

**ANALISIS X-RAY DIFFRACTION (XRD)
PADA BRAZING ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS
STEEL SERI 304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK
TEMBAGA**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Progam Studi Strata 1
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

TAUFIQ ILHAM MAGHFURY

D200150240

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS X-RAY DIFFRACTION (XRD)
PADA BRAZING ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS STEEL SERI
304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK TEMBAGA**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

TAUFIQ ILHAM MAGHEURY

D 200 150 240

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Agus Dwi Anggono, S.T., M.Eng., Ph.D

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS X-RAY DIFFRACTION (XRD)
PADA BRAZING ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS STEEL SERI
304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK TEMBAGA**

OLEH

TAUFIQ ILHAM MAGHFURY

D200150240

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Senin, 27 Januari 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Agus Dwi Anggono, S.T., M.Eng., Ph.D
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agung Setya Darmawan, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Patna Partono, S.T., M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan



Ir. Sri Subarjono, M.T., Ph.D., IPM

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbeneran dalam pernyataan saya diatas, maka akan dipertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17 JANUARI 2020

Penulis



TAUFIQ ILHAM MAGHFURY

NIM. D200150240

ANALISIS X-RAY DIFFRACTION (XRD) PADA BRAZING ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS STEEL SERI 304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK TEMBAGA

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan dan tidak ditambahkannya serbuk tembaga dalam proses mematri baja aluminium-steel untuk struktur kristal. Spesimen dalam penelitian ini menggunakan aluminium seri 1000, stainless steel seri 304, alusol ER4043, dan bubuk tembaga. Pada penelitian ini standart untuk pembuatan spesimen adalah ASTM D1002. XRD dilakukan untuk menganalisis struktur Kristal dan senyawa kimia. Hasil penelitian menunjukkan terdapat Karakteristik struktur Kristal pada setiap material, material pertama terbentuk senyawa Al_2Cu peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,3^\circ$ dengan intensitas 1672 cps, struktur kristalnya berbentuk Tetragonal dengan densitas sebesar 4.348 g/cm^3 , material kedua terbentuk Senyawa Al_5Fe_2 peak tertinggi didapatkan pada sudut $65,16^\circ$ dengan intensitas 1258 cps, struktur kristalnya berbentuk Orthorhombic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 . Senyawa Al_4Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $38,74^\circ$ dengan intensitas 1346 cps, struktur kristalnya berbentuk monoclinic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 . Senyawa $\text{Cr}_{2.5}\text{Fe}_{2.5}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps, struktur kristalnya berbentuk tetragonal dengan densitas sebesar 7.634 g/cm^3 . material ketiga terbentuk Senyawa $\text{Al}_{37}\text{Cu}_2\text{Fe}_{12}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps, struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 4.049 g/cm^3 . Senyawa $\text{Al}_{177}\text{Cr}_{49}\text{Ni}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps, struktur kristalnya berbentuk Hexagonal dengan densitas sebesar 3.849 g/cm^3 . Senyawa Al_4Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,96^\circ$ dengan intensitas 114 cps, struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 3.529 g/cm^3 . Senyawa $\text{Al}_{65}\text{Cr}_{27}\text{Fe}_8$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps, struktur kristalnya berbentuk Trigonal dengan densitas sebesar 4.135 g/cm^3 . Kata kunci: Mematri, X-ray Diffraction, Senyawa, Struktur Kristal, Bubuk Tembaga.

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of adding and not adding copper powder in the aluminum-steel brazing process for crystal structures. The specimens in this study used 1000 series aluminum, 304 series stainless steel, alusol ER4043, and copper powder. In this study the standard for specimen making is ASTM D1002. XRD was conducted to analyze the structure of crystals and chemical compounds. The results showed that there were crystal structure characteristics in each material, the first material formed the highest Al_2Cu

compound was obtained at an angle of 78.3° with an intensity of 1672 cps, the crystal structure was Tetragonal with a density of $4,348 \text{ g/cm}^3$, the second material formed the highest peak $\text{Al}_5 \text{Fe}_2$ compound was obtained at an angle of 65.16° with the intensity of 1258 cps, the crystal structure was orthorhombic with a density of $3,950 \text{ g/cm}^3$, highest peak $\text{Al}_4 \text{Cr}$ compound was obtained at an angle of $38,74^\circ$ with the intensity of 1346 cps, the crystal structure was monoclinic with a density of 3.950 g/cm^3 , highest peak $\text{Cr}_{2.5} \text{Fe}_{2.5}$ compound was obtained at an angle of $44,94^\circ$ with the intensity of 3320 cps, the crystal structure was tetragonal with a density of 7.634 g/cm^3 , the third material formed the highest $\text{Al}_{37} \text{Cu}_2 \text{Fe}_{12}$ compound at an angle of $45,46^\circ$ with an intensity of 102 cps, the crystal structure is Monoclinic with a density of $4,049 \text{ g/cm}^3$. highest $\text{Al}_{177} \text{Cr}_{49} \text{Ni}$ compound at an angle of $45,46^\circ$ with an intensity of 102 cps, the crystal structure is Hexagonal with a density of 3.849 g/cm^3 , highest $\text{Al}_4 \text{Cr}$ compound at an angle of $78,96^\circ$ with an intensity of 114 cps, the crystal structure is Monoclinic with a density of 3.529 g/cm^3 , highest $\text{Al}_{65} \text{Cr}_{27} \text{Fe}_8$ compound at an angle of $45,46^\circ$ with an intensity of 102 cps, the crystal structure is Monoclinic with a density of 4.135 g/cm^3 ,
 Keywords : Brazing, X-Ray Diffraction, compound, structure Crystal, Copper Powder

1. PENDAHULUAN

Di dunia industri yang berkaitan dengan logam, banyak sekali proses – proses penyambungan logam. Salah satu proses penyambungan dua bagian logam adalah dengan cara mengelas, yaitu menyambung dua bagian logam atau lebih secara permanen dengan menggunakan energi panas.

Mematri (*brazing*) adalah proses penyambungan logam dengan cara menyalurkan panas pada logam pengisi hingga suhu diatas 450°C (840°F) akan tetapi suhunya tidak melebihi logam inti atau logam yang digabungkan (milhaupt, 2004).

Menurut (milhaupt, 2004), *brazing* sering digunakan dalam industri karena mempunyai banyak kelebihan, antara lain:

- 1) sambungan yang di *brazing* mempunyai sifat ulet, dapat menahan guncangan dan getaran yang besar.
- 2) Sambungan yang di *brazing* mempunyai kekuatan yang tinggi, pada logam dan baja non-ferro apabila di buat dengan cara yang benar kekuatan Tariknya bisa melebihi dari logam yang bergabung. Pada baja tahan karat, dimungkinkan untuk bisa mengembangkan sambungan dengan kekuatan tarik sebesar 130.000 pon per inchi persegi. ($896,3 \text{ MPa}$).

3) Sambungan yang di *brazing* biasanya lebih mudah dan cepat pengerjaannya, sesuai dengan kemampuan operator.

4) Mematri pada dasarnya adalah proses satu operasi, sehingga jarang ada kebutuhan untuk *grinding*, *filling* atau mekanis *finishing* setelah sambungan selesai. Mematri ideal untuk menggabungkan logam yang berbeda. Anda dengan mudah menggabungkan besi dengan logam *non-ferro*,

Mematri dilakukan pada suhu yang relatif rendah, mengurangi kemungkinan melengkung, terlalu panas atau melelehkan logam yang bergabung

X-ray diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-10} s/d $5 \cdot 10^{-10}$ nm, berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Sinar X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran. Difraksi sinar-x merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-x dengan atom yang tersusun dalam sebuah system kristal. Untuk dapat memahami prinsip dari difraksi sinar-x dalam analisa kualitatif maupun kuantitatif, terlebih dahulu diuraikan penjelasan mengenai sistem kristal. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, terdapat tiga kemungkinan yang dapat terjadi, yaitu absorpsi (penyerapan), difraksi (penghamburan), atau fluoresensi yakni pemancaran kembali sinar-X dengan energi yang lebih rendah. Ketiga fenomena inilah yang menjadi landasan dalam analisa menggunakan teknik sinar-X (Muzakir, 2012).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik struktur kristal dari penambahan serbuk tembaga dengan tidak ditambahkannya serbuk tembaga antara plat aluminium seri 1000 dengan *stainless steel* seri 304. *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk menganalisis struktur Kristal dan ukuran kristal dari hasil sambungan *Lap Joint* dengan metode *Tocrh Brazing*.

1.1 Rumusan Masalah

Bagaimana karakteristik struktur Kristal pada penambahan serbuk tembaga dengan tidak ditambahkannya serbuk tembaga, antara plat aluminium seri 1000 dengan *stainless steel* seri 304, dilihat dari hasil uji X-Ray Diffraction (XRD)?

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik struktur kristal dari penambahan dan tidak ditambahkannya serbuk tembaga (Cu), pada pengelasan beda material dengan sambungan *brazing* menggunakan Uji XRD.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas, penelitian ini berfokus pada:

- 1) Pengelasan dilakukan dengan metode *brazing* dan jenis sambungan *lap joint*.
- 2) Material yang digunakan sebagai logam dasar adalah aluminium seri 1000 dan *stainless steel* seri 304 dengan tebal 2 mm.
- 3) Material yang digunakan sebagai *filler* adalah *metal* dengan seri ER 4043.
- 4) Volume dan berat dari serbuk tembaga dianggap sama
- 5) Pengujian berupa analisis struktur kristal dengan uji XRD

1.4 Tinjauan Pustaka

Yoga Saputra (2019), melakukan penelitian tentang Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) Pada Pengelasan *Brazing* Antara Aluminium Seri 1000 dan *Stainless Steel* Seri 304 Dengan Penambahan Serbuk Tembaga. Hasil penelitian menunjukkan dari sambungan aluminium dan aluminium tanpa tambahan serbuk tembaga didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 11.306 MPa dan rata – rata regangan sebesar 22.835 %, sedangkan pada sambungan dengan tambahan serbuk tembaga didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 10.933 MPa dan rata – rata regangan sebesar 25.509 %. Pada *stainless steel* dan aluminium tanpa tambahan serbuk tembaga didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 10.850 MPa dan rata – rata regangan sebesar 6.509 %, sedangkan pada sambungan dengan tambahan serbuk tembaga didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 10.901 MPa dan rata – rata regangan

sebesar 25.722 %. Pada *stainless steel* dan *stainless steel* tanpa tambahan serbuk tembaga didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 12.910 MPa dan rata – rata regangan sebesar 1.575 %, sedangkan pada sambungan dengan tambahan serbuk tembaga. didapatkan hasil rata – rata tegangan geser tertinggi sebesar 14.703 MPa dan rata – rata regangan sebesar 1.678 %. Pada hasil uji tarik sambungan yang diindikasikan terdapat lapisan *intermetallics* menunjukkan hasil rata – rata yang lebih rendah yaitu sebesar 10.850 MPa dan hasil rata-rata yang lebih tinggi pada sambungan dengan serbuk tembaga yaitu sebesar 10.901 MPa. Hasil analisis SEM, daerah *intermetallics* terlihat di sambungan *stainless steel* dan aluminium tanpa serbuk tembaga sepanjang 94 μm lebih besar dari yang terlihat pada sambungan yang sama namun dengan tambahan serbuk tembaga yaitu sepanjang 11 μm .

Chun-duo Dai DKK (2017), melakukan penelitian tentang Microstructure and properties of an Al–Ti–Cu–Si brazing alloy for SiC–metal joining. Hasil penelitian menunjukkan pada Gambar 2.1 pola XRD dari sampel SiC yang digunakan dalam percobaan; polanya menunjukkan Kehadiran fase SiC dan fase Si. P Pola XRD dari paduan Al – Ti – $_{5}\text{Cu}$ – $_{x}\text{Si}$; yang utama fase konstituen dari Al–Ti– $_{5}\text{Cu}$ – $_{5}\text{Si}$ adalah Al, Al_3Ti , Al_2Cu , Al_2O_3 dan Si. Dengan tambahan 10wt%–15wt% Si, fase t_2 yang terbentuk dan berdampingan dengan Al_3Ti . Tapi dengan ditambahkannya 15wt% Si, intensitas puncak difraksi disebabkan fase t_2 menjadi jauh lebih kuat daripada penambahan 10wt% si, ketika 20wt%-30Wt% Si ditambahkan, fase konstituen dari paduan menjadi Al, Al_2O_3 , Al_2Cu , dan t_2 . Hasil XRD dengan demikian menunjukkan bahwa volume dari fase Al_3Ti menurun dan digantikan t_2 sebagai Si meningkat; sehingga fase Al_3Ti hilang..

Yagati DKK (2019), melakukan penelitian tentang *Al–Steel Joining by CMT Weld Brazing: Effect of Filler Wire Composition and Pulsing on the Interface and Mechanical Properties*. Hasil penelitian menunjukkan pola XRD yang di peroleh dari CMT dan sambungan las P-CMT yang dibuat menggunakan filler 4043 dan 4047, di berbagai bagian (kepala, inti, dan kaki). Komposisi fase dari analisis XRD dapat dilihat pada Tabel 2.1. Analisis XRD dari antarmuka baja dari CMT-4043 (Gambar 2.3) dan sambungan P-CMT-4043 menunjukkan adanya dua fase IMC, yaitu FeAl (kubik) dan $\text{Fe}_{25}\text{Al}_{75}$ (monoklinik) di seluruh bagian melintang (kepala sampai

kaki), oleh karena itu dua fase intermetalik yang di dapat dari pola *XRD* masing-masing sesuai dengan dua lapisan reaksi yang diamati.

Pola *XRD* yang diperoleh dari antarmuka baja CMT-4047 pada sambungan las *brazing* menunjukkan dua fase *IMC*, yaitu $\text{Fe}_3\text{Al}_{0.7}\text{Si}_{0.3}$ (kubik) dan $\text{Al}_3\text{Fe}_2\text{Si}$ (kubik) di daerah kepala dan kaki pada mikrostruktur masing-masing. Pola *XRD* dari las *brazing* *P-CMT-4047* menunjukkan dua fase *IMC*, yaitu $\text{Fe}_3\text{Al}_{0.7}\text{Si}_{0.3}$ (kubik) dan $\text{Al}_3\text{Fe}_2\text{Si}$ (kubik)

Tabel 1 Composition of the intermetallic phases observed in XRD patterns(Yagati, Bathe and Joardar, 2019).

No	Fase	komposisi%			Struktur Kristal
		Al	Fe	Si	
1	FeAl	50	50	-	Cubic
2	Fe ₂₅ Al ₇₅	75	25	-	Monoclinic
3	Al ₃ Fe ₂ Si	50	33.33	16.67	Cubic
4	Al _{25,83} Fe _{8.57} Si _{6.6}	63	20.9	16.1	Rhombohedral
5	Fe ₃ Al _{0.5} Si _{0.5}	12.5	75	12.5	Cubic
6	Fe ₃ Al _{0.7} Si _{0.3}	17.5	75	7.5	Cubic
7	Al ₃ FeSi	71.43	14.29	14.29	Monoclinic
8	Al ₃ FeSi ₂	50	16.67	33.33	Tetragonal

1.5 Landasan Teori

Las *Brazing* adalah suatu proses penyambungan dua atau lebih logam oleh logam pengisi dengan cara memanaskan daerah sambungan diatas suhu 450°C tanpa mencairkan logam induknya. *Brazing* adalah penyambungan unik yang telah terbukti merupakan suatu metode yang paling berguna untuk menyambungkan material yang berbeda seperti logam atau keramik. Sambungan *brazing* yang kuat dapat dicapai dengan pemilihan logam pengisi yang sesuai, pembersihan permukaan logam sebelum di *brazing* dan mempertahankan kebersihannya selama proses berlangsung, serta perancangan sambungan yang tepat. *Brazing* mempunyai perjalanan sejarah yang panjang, tetapi kemudian menjadi proses yang banyak digunakan seiring dengan perkembangan proses *brazing* itu sendiri seperti *dip*

brazing, induction brazing, torch brazing dan *furnace brazing*. Banyak material baru yang digunakan di industri yang sangat sulit di las dengan busur listrik, maka *brazing* menjadi pilihan untuk proses penyambungan tersebut. (WiryoSumarto and Okumura, 2000)

Jika dibandingkan dengan pengelasan, proses *brazing* mempunyai beberapa perbedaan, antara lain: (WiryoSumarto and Okumura, 2000)

- 1) Komposisi paduan *brazing* sangat berbeda dengan logam induk.
- 2) Kekuatan paduan *brazing* secara *substansial* lebih rendah dari logam induk.
- 3) Titik cair paduan *brazing* lebih rendah dari logam induk sehingga logam induk tidak mencair dan ikatan terjadi akibat aksi kapiler.
- 4) Ikatan yang terjadi pada proses *brazing* memerlukan *capilay action*.

Dari perbedaan - perbedaan diatas, proses *brazing* mempunyai beberapa keunggulan yaitu: (WiryoSumarto and Okumura, 2000)

- 1) Semua logam dapat disambung dengan proses *brazing* (ideal untuk logam yang berbeda, seperti penyambungan logam *ferro* dan *non-fero*, logam – logam dengan perbedaan titik cair yang besar).
- 2) Rendahnya temperatur pengerjaan mengurangi masalah yang berhubungan dengan daerah pengaruh panas (*heat affected zone*), pembengkokan atau distorsi.
- 3) Logam yang tipis dan bentuk rumit dapat disambungkan
- 4) Terbentuknya sambungan yang permanen dan kuat.

Adapun beberapa kekurangan *brazing*, sebgai berikut: (Morrisette, 2013)

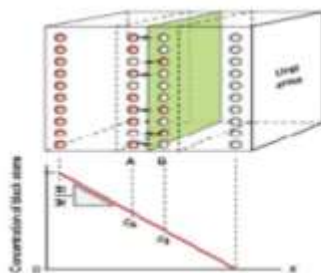
- 1) Kurangnya kekuatan sambungan dibandingkan dengan sambungan las karena logam pengisi yang digunakan lebih lunak.
- 2) Sambungan *brazing* dapat rusak pada suhu tinggi.
- 3) Sambungan yang di *brazing* membutuhkan kebersihan logam dasar tingkat tinggi bila dilakukan dilingkungan industri.
- 4) Beberapa aplikasi mematri membutuhkan penggunaan *fluks* yang memadai untuk mengontrol kebersihan.
- 5) Warna sambungan sering berbeda dari warna dasar logam, menciptakan kerugian estetika.

Seperti halnya pada pengelasan *brazing*, menghasilkan ikatan metalurgi diantara permukaan logam induk dan logam pengisi. Ikatannya dipengaruhi beberapa hal:

- 1) Celah (*gap*) yang tepat
- 2) Kebersihan logam induk
- 3) *Fluks*
- 4) Persiapan komponen yang akan disambung
- 5) Proses *brazing*
- 6) Pembersihan setelah disambung

a. Reaksi *Difusi*

Kedudukan atom di dalam fasa padat tidaklah statis, tetapi bergetar. Tingkat getarannya dipengaruhi oleh temperatur. Jika temperaturnya memadai maka dapat terjadi perpindahan atom di dalam kisi, dan disebut *difusi*. Semakin tinggi temperatur maka akan menaikkan harga *diffusitas* suatu atom. Proses ini selain dipengaruhi oleh temperatur, dipengaruhi juga oleh *energy aktivasi*. *Energy aktivasi* adalah energi yang digunakan oleh sebuah atom untuk berpindah tempat (Shakelford, 1992). Difusi merupakan perpindahan atom dari satu tempat ke tempat lainnya. Tipe dari difusi material solid yaitu : *self diffusion* dan *interdiffusion*. *Self diffusion* adalah perpindahan atom pada satu jenis bahan. *Interdiffusion* adalah perpindahan atom antara dua atau lebih jenis bahan yang berbeda. Mekanisme terjadinya difusi terbagi oleh: difusi *vancancy* dan *difusi interstitial*. Difusi *Vacancy* adalah mekanisme perpindahan atom karena ada kekosongan tempat. Kekosongan ini akan diisi oleh atom yang lain. Difusi interstitial adalah mekanisme perpindahan atom karena gerkan atom didalam rongga atom. Pemodelan teori difusi berdasarkan oleh jumlah fluks yang berdifusi ke logam lain. Fluks dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini yaitu perpindahan atom persatuan luas.



Gambar 1 Mekanisme *Interdiffusion* (Ashby, 2007)

Berdasarkan definisi dari Deutsche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan bahwa pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua material atau lebih yang dapat dilakukan dengan atau tanpa tekanan, dengan memanaskan bagian yang akan disambungkan hingga mendekati ataupun mencapai titik leleh dari material, agar terjadi ikatan atom baru dan setelah sambungan didinginkan, maka dua material dapat menjadi satu.

Diffusion bonding adalah proses penyambungan yang dilakukan dengan tekanan dan memanfaatkan peristiwa berpindahnya atom-atom antar material yang disambungkan, akibat panas yang diberikan pada material. Pada saat pemanasan, atom-atom akan bergetar aktif dan cenderung berpindah dari posisi awalnya sehingga, menimbulkan adanya kekosongan pada posisi awal atom tersebut. Kekosongan ini akan diisi oleh atom lain yang juga berpindah dari posisi awalnya mencari ruangan baru akibat panas yang diberikan. Pada sambungan akan terbentuk ikatan atom baru pada daerah kontak sambungan, akibat perpindahan atom-atom tersebut. Temperatur pemanasan untuk diffusion bonding adalah sekitar 50-80% dari temperature leleh material yang disambung.

Parameter yang berpengaruh pada diffusion bonding adalah kondisi lingkungan proses, kekasaran permukaan material, tekanan, temperatur pemanasan, dan lamanya pemanasan. Diffusion bonding dapat dilakukan pada lingkungan yang dilindungi dengan suatu gas pelindung seperti gas argon. Gas Argon berfungsi mengurangi terjadinya oksidasi pada saat proses diffusion bonding berlangsung. Lebih baik lagi apabila diffusion bonding dapat dilakukan pada kondisi lingkungan vakum yang bertekanan 10^{-1} sampai 10^{-3} Pa.

b. Reaksi *Intermetallics*

Terjadinya ikatan logam induk dan bahan pengisi dapat terjadi secara teratur dan jika memungkinkan ikatan ini akan membentuk suatu senyawa. Kecenderungan paduan dapat membentuk senyawa yang sangat dipengaruhi oleh perbedaan sifat *electronegatifitas* dari kedua atom. Jika ikatan yang terjadi benar – benar dapat membentuk senyawa maka akan mempengaruhi sifat mekanis pada daerah reaksi tersebut. Reaksi *intermetallics* yang terjadi antara *filler* dengan logam induknya juga

cenderung membentuk paduan senyawa, terutama pada daerah batas sambungan (Shackelford, 1992).

1.6 X-RAY Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-x merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-x dengan atom yang tersusun dalam sebuah system kristal. Untuk dapat memahami prinsip dari difraksi sinar-x dalam analisa kualitatif maupun kuantitatif, terlebih dahulu diuraikan penjelasan mengenai sistem Kristal (Muzakir, 2012).

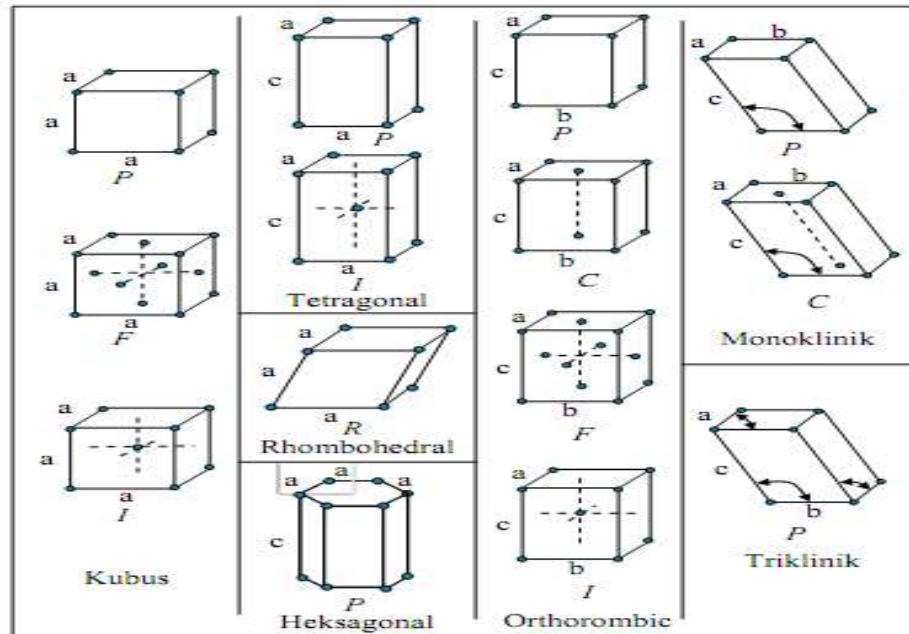
Menurut Mukti (2012), XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

Struktur kristal merupakan susunan atom-atom atau kumpulan atom yang teratur dan berulang dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut disebabkan oleh kondisi geometris yang dipengaruhi oleh ikatan atom yang memiliki arah (Muzakir, 2012).

Kisi ruang kristal (space lattice) didefinisikan sebagai susunan titik dalam ruang tiga dimensi yang memiliki lingkungan identik antara satu dengan lainnya. Titik dengan lingkungan yang serupa itu disebut simpul kisi (lattice points). Kesatuan yang berulang di dalam kisi ruang disebut sel unit (unit cell) struktur kristal. Terdapat enam buah variable pada sebuah sel unit, yaitu panjang dari unit sel yang direpresentasikan oleh tiga vektor (a , b , dan c) dan tiga buah sudut yang terletak diantara dua vektor (α , β , and γ), dimana: α adalah sudut antara b dan c ; β adalah sudut antara c dan a ; γ adalah sudut antara a dan b . Untuk semua jenis kristal, terdapat tujuh buah kemungkinan susunan sel unit. Ketujuh sel unit tersebut dinamakan sel unit Bravais, yang terdiri dari (Muzakir, 2012):

- 1) Sistem Triclinic
- 2) Sistem Monoclinic
- 3) Sistem Orthorhombic
- 4) Sistem Tetragonal
- 5) Sistem Cubic (kubus)
- 6) Sistem Hexagonal

7) Sistem Rhombohedral



Gambar 2 Sel unit Bravais (Muzakir, 2012).

1.7 Prinsip Kerja X-Ray Diffraction

Analisa XRD merupakan contoh analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya. Secara sederhana, prinsip kerja dari XRD dapat dijelaskan sebagai berikut. Setiap senyawa terdiri dari susunan atom-atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang memiliki bentuk yang tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Dengan kata lain, tidak mungkin foton yang datang dengan sudut tertentu pada sebuah bidang dengan bentuk tertentu akan menghasilkan pola pantulan ataupun pembiasan yang bermacam-macam. Sebagai gambaran, bayangan sebuah objek akan membentuk pola yang sama seandainya cahaya berasal dari sudut datang yang sama. Kekhasan pola difraksi yang tercipta inilah yang dijadikan landasan dalam analisa kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa yang lain menggunakan instrumen XRD. Pola unik yang terbentuk untuk setiap difraksi cahaya pada suatu material seperti halnya fingerprint (sidik jari) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda (Muzakir, 2012).

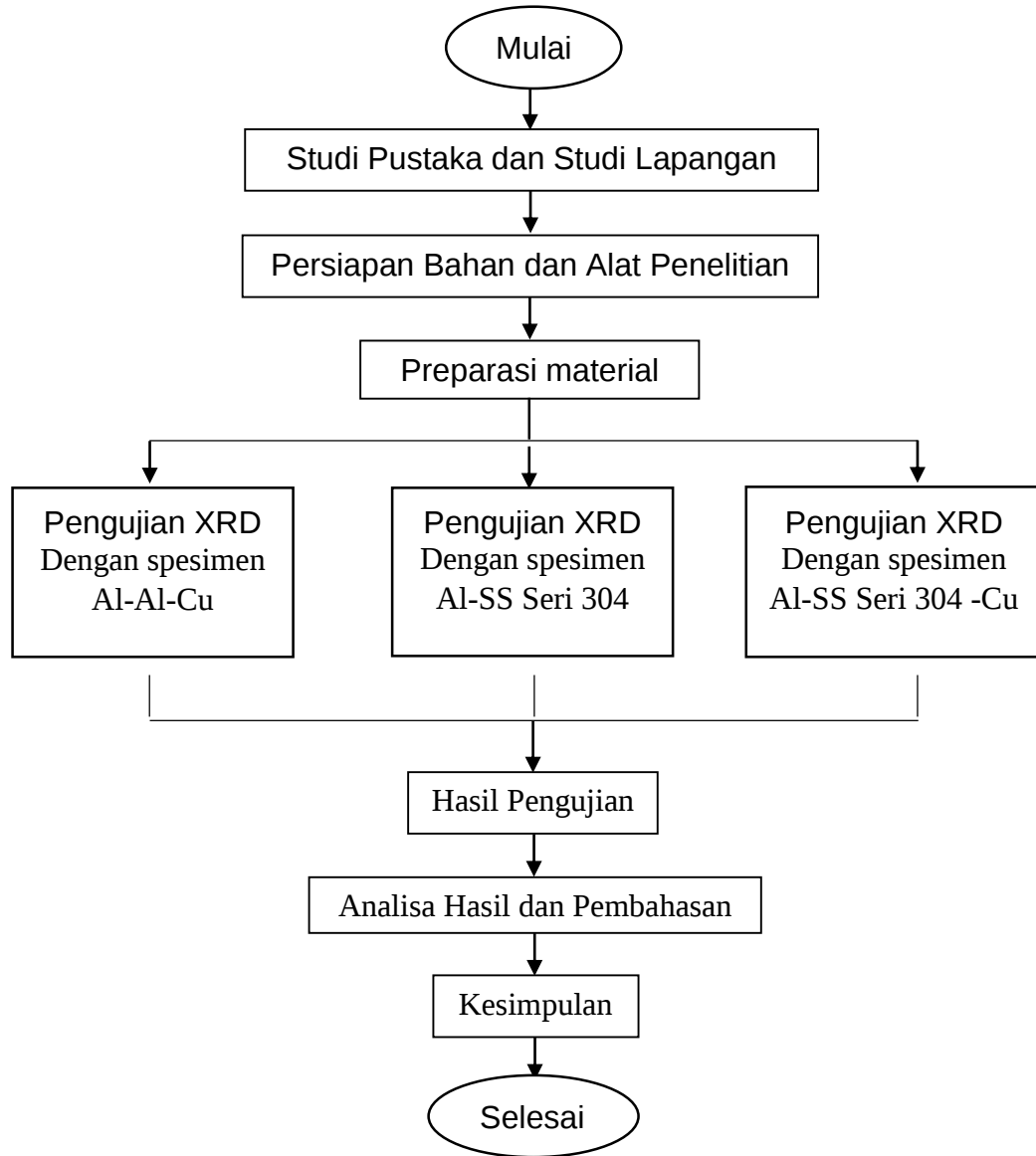
Gambar berikut ini memperlihatkan pengaruh orientasi bidang pantul dan arah datang cahaya terhadap pembentukan pola bayangan.

Perhatikan bayangan pada gambar di atas. Ilustrasi balok 1 dan 2 memperlihatkan bahwa walaupun datangnya cahaya berasal dari arah yang sama pada kedua gambar tersebut, namun jika objek yang terkena cahaya memiliki orientasi berbeda maka akan menghasilkan bayangan yang berbeda karena bidang yang terkena cahaya memiliki orientasi yang berbeda.

Sementara gambar balok 3 dan 4 memperlihatkan bahwa walaupun objek yang sama berada pada orientasi yang sama, namun jika cahaya berasal dari arah yang berbeda, maka akan membentuk bayangan yangnberbeda pula. Pada XRD, pola difraksi dinyatakan dengan besar sudut-sudut yang terbentuk sebagai hasil dari difraksi berkas cahaya oleh kristal pada material. Nilai sudut tersebut dinyatakan dalam 2θ , dimana θ merepresentasikan sudut datang cahaya. Sedangkan nilai 2θ merupakan besar sudut datang dengan sudut difraksi yang terdeteksi oleh detector (Muzakir, 2012).

2.METODE

Dalam penelitian ini digunakan diagram alir seperti dibawah ini:



Gambar 3 Diagram alir penelitian

2.1 Alat

Alat pengujian : Gas Torch,

Alat Bantu : Alat ukur, mesin potong, neraca digital, hermometer, amplas, autosol

Alat pengujian : Diffractometer XRD

2.3 Bahan

Bahan penelitian : Material plat aluminium seri 1000, *stainless steel* seri 304, *filler*, *fluks*, serbuk tembaga

2.4 Langkah Pengujian

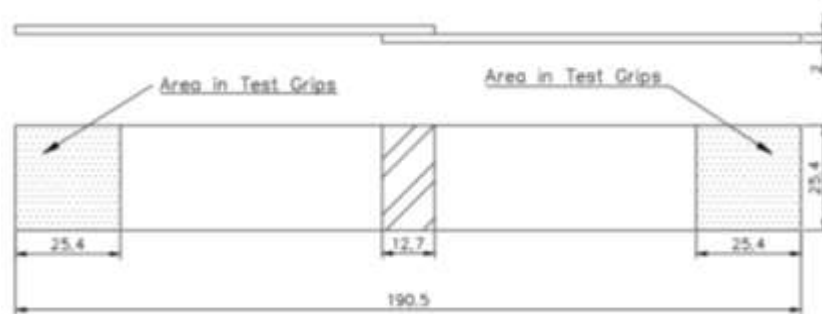
Penelitian ini dilakukan dengan metode penyambungan *Brazing* dengan tipe sambungan lap joint. Spesimen yang disambung menggunakan variasi Al-Cu, Al-Fe, dan Al-Fe-Cu

1) Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unsur kimia yang terkandung didalam material yang akan digunakan. Jika sesuai yang diharapkan maka penelitian akan dilanjutkan pada tahap selanjutnya namun jika belum sesuai maka harus mencari material yang sesuai.

2) Pemotongan Spesimen

Pemotongan spesimen menggunakan standart ASTM D1002



Gambar 4 Ukuran standart ASTM D1002

3) Proses *Brazing*

Berikut adalah tahapan proses penyambungan *brazing*:

- Benda kerja dipotong sesuai *standart* ASTM D 1002.
- Permukaan benda kerja dibersihkan dengan cara di amplas, yang berguna untuk menghilangkan oksida pada aluminium dan *stainless steel*.
- Mengoleskan *fluks* dipermukaan yang akan disambung.
- Memberikan serbuk tembaga pada *fluks* (dengan variasi serbuk tembaga).
- Menempatkan benda yang akan disambung.
- Memasang *torch* pada tabung gas las dan mengatur nyala api.
- Panaskan benda kerja dan kawat aluminium yang digunakan sebagai *filler* dengan api yang sudah menyala.

- h. Setelah benda kerja dipanaskan dan *filler* meleleh, maka atur sampai *filler* masuk kedalam celah antara sambungan.

Proses diatas diulangi hingga semua spesimen tersambung dengan temperatur yang sama.

4) Pengujian XRD

Sampel yang akan diuji merupakan potongan atau sisi dari hasil sambungan masing – masing spesimen. Sebelum dilakukan pemiindaian dengan mesin XRD. Sampel melalui beberapa langkah sebagai berikut:

- Menyiapkan sampel yang akan diuji.
- Memotong sampel sesuai ukuran pada mesin *XRD*.
- Mengamplas bagian sampel yang akan diuji.
- Melakukan *coating* pada permukaan sampel yang akan diuji.
- Meletakkan sampel yang sudah siap diuji kedalam mesin XRD.
- Melakukan pemindaian atau proses XRD.

Dalam penelitian ini, pemindaian XRD dilakukan untuk mendeteksi senyawa yang terbentuk dari sambungan *brazing*, adapun pemindaian XRD dilakukan untuk mengetahui karakterisasi material tersebut dan unsur yang terbentuk akibat dari proses *brazing*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Hasil uji komposisi kimia seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 Hasil pengujian komposisi kimia aluminium

No	Unsur	Presentase (%)
1	Si	0,1907
2	Fe	0,4491
3	Cu	0,0603
4	Mn	0,0484
5	Mg	0,0127
6	Cr	0,0013

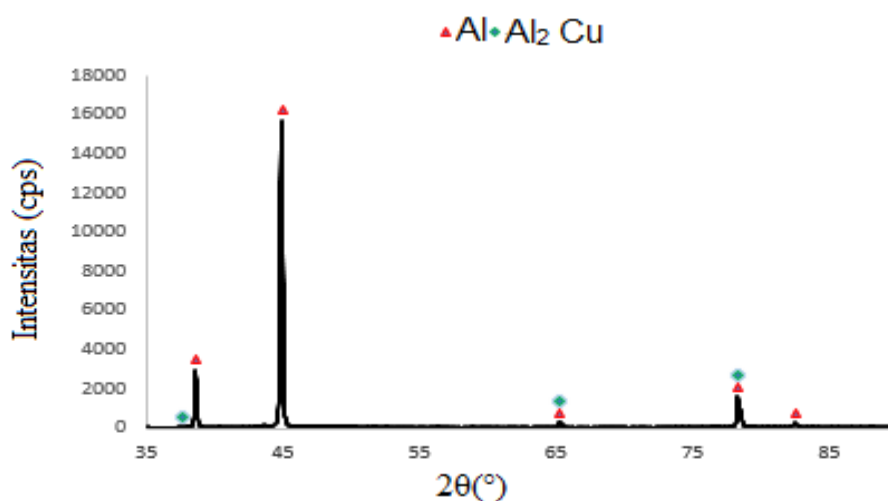
7	Ni	0,0032
8	Zn	0,0047
9	Ti	0,0169
10	Pb	0,0011
11	Sb	0,0020
12	Al	99,2095

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia, diambil tiga unsur paling banyak kemudian dimasukkan ke dalam “*MatWeb Material Property Data*” dan didapatkan bahwa material aluminium tersebut termasuk ke seri 1xxx, jika dibandingkan dengan hasil dari “*MatWeb Material Property Data*” maka hasilnya mendekati aluminium seri 1000 dengan *property* Al = 99.0% - 100%, Fe = 0.00600 – 0.800% Si + Fe = 0.0200 – 1.00%.

3.1 Hasil Pengujian XRD

Pengujian *XRD (X-Ray Diffraction)* pada penelitian ini digunakan untuk melihat karakterisasi struktur kristal dan mengetahui senyawa apa saja yang berada khususnya pada sambungan.

3.2.1 Analisis Hasil Pengujian *XRD* untuk *Brazing* antara Aluminium dan Aluminium dengan Penambahan Serbuk Tembaga.



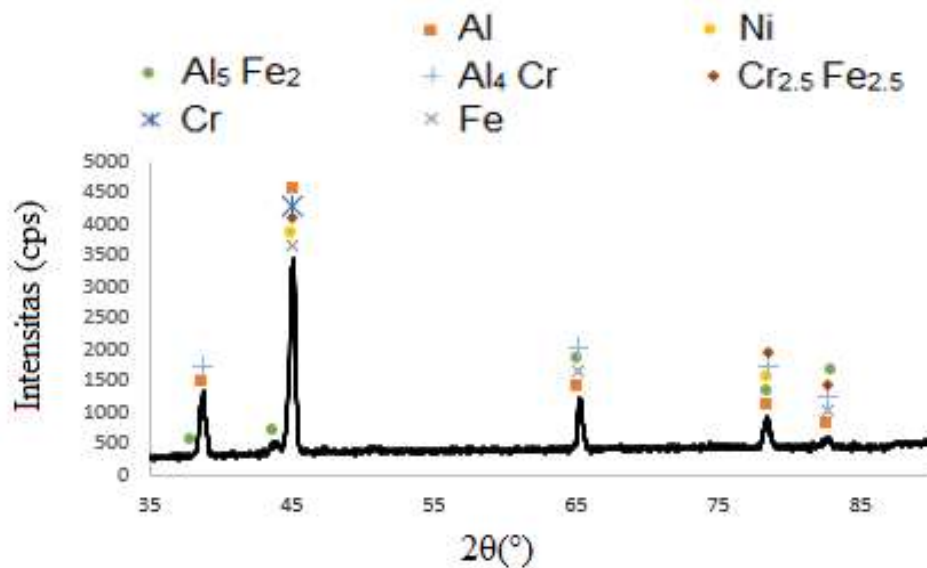
Gambar 5 Grafik Hubungan Intensitas dan 2θ pada sambungan Aluminium dan Aluminium dengan tambahan serbuk Tembaga

Dari hasil analisis Gambar 5 unsur Al peak tertinggi didapatkan pada sudut 45° dengan intensitas 7204 cps (Tabel 3), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 2.723 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa Al_2Cu peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,3^\circ$ dengan intensitas 1672 cps (Tabel 3), struktur kristalnya berbentuk Tetragonal dengan densitas sebesar 4.348 g/cm^3 (Tabel 6).

Tabel 3 Intensitas Senyawa 2θ pada sambungan Aluminium dan Aluminium dengan tambahan serbuk Tembaga

No	Fase	$2\theta(^{\circ})$	Intensitas (cps)
1	Al	38,6	2998
		45	7204
		65,24	324
		78,3	1672
		82,5	246
2	Al_2Cu	37,7	68
		65,24	324
		78,3	1672

3.2.2 Analisis Hasil Pengujian *XRD* untuk *Brazing* antara *Stainless steel* dan Aluminium tanpa Penambahan Serbuk Tembaga.



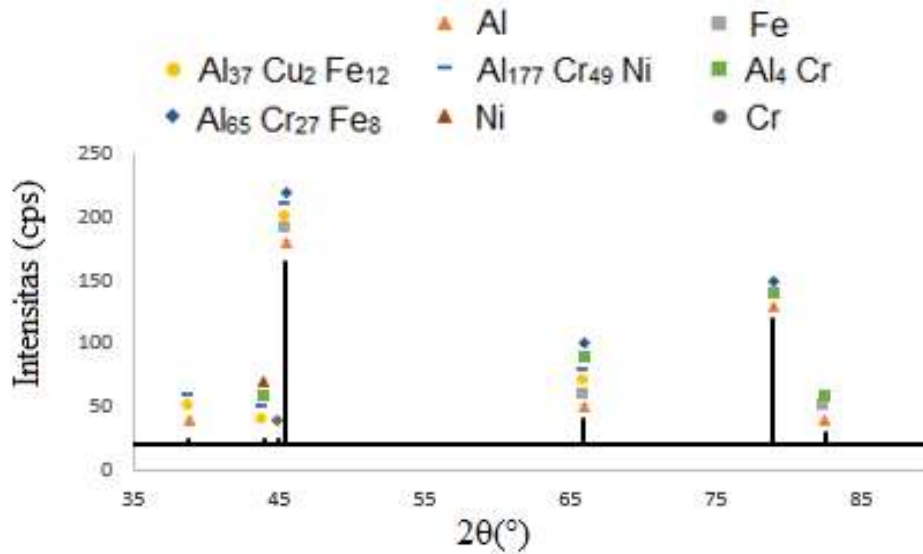
Gambar 6 Grafik Hubungan Intensitas dan 2θ pada sambungan *Stainless Steel* dan Aluminium tanpa tambahan serbuk Tembaga

Dari hasil analisis Gambar 6 unsur Al peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,1^\circ$ dengan intensitas 3478 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 2.693 g/cm^3 (Tabel 6). Unsur Fe peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 7.879 g/cm^3 (Tabel 6). unsur Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 7.199 g/cm^3 (Tabel 6). unsur Ni peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk hexagonal dengan densitas sebesar 7.401 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa Al_5Fe_2 peak tertinggi didapatkan pada sudut $65,16^\circ$ dengan intensitas 1258 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk Orthorhombic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa Al_4Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $38,74^\circ$ dengan intensitas 1346 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk monoclinic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa $\text{Cr}_{2.5}\text{Fe}_{2.5}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps (Tabel 4), struktur kristalnya berbentuk tetragonal dengan densitas sebesar 7.634 g/cm^3 (Tabel 6).

Tabel 4 Intensitas Senyawa 2θ pada sambungan *Stainless Steel* dan Aluminium tanpa tambahan serbuk Tembaga

No	Fase	$2\theta(^{\circ})$	Intensitas (cps)
1	Al	38,74	1346
		45,1	3478
		65,16	1258
		78,46	950
		82,74	622
2	Fe	44,94	3320
		65,16	1258
		82,74	622
3	Cr	44,94	3320
4	Ni	44,94	3320
		78,46	1550
5	$\text{Al}_5 \text{Fe}_2$	37,98	346
		43,8	536
		65,16	1258
		78,46	950
		83,02	510
6	$\text{Al}_4 \text{Cr}$	38,74	1346
		65,16	1258
		78,46	950
		82,74	622
7	$\text{Cr}_{2.5} \text{Fe}_{2.5}$	44,94	3320
		78,46	950
		82,74	622

4.2.3 Analisis Hasil Pengujian *XRD* untuk *Brazing* antara Stainless steel dan Aluminium dengan Penambahan Serbuk Tembaga.



Gambar 7 Grafik Hubungan Intensitas dan 2θ pada sambungan Stainless Steel dan Aluminium dengan tambahan serbuk Tembaga

Dari hasil analisis Gambar 7 unsur Al peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,96^\circ$ dengan intensitas 114 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 2.698 g/cm^3 (Tabel 6). Unsur Fe peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 7.924 g/cm^3 (Tabel 6). Unsur Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,92^\circ$ dengan intensitas 20 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 7.199 g/cm^3 (Tabel 6). Unsur Ni peak tertinggi didapatkan pada sudut $43,96^\circ$ dengan intensitas 14 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk *cubic* dengan densitas sebesar 8.625 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa $\text{Al}_{37} \text{Cu}_2 \text{Fe}_{12}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 4.049 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa $\text{Al}_{177} \text{Cr}_{49} \text{Ni}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk Hexagonal dengan densitas sebesar 3.849 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa $\text{Al}_4 \text{Cr}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,96^\circ$ dengan intensitas 114 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 3.529 g/cm^3 (Tabel 6). Senyawa $\text{Al}_{65} \text{Cr}_{27} \text{Fe}_8$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps (Tabel 5), struktur kristalnya berbentuk Trigonal dengan densitas sebesar 4.135 g/cm^3 (Tabel 6).

Tabel 5 Intensitas Senyawa 2 θ pada sambungan Stainless Steel dan Aluminium dengan tambahan serbuk Tembaga

No	Fase	2 θ (°)	Intensitas (cps)
1	Al	38,78	16
		45,46	102
		65,94	36
		78,96	114
		82,5	24
2	Fe	45,46	102
		65,94	36
		82,5	24
3	Ni	43,96	14
4	Cr	44,92	20
5	Al ₃₇ Cu ₂ Fe ₁₂	38,78	16
		43,96	14
		45,46	102
		65,94	36
6	Al ₁₇₇ Cr ₄₉ Ni	38,78	16
		43,96	14
		45,46	102
		65,94	36
7	Al ₄ Cr	43,96	14
		65,94	36
		78,96	114
		82,5	24
8	Al ₆₅ Cr ₂₇ Fe ₈	45,46	102
		65,94	36
		78,96	114

Tabel 6 Fase intermetalik

No	Fase	Komposisi(%)					Struktur Kristal	Density (g/cm ³)	Panjang Kisi (Å)
		Al	Fe	Cu	Cr	Ni			
1	Al	100	-	-	-	-	FCC	2.723	55,461
	Al ₂ Cu	66.66	-	33.33	-	-	Tetragonal	4.348	15.918
	Al	100	-	-	-	-	FCC	2.693	11.690
2	Fe	-	100	-	-	-	Cubic	7.879	72.215
	Cr	-	-	-	100	-	BCC	7.199	11.911
	Ni	-	-	-	-	100	Hexagonal	7.401	277.308
	Al ₅ Fe ₂	71.42	28.57	-	-	-	Orthorhombic	3.950	63,024
	Al ₄ Cr	80	-	-	20	-	Monoclinic	3.529	9.982
3	Cr _{2.5} Fe _{2.5}	-	50	-	50	-	Tetragonal	7.634	6.1871
	Al	100	-	-	-	-	FCC	2.698	46,218
	Fe	-	100	-	-	-	Cubic	7.924	9.675
	Cr	-	-	-	100	-	BCC	7.199	11.719
	Ni	-	-	-	-	100	Cubic	8.625	2.454
	Al ₃₇ Cu ₂ Fe ₁₂	72.5	23.5	3.92	-	-	Monoclinic	4.049	3.766
	Al ₁₇₇ Cr ₄₉ Ni	77.9	-	-	21,5	0.44	Hexagonal	3.849	4.621
	Al ₄ Cr	80	-	-	20	-	Monoclinic	3.529	9.903
	Al ₆₅ Cr ₂₇ Fe ₈	65	8	-	27	-	Trigonal	4.135	45.978

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil analisis *XRD* pada setiap material di ketahui terbentuk suatu senyawa, yang pertama yaitu *Brazing* antara Aluminium dan Aluminium dengan Penambahan Serbuk Tembaga terbentuk senyawa Al_2Cu peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,3^\circ$ dengan intensitas 1672 cps, yang kedua *Brazing* antara Stainless steel dan Aluminium tanpa Penambahan Serbuk Tembaga terbentuk Senyawa Al_5Fe_2 peak tertinggi didapatkan pada sudut $65,16^\circ$ dengan intensitas 1258 cps, Senyawa Al_4Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $38,74^\circ$ dengan intensitas 1346 cps, Senyawa $\text{Cr}_{2.5}\text{Fe}_{2.5}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $44,94^\circ$ dengan intensitas 3320 cps, yang ketiga *Brazing* antara Stainless steel dan Aluminium dengan Penambahan Serbuk Tembaga terbentuk Senyawa $\text{Al}_{37}\text{Cu}_2\text{Fe}_{12}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps, Senyawa $\text{Al}_{177}\text{Cr}_{49}\text{Ni}$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps, Senyawa Al_4Cr peak tertinggi didapatkan pada sudut $78,96^\circ$ dengan intensitas 114 cps, Senyawa $\text{Al}_{65}\text{Cr}_{27}\text{Fe}_8$ peak tertinggi didapatkan pada sudut $45,46^\circ$ dengan intensitas 102 cps.
- 2) Pada senyawa Al_2Cu struktur kristalnya berbentuk Tetragonal dengan densitas sebesar $4,348 \text{ g/cm}^3$, Senyawa Al_5Fe_2 struktur kristalnya berbentuk Orthorhombic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 , Senyawa Al_4Cr struktur kristalnya berbentuk monoclinic dengan densitas sebesar 3.950 g/cm^3 , Senyawa $\text{Cr}_{2.5}\text{Fe}_{2.5}$ struktur kristalnya berbentuk tetragonal dengan densitas sebesar 7.634 g/cm^3 , Senyawa $\text{Al}_{37}\text{Cu}_2\text{Fe}_{12}$ struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 4.049 g/cm^3 , Senyawa $\text{Al}_{177}\text{Cr}_{49}\text{Ni}$ struktur kristalnya berbentuk Hexagonal dengan densitas sebesar 3.849 g/cm^3 , Senyawa Al_4Cr struktur kristalnya berbentuk Monoclinic dengan densitas sebesar 3.529 g/cm^3 , Senyawa $\text{Al}_{65}\text{Cr}_{27}\text{Fe}_8$ struktur kristalnya berbentuk Trigonal dengan densitas sebesar 4.135 g/cm^3 .

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian sambungan *brazing* antara plat aluminium dan stainless steel dengan penambahan serbuk tembaga yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

- 1) Penelitian mengenai pengelasan beda material perlu dikembangkan lagi, dengan material yang berbeda ataupun material yang sama.
- 2) penelitian ini dapat dikembangkan lebih luas dengan parameter lain, bisa juga dengan parameter yang sama namun material yang berbeda-beda.

Untuk hasil penelitian yang optimal, alat-alat pendukung, alur pembuatan spesimen dan cara pengujian harus lebih teliti dan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

ASM Handbook Vol 6. Pdf, 1993, *Welding, Brazing and Soldering*, ASM Handbook Commite, United State

ASM Handbook Vol 9. Pdf, 1998, *Metallography and Microstructures*, ASM Handbook Commite, United State

ASM Handbook Vol 10. Pdf, 1998, *Material Characterization*, ASM Handbook Commite, United State

Bin Liu, dkk. 2018. *Interaksi dan Fasa Intermetalik antara Aluminium dan Stainless steel*. Teknik Material. Universitas China Utara. China.

Bing Xiao, dkk. 2015. *Pengembangan ZrF₄ mengandung CsF-AlF₃ Fluk dengan Brazing Aluminium seri 5052 dengan Zn-Al sebagai Filler*. Teknik Material. Universitas Tianjin. China

Davis, J. R. 1993. *Aluminum and aluminum alloys*. ASM international. Hlm 319.

- Dai, C. et al. (2017) '*Microstructure and properties of an Al – Ti – Cu – Si brazing alloy for SiC – metal joining*
- G.H.S.F.L. Carvalho, dkk. 2018. *Pembentukan struktur intermetalik antarmuka pada stainless steel dan aluminium dengan metode brazing*. Teknik mesin. Universitas Coimbra. Portugal
- Guanxing Zhang, dkk. 2015. *Pengembangan Zn -15Al – x Zr filler logam pengisi untuk brazing paduan aluminium seri 6061 dan stainless steel seri 304*. Institute Technology Harbin. China.
- Muzakir, A. (2012) *Karakterisasi Material*
- Wiryosumarto, H dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam* Cetakan Kedelapan. Pradnya Paramita.
- W. Kenyon. 1985. *Dasar-Dasar Pengelasan (Basic Welding and Fabrication)*. Alih Bahasa Dines Ginting. Erlangga: Jakarta.
- Yagati, K. P., Bathe, R. and Joardar, J. (2019) '*Al – Steel Joining by CMT Weld Brazing : Effect of Filler Wire Composition and Pulsing on the Interface and Mechanical Properties*', *Transactions of the Indian Institute of Metals*. Springer India
- SAPUTRA, Y (2019) '*ANALISIS SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) PADA PENGELASAN BRAZING ANTARA ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS STEEL SERI 304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK TEMBAGA*'. Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Zulfikri Endriansyah. 2017. *Analisa Kekuatan Mekanik dan Struktur Metalografi Pada Metode Brazing Antara Aluminium dan Besi Dengan Menggunakan Filler Alusol*. Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.