

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini pengaruh *friction pressure* dan *rotation speed* terhadap sifat mekanik dan fisik sambungan dari hasil *friction welding* aluminium 6063 dan tembaga diperoleh dengan melakukan tahap pengujian yaitu analisa hasil pengujian komposisi *base metal*, pengamatan visual hasil lasan, uji tarik, uji kekerasan dan analisa struktur mikro dengan menggunakan *optical microscope*. Dari beberapa tahap pengujian tersebut mendapatkan data hasil pengujian untuk di analisa dan menghasilkan suatu pembahasan dan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan dari penelitian.

4.1 Hasil pengujian komposisi *base metal*

Sebelum dilakukannya *friction welding*, *base metal* aluminium 6063 dan tembaga murni dilakukan pengujian komposisi untuk memperkirakan fenomena yang terjadi selama *friction welding* dilakukan. Pengujian komposisi *base metal* ini dilakukan dengan menggunakan alat *spectro analyse* PMI-Master Pro. PMI-Master Pro adalah spektrometer seluler yang kuat untuk mengidentifikasi unsur material dari berbagai logam. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat seperti pistol yang mudah digenggam oleh tangan. Grade material dan komposisi kimianya akan muncul dalam beberapa detik pada layar sentuh *thin film transistor* yang terintegrasi. Bergantung pada aplikasinya, terdapat berbagai mode operasi yang bisa digunakan misalnya untuk identifikasi unsur, kalibrasi maupun standarias

Mekanisme alat PMI-Master Pro ini berdasarkan prinsip interaksi antara radiasi elektromagnetik (biasanya sinar X) ditembakkan ke suatu sampel, atom-atom

dalam *Sampel* akan menyerap energi sinar X yang kemudian dipancarkan kembali dalam bentuk sinar X dengan panjang gelombang yang spesifik.

Kelebihan alat Spectra Analyse PMI-Master Pro yaitu memiliki mobilitas sempurna dengan menggunakan tenaga baterai, pengujian cepat dan praktis, teknologi *Jet-Stream* untuk *Sampel* kecil dan analisis kandungan karbon dalam suatu material. Cara kerja dari alat ini yaitu sampel yang akan dianalisa biasanya disiapkan dalam bentuk *Sampel* yang telah dipreparasi, bersih dan permukaannya rata. Dimana, alat akan memancarkan sinar-X ke sampel lalu atom-atom dalam sampel akan menyerap dan memancarkan kembali sinar-X dengan panjang gelombang tertentu yang menjadi spektrum. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian komposisi dapat dilihat pada tabel 3.1 diatas.

4.2 Pengamatan visual sambungan *friction welding*

Setelah mengamati pada hasil *friction welding*, dapat dilihat pada daerah sambungan terdapat flash atau tonjolan logam yang terjadi akibat oleh gesekan kedua permukaan kontak kedua logam material dan menimbulkan panas yang semakin tinggi hingga material logam mengalami lumer (tidak mencapai titik cair) dan pada saat yang bersamaan diberi tekanan yang sudah di tentukan dengan waktu yang konstan

Terbentuknya *flash* akibat *Friction welding* mengakibatkan berkurangnya panjang *Sampel*. Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan gesek, waktu gesek, dan *forging pressure* yang diberikan, semakin besar pula flash yang dihasilkan dan diikuti panjang *Sampel* yang semakin berkurang.

Tabel 4.1 Sambungan hasil *friction welding* Al-Cu

Hasil sambungan	Rotation speed (rpm)	Makro sambungan	Friction pressure (MPa)	Burn off length (mm)	Flash (mm ³)
	1900		18	18	2034,72
	1900		31	12	2034,72
	1900		42	15	2034,72
	2100		18	21	2373,84

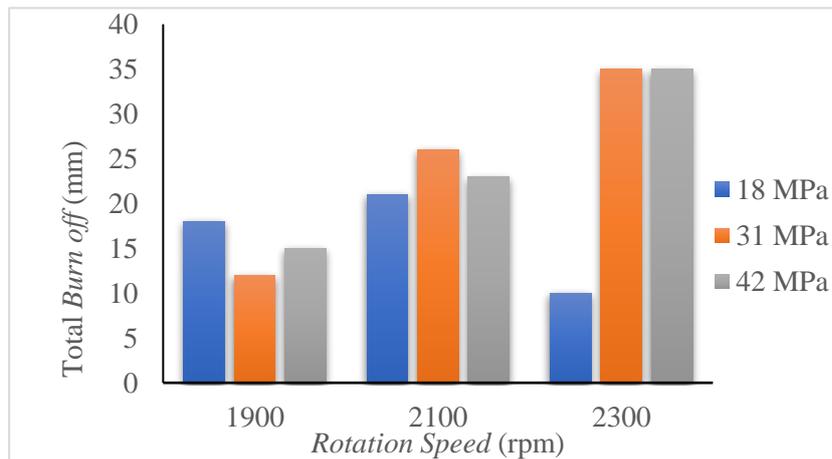
Hasil sambungan	Rotation speed (rpm)	Makro sambungan	Friction pressure (MPa)	Burn off length (mm)	Flash (mm³)
	2100		31	26	2373,84
	2100		42	23	2373,84
	2300		18	10	1130,4
	2300		31	35	3956,4

Hasil sambungan	Rotation speed (rpm)	Makro sambungan	Friction pressure (MPa)	Burn off length (mm)	Flash (mm ³)
	2300		42	35	3956,4

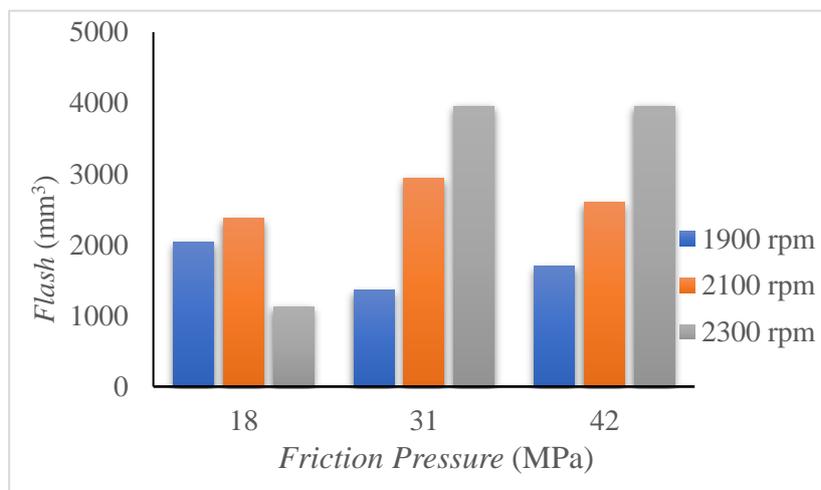
Pengamatan hubungan antara panjang pembakaran (*burn-off length*) dan kecepatan rotasi (*rotational speed*) yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 diatas menunjukkan beberapa fenomena penting, pada *Rotation speed* yang rendah biasanya cukup untuk menghasilkan suhu yang tinggi yang diperlukan untuk pembentukan ikatan, seiring dengan peningkatan *Rotation speed*, (*burn-off length*) meningkat secara stabil. Ini menunjukkan bahwa peningkatan *Rotation speed* meningkatkan suhu yang dihasilkan oleh gesekan [29]

Jika kita tinjau lebih jauh tentang mekanika, pengelasan pada dasarnya berfungsi sebagai jembatan yang menggabungkan dua substrat yang berbeda dan memastikan adanya konektivitas material yang berkelanjutan. Hal ini khususnya relevan jika kita mempertimbangkan sifat ikatan tersebut – ikatan intermetalik. Ikatan semacam itu terbentuk ketika atom-atom dari logam yang berbeda berbagi elektron, sehingga menghasilkan hubungan yang kuat yang meningkatkan sifat material yang terlibat [30].

Hasil lasan tidak hanya memperkuat stabilitas struktural komponen-komponen ini, tetapi juga memperkuat kemampuannya untuk menahan tekanan dan berat. Untuk menyatakannya dalam istilah yang dapat diukur, kapasitas menahan beban komponen-komponen tersebut terlihat dua kali lipat secara efektif. Akan tetapi, bidang pengelasan bukannya tanpa kerumitan. Sementara efisiensi keseluruhan sambungan las menunjukkan peningkatan, pengamatan yang lebih dekat mengungkapkan perbedaan yang nyata dalam kualitas sambungan. Anehnya, ketika sambungan las dibuat dari bahan yang sama, efisiensinya lebih unggul [30]



Gambar 4.1 Gambar diagram *burn off length*



Gambar 4.2 Gambar diagram *Flash (mm³)*

Pengamatan *flash* (mm^3) dengan *friction pressure* (MPa) yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, Setelah mengamati pada hasil *friction welding*, dapat dilihat pada daerah sambungan terdapat *flash* (mm^3) atau logam yang menonjol keluar yang disebabkan oleh gesekan kedua ujung material dan menimbulkan panas semakin tinggi hingga material logam mengalami lumer (tidak mencapai titik cair) dan pada saat yang bersamaan diberi tekanan dengan waktu yang telah ditentukan.

Terbentuknya *flash* (mm^3) akibat *friction welding* mengakibatkan berkurangnya panjang sampel. Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan gesek, waktu gesek, dan *forging pressure* yang diberikan, semakin besar pula *flash* (mm^3) yang dihasilkan dan diikuti panjang Sampel yang semakin berkurang. Perubahan panjang Sampel dan lebar *flash* (mm^3) masing-masing variasi tekanan gesek dan *rotation speed* (rpm) dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.

4.3 Kekuatan tarik sambungan *friction welding*

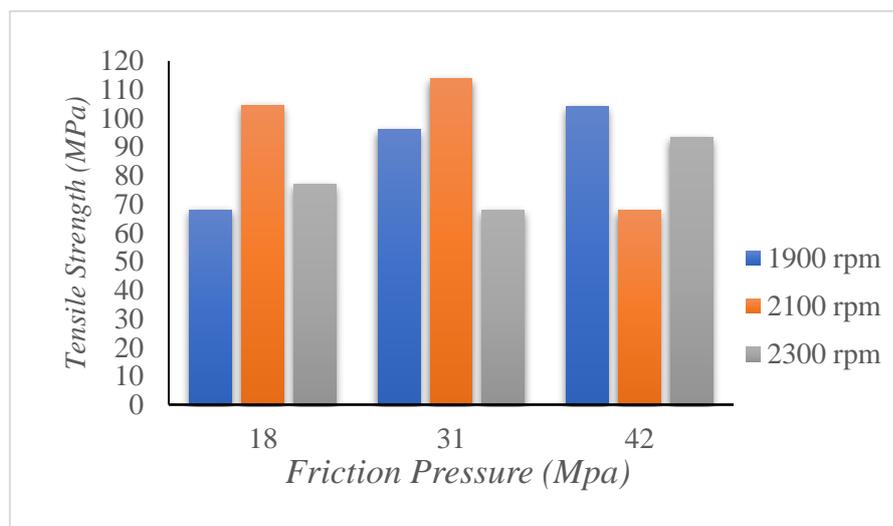
Ketika aluminium 6063 diputar pada kecepatan tertentu temperatur permukaan logam yang saling bergesekan meningkat dan aluminium 6063 menjadi lebih lunak. Lalu Tembaga ditekan menggunakan hidrolik sambil aluminium 6063 berputar, memungkinkan tembaga untuk menembus ke dalam aluminium 6063. Lalu putaran pada aluminium 6063 dihentikan yang kemudian diberikan waktu tekan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik pada sambungan. Sehingga memiliki distribusi partikel yang homogen antara aluminium 6063 dan tembaga di daerah sambungan hasil pengelasan. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar material dapat terdeformasi sampai batas maksimum

dan mengalami perpatahan. Dan untuk kuat tarik dari *base metal* aluminium 6063 itu sendiri memiliki kekuatan sebesar 224 MPa dan untuk tembaga memiliki kekuatan sebesar 279 MPa Seperti yang tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik

rpm	<i>Friction pressure</i> (P ₁)	F max (kN)	<i>Tensile Strength</i> (MPa)
1900	18 MPa	7,7	76,8
	31 MPa	10,9	67,9
	42 MPa	11,8	93,2
2100	18 MPa	11,7	104,5
	31 MPa	12,6	113,7
	42 MPa	7,7	67,8
2300	18 MPa	8,7	68,0
	31 MPa	7,7	96,1
	42 MPa	10,5	104,0

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *friction pressure* yang tertera pada Gambar grafik 4.3.

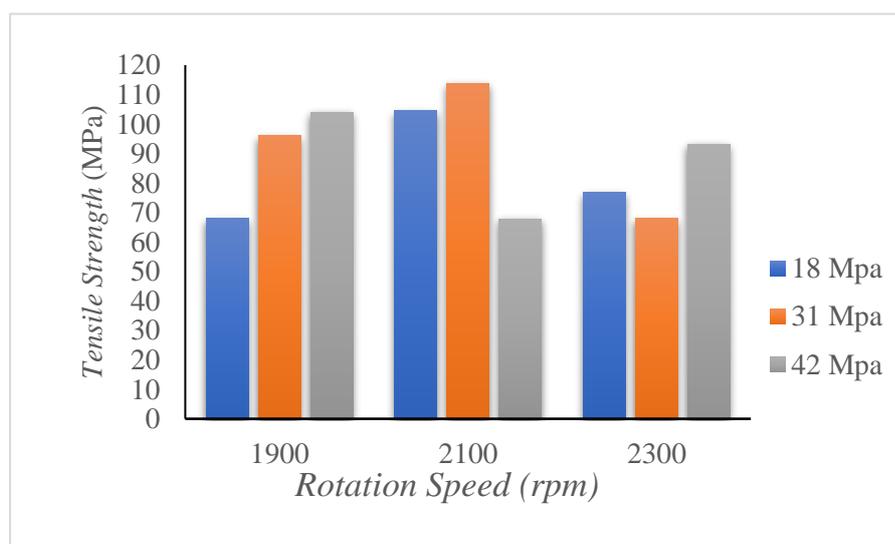


Gambar 4.3 Gambar grafik hasil uji tarik terhadap *friction pressure*

Dapat diketahui bahwa pada variasi *rotation speed* 2300 rpm hasil dari kekuatan tarik sambungan Al-Cu dengan penekanan atau *Friction pressure* 18 MPa mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 76 MPa sedangkan pada penekanan atau *Friction pressure* 31 MPa mendapatkan kekuatan tarik sebesar 67 MPa dan untuk penekanan atau *friction pressure* 42 MPa mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 93 MPa

Untuk penekanan atau *friction pressure* sebesar 18 MPa mengalami kenaikan pada hasil kekuatan tariknya yaitu sebesar 104 MPa jika disandingkan dengan variasi *Rotation speed* 2300 rpm sedangkan pada variasi penekanan atau *friction pressure* sebesar 31 MPa mengalami kenaikan kembali sebesar 113 MPa dan pada variasi penekanan atau *friction pressure* 42 MPa mengalami penurunan sebesar 67 MPa dari pengujian sebelumnya dengan variasi *rotation speed* sebesar 2300 rpm

Kemudian pada penelitian ini dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *friction pressure* yang tertera pada Grafik 4.4.



Gambar 4.4 Gambar grafik hasil uji tarik terhadap *rotation speed*

Pada variasi *rotation speed* sebesar 1900 rpm dengan variasi mengalami kenaikan secara konstan, pada penekanan atau *friction pressure* 18 MPa mempunyai kekuatan tarik sebesar 68 MPa, untuk *friction pressure* sebesar 31 MPa memiliki kekuatan tarik 96 MPa dan untuk *friction pressure* sebesar 42 MPa memiliki kekuatan tarik sebesar 104 MPa

Pada Gambar 4.4 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *rotation speed* menunjukkan bahwa pada tekanan 18 MPa menunjukkan adanya hasil yang fluktuatif seperti pada saat sampel diberi *rotation speed* 1900 rpm dengan hasil kekuatan tarik 68 MPa lalu pada saat diberi *rotation speed* 2100 rpm hasil dari kekuatan tarik sampel meningkat dengan hasil kuat tarik sebesar 104,5 MPa namun ketika sampel diberi *rotation speed* yang lebih tinggi yaitu 2300 rpm hasil dari kuat tarik sampel menurun menjadi 76 MPa. Sedangkan pada tekanan 31 MPa mempunyai hasil kuat tarik yang fluktuatif juga dapat dilihat bahwa pada *rotation speed* 1900 rpm mempunyai hasil kuat tarik 96,1 MPa sedangkan pada *rotation speed* 2100 rpm memiliki hasil kuat tarik yang meningkat sebesar 113,7 MPa namun pada saat *rotation speed* 2300 rpm hasil kuat tarik pada sampel menurun hingga 67,9 MPa

Lalu pada tekanan 42 MPa juga mempunyai hasil yang fluktuatif dapat dilihat pada Gambar 4.4 di atas bahwa pada *rotation speed* 1900 rpm mempunyai hasil kuat tarik sebesar 104 MPa, pada *rotation speed* 2100 rpm mempunyai kekuatan sebesar 67,8 MPa, dan pada *rotation speed* 2300 rpm 93,2 MPa. berbeda dengan dua parameter sebelumnya yang mempunyai hasil kuat tarik meningkat lalu menurun pada *rotation speed* yang tinggi pada parameter ini hasil yang di dapat

justeru memiliki penurunan terlebih dahulu lalu mengalami peningkatan pada *rotation speed* yang tinggi itu dapat disebabkan oleh *friction pressure* yang tinggi dan diiringi oleh *rotation speed* yang tinggi pula.

Kekuatan sambungan las gesek (*Friction welding*) dapat mencapai nilai maksimum ketika temperatur tempanya optimal. Temperatur tersebut bisa dicapai dengan cara mengatur variasi *friction pressure*, *friction time*, dan *rotation speed* (rpm). *Friction pressure* yang diberikan dapat mempengaruhi temperatur pada saat gesekan berlangsung. Semakin tinggi *friction pressure* maka pembebanan juga akan meningkat dan temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Peningkatan beban gesek terhadap struktur mikro memperlihatkan perbedaan bentuk dan ukuran butiran (*grain size*) pada logam las dan HAZ [31]

Sambungan pada hasil *friction welding* mempunyai hasil yang fluktuatif ada yang memiliki hasil kuat tarik tinggi dan ada juga yang mempunyai hasil kuat tariknya rendah, hasil kuat tarik yang tinggi pada hasil sambungan *friction welding* disebabkan oleh perpindahan unsur antara tembaga kedalam material aluminium 6063 yang ditunjukkan oleh data hasil SEM (*scanning electron microscopy*) dapat dilihat pada lampiran B.7, kemudian untuk sambungan hasil *friction welding* yang mendapatkan kekuatan tarik rendah disebabkan oleh banyaknya oksida pada permukaan kedua material hal tersebutlah yang menyebabkan hasil kuat tarik rendah karena kedua material sukar untuk berdifusi dan membentuk ikatan

Kekerasan hasil *friction welding*

Kekerasan Vicker dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material sampel uji karena pada penelitian ini sampel dibuat dengan cara

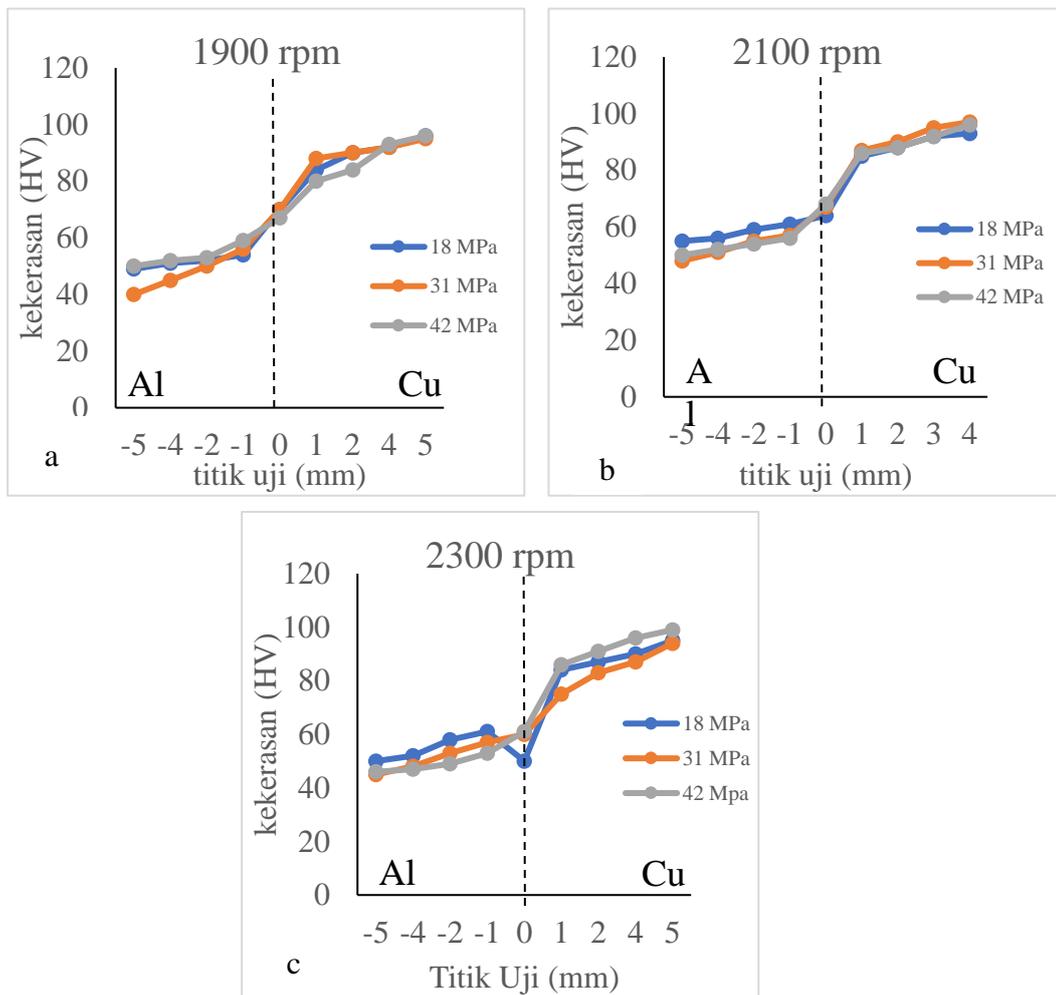
pergesekan (*frictional*) dan *deformasi plastis* sehingga perlu dilakukan pengujian kekerasan yang bertujuan selain dari mengetahui distribusi kekerasan yaitu untuk mengetahui kemampuan suatu material menahan beban. Secara umum profil sambungan pada variasi *friction pressure* cenderung memiliki peningkatan kekerasan pada daerah sambungan terutama memiliki kekuatan lebih keras dibandingkan dengan logam induk material aluminium 6063.

Hasil uji kekerasan untuk semua parameter *friction welding* ditampilkan ke dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada gambar di bawah, pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada variasi *tekanan friction* 42 MPa dengan *rotation speed* 2300 rpm memiliki kekerasan pada sambungan yang paling tinggi yaitu 61 HV pada sambungan hasil pengelasan, sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah sambungan menggunakan *rotation speed* 2300 rpm dengan parameter *friction pressure* 18 MPa yaitu sebesar 50 HV. Selanjutnya pada variasi *tekanan friction* 31 MPa dengan *rotation speed* 2300 rpm mempunyai nilai kekerasan pada sambungan hasil pengelasan sebesar 50 HV.

Untuk parameter *rotation speed* 2100 rpm dengan variasi *tekanan friction* 18, 31, dan 42 MPa pada Gambar 4.5 di bawah mengalami peningkatan kekerasan pada sambungan las. Untuk variasi *tekanan friction* 18 MPa dengan *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 64 HV pada sambungan, kemudian pada *tekanan friction* 31 MPa dengan *rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 67 HV pada sambungan, dan untuk *tekanan friction* 42 MPa dengan *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 68 HV pada sambungan.

Kemudian pada parameter *rotation speed* 1900 rpm dengan variasi *friction pressure* 18, 31, dan 42 MPa pada Gambar 4.5 di bawah mengalami peningkatan kekerasan pada daerah sambungan las dimana pada tekanan *friction* 18 MPa dengan *rotation speed* 1900 rpm memiliki kekerasan pada sambungan sebesar 70 hv pada sambungan, lalu untuk tekanan *friction* 31 mpa dengan *rotation speed* 1900 rpm memiliki kekerasan pada sambungan sebesar 70 HV pada sambungan, dan untuk tekanan *friction* 42 MPa dengan *Rotation speed* 1900 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar 67 HV dimana pada variasi ini mengalami penurunan nilai kekerasan pada daerah sambungan hasil lasan.

Melihat dari keseluruhan grafik di bawah dapat disimpulkan meningkatnya variasi *friction pressure* menghasilkan nilai kekerasan pada sambungan yang meningkat dan pada variasi *rotation speed* nilai hasil kekerasan juga meningkat berbanding terbalik dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Margono dkk [32] yang mengatakan bahwa variasi tekanan gesek yang semakin meningkat dapat menurunkan nilai kekerasan sambungan *friction welding*, namun sebaliknya apabila waktu gesek meningkat maka nilai kekerasan pada daerah sambungan *friction welding* juga akan meningkat. Pengaruh pengelasan sambungan *friction welding* antara logam tak sejenis terhadap nilai kekerasan adalah semakin besar variasi tekanan gesek yang diberikan dengan variasi waktu gesek konstan nilai kekerasannya semakin menurun [33]



Gambar 4.5 (a) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2300 rpm
 (b) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2100 rpm (c) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 1900 rpm

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh B margono [32] dikatakan variasi *friction pressure* yang semakin meningkat dapat menurunkan nilai kekerasan sambungan *friction welding*, namun sebaliknya apabila waktu gesek meningkat maka nilai kekerasan pada daerah sambungan *friction welding* juga akan meningkat. Tetapi peningkatan *friction pressure* diikuti dengan waktu gesek yang lama justru malah menurunkan nilai kekerasan pada daerah sekitar sambungan

pengelasan, namun pada penelitian yang telah dilakukan seiring meningkatnya variasi *friction pressure* nilai kekerasan mengalami kenaikan namun jika dibandingkan dengan variasi *rotation speed* semakin tinggi rpm yang diberikan maka nilai kekerasan yang didapat semakin menurun

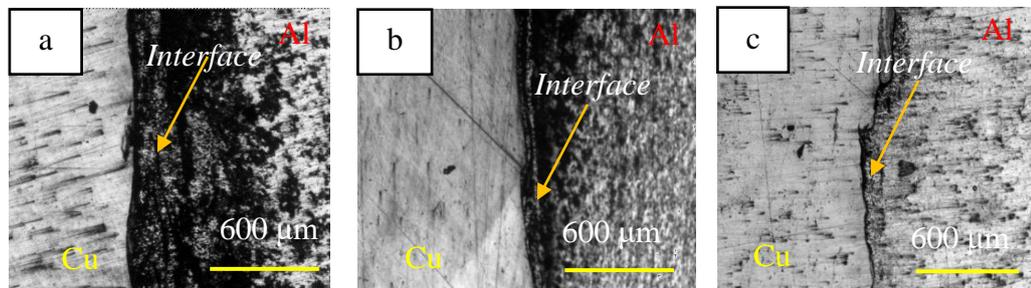
4.4 Microstructure friction welding Al-Cu

Analisa struktur sambungan las pada *friction welding* Al Cu yang tidak sama pada *interface* dengan berbagai *Rotation speed* dan berbagai macam *Friction pressure* yang diambil dari posisi tengah garis, analisa mikrostruktur dilakukan pada penampang sambungan *rotary Friction welding (RFW)* untuk mengidentifikasi berbagai *microstructure*

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yuichi ONO et al. [34] yang menyelidiki terhadap pengaruh parameter *rotation speed*, *friction pressure* dan *forging pressure* terhadap mikrostruktur dan sifat tarik sambungan *rotary Friction welding*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa zona yang terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone (HAZ)* ditemukan sebagai posisi yang paling rentan karena mengalami kenaikan suhu yang tinggi.

Semakin tinggi kecepatan putaran, semakin tinggi pula temperaturnya, sehingga ketika temperatur mencapai titik di atas rekristalisasi akan mengubah bentuk mikrostruktur aluminium dan tembaga. Pada aluminium dan tembaga, terdapat daerah yang terkena panas *Heat Affected Zone (HAZ)*. [36]. Namun juga jika diteruskan nilai upsetnya juga akan dapat naik dan kemudian turun. Jika dilihat bagian yang terkena pengaruh panas yang sering disebut dengan *Heat Affected Zone (HAZ)* akan semakin panjang. *Heat Affected Zone (HAZ)* dalam penelitian ini lebih

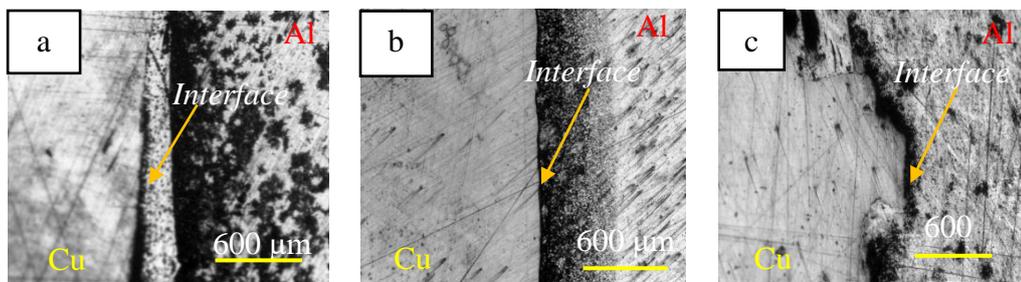
diterjemahkan sebagai daerah yang terkena panas sehingga permukaannya terkena oksidasi, ada perubahan warna di permukaannya [36] .



Gambar 4.6 Struktur mikro sambungan *friction welding* dengan tekanan *friction* 18 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.6 diatas dengan menggunakan *Friction pressure* 18 MPa dapat dilihat bahwa lebar *interface* berkurang seiring dengan menurunnya *rotation speed* (rpm) pada *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai karakteristik *interface* yang mempunyai lebar sebesar 16 μm dan sedangkan pada bagian *Heat Affected Zone* (HAZ) material aluminium 6063 terlihat mempunyai batas butir yang pipih dikarenakan penekanan pada *forging force* namun pada material tembaga tidak mempunyai *Heat Affected Zone* (HAZ) dikarenakan suhu pada saat *Friction welding* tidak mencapai suhu *deformasi plastis* untuk material tembaga dan pada hasil kekuatan tarik pada sampel tersebut mempunyai kekuatan tarik sebesar 76,8 mpa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, lalu pada variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas namun tidak begitu sempit juga, dan mempunyai lebar *interface* 18 μm lalu untuk *Heat Affected Zone* (HAZ) dibagian aluminium 6063 juga mempunyai batas butir yang pipih juga sama seperti variasi *rotation speed* 2300 rpm lalu untuk material tembaga

mempunyai daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* yang tidak begitu luas dikarenakan suhu pada saat *friction welding* tidak mencapai titik rekristalisasi untuk material tembaga namun untuk nilai kekuatan tarik material mendapatkan angka 104,5 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material mengalami deformasi plastis dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak cukup tinggi , kemudian untuk variasi *rotation speed* 1900 rpm memiliki luas *interface* yang tipis dengan lebar *interface* 10 μm tidak seperti variasi kecepatan 2300 rpm dan 2100 rpm dan untuk batas butir pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* di variasi *Rotation speed* 1900 rpm tidak terlihat pipih tidak seperti pada variasi *rotation speed* 2300 dan 2100 rpm lalu untuk hasil kekuatan tarik pada *Sampel* tersebut mempunyai nilai sebesar 68 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak cukup rendah untuk variasi *Friction pressure* 18 MPa



Gambar 4.7

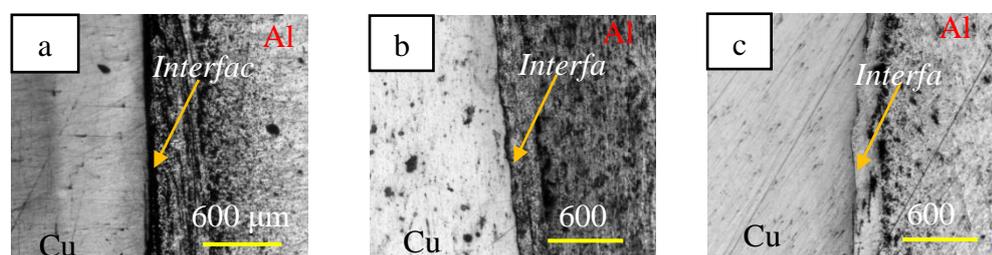
Struktur mikro

sambungan *friction welding* dengan tekanan *friction* 31 MPa (a) 2300 rpm

(b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa pada *Friction pressure* 31 MPa dengan menggunakan variasi *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai *interface* yang cukup luas pada bagian sambungan lasan dengan lebar *interface* 19 μm dan

sementara itu pada material tembaga tidak memiliki *Heat Affected Zone (HAZ)* pada daerah nya dan untuk bagian di samping *interface* terutama pada material aluminium 6063 mempunyai batas butir yang yang cenderung pipih, dan pada hasil kekuatan tarik pada Sampel tersebut mempunyai kekuatan tarik sebesar 67,9 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi kemudian untuk variasi *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai karakteristik *interface* yang luas namun tidak seluas pada variasi *Rotation speed* 2300 rpm dengan lebar *interface* 12 μm dan pada bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang lebih pipih dari variasi *Rotation speed* 2300 rpm namun untuk hasil dari kekuatan tarik pada sampel tersebut memiliki hasil yang lebih tinggi dari semua Sampel yaitu sebesar 113,7 MPa, dan untuk variasi *Rotation speed* 1900 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas, namun pada bagian *interface* mempunyai bentuk yang tidak lurus disebabkan oleh pembuatan dimana pada saat pembuatan *Sampel* material aluminium 6063 dan tembaga tidak *center* saat proses *Friction welding* dilakukan meskipun Sampel tersebut memiliki bentuk *interface* yang tidak lurus *Sampel* tersebut memiliki hasil kekuatan tarik sebesar 96,1 MPa lalu pada variasi *Rotation speed* 1900 rpm pada kedua material tidak mempunyai *Heat Affected Zone (HAZ)*



Gambar 4.8 Struktur mikro sambungan *friction welding* dengan tekanan

friction 42 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa pada tekanan *friction* 42 MPa dengan menggunakan variasi *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai bentuk *interface* yang cukup luas pada bagian sambungan lasan atau luas *interface* sebesar 22 μm dan sementara itu pada material tembaga tidak terpengaruh oleh *Heat Affected Zone (HAZ)* dan untuk bagian di samping *interface* terutama pada material aluminium 6063 mempunyai batas butir yang yang cenderung pipih sehingga mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 93,2 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, lalu untuk variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai karakteristik *interfaec* yang tidak begitu luas namun tidak seperti pada variasi *rotation speed* 2300 rpm pada variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai luas *interface* sebesar 7 μm dan pada bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang lebih pipih dari material dasar sehingga mempunyai nilai kekuatan tarik sebesar 67,8 dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, dan untuk variasi *rotation speed* 1900 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas sehingga tidak dapat diukur dengan menggunakan skala tidak seperti pada variasi 2300, dan 2100 rpm lalu pada bagian di samping *interfcae* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang cukup pipih tidak seperti pada bagian logam dasar

aluminium 6063 lalu untuk bagian material tembaga tidak terpengaruh oleh *Heat Affected Zone (HAZ)* sehingga tidak memiliki batas butir yang pipih tidak seperti pada material aluminium 6063 namun meskipun lebar *interface* tidak terlihat Sampel tersebut mempunyai hasil kekuatan tarik sebesar 104,0 MPa.

Mengacu pada gambar di atas dapat dilihat bahwa lebar *interface* berkurang seiring berkurangnya *rotation speed*, *interface* yang sempit dikaitkan dengan panjang burn-off karena *rotation speed* yang lebih tinggi pada dasarnya menimbulkan panas yang lebih cepat sehingga aluminium 6063 lebih cepat untuk memasuki *fase rekristalisasi*, pada gambar mikro struktur diatas butiran dapat diamati bahwa keberadaan butiran yang halus ada pada daerah aluminium 6063 disebabkan karena suhu untuk aluminium 6063 mengalami *fase rekristalisasi* lebih rendah daripada tembaga. semakin tinggi temperatur pada proses pengelasan dan semakin lama panas yang dihasilkan, akan memperluas haz pada kedua sisi sambungan, sehingga mempengaruhi nilai kekuatan tarik.

Semakin tinggi *rotation speed* maka semakin tinggi pula suhunya, sehingga ketika suhu mencapai titik di atas, rekristalisasi akan mengubah bentuk mikrostruktur aluminium 6063 dan tembaga. Pada aluminium dan tembaga, kita temukan bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* atau zona yang terpapar oleh panas [35]