

Pengaruh Laju Aliran Gas Pelindung terhadap Kekuatan Geser Sambungan Difusi Baja Aisi 1045 Dan Tembaga C10100 Dengan Menggunakan Tungku Perlakuan Panas

Zulkifli Amin^{1,*}, Jon Affi¹, Dedison Gasni¹, Rahmad Diaz¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: zulkifliamin@ft.unand.ac.id^{*}

Abstrak

Penyambungan dua logam sejenis biasanya dilakukan dengan pengelasan fusi. Penyambungan akan sulit atau bahkan tidak mungkin jika logam-logam yang disambung punya sifat fisik berbeda jauh seperti temperatur leleh dan koefisien ekspansi termal. Proses penyambungan yang sesuai adalah proses penyambungan padat tanpa melibatkan pencairan logam. Salah satu proses penyambungan padat yang menghasilkan sambungan yang presisi adalah penyambungan difusi. Penyambungan difusi dapat dilakukan menggunakan tungku vakum yang dilengkapi pengaturan temperatur, tekanan sambungan dan tingkat kevakuman. Ruang proses penyambungan difusi pada tungku vakum ini dapat digantikan dengan tungku perlakuan panas asalkan logam yang disambung terlindungi gas pelindung selama proses pemanasan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1045 dengan tembaga murni komersil C10100. Penyambungan dilakukan pada temperatur 760°C dengan variasi laju aliran gas argon yaitu, 0 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit. Kualitas sambungan diuji dengan uji geser sedangkan karakterisasi sambungan diamati dengan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Pengaruh gas pelindung terhadap laju difusi atom pada antar muka dikarakterisasi menggunakan EDX. Kekuatan geser tertinggi yakni 99 MPa diperoleh pada penggunaan gas argon dengan laju aliran tertinggi yaitu 5 liter/menit. Hal ini dikonfirmasi dengan kedalaman atom berdifusi yaitu sekitar 1.8 µm. Perlindungan maksimum dari gas argon telah mencegah oksigen masuk ke daerah sambungan sehingga proses difusi bisa berlangsung lebih sempurna.

Kata Kunci : Penyambungan difusi, Gas pelindung, Kekuatan geser, Daerah difusi.

Abstract

Connection of same materials of two metal components can be done using fusion welding. The connection is difficult to be carried out or cannot be carried out if the physical properties of the metals to be connected are significantly different such as melting temperature and coefficient of thermal expansion. The appropriate connection process of the metals is solid state connection without melting the metals. One of the solid state connection process which resulted in precision connection is diffusion bonding. Diffusion bonding can be carried out in vacuum furnaces which is equipped with temperature, pressure, and degree of vacuum regulator. The chamber of the diffusion bonding process in vacuum furnace can be replaced by a conventional heat treatment furnace in condition that the metals which to be connected are shielded by shielding gas during the process. The metals used in this study are AISI 1045 steel and C10100 copper. The connection is done at the heating temperature of 760°C with the argon gas rate of flow variation of 0 liter/minute, 3 liter/minute, and 5 liter/minute. Characteristics of the connection is studied by mechanical shear strength test and microstructure observation. Shear test was conducted using the Universal Testing Machine mini. Microstructure observation made in connection with the use of optical microscopy and Scanning Electron Microscope (SEM). The effect of shielding gas to the atomic diffusion rate in the interlayer is characterized using Energy Dispersive X-Ray (EDX). The highest bond shear strength of 99 MPa is obtained at the connection process using the highest rate of flow of argon gas variation of 5 liter/minute. This condition is confirmed that the thick diffusion area at the observation point is about 1.8µm. The maximum shield of the argon gas prevents the oxygen to penetrate into the interlayer area, so the diffusion process can occur better.

Keywords: Steel AISI 1045, copper C10100, free vacuum diffusion bonding, shear strength, microstructure

1. Pendahuluan

Untuk menyambungkan dua material yang berbeda temperatur lelehnya bisa dilakukan dengan metode penyambungan difusi. Penyambungan difusi memiliki sifat dan struktur mikro yang sama dengan logam induknya serta tidak menimbulkan perubahan dimensi yang besar pada material sambungan. Hasil optimal diperoleh jika proses dilakukan dalam keadaan vakum namun karena keterbatasan alat yang dimiliki dan mahalnya proses, maka proses tanpa pompa vakum menjadi menarik untuk dilakukan. Masalah yang terjadi saat proses penyambungan difusi tanpa vakum bisa diatasi dengan menggunakan gas pelindung, seperti untuk menghalangi reaksi oksida yang terjadi pada material yang disambung. Pada penelitian ini efek dari gas pelindung akan diamati berdasarkan laju pemberian gas pelindung yaitu gas argon (Ar) selama proses penyambungan difusi.

2. Kajian Pustaka

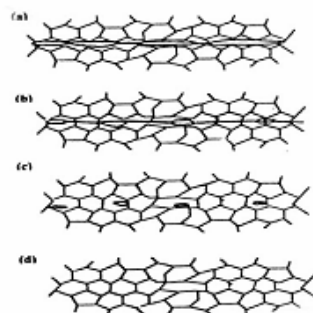
2.1 Pengertian Penyambungan Difusi

Penyambungan difusi merupakan proses penyambungan antara dua material yang dilakukan dengan cara menyambungkan logam pada keadaan padat dengan penekanan dan pemanasan. Proses penyambungan difusi terjadi karena adanya difusi antar atom material. Dalam proses penyambungan difusi dibutuhkan permukaan yang bersih dan rata serta meminimalisir adanya butiran-butiran pengotor yang menghalangi proses difusi atom[2]. Adapun karakteristik proses penyambungan difusi adalah:

- Sambungan terjadi pada temperatur di bawah temperatur leleh material yaitu 0,5 – 0,8 dari temperatur leleh.
- Penyatuan antar permukaan kontak dihasilkan dengan memberikan beban yang kecil sehingga tidak terjadi deformasi plastis yang berlebihan.
- Lapisan antar permukaan dapat diberikan untuk membantu meningkatkan aktivitas pembentukan sambungan[2].

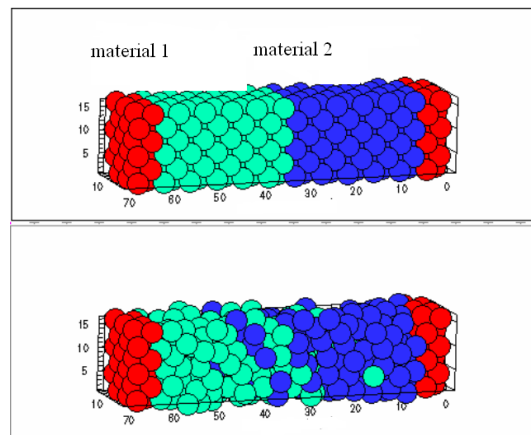
2.2 Mekanisme Penyambungan Difusi

Penyambungan difusi pada dasarnya merupakan penyambungan dua permukaan material padat secara migrasi atom. Penyatuan permukaan terjadi karena adanya proses difusi atom antar permukaan material yang telah mengalami deformasi plastis setelah penekanan. Mekanisme dari penyatuan permukaan proses penyambungan difusi ada empat tahap seperti terlihat pada Gambar 1. Pada tahap pertama, *terbentuk titik kontak (asperity) diantara kedua permukaan material seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(a)*. Kemudian pada tahap kedua, ditandai dengan terjadinya deformasi plastis dengan cara pemberian penekanan untuk memperbanyak titik kontak (*asperity*) sehingga rongga pada material sambungan berkurang seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(b). Setelah itu, pada tahap ketiga, dilakukannya proses pemanasan sehingga atom – atom pada material dasar bergetar dan bergerak sehingga meninggalkan kekosongan yang akan diisi oleh atom lain, hal ini akan menghasilkan ikatan yang kuat antar atom seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(c). Terakhir pada tahap keempat, setelah dilakukan pendinginan didapatkan permukaan kedua material dasar telah menyatu Gambar 2.1(d).



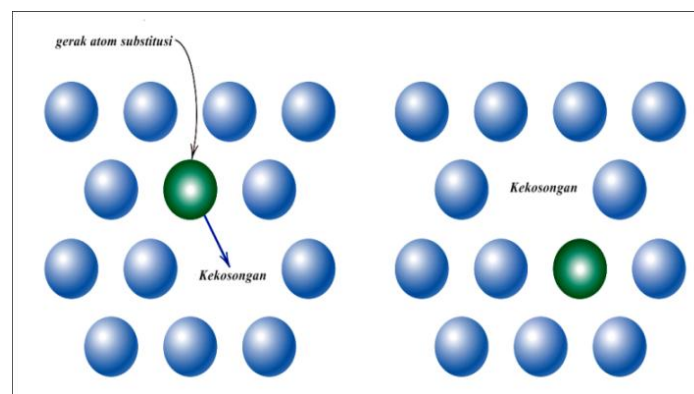
Gambar 1. Mekanisme penyambungan difusi[3]

Difusi merupakan proses perpindahan atom dari satu tempat ke tempat lainnya. Ada dua tipe dari difusi material yaitu :*self diffusion* dan *interdiffusion*. *Self diffusion* adalah proses perpindahan atom yang terjadi pada atom satu jenis bahan sedangkan *Interdiffusion* adalah perpindahan atom antara dua atau lebih jenis bahan yang berbeda [3]. Pada penyambungan difusi terjadi proses *interdiffusion* karena memakai dua material yang berbeda jenis dan dapat dilihat pada Gambar 2.



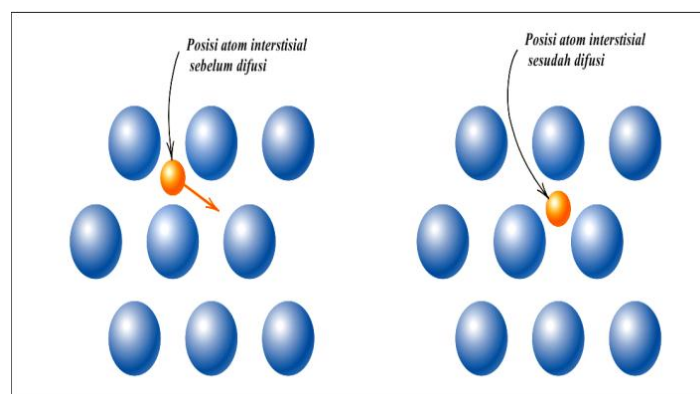
Gambar 2. Mekanisme *interdiffusion* [2]

Pada Gambar 2 dapat kita lihat bahwa atom material berpindah satu sama lain. Atom yang berpindah tersebut bergerak karena adanya pemanasan yang diberikan pada saat kedua material tersebut disatukan. Pada saat pemanasan tersebut berlangsung mekanisme difusi. Mekanisme difusi ada dua macam yakni difusi *vacancy* dan *interstitial*. *Vacancy* adalah mekanisme perpindahan atom karena ada kekosongan tempat sehingga kekosongan ini akan diisi oleh atom yang lain. Atom yang mengisi kekosongan tersebut memiliki ukuran diameter atom yang hampir sama dengan diameter atom material yang diisi. Untuk mekanisme yang lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme difusi *vacancy* [3]

Interstitial adalah mekanisme perpindahan atom yang terjadi pada celah antar atom. Hal ini terjadi karena ukuran material yang bergerak memiliki perbedaan diameter yang cukup besar sehingga bisa menyusup diantara celah antar atom [3]. Mekanisme difusi *interstitial* diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme difusi *interstitial* [3]

2.3 Parameter Proses

Ada beberapa parameter yang berpengaruh terhadap hasil penyambungan difusi yakni temperatur, tekanan, kekasaran permukaan, gas pelindung dan waktu. Parameter ini menentukan kekuatan dari sambungan yang dibuat. Temperatur merupakan parameter yang terpenting dalam proses penyambungan difusi karena berhubungan dengan laju difusi atom. Sedangkan, tekanan akan memberikan deformasi puncak-puncak kekasaran permukaan sehingga akan menambah jumlah dari titik kontak antar material. Kekasaran permukaan berhubungan dengan banyaknya titik kontak antar permukaan material yang akan disambung. Semakin halus permukaan material maka titik kontak yang terhubung antar kedua material akan semakin banyak. Gas pelindung, penyambungan difusi dilakukan dalam keadaan tanpa vakum dengan penambahan gas pelindung pada waktu pemanasan. Terakhir, waktu merupakan lamanya keadaan atom berdifusi antar material yang disambung.

2.4 Material Uji

Beberapa material yang dapat disambungkan dinilai berdasarkan sifat material yang akan disambungkan tersebut. Karena penyambungan difusi bisa dilakukan dengan tetap mempertahankan sifat dasar dari material yang disambungkan. Pada material pengujian antara baja dan tembaga dipilih berdasarkan sifat mampu las baja yang tinggi dan daya hantar listrik yang baik dari tembaga. Berikut adalah karakteristik dari kedua jenis material yang akan disambungkan :

1. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk ke dalam kelompok baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,42-0,5%. Temperatur leleh dari baja karbon AISI 1045 adalah $\pm 1520^{\circ}\text{C}$ [4]. Adapun sifat yang dimiliki baja karbon AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat baja karbon AISI 1045

	Satuan (Metric)
Densitas	7,87 g/cm ³
Kekuatan Tarik	565 Mpa
Kekuatan Luluh	310 Mpa
Titik Leleh	$\pm 1520^{\circ}\text{C}$
Kadar Karbon	0.492 %

2. Tembaga Murni Komersil C10100

Tembaga termasuk logam non *ferro* yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik. Tembaga murni komersil merupakan tembaga yang mempunyai kandungan unsur tembaga hampir 100% dengan temperatur leleh $\pm 1085^{\circ}\text{C}$ [5]. Adapun sifat dari tembaga murni komersil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat tembaga murni komersil C10100

	Satuan (Metric)
Densitas	8,94 g/cm ³
Kekuatan Tarik	210 MPa
Kekuatan Luluh	69 MPa
Titik Leleh	$\pm 1085^{\circ}\text{C}$
Kadar Tembaga	99.8%

2.5 Karakteristik gas Argon



Gambar 5. Tabung yang memuat gas argon

Argon adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ar dan nomor atom 18. Gas mulia ke-3, di periode 8, argon membentuk 1% dari atmosfer bumi[6]. Argon memiliki nilai penting bagi industri logam dan digunakan sebagai pelindung gas inert dalam arc welding dan pemotongan logam. Gas argon yang digunakan sebagai pelindung disimpan dalam bentuk tabung seperti yang terlihat pada Gambar 5. Kegunaan lain argon adalah sebagai selimut non-reaktif dalam pembuatan titanium dan unsur reaktif lainnya, serta sebagai atmosfer pelindung untuk menumbuhkan kristal silikon dan germanium. Unsur ini digunakan dalam *scuba diving* untuk mengembangkan *drysuit* karena sifatnya yang tidak reaktif serta kemampuannya mengisolasi panas. Gas argon juga tidak memberikan kerusakan ekologis pada lingkungan sekitarnya karena sifatnya yang tidak reaktif. Jadi bisa dikatakan bahwa penggunaan gas argon aman untuk lingkungan. Argon merupakan gas yang terjadi secara alami dan akan terlarut dengan cepat[7].

3. Metodologi

3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan yakni sebagai berikut:

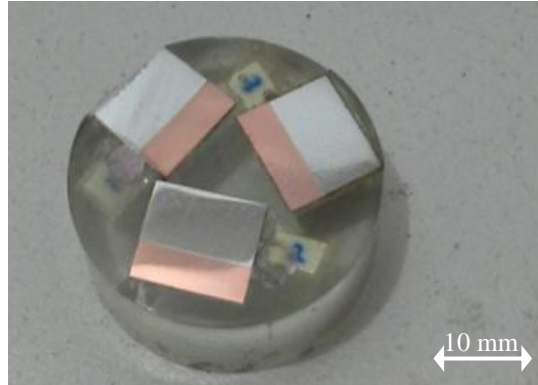
1. Pemotongan Baja AISI 1045 dan Tembaga C10100
Spesimen baja AISI 1045 akan disiapkan dengan ukuran panjang 23 mm, lebar 12 mm, tinggi 7 mm sedangkan tembaga C10100 dengan ukuran panjang 23 mm, lebar 12 mm, tinggi 4 mm untuk tiap material masing – masing tiga buah.
2. Penyiapan alat
Alat-alat yang akan digunakan untuk melakukan proses penyambungan difusi tanpa vakum yakni alat uji tekan dan *furnace* serta alat dan *clamp* untuk melakukan pengujian geser.
3. Pengamplasan dan pemolesan spesimen
Penghalusan dimulai dengan penghalusan permukaan menggunakan amplas dengan kekasaran 100, 500, 800, 1500 dan 2000 mesh serta terakhir dilakukan pemolesan dengan beludru yang ditaburi serbuk alumina.
4. Pelaksanaan penyambungan difusi tanpa vakum yaitu :
Pemasangan spesimen pada *clamp*/pencekam, penekanan spesimen dengan pembebanan sebesar 113 MPa, pemanasan spesimen pada temperatur 760°C dengan pemberian variasi gas argon yaitu 0 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit serta pendinginan spesimen.
5. Pemotongan spesimen yang telah disambung
Spesimen yang telah tersambung akan dipotong hingga berukuran panjang 12 mm, lebar 11 mm, dan tinggi 3 mm dengan menggunakan gergaji. Dimensi dari hasil pemotongan dengan gergaji untuk tiap spesimen dianggap seragam.
6. Pengujian geser
Pengujian geser dilakukan pada sambungan untuk mendapatkan nilai kekuatan geser sambungan dengan menggunakan alat uji geser. Pengujian dilakukan pada tiap spesimen dengan variasi argon 0 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada penjepit dan memberikan pembebanan yang tegak lurus tepat pada daerah sambungan. Untuk gambar alat uji geser yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat uji geser

7. Penyiapan spesimen metalografi

Penyiapan spesimen dilakukan dengan pemberian resin untuk memudahkan pengeleman material pada proses penghalusan permukaan objek yang akan diamati. Untuk langkah selanjutnya permukaan spesimen yang telah diberi resin dihaluskan kembali dimulai dengan pengamplasan dengan kekasaran 100 sampai dengan 2000 mesh dan dilanjutkan dengan pemolesan dengan menggunakan alumina. Spesimen yang telah disiapkan untuk pengujian metalografi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spesimen pengujian metalografi

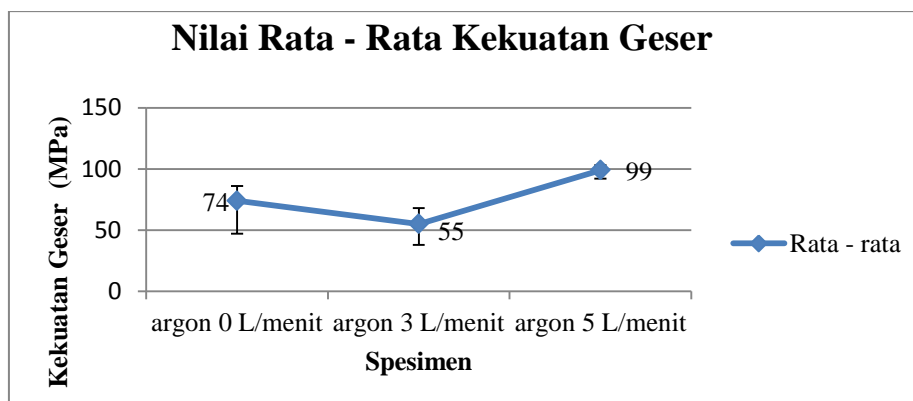
8. Pengujian metalografi

Terakhir akan dilakukan pengujian metalografi pada spesimen. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui bentuk struktur mikro material setelah dilakukan penyambungan. Mikroskop optik dan SEM /EDX digunakan untuk mengamati spesimen dengan melihat struktur mikro pada daerah yang disambung.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kekuatan Sambungan AISI 1045 – C10100

Pengukuran kekuatan geser dilakukan dengan menggunakan mesin *COM-TEN testingmachine 95T serie*. Pengukuran dilakukan terhadap 4 spesimen dari 3 variasi aliran argon yang berbeda yaitu dengan aliran argon 0 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit. Hasil pengukuran kekuatan geser dari baja AISI 1045 – C10100 dapat dilihat pada Gambar 8.



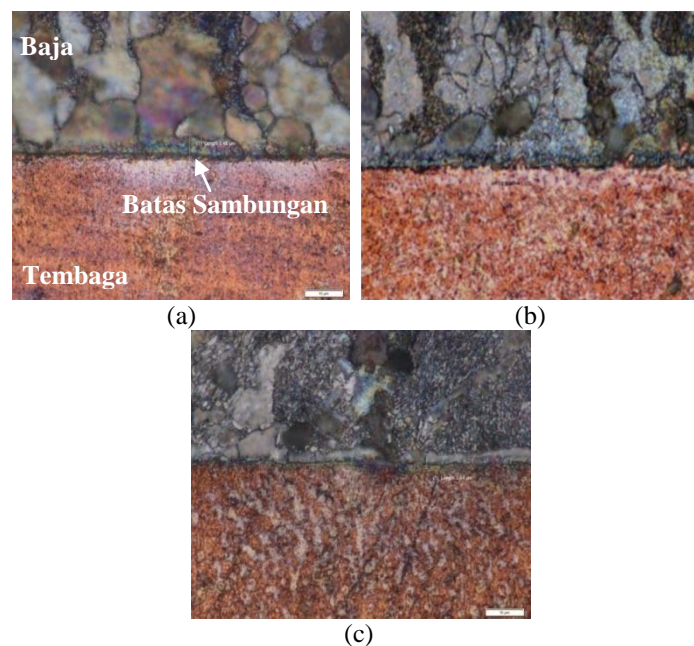
Gambar 8. Grafik rata – rata kekuatan geser sambungan AISI 1045 – C10100

Pada Gambar 8. terbukti bahwa pemakaian argon sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari sambungan dilihat dari nilai rata – rata kekuatan geser yang didapatkan. Argon berfungsi sebagai selimut non-reaktif dalam penyambungan unsur baja AISI 1045 dan tembaga C10100 sehingga unsur lain seperti oksigen tidak mempengaruhi sambungan[6]. Oksigen mudah bereaksi dengan logam terutama pada temperatur tinggi membentuk oksida dipermukaan logam. Oksida ini adalah senyawa kompleks berukuran besar dengan ikatan unsur-unsur pembentuknya sangat kuat dan sulit ditembus atom lain. Oksida akan menjadi penghalang dari proses difusi pada permukaan logam yang disatukan.

Nilai kekuatan geser pada sambungan dengan variasi aliran argon 0 liter/menit memiliki nilai rata – rata 74 MPa berada dibawah nilai kekuatan geser sambungan dengan variasi aliran argon 5 liter/menit yaitu 99 MPa. Dalam pengujian geser ada beberapa spesimen dengan variasi argon 3 L/menit yang mengalami patah tidak seperti spesimen lainnya. Hal ini diasumsikan karena tidak sempurnanya proses difusi pada tahapan proses pemanasan. Pada tahap dilakukannya proses penekanan yang diikuti oleh penjepitan spesimen dimana pada penjepit yang digunakan terdapat baut dengan ulir yang telah aus dan mengakibatkan penjepitan material pada spesimen kurang maksimal setelah dilakukan pemanasan. Hal ini sangat mempengaruhi kualitas sambungan karena titik kontak yang telah menyatu pada saat penekanan menjadi berkurang akibat penjepit tidak bisa mempertahankan tekanan yang diberikan sehingga mengurangi persentase difusi atom.

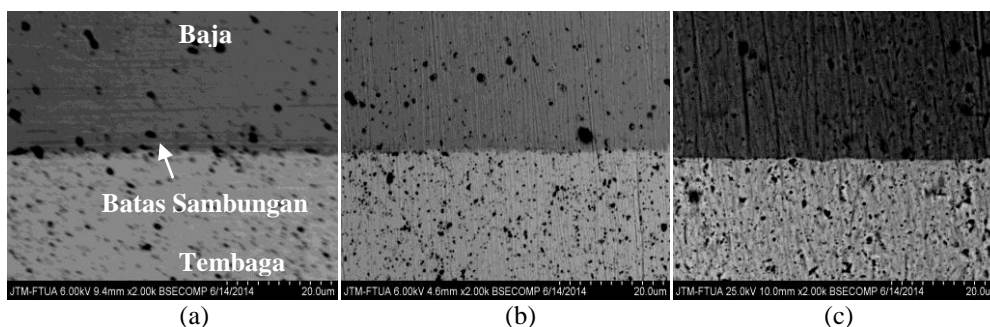
4.2 Pengamatan Struktur Mikro Sambungan AISI 1045 – C10100

Pengamatan struktur mikro spesimen dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada masing – masing spesimen dengan variasi aliran argon yang berbeda. Hasil pengamatan dengan mikroskop optik untuk ketiga variasi aliran argon diamati setelah melakukan proses pengamplasan, pemolesan dan etsa. Hasil dari pengamatan dengan mikroskop optik ketiga spesimen dapat dilihat pada Gambar 9.



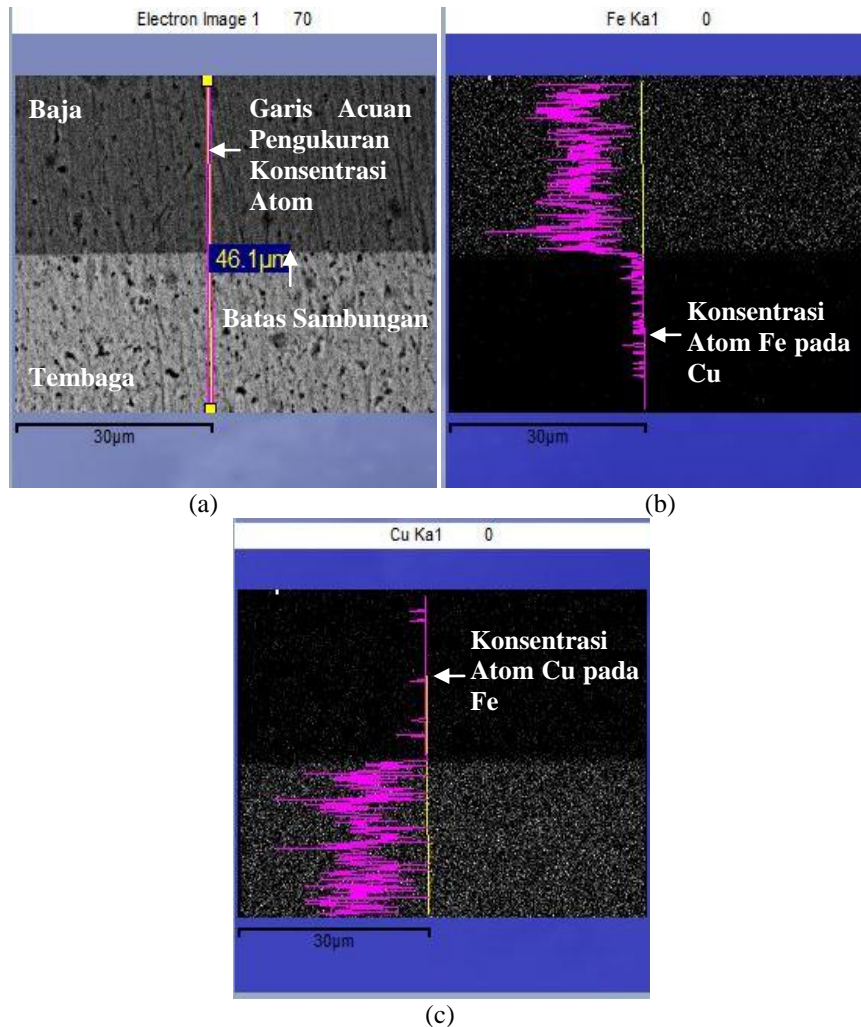
Gambar 9. Hasil pengamatan struktur mikro dengan perbesaran 150 kali dari spesimen :
 (a) argon 0 liter/menit (b) argon 3 liter/menit (c) argon 5 liter/menit

Pada Gambar 9. dapat dilihat bahwa tidak begitu banyak informasi tentang daerah difusi yang terbentuk setelah penyambungan. Untuk memastikan daerah difusi pada sambungan baja AISI 1045 – C10100 maka dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan SEM. Hasil yang didapatkan dari pengamatan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 10.



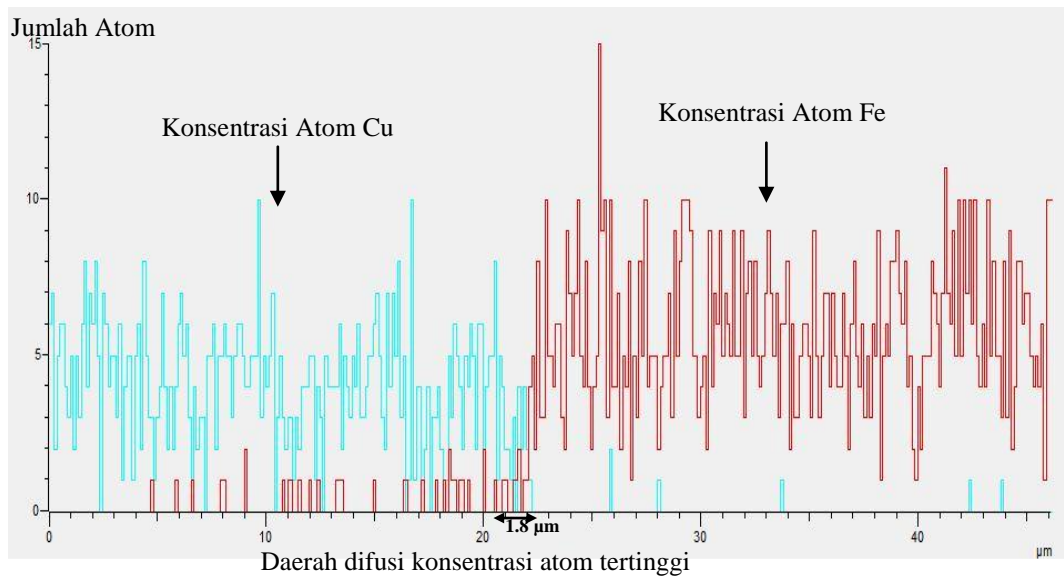
Gambar 10. Struktur mikro sambungan dengan perbesaran 2000 kali dari spesimen :
 (a) argon 0 liter/menit (b) argon 3 liter/menit (c) argon 5 liter/menit

Dari Gambar 10, bisa dilihat bahwa daerah difusi tetap tidak terdeteksi dengan jelas pada sambungan tiap – tiap spesimen. Untuk memastikan terjadinya difusi atom antar material sambungan dilakukan pengujian konsentrasi atom pada sambungan dengan menggunakan EDX. Pada pengujian EDX ini dapat diasumsikan adanya difusi atom berdasarkan pengukuran konsentrasi atom berupa grafik pada tiap spesimen sambungan dengan satu garis pengamatan. Data yang diamati adalah atom Fe pada baja AISI 1045 dan atom Cu pada tembaga C10100. Pada pengujian EDX ini didapatkan dua grafik yang menunjukkan jumlah atom yang terdapat disepanjang garis pengukuran yang menjadi acuan pengukuran. Hasil dari pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 11.



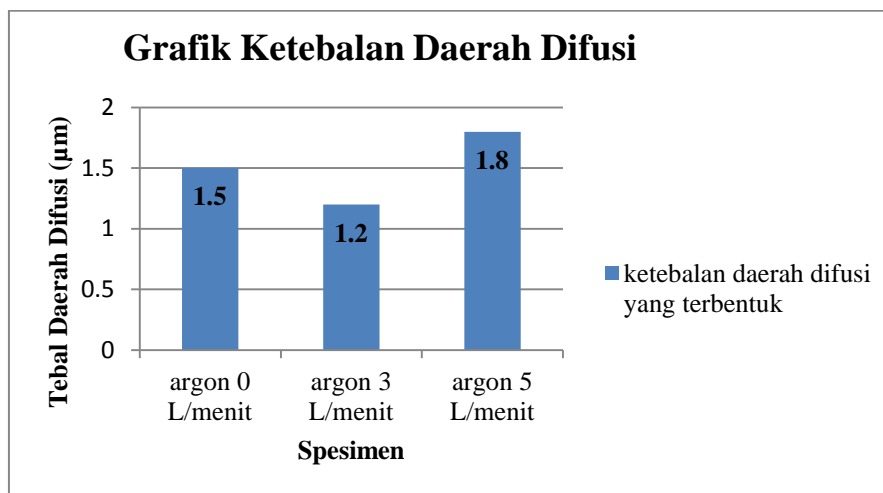
Gambar 11. Hasil pengujian konsentrasi atom EDX pada spesimen variasi aliran argon 5 liter/menit :
 (a) hasil pengamatan SEM perbesaran 2000 kali
 (b) pengukuran konsentrasi atom Fe (c) pengukuran konsentrasi atom Cu

Pada Pengujian EDX yang dilakukan terhadap ketiga spesimen didapatkan hasil yang berbeda. Pada hasil pengujian konsentrasi atom EDX didapatkan hasil dari penggabungan kedua grafik konsentrasi atom dari Fe dan Cu. Distribusi atom Fe dan Cu yang terlihat pada daerah difusi semakin berkurang tetapi ini membuktikan terjadinya difusi. Grafik penggabungan konsentrasi atom tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil penggabungan konsentrasi atom Cu dan Fe dengan pengujian EDX spesimen variasi aliran argon 5 liter/menit

Pada Gambar 12. dapat dilihat daerah yang menyatu pada grafik diasumsikan sebagai daerah difusi atom pada sambungan yang diuji. Daerah difusi dengan konsentrasi tinggi diasumsikan memiliki ketebalan kurang lebih 1.8 μm . Distribusi atom Fe dan Cu terlihat pada daerah difusi untuk kedua atom semakin berkurang. Untuk grafik ketebalan daerah difusi pada sambungan tiap spesimen dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik ketebalan daerah difusi

Dari Gambar 13. dapat diambil kesimpulan bahwa ketebalan daerah difusi yang terbentuk berbanding lurus dengan nilai kekuatan geser sambungan. Dapat diambil kesimpulan dari pengujian pada variasi aliran argon 0, 3 dan 5 liter/menit menunjukkan semakin tebal daerah difusi yang terbentuk pada sambungan baja AISI 1045 dan tembaga C10100 didapatkan kekuatan geser sambungan semakin kuat.

5. Kesimpulan

Hasil proses penyambungan dengan penyambungan difusi tanpa vakumantara baja AISI 1045 – C10100 dipengaruhi oleh pemakaian gas argon. Pada pengujian kekuatan geser kekuatan geser tertinggi dari ketiga variasi pengujian terdapat pada spesimen dengan variasi aliran argon tertinggi yaitu pada variasi aliran argon 5 liter/menit dengan nilai kekuatan geser rata-rata 99 MPa. Dari pengamatan struktur mikro hasil sambungan terdapat difusi atom yang terlihat pada hasil pengujian EDX. Daerah difusi yang diasumsikan memiliki ketebalan terbesar terdapat pada spesimen dengan variasi aliran argon tertinggi yaitu pada variasi aliran argon 5 liter/menit sebesar

1.8 μm . Untuk pengujian spesimen dengan variasi aliran argon 0, 3 dan 5 liter/menit dapat dinyatakan bahwa kekuatan geser berbanding lurus dengan ketebalan daerah difusi pada sambungan. Perlu adanya penelitian mengenai penyambungan difusi pada ruangan vakum dan penelitian mengenai penyambungan difusi yang menggunakan tungku vakum yang bisa mengatur besarnya penekanan pada saat dilakukan pemanasan spesimen.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi dan Universitas Andalas khususnya Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat yang telah membiayai Penelitian ini dari Dana BOPTN melalui Skim Penelitian Fundamental dengan Kontrak No. 02/UN.16/PL/D-FD/2014. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Robby Eriend dan Muhammad Daniel yang telah membantu dalam pengambilan data

Daftar Pustaka

- [1] Prof. Dr. Ir. Harsono, W, dan Prof. Dr. Toshie, O, "*Teknologi Pengelasan Logam*", Cetakan kelima, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
- [2] Sirod Hantono, Tiwan, 2005, "*Diffusion Bonding Material Tungsten-Baja dengan Interlayer Ag -4% Cu*", Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta: 42
- [3] Callister Jr, D William. "*Material science and engineering*". Department of metallurgy engineering : The university of Utah.
- [4] www.azom.com. 2013. "*AISI 1045 Medium Carbon Steel*". (<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6130>, diakses tanggal 18 November 2013)
- [5] www.webelements.com. "*Copper*". (<http://www.webelements.com/>, diakses tanggal 18 November 2013)
- [6] id.wikipedia.org. "*Argon*". (<http://id.wikipedia.org/wiki/Argon>, diakses pada 12 Maret 2013)
- [7] www.amazine.co. "*Argon (Ar) Fakta, Sifat, Kegunaan & Efek Kesehatannya*". (<http://www.amazine.co/27086/argon-ar-fakta-sifat-kegunaan-efek-kesehatannya>, diakses pada 12 Maret 2013)
- [8] Arpan, Abdi. Tugas Akhir, 2013. "*Proses Penyambungan Difusi Tanpa Vakum Untuk Material Sejenis dengan Variasi Temperatur*" Teknik Mesin, FT-Unand.