



# Effect of Heat Treatment on Physical and Mechanical Properties of Cemented Carbide and Carbon Steel Brazed Joints

## Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Brazing Cemented Carbide Dan Baja Karbon

Yoyok Winardi

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Jln. Budi Utomo No.10, Siman,, Ponorogo, Indonesia, Indonesia

**Abstract.** Cemented carbides are joined with steel to be used as a cutting tool. Brazing is one of a method joining metals that has the potential to combine different types of materials such as cemented carbide and steel. This study aimed to investigate the effect of heat treatment on the microstructure and the distribution of the hardness value brazed joint between cemented carbide and carbon steel. The heat treatment was carried out at a temperature of 700°C, 725°C, and 750°C for 30 minutes. The joint area is observed using SEM equipped with EDS. The distribution of hardness value was tested using a micro vickers testing machine. Microstructure observations and SEM-EDS analysis show that the junction region consists of 3 parts, part I is the phase of Cu solution enriched solid, part II phase of the solid solution with the highest percentage of Ag, and part III is the eutectic phase of Ag-Cu-Zn. EDS test results in each section show that the value of element C increases when the treatment temperature is increased. The hardness test results show that the distribution of the hardness value increases when the treatment temperature is added. The hardness of the test specimen without treatment reached 112.73 VHN. The highest hardness value is 131.88 VHN at 750°C. Thus the heat treatment affects the microstructure and the rate of diffusion of metal elements. The higher the temperature, the diffusion rate of the metal element increases, so that it affects mechanical.

**Keywords-** brazing; cemented carbide; carbon steel

How to cite: Winardi Yoyok (2019) Effect of Heat Treatment on Physical and Mechanical Properties of Cemented Carbide and Carbon Steel Brazed Joints. R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal 4 (2). doi: <https://doi.org/10.21070/rem.v4i2.812>

### PENDAHULUAN

Cemented carbide merupakan salah satu jenis logam yang sangat keras, tahan aus, dan tahan terhadap temperatur tinggi. Namun dibalik sifat tersebut, cemented carbide memiliki sifat yang rapuh karena ketangguhan impak yang rendah. Umumnya cemented carbide digunakan untuk membuat peralatan manufaktur seperti pahat bubut, mata bor, pisau potong, dan lain sebagainya. Sering dijumpai di lapangan bahwa cemented carbide dalam bentuk sisipan disambung dengan holder yang terbuat dari logam lain. Metode penyambungannya ada yang permanen dan ada yang bisa dilepas (Barbatti,2007;Prakash,2004). [1] ; [2]

Brazing merupakan salah satu metode penyambungan yang banyak digunakan untuk menggabungkan 2 atau lebih material logam beda jenis. Prosesnya tergolong sangat sederhana, yaitu dengan cara mencairkan logam pengisi diantara permukaan logam induk yang akan disambung. Logam pengisi memiliki peranan yang sangat penting di dalam sambungan brazing. Kuat tidaknya sambungan brazing salah satunya tergantung dari logam

pengisi. Logam pengisi yang digunakan harus memiliki temperatur cair yang lebih rendah dari logam induk. Logam pengisi juga dituntut memiliki sifat mampu basah (wettability) yang tinggi. Disamping itu, logam pengisi harus mampu membentuk ikatan dengan logam induk dengan kuat (Schwartz,2003; Martinsen,2015; Miranda,2014). [3-5]

Salah satu jenis logam pengisi yang digunakan untuk sambungan brazing adalah paduan perak (Ag) dan tembaga (Cu). Selain murah, paduan perak dan tembaga mudah didapat, memiliki kekuatan yang tinggi, titik cair rendah, dan sifat mampu basah yang baik. Untuk keperluan brazing, biasanya paduan ini dicampur dengan logam lain salah satunya seng (Zn). Penambahan yang dimaksud mempunyai tujuan untuk menurunkan titik cairnya. Akhir-akhir ini penggunaan paduan logam pengisi perak dan tembaga mendapat perhatian lebih. Penelitian tentang kemampuan untuk mengisi gap/celah sambungan dari logam pengisi berbasis perak (Ag-Cu-In) dengan kandungan Cu dan In yang berbeda pada sambungan brazing telah dilakukan. Dalam penelitian ini, besarnya gap

sambungan divariasikan mulai dari 0-1 mm. Dari hasil pengamatan dan pengujian dapat disimpulkan bahwa aksi kapilaritas dari logam pengisi semakin menurun ketika lebar gap sambungan bertambah. Melting point paduan logam pengisi semakin rendah seiring bertambahnya kandungan indium dalam paduan. Hal ini sangat mempengaruhi kekuatan mekanik sambungan. Hasil terbaik didapatkan ketika di-brazing pada jarak 0,1 mm dengan logam pengisi 60Ag-35Cu-5In (Sisamouth, 2010). [6]

Mousavi (2012) [7] Penelitian sifat mampu basah (wettability) dan kekuatan geser sambungan cemented carbide dan baja yang di-brazing dengan dua logam pengisi, 60Ag40Cd dan 66Ag34Cd. Dari hasil pengamatan uji wettability menunjukkan bahwa semakin lama waktu brazing, sudut kontak yang terbentuk semakin menurun dan didapatkan hasil terbaik ketika di-brazing selama 20 menit. Struktur mikro area yang di-brazing menunjukkan bahwa terdapat fase primer yang diperkaya oleh tembaga dan fase eutektik diperkaya perak. Jenis logam pengisi dan suhu brazing mempengaruhi jumlah dan penyebaran endapan larutan padat perak dan tembaga. Hasil uji kekuatan mekanik menunjukkan bahwa ketika di-brazing dengan logam pengisi 66Ag34Cd di 800°C kekuatan gesernya mencapai 108 MPa.

Winardi (2018) [8] menyelidiki pengaruh post-brazed heat treatment terhadap struktur mikro dan kekuatan mekanik sambungan cemented carbide dan baja karbon menggunakan filler AgCuZn. Perlakuan panas dilakukan di tungku perlakuan panas, masing-masing pada temperatur 700°C, 725°C, dan 750°C selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa struktur mikro daerah brazing terdiri dari fase larutan padat Cu, fase larutan padat Ag, dan fase eutektik AgCuZn. Ketika temperatur perlakuan berada di temperatur liquidus logam pengisi, fase larutan padat Cu banyak menempel di permukaan logam dasar. Sedangkan pada suhu tinggi luas daerah fase larutan padat Cu meningkat. Kekuatan geser sambungan meningkat dengan meningkatnya temperatur perlakuan, dan menurun ketika temperatur perlakuan berada di atas temperatur liquidus logam pengisi. Kekuatan geser tertinggi mencapai 214,14 MPa pada temperatur 725°C. Namun dalam penelitian tersebut nilai kekerasan dan yang mempengaruhinya belum dibahas. Maka dari itu, diperlukan suatu upaya untuk menyelidiki nilai kekerasan daerah sambungan brazing. Kekerasan daerah sambungan akan diuji menggunakan alat uji kekerasan mikro vickers. Daerah brazing akan diamati struktur mikronya menggunakan SEM yang dilengkapi dengan EDS. Hubungan antara struktur mikro dan kekerasannya akan dibahas di dalam tulisan ini.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan menggunakan beberapa logam untuk dijadikan sampel uji. Logam induk yang digunakan diantaranya adalah

cemented carbide dalam bentuk Tip karbida (YG6) yang diperoleh dari Zigong carbide Ltd. China dengan dimensi 25x15x8,5 mm, baja karbon rendah SS400, dan paduan logam pengisi 40Ag30,5Cu29,5Zn. Dalam penelitian ini, proses penyambungan menggunakan torch brazing. Sumber panas menggunakan OAW (Oxy Acetylene Welding). Untuk mendapatkan hasil penyambungan yang optimal, permukaan spesimen yang akan disambung dibersihkan dari pengaruh kontaminan (kotoran, minyak, air dll). Terutama pada permukaan baja karbon, permukaannya digosok menggunakan kertas amplas (nomor 200-400) dengan arah penggosokan searah. Untuk menghilangkan pengaruh kotoran, semua spesimen baik baja karbon dan cemented carbide dibersihkan dengan cara direndam dalam larutan acetone. Skema sambungan disusun seperti pada Gambar 1. Untuk menjaga jarak antar permukaan agar tetap konstan Thickness gauge tebal 0,1 mm di tempatkan diantara permukaan spesimen uji. Untuk menghindari agar spesimen uji tidak bergerak dan jarak antar permukaan tidak berubah, maka dipakai alat bantu berupa jig, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Setelah semua spesimen uji dalam keadaan dingin, dilanjutkan dengan proses perlakuan panas untuk meratakan distribusi panas setelah brazing. Proses perlakuan panas ini dilakukan menggunakan tungku perlakuan panas. Variasi temperatur masing-masing adalah 700°C, 725°C, dan 750°C dengan waktu tahan konstan selama 30 menit. Proses perlakuan panas tersebut diawali dengan mempersiapkan peralatan dan spesimen uji. Sampel penyambungan dimasukkan ke dalam tungku. Selanjutnya tungku dinyalakan dan temperatur diatur sesuai yang diinginkan (700, 725, 750°C). Tunggu beberapa saat hingga temperatur tungku mencapai 700°C dan dalam kondisi stabil, kemudian stopwatch dinyalakan. Setelah 30 menit, tungku dimatikan dan spesimen didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Untuk temperatur 725°C dan 750°C dilakukan seperti cara di atas.

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk mengetahui dan mempelajari struktur mikro daerah sambungan brazing. Untuk mendapatkan resolusi gambar yang baik, maka dalam penelitian ini mesin SEM (Scanning Electron Microscopy) yang dilengkapi dengan EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia di daerah sambungan spesimen uji. Pengamatan struktur mikro dilakukan setelah melewati tahap preparasi (penggerindaan, pengamplasan, pemolesan, etsa). Permukaan spesimen terlebih dahulu digerinda dengan diamond grinding wheel. Pengamplasan permukaan spesimen dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dari grid 200-2000. Permukaan yang telah diamplas, dipoles menggunakan pasta poles (autosol). Larutan etsa Asam nital (98% Alkohol -2 % HNO<sub>3</sub>) digunakan sebagai larut etsa.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan logam pengisi terutama kekerasan pada daerah sambungan brazing. Beban yang digunakan

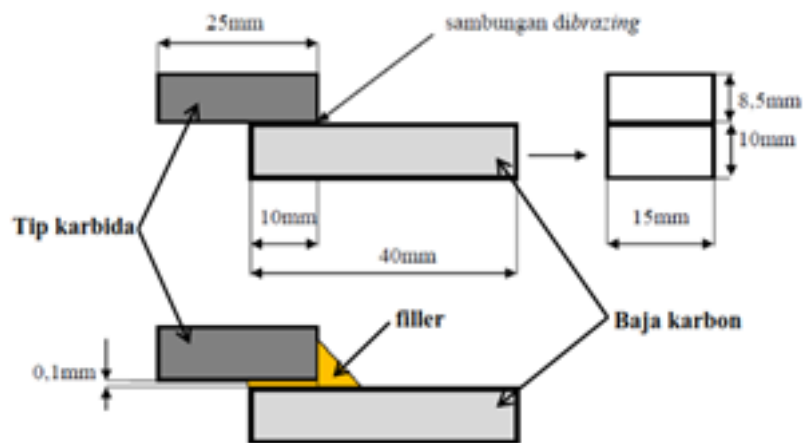


Figure 1. Skema sambungan

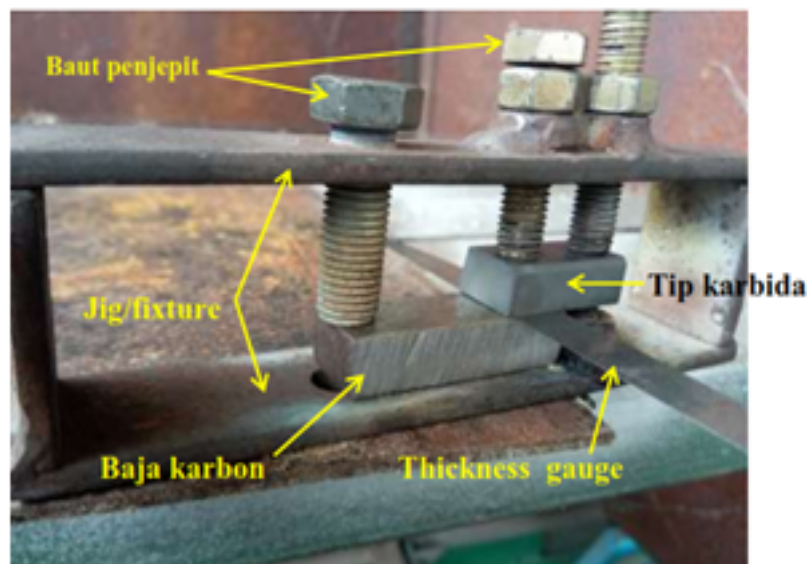


Figure 2. Jig/fixture

yaitu 9,8 kgf dengan waktu tahan indentasi selama 15 detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Struktur mikro dan uji EDS

Struktur mikro sambungan cemented carbide dan baja karbon di-brazing dengan paduan Ag-30Cu-30Zn diamati menggunakan Scanning electron Microscope (SEM). Morfologi penampang lintang antara logam

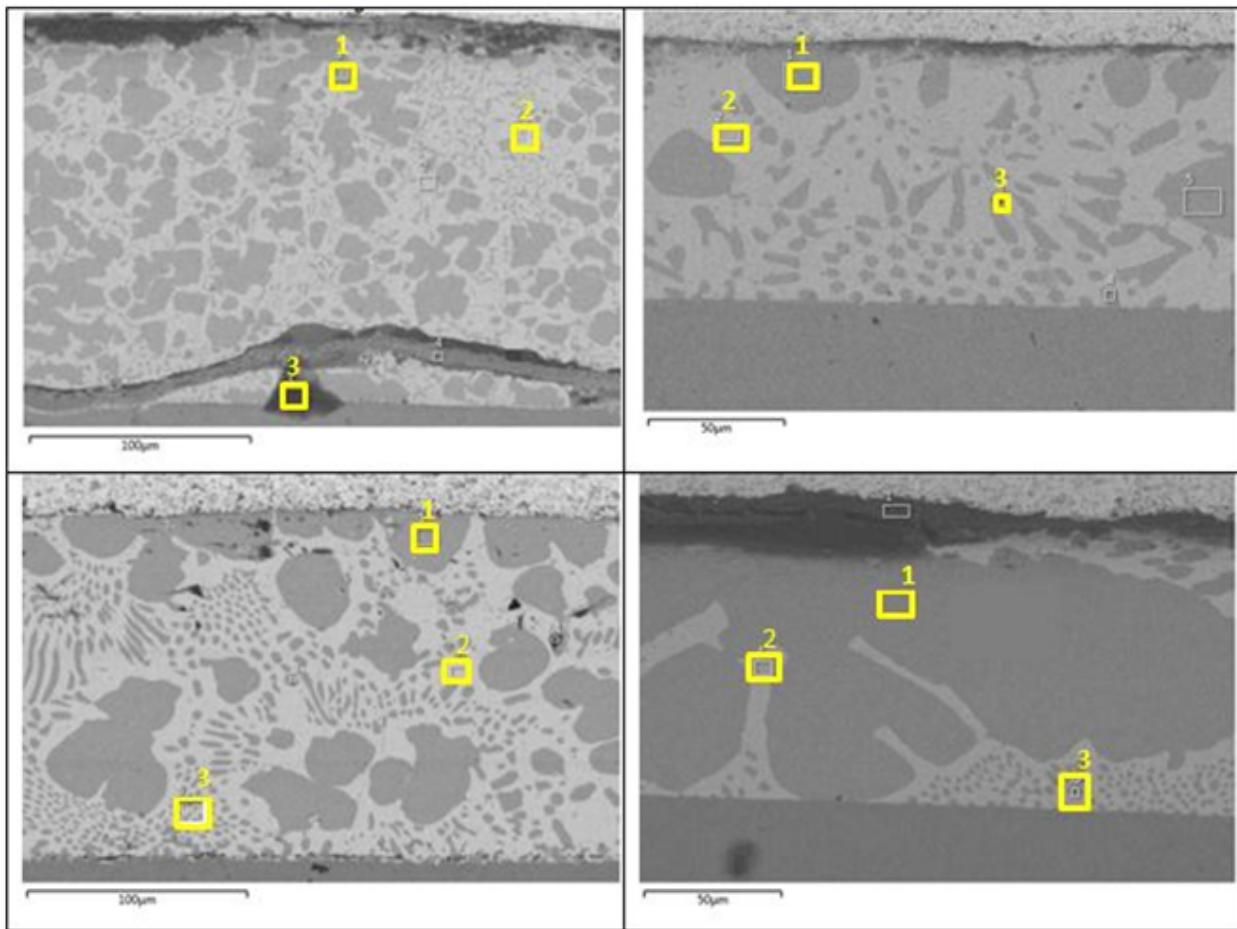
Berdasarkan hasil uji EDS seperti yang disajikan di dalam Tabel 1, menunjukkan bahwa bagian 1 merupakan daerah yang diperkaya kandungan Cu. Daerah ini merupakan larutan padat Cu yang terbentuk selama proses pendinginan. Bagian berwarna terang adalah bagian 2 yang merupakan larutan padat logam pengisi yang diperkaya Ag. Sebagai unsur utama dalam komposisi paduan logam pengisi, Ag berfungsi sebagai matriks dalam

paduan. Karena Ag memiliki sifat warna dasar yang terang, maka Ag mendominasi diseluruh bagian yang diamati. Sedangkan bagian 3 merupakan fase eutektik Ag-Cu-Zn dengan kandungan unsur Ag-Cu-Zn yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan bagian 1.

pengisi dengan logam dasar, dan distribusi elemen brazing ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, masing-masing struktur mikro terbagi menjadi 3 bagian utama, bagian 1 daerah berwarna gelap, daerah berwarna terang merupakan bagian 2, dan bagian 3 daerah berwarna gelap berukuran lebih kecil yang tersebar diseluruh bagian berwarna terang.

Berdasarkan diagram fase paduan Ag-Cu, struktur mikro paduan terdiri dari fase  $\alpha$ -Cu+ $\beta$ Ag. Sedangkan fase eutektik bisa tercapai pada suhu 780oC pada komposisi 72%Ag-28Cu (Callister,1991). [9] Pada proses ini fase eutektik juga terbentuk di daerah sambungan cemented carbide dan baja karbon dengan proses torch



**Figure 3.** Struktur mikro daerah brazing dan titik uji EDS; a) non perlakuan panas; b) 700°C; c) 725°C; d) 750°C.

brazing, seperti ditunjukkan pada bagian 3 Gambar 3. Gambar 3 (a). Fenomena tersebut disebabkan karena adanya penambahan unsur Zn ke dalam sistem paduan (Jiang, 2016) [10]. Zn memiliki suhu leleh yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Ag dan Cu.

Gambar 3 b merupakan struktur mikro sambungan brazing dengan perlakuan panas pada suhu 700°C. Berdasarkan pengamatan, susunan struktur mikro daerah sambungan telah terjadi perubahan. Jumlah fase primer larutan padat Cu menurun. Namun luas fase larutan padat Cu meningkat yang disebabkan oleh penurunan fase eutektik Ag-Cu-Zn. Peristiwa yang sama juga terjadi pada suhu 725°C dengan waktu konstan selama 30 menit. Secara signifikan luas fase primer larutan padat Cu meningkat, seperti ditunjukkan pada Gambar 4c. Terlihat bahwa homogenitas struktur mikro telah tercapai. Ketika suhu perlakuan berada pada suhu liquidus logam pengisi, elemen pada logam pengisi mencair dengan baik dan bercampur satu sama lainnya. Selain itu fenomena ini terjadi selama proses pendinginan. Dalam kondisi cair, atom-atom Cu yang berdekatan memiliki cukup waktu untuk menyatu membentuk padatan, sehingga luas fase larutan padat ini semakin meningkat. Kajian analisis ini juga didukung oleh pendapat yang dinyatakan oleh

(Wang, 2008). [11]

Suhu brazing yang lebih tinggi menghasilkan kecepatan reaksi antar elemen, yang mendukung peningkatan ketebalan reaksi lapisan logam pengisi brazing. Selain itu, tingkat kelarutan tembaga ke dalam paduan sangat tinggi, sehingga menghasilkan lebih banyak larutan padat berbasis Cu. Sementara itu, lapisan larutan padat diperkaya Cu meningkat di daerah dekat permukaan

Berdasarkan Tabel 1, unsur C mampu berdifusi ke dalam fase larutan padat logam pengisi dan tersebar keseluruhan daerah sambungan dengan komposisi bervariasi. Tren dari laju difusi unsur C semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur perlakuan. Pada temperatur 700°C, pengamatan unsur C mencapai 20,5% atom, kemudian meningkat menjadi 30,6% pada 725°C, dan tertinggi pada 750°C mencapai 51,2%. Difusi unsur C tersebut dapat memberikan efek yang positif terhadap sifat mekanik sambungan, terutama kekarasannya. Zhang (2005) [12] menyatakan bahwa sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh difusi unsur logam dasar ke dalam daerah logam pengisi. Semakin banyak dan semakin dalam difusi unsur dari cemented carbide jika dibandingkan dengan permukaan baja karbon. Adanya fenomena ini menunjukkan bahwa daerah tersebut terjadi gaya

**Table 1.** Rekapitulasi hasil uji EDS

Temperatur Bagian (oC)	Unsur (%atom)				
	Ag	Cu	Zn	Fe	C
I	3.7	54.3	20.9	-	21.1
Non	62.0	19.3	18.7	-	-
III	40.8	31.8	27.6	-	-
I	3.2	49.8	26.5	-	20.5
700 II	79.3	7.4	13.3	-	-
III	24	46	30	-	-
I	2.5	43.8	23.2	-	30.6
725 II	86.7	4.7	8.6	-	-
III	2.6	44.6	21.4	-	31.4
I	30.4	9.6	6.5	-	51.2
750 II	3.9	36.4	22.6	0.8	36.2
III	24.6	44.3	26.1	-	-

adhesi yang kuat antara partikel logam pengisi dan logam dasar sehingga menyebabkan konsentrasi partikel Cu di dekat permukaan cemented carbide. Peristiwa berbeda terjadi ketika suhu perlakuan ditingkatkan di atas suhu leleh logam pengisi, yaitu menjadi 750°C, dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4d. Luas fase primer larutan padat Cu bertambah semakin besar.

Menurut Jiang., et al (2016), [10] peningkatan luas fase larutan padat Cu disebabkan karena tingginya laju difusi pada temperatur tinggi. Ketika suhu perlakuan meningkat di atas suhu liquidus logam pengisi, viskositasnya menurun drastis dan menyebabkan pertumbuhan butir baru. Karena fase larutan padat Cu memiliki efek penguatan pada sambungan, maka sifat mekanik sambungan brazing sangat bergantung pada bentuk dan kuantitas larutan padat Cu (s.s) yang menyebar di lapisan logam dasar (Fe dan C) maka sifat mekanik terutama kekerasannya akan meningkat.

## 2. Uji kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan lapisan logam pengisi setelah proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode mikrovickers dengan gaya penekanan sebesar 9,8 kgf dengan waktu tekan selama 15 detik sesuai standart ASTM E92. Gambar 3 menunjukkan grafik distribusi nilai kekerasan mikrovickers di daerah lapisan brazing pada masing-masing temperatur perlakuan dengan waktu tahan konstan selama 30 menit. Terlihat pada gambar bahwa nilai kekerasan pada daerah lapisan logam pengisi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur perlakuan. Ketika temperatur perlakuan berada pada temperatur 700°C, nilai kekerasan lapisan logam pengisi tidak mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada temperatur ini belum terjadi peningkatan difusi elemen logam dasar ke dalam cairan logam pengisi.

Proses ini masih berada di bawah temperatur liquidus logam pengisi, dan juga masih berada di bawah temperatur transformasi fasa dari logam dasar (SS400). Ketika temperatur perlakuan berada pada kisaran temperatur liquidus logam pengisi (725°C), dan juga berada pada temperatur transformasi fasa logam dasar (727°C), nilai kekerasan pada daerah lapisan logam pengisi meningkat dari 112 VHN menjadi 127,45 VHN.

Distribusi nilai kekerasan semakin meningkat ketika temperatur perlakuan ditingkatkan di atas temperatur liquidus logam pengisi, yaitu mencapai 131,88 VHN pada 750oC. Nilai kekerasan ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan pada penelitian yang dilakukan oleh Venkateswaran (2017) [13] bahwa besarnya nilai kekerasan maksimum adalah 126 VHN. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Khoram (2015), [14] nilai kekerasan tertinggi mencapai 150 VHN menggunakan lazer brazing.

Jiang (2016) [10] menyatakan bahwa meningkatnya temperatur perlakuan menyebabkan sebagian unsur logam dasar berdifusi ke dalam lapisan logam pengisi. Pada suhu tinggi, laju difusi akan semakin meningkat. Zhang (2005) [12] juga berpendapat bahwa sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh difusi unsur logam dasar ke dalam daerah logam pengisi. Semakin banyak dan semakin dalam difusi unsur dari logam dasar (Fe dan C) maka sifat mekanik akan meningkat, tetapi difusi unsur yang berlebihan mengakibatkan lapisan logam pengisi menjadi keras dan rapuh, sehingga kekuatan mekanik menurun.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada masing-masing perlakuan, menunjukkan bahwa distribusi nilai kekerasan semakin meningkat. Ketika logam dasar dipanaskan, elemen yang ada di dalam logam dasar akan berdifusi masuk ke dalam logam pengisi. Intensitasnya tergantung dari energi yang dimiliki oleh atom logam

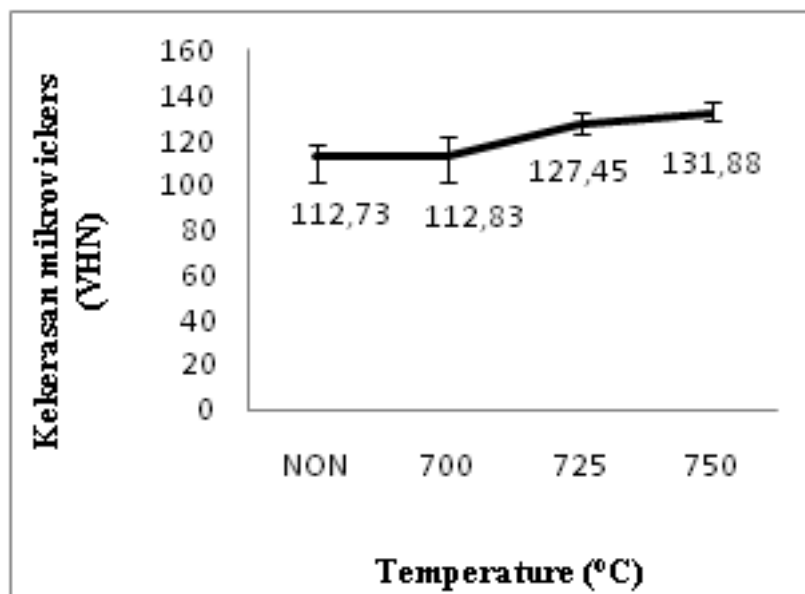


Figure 4. Distribusi nilai kekerasan mikrovickers daerah lapisan brazing

dasar. Energi untuk berdifusi disebabkan oleh input panas yang diterima oleh atom. Semakin tinggi input panas, maka energi atom semakin tinggi. Sehingga terjadinya difusi atom juga semakin meningkat.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Daerah sambungan brazing terdiri dari 3 bagian utama, bagian 1 adalah fase larutan padat yang diperkaya Cu, bagian 2 fase larutan padat yang banyak mengandung Ag, dan bagian 3 merupakan fase eutektik paduan logam pengisi AgCuZn.

2. Hasil uji EDS, terdapat peningkatan difusi unsur C pada masing-masing temperatur perlakuan. Tren nilai unsur C berbanding lurus dengan penambahan temperatur perlakuan.

3. Hasil uji kekerasan menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan pada masing-masing temperatur. Tanpa adanya perlakuan panas, menghasilkan nilai kekerasan paling rendah yaitu 112,73 VHN. Kemudian nilai kekerasan bertambah seiring kenaikan temperatur perlakuan. Nilai kekerasan tertinggi adalah 131,88 VHN pada temperatur 750°C.

### REFERENCES

[1] C. Barbatti, J. Garcia, G. Liedl, and A. Pyzalla, "Joining of cemented carbides to steel by laser beam welding," *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, vol. 38, no. 11, pp. 907–914, 2007. [Online]. Available: [10.1002/mawe.200700196](https://doi.org/10.1002/mawe.200700196); <https://dx.doi.org/10.1002/mawe.200700196>

[2] Prakash, "Fundamentals and General Applications

of Hardmetals," and others, Ed., vol. 1. Elsevier Ltd, 2014.

- [3] M. Schwartz. USA: ASM International, 2003.
- [4] K. Martinsen, S. J. Hu, and B. E. Carlson, "Manufacturing Technology Joining of dissimilar materials," and others, Ed. CIRP Annals, 2015.
- [5] R. M. Miranda, "Joining Cemented Carbides," and others, Ed., vol. 1. Elsevier Ltd, 2014.
- [6] L. Sisamouth, M. Hamdi, and T. Ariga, "Investigation of gap filling ability of Ag–Cu–In brazing filler metals," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 504, no. 2, pp. 325–329, 2010. [Online]. Available: [10.1016/j.jallcom.2010.05.129](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.05.129); <https://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.05.129>
- [7] S. A. A. Mousavi, P. Sherafati, and M. M. Hoseinion, "Investigation on Wettability and Metallurgical and Mechanical Properties of Cemented Carbide and Steel Brazed Joint," *Adv. Mater. Res*, vol. 445, pp. 759–764, 2012.
- [8] Y. Winardi, Triyono, and N. Muhayat, "Effect of Post-Braze Heat Treatment on the Microstructure and Shear Strength of Cemented Carbide and Steel Using Ag-Based Alloy," pp. 012 039–012 039, 2018. [Online]. Available: [10.1088/1757-899x/333/1/012039](https://doi.org/10.1088/1757-899x/333/1/012039); <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/333/1/012039>
- [9] W. D. Callister, "Materials science and engineering: An introduction (2nd edition)," *Materials & Design*, vol. 12, no. 1, pp. 59–59, 1991. [Online]. Available: [10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9); [https://dx.doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://dx.doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- [10] H. Jiang, Q. Chen, Y. Wang, and Li, "Effect of brazing temperature and holding time on joint properties of induction brazed WC-Co/carbon steel using Ag-

- based alloy,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 229, pp. 562–569, 2016.
- [11] H. Wang, L. Chiu, and H. Chang, “Effect of Tin Content on the Microstructure and Property of Brazed WC-Co / CrMo Alloy Steel Joints,” *Mater. Soc. Annu. Meet.*, vol. 50, no. 100, pp. 596–599, 2008.
- [12] J. Zhang, B. Feng, X. Zhang, and Jing, “Ag - Cu - Zn alloy for brazing TiC cermet / steel,” vol. 59, pp. 110–113, 2005.
- [13] V. T., V. Xavier, S. D., B. Pant, and J. R. G.D., “Brazing of stainless steels using Cu-Ag-Mn-Zn braze filler: Studies on wettability, mechanical properties, and microstructural aspects,” *Materials & Design*, vol. 121, pp. 213–228, 2017. [Online]. Available: [10.1016/j.matdes.2017.02.057](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.057); <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.057>
- [14] A. Khorram and M. Ghoreishi, “Optics & Laser Technology Comparative study on laser brazing and furnace brazing of Inconel 718 alloys with silver based filler metal,” *Opt. Laser Technol.*, vol. 68, pp. 165–174, 2015.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*

**Article History:**

*Received: 8 September 2019 | Accepted: 8 November 2019 | Published: 30 December 2019*