
FURNACE
JURNAL TEKNIK METALURGI UNTIRTA

Pengaruh Variasi Temperatur Preheating Dan Arah Roll Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium 1100 Hasil Proses Repetitive Press Roll Forming

Faris Aziz^{1*}, Agus Pramono¹, Yeni Muriani Zulaida¹

¹ Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km 3 Cilegon, Banten 42435, Indonesia

^{*}farisaziz46@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Disetujui April 2019

ABSTRAK

Perkembangan industri otomotif terus berkembang seiring dengan majunya teknologi otomotif, permintaan produk otomotif terus meningkat setiap tahunnya. Pemilihan material terus dilakukan untuk menunjang efisiensi penggunaan bahan bakar namun juga tetap memperhatikan keselamatan. Dalam industri otomotif penggunaan aluminium saat ini sangat digunakan khususnya pada spareparts dan body mobil, berbagai metode terus di kembangkan untuk memperbaiki sifat mekanik dari aluminium. Salah satu metode yang saat ini dikembangkan untuk memperbaiki sifat mekanis dari aluminium dengan teknologi SPD (Severe Plastic Deformation) adalah metode RPRF (Repetitive Press Roll Forming) prosesnya meliputi preheating, repetitive press dan rolling. Aluminium 1100 dilakukan RPRF dengan reduksi 50% variasi temperatur preheating 250°C, 300°C, dan 350°C serta variasi arah roll yaitu normal direction, transverse direction, dan normal & transverse direction. Pengujian sifat mekanik material 1100 dilakukan dengan uji keras dan uji tarik, pengamatan struktur mikro untuk mengetahui ukuran butir, jarak interface bonding dan porositas pada aluminium 1100. Analisa mikrostruktur dari pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik dan aplikasi image J untuk mengukur ukuran butir serta jarak interface bonding. Setelah proses RPRF sifat mekanik aluminium 1100 mengalami kenaikan yang sangat signifikan karena adanya strain hardening pada saat proses RPRF. Perubahan ukuran dan morfologi butir terjadi pada aluminium 1100, dari mulai As Received hingga setelah RPRF. Proses RPRF menghasilkan butir pipih. Ukuran butir sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium 1100, semakin kecil ukuran butir maka sifat mekanik semakin meningkat. Temperatur preheating mempengaruhi ukuran butir pada proses RPRF, pada penelitian ini semakin rendah temperatur preheating ukuran butir semakin halus. Arah roll mempengaruhi pergerakan dislokasi pada proses RPRF. Nilai kekerasan dan kekuatan tertinggi pada penelitian ini yaitu sampel temperatur preheating 250°C normal direction sebesar 49,42 HV dan 132,164 MPa dengan ukuran butir 0,905 µm, interface bonding terbaik pada sampel temperatur 350°C normal direction sebesar 1,37 µm. Porositas pada aluminium 1100 dapat mempengaruhi performa dari aluminium 1100, jumlah porositas terendah setelah proses RPRF pada sampel 350°C normal dan transverse direction 1,45%.

Kata Kunci: aluminium 1100, Repetitive Press Roll Forming, Arah roll, Sifat Mekanik, Interface bonding.

1. PENDAHULUAN

Paduan aluminium 1100 merupakan material dengan paduan utamanya adalah silicon dan besi, pemanfaatan berbagai material logam dalam bidang industri semakin meningkat seiring dengan perkembangan di dunia industri sebagai contohnya adalah Aluminium Alloy. Industri yang memanfaatkan material Aluminium diantaranya struktur pesawat ruang angkasa, kapal laut, kereta api, peralatan rumah tangga dan komponen otomotif (Surdia, T. et al, 1995). Namun pada penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan pada otomotif, hal ini yang mendorong kebutuhan aluminium perlu ditingkatkan dari sifat mekanisnya guna menunjang aspek yang dibutuhkan oleh berbagai aplikasi. Proses untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium 1100 pada umumnya adalah dengan cara strain hardening, press dan roll akan membuat material mengalami deformasi plastis akan menyebabkan terjadinya strain hardening sehingga sifat mekanik dari material akan mengalami kenaikan dan preheating untuk penguatan ikatan logam pada material aluminium 1100.

Untuk memproduksi logam dan paduan dengan kekuatan tinggi salah satunya dengan strain hardening dan material yang memiliki ultra-fine grained (UFG) adalah material yang lebih keras, lebih kuat, dan lebih tahan aus dari pada material dengan struktur butir kasar. (Bascani P, Tasca L, Vedani M, 2004) Material UFG dapat dibuat melalui metode severe plastic deformation (SPD)

Metoda penguatan logam terbaru yang paling berkembang saat ini adalah severe plastic deformation (SPD) yaitu pemberian deformasi plastis yang tinggi dan merata. Ada berbagai macam metode dalam proses SPD ini diantaranya adalah Equal Channel Angular Pressing (ECAP), High Pressure Torsion (HPT), Accumulative Roll Bonding (ARB), Reciprocating Extrusion Compression (REC), Cyclic Close Die Forging (CCDF), dan Repetitive Corrugation and Straightening (RCS), Repetitive Press Roll Forming (RPRF) (Srinivasan. R, 2006).

Dari berbagai proses SPD ini, Repetitive Press Roll Forming (RPRF) adalah yang paling potensial diaplikasikan di dunia industri karena kelebihan pada proses Repetitive Press Roll Forming (RPRF) lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan proses SPD lainnya. Pada RPRF terjadi strain hardening dan penghalusan butir (ultra fine grain) yang signifikan sehingga dapat memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanis dan penyesuaian karakteristik paduan logam konvensional (Pramono. A, 2015). Temperatur yang baik pada saat proses rolling adalah tempertur pada saat rekristalisasi dan arah roll menyebabkan dislokasi pada material hal ini yang meningkatkan sifat mekanik pada material (Imansyah. M, 2015).

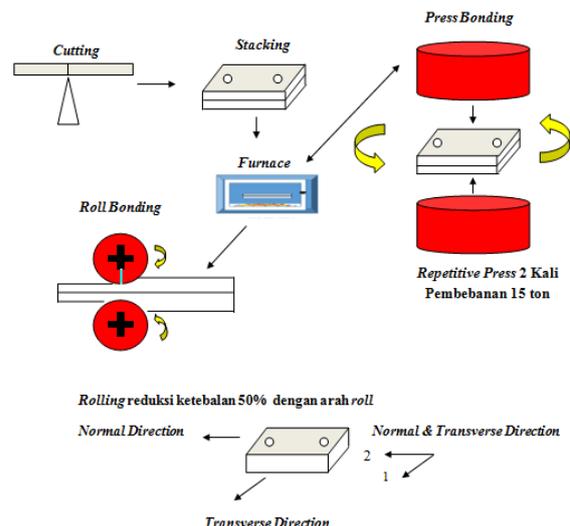
Repetitive Press Roll Forming (RPRF) adalah salah satu metode severe plastic deformation. Metode ini adalah gabungan dari proses Accumulative Press Bonding (APB) dan Accumulative Roll Bonding (ARB) tetapi pada proses RPRF lebih efisien dibandingkan dengan proses APB dan ARB karena pada proses ARB

dan APB memakai siklus press dan roll yang berulang sehingga memerlukan waktu yang cukup lama, sedangkan pada RPRF hanya menggabungkan press dan roll saja, untuk metode RPRF saat ini sedang dikembangkan karena metode ini dapat menghasilkan ultra fine grain dan memperbaiki sifat mekanik dari material. Mekanisme cara kerja dari metode Repetitive Press Roll Forming adalah dengan memvariasikan press dan roll, Proses press dapat menghasilkan distribusi butir yang seragam dan sanggup untuk memperbaiki sifat mekanis. Proses pengerolan dapat menghasilkan tegangan yang seragam dan menghilangkan beberapa cacat pada saat proses pengerjaan, reduksi roll bonding dapat mereduksi 50% dari pelat awal dan dapat memberikan sifat mekanis serta ikatan pada kedua pelat, temperatur rekristalisasi aluminium berkisar antara 299oC-450oC unuk memberikan mampu bentuk pada material pada saat pengerjaan dan mencegah terjadinya cacat pada saat pengerjaan berlangsung (Pramono. A, 2015).

Sehingga dalam penelitian ini metode Repetitive Press Roll Forming (RPRF) dengan variasi temperatur preheating dan arah roll diharapkan meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanis alumunium 1100, mendapatkan nilai kekerasan ≥ 40 HV (Hardness Vikers) dan meningkatkan kekuatan $90 \geq$ MPa, serta mendapatkan kualitas interface bonding yang baik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini jenis material yang digunakan pada penelitian ini Aluminium 1100, sampel di potong menjadi 2 bagian dengan masing-masing dimensi $t \times p \times l = 2 \times 100 \times 20$ mm, selanjutnya di tumpuk kemudian dipanaskan pada temperatur preheating dengan variasi 2500C, 3000C dan 3500C di tahan selama 1 jam di dalam furnace kemudian plat di press dengan pembebanan 15 ton, selanjutnya preheating kembali dan melakukan proses roll dengan variasi arah roll yaitu pada arah normal direction, transverse direction, serta gabungan normal dan transverse direction, proses roll dengan mereduksi plat 50%.



Gambar 1. Skematik Proses Repetitive Press Roll Forming

Karakterisasi yang dilakukan pada plat aluminium 1100 adalah pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengamatan metalografi berupa ukuran butir dan kualitas interface bonding dengan menggunakan mikroskop optik dan aplikasi image J, mengetahui persentase porositas dengan menggunakan metode Archimedes.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Awal Aluminium 1100

Karakterisasi awal sampel dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik yang terjadi sebelum dilakukannya proses RPRF, tujuan dilakukannya karakterisasi awal adalah untuk membandingkan hasil sebelum dan sesudah proses RPRF. Karakterisasi awal sampel diantara adalah pengamatan spektrofometri untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada sampel aluminium 1100. Pada Tabel 1 menunjukkan komposisi aluminium 1100 dan pada Tabel 2 Sifat mekanik aluminium 1100 sebelum proses RPRF.

Tabel 1. Komposisi Kimia Aluminium 1100

Komposisi Kimia			
Aluminium(Al)	99,15%	Mangan (Mn)	0,01
Silikon (Si)	0,30 %	Tembaga (Cu)	0,03
Besi (Fe)	0,36 %	Chrome (Cr)	0,002
Magnesium(Mg)	0,04	Nickel (Ni)	0,003
Seng (Zn)	0,05	Cadmium (Cd)	0,00042
Titanium (Ti)	0,01	Kobalt (Co)	0,00002
Natrium (Na)	0,00014	Timah (Sn)	0,001
Timbal (Pb)	0,009	Vanadium (V)	0,0005

Tabel 2. Karakterisasi Awal Sifat Mekanik Aluminium 1100

Kuat Luluh		Kuat Tarik		Elongasi (%)	Kekerasan (HV)
(N/mm ²)	(Kgf/cm ²)	(N/mm ²)	(Kgf/cm ²)		
81	824	90	914	25	26,06

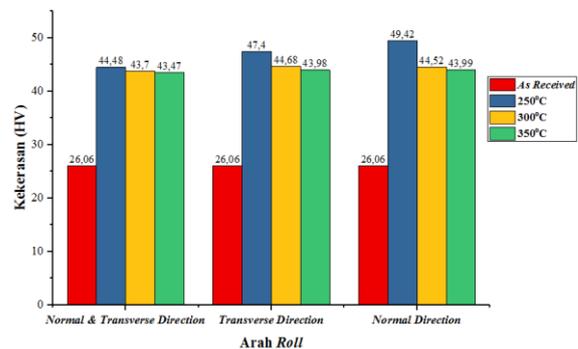
3.2 Pengujian Keras

Uji keras dilakukan dengan menggunakan vickers, indenter yang digunakan adalah intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 3 kgf. Tabel 3 menunjukkan nilai kekerasan aluminium 1100 setelah proses RPRF dengan temperatur preheating 250, 300, dan 350°C dan arah roll normal direction, transverse direction dan normal transverse direction.

Tabel 3. Nilai Kekerasan Aluminium 1100 Setelah Proses RPRF

Temperatur (°C)	Arah Roll		
	Normal & Transverse	Transverse	Normal
250°C	44,48	47,40	49,42
300°C	43,70	44,68	44,52
350°C	43,47	43,98	43,99

Pada penelitian ini nilai kekerasan setelah dilakukan proses RPRF dengan variasi temperatur dan arah roll mengalami kenaikan dibandingkan dengan sebelum dilakukannya proses RPRF, hal ini dikarenakan selama proses RPRF sampel mengalami deformasi plastis dan reduksi ketebalam sampai hingga 50% dari sampel sebelumnya, deformasi plastis yang terjadi pada seluruh bagian sampel atau biasa disebut dengan severe plastic deformation (SPD). Material yang telah mengalami SPD akan terjadi pengerasan regangan. Proses pengerasan regangan ini membuat butiran mengalami dislokasi bergerak sehingga terjadi penumpukan dislokasi, dan jika ukuran butir halus maka hambatan untuk terjadinya slip pada batas butir sulit untuk terjadi sehingga hal ini lah yang dapat meningkatkan sifat mekanik dari material, butir halus terjadi karena jika material di beri beban atau gaya melebihi batas elastisnya sehingga material mengalami deformasi dan butir menjadi halus



atau kecil, sehingga batas butir menjadi banyak dan meningkatkan sifat mekanik material.

Gambar 2. Grafik Nilai Kekerasan Aluminium 1100

Temperatur preheating pada penelitian ini sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan yang didapatkan, semakin rendah temperatur maka semakin tinggi nilai kekerasannya dapat dilihat pada Gambar 2. Pada temperatur rendah hingga mencapai 250°C dapat menyebabkan peningkatan kekerasan dan perlakuan panas pada temperatur yang tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan butir dan pengurangan regangan pada aluminium di ARB (P. Homola. et al, 2006). Pada setiap perbedaan arah roll menyebabkan tegangan dan regangan yang berbeda hal ini lah yang membuat kerapatan dislokasi dan menaikkan kekerasan pada aluminium 1100. Temperatur yang optimal saat proses RPRF adalah temperatur rekristalisasi dari aluminium dimana antara 299 - 450°C (Pramono. A, 2015).

Secara keseluruhan dengan variasi temperatur preheating dan arah roll nilai kekerasan pada sampel Aluminium 1100 dapat dilihat pada Gambar 4.1 temperatur preheating 250°C dan variasi arah roll normal direction, transverse direction, normal dan transverse direction memiliki nilai kekerasan masing-masing 49,42 HV, 47,40 HV, 44,48 HV. Pada temperatur preheating 300°C dan variasi arah roll normal direction, transverse direction, normal dan transverse direction memiliki nilai kekerasan masing-masing 44,52 HV, 44,68 HV dan 44,70 HV. Pada temperatur preheating 350°C

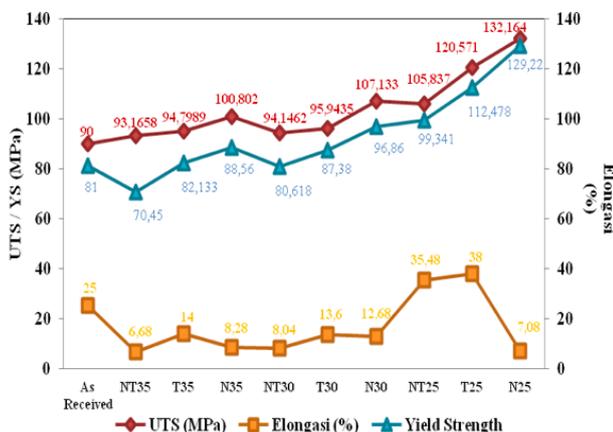
dan variasi arah roll normal direction, transverse direction, normal dan transverse direction memiliki nilai kekerasan masing-masing 43,99 HV, 43,98 HV dan 43,47 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada sampel temperatur preheating 250 normal direction yaitu sebesar 49,42 HV.

3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menganalisa dan mengetahui kekuatan tarik dari hasil proses RPRF dengan variasi temperatur *preheating* 250°C, 300°C, 350°C dan arah *roll normal direction, transverse direction, normal dan transverse direction*. Data yang didapat dari pengujian tarik penelitian ini yaitu UTS (MPa), *yield strength* dan elongasi. Data hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Tarik Aluminium 1100

Temperatur Preheating	Arah Roll	UTS (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongasi (%)
As Received	-	90	81	25
250°C	Normal	132,164	129,22	7,08
	Transverse	120,571	112,478	38
	Normal & Transverse	105,837	99,341	35,48
300°C	Normal	107,133	96,86	12,68
	Transverse	95,9435	87,38	13,6
	Normal & Transverse	94,1462	80,618	8,04
350°C	Normal	100,802	88,56	8,28
	Transverse	94,7989	82,133	14
	Normal & Transverse	93,1658	70,45	6,68



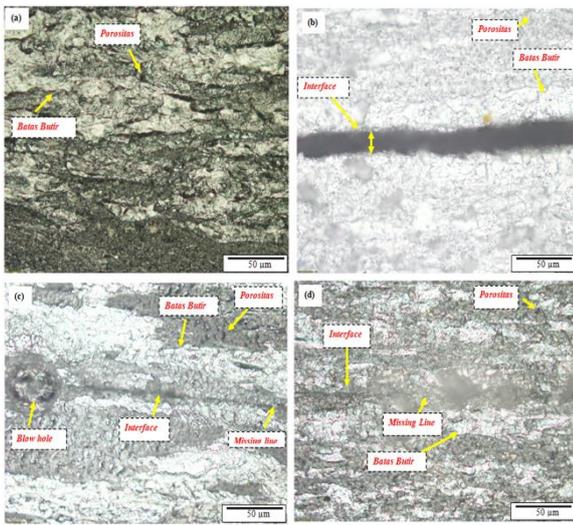
Gambar 3. Grafik Hasil Uji Tarik Aluminium 1100 Sebelum dan Setelah RPRF

Berdasarkan dari data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan dari berbagai arah roll menghasilkan kekuatan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 3, arah roll normal direction cenderung memiliki nilai

kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan arah roll lainnya di temperatur preheating 250°C, 300°C dan 350°C dikarenakan pada arah roll normal direction banyaknya terjadi deformasi yang menyeluruh pada setiap permukaan aluminium sedangkan pada transverse direction bagian permukaan penampangnya lebih pendek dibandingkan dengan normal direction, hal ini lah yang menyebabkan orientasi pergerakan butir berbeda arah, tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap arah roll juga berbeda (M.Rout, 2015), pada arah roll normal direction menghasilkan regangan yang baik di bandingkan dengan arah transverse direction, kecepatan roll berpengaruh terhadap kekuatan yang dihasilkan pada logam. Setiap arah roll juga dapat mempengaruhi perubahan mikrostruktur, perubahan distribusi tegangan sisa (M.Rout, 2015). Strain hardening mempengaruhi kekuatan dari material, perbedaan arah roll menyebabkan kerapatan dislokasi sehingga butir sangat sulit untuk bergerak mengakibatkan kekuatan dari aluminium semakin meningkat (Jandaghi. et al, 2016). Nilai kekerasan dan kekuatan pada penelitian ini berbanding lurus hal ini di buktikan dengan kekuatan tertinggi juga pada arah roll normal direction pada temperatur preheating 250°C yaitu sebesar 132,164 MPa, namun elongasi terbesar ada pada arah transverse direction.

3.4 Pengamatan Metalografi

Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini adalah untuk mengetahui ukuran butir, jarak *interface bonding* yang terbentuk serta mengetahui persentase porositas yang terdapat pada sampel aluminium 1100 setelah proses RPRF. Ukuran butir yang diamati pada penelitian ini adalah pada sampel *as received, normal direction* dengan temperatur *preheating* 250°C, 300°C, dan 350°C dapat dilihat pada Gambar 4. Pengambilan gambar struktur mikro aluminium 1100 dengan perbesaran 200x dan skala 50 µm. Pengamatan jarak *interface* pada penelitian dilakukan untuk mengetahui kualitas antara kedua plat yang ditumpuk pada aluminium 1100 setelah proses RPRF dengan variasi arah *roll* dan temperatur *preheating*. Jarak *interface bonding* pada Gambar 4 menunjukkan kualitas *interface bonding* yang berbeda pada setiap variasinya, pada penelitian ini diharapkan *interface bonding* yang terbentuk memiliki ikatan dengan kualitas yang baik (*missing line*) dan diharapkan memiliki ukuran butir yang halus (< 1 µm) setelah proses RPRF.

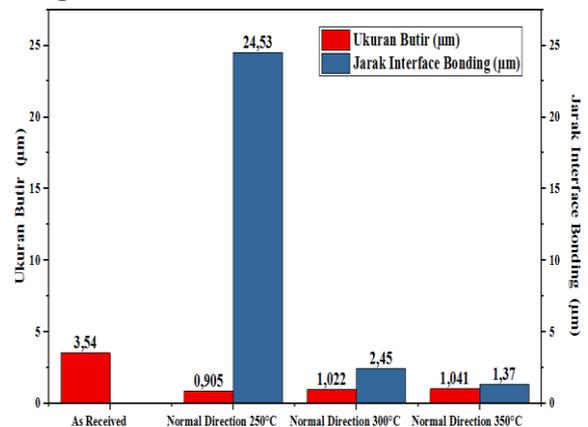


Gambar 4. Struktur Mikro Aluminium 1100 Hasil RPRF a) As Received b) Normal Direction Temperatur 250°C c) Normal Direction Temperatur 300°C d) Normal Direction Temperatur 350°C. Dengan Mikroskop Optik Perbesaran 200x.

Pada Gambar 4 menunjukkan jarak interface aluminium 1100 pada kondisi as received belum terbentuk karena material belum dilakukannya proses RPRF dan butir pada kondisi as received terlihat masih sangat kasar dan tidak seragam, dari perhitungan butir yang dilakukan pada kondisi as received, ukuran butir pada kondisi as received yaitu sebesar 3,54 µm dan terdapat inklusi berupa pori - pori (porositas) sehingga kekerasan dan kekuatannya tidak tinggi, adanya porositas dapat di lihat pada Gambar 4.6 terdapat bintik hitam pekat.

Pada Gambar 4 sampel dengan temperatur preheating 250°C normal direction, interface bonding yang terbentuk belum menyatu karena difusi yang terjadi belum maksimal, suhu yang dihasilkan belum cukup untuk membuat ikatan yang baik (missing line), missing line merupakan parameter interface bonding yang baik, interface bonding yang terbentuk yaitu 24,53 µm, sedangkan ukuran butir pada temperatur preheating 250°C normal direction yaitu sebesar 0,905 µm, ukuran butir lebih halus dan kecil jika dibandingkan dengan pada kondisi as received. Temperatur preheating 300°C normal direction jarak interface bonding yang terbentuk lebih baik jika dibandingkan dengan temperatur 250°C, panas yang cukup untuk membuat ikatan yang baik (missing line), sudah terdapatnya missing line pada temperatur 300°C, interface bonding yang terbentuk yaitu 2,45 µm, sedangkan ukuran butir pada preheating 300°C normal direction yaitu sebesar 1,022 µm, sedangkan untuk ukuran butir lebih baik jika di bandingkan dengan as received tetapi sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan sampel temperatur preheating 250°C normal direction. Pada temperatur

preheating 350°C normal direction jarak interface yang terbentuk cukup baik yaitu sebesar 1,37 µm dan ukuran butir sebesar 1,041 µm. Interface bonding pada pada temperatur 350°C sangat baik jika dibandingkan dengan temperatur preheating lainnya dan ukuran butir lebih halus dari pada sampel as received tetapi pada kondisi ini ukuran butir lebih besar jika dibandingkan dengan temperatur preheating yang lainnya. Perubahan ukuran butir pada sampel as received dan setelah proses RPRF karena adanya deformasi plastis yang terjadi sehingga butir semakin halus, setelah proses RPRF butir cenderung pipih (elongated grain) dan butir cenderung lebih seragam



Gambar 5. Grafik Hasil Pengukuran Ukuran Butir dan Jarak Interface Bonding Aluminium 1100

Dari data penelitian yang telah dilakukan pada Gambar 5 setelah proses RPRF semakin besar temperatur preheating maka interface bonding yang terbentuk semakin baik tetapi ukuran butir semakin besar. Proses Repetitive Press Roll Forming dapat menghasilkan terbentuknya ultra fine grain (< 1 µm) karena adanya deformasi plastis yang menyeluruh ke seluruh permukaan logam (Pramono, 2015). Ukuran butir berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan logam, semakin kecil ukuran butir maka semakin banyak batas butir sehingga dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material (Amirkhanlou, 2015), temperatur berpengaruh terhadap ukuran butir pada saat metal forming, semakin tinggi temperatur maka ukuran butir semakin besar (P. Homola. et al, 2006).

Pada penelitian sebelumnya tercapainya missing line pada interface bonding,, missing line pada interface adalah bagian yang sempurna untuk kedua plat yang ditumpuk menyatu dari hasil proses RPRF (Pramono. A, 2015). namun pada penelitian ini ada yang tercapai missing line dan ada juga yang tidak tercapai missing line pada interface plat aluminium 1100 yang telah dilakukan proses RPRF, hal ini menandakan bahwa kedua pelat yang ditumpuk belum secara sempurna menyatu membentuk interface bonding. Beberapa faktor tidak yang mempengaruhi terbentuknya missing line pada interface bonding pada penelitian ini adalah karena permukaan sampel yang kurang bersih saat di bersihkan, menurunnya temperatur preheating di plat

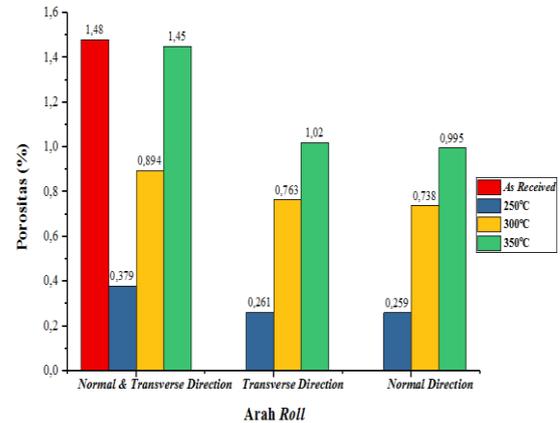
pada saat proses press dan roll sehingga difusi yang tidak sempurna sehingga kurang maksimal. siklus rolling yang dilakukan berulang-ulang dapat menghasilkan ikatan interface yang semakin rapat hingga terjadi missing line (Tsuji, N. 1999). Pada Gambar 5 grafik hasil pengukuran jarak interface bonding dapat disimpulkan, semakin tinggi temperatur maka interface bonding yang dihasilkan semakin baik. Jarak interface bonding terbaik pada arah roll normal direction yaitu sebesar 1,37 μm .

3.5 Pengujian Porositas

Tabel 5. Nilai Persentase Porositas Aluminium 1100

Temperatur	Arah Roll	Volume	Porositas	Porositas (%)
<i>As Received</i>	-	1,006	0,0148	1,48
250°C	<i>Normal</i>	0,676	0,00259	0,259
	<i>Transvers</i>	1,031	0,00261	0,261
	<i>Normal & Transvers</i>	0,911	0,00379	0,379
300°C	<i>Normal</i>	0,871	0,00738	0,738
	<i>Transvers</i>	1,012	0,00763	0,763
	<i>Normal & Transvers</i>	1,106	0,00894	0,894
350°C	<i>Normal</i>	0,677	0,00995	0,995
	<i>Transvers</i>	0,864	0,0102	1,02
	<i>Normal & Transvers</i>	0,779	0,0145	1,45

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui jumlah pori yang terdapat pada sampel *as received* dan setelah proses RPRF, data nilai persentase porositas aluminium 1100 dapat di lihat pada Tabel 5. porositas terjadi karena adanya udara yang terjebak dan panas yang berada pada sampel sehingga porositas terus berkembang hingga pori itu semakin membesar seiring dengan semakin tingginya temperatur. Porositas yang terjadi pada sampel dapat mempengaruhi performa dari sampel. Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui jumlah pori yang terdapat pada sampel setelah proses RPRF, porositas terjadi karena adanya udara yang terjebak dan panas yang berada pada sampel sehingga porositas terus berkembang hingga pori itu sampai hancur jika sudah dan melewati batas temperatur melting dari sebuah sampel. Porositas yang terjadi pada sampel dapat mempengaruhi performa dari sampel.



Gambar 6. Grafik Data Hasil Persentase Porositas Aluminium 1100.

Gambar 6 menunjukkan nilai porositas sebelum dan setelah proses RPRF, nilai porositas tertinggi pada penelitian ini ada pada temperatur 350°C pada arah roll normal dan transverse direction yaitu sebesar 1,45 %, semakin tinggi temperatur pada aluminium maka porositas semakin tinggi (Di Chen, 2017). Porositas dapat mempengaruhi sifat mekanik pada material karena adanya lubang kosong (pori) yang berada pada material dan menyebabkan sifat mekanik dari material menjadi rendah. Salah satu cara untuk mengurangi porositas pada logam adalah dengan cara metal forming (pembentukan logam), metal forming dapat mengurangi porositas dikarenakan adanya tekanan yang diberikan kepada logam sehingga pori – pori yang berada pada logam tertutup akibat adanya reduksi yang di hasilkan pada saat proses deformasi plastis berlangsung, semakin banyak reduksi yang di hasilkan pada logam maka porositas semakin berkurang (Di Chen, 2017).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur preheating dan arah roll dengan proses RPRF terhadap sifat mekanik dan struktur mikro aluminium 1100, maka dapat disimpulkan :

1. Semakin rendah temperatur preheating maka kekerasan semakin tinggi, kekerasan tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 49,42 HV. Variasi arah roll menyebabkan terjadinya strain hardening dan kerapatan dislokasi, deformasi yang terjadi pada arah roll normal direction menyeluruh ke bagian permukaan sampel aluminium 1100 sehingga kekuatan aluminium 1100 menjadi meningkat, kekuatan tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 132,164 MPa. Kekerasan dan kekuatan tertinggi pada penelitian ini adalah pada sampel temperatur preheating 250°C arah roll normal direction.
2. Semakin tinggi temperatur preheating, ukuran butir semakin besar, ukuran butir terkecil pada sampel temperatur preheating 250°C normal direction yaitu 0,905 μm . Semakin tinggi temperatur preheating,

jarak interface bonding yang terjadi semakin baik karena berdifusi dengan maksimal dan terbentuknya missing line, interface bonding terbaik pada sampel temperatur preheating 350°C normal direction dengan jarak interface bonding 1,37 μm . Semakin rendah temperatur preheating, persentase porositas semakin menurun. Porositas tertinggi yaitu sebesar 0,259 % pada temperatur preheating 250°C normal direction.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amirkhanlou Sajjad, Ketabchi Mostafa, Parvin Nader. Shohreh Khorsand. Bahrami Reza (2013). "Accumulative Press Bonding a Novel Manufacturing Process Of NanoStructured Metal Matrix Composite" *Material Design* 51 Elsevier.
- Bascani P, Tasca L, Vedani M. (2004). Effect of ECAP Processing on Mechanical and Aging Behaviour of An AA6082 Alloy in Nanomaterials by Severe Plastic Deformation. Edited by Zehetbauer, M, Valiev, R. Z. WileyVch, Weinheim
- C. Kwan, Z. Wang, S-B Kang (2008). "Mechanical Behavior and Microstructural Evolution Upon Annealing of The Accumulative Roll Bonding (ARB) Processed Al Alloy 1100" *Mater. Sci. Eng.* 148-159
- Callister, Jr. William, D (1994). "Material Science and Engineering". 7rd Edition, New Jersey. John Wiley dan Sons, inc.
- Di Chen, Deka Li (2017). The Effect of Rolling Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of Surface-Densified Powder Metallurgy Fe- Based Gears Prepared by the Surface Rolling Process. MDPI. China
- Dieter, E. George. (1996). *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Imansyah, M. (2015). Sintesa awal komposit aluminium hasil proses cross section accumulative roll bonding (c – arb) untuk aplikasi peralatan militer. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.
- Kamali A, M. Reza, (2014) Cross accunulative roll bonding – a novel mechanical technique for significant improvement of stir-cast Al/Al₂O₃ nanocomposite properties, iran.
- M. R. Jandaghi, H. Pouraliakbar, G. Khalaj, M.-J. Khalaj, and A. Heidarzadeh, "Study on the post-rolling direction of severely plastic deformed Aluminum- Manganese-Silicon alloy," vol. 16, pp. 876–887, 2016.
- N. Tsuji, Y. Saito, H. Utsunomiya, and S. Tanigawa, (1999). Ultra-Fine Grained Bulk Steel Produced by Accumulative Roll, vol. 40, no. 7, pp. 795–800
- P. Homola. et al (2006). Effect Of Temperature Of Accumulative Roll Bonding On The Microstructure And Properties Of Twin-Roll Cast AA8006 Alloy. *Material Science Forum* Vols. 503-504 pp. 281-286. Switzerland
- Pramono. A, Lauri Kollo, Renno Veinthal (2015). "Aluminum based composite by Novelty Process : Repeetitive Press Roll Bonding (RPRB)" *Procedia Chemistry* 16 (2015) 473 – 479. Elsevier.
- Pramono. A, Lembit Kommel, Lauri Kollo and Renno Veinthal (2015). "Hot and Cold Of Pressingn Effect on Ecap – Parallel Channel Composite Based Al/ANF Material".
- Surdia, T., Shinroku S, (1995). *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Srinivasan, R., Chaudhury, P. K., Cherukuri, B., Han, Q., Swenson, D., Gros, P.,(2006). "Continuous Severe Plastic Deformation Processing of Aluminum Alloys", Wright State Universi