

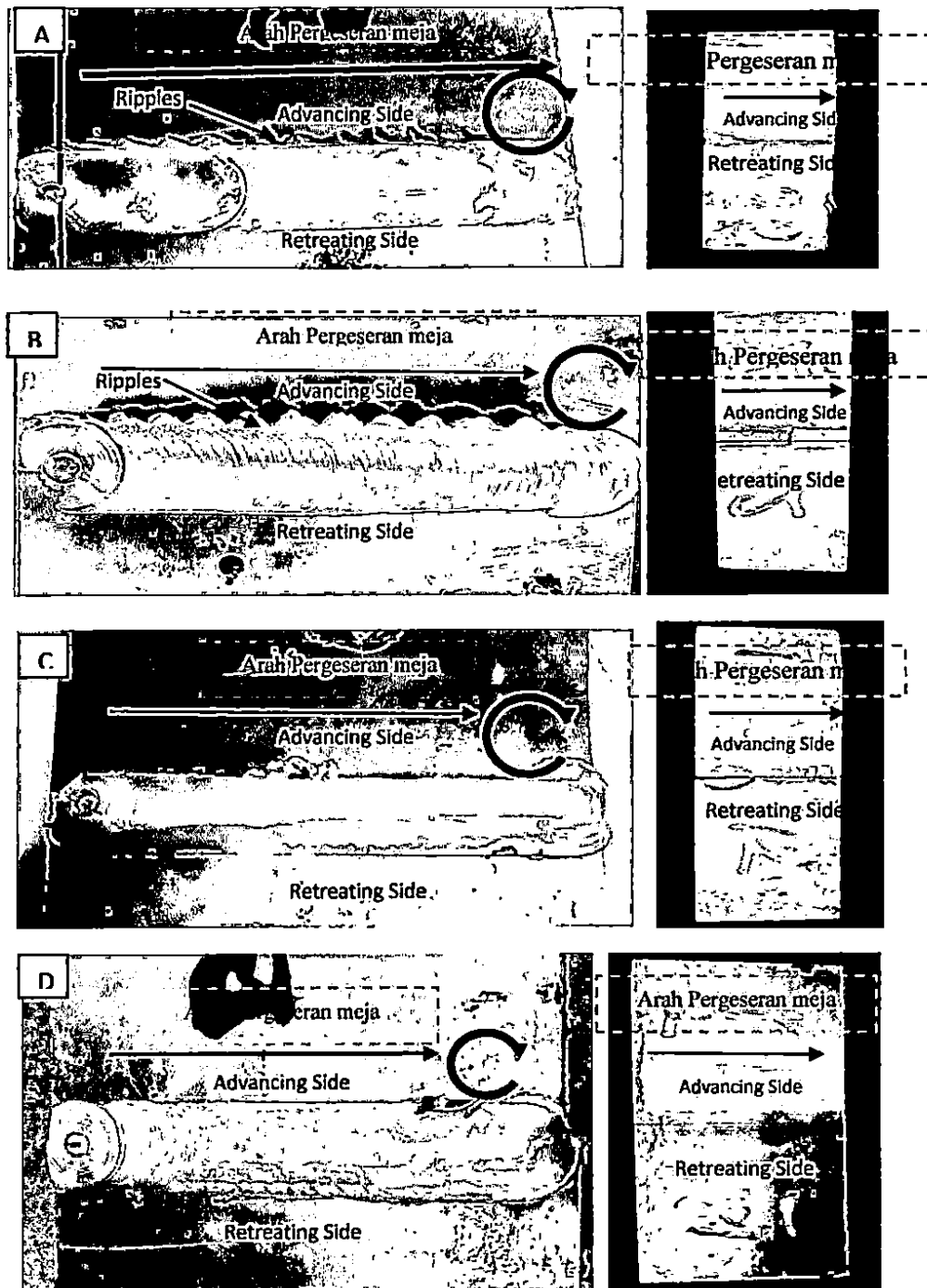
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan Pada FSW

Hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengelasan dengan metode FSW merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu.

Pada Gambar 4.1 (a) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan *Feed rate* 20 mm/menit permukaan lasannya terlihat kasar hal tersebut disebabkan oleh kecepatan *feed rate* terlalu pelan sehingga menghasilkan panas yang cukup berlebih sehingga terlalu banyak melelehkan aluminium yang akan disambung atau dilas. Gambar 4.1. (b) dan (c) sambungan las menyatu dengan baik. walaupun masih terdapat *ripples* yang disebabkan oleh *tool* terlalu menempel pada plat pada saat proses pengelasan dan tidak halusya permukaan *tool* yang bergesekan antara *tool* dengan benda kerja yang menyebabkan hasil las tidak begitu halus dan rapi.



Gambar 4.1 (a). hasil pengelasan dan tampak belang dengan metode FSW *Feed rate* 20 mm/menit. (b). hasil pengelasan dengan metode FSW *Feed rate* 60 mm/menit. (c). hasil pengelasan dengan metode FSW dengan putaran *Feed rate* 120 mm/menit. (d). hasil pengelasan dengan metode FSW *Feed rate* 180 mm/menit.

4.2 Uji Komposisi Logam

4.1 Tabel Uji Komposisi Logam

NO.	Unsur	Persen Massa	NO	Unsur	Persen Masaa
1	Al	95.32	11	Sn	<0.05
2	Si	0.112	12	Ti	0.166
3	Fe	0.342	13	Pb	<0.0300
4	Cu	0.163	14	Be	0.0008
5	Mn	0.03	15	Ca	0.0027
6	Mg	1.51	16	Sr	<0.0005
7	Cr	2.14	17	V	<0.0100
8	Ni	0.0246	18	Zr	<0.0030
9	Zn	0.103			

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa material uji Aluminium memiliki kandungan Al sebesar 95,32% , kandungan Mg sebesar 1,51% dan kandungan Cr sebesar 2,14%. Dengan diketahuinya ketiga unsur tersebut, maka material Aluminium dapat diklasifikasikan sebagai Aluminium seri 5052 karena Aluminium seri 5052 memiliki kadar Mg dibawah 2,8% dan kadar Cr diatas 0,35%.

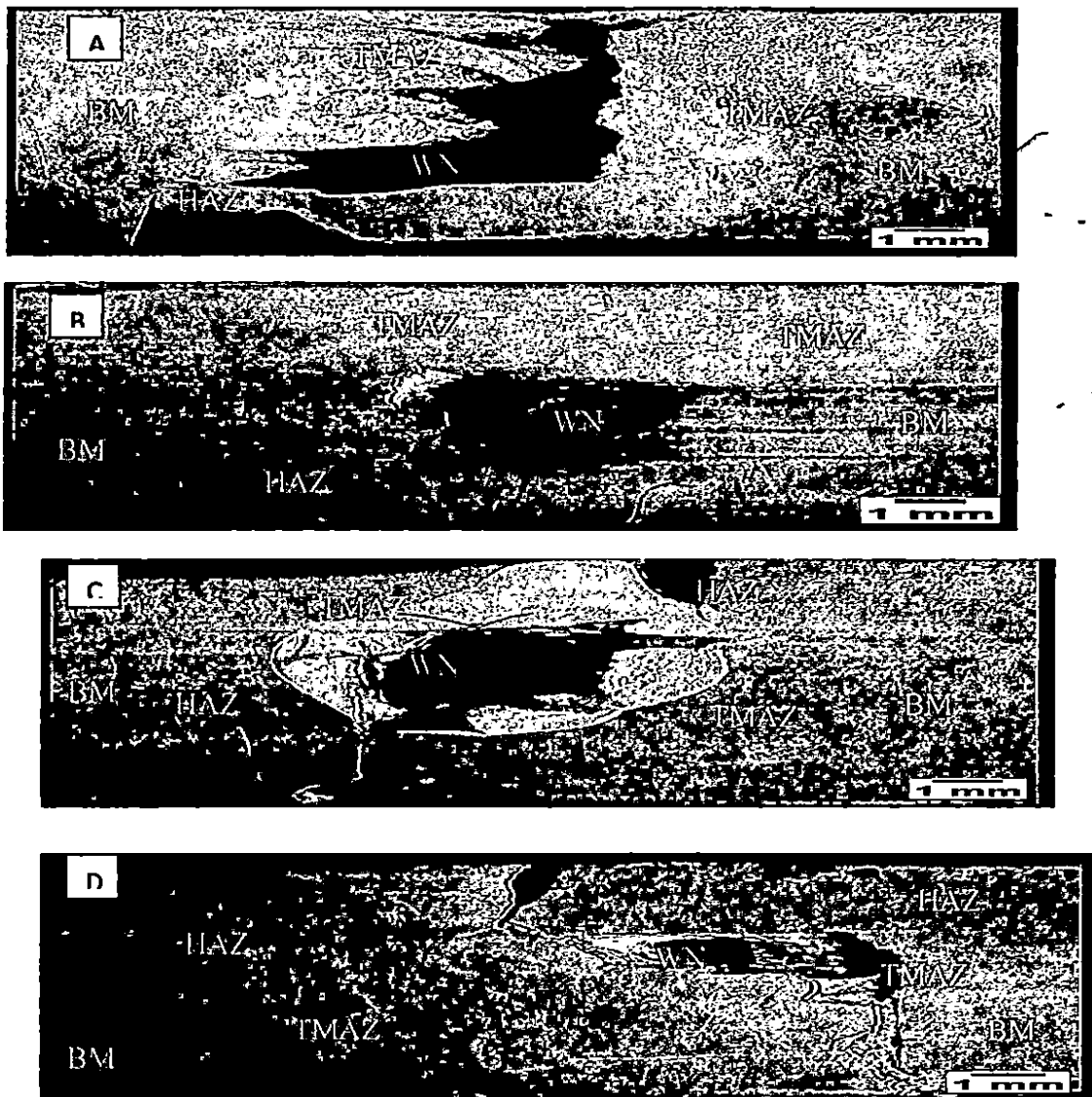
4.3 Hasil Foto Makro dan Mikro

a. Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil foto struktur makro untuk tiap spesimen memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk ataupun dari sifat mekaniknya. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan dari tiap kecepatan *Feed rate* tidak sama sehingga menyebabkan proses pelunakan material tidak seluruhnya melunak. Proses pelunakan sangat berperan penting dalam pengelasan ini karena jika material tidak meleleh *pin* yang berfungsi sebagai pengaduk dan penyambung material tidak akan bisa mengaduk dengan sempurna.

Setelah dilihat ternyata pada tiap hasil lasan masih terdapat cacat berupa *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* terjadi pada semua hasil lasan. Cacat *incomplete fusion* terbesar terlihat pada penggunaan *feed rate* 120 mm/menit.

Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi sepanjang pengelasan. Haipan (2012) hal ini dapat terjadi akibat material yang teraduk hanya sepertiga dari seluruh material yang dilas. Bisa dilihat pada Gambar 4.2 terlihat adanya batas antara material yang menyatu dan tidak.

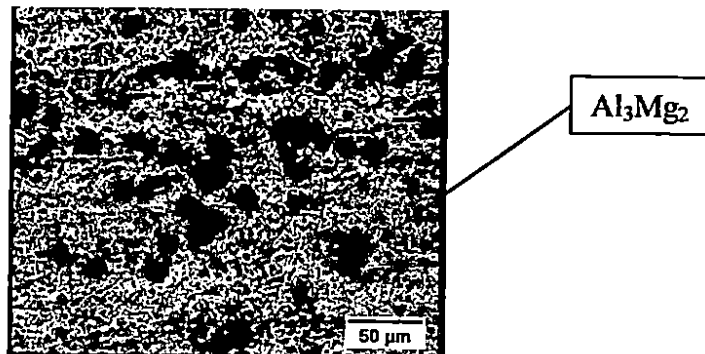


Gambar 4.2 Struktur makro sambungan las FSW pada *Feed Rate* (a) 20 mm/menit, (b) 60 mm/menit, (c) 120 mm/menit dan (d) 180 mm/menit

b. Hasil Foto Mikro

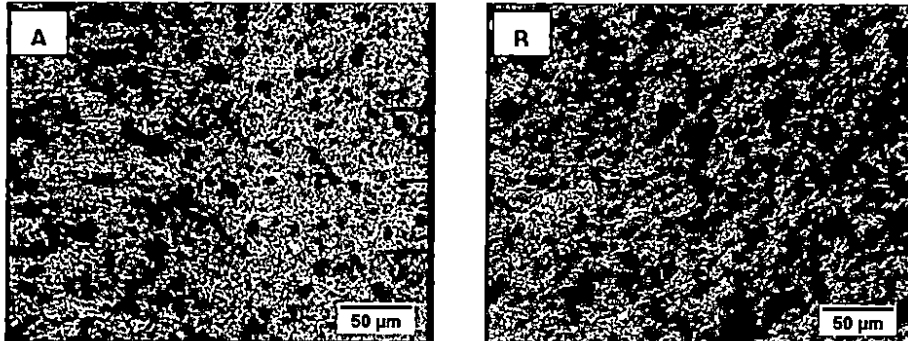
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *stir zone*, HAZ, dan *base metal*. Pada pengelasan FSW dengan penggunaan aluminium 5052 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi. Menurut wahyudiato (2015) partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah Al_3Mg_2 , seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.3 dan 4.4 Pada pengelasan FSW paduan Aluminium 5052.

Ketiga daerah (*stir zone*, HAZ, dan *base metal*) itu mendapatkan perlakuan yang berbeda pada saat proses pengelasan berlangsung, dengan adanya perlakuan yang berbeda maka ketiganya memiliki struktur mikro yang berbeda.



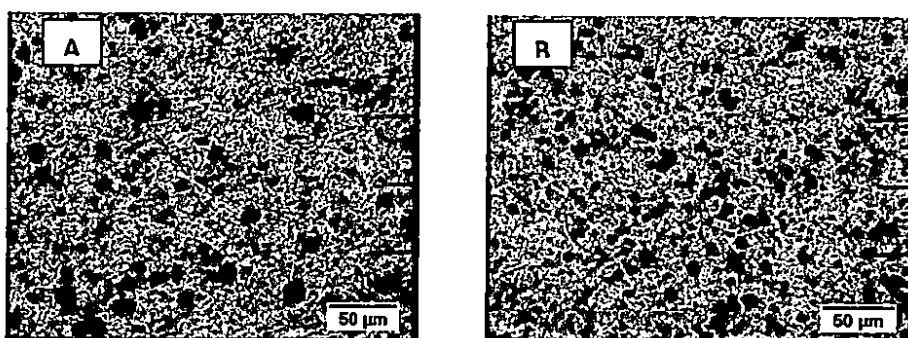
Gambar 4.3 Struktur mikro *base metal* Aluminium 5052 setelah pengujian mikrostruktur dengan pembesaran

Pada daerah base metal bentuk butir Al_3Mg_2 memiliki ukuran partikel yang lebar karena pada daerah base metal tidak terpengaruh efek panas yang dapat merubah struktur mikronya.



Gambar 4.4 (a) Struktur Mikro daerah HAZ pada *feed rate* 20 mm/menit dan (b) Struktur Mikro pada *feed rate* 120 mm/menit

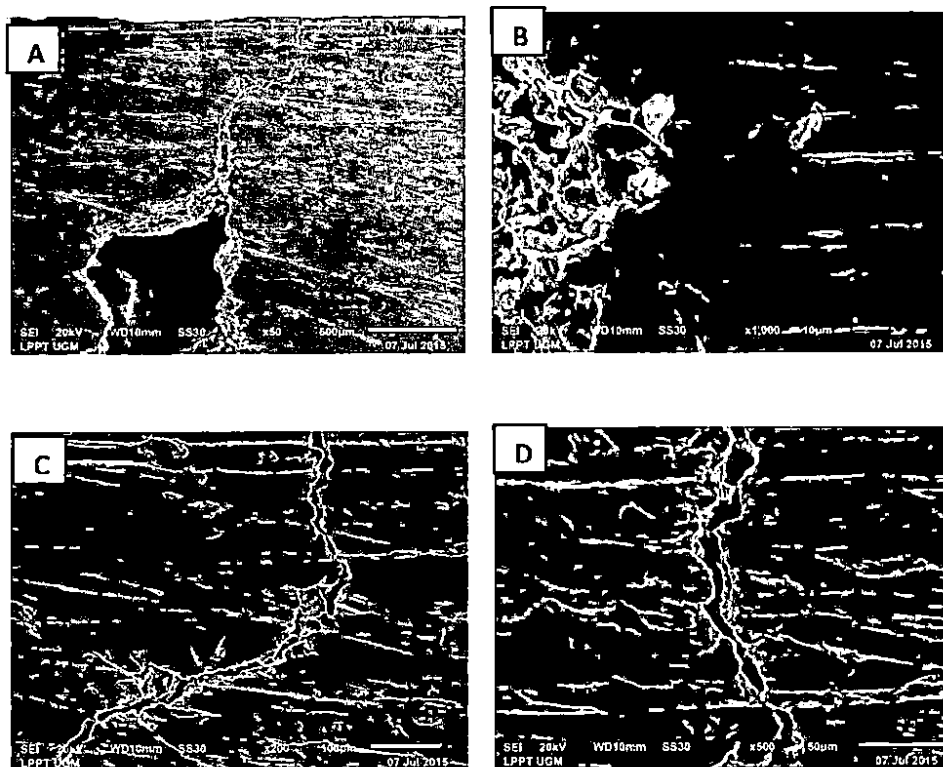
Pada Gambar 4.4 (a) menunjukkan daerah HAZ, di daerah tersebut mengalami perubahan bentuk partikel, pada daerah tersebut ukuran partikel terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah base metal dan partikel masih terlihat kasar dan pada gambar (a) terlihat terjadi transisi antara HAZ dan weld nugget. Sedangkan pada gambar (b) untuk daerah HAZ, bentuk partikel Al_3Mg_2 terlihat kasar dan pada daerah tersebut tidak terlihat adanya transisi antara HAZ dan weld. Dari kedua penjelasan bahwa daerah HAZ partikel masih berbentuk kasar dikarenakan daerah HAZ hanya terpengaruh panas dari gesekan *tool* pada saat proses pengelasan.



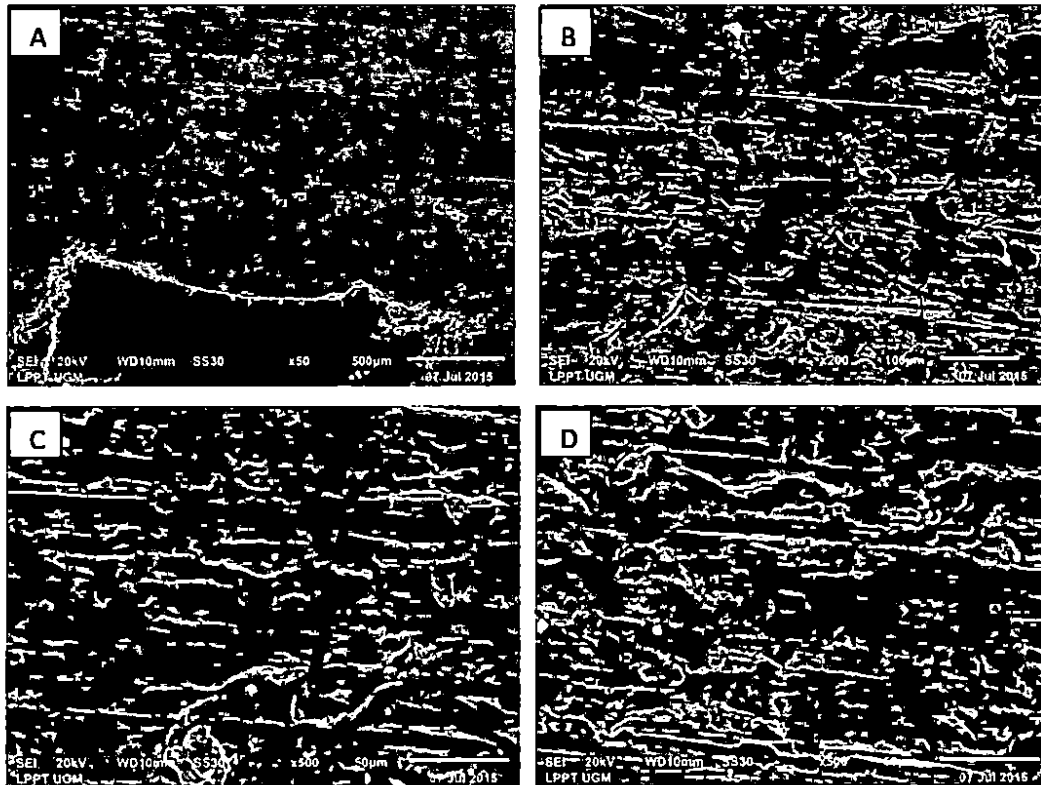
Gambar 4.5 (a) Struktur Mikro daerah stir zone pada *feed rate* 20 mm/menit dan (b) Struktur Mikro pada *feed rate* 120 mm/menit dengan perbesaran

Pada Gambar 4. (a) dan (b) menunjukkan daerah stir zone, pada daerah ini partikel mengalami pertumbuhan dan partikel terlihat lebih lembut terjadi akibat adanya rekristalisasi yang disebabkan oleh proses puntiran pada saat pengelasan

4.4 Hasil Uji Foto SEM



Gambar 4.6 hasil pengujian SEM kecepatan *feed rate* 20 mm/menit (a) dengan perbesaran 50x, (b) dengan perbesaran 1000x, (c) dengan perbesaran 200x(d) dengan perbesaran 500x didaerah lasan FSW



Gambar 4.7 hasil pengujian SEM *feed rate* 60 mm/menit (a) dengan perbesaran 50x, (b) dengan perbesaran 200x, (c) dengan perbesaran 500x(d) dengan perbesaran 500x didaerah lasan FSW

Pada Gambar 4.3 (a) dengan perbesaran 50x dan 4.8 (a) dengan perbesaran terlihat adanya cacat pada daerah lasan cacat tersebut berupa lubang. Cacat tersebut diakibatkan karena kurang meratanya pencairan aluminium pada saat proses pengelasan, kurangnya merata aluminium dikarenakan pada saat proses pengelasan panas pada logam tidak merata. Gambar 4.3 (b) dengan perbesaran terlihat logam tidak menyatu. Gambar 4. dengan perbesaran permukaan hasil uji SEM terlihat kasar, itu dikarenakan kurang halusnya pengamplasan. Gambar 4.3 (c) dan (d) permukaan pengelasan didekat daerah pengelasan terlihat keretakan. Sedangkan pada gambar 4. (c),(d) semakin terlihat jelas hasil pengujian SEM tampak kasar dan bergelombang.

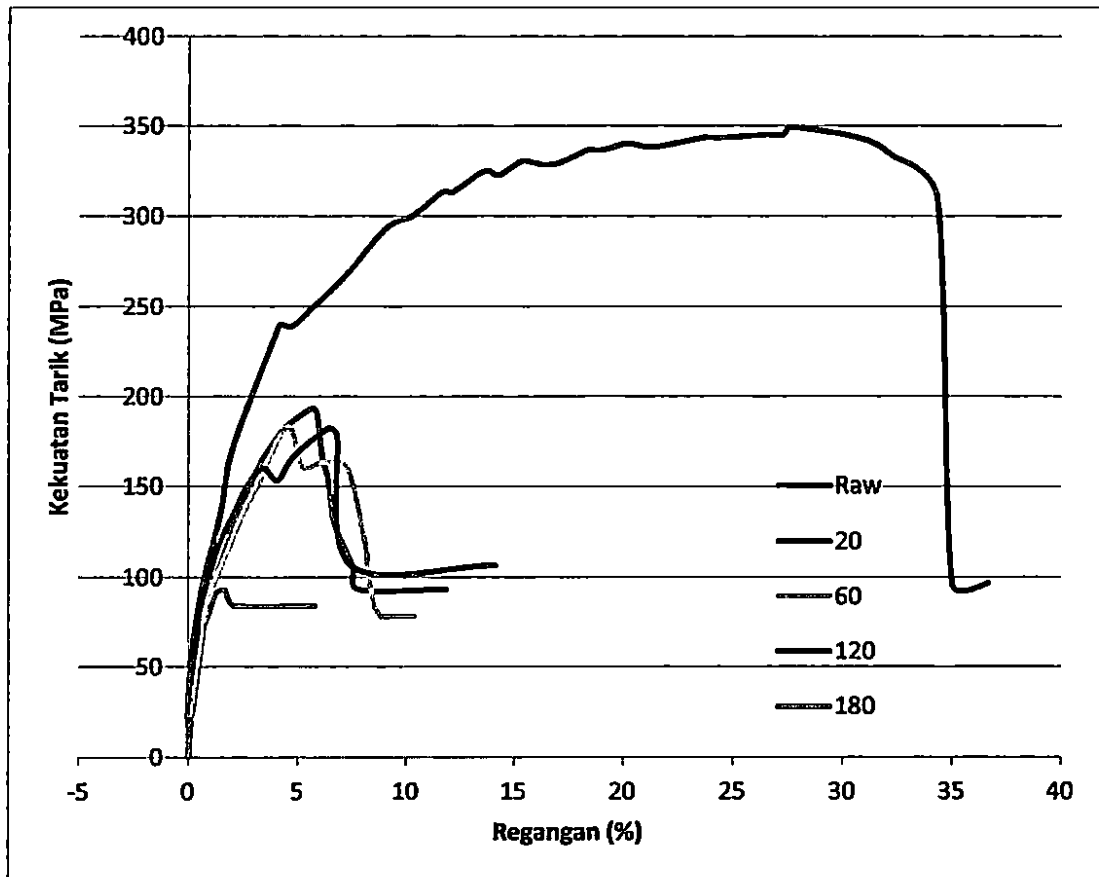
Tabel 4.2 Hasil EDS

No	Unsur	% massa	Hasil EDS Feed Rate 20 mm/menit	Hasil EDS Feed Rate 60 mm/menit
1	Al	95.35	57.04	60.51
2	Mg	1.51	1.77	1.78
3	Cr	2.14	0.16	0.4
4	Si	0.112	0.39	0.4
5	C	-	34.25	29.88
6	O	-	6	6.8

Pada hasil uji SEM-EDS ini terlihat nilai partikel pada unsur Magnesium mengalami peningkatan dan pada unsur Kromium terjadi penurunan nilai partikel sebagai unsur pendukung utama pada aluminium 5052. Tetapi juga terlihat penambahan partikel Karbon dan Oksigen. Penambahan unsur Carbon dikarenakan penggunaan tool pada pengelasan FSW yang terbuat dari baja. Sedangkan penambahan unsur Oksigen terjadi karena pada saat melakukan proses pengelasan FSW dilakukan diruang terbuka sehingga tercampur dengan udara sekitar yang banyak mengandung unsur oksigen.

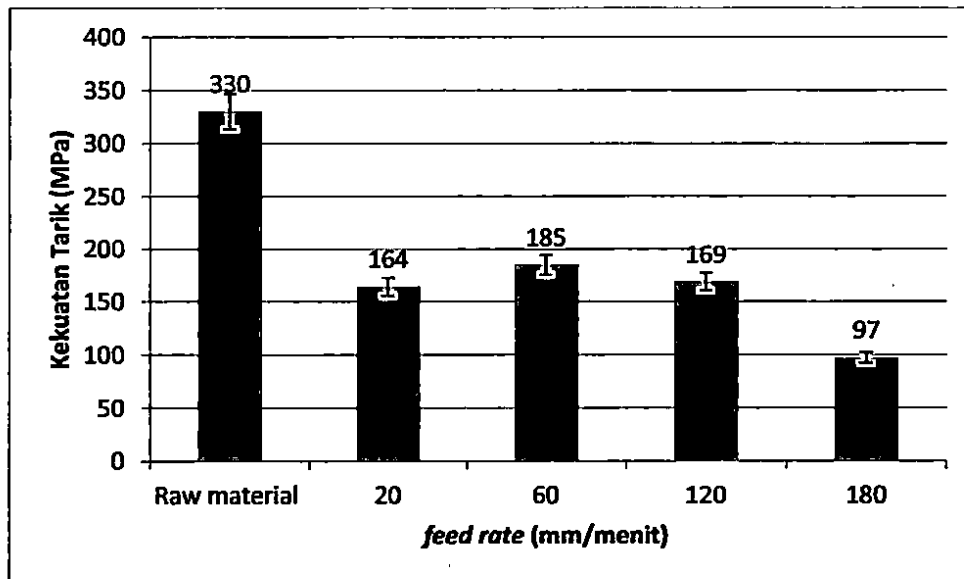
4.5 Hasil Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada material aluminium 5052 pada logam hasil pengelasan. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan *raw material*.



Gambar 4.10 Grafik Uji Tarik hasil FSW pada variasi *feed rate*

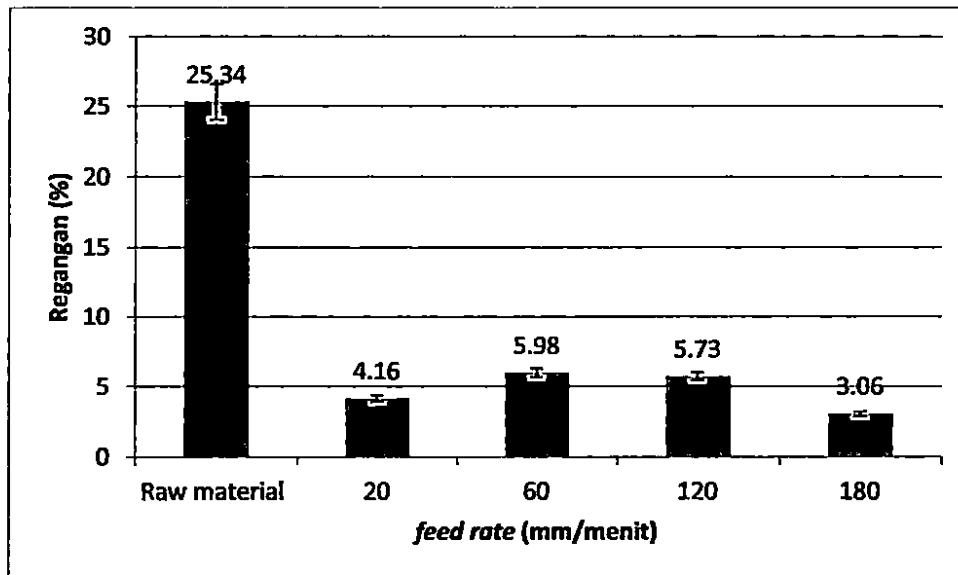
Gambar 4.10 menunjukkan bahwa antara logam induk aluminium 5052 dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan, yang hampir mencapai 50% dari kekuatan *raw materialnya*. Hal ini di karenakan pada daerah logam lasan mengalami perubahan struktur mikro, akibat dari penempaan pada saat pengelasan.



Gambar 4.11 Grafik variasi *feed rate* terhadap kekuatan tarik hasil las FSW

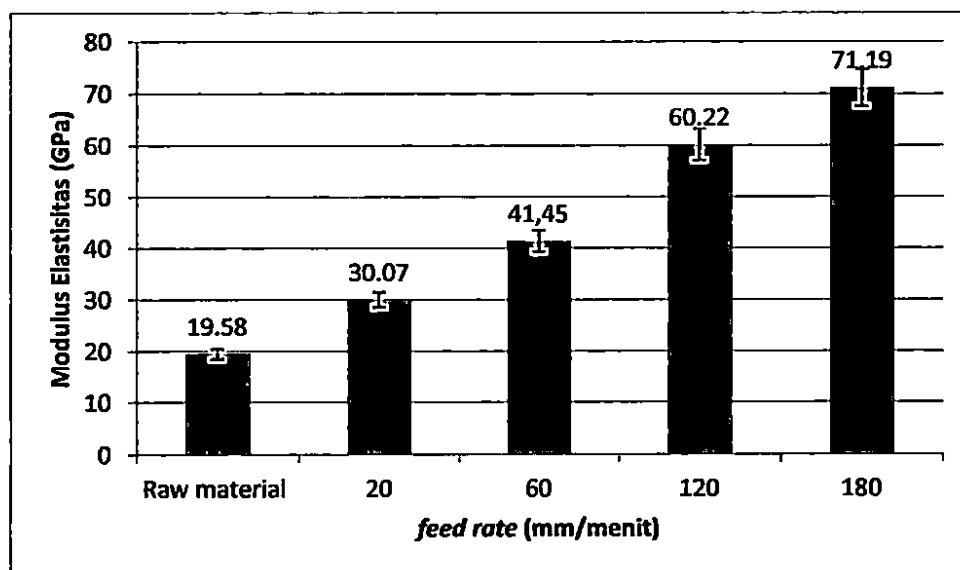
Dari Gambar 4.11 yang memiliki nilai tegangan tertinggi terdapat pada pengelasan FSW dengan *feed rate* 60 mm/menit yaitu sebesar 185 MPa, kemudian *feed rate* 120 mm/ menit yaitu sebesar 167 MPa, *feed rate* 20 mm/menit yaitu sebesar 164 MPa, dan yang terendah pada penggunaan *feed rate* 180 mm/menit yaitu sebesar 97 MPa, jika dibandingkan dengan *raw material* nilai *raw material* memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 330 MPa.

Gambar 4.12 juga memperlihatkan bahwa nilai regangan mengalami perbedaan yang sangat signifikan dibanding regangan yang dimiliki oleh *raw materialnya*. Hal ini dikarenakan patahan terjadi tepat pada daerah lasan, yang merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan teknik, sehingga pada daerah tersebut kekuatan materialnya berbeda.



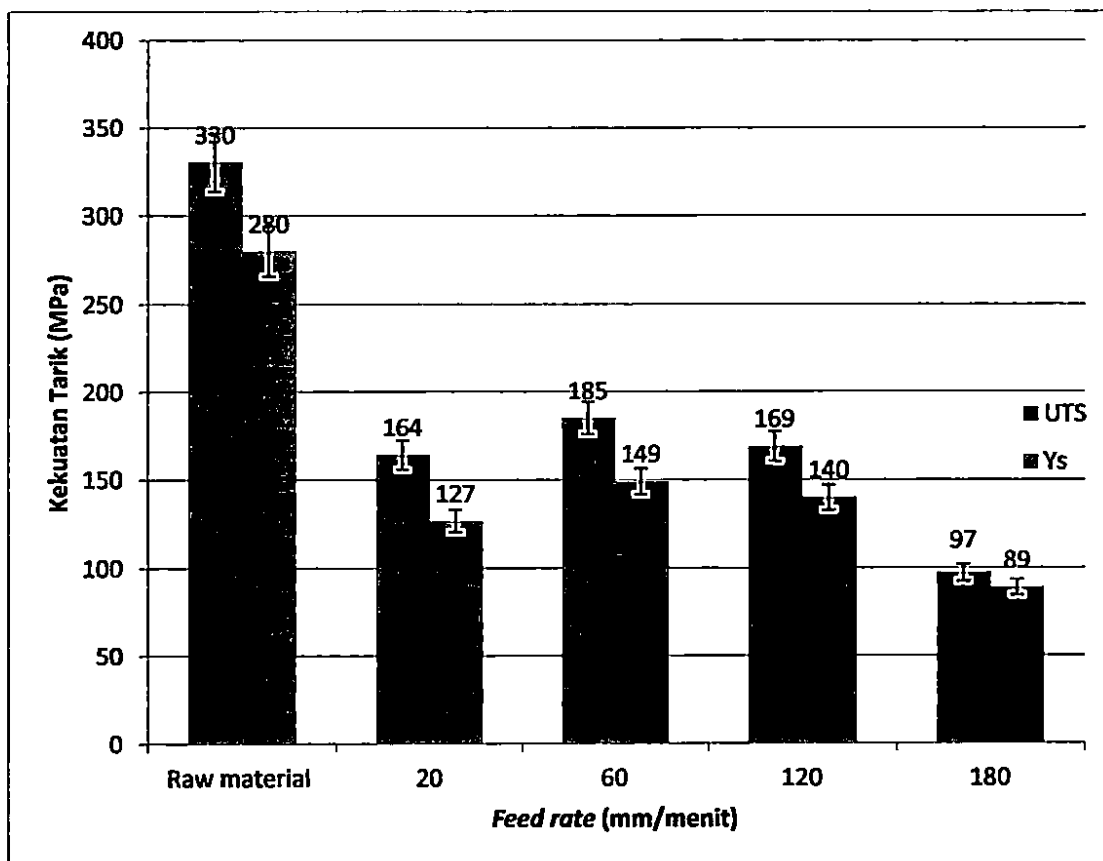
Gambar 4.12 Grafik pengaruh *feed rate* terhadap regangan hasil las FSW

Untuk regangan pada gambar 4.14 yang terjadi pada pengujian tarik ini regangan terbesar terjadi pada *raw material* sebesar 25.34% , kemudian *feed rate* 60 mm/menit sebesar 5.98%, *feed rate* 120 mm/menit sebesar 5.73%, *feed rate* 20 mm/menit sebesar 4.16%, *feed rate* dan paling terendah terdapat pada *feed rate* 180 mm/menit sebesar 3.06%.



Gambar 4.13 Grafik pengaruh *feed rate* terhadap modulus elastisitas hasil las FSW

Pada gambar 4.12 nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada *feed rate* 180 sebesar 71.19 GPa, kemudian *feed rate* 120 mm/menit sebesar 60.22 GPa, *feed rate* 60 mm/menit sebesar 41.45 GPa, *feed rate* 20 mm/menit sebesar 30.07 GPa, dan nilai modulus elastisitasnya yang terendah terdapat pada pada *raw material* sebesar 19.58 MPa. Dari setiap variasi nilai modulus mengalami kenaikan secara berurutan.



Gambar 4.14 Grafik UTS dan Yield Strength pada sambungan las FSW dengan variasi *feed rate*

Dari Gambar 4.14 yang memiliki nilai *ultimate stetensial strength* (UTS) tertinggi terdapat pada pengelasan FSW dengan *feed rate* 60 mm/menit yaitu sebesar 185 MPa, kemudian *feed rate* 20 mm/ menit yaitu sebesar 164 MPa, *feed rate* 120 mm/menit yaitu sebesar 169 MPa, dan yang terendah pada penggunaan

feed rate 180 mm/menit yaitu sebesar 97 MPa, jika dibandingkan dengan *raw material* nilai *raw material* memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 323 Mpa.

Untuk nilai *yeld strength* nilai tertinggi terdapat pada *feed rate* 60 mm/menit sebesar 149 MPa, kemudian *feed rate* 120 mm/menit sebesar 140 MPa, *feed rate* 20 mm/menit sebesar 127 MPa dan nilai *yeld strength* terendah terdapat pada kecepatan *feed rate* 180 mm/menit sebesar 89 MPa.

Namun jika dibandingkan dengan base materialnya, nilai UTS ini besarnya satu pertiga dari nilai UTS base materialnya. Hal ini dikarenakan masih terdapat cacat *incomplete fusion* sepanjang daerah lasan, seperti terlihat pada Gambar 4.2, inilah yang menyebabkan nilai UTS yang dihasilkan dari tiap hasil lasan jauh lebih kecil dibandingkan dengan base material.

Menurut ASM Aluminium 5052-H34 nilai UTS sebesar 262 MPa, nilai Yield Strength 214 Mpa dan regangan 10%. Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan memiliki nilai UTS untuk penggunaan *feed rate* berturut-turut yaitu 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 164 MPa, 185 MPa, 169, dan 97 MPa. Nilai Yield Strength untuk penggunaan berturut-turut 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 127 MPa, 149 MPa, 140 Mpa, dan 89 MPa, serta nilai regangan *feed rate* untuk 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 4.16%, 5.98%, 5.73%, 3.06%. Sehingga nilai UTS, Yield Strength hasil penelitian ini masih jauh dari nilai standar ASM yang telah ditentukan.

Selain hal itu, perbedaan nilai tegangan dan regangan terjadi karena pada material hasil pengelasan memiliki cacat, baik cacat luar maupun cacat dalam.

Untuk nilai *yeld strength* nilai tertinggi terdapat pada *feed rate* 60 mm/menit sebesar 152 MPa, kemudian *feed rate* 20 mm/menit sebesar 127 MPa, *feed rate* 120 mm/menit sebesar 125 MPa dan nilai *yeld strength* terendah terdapat pada kecepatan *feed rate* 180 mm/menit sebesar 94 MPa.

Namun jika dibandingkan dengan base materialnya, nilai UTS ini besarnya satu pertiga dari nilai UTS base materialnya. Hal ini dikarenakan masih terdapat cacat *incomplete fusion* sepanjang daerah lasan, seperti terlihat pada Gambar 4.2, inilah yang menyebabkan nilai UTS yang dihasilkan dari tiap hasil lasan jauh lebih kecil dibandingkan dengan base material.

Menurut ASM Aluminium 5052-H34 nilai UTS sebesar 262 MPa, nilai Yield Strength 214 Mpa dan regangan 10%. Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan memiliki nilai UTS untuk penggunaan *feed rate* berturut-turut yaitu 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 164 MPa, 187 MPa, 156, dan 103 MPa. Nilai Yield Strength untuk penggunaan berturut-turut 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 127 MPa, 152 MPa, 125 Mpa, dan 94 MPa, serta nilai regangan *feed rate* untuk 20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit sebesar 7.84%, 12.4%, 3.17%, 11.55 %. Sehingga nilai UTS, Yield Strength hasil penelitian ini masih jauh dari nilai standar ASM yang telah ditentukan dan pada regangan (60 dan 180) mm/menit telah melebihi standar ASM.

Selain hal itu, perbedaan nilai tegangan dan regangan terjadi karena pada material hasil pengelasan memiliki cacat, baik cacat luar maupun cacat dalam.

4.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi *Feed rate*. Table 4.3 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *Vickers*, kemudian pada Gambar 4.15 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.

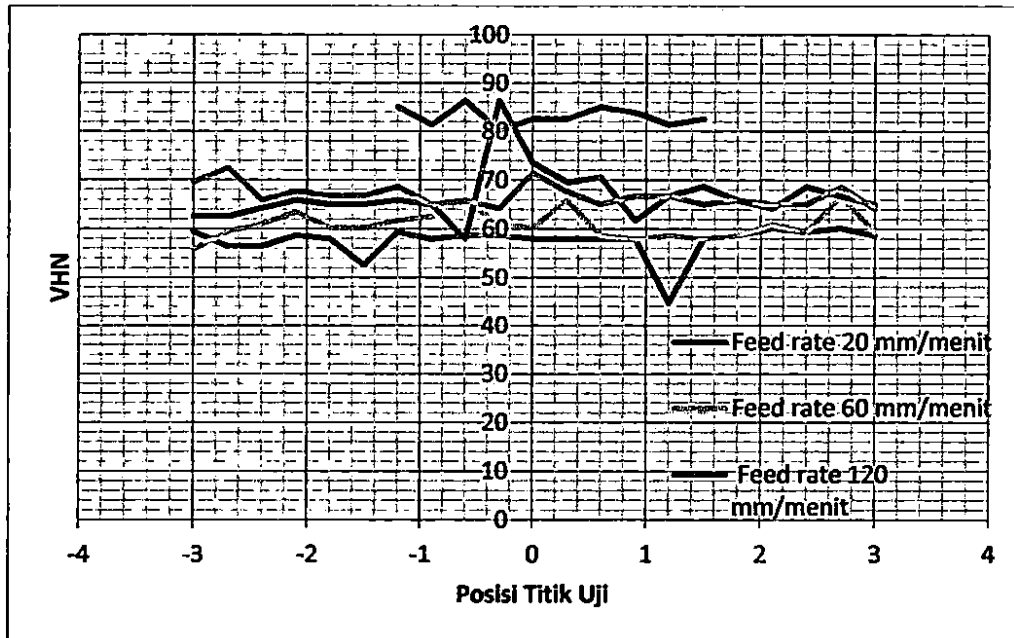
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Posisi titik uji	Nilai kekerasan VHN				
		20 mm/menit	60 mm/menit	120 mm/menit	180 mm/menit	Raw Material
1	-3	59.4	55.8	62.6	69.6	-
2	-2.7	56.5	59.4	62.6	72.5	-
3	-2.4	56.5	61	64.2	65.9	-
4	-2.1	58.7	63.4	65.9	67.7	-
5	-1.8	58	60.2	65.1	66.8	-
6	-1.5	52.6	60.2	65.1	66.8	-
7	-1.2	59.4	61.7	65.9	68.7	85.1
8	-0.9	58	62.6	65.1	65.1	81.4
9	-0.6	58.7	65.9	58	65.9	86.4
10	-0.3	58.7	61	86.4	64.2	80.2
11	0	58	60.2	73.6	71.5	82.6
12	0.3	58	65.9	69.6	67.7	82.6
13	0.6	58	58.7	70.6	65.1	85.1
14	0.9	58	58	61.7	66.8	83.9
15	1.2	44.8	58.7	66.8	66.8	81.4
16	1.5	58	58	68.7	65.1	82.6
17	1.8	58.7	58.7	65.9	65.9	-
18	2.1	60.2	61	64.2	65.1	-
19	2.4	59.4	59.4	68.7	65.1	-
20	2.7	60.2	66.8	66.8	68.7	-
21	3	58.7	59.4	65.1	64.2	-

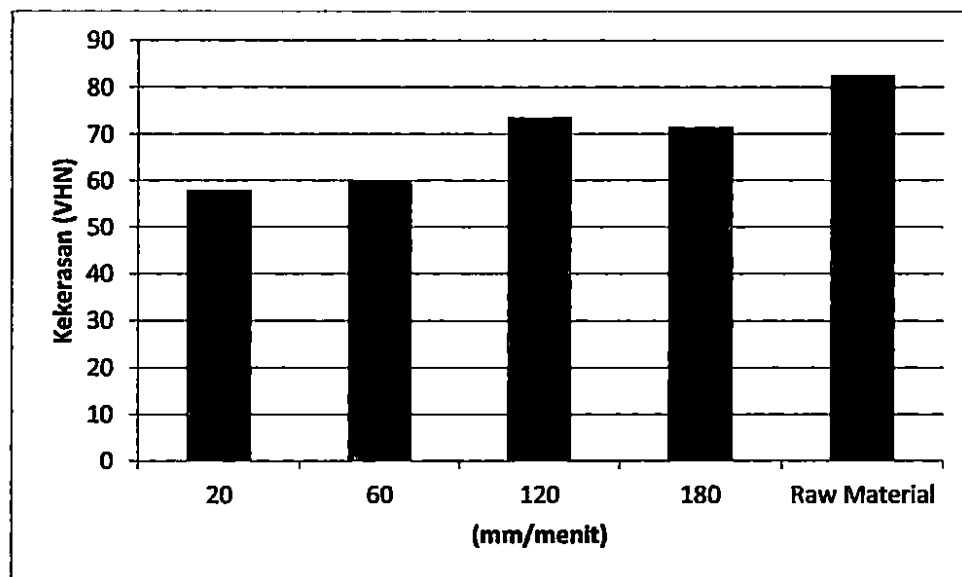
Proses pengelasan aluminium dengan *friction stir welding* menggunakan putaran 3600 rpm dengan kecepatan *feed rate* bervariasi (20 mm/menit, 60 mm/menit, 120 mm/menit dan 180 mm/menit). *Feed rate* 120 mm/menit memiliki kekerasan yang paling tinggi. Kekerasan yang rendah terdapat pada *feed rate* 20 mm/menit, ini dapat terjadi karena heat input yang besar dapat menghasilkan bentuk grain yang kecil.

Namun pada titik 0.3 kecepatan *feed rate* 120 mm/ menit mengalami kenaikan kekerasan sebesar 86.4 VHN karena mampu perlakuan panas (*heat treatment*) sehingga kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan dengan kecepatan *feed rate* yang lain dan nilai kekerasannya melebihi raw material, pada titik 1.2 kecepatan 20 mm/menit dengan nilai kekerasan 44.8 VHN terjadi penurunan nilai kekerasan karena kemungkinan tersebut disebabkan proses rekristalisasi yang tingkat kerapatannya rendah sehingga kekerasan mengalami penurunan.

Dalam penelitian ini kekerasan dapat disebabkan oleh besar kecilnya *feed rate* yang dipakai, pemakaian *feed rate* seharusnya tidak terlalu cepat dan tidak lambat bila kecepatan *feed rate* terlalu rendah maka nilai kekarasannya akan mengalami penurunan dan akan membentuk grain yang kecil sehingga menyebabkan nilai kekerasan yang rendah.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh distribusi kekerasan dari pusat las



Gambar 4.16 Grafik pengaruh *Feed rate* terhadap kekerasan pada sambungan las

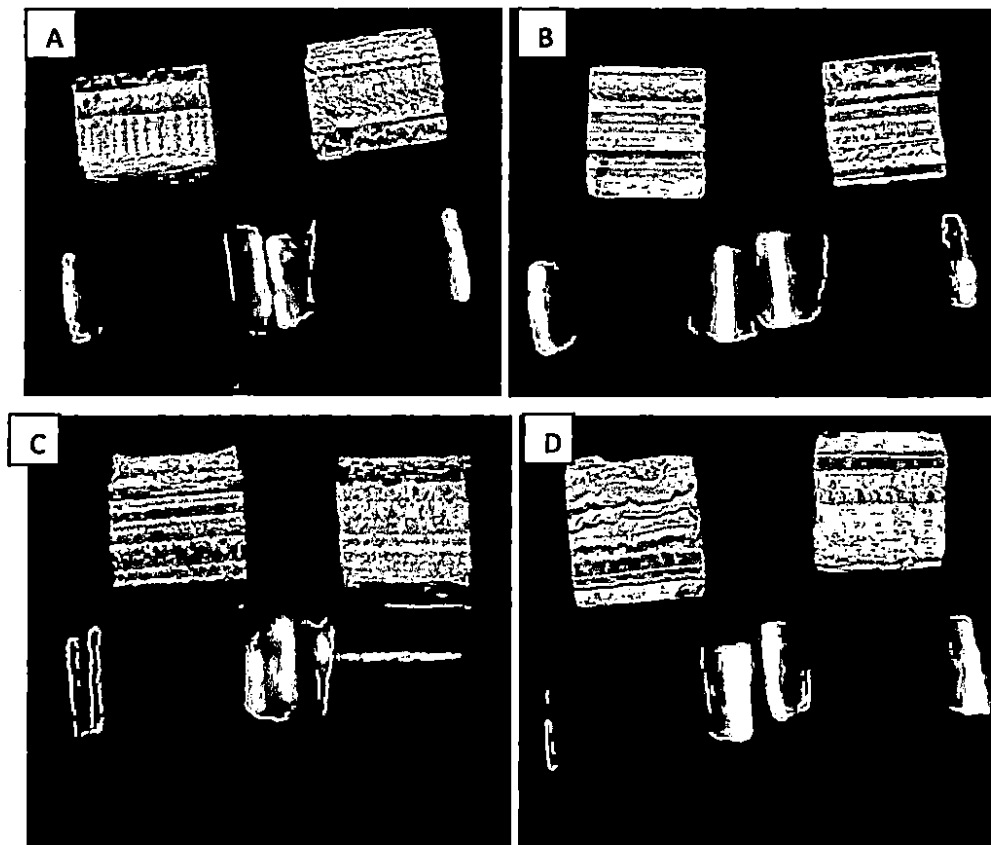
Menurut ASM Aluminium 5052-H34, nilai kekerasan dengan uji kekerasan vikers adalah 68 VHN. Sehingga hasil penelitian ini sudah mendekati nilai

kekerasan standarnya. Pada proses pengelasan aluminium dengan FSW pada *feed Rate* 120 mm/menit dengan kekerasan sebesar 86.4 VHN dan kecepatan *feed rate* 180 mm/menit dengan kekerasan sebesar 69.6 VHN sudah melebihi nilai kekerasan standarnya, sedangkan pada kecepatan *feed rate* 20 mm/menit memiliki nilai kekerasan 60.4 HVN dan kecepatan *feed rate* 60 mm/menit memiliki nilai kekerasan 65.9 masih kurang dari standarnya.

Dari gambar grafik 4.16 dapat dilihat nilai kekerasan berdasarkan posisi titik uji terlihat semakin tinggi kecepatan *feed rate* maka nilai kekerasan akan semakin meningkat, namun *feed rate* 180 mm/menit mengalami penurunan nilai kekerasan dikarenakan penyebaran panasnya semakin kecil karena laju *feed rate* yang terlalu cepat. Jika dibandingkan nilai dengan *raw material* nilai kekerasan hasil lasan masih jauh di bawah nilai kekerasan material.

Menurut Sudrajat (2012) pada pengelasan *friction stir welding*, penyambungan logam dilakukan dengan gesekan dan adukan tanpa memasukkan logam baru diantara material. Dan hasil pengelasan pada daerah *stir zone* tentu saja tidak bisa melebihi kekuatan dari base metal. Sifat yang kurang baik dari proses ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat panas yang timbul. Penurunan nilai kekerasan pada daerah lasan, selain karena karakteristik dari paduan itu sendiri juga disebabkan karena proses pengerasan tidak bisa terjadi ketika proses pengelasan berlangsung.

4.7 Fraktografi



Gambar 4.16 Tampak atas bagian patahan pada pengelasan (a) *feed rate* 20 mm/menit, (b) *feed rate* 60 mm/menit, (c) *feed rate* 120 mm/menit, (d) *feed rate* 180 mm/menit



Gambar 4.17 Tampak samping patahan pada pengelasan (a) *feed rate* 20 mm/menit, (b) *feed rate* 60 mm/menit, (c) *feed rate* 120 mm/menit, (d) *feed rate* 180 mm/menit

Pada Gambar 4.16 diatas menunjukkan patahan dari hasil pengelasan FSW, letak patahan terjadi pada bagian pada bagian lasan. Hal ini dikeranakan adanya cacat berupa *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* terjadi pada semua hasil lasan. Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi sepanjang pengelasan. Hal ini dapat terjadi akibat material yang teraduk hanya sepertiga dari seluruh material yang dilas.