temperatur penahanan yang tinggi sehingga penggunaan logam pengisi bertujuan menurunkan temperatur *brazing yang digunakan*. Ekperimen yang dilakukan menggunakan logam pengisi bertujuan temperatur yang digunakan lebih rendah.

Temperatur penahanan yang tepat akan mendapatkan kualitas *brazing* yang baik, apabila temperatur terlalu tinggi membuat logam pengisi meleleh, begitu juga bila temperatur terlalu rendah maka kekuatan sambungan akan turun, Bryden dan Pashby (2001). Penelitian telah dilakukan oleh Szwed dan Koniczny (2014) seperti pengaruh temperatur *diffusion brazing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik menggunakan material titanium dan stainless steel dengan tembaga sebagai logam pengisi menggunakan *vacuum furnance*. Penggunaan *vacuum furnance* tidak menghasilkan mikro porositas namun *vacuum furnance* membutuhkan investasi yang lebih tinggi dibanding *muffle furnance*.

Uji coba penyambungan dua buah material *mild steel* dengan cara metode *furnance brazing* menggunakan tembaga sebagai logam pengisi dengan tekanan sebagai variabel tetap 1,7 MPa serta temperatur dan waktu penahanan sebagai variabel variatif didapatkan kekuatan tarik maksimum sebesar 25 MPa pada temperatur 1100°C selama 30 menit. Kekuatan tarik yang rendah disebabkan adanya mikro porositas, Febriantoko (2008).

Hasil *diffusion brazing* tergantung dari tiga parameter utama seperti temperatur, waktu penahanan, kebersihan bidang kontak, dan tekanan, Thomas dkk. (2016). Penelitian ini menggambarkan cara penyambungan dan difusi antar logam induk *Ni-Hard 4* dan baja S45C menggunakan CuZn 35 sebagai logam pengisi dengan variasi temperatur. Pengaruh parameter temperatur terhadap ikatan difusi pada struktur mikro dan sifat mekanik dari proses *brazing* akan diteliti.

## **2. METODE PENELITIAN**

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menentukan variabel bebas dan variabel tetap. Variabel tetap yang dipilih adalah material logam induk (*Ni-Hard 4* dan S45C), logam pengisi (CuZn 35), besarnya penekanan 2 MPa serta waktu penahanan. Sedangkan variabel bebas yang digunakan adalah temperatur.

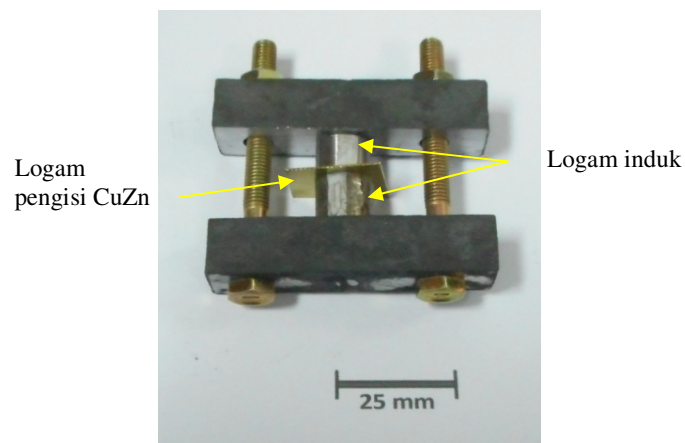
Logam induk dan logam pengisi didapat dari hasil pengujian *optical electron spectrometer* (OES) ARL 4350. Komposisi kimia dan sifat mekanik pada temperatur kamar dari logam induk baja S45C, besi cor *Ni-Hard 4* serta logam pengisi kuningan CuZn 35 ditampilkan pada tabel 1.

Baja S45C yang digunakan berasal dari kondisi saat dibeli berdiameter 14 mm, sedangkan logam *Ni-Hard 4* dibuat dari proses pengecoran logam berdiameter 12 mm. Material induk tersebut dengan proses permesinan dibuat diameter 12 mm kemudian dipotong dengan panjang  $\pm 12$  mm. Permukaan material yang akan disambungkan diproses ampelas hingga grade 120. Begitu juga dengan lembaran kuningan 0,3 mm yang digunakan sebagai logam pengisi diampelas grade 120. Pembentukan ukuran lembaran kuningan berdiameter 12 mm menggunakan gunting baja. Perlu diperhatikan kebersihan permukaan yang akan disambung. Pembersihan permukaan dilakukan dengan *ultrasonic cleaner* di dalam larutan alkohol dan dikeringkan menggunakan udara panas (*dryer*).

Tabel 1. Komposisi kimia dan sifat mekanik logam induk dan logam pengisi

Material	Komposisi kimia, wt.%	Offset yield strength, MPa	Sifat Mekanik	
			Ultimate tensile strength, MPa	Kekerasan (HV)
<b>Ni-Hard 4</b>	Fe: 76,8; C: 3,3; Cr: 8,52; Ni: 4,73; Mn: 0,48; Si: 1,65	-	500-600	650-820
<b>S45C (Anonimus 2, 2017)</b>	Fe: 98,0; C: 0,43; Mn: 0,75; P: 0,004; Cu: 0,038; Si: 0,29	343-490	569-686	160-220 HB atau 160-222
<b>CuZn 35</b>	Cu: 65,92; Zn:34,0 <i>approximately</i> 0,01 of: Fe, Ni, Zn, Sn, Pb, Sb, As, S	-	315-610	95-185

Silinder logam induk *Ni-Hard 4* dan baja *S45C* disatukan dengan logam pengisi *CuZn 35* dengan menggunakan alat bantu penekan seperti pada gambar 1. Setelah disatukan bersama alat bantu penekan logam tersebut dimasukkan dalam *muffle furnace*. Penekanan pada alat penekan sebesar 2 MPa menggunakan kunci torsi, penekanannya tegak lurus dengan permukaan dan dilakukan pada temperatur kamar.



Gambar 1. Posisi logam induk dan logam pengisi pada alat penekan

Proses *diffusion bonding* dilakukan pada temperatur 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, dan 1050°C selama 120 menit di dalam *muffle furnace* dan pendinginan dalam lambat dengan media udara terbuka. Setelah mencapai temperatur kamar sampel dipotong dengan arah tegak lurus permukaan sampel menggunakan mesin pemotong *circular saw presi (Mecatome OS 300)* kemudian di *mounting* resin. Sampel diampelas hingga grid 1000 dan dipoles menggunakan mesin *struers polishing* dan alumina 1µm sebagai bahan poles. Struktur mikro diamati menggunakan *scanning electron microscope (SEM) HITACHI SU 3500* dan Olympus GX71 dengan software *struktur analyzer DP 12* Optical Mikroskop (OM), sebelum dilakukan pengamatan sampel terlebih dahulu di etsa.

Proses etsa logam *Ni-Hard 4* menggunakan larutan vellela 5 ml HCl, 1 g asam picral dilarutkan 100 ml ethanol (95%) atau ethanol (95%). Bagian *S45C* digunakan bahan nital 5% yaitu 5 ml HNO<sub>3</sub> dilarutkan dalam 99 ml ethanol (95%) atau methanol (99%). Campuran yang mengandung 8 g CrO<sub>3</sub>, 10 mL HNO<sub>3</sub>, 10 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 200 mL H<sub>2</sub>O digunakan untuk mengetsa kuningan *CuZn 35*. Komposisi kimia fase campuran diuji dengan menggunakan *energy dispersive X-ray spectrometer (EDS) (EDAX AMATEK Material Analysis Division)* yang terintegrasi dengan peralatan *Scanning Electron Microscope*. Hasil analisis EDS dibandingkan dengan diagram fase dari material dasar.

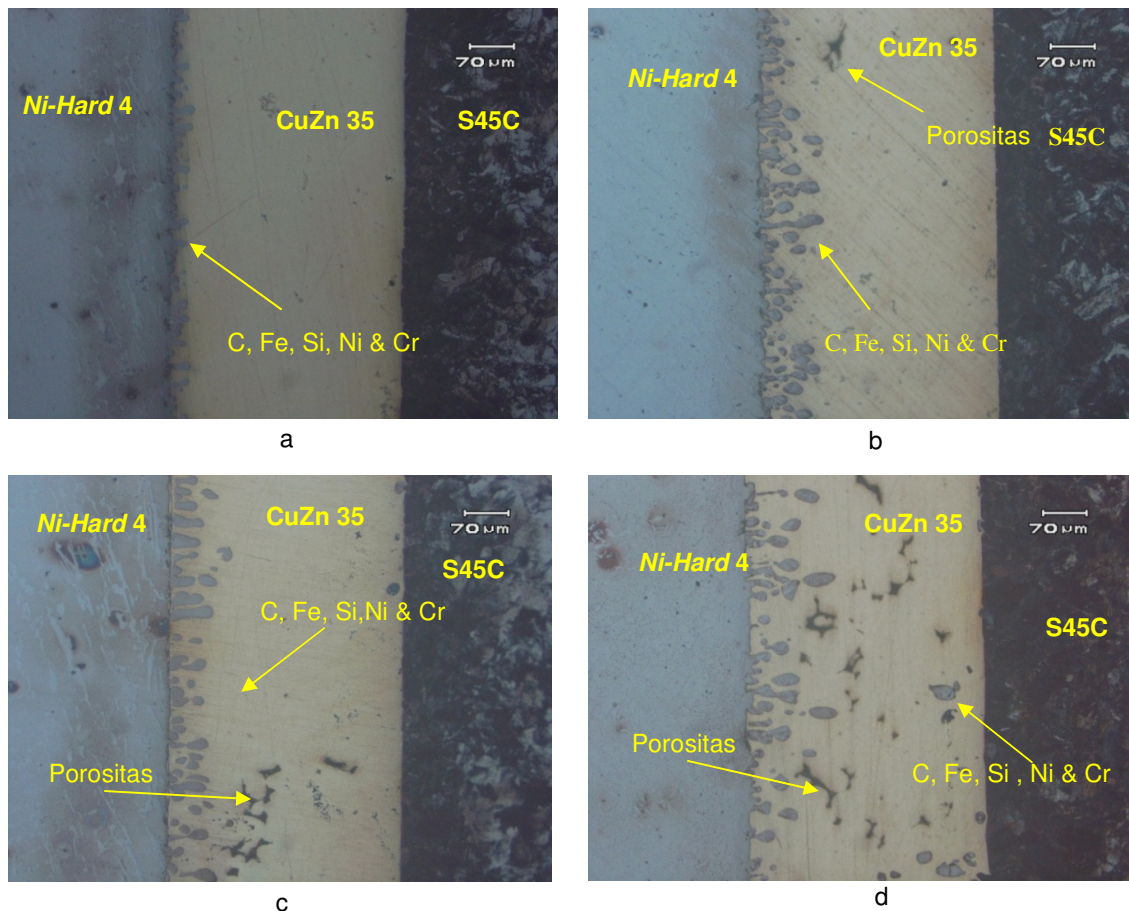
Kekuatan geser sambungan proses *brazing* dilakukan dalam temperatur kamar menggunakan alat bantu uji geser ditunjukkan pada gambar 4 yang diletakkan pada mesin uji tarik *Zwick Roell Z250*

dengan kecepatan geseran 10 mm/menit, hasil setiap temperatur uji kemudian dirata-ratakan. Pengujian kekerasan mikro dilakukan sepanjang penampang potong menggunakan alat uji *future tech FM-110* dengan beban 0,3 kgf dan waktu indentasi 15 detik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Struktur mikro

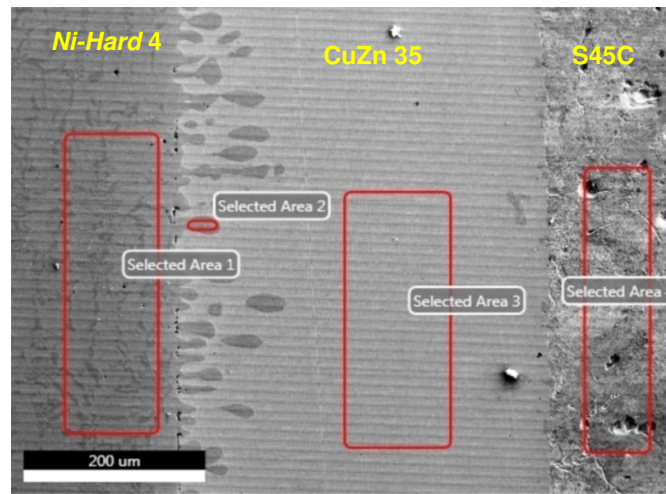
Dari hasil eksperimen *diffusion brazing* yang dilakukan, penyambungan terjadi pada semua temperatur, terjadi penyambungan kecuali pada temperatur 850°C antar logam belum terjadi penyambungan. Pada temperatur ini penyambungan terjadi hanya pada logam *Ni-Hard 4* dengan *CuZn 35*, sedangkan bagian *CuZn 35* dengan *S45C* tidak terjadi penyambungan. Pada logam yang menyambung terbentuk lapisan antara di kedua logam tersebut serta terjadi penetrasi logam pengisi. Untuk mempelajari pengaruh temperatur terhadap ikatan dapat diamati dari pengamatan sampel struktur mikro yang menyatu pada temperatur 900°C, 950°C, 1000°C, dan 1050°C selama 120 menit. Dalam pengamatan struktur mikro dapat diamati bahwa logam induk tertekan dengan baik ke logam pengisi yang menghasilkan penyambungan yang sempurna pada semua temperatur kecuali 850°C. Setiap bagian struktur mikro pada temperatur 900°C, 950°C, 1000°C, dan 1050°C selama 120 menit dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil penyambungan pada temperatur a) 900°C, b) 950°C, c) 1000°C, dan d) 1050°C waktu penahanan 120 menit

Pengamatan struktur mikro tidak menunjukkan adanya retakan disemua bagian logam induk pada semua temperatur yang terjadi penyambungan, namun terjadi mikro porositas (warna hitam pada logam pengisi) pada logam pengisi dengan jumlah serta luas yang semakin meningkat seiring peningkatan temperatur.

Perubahan struktur mikro terjadi material dasar *Ni-Hard 4* dan sebagian fase austenit menjadi fase martensit, perubahan tersebut dapat meningkatkan nilai kekerasan. Peningkatan nilai kekerasan *Ni-Hard 4* sangat diinginkan karena *Ni-Hard 4* digunakan sebagai material yang tahan abrasif. Hasil pengamatan metalografi dan pengujian EDS (gambar 3 dan tabel 2) pada daerah sambungan menunjukkan adanya perpindahan unsur C, Fe, Si, Ni, dan Cr (warna putih) hingga ke daerah CuZn 35 pada sisi *Ni-Hard 4* dengan CuZn 35. Jauhnya jarak perpindahan unsur tersebut pada daerah sambungan bervariasi tergantung pada temperatur. Seperti ditunjukkan pada gambar 2, perpindahan unsur C, Fe, Si, Ni, dan Cr yang besar terjadi pada temperatur 1050°C hingga ±250µm. Unsur yang berpindah dari *Ni-Hard 4* tidak dapat bermigrasi hingga ke sisi baja S45C. Karena adanya logam pengisi kuningan dengan ketebalan 0,3 mm sehingga dapat mencegah pembentukan fase intermetalik karbida besi (Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) yang rapuh pada bagian baja. Ketebalan lapisan antar muka pada sisi *Ni-Hard 4* dengan CuZn 35 relatif sama dan tidak terpengaruh akibat peningkatan temperatur *brazing*.



Gambar 3. Daerah EDS hasil *brazing* setelah 1000°C waktu penahanan selama 120 menit

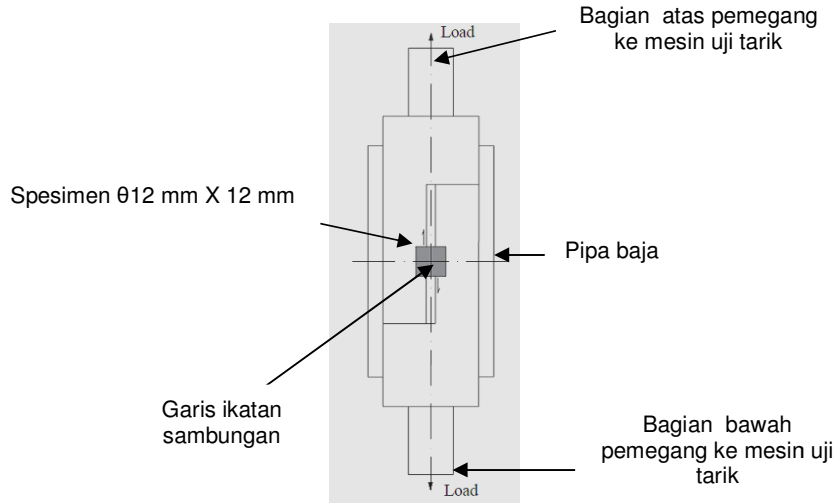
Tabel 2. Hasil pengujian EDS dan fase yang terbentuk

Posisi	Unsur							Fase
	C	Si	Cr	Ni	Fe	Cu	Zn	
Area 1	2,89	1,64	10,73	5,02	77,01	-	-	Martensit , Austenit (Y) dan karbida krom K. Rohrig (1996)
Area 2	2,80	0,94	2,1	10,5	83,66	-	-	Austenit (Y)
Area 3	-	-	-	-	-	65,94	34,06	α dan β Ferrite dan Pearlit
Area 4	0,38	-	-	-	95,62	-	-	TAI Special Steel Co. Ltd. (2017)

### 3.2 Kekerasan dan pengujian geser

Pengukuran kekerasan mikro pada logam induk *Ni-Hard 4* dan S45C serta lapisan antarmuka *Ni-Hard 4*-CuZn 35 dilakukan untuk semua sampel yang mengalami penyambungan. Nilai kekerasan maksimum terjadi pada logam induk *Ni-Hard 4* pada semua temperatur dengan rata-rata 614 HV. Peningkatan nilai kekerasan karena terjadinya perubahan fase austenit menjadi martensit. Nilai kekerasan pada logam CuZn sebesar 98,6 HV namun pada unsur C, Fe, Si, Ni, dan Cr yang membentuk lapisan antarmuka *Ni-Hard 4* dengan CuZn 35 pada semua temperatur penyambungan memiliki kekerasan rata-rata 245 HV karena terbentuknya fase austenit. Namun tidak terbentuk lapisan antarmuka antara baja S45C dengan CuZn 35, proses penyambungannya terjadi karena adanya penetrasi logam CuZn 35 ke dalam celah-celah logam S45C, serta temperatur cair baja S45C

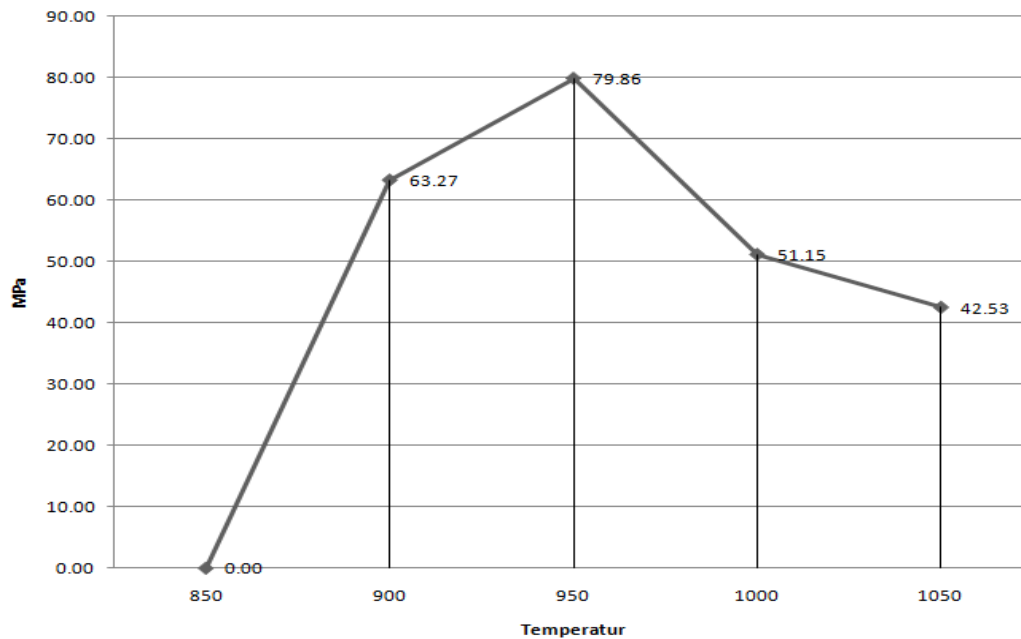
yang tinggi. Hasil pengujian kekerasan rata-rata yang terjadi pada baja S45C pada semua temperatur adalah 227 HV. Peningkatan kekerasan ini tidak terjadi secara signifikan hanya  $\pm 5$  HV jika dibandingkan dengan kekerasan awal logam S45C. Hal tersebut dikarenakan kecepatan pendinginan yang dilakukan secara lambat dalam eksperimen ini dan seperti terlihat pada logam S45C tidak mengalami perubahan struktur mikro.



Gambar 2. Alat bantu pengujian geser

Tabel 3. Kekuatan geser proses *diffusion brazing*

	Temperatur <i>diffusion brazing</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	850	900	950	1000	1050
Kekuatan geser rata-rata (MPa)	0	63,27	79,86	51,15	42,53



Gambar 3. Kekuatan geser *diffusion brazing* pada temperatur 850-1050 $^{\circ}\text{C}$

Pada temperatur *brazing* 850°C tidak memiliki kekuatan geser karena antar logam S45C dengan CuZn 35 belum terjadi penyambungan. Hal ini disebabkan belum terjadi reaksi difusi maupun penetrasi pada temperatur tersebut. Dengan menaikkan temperatur *fussion brazing* proses penyambungan terjadi, kekuatan geser meningkat dan mencapai nilai maksimum pada temperatur 950°C sebesar 79,86 MPa. Tetapi pada temperatur 1000°C dan 1050°C terjadi penurunan kekuatan geser. Peningkatan temperatur yang berlebihan dapat menimbulkan pencairan logam pengisi dan dapat menurunkan kekuatan geser. Hal ini disebabkan logam pengisi yang mencair meningkatkan diskontinuitas berupa mikro porositas di logam pengisi yang mengakibatkan penurunan kekuatan geser. Patahan uji geser terjadi di logam pengisi karena CuZn 35 mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan logam induk, Harsono dan Toshie (2010).

#### 4. KESIMPULAN

*Diffusion brazing Ni-Hard 4* dan baja S45 C menggunakan lembaran kuningan sebagai logam pengisi dilakukan pada 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, dan 1050°C selama 120 menit di tekan dalam *muffle furnance*. Dari hasil pengamatan *diffusion brazing* dapat di simpulkan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dapat dilakukan penyambungan logam induk *Ni-Hard* dengan baja S45C dengan proses *diffusion brazing* menggunakan logam pengisi kuningan CuZn 35.
2. Terjadi perpindahan unsur karbon, silikon, besi, nikel, dan krom ke dalam logam pengisi. Semakin tinggi temperatur semakin jauh jarak perpindahan tersebut.
3. Logam pengisi dengan ketebalan 0,3 mm dapat mencegah terjadinya perpindahan unsur antar logam induk.
4. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada logam induk *Ni-Hard 4* rata-rata sebesar 614 HV karena perubahan struktur mikro dari austenit menjadi martensit.
5. Kekuatan geser maksimum terjadi pada temperatur 950°C dengan kekuatan 79,86 MPa, dan apabila temperatur *diffusion brazing* dinaikkan maka kekuatan geser dapat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena terjadi pencairan di logam pengisi yang dapat meningkatkan diskontinuitas berupa mikro porositas.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak khususnya seluruh dosen dan staf di Jurusan Teknik Pengcoran logam POLMAN Bandung yang telah memberikan dukungan moril dan pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Selanjutnya penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh jajaran pimpinan di POLMAN atas ijin penggunaan segala fasilitas serta bahan sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus 1, 2007, *Brazing handbook*, in *brazing handbook*, 110, American Welding Society.
- Anonimus 2, 2017, 2017, S45C steel for machine structural use JIS G4051-special steel, TAI Special Steel Co. Ltd.
- Bryden B.G., Pashby I.R., 2001, Hot platen brazing to produce laminated steel tooling, *Journal of Materials Processing Technology*, 110(2), 206-210, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00874-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00874-8).
- Carboga C., 2014, Diffusion bonding of gray cast iron and AISI 1040 couple, *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 8(3), 311–316.
- Eroglu M., Kurt B., 2007, Diffusion bonding between high chromium white iron and low carbon steel, *Materials Science and Technology*, 23(2), 171-176, <https://doi.org/10.1179/174328407x154202>.
- Febriantoko B.W., 2008, Studi variasi suhu terhadap kuat mekanik sambungan antara baja dengan tembaga pada proses furnace brazing, *Media Mesin*, 9(1), 35-42.
- Gao, Xingjian, Zhengyi J., Dongbin W., Sihai J., Dengfu C., Jianzhong Xu, Xiaoming Z., Dianyao G., 2014, Effects of temperature and strain rate on microstructure and mechanical properties of high chromium cast iron/low carbon steel bimetal prepared by hot diffusion-compression bonding, *Materials and Design*, 63, 650–657, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.06.067>.
- Harsono W., Toshie O., 2010, *Teknologi pengelasan logam*, Pradnya Paramitha.
- Negemiya A.A., Rajakumar S., Balasubramanian V., 2019, High temperature diffusion bonding of

**Dinamika Teknik Mesin.** Siswanto dkk.: Pengaruh temperatur terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dalam proses fussion brazing Ni-Hard 4 dengan S45C menggunakan CuZn 35 sebagai logam pengisi.

austenitic stainless steel to titanium dissimilar joints, *Materials Research Express*, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab1053>.

Rohrig K., 1996, Ni-Hard material data and applications, In Ni Hard, Nickel Development Institute.

Szwed B., Konieczny M., 2014, Influence of diffusion bonding parameters on the structure and properties of titanium and stainless steel joints with copper interlayer, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 67(1), 21–25.

Thomas G., Volker T., Andreas H., 2016, Diffusion bonding: influence of process parameters and material microstructure.

Yoon S.H., Na S.J., 2003, Rapid laminated tooling by a brazing and soldering process, *Journal of Manufacturing Processes*, 5(2), 118–126, [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(03\)70047-4](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(03)70047-4).