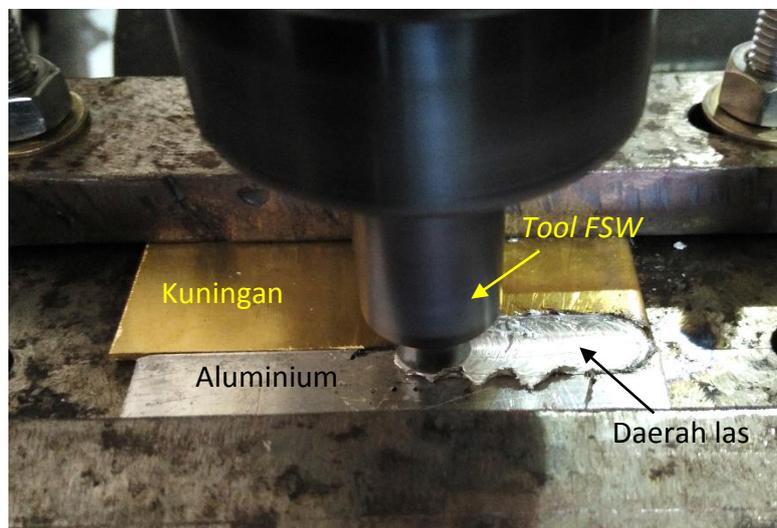


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan Pada FSW

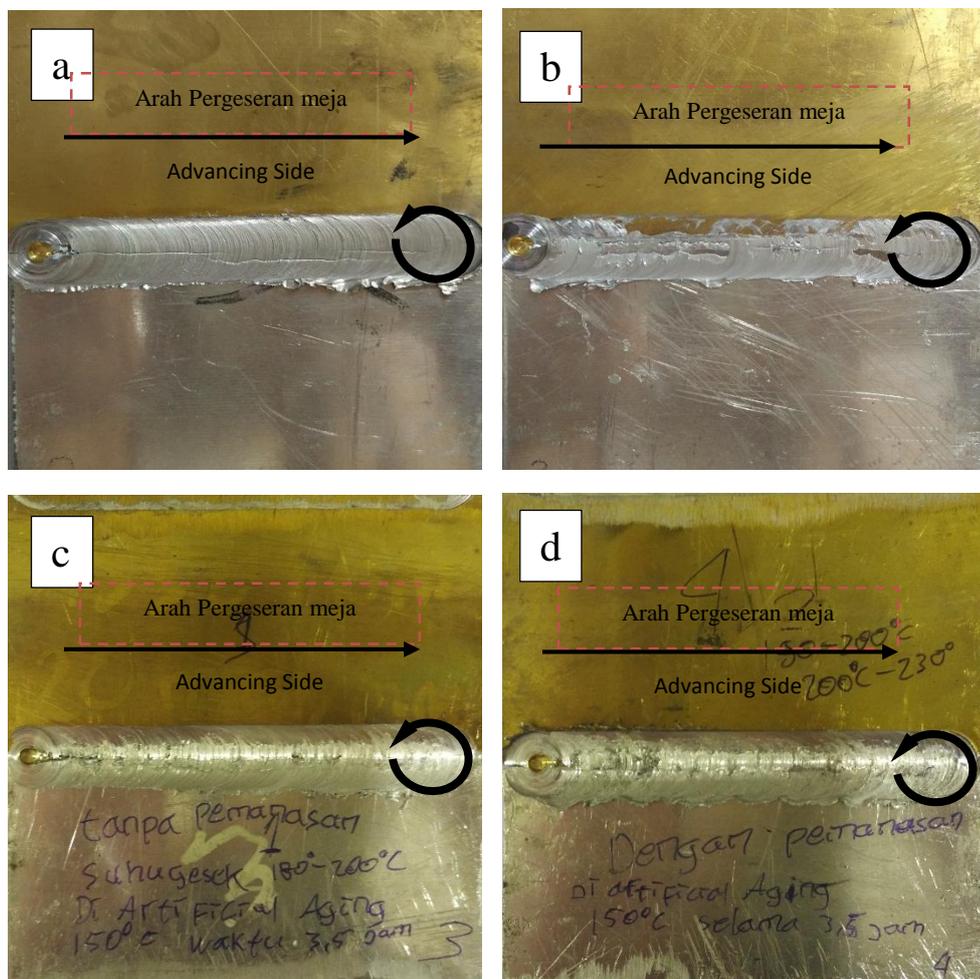
Pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengelasan dengan metode FSW ini merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari *tool* yang berputar dengan benda kerja yang diam sehingga mampu melelehkan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



Gambar 4.1 Pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW)

Pada gambar 4.2 (a) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan *feed rate* 20mm/menit, pada putaran tool 1550 rpm dan tanpa tambahan perlakuan panas. Permukaan hasil lasan terlihat retak tipis disepanjang lasan yang disebabkan karena kurangnya panas pada material. Pada Gambar 4.2 (b) merupakan hasil pengelasan FSW dengan ditambah pemanasan tambahan pada saat pengelasan berlangsung dengan suhu gesek mencapai 300°C. Permukaan hasil lasan terlihat kurang rapi dikarenakan penambahan panas yang dilakukan membuat bagian aluminium terlalu panas sehingga lelehan materia hasil pengadukan *pin tool* menjadi keluar dari jalur las. Gambar 4.2 (c) adalah hasil dari pengelasan FSW yang dilakukan perlakuan ulang T5 setelah dilas. Permukaan hasil pengelasan ini juga terlihat kurang rapi

yang dikarenakan suhu gesek yang kurang panas, pada saat pengelasan material kurang meleleh dan butiran lelehan masih teralalu kasar sehingga butiran yang masih kasar tersebut hanya tergesek oleh *shoulder*. Gambar 4.2 (d) pada permukaan lasan ini terlihat kasar dikarenakan pada saat pengelasan ditambah pemanasan tambahan sehingga banyak material aluminium yang meleleh akibat panas berlebih sehingga sedikit keluar dari pusat lasan dan permukaannya menjadi kasar.



Gambar 4.2 (a) hasil pengelasan FSW *dissimilar* antara aluminium dengan kuningan. (b) hasil pengelasan FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dengan suhu gesek mencapai 300°C. (c) hasil pengelasan FSW *dissimilar* dengan dilakukan proses perlakuan ulang T5. (d) hasil pengelasan FSW dengan dibantu pemanas tambahan dan dilakukan perlakuan ulang T5.

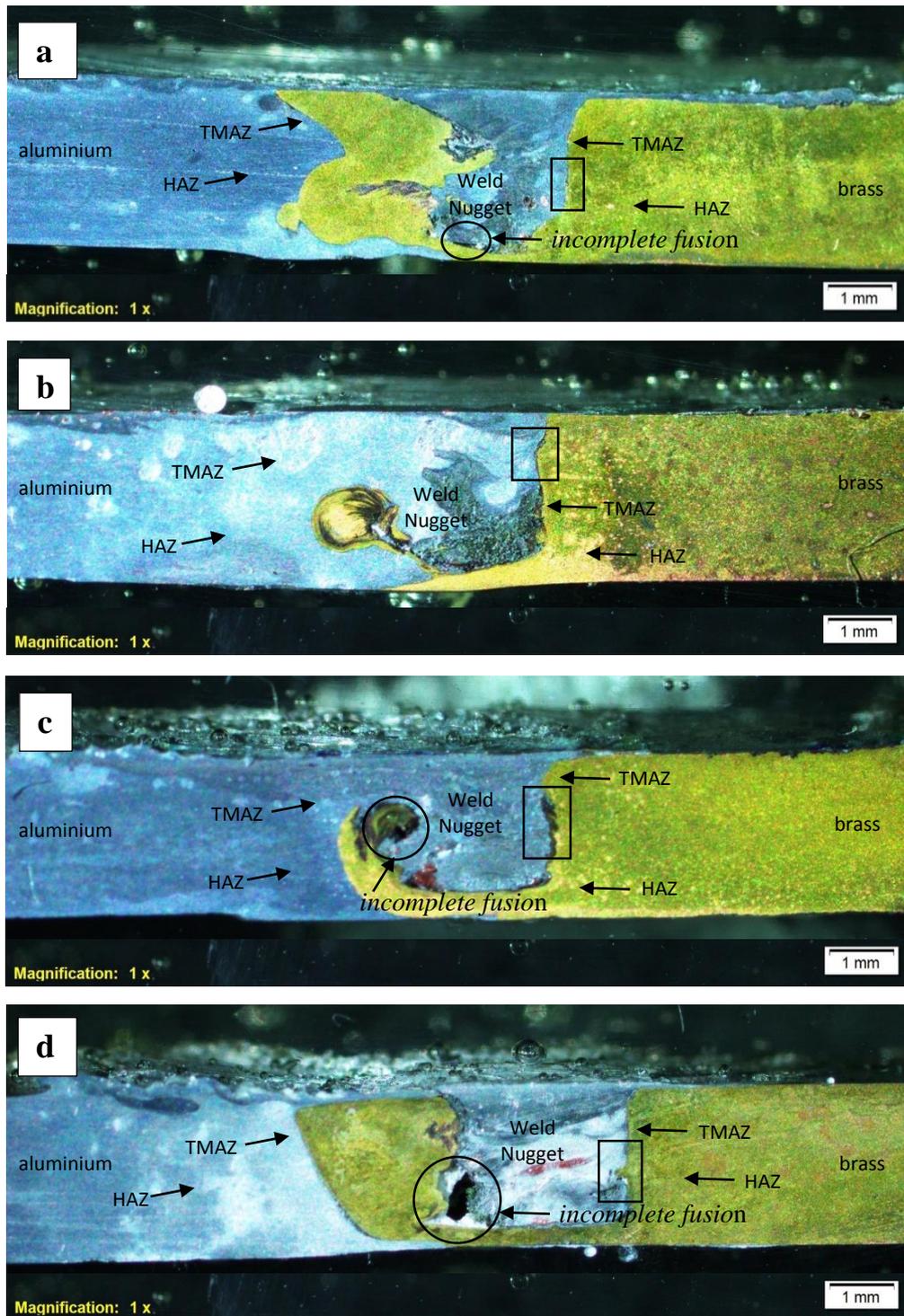
4.2 Hasil Foto Makro dan Mikro

Sebelum dilakukan proses foto makro dan mikro, spesimen dietsa terlebih dahulu. Larutan etsa yang digunakan adalah sesuai dengan standar ASTM E407 yaitu *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Ada 2 jenis larutan etsa yang diaplikasikan untuk Aluminium dan Kuningan pada pengelasan metode FSW ini, yang pertama untuk larutan etsa Aluminium seri 1xx memakai standar etsa no.6 yang terdiri dari 25 ml HNO₃ dan 75 ml Aquades. Sedangkan untuk larutan etsa kuningan memakai standar etsa no.29 yang terdiri dari 1 gr K₂ Cr₂ O₇, 4 ml H₂ SO₄, dan 50 ml Aquades. Pengetsaan dilakukan selama 3-60 detik dipilih waktu yang tepat untuk menghindari spesimen menjadi gosong dan berwarna hitam. Dikarenakan jika spesimen terlalu lama dicelup dan menjadi gosong maka batas butir dan daerah lasan tidak dapat terlihat.

4.2.1 Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil foto struktur makro untuk tiap spesimen memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk ataupun dari sifat mekaniknya (Gambar 4.3). Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan dari tiap pengelasan tidak sama sehingga menyebabkan proses pelunakan material tidak seluruhnya melunak terutama pada material kuningan. 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.

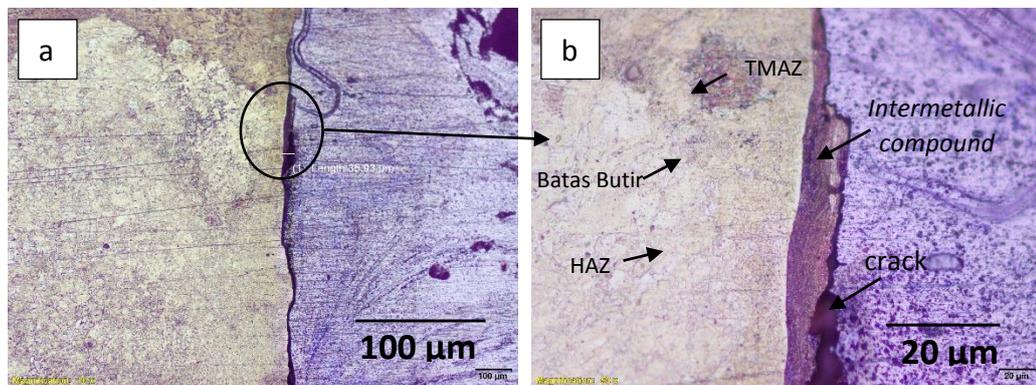
Hampir semua hasil lasan masih teramati adanya cacat berupa *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* terbesar terlihat pada pengelasan 4 (Gambar 4.3 (d)). Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi sepanjang pengelasan. Haipan (2012) hal ini dapat terjadi akibat material yang teraduk hanya sepertiga dari seluruh material yang dilas.



Gambar 4.3 (a) hasil FSW *dissimilar* antara aluminium dengan kuningan. (b) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan selama pengelasan. (c) hasil FSW *dissimilar* dengan dilakukan proses perlakuan ulang T5. (d) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dan dilakukan perlakuan ulang T5.

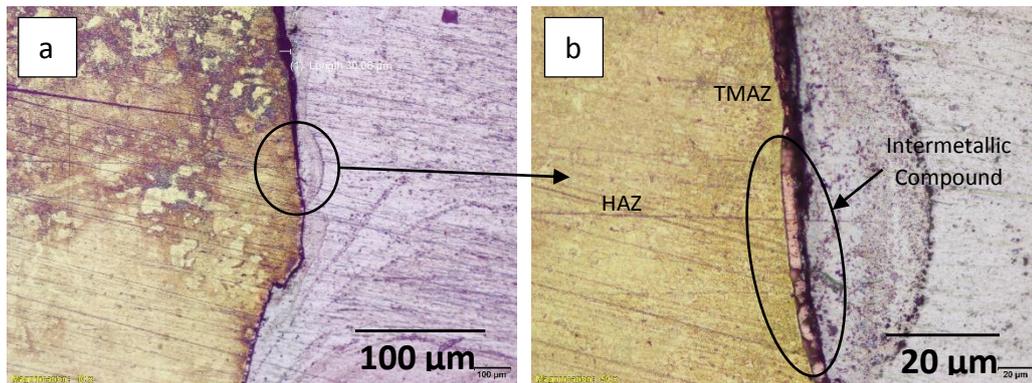
4.2.2 Hasil Foto Mikro

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 dan kuningan terjadi perbedaan partikel-partikel yang signifikan antara pengelasan 1, 2, 3 dan 4 pada daerah *stir zone* dan sambungan. 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.



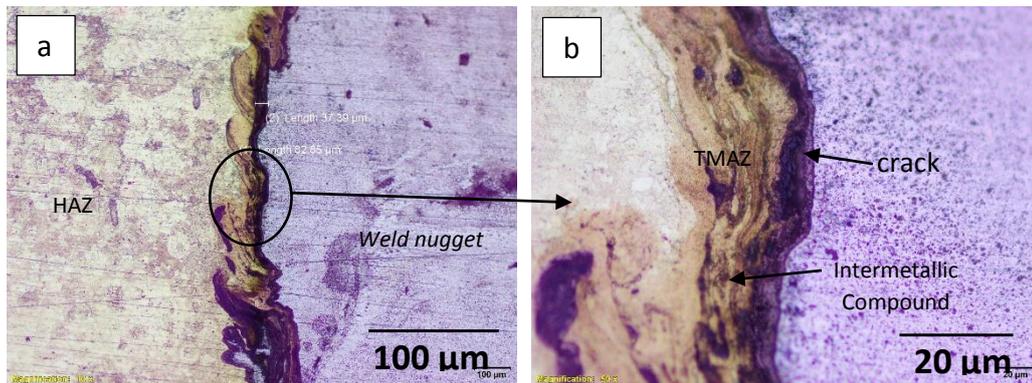
Gambar 4.4 Struktur mikro pengelasan 1 tanpa penambahan perlakuan panas pada daerah sambungan FSW *dissimilar* antara aluminium dengan kuningan (a), dengan perbesaran gambar 5 kali lipat (b)

Pada gambar 4.4 (a) menunjukkan bahwa pada daerah sambungan pengelasan 1 yang merupakan proses pengelasan dengan metode FSW terjadi retakan (*crack*) disepanjang jalur lasan. Lebar retakan diketahui selebar 35,93 mikron, hal ini disebabkan karena perbedaan titik lebur antara kedua material yang terpaut jauh sehingga material tidak dapat tercampur dan tersambung dengan baik. Pada gambar 4.4 (b) terlihat samar-samar perbedaan partikel pada daerah kuningan akibat dari pengaruh gesekan *tool* saat pengelasan. Dan pada perbesaran 500x ini terlihat bahwa antara material kuningan dengan aluminium hanya menempel saja tidak terjadi ikatan antar partikel (*kissing bond*) hal ini terjadi karena material kuningan tidak meleleh sempurna pada saat pengelasan. Dan dapat dilihat pada gambar 4.4 (b) terlihat batas butir antara TMAZ dan HAZ yang cukup jelas.



Gambar 4.5 struktur mikro pengelasan 2 dengan penambahan panas selama pengelasan pada daerah sambungan FSW *dissimilar* dengan suhu gesek mencapai 300°C (a). dengan perbesaran gambar 5 kali lipat (b)

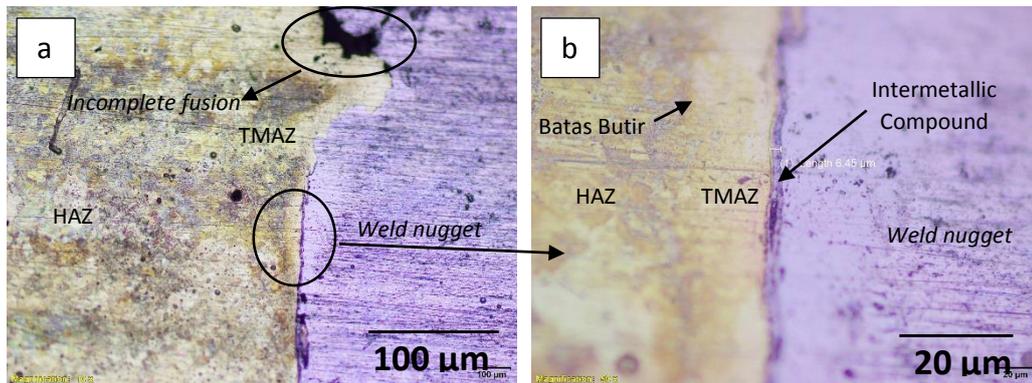
Pada gambar 4.5 (a) terlihat ada sedikit *crack* pada daerah sambungan las selebar 30,06 mikron. *Crack* ini tidak selebar pada pengelasan 1, karena pengelasan 2 ini adalah pengelasan FSW yang dibantu pemanasan tambahan pada saat pengelasan berlangsung dengan suhu gesek yang mencapai 300°C. Hal ini menyebabkan material kuningan yang memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari kuningan menjadi lunak karena terkena efek panas dari tambahan pemanas tadi. Oleh sebab itu pin *tool* pengelasan lebih mudah mengaduk material antara kuningan dan aluminium karena material sudah melunak bersamaan dahulu. Sedangkan gambar 4.5 (b) pada bagian interface sambungan las terlihat campuran logam antara aluminium dan kuningan mengisi celah sambungan lasan dengan baik, hal ini menandakan bahwa sambungan antar material mengikat dengan baik. Begitu juga pada daerah TMAZ kuningan terlihat sangat besar, ini dikarenakan efek dari penambahan panas yang tinggi pada saat pengelasan berlangsung. Pada sisi material aluminium terlihat adanya daerah *intermetallic compound*, yaitu daerah yang mengalami pencampuran logam dari proses pengadukan yang dilakukan.



Gambar 4.6 struktur mikro pengelasan 3 dengan perlakuan ulang T5 pada daerah sambungan hasil FSW *dissimilar*(a), dengan perbesaran gambar 5 kali lipat (b)

Pada gambar 4.6 (a) terlihat disepanjang sambungan lasan terdapat efek dari penambahan proses perlakuan ulang T5 yaitu proses *artificial aging* atau penuaan buatan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan. Pengelasan 3 sendiri adalah pengelasan seperti biasa dengan metode FSW yang kemudian setelah selesai pengelasan dilakukan perlakuan ulang *artificial aging*. Pada pengelasan 3 ini juga terdapat *crack* dengan lebar 37,39 mikron, ini sama seperti pada pembahasan sebelumnya yaitu pada pembahasan pengelasan 1 yang juga terdapat *crack* pada sambungan lasnya. Dari gambar terlihat juga pada *weld nugget* terdapat efek dari *artificial aging* yaitu tampak partikel-partikel aluminium yang bercampur dengan material kuningan menjadi lebih halus pada permukaannya jika dibanding dengan permukaan pengelasan 1 yang tanpa perlakuan ulang *artificial aging*.

Sedangkan pada gambar 4.6 (b) yang ditunjukkan tanda panah adalah daerah sambungan yang mengalami efek dari perlakuan ulang *artificial aging*. Pada pembahasan pengelasan 1 tadi dijelaskan bahwa pada sambungan antara material kuningan dan aluminium tidak tersambung sempurna karena perbedaan titik lebur material yang terpaut jauh dan tidak adanya bantuan pemanas tambahan. Pada pengelasan 3 ini sambungan lasan yang tidak sempurna diperbaiki dengan melakukan perlakuan ulang *artificial aging* yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan sambungannya.



Gambar 4.7 struktur mikro pengelasan 4 dengan penambahan panas tambahan selama pengelasan dan kemudian dilakukan perlakuan ulang T5 pada daerah sambungan hasil FSW *dissimilar* (a), dengan perbesaran gambar 5 kali lipat (b)

Pada gambar 4.7 (a) menunjukkan daerah TMAZ yang sangat jelas mengalami perubahan bentuk partikel, pada daerah tersebut ukuran partikelnya terlihat lebih kecil dibanding dengan daerah HAZ. Hal ini terjadi karena pada saat pengelasan dibantu dengan pemanasan tambahan yang mengakibatkan panas dibagian *tool pin* menjadi lebih tinggi, sehingga pengaruh gesekan *tool* terhadap partikel material menjadi lebih halus. Pada gambar 4.7 (b) diperbesar 500x sangat jelas terlihat batas butir partikel antara TMAZ dan HAZ. Ukuran partikel pada daerah TMAZ yang berdekatan pada daerah *stir zone* terlihat sangat kecil dibanding dengan HAZ, ini dikarenakan daerah TMAZ langsung terkena efek dari pengelasan yang dibantu pemanasan tambahan. Pada daerah *weld nugget* juga jelas terlihat efek dari proses perlakuan ulang T5 yaitu proses *artificial aging*, Efek tersebut terlihat pada ukuran partikel yang lebih kecil dari pada ukuran partikel dipengelasan 2 yang tanpa dilakukan perlakuan ulang *artificial aging*. Namun perlakuan ulang material tersebut kekuatannya akan diketahui pada saat diuji mekanik. Pada gambar 4.7 (b) bagian *weld nugget* juga terlihat adanya daerah *intermetallic compound* yang terbentuk karena pengadukan *pin tool* saat pengelasan.

4.3 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan metode pengelasan yang berbeda-beda. Table 4.1 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *Micro Vickers* dengan beban yang digunakan sebesar 200 gf, kemudian pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan rata-rata pada setiap variasi pengelasan dan Gambar 4.9 adalah grafik perbandingan nilai kekerasan pada sambungan lasan disetiap metode pengelasan.

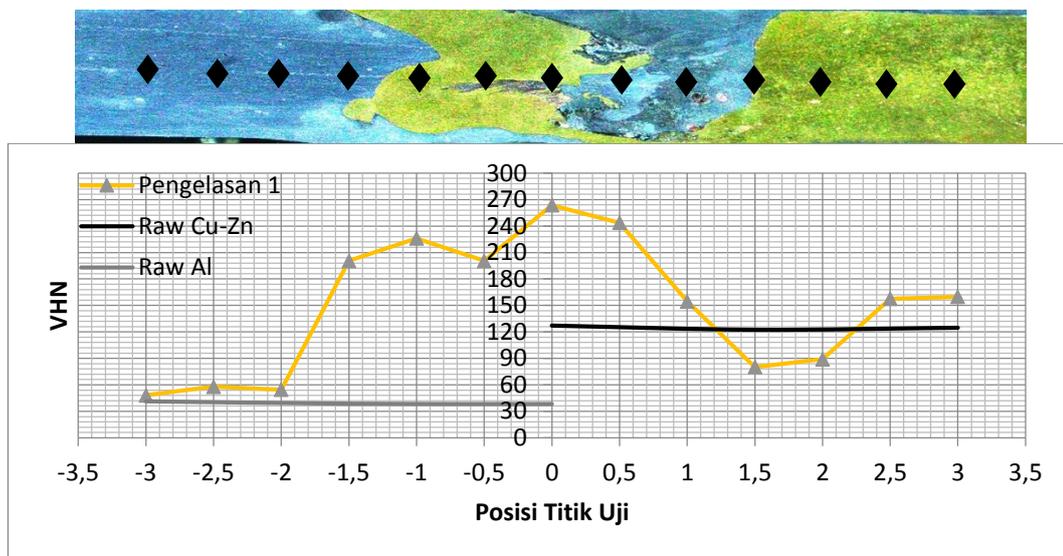
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Posisi titik uji (mm)	Nilai kekerasan VHN					
		P1	P2	P3	P4	CuZn	Al
1	-3	48,26	47,53	46,3	39,13	-	-
2	-2,5	58	62,6	54,5	171,5	-	-
3	-2	54,5	61,7	53,8	94,9	-	-
4	-1,5	200,6	61,7	54,5	148,4	-	-
5	-1	226,1	231,8	175,3	220,6	-	-
6	-0,5	200,6	243,8	200,6	122,6	124,8	41,5
7	0	263,7	278,4	237,7	270,9	122,6	38,6
8	0,5	243,8	220,6	256,8	278,4	127,2	38,2
9	1	154,5	256,8	81,4	243,8	-	-
10	1,5	80,2	243,8	87,8	226,1	-	-
11	2	89,1	187,3	99,7	191,6	-	-
12	2,5	157,7	205,3	148,4	205,3	-	-
13	3	159,86	197,6	174,16	134,1	-	-

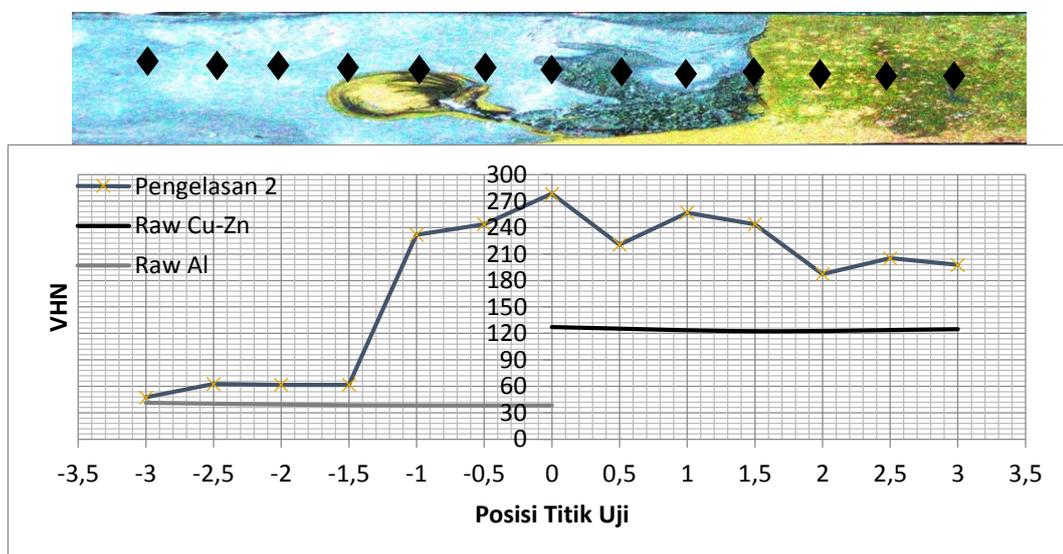
P1 = Pengelasan 1, P2 = Pengelasan 2, P3 = Pengelasan 3, P4 = Pengelasan 4

Proses pengelasan *dissimilar* aluminium dan kuningan dengan *friction stir welding* menggunakan putaran 1550 rpm dengan kecepatan *feed rate* 20 mm/menit. Variasi pengelasan yang digunakan pun berbeda seperti pengelasan 1 adalah pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW), pengelasan 2 adalah pengelasan dengan metode FSW dan dengan ditambah pemanas tambahan ehingga suhu gesek mencapai 300°C, pengelasan 3 adalah pengelasan dengan metode FSW dengan ditambah perlakuan ulang T5, sedangkan pengelasan 4 adalah pengelasan dengan metode FSW dan ditambah pemanas tambahan dan kemudian dilakukan perlakuan ulang T5. Sehingga dari

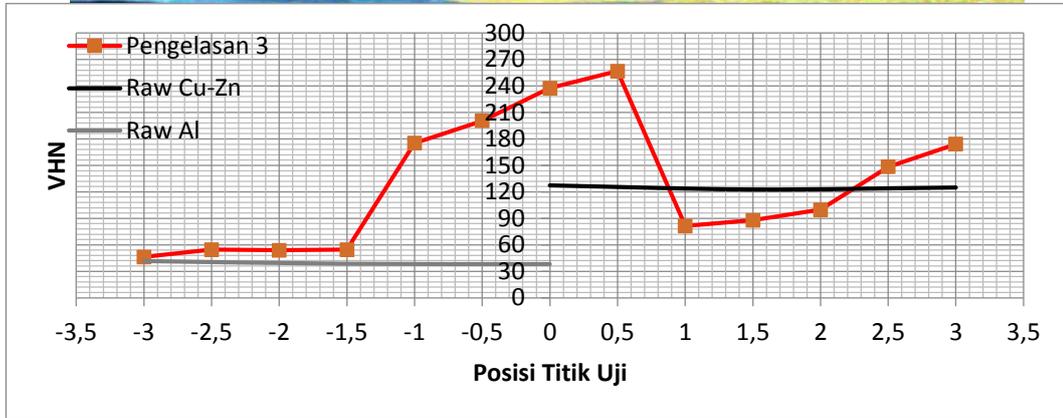
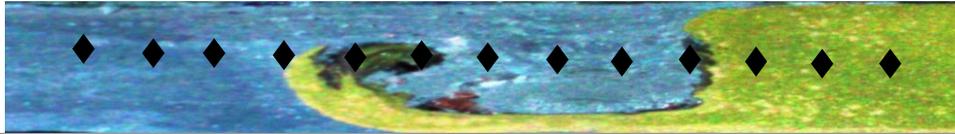
variasi proses pengelasan yang berbeda-beda sangat berpengaruh pada nilai kekerasan hasil lasan. Pada tabel 4.1 bagan posisi titik uji nilai 0 adalah pusat dari lasan, sedangkan tanda minus (-) merupakan daerah material aluminium dan nilai plus merupakan daerah material kuningan.



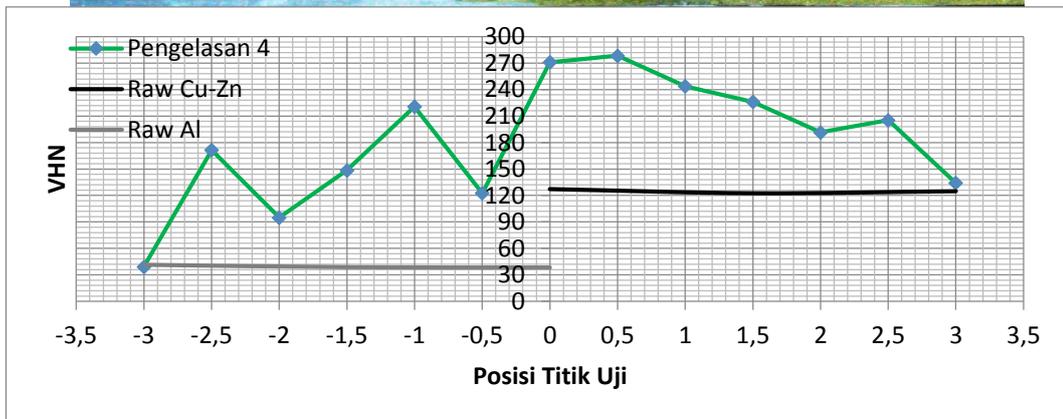
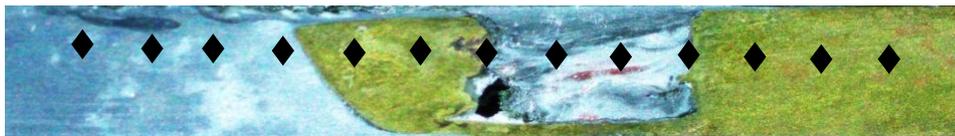
Gambar 4.8 grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* tanpa perlakuan panas



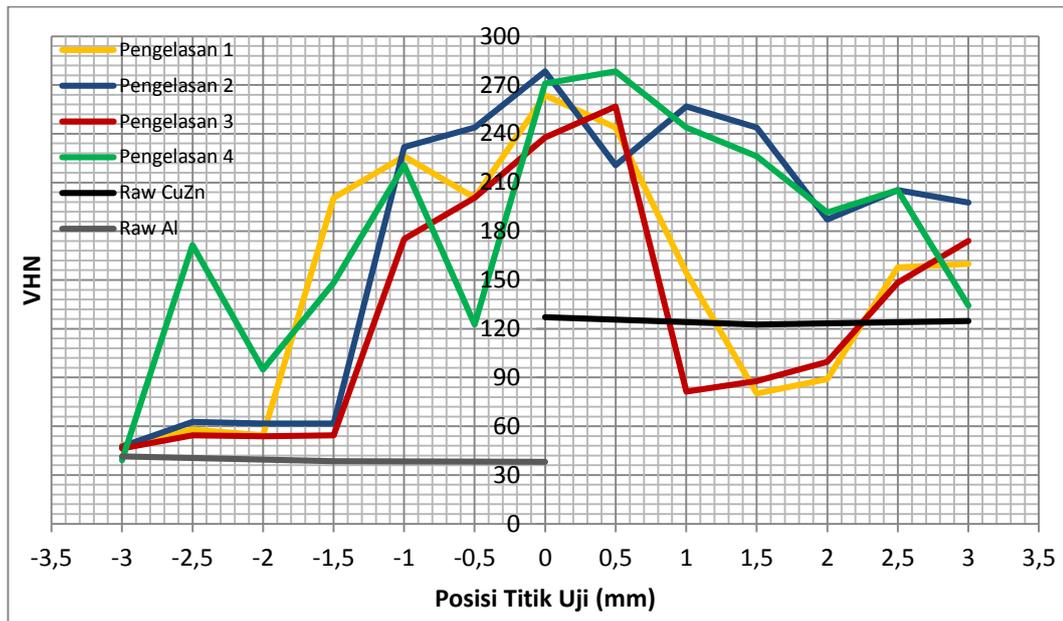
gambar 4.9 Grafik distribusi kekernan pengelasan FSW *dissimilar* dengan ditambah pemanas selama pengelasan



Gambar 4.10 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* dengan perlakuan panas T5 setelah pengelasan

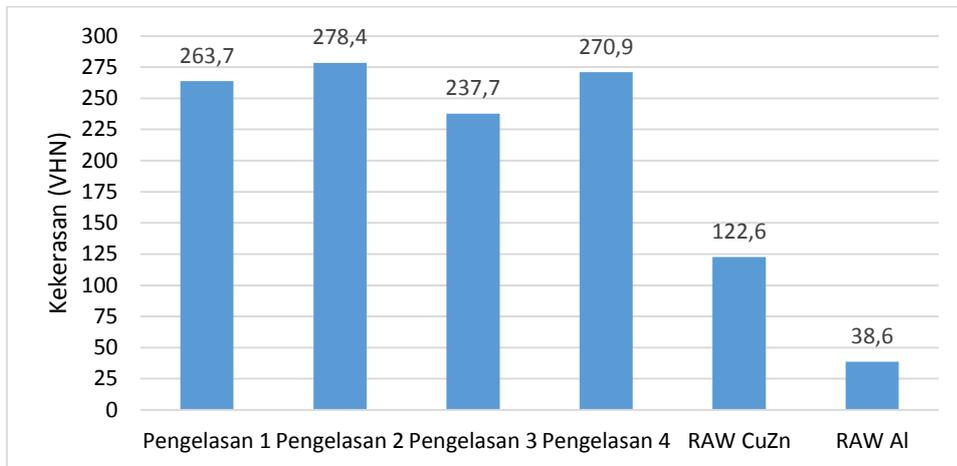


Gambar 4.11 Grafik distribusi kekerasan penelasan FSW *dissimilar* dengan gabungan perlakuan panas keduanya



Gambar 4.12 Grafik distribusi kekerasan dari semua variasi pengelasan

Dari gambar grafik 4.12 tersebut dapat dilihat jika nilai kekerasan pada setiap pengelasan mendapatkan harga kekerasan yang tidak beraturan, hal ini disebabkan karena terjadinya perpindahan material dari bagian aluminium ke kuningan ataupun sebaliknya yang mengakibatkan nilai kekerasan menjadi tidak stabil. Dan hal ini diperkuat oleh bukti pada pembahasan 4.3 hasil foto makro dan mikro yang menampilkan foto jika pada setiap pengelasan terjadi perpindahan material dari aluminium ke kuningan ataupun sebaliknya yang disebabkan karena adukan dari pin *tool* pengelasan. Dari sebagian besar titik pengujian kekerasan baik dibagian aluminium atau dibagian kuningan nilai kekerasan yang diperoleh rata-rata melebihi dari raw material Al ataupun CuZn. Dari grafik tersebut juga terlihat nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan 2 dititik uji 0 sebesar 278,4 VHN dan pada pengelasan 4 dititik uji 0,5 sebesar 278,4 VHN. Kedua nilai kekerasan pada pengelasan 2 dan pengelasan 4 tersebut sama, hal ini disebabkan karena pada proses pengelasannya dilakukan dengan menambah panas tambahan yang suhu geseknya mencapai 300°C sehingga proses pengadukan material menjadi sempurna.

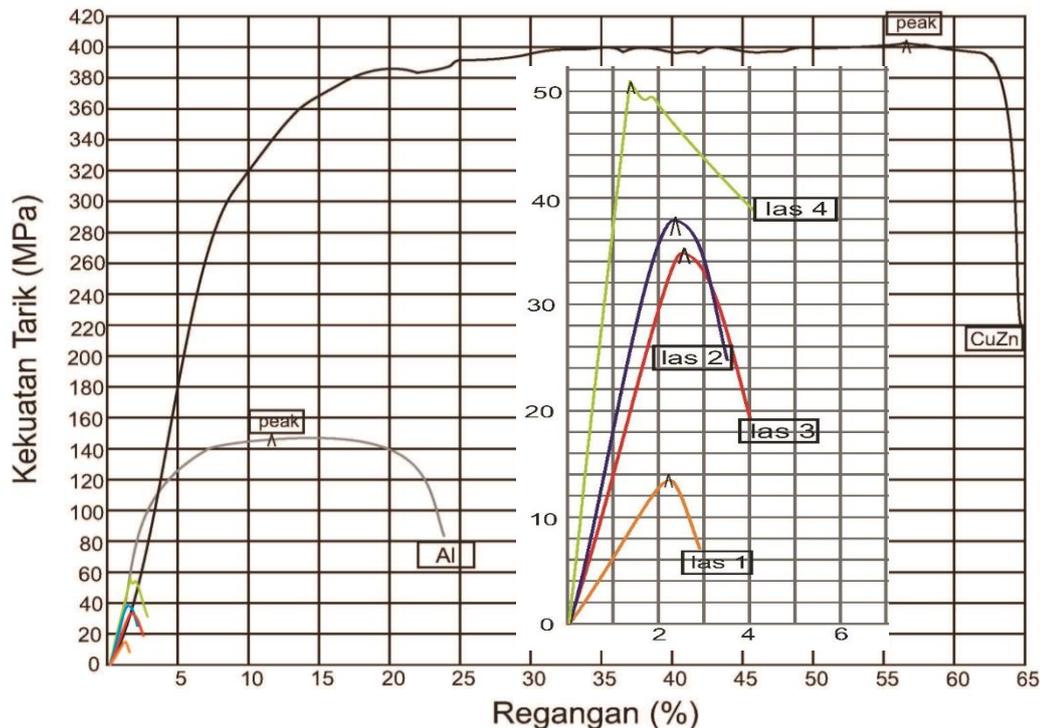


Gambar 4.13 Grafik pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan pada daerah sambungan las

Dari hasil pengujian kekerasan tepat pada sambungan las *dissimilar* aluminium dan kuningan menunjukkan jika kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan 2 dengan nilai 278,4 VHN, kemudian nilai kekerasan selanjutnya adalah pengelasan 4 dengan nilai 270,9 VHN, pada pengelasan 3 diperoleh nilai kekerasan sebesar 237,7 VHN dan pengelasan 1 diperoleh nilai sebesar 263,7 VHN. Dari ke empat pengelasan tersebut semua kekerasan yang diperoleh sangat jauh melebihi dari RAW CuZn yang sebesar 122,6 VHN hingga 2 kali lipat dan melebihi hingga 3 kali lipat dari nilai RAW Al yang bernilai 38,6 VHN. Hal ini dikarenakan penambahan panas sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan, sebab pengadukan material menjadi sempurna dan merata.

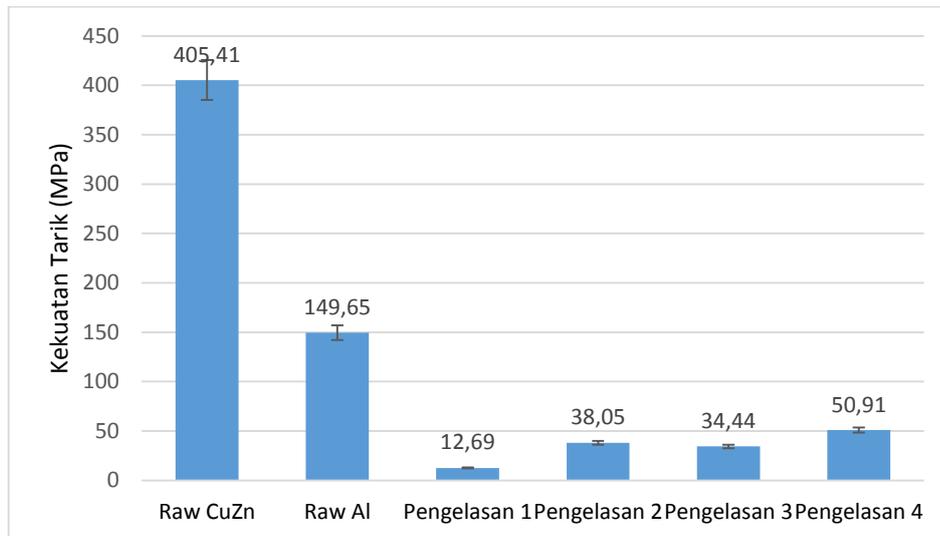
4.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada hasil pengelasan *dissimilar* antara aluminium dan kuningan. 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*.



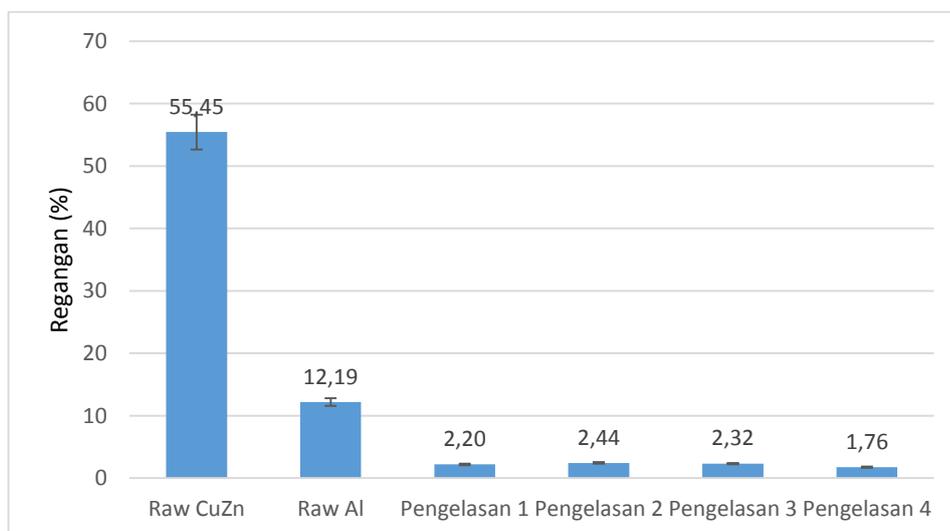
Gambar 4.14 Grafik Uji Tarik hasil FSW *dissimilar* antara CuZn dan Al

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa antara logam raw material aluminium dan kuningan dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat jauh, yang hanya mencapai 30% dari raw material aluminium. Hal ini dikarenakan dua material yang dilas karakteristik bendanya berbeda dari segi kekerasan, titik lebur dan tegangan Kemungkinan pada daerah lasan antara aluminium dan kuningan hanya sedikit tersambung dikarenakan pengadukan material yang dilakukan oleh pin kurang sempurna.



Gambar 4.15 grafik pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan tarik hasil las FSW

Dari gambar 4.15 terlihat yang memiliki nilai tegangan tertinggi terdapat pada pengelasan 4 yaitu sebesar 50,91 MPa, kemudian nilai tegangan terbesar selanjutnya terdapat pada pengelasan 2 dengan nilai 38,05 MPa, selanjutnya tegangan pada pengelasan 3 sebesar 34,44 MPa, dan nilai tegangan yang paling rendah terdapat pada pengelasan 1 dengan nilai sebesar 12,69 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan *raw material* Aluminium yang sebesar 149,65 MPa maka nilai tegangan hasil pengelasan FSW *dissimilar* yang tertinggi hanya mencapai 30% dari nilai tegangan aluminium tersebut.



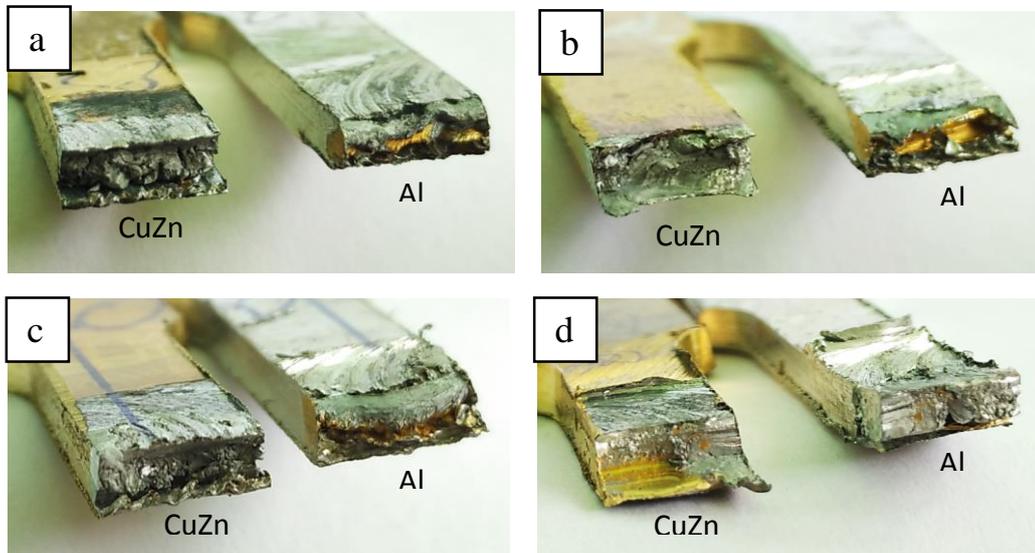
Gambar 4.16 grafik pengaruh perlakuan panas terhadap regangan hasil las FSW

Pada gambar 4.16 memperlihatkan bahwa hasil nilai regangan mengalami perbedaan yang sangat signifikan dibanding dengan regangan yang dimiliki oleh *raw material* aluminium ataupun *raw material* kuningan. Hal ini dikarenakan patah terjadi tepat pada sambungan lasan yang merupakan daerah yang paling banyak perlakuan teknik sehingga pada daerah tersebut kekuatan materialnya menurun.

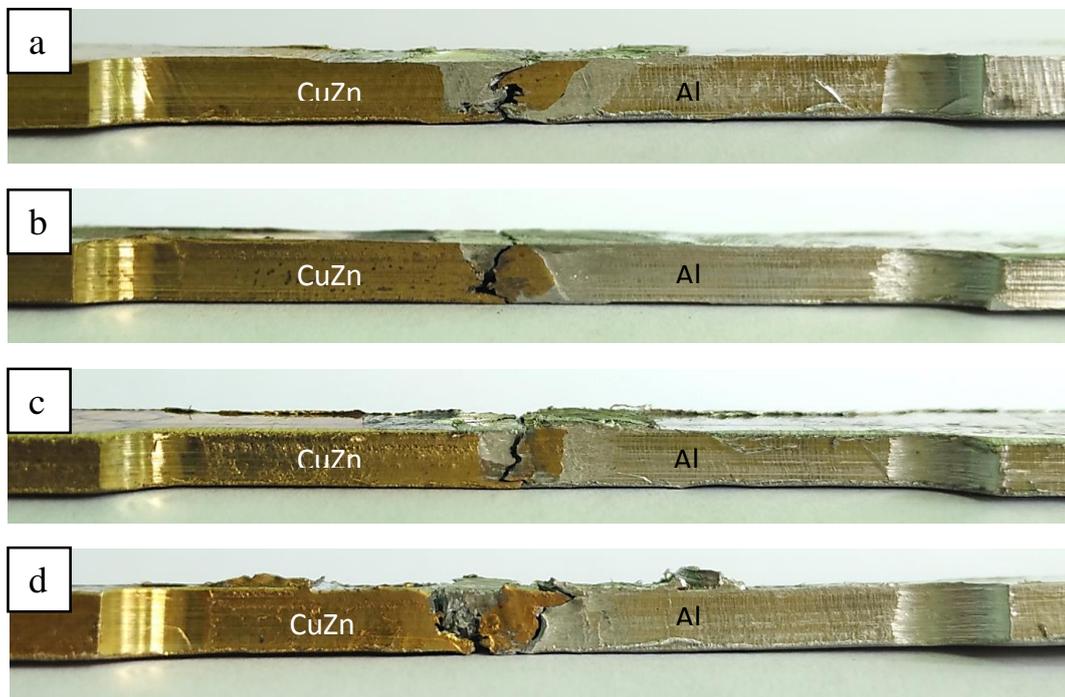
Untuk nilai regangan pada gambar 4.16 yang terdapat pada pengujian tarik ini regangan terbesar terjadi pada *raw material* CuZn sebesar 55,45% dan pada *raw material* Al sebesar 12,19%. Sedangkan nilai regangan terbesar pada hasil lasan FSW terdapat pada pengelasan 2 dengan nilai 2,44%, kemudian pada pengelasan 3 sebesar 2,32%, pada pengelasan 1 sebesar 2,20% dan yang paling terendah terdapat pada pengelasan 4 sebesar 1,76%. Nilai regangan paling rendah terdapat pada pengelasan 4, hal ini dikarenakan pada saat pengelasan berlangsung ditambah pemanasan tambahan dan setelah pengelasan juga dilakukan perlakuan ulang sehingga menyebabkan material menjadi getas dan keras hal ini berpengaruh pada nilai regangan menurun.

Menurut esmaeili (2011) pada hasil penelitian FSW sambungan *dissimilar* yang dilakukan memiliki nilai UTS untuk penggunaan variasi putaran berturut-turut yaitu 200rpm, 450rpm, 650rpm, dan 900rpm adalah sebesar 27,1 MPa, 101,1 MPa, 89,1 MPa, dan 76,85 MPa. Sehingga didapat nilai UTS yang paling tinggi terdapat pada putaran *tool* 450rpm sebesar 101,1 MPa. Namun jika dibanding dengan hasil penelitian yang dilakukan penulis kekuatan UTS terbesar hanya didapat sebesar 50,91 MPa, kekuatan ini hanya berkisar sekitar 50% saja jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Esmaeili.

4.5 Fraktografi



gambar 4.17 Patahan spesimen uji tarik tampak atas pada (a) hasil FSW *dissimilar* antara aluminium dengan kuningan. (b) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dengan suhu gesek mencapai 300°C. (c) hasil FSW *dissimilar* dengan dilakukan proses perlakuan ulang T5. (d) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dan dilakukan perlakuan ulang T5.



Gambar 4.18 patahan spesimen uji tarik tampak samping pada (a) hasil FSW *dissimilar* antara aluminium dengan kuningan. (b) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dengan suhu gesek mencapai 300°C. (c) hasil FSW *dissimilar* dengan dilakukan proses perlakuan ulang T5. (d) hasil FSW *dissimilar* dengan dibantu pemanas tambahan dan dilakukan perlakuan ulang T5.

Pada gambar 4.17 terlihat semua penampang patahan hasil pengelasan tidak mengalami perubahan bentuk pada daerah uji tariknya, dan hampir semua spesimen uji tarik mengalami patahan tepat didaerah lasan. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan antara material kuningan dan aluminium yang sangat signifikan dari segi kekerasan dan titik lebur material, sehingga distribusi panas dari hasil gesekan antara material dan *pin tool* tidak merata dan tidak dapat melelehkan material secara sempurna. Pada gambar 4.17 (a) dan gambar 4.17 (c) jika pada penampang tersebut butiran-butiran material hasil pengelasan terlihat besar-besar baik pada bagian kuningan maupun aluminium. Hal ini membuktikan jika pada pengelasan tersebut material tidak meleleh sempurna yang diakibatkan oleh kurangnya panas. Sedangkan pada gambar 4.17 (b) dan gambar 4.17 (d) penampang patahan uji tarik terlihat butiran-butiran hasil pengelasan lebih halus dari gambar 4.17 (a) dan (c). Sebab pada gambar 4.17 (b) dan (d) proses pengelasannya dilakukan dengan cara menambahkan panas pada saat pengelasan berjalan dengan suhu gesek yang mencapai 300°C, sehingga material meleleh lebih sempurna dari pada pengelasan yang tanpa ditambah panas.

Pada gambar 4.18 pada semua hasil lasan mengalami peralihan material dibagian pusat las karena disebabkan oleh pengadukan *pin tool*. Terlihat gambar 4.18 (a),(b) dan (c) semua patahan hasil uji tarik tepat di pusat las, hal ini disebabkan pengadukan material kurang sempurna karena kurangnya panas dan kemungkinan terdapat cacat *incomplete fusion* disepanjang pengelasan. Berbeda dengan gambar 4.18 (d) hasil uji tarik yang dilakukan terlihat patahan yang terjadi tepat didaerah *interface* antara *weld nugget* dan material kuningan. Hasilnya daerah *weld nugget* ikut tertarik dan tertempel kuat pada daerah material aluminium, hal ini disebabkan karena setelah selesai mengelas hasil lasan dilakukan perlakuan ulang *artificial aging* yang berfungsi untuk menguatkan sambungan hasil lasan didaerah material aluminium. Didalam pembahasan hasil foto mikro bahwa pada pengelasan ini terjadi penyebaran presipitat yang merata didaerah lasan, sehingga butiran-butiran material menjadi lebih halus. Hal inilah yang menyebabkan bagian *weld nugget* menjadi tertempel kuat di material aluminium.