BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil-hasil pengelasan gesek dan pengambilan data dari hasil pengujian tarik pada spesimen benda uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu gesek dan tekanan tempa terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik.

4.1. Hasil Pengelasan Gesek

Hasil proses pengelasan gesek pada bahan aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420, dapat dilihat pada gambar 4.1.

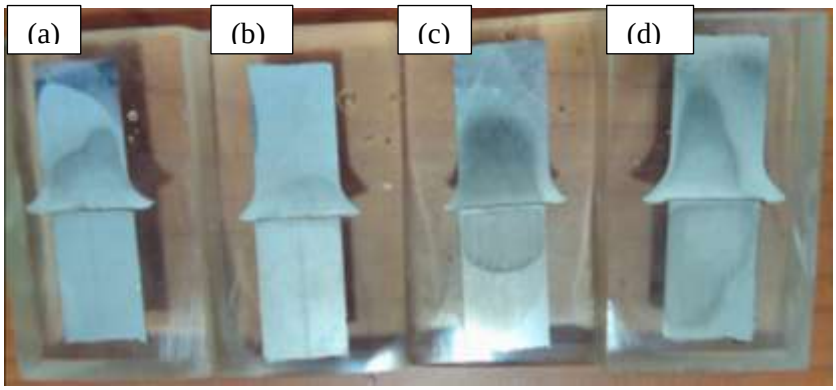
Gambar 4.1. Hasil pengelasan gesek aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420.

Hasil pengelasan gesek yang terdapat *flash* hanya pada satu logam yaitu pada logam aluminium 2024 T4. Sedangkan pada logam stainless steel AISI 420 tidak terjadi *flash*. Hal ini disebabkan aluminium 2024 T4 lebih cepat mengalami *thermoplastis* dari pada stainless steel AISI 420. Terjadinya *thermoplastis* pada aluminium 2024 T4 yaitu karena adanya gesekan antara permukaan aluminium 2024 T4 dan permukaan stainless steel AISI 420 yang menimbulkan panas tapi panas tersebut tidak melebihi titik lebur kedua logam tersebut. Namun Aluminium 2024 memiliki titik lebur yang lebih rendah dari stainless stell AISI 420.

4.2. Hasil Pembahasan Struktur Mikro dan Makro

Dalam penelitian ini pengamatan secara mikro dilakukan pada beberapa titik untuk melihat perubahan struktur mikro pada material aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420 setelah dilakukan proses pengelasan gesek. Pengujian struktur mikro juga bertujuan untuk mengetahui daerah-daerah yang perlu dilakukan pengujian kekerasan. Setelah dilakukan pemilihan variasi pengelasan gesek, maka selanjutnaya akan ditentukan posisi atau titik pengambilan uji mikro.

Pada 10 variasi spesimen uji tarik hanya di ambil 4 variasi untuk pengujian foto mikro. Dari 4 variasi tersebut diambil data yang tertinggi, tengah, dan terendah pada hasil pengujian tarik. Hasil sambungan 4 variasi tersebut dibelah kemudian dicetak dengan resin untuk dijadikan sebagai spesimen foto mikro. Untuk persiapan selanjutnya spesimen dipoles dan dietsa sesuai dengan material untuk dilakukan pengujian foto mikro, seperti pada gambar 4.2.

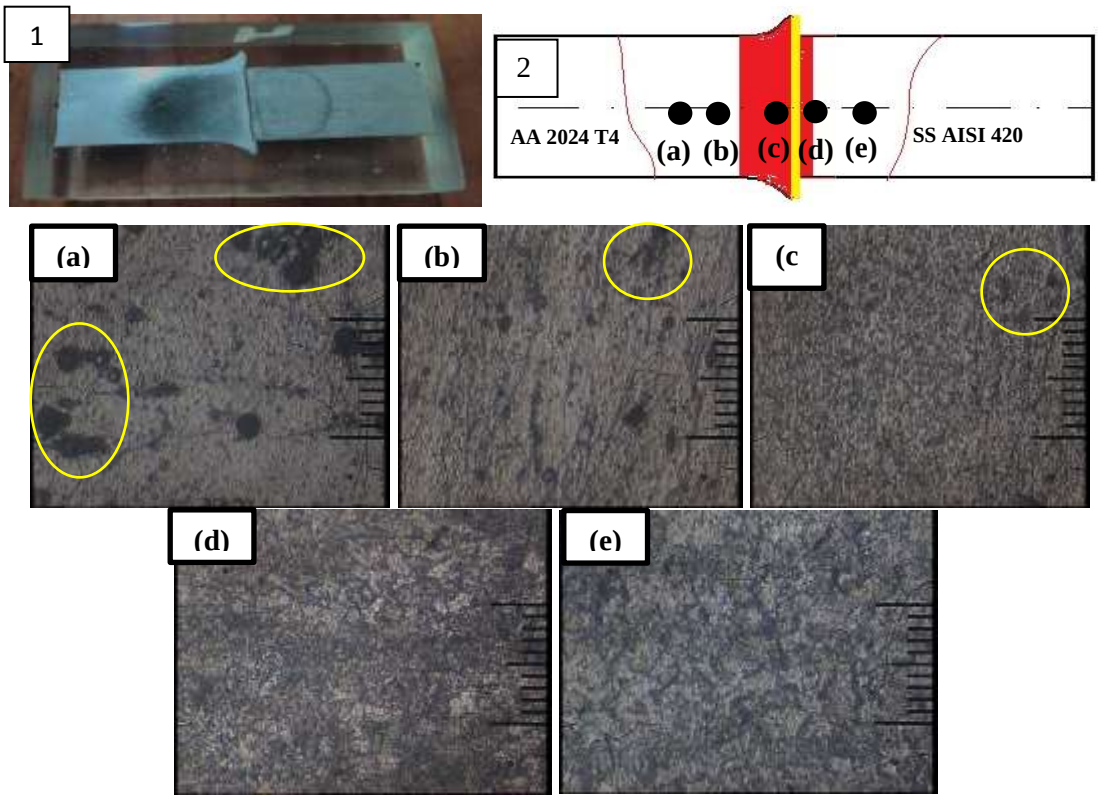


Gambar 4.2. Spesimen pengujian mikro berbagai variasi dengan urutan waktu gesek, tekanan gesek, tekanan tempa, dan waktu tempa.(a). 15-30-40-50, (b). 12,5-30-60-50, (c). 12,5-30-40-50, (d). 15-30-60-50.

4.2.1. Struktur mikro dan makro

1. Variasi waktu gesek 12,5 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 40 MPa, dan waktu tempa 50 detik.

Foto mikro bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi pada hasil pengelassan dari material induknya. Menentukan posisi atau titik untuk melihat struktur mikro di ambil berdasarkan pada hasil *flash* yang terjadi dari kedua material. Pada aluminium 2024 T4 *flash* yang terjadi cukup besar di bandingkan dengan stainless steel AISI 420, maka untuk pengambilan foto mikro lebih banyak dilakukan di daerah aluminium 2024 T4. Pada gambar 4.3.



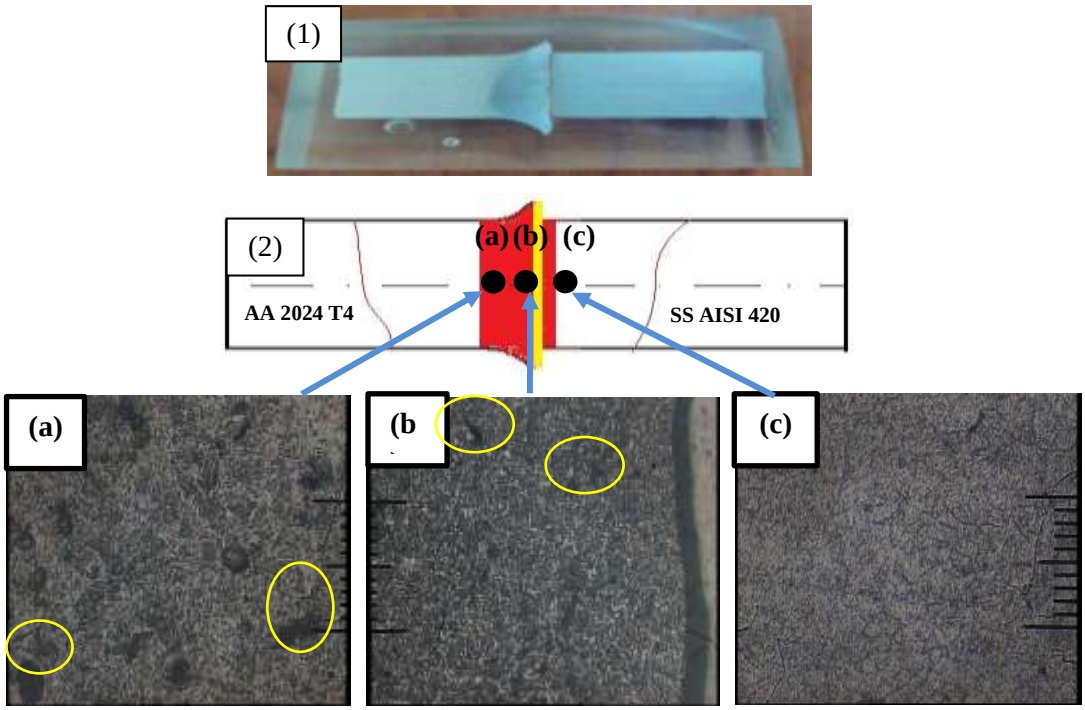
Gambar 4.3. (1) foto makro (2) posisi pengujian mikro dan Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) logam induk aluminium 2024 T4, (b) daerah HAZ aluminium 2024 T4 (c) daerah las alumunium 2024 T4 (d) daerah las stainless steel AISI 420 (e) logam induk stainless steel AISI 420, dengan 200 kali pembesaran.

Pengamatan struktur mikro pada logam aluminium 2024 T4 dengan stainless steel AISI 420 pada variasi waktu gesek 12,5 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 40 MPa, dan waktu tempa 50 MPa, dilakukanlah pengujian struktur mikro untuk mengetahui perubahan dari hasil pengelasan gesek.

Pengambilan foto mikro dilakukan beberapa titik untuk mengetahui perubahan struktur mikro dari masing-masing logam hasil pengelasan gesek pada daerah logam induk, daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ), dan daerah sambungan. Dilihat hasil foto mikro pada gambar 4.3. pada daerah logam induk aluminium 2024 T4 terlihat adanya butiran-butiran porositas yang besar di dalamnya, namun terlihat perubahan struktur mikro pada daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ) bahwa butiran-butiran kristal yang terlihat lebih kecil yang tidak beraturan. Porositas juga masih dapat terlihat begitu banyak pada daerah tersebut. Hal ini dapat menurunkan nilai kekerasannya. Pada daerah lasan terlihat butiran-butiran kristal lebih kecil dibandingkan pada daerah HAZ. Butiran-butiran kecil ini berpengaruh besar untuk menaikan nilai kekerasan pada daerah lasan. Pada daerah lasan ini masih terdapat porositas yang terjadi namun tidak begitu banyak.

Daerah lasan stainless steel AISI 420 terdapat butiran-butiran *feritik martensintik* yang tidak beraturan. Pada daerah lassan ini butiran-butiran terlihat lebih kecil dibandingkan pada daerah jauh dari lasan. Semakin menjauh dari daerah lassan butiran akan semakin membesar, hal ini dapat menurunkan nilai kekerasannya. Namun pada daerah logam induk stainless steel AISI 420 tidak begitu terlihat perubahan struktur mikronya.

2. Variasi waktu gesek 12,5 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 50 detik.



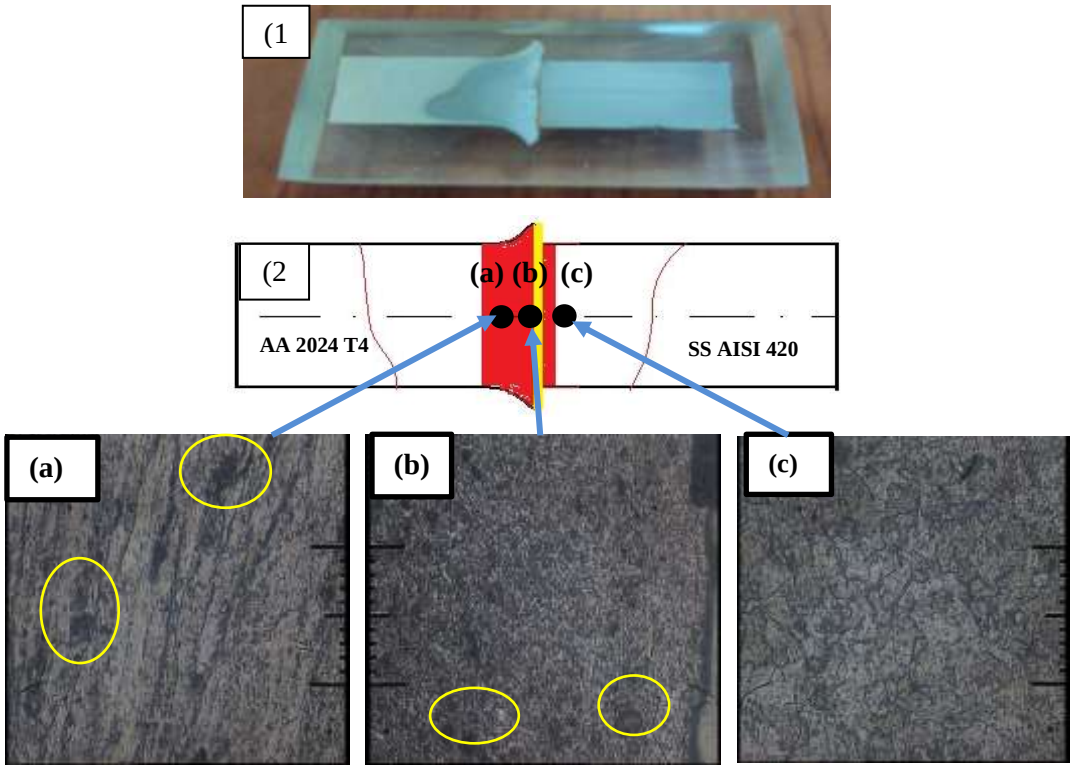
Gambar 4.4. (1) foto makro (2) posisi pengujian mikro dan hasil Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro HAZ aluminium 2024 T4, (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4 (c) daerah mendekati lasan pada stainless steel AISI 420, dengan 200 kali pembesaran.

Struktur mikro pada variasi waktu gesek 12,5 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 60 MPa, dan waktu tempa 50 detik telah dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikronya. Maka pada variasi tersebut perlu pengamatan. Pengujian pada variasi tersebut terdapat 3 titik yaitu pada daerah HAZ aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, dan daerah yang dekat daerah HAZ pada stainless steel AISI 420.

Struktur mikro pada daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ) pada aluminium 2024 T4 dapat dilihat pada gambar 4.4. bahwa daerah tersebut terdapat butiran butiran kristal. Pada daerah tersebut juga terlihat banyaknya porositas. Hal tersebut dapat menurunkan nilai kekerasannya. Pada daerah las

aluminium 2024 T4 terlihat butiran butiran kristal yang lebih kecil dan terlihat rapat daripada daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ), yang berarti kekerasan pada daerah tersebut lebih kuat daripada daerah HAZ. Namun pada daerah tersebut masih terlihat adanya porositas tetapi tidak terlalu banyak. Struktur mikro di daerah dekat lasan pada logam stainless steel AISI 420 butiran butiran kristal masih terlihat. Namun butiran butiran kristal tersebut terlihat sedikit dan feritik martensintik terlihat mendominasi. Hal ini berpengaruh pada kenaikan nilai kekerasanya. Terlihat pada gambar 4.4.

3. Variasi waktu gesek 15 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 40 MPa dan waktu tempa 50 detik.

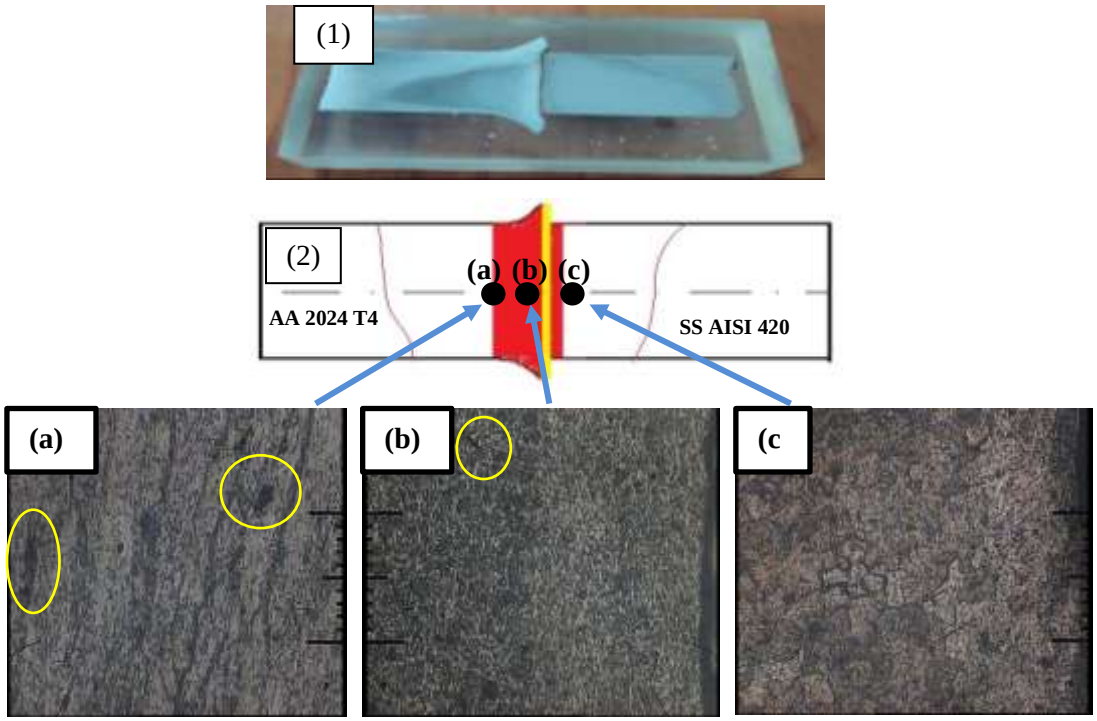


Gambar 4.5. (1) foto makro (2) posisi pengujian mikro. Hasil struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro daerah HAZ aluminium 2024 T4, (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4 (c) daerah mendekati lasan pada stainless steel AISI 420, dengan 200 kali pembesaran.

Pengujian struktur mikro pada variasi waktu gesek 15 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 40 MPa, dan waktu tempa 50 detik, maka di variasi tersebut dilakukan pengujian struktur mikro untuk mengetahui perubahan yang terjadi. Pengujian pada variasi ini terdapat 3 titik yang akan di uji yaitu pada daerah HAZ aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, dan daerah dekat lassan pada stainless steel AISI 420.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5. bahwa pada daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ) pada aluminium 2024 T4 terlihat butiran-butiran kristal kecil yang tidak beraturan dan ada cacat porositas didalamnya yang akan menurunkan nilai kekerasanya. Pada daerah lasan terlihat juga butiran-butiran kristal. Butiran Kristal tersebut akan semakin membesar ketika semakin jauh dari lassan. Daerah tersebut juga masih terdapat butiran porositas yang terjadi namun tidak begitu banyak. Daerah stainless steel AISI 420 yang dekat dengan daerah lassan struktur mikronya terdapat butiran butiran kristal kecil yang terlihat rapat. Hal tersebut akan menaikan nilai kekerasannya. Terlihat pada gambar 4.5.

4. Variasi waktu gesek 15 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 50 detik.



Gambar 4.6. (1) Hasil foto makro (2) posisi pengujian mikro (5), Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro daerah HAZ aluminium 2024 T4, (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4 (c) daerah mendekati HAZ stainless steel AISI 420, dengan 200 kali pembesaran.

Menganalisa struktur mikro pada variasi waktu gesek 15 detik, tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 60 MPa, dan waktu tempa 50 detik, maka di variasi tersebut dilakukan pengujian struktur mikro untuk mengetahui perubahan yang terjadi terhadap hasil pengelasan gesek. Pengujian pada variasi ini terdapat 3 titik yang akan di uji yaitu pada daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ) pada aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, dan daerah yang dekat dengan lassan pada stainless steel AISI 420.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. bahwa di daerah yang mengalami perubahan karena rambatan panas (HAZ) pada aluminium 2024 T4 dapat dilihat adanya butiran-butiran kristal kecil dan porositas juga terlihat pada daerah tersebut. Pada daerah lasan dapat dilihat perubahan yang signifikan yaitu butiran-butiran kristal kecil yang terlihat rapat, butiran kristal ini akan membesar ketika menjauhi dari daerah lasan yang akan menurunkan nilai kekearasanya dan sedikit adanya porositas yang terjadi. Daerah yang dekat dengan lassan pada stainless steel AISI 420 struktur mikronya terlihat mengalami perubahan, pada daerah tersebut terdapat butiran-butiran kristal kecil yang terlihat halus. Hal tersebut yang akan meningkatkan nilai kekerasan pada daerah tersebut. *Feritik martensintik* yang terjadi di daerah stainless steel AISI 420 tidak terlihat jelas.

Hasil pengamatan struktur mikro dari hasil pengelasan gesek pada variasi waktu gesek 12,5 detik dan 15 detik dengan tekanan tempa 40 dan 60 MPa dapat disimpulkan bahwa struktur mikro pada variasi waktu gesek 12,5 detik dengan tekanan 40 MPa pada daerah HAZ aluminium 2024 T4 ada perubahan struktur mikro pada butiran butiran terlihat lebih kecil yang tidak beraturan. Hal ini dapat menurunkan nilai kekerasannya. Porositas juga masih dapat terlihat beitu banyak pada daerah HAZ tersebut. Pada daerah lasan terlihat butiran butiran kristal lebih kecil dibandingkan pada daerah HAZ. Butiran butiran kecil ini berpengaruh besar untuk menaikan nilai kekerasan pada daerah lasan. Pada daerah lasan ini masih terdapat porositas yang terjadi namun tidak begitu banyak. Stainless steel AISI 420 pada variasi ini. Daerah lasan stainless steel AISI 420 terdapat butiran butiran *feritik martensintik* yang tidak beraturan. Pada daerah lassan ini butiran butiran terlihat lebih kecil dibandingkan pada daerah jauh dari lasan. Semakin menjauh dari daerah lassan butiran akan semakin membesar, hal ini dapat menurunkan nilai kekerasannya. Struktur mikro pada variasi waktu gesek 15 detik dengan tekanan 40 MPa pada daerah HAZ aluminium 2024 T4 terlihat butiran-butiran kristal kecil yang tidak beraturan dan ada cacat porositas didalamnya yang akan menurunkan nilai

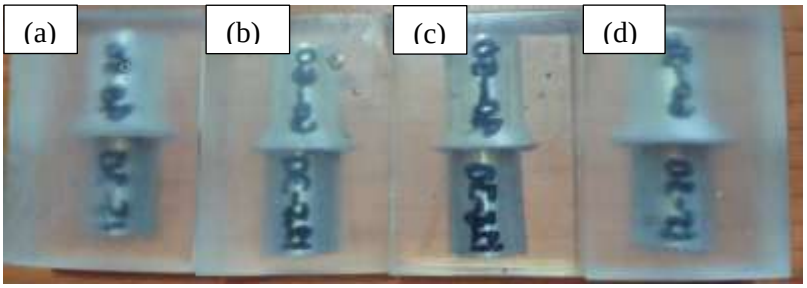
kekerasanya. Pada daerah lasan aluminium 2024 T4 terlihat porositas yang tidak terlalu banyak.

Hasil pengujian struktur mikro antara variasi waktu gesek 12,5 detik dan tekanan tempa 40 dan 60 MPa dengan variasi waktu gesek 15 detik dan tekanan yang sama yaitu 40 dan 60 MPa mendapatkan hasil struktur mikro yang hampir semua sama pada setiap titik pengujian. Hal ini terjadi karena butiran-butiran kristal yang cacat dan terjadinya porositas pada semua variasi di daerah HAZ aluminium 2024 T4 yang akan menurunkan nilai kekerasan dan kekuatannya.

Dari penelitian Alves dkk (2010), meneliti tentang proses pengelasan disimillar antara aluminium 1050 dengan stainless steel AISI 304 terhadap struktur mikro dan kekerasan. Pada pengelasan ini parameter putaran lasan dan waktu gesek sangat mempengaruhi hasil kekerasan dan hasil uji mikro. Pada pengujian mikro pada sisi aluminium 1050 mengalami peningkatan pada daerah *interface*. Nilai rata-rata 30,9 HV. Di sisi stainless steel AISI 304 juga mengalami peningkatan pada daerah *interface* nya dengan nilai rata-rata 198,8 HV.

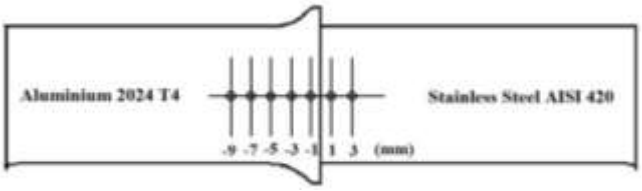
4.3. Hasil dan Analisis Pengujian Kekerasan

Hasil dari pengujian pengelasan gesek diperoleh 10 spesimen sambungan. Untuk pengujian kekerasan hanya diambil 4 spesimen. Dari 4 spesimen dipillih data yang paling *significant* yang memiliki data tertinggi dan ekstrim. Hasil sambungan yang dipilih kemudian di belah dan diamplas pada permukaannya untuk memperoleh permukaan yang halus untuk pengujian kekerasan. Permukaan yang kasar akan mempengaruhi hasil pengujian kekerasan. seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Spesimen pengujian kekerasan berbagai variasi dengan urutan waktu gesek, tekanan gesek, tekanan tempa, dan waktu tempa.(a). 12,5-30-40-50, (b). 12,5-30-60-50, (c). 15-30-40-50, (d). 15-30-60-50.

Pada pengujian kekerasan akan ditentukan posisi titik kekerasan untuk pengambilan data. Menentukan titik pengujian kekerasan didasarkan pada pengamatan makro dan mikro. Penentuan titik kekerasan secara makro di lihat dari profil hasil pengelasan gesek. Pada pengelasan gesek dengan material aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420, aluminium 2024 T4 memiliki deformasi plastis lebih cepat dari pada stainless steel AISI 420 yang tidak menimbulkan *flash*. Menentukan titik pengujian kekerasan juga dilakukan dengan cara mikro. Hasil foto mikro pengelasan gesek diamati ukuran butirnya sehingga dapat ditentukan daerah yang perlu dilakukan pengujian kekerasan. Foto mikro dapat menunjukkan titik daerah sambungan lasan, daerah HAZ dan logam induk seperti pada gambar 4.8.

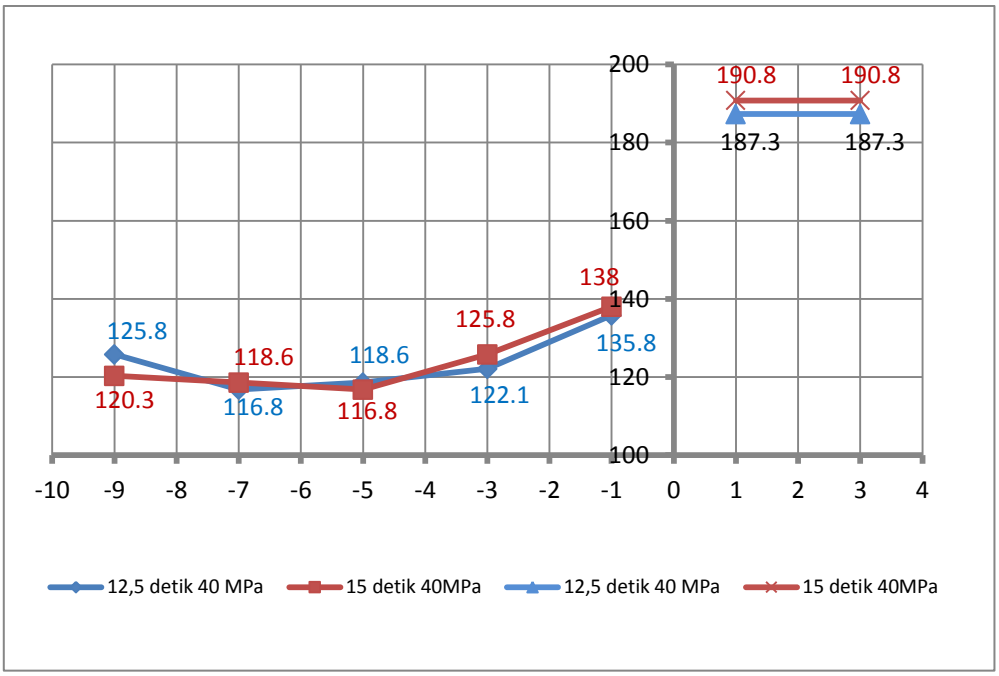


Gambar 4.8. Posisi pegujian kekerasan.

Dari pengujian sebelumnya, pengujian tarik diperoleh 4 variasi untuk pengujian kekerasan yaitu variasi waktu gesek 12.5 dan 15 detik pada tekanan tempa 40 MPa dan variasi waktu gesek 12,5 dan 15 detik pada tekanan tempa 60 MPa.

Melihat dari variasi diatas maka penelitian ini terdapat dua pembahasan pokok yaitu variasi waktu gesek 12,5 dan 15 detik dengan tekanan 40 MPa dan waktu gesek 12,5 dan 15 detik dengan tekanan tempa 60 MPa. Untuk memudahkan kita

mengklasifikasikan hasil dari kekerasan sambungan dua material yang berbeda yaitu aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420 di buat grafik kekerasan pada gambar 4.9.

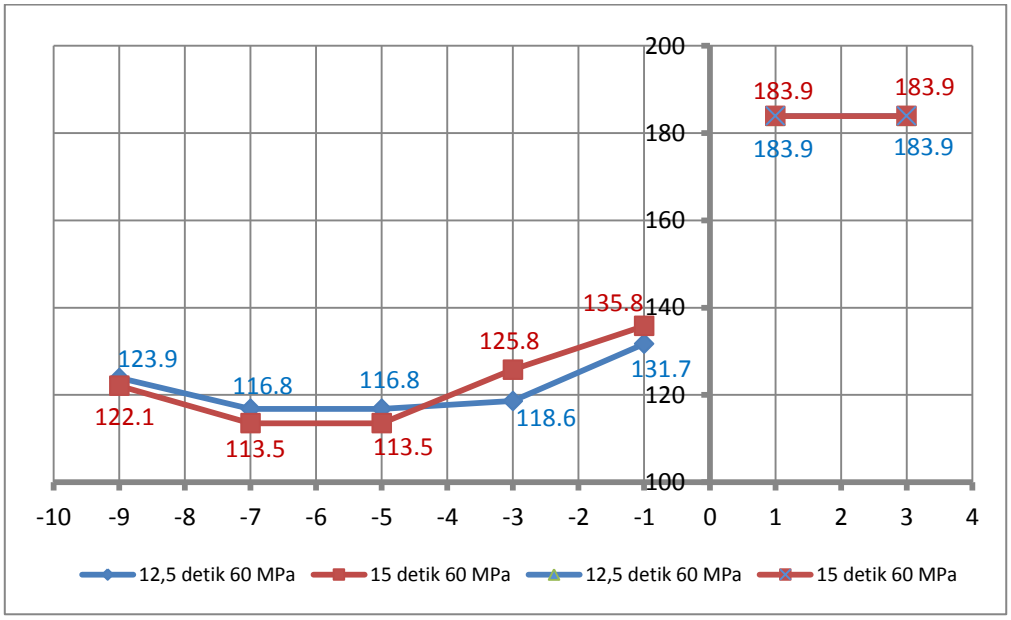


Gambar 4.9. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek dengan waktu gesek 12.5 dan 15 detik dengan variasi tekanan tempa 40 MPa.

Pada hasil pengamatan gambar 4.9. dapat dilihat bahwa nilai VHN aluminium 2024 T4 lebih rendah dari nilai VHN stainless steel AISI 420. Logam aluminium 2024 T4 pada variasi waktu gesek 12,5 detik nilai VHN nya menurun pada jarak 1 mm sampai 7 mm dari sambungan. Kemudian nilai VHN naik pada jarak 7 mm sampai 9 mm dari sambungan. Kenaikan tidak melebihi nilai VHN pada jarak 1 mm dari sambungan. Pada variasi 15 detik pada jarak 1 mm dari sambungan memiliki nilai kekerasan 138 VHN lebih tinggi daripada variasi 12,5 detik. Tetapi variasi waktu gesek 12,5 detik pada jarak 9 mm dari sambungan dengan nilai 125,8 VHN lebih tinggi dari pada variasi waktu gesek 15 detik pada jarak yang sama dengan nilai 120,3 VHN. Namun pada logam stainless steel AISI 420 dengan variasi waktu gesek 12,5 detik yang memiliki nilai 187,3 VHN lebih rendah daripada variasi waktu gesek

15 detik yang memiliki nilai 190,8 VHN pada jarak yang sama yaitu 1 mm dari sambungan.

Setelah pengamatan grafik kekerasan pada variasi gabungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa logam aluminium 2024 T4 tingkat kekerasan paling tinggi terjadi pada variasi waktu gesek 15 detik pada jarak 1 mm dari sambungan dengan nilai kekerasan 138 VHN. Pada variasi gabungan di atas terdapat nilai kekerasn terendah yang sama dengan nilai 116,8 VHN dengan jarak yang berbeda yaitu pada variasi waktu gesek 12,5 terdapat pada jarak 7 mm dan pada variasi waktu gesek 15 detik nilai terendah terdapat pada jarak 5 mm dari sambungan. Pengaruh variasi waktu gesek yang berbeda dapat menghasilkan nilai VHN yang berbeda.



Gambar 4.10. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek dengan waktu gesek 12,5 dan 15 detik pada variasi tekanan tempa 60 MPa.

Pada pengamatan gambar 4.10 hasil dari pengaruh waktu gesek dan tekanan tempa dapat dilihat bahwa stainless steel AISI 420 memiliki harga VHN di atas aluminium 2024 T4. Pada logam aluminium 2024 T4 pada variasi waktu gesek 12,5 detik terlihat menurun pada jarak 1 mm sampai 5 mm, dan memiliki nilai tetap pada

jarak 5 mm sampai 7 mm. nilai kekerasan naik lg pada jarak 7 mm sampai 9 mm dari sambungan. Variasi 15 detik pada jarak 1 mm memiliki nilai kekerasan 135,8 VHN lebih tinggi daripada variasi 12,5 yang hanya memiliki nilai kekerasan 131,7 VHN. Namun pada jarak 5 mm dari sambungan pada variasi 12,5 detik memiliki nilai 116,8 VHN lebih tinggi daripada nilai VHN pada variasi 15 detik yang memiliki nilai 113,5 VHN. Logam stainless steel AISI 420 pada jarak 1 mm sampai 3 mm dari sambungan memiliki nilai kekerasan yang sama antara variasi 12,5 dan 15 detik yaitu 183,9 VHN.

Hasil pengamatan grafik kekerasan terhadap variasi gabungan, terlihat bahwa pada logam aluminium 2024 T4 pada variasi waktu gesek 15 detik penurunan lebih besar daripada variasi 12,5 detik. Pada jarak yang sama yaitu 1 mm dari sambungan nilai kekerasan pada variasi 12,5 detik memiliki nilai lebih rendah dari nilai kekerasan variasi 15 detik. Namun pada jarak 9 mm nilai kekerasan pada variasi 12,5 lebih tinggi daripada variasi 15 detik.

Kekerasan aluminium 2024 T4 pada logam sambungan lebih tinggi di bandingkan logam induknya. Dapat diambil contoh pada variasi 15 detik pada jarak 1 mm dari sambungan memiliki nilai 135,8 VHN sedangkan logam induk yang berjarak 9 mm dari sambungan memiliki nilai 122,1 VHN.

Dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Taban dkk (2010), pada penelitian pengelasan gesek terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada bahan aluminium 6061 T6 dengan baja 1018 dari penelitian Taban dkk (2010). Hasil pengelasan yang optimal pada tekanan upset 60 MPa. Tekanan upset sangat mempengaruhi hasil sifat mekanik dan struktur mikro. kegagalan benda uji mekanik melalui aluminium yang sangat *plastized* berdekatan dengan daerah interface. Ketebalan senyawa lapisan intermetalik maksimum sekitar 350nm diukur dengan ultra-resolusi tinggi SEM pada interfacenya. Hasil komposisi karakterisasi STEM menyarankan kedua intermetalik yang hadir Fe-kaya akan FeAl dan Al kaya akan Fe2A15.

4.4. Hasil dan Analisis Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik, spesimen dibuat sesuai standar *JIS Z* 2201 untuk dilas dengan pengelasan gesek. Hasil pengelasan gesek dapat menimbulkan *flashh* pada spesimen uji. *Flash* yang timbul dihilangkan dan dibentuk kembali sesuai standar pengujian tarik dengan cara pembubutan. Proses pembubutan *flashh* menghasilkan diameter spesimen uji yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan dari hasil pengelasan gesek yang kurang linear. Spesimen uji dibuat rata dan lurus untuk memperoleh hasil pengujian tarik yang akurat.

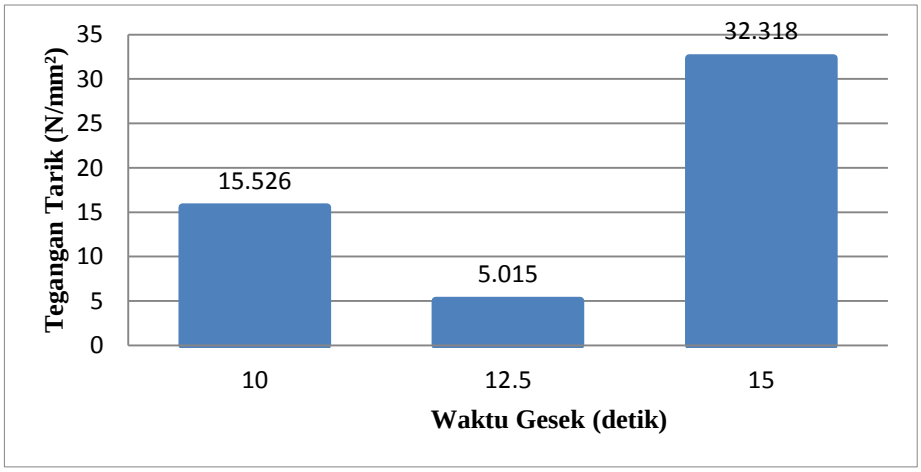
Gambar 4.11. Spesimen uji tarik aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420 sesuai standar JIS Z 2201

Hasil dari proses pengelasan gesek yang telah di ratakan pada *flash* dengan cara pembubutan seperti pada gambar 4.11 dilanjukan dengan proses pengujian tarik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dari hasil pengujian tarik terlihat bahwa spesimen tidak mengalami pertambahan panjang. Semua spesimen terjadi patah getas pada bagian sambungan las. Penampang patahan hasil pengujian tarik dapat diamati adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1. Data hasil pengujian tarik pada sambungan bahan aluminium 2024 T4 dengan stainless steel AISI 420

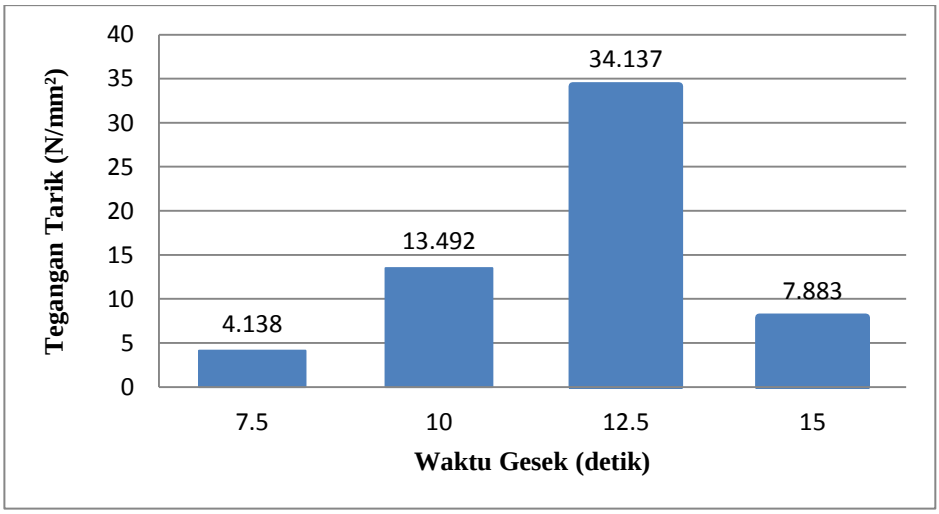
No	Urutan Las Gesek	Tekanan Gesek (MPa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan Tempa (MPa)	Waktu Tempa (Detik)	UTS (MPa)
1	10	30	5	40	50	-
2	6	30	7,5	40	50	-
3	5	30	10	40	50	15,526
4	4	30	12,5	40	50	5,015
5	8	30	15	40	50	32,318
6	7	30	5	60	50	-
7	2	30	7,5	60	50	4,138
8	1	30	10	60	50	13,492
9	9	30	12,5	60	50	34,137
10	10	40	15	60	50	7,883

Dari tabel 4.1. data hasil pengelasan gesek diperoleh dengan cara acak *(rondom)*. Dari hasil data tersebut diperoleh bahwa hasil pengujian tarik terlihat *fluktuatif* pada hasil tegangan tarik dan tegangan luluhnya. Dari hasil pengujian tarik yang dapat diamati dan terlihat hasilnya pada variasi tekanan tempa 40 MPa dengan waktu gesek 10, 12.5, 15 detik. Pada variasi tekanan tempa 60 MPa terdapat pada waktu gesek 7.5, 10, 12.5, 15 detik.



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil tegangan tarik antara waktu gesek dengan tekanan tempa 40 MPa.

Pada gambar 4.12. telah dibuat grafik tegangan tarik antara waktu gesek dan tekanan tempa. Hasil tertinggi pada tegangan tariknya terdapat pada variasi waktu gesek 15 detik pada tekanan tempa 40 MPa dengan nilai tariknya sebesar 32,318 N/mm² dan nilai tegangan tarik terendah terdapat pada variasi waktu gesek 12,5 detik pada tekanan 40 MPa dengan nilai tariknya sebesar 5,015 N/mm². Namun pada daerah sambungan las dari hasil pengelasan gesek kekuatannya lebih rendah dari base metal aluminium 2024 T4 yaitu 483 N/mm^2 .Pada variasi tersebut diambil untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.

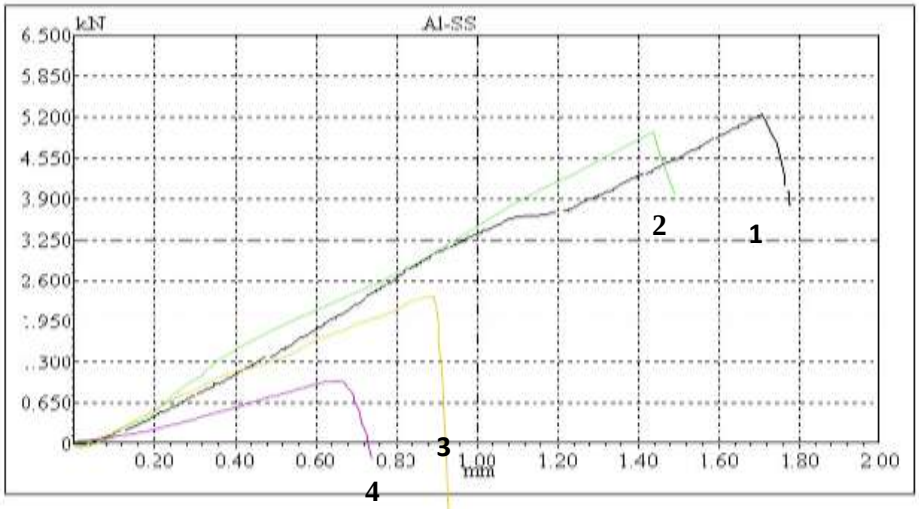


Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil tegangan tarik antara waktu gesek dengan tekanan tempa 60 MPa.

Pada gambar 4.13. grafik hubungan antara waktu gesek dengan tegangan tarik pada tekanan tempa 60 MPa memiliki hasil yang berbeda -beda. Hasil pengujian tarik tertinggi pada variasi waktu gesek 12,5 MPa dengan nilai tariknya sebesar 34,137 N/mm² dan hasil menurun pada variasi waktu gesek 15 detik dengan nilai tarik sebesar 7,883 N/mm². Namun pada daerah sambungan las dari hasil pengelasan gesek kekuatannya lebih rendah dari base metal aluminium 2024 T4 yaitu 483 N/mm^2 .

Dari hasil pengujian menandakan bahwa Variasi waktu gesek dan tekanan tempa mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Variasi waktu gesek yang lebih lama dan

tekanan tempa yang lebih kecil akan menaikkan kekuatan tarik, sedangkan variasi waktu gesek yang sama dan tekanan tempa yang lebih tinggi akan menurunkan kekuatan tarik.

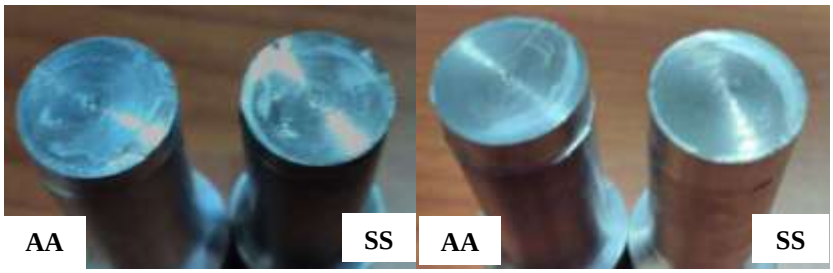


Gambar 4.14. Grafik gabungan beban regangan pengujian tarik. (1) waktu gesek 12,5 detik tekanan tempa 60 MPa (2) waktu gesek 15 detik tekanan tempa 40 MPa (3) waktu gesek 15 detik tekanan tempa 60 Mpa (4) waktu gesek 12,5 detik tekanan tempa 40 MPa

Dari grafik gabungan pada gambar 4.14 terlihat kurva tegangan – regangan pengujian tarik, titik yang menunjukan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis yang tinggi. Kurva tegangan-regangan pada variasi waktu gesek 15 detik tekanan tempa 40 MPa mendapatkan nilai elastisitas tertinggi yaitu 4.975 kN dan memiliki UTS sebesar 34,137 MPa .

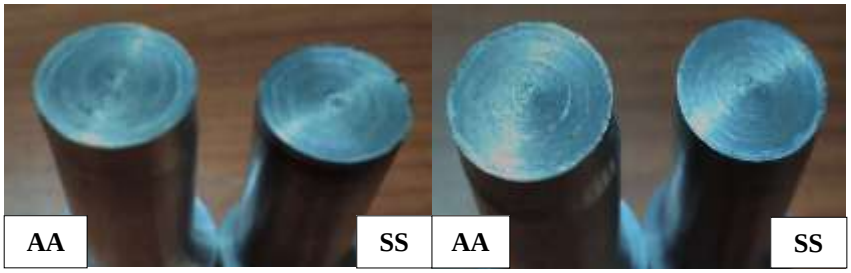
Dari penelitian Alves dkk (2010), meneliti tentang proses pengelasan disimillar antara aluminium 1050 dengan stainless steel AISI 304 terhadap struktur mikro dan kekerasan. Pada pengelasan ini parameter putaran lasan dan waktu gesek sangat mempengaruhi hasil kekerasan dan hasil uji mikro. Pengelasan gesek logam aluminium 1050 dan stainless steel AISI 304 sangat sulit dilakukan dengan metode *fusi welding* ditunjukan pada tegangan sifat mekaniknya. Hasil kekuatan tarik yang optimal pada variasi tekanan gesek 2.1 MPa, waktu gesek 32 detik, tekanan tempa 1.4

MPa dan waktu tempa 2 detik dengan hasil 80.08 MPa. Pada pengujian kekerasan vikers mikrohardness diukur dari sisi aluminium 1050 dan sisi stainless steel AISI 304, dekat sambungan, wilayah tengah lebih tinggi dari pada dasar logam.



(a) **(b)**

Gambar 4.15. Penampang patahan pengujian pada tekanan tempa 40 MPa, (a). Variasi waktu gesek 12,5 detik, (b). Variasi waktu gesek 15 detik, material aluminium 2024 T4 (1), material stainless steel AISI 420 (2).



(a) **(b)**

Gambar 4.16. Penampang patahan pengujian tarik pada tekanan tempa 60 MPa, (a). Variasi waktu gesek 12,5 detik, (b). Variasi waktu gesek 15 detik, (1) material aluminium 2024 T4, (2) material stainless steel AISI 420.

Dari hasil pengujian tarik spesimen terjadi putus pada daerah sambungan. Hal ini terjadi karena adanya *thermoplastis* antara *interface*. Pada waktu terjadi *thermoplastis* pada patahan, aliran panas tidak merata sehingga patahan terjadi pada sambungan ketika ditarik. Dari 10 spesimen hasil pengujian tarik terjadi patahan hanya pada sambungan. Semua spesimen tidak terjadi *difussi* atau sambungan penuh. Tetapi ada sedikit logam aluminium 2024 T4 yang menempel pada logam stainless steel AISI 420. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.15. dan 4.16.

Base metal aluminium 2024 T4 memiliki kekuatan sebesar 483 N/mm^2 . Pada penelitian Alves dkk (2010) hasil kekuatan tarik yang optimal pada variasi tekanan gesek 2.1 MPa, waktu gesek 32 detik, tekanan tempa 1.4 MPa dan waktu tempa 2 detik dengan hasil 80.08 MPa. Hasil penelitian ini pada pengujian tarik tertinggi pada variasi waktu gesek 12,5 detik dan tekanan tempa 40 MPa dengan nilai tariknya sebesar 34,137 N/mm^2. Namun nilai tertinggi dari penelitian ini kekuatanya masih jauh lebih rendah dari kekuatan base metal yaitu 7% dari kekuatan base metal dan 42,6% dari penelitian Alves dkk.