

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pengelasan gesek (*friction welding*) dan pengujian tarik dari setiap spesimen benda uji, maka akan diperoleh data hasil pengujian. Data yang diperoleh dari pengujian digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu gesek dan tekanan up set terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik.

4.1. Hasil Pengelasan Gesek Secara Visual

Setelah dilakukan proses pengelasan gesek pada bahan aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420, maka didapat hasil sebagai berikut.



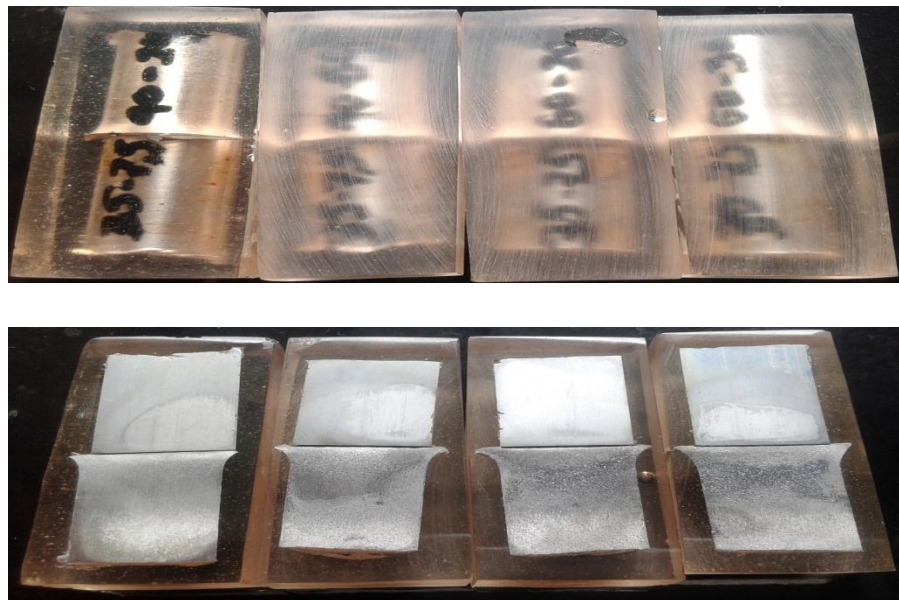
Gambar 4.1. Hasil pengelasan gesek aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420.

Hasil pengelasan telah didapatkan bahwa flash hanya terjadi pada logam aluminium 2024 T4. Sedangkan pada logam stainless steel 420 tidak ada flash yang terjadi. Hal ini disebabkan aluminium 2024 T4 lebih cepat mengalami *thermoplastis* dari pada stainless steel AISI 420.

4.2. Hasil dan Pembahasan Struktur Mikro dan Struktur Makro

Dalam penelitian ini pengamatan secara mikro dilakukan pada beberapa titik untuk melihat perubahan struktur mikro 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. Berdasarkan pengujian tarik maka akan ditentukan variasi pengelasan gesek yang memiliki kekuatan tertinggi, tengah dan terendah yang akan dilakukan pengujian mikro. Setelah dilakukan pemilihan variasi pengelasan gesek, maka selanjutnya akan ditentukan posisi atau titik pengambilan uji mikro.

Proses persiapan pengujian foto mikro dilakukan terhadap 4 hasil pengelasan gesek. Empat variasi diperoleh dari analisa hasil pengujian tarik 10 spesimen uji dan diambil data terextrim dari pengujian tarik. Hasil sambungan 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.

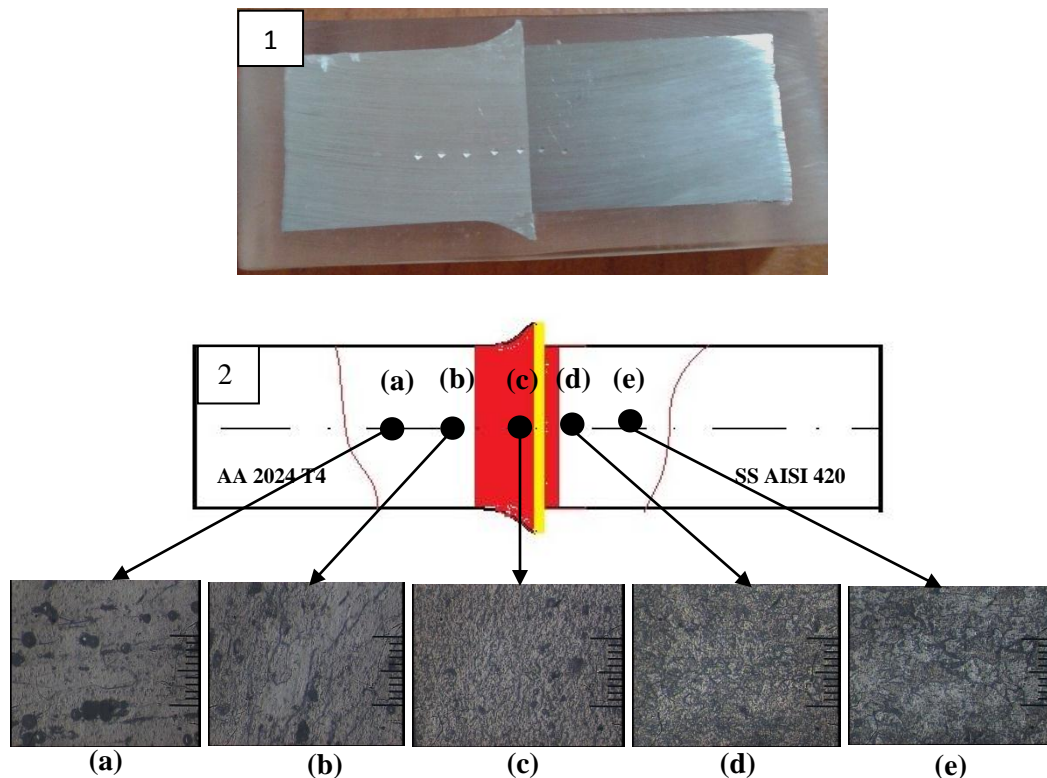


Gambar 4.2. Spesimen pengujian mikro.

4.2.1. Struktur mikro dan makro

1. Variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7.5 detik, tekanan tempa 40 MPa dan waktu tempa 20 detik

Posisi titik struktur mikro berdasarkan pada hasil flash yang timbul dari kedua material. Daerah flash pada aluminium 2024 T4 yang ditimbulkan cukup besar di bandingkan dengan material stainless steel AISI 420 maka pengambilan foto mikro lebih banyak dilakukan di daerah aluminium 2024 T4. Foto mikro bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi pada hasil pengelasan dari material induknya.

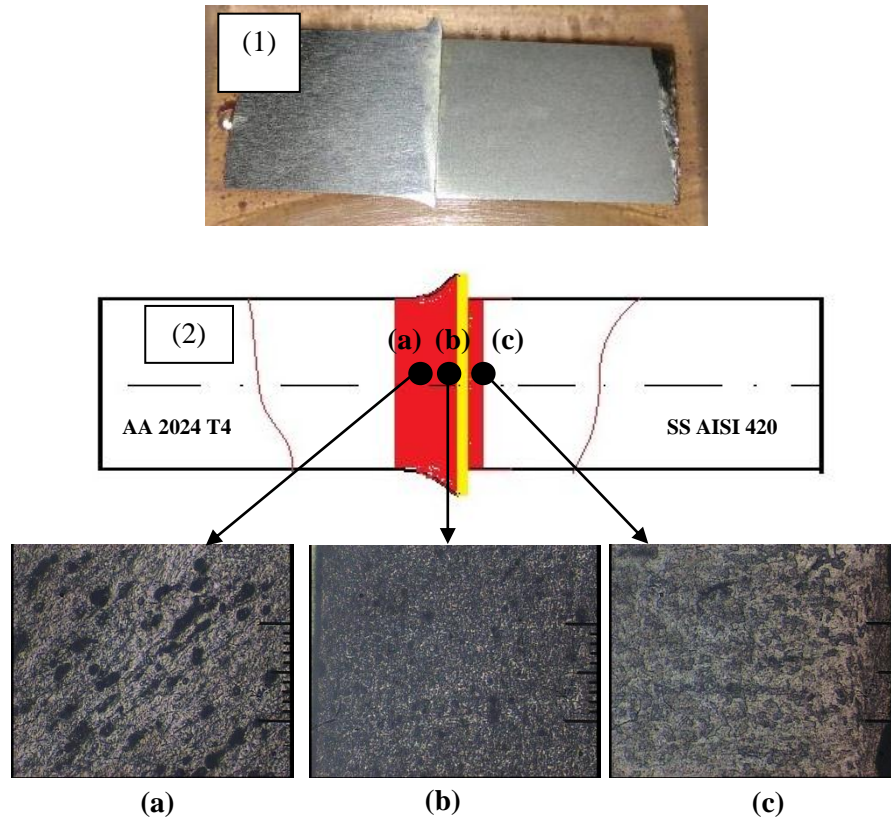


Gambar 4.3. (1) foto makro (2) posisi pengujian mikro, Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) logam induk aluminium 2024 T4, (b) daerah HAZ aluminium 2024 T4 (c) daerah las aluminium 2024 T4 (d) daerah HAZ stainless steel AISI 420 (e) logam induk stainless steel AISI 420, dengan pembesarn pembesaran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

Pengambilan foto mikro dilakukan beberapa titik untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikronya pada logam sambungan, HAZ, dan logam induknya. Dari gambar 4.3. dapat dilihat pada daerah logam induk aluminium 2024 T4 tidak mengalami perubahan, pada daerah HAZ dapat dilihat perubahan struktur mikro aluminium 2024 T4 butiran-butiran kecil masih tidak beraturan yang akan menurunkan nilai kekerasan di daerah tersebut. Pada daerah lasan aluminium 2024 T4 butiran-butiran kecil terlihat di daerah lasan yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah lasan.

Daerah las stainless steel AISI 420 terdapat butiran-butiran feritik martensitik yang tidak beraturan. Butiran kecil yang terlihat di daerah las stainless steel AISI 420 butirannya semakin kecil di daerah dekat sambungan dan semakin jauh dari daerah sambungan butirannya semakin membesar yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Akan tetapi pada daerah logam induk stainless steel AISI 420 daerah tersebut tidak terlihat perubahannya.

2. Variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7.5 detik, tekanan tempa 40 MPa dan waktu tempa 60 detik.



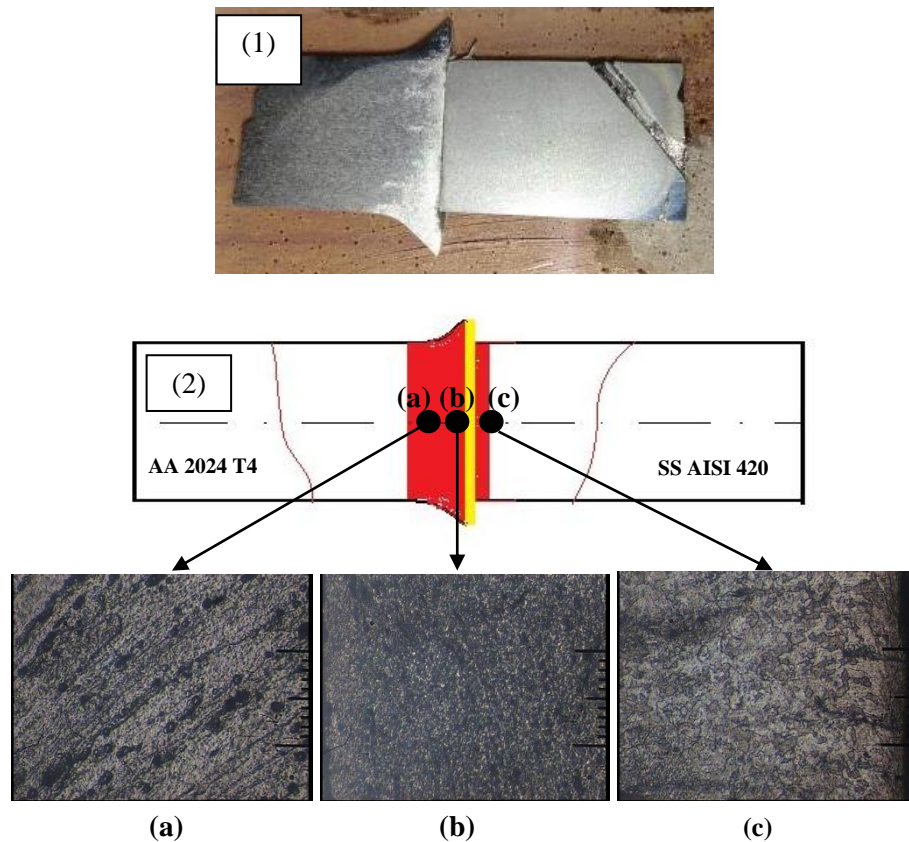
Gambar 4.4. (1) Hasil foto makro (2) posisi pengujian mikro (3), Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro HAZ aluminium 2024 T4 (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4, (c) daerah mendekati HAZ stainless steel AISI 420, dengan pembesaran pembesaran 200x.

Pengujian pada variasi ini terdapat 3 titik yang akan di uji yaitu pada daerah HAZ aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, dan pada daerah stainless steel AISI 420.

Pengambilan foto struktur mikro di daerah HAZ aluminium 2024 T4 dapat dilihat pada gambar 4.4. pada daerah HAZ aluminium 2024 T4 terdapat butiran-butiran kristal kecil dan besar yang terdapat di daerah yang terlihat pada gambar (4.4. (a) dan (b) didaerah tersebut yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Pada daerah las aluminium 2024 T4 butiran kristal kecil yang begitu banyak yang akan menaikkan

nilai kekerasanya. Pada logam stainless steel AISI 420 butiran-butiran kecil masih sedikit kelihatan yang akan menaikkan nilai kekerasanya dibandingkan dengan ukuran feritik martensintik mendominasi daerah tersebut.

3. Variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7.5 detik, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 20 detik



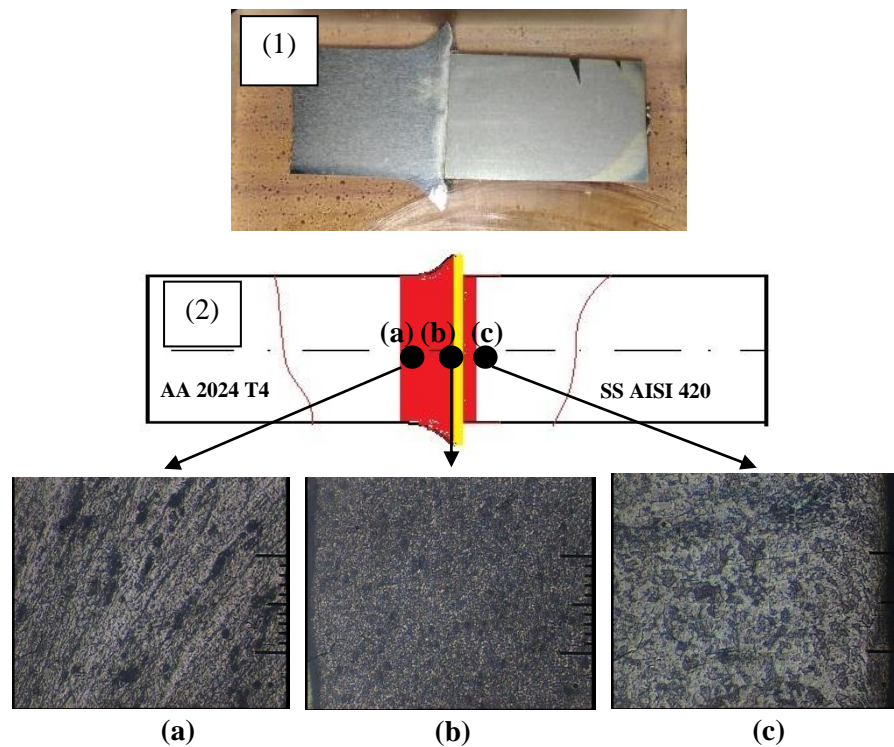
Gambar 4.5. (1) Hasil foto makro (2) posisi pengujian mikro (3), Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro HAZ aluminium 2024 T4 (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4, (c) daerah mendekati HAZ stainless steel AISI 420, dengan pembesarn pembesaran 200x.

Pengujian pada variasi ini terdapat 3 titik yang akan di uji yaitu pada daerah HAZ aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, dan pada daerah stainless steel AISI 420.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5. di daerah HAZ aluminium 2024 T4 butiran-butiran kristal kecil yang tidak

beraturan yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Pada daerah lasan aluminium 2024 T4 butiran-butiran kristal kecil dekat dengan garis lasan sangat kecil, menjauhi garis lasan butiran semakin membesar. Daerah stainless steel AISI 420 yang dekat dengan HAZ struktur mikronya terdapat butiran-butiran kristal kecil yang halus pada daerah itu yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah tersebut.

4. Variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7.5 detik, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 30 detik



Gambar 4.6. . (1) Hasil foto makro (2) posisi pengujian mikro (3), Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) foto mikro HAZ aluminium 2024 T4 (b) foto mikro daerah las aluminium 2024 T4, (c) daerah mendekati HAZ stainless steel AISI 420, dengan pembesarn pembesaran 200x.

Pengujian struktur mikro pada variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7.5 detik, tekanan tempa 60 MPa, dan waktu tempa 30 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 logam induk aluminium 2024

T4. daerah HAZ aluminium 2024 T4, daerah las aluminium 2024 T4, stainless steel AISI 420, dan pada daerah logam induk stainless steel AISI 420 dengan pembesaran 200x.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. di daerah HAZ aluminium 2024 T4 adanya butiran – butiran kristal kecil yang terdapat pada struktur mikronya pada gambar (4.6. (a)) akan tetapi butiran tersebut tidak beraturan dan pada hasil mikronya. Oleh sebab itu akan menurunkan nilai kekerasan. Pada daerah lasan aluminium 2024 T4 butiran dekat dengan daerah lasan sangat kecil akan tetapi menjauhi dari daerah lasan tersebut butiran tidak beraturan semakin besar yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Daerah stainless steel AISI 420 yang dekat dengan HAZ struktur mikronya terdapat butiran-butiran kecil yang halus pada daerah itu yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah tersebut.

Hasil pengamatan pengujian struktur mikro pada variasi tekanan tempa 40 MPa dan 60 MPa dapat disimpulkan bahwa struktur mikro pada variasi 60 MPa di daerah HAZ aluminium 2024 T4 terjadi perubahan butiran kristal kecil yang tak begitu banyak, akan tetapi pada daerah las itu sendiri butiran kristal kecil sangat mendominasi yang akan menaikkan nilai kekerasan walaupun terdapat porositas yang kecil. Stainless steel AISI 420 pada variasi 60 MPa tidak begitu banyak perubahan di daerah las nya akan tetapi butiran kecil berbentuk pipih atau *feritik martensitik* terlihat jelas yang akan menaikkan nilai kekerasannya. Struktur mikro variasi 40 MPa pada daerah HAZ aluminium 2024 T4 terlihat butiran kristal besar yang akan menurunkan nilai kekerasannya dan masih terlihat porositas di daerahnya, pada daerah lasan aluminium 2024 T4 terlihat dekat garis lasan butiran kristal kecil yang akan menaikkan nilai kekerasannya dan menjauh dari daerah lasan butiran kristal semakin besar. Pada variasi 40 MPa logam stainless steel AISI 420 struktur mikronya dekat dengan HAZ tidak begitu banyak perubahan *feritik martensitik* berbentuk pipih dan butiran kristal kecil terlihat jelas yang akan menaikkan nilai kekerasannya.

Perbandingan variasi tekanan tempa 60 MPa dengan tekanan gesek 35, waktu gesek 7.5 detik 55 MPa, variasi tekanan tempa 40 MPa waktu tempa 20, 50, 60 detik menghasilkan struktur mikro yang hampir sama pada titik HAZ, daerah lasan dan daerah dekat HAZ stainless steel AISI 420. Karena terlihat butiran – butiran cacat di daerah HAZ aluminium 2024 T4 yang akan menurunkan nilai kekerasan dan kekuatannya. Pada logam aluminium 2024 T4 pada variasi tekanan tempa 40 dan 60 MPa butiran kristal kecil dekat dengan sambungan lebih dominan. Pada logam stainless steel AISI 420 yang dekat dengan HAZ sedikit sekali yang mengalami perubahan, hanya terlihat butiran kristal kecil yang halus dan feritik martensitik yang berbentuk pipih yang akan menaikkan nilai kekerasnya.

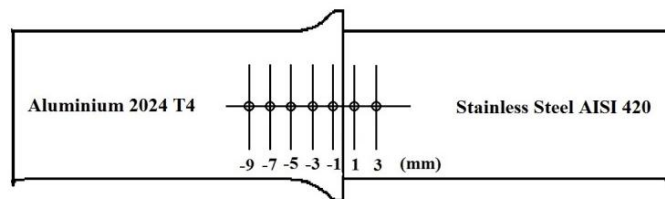
4.3. Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Proses persiapan pengujian kekerasan dilakukan terhadap 4 hasil pengelasan gesek. Empat variasi diperoleh dari analisa hasil pengujian tarik 10 spesimen uji. Data dipilih dari hasil yang paling *significant* yang memiliki data tertinggi dan data ekstrim. Hasil sambungan dibelah kemudian permukaan diampelas untuk memperoleh permukaan uji yang halus untuk pengujian kekerasan. Permukaan yang kasar akan mempengaruhi hasil pengujian kekerasan.



Gambar 4.8. Spesimen pengujian kekerasan.

Pada pengujian kekerasan akan ditentukan posisi atau titik kekerasan untuk pengambilan data. Penentuan titik pengujian kekerasan didasarkan pada pengamatan secara makro sampai pengamatan secara 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 yang memiliki deformasi plastis lebih cepat dari pada stainless steel AISI 420 yang tidak menimbulkan *flashh*. Penentuan 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 HAS dan logam induk.

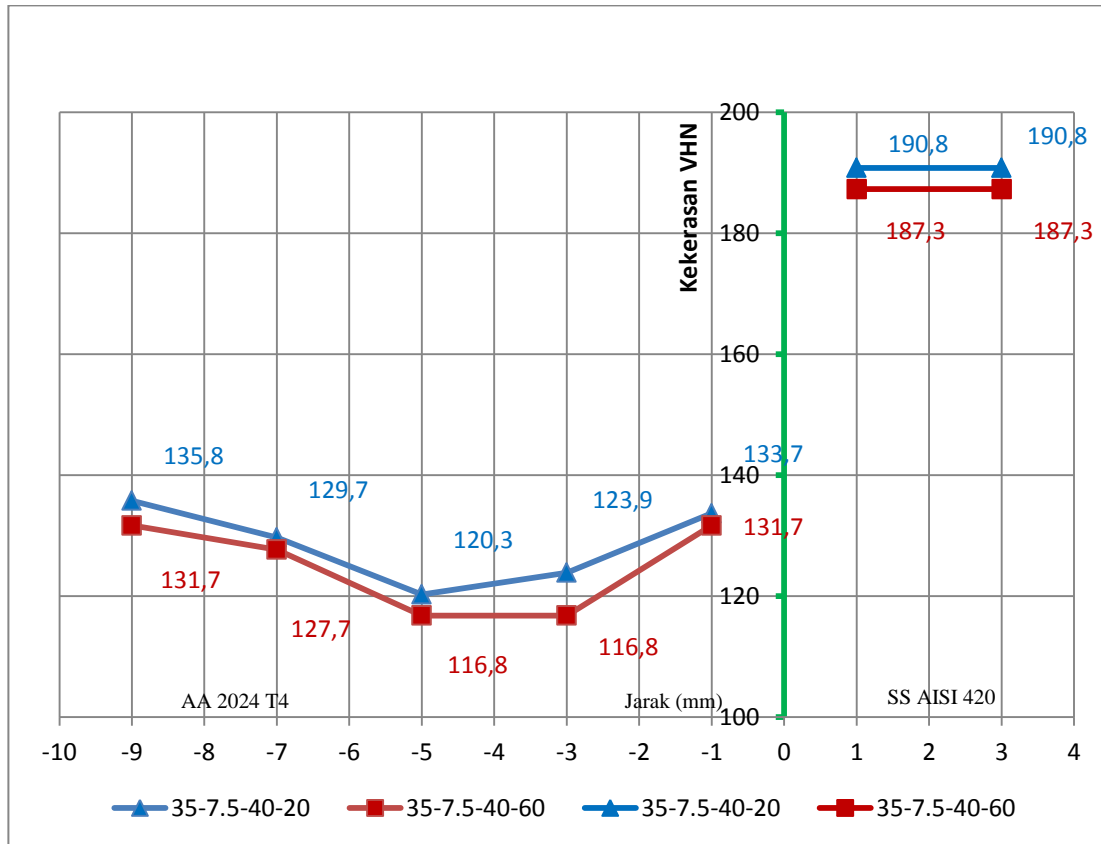


Gambar 4.9. Posisi pegujian kekerasan.

Penelitian ini memiliki variasi tekanan tempa dan variasi waktu tempa yang menjadi pokok pembahasan. Dari pengujian sebelumnya yaitu pengujian tarik diperoleh 4 variasi yang akan dilakukan pengujian kekerasan. Diantara variasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Variasi tekanan tempa 40 MPa dengan waktu tempa 20, 60 detik dan waktu gesek 7.5 detik
2. Variasi tekanan tempa 60 MPa dengan waktu tempa 20, 30 detik dan waktu gesek 7.5 detik

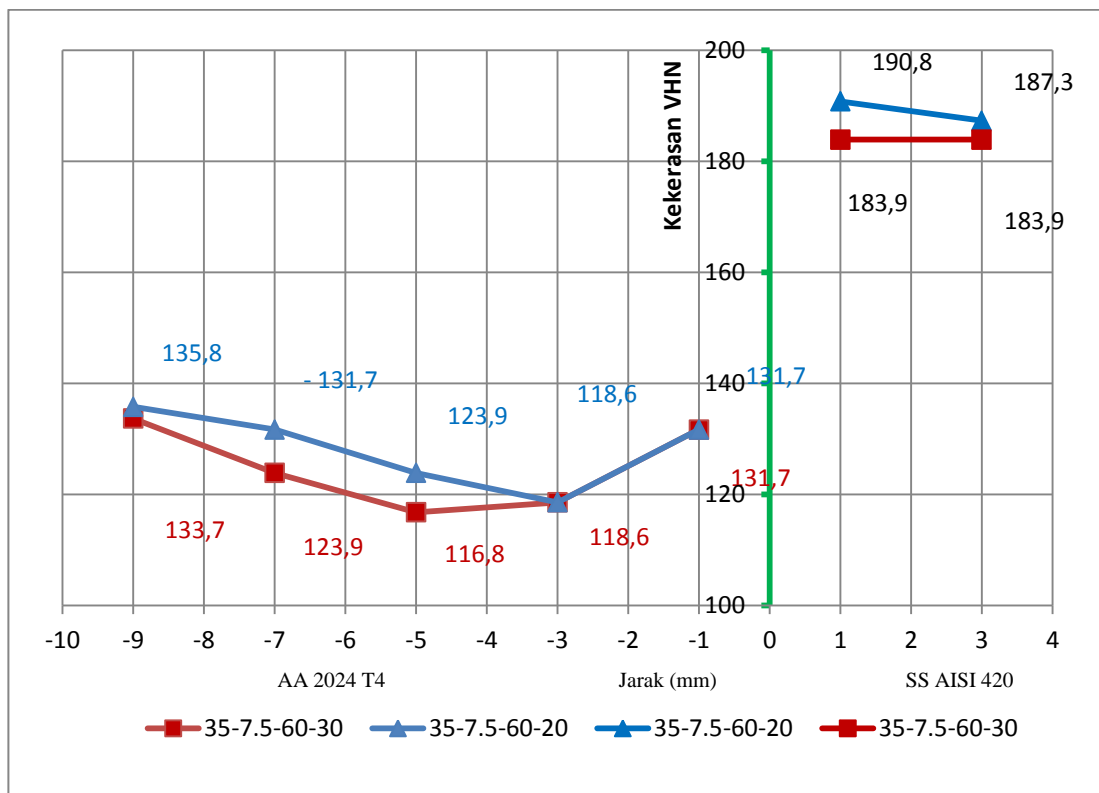
Dari variasi diatas ada dua variasi tekanan yang berbeda yaitu variasi tekanan tempa 40 Mpa dan 60 Mpa. Sehingga, dari variasi ini akan dibahas menjadi 2 pokok pembahasan. untuk memudahkan kita untuk mengklasifikasikan hasil dari kekerasan sambungan dua material yang berbeda yaitu aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420.



Gambar 4.10. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek pada tekanan tempa 40 MPa dengan variasi waktu tempa 20 dan 60 detik.

Pada hasil pengamatan gambar 4.10. dapat dilihat bahwa stainless steel AISI 420 memiliki harga VHN di atas aluminium 2024 T4. Pada logam aluminium 2024 T4 pada variasi tekanan tempa 40 MPa dengan waktu tempa 20 detik semakin menjauh dari sambungan harga VHN nya menurun pada jarak 1mm sampai 5mm dari sambungan. Kemudian naik kembali pada jarak 5mm sampai 9mm dari sambungan. Sedangkan pada variasi tekanan tempa 40 MPa dengan waktu tempa 60 detik harga VHN nya menurun pada jarak 1mm sampai 3mm sedangkan 3mm sampai 4mm nilai kekerasannya sama. Kemudian naik kembali dari jarak 5mm sampai 9mm dari sambungan. Pada variasi waktu tempa 20 detik harga VHN nya 135.8 pada jarak 9mm dari sambungan. Akan tetapi pada variasi waktu tempa 60 detik harga kekerasannya menurun jadi 131.7

Pada hasil pengamatan grafik kekerasan pada variasi gabungan diatas dapat disimpulkan bahwa logam aluminium 2024 T4 tingkat kekerasannya paling tinggi terjadi pada variasi waktu tempa 20 detik pada jarak 5mm dari sambungan nilai kekerasannya 120.3 VHN, akan tetapi pada variasi 60 detik dari jarak 3mm sampai 5mm nilai kekerasannya sama sebesar 116.8 VHN. Pengaruh variasi waktu tempa yang berbeda-beda yaitu 20 dan 60 detik dapat mempengaruhi harga VHN yang berbeda juga.



Gambar 4.11. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek pada tekanan tempa 60 MPa dengan variasi waktu tempa 20 dan 30 detik.

Pada hasil pengamatan gambar 4.11 pengaruh tekanan tempa dan waktu tempa dapat dilihat bahwa stainless steel AISI 420 memiliki harga VHN di atas aluminium 2024 T4. Pada logam aluminium 2024 T4 pada variasi waktu tempa 20 detik semakin menjauhi sambungan harga VHN nya menurun dari jarak 1mm sampai

3mm dari sambungan, kemudian naik kembali pada jarak 3mm sampai 9mm. Sedangkan pada variasi waktu tempa 30 detik dari jarak 5mm dari sambungan nilai kekerasannya menurun. Karena dipengaruhi panas nilai kekerasannya naik pada jarak 5mm dari sambungan sampai jarak 9mm dari sambungan. Dikarenakan hanya rambatan panas yang didapatkan pada aluminium 2024 T4. Semakin lama tekanan tempa dan waktu tempa dapat mempengaruhi harga VHN nya di setiap jarak dari sambungan.

Dari hasil pengamatan grafik kekerasan gabungan, pada variasi tekanan tempa 40 Mpa dengan variasi waktu tempa 20 dan 60 detik, variasi tekanan tempa 60 Mpa dengan variasi waktu tempa 20 dan 30 detik diatas bahwa pada logam aluminium 2024 T4 mempunyai perbedaan pada jarak 1mm dari sambungan nilai kekerasannya 133.7VHN lebih rendah dibanding pada jarak 9mm dari sambungan yang mempunyai kekerasan 135.8 VHN. Akan tetapi pada variasi waktu tempa 60 detik pada jarak 1mm dekat sambungan mempunyai kekerasan yang sama yaitu 131.7 VHN.

Pada variasi tekanan tempa 60 MPa dengan waktu tempa 20 dan 30 detik pada jarak 1mm sampai 3mm memiliki nilai kekerasan yang sama yaitu 118.6 VHN dan kekerasan paling rendah terjadi pada waktu tempa 30 detik yaitu 116.8 VHN. Pada variasi 60 MPa dari jarak 1mm dari sambungan sampai 9mm dari sambungan nilai kekerasannya lebih tinggi yaitu pada 20 detik mempunyai nilai kekerasan 135.8 VHN, sedangkan pada variasi 30 detik nilai kekerasannya 133.7 VHN.

4.4. Hasil Analisa Pengujian Tarik

Spesimen pengujian tarik setelah dilakukan pembubutan sesuai standar *JIS Z 2201*. Pengelasan gesek yang dilakukan menimbulkan *flash* pada spesimen uji. *Flash* yang timbul kemudian dilakukan proses pemesinan untuk menghilangkan *flash* serta untuk membentuk kembali spesimen uji sesuai standar pengujian tarik dengan standar *JIS Z 2201*. Proses pembubutan *flash* menghasilkan diameter spesimen uji berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena hasil pengelasan gesek yang kurang linear, maka untuk proses pembubutan spesimen uji diratakan untuk memperoleh spesimen yang lurus. Perataan bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian tarik yang akurat.



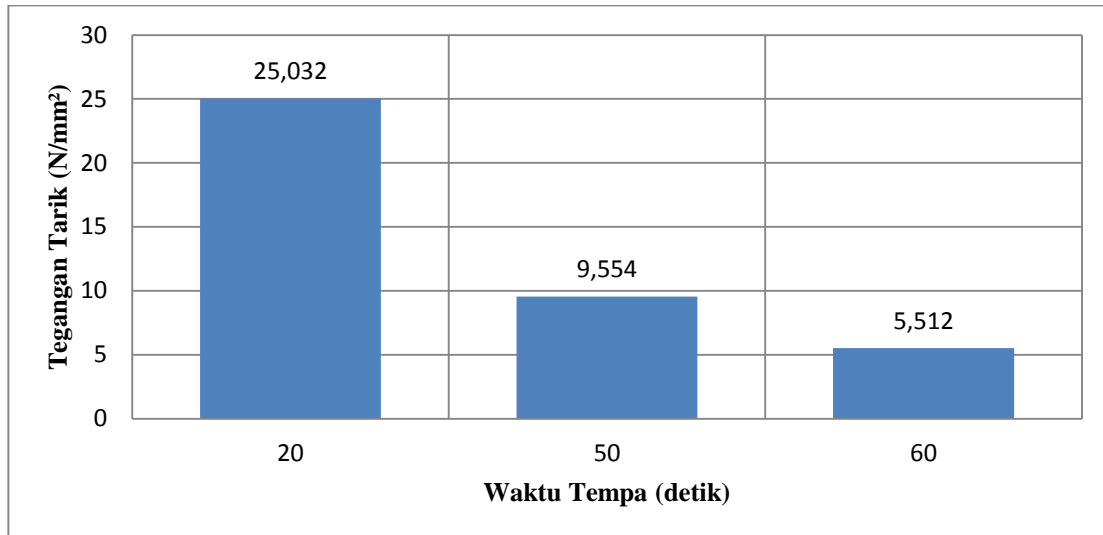
Gambar 4.12. Spesimen Uji Tarik Aluminium 2024 T4 dan stainless steel AISI 420 sesuai standar JIS Z 2201

Setelah melalui proses pengelasan gesek dan pembubutan, dilanjutkan dengan proses pengujian tarik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada hasil pengujian tarik terlihat bahwa spesimen yang diuji tidak mengalami penambahan panjang. Semua spesimen patah pada bagian sambungan lasan dengan hasil berupa patah getas. Penampang patahan hasil pengujian tarik dapat diamati adalah sebagai berikut.

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

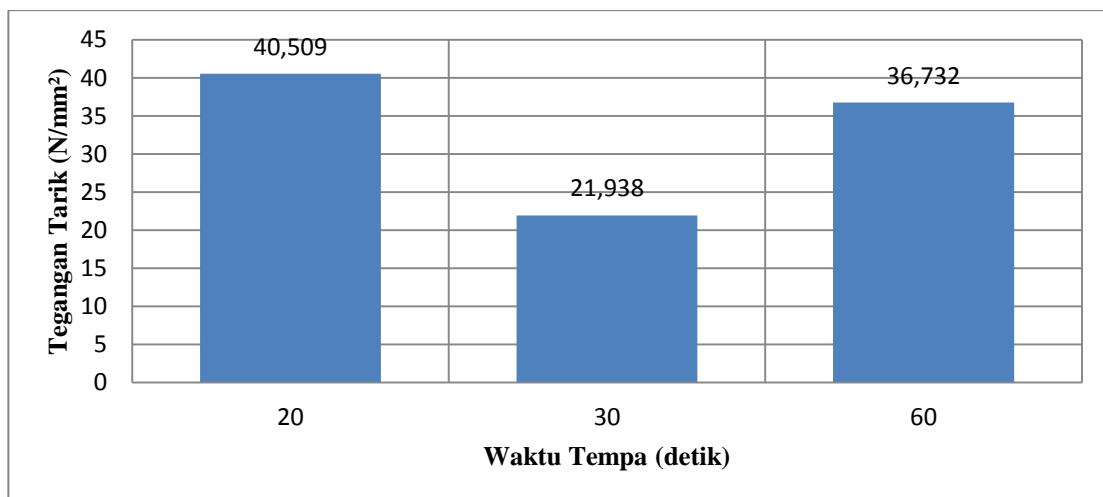
No	Urutan Las Gesek	Tekanan Gesek (MPa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan Tempa (MPa)	Waktu Tempa (Detik)	UTS (MPa)
1	5	35	7.5	40	20	25.032
2	1	35	7.5	40	30	-
3	3	35	7.5	40	40	-
4	6	35	7.5	40	50	9.554
5	8	35	7.5	40	60	5.512
6	2	35	7.5	60	20	40.509
7	9	35	7.5	60	30	21.938
8	7	35	7.5	60	40	-
9	4	35	7.5	60	50	-
10	10	35	7.5	60	60	36.732

Dari tabel 4.1. data hasil pengelasan diperoleh menurut proses pengelasan gesek yaitu dilakukan secara *random*. Dari hasil data tersebut diperoleh bahwa hasil pengujian tarik yaitu *fluktuatif*, pada hasil tegangan tarik dan tegangan luluhnya. Hasil kekuatan tarik dapat diamati pada variasi tekanan tempa 40 MPa yang ada hasil datanya hanya terdapat pada variasi waktu tempa 20,50 dan 60 detik. Pada variasi tekanan tempa 60 MPa yang ada hasil datanya terdapat pada variasi tekanan tempa 20,30 dan 60 detik.



Gambar 4.13. Grafik pengaruh waktu tempa terhadap tegangan tarik dengan tekanan tempa 40 MPa

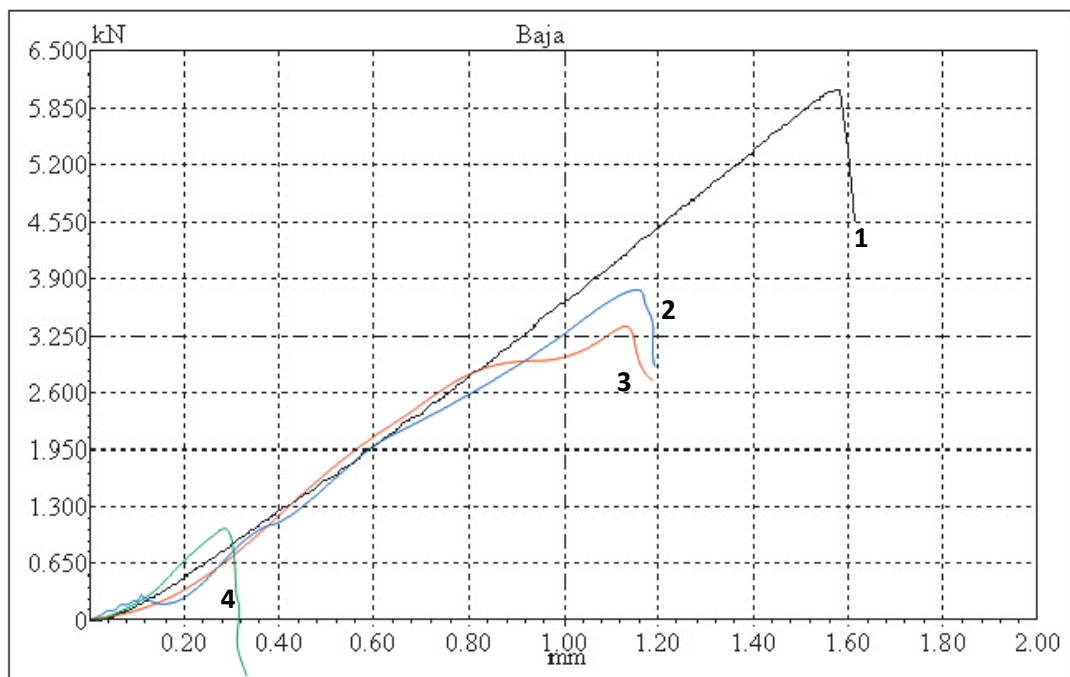
Pada gambar 4.13. yang telah dibuat grafik tekanan tempa 40 MPa terdapat hasil yang paling tinggi tenggan tariknya terdapat pada variasi waktu tempa 20 detik yang nilai tariknya sebesar 25,032 N/mm². Nilai tegangan tarik terendah terdapat pada variasi waktu tempa 60 detik yang memiliki nilai tariknya sebesar 5.512 N/mm². Pada variasi tersebut diambil untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.



Gambar 4.14. Grafik pengaruh waktu tempa terhadap tegangan tarik dengan tekanan tempa 60 MPa

Pada gambar 4.14. grafik pengujian antara waktu tempa dengan tegangan tarik terhadap tekanan tempa 60 MPa memiliki hasil yang berbeda-beda. Hasil pengujian tarik tertinggi terdapat pada variasi waktu tempa 20 detik dengan nilai tariknya sebesar 40.509 N/mm², pada pengujian tarik pada variasi waktu tempa 30 detik dengan nilai tarik sebesar 21.938 N/mm². Pada variasi yang terbilang diatas akan di ambil datanya untuk mikro.

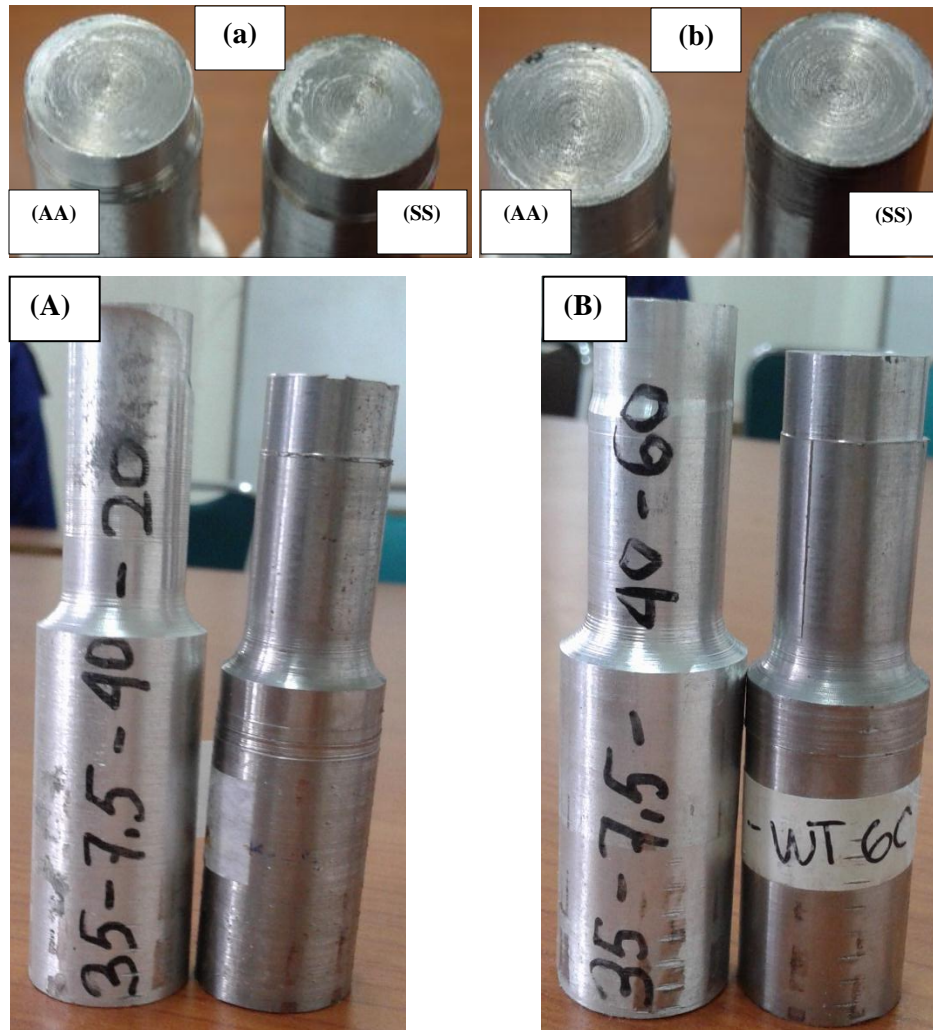
Lamanya tekanan tempa dan waktu tempa yang berbeda akan mempengaruhi kekuatan tarik nya. Waktu tempa yang terlalu lama dan tekanan tempa yang besar justru akan menurunkan kekuatan tarik, walaupun kelihatanya waktu tempa yang besar tapi kekuatan tariknya rendah.



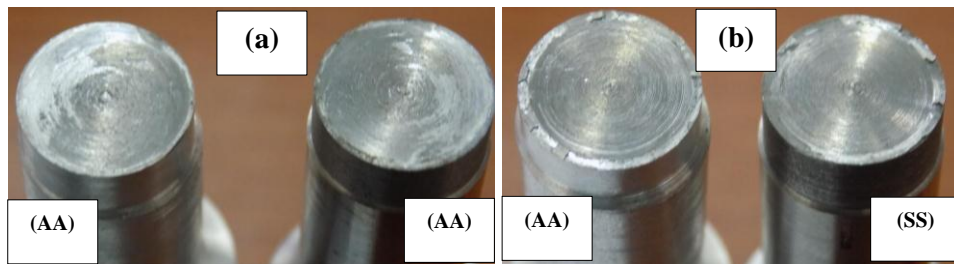
Gambar 4.15. Grafik gabungan beban-regangan pengujian tarik. (1) tekanan tempa 60 MPa waktu gesek 20 detik (2) tekanan tempa 40 MPa waktu gesek 20 detik (3) tekanan tempa 60 MPa waktu gesek 30 detik (4) tekanan tempa 40 MPa waktu gesek 60 detik.

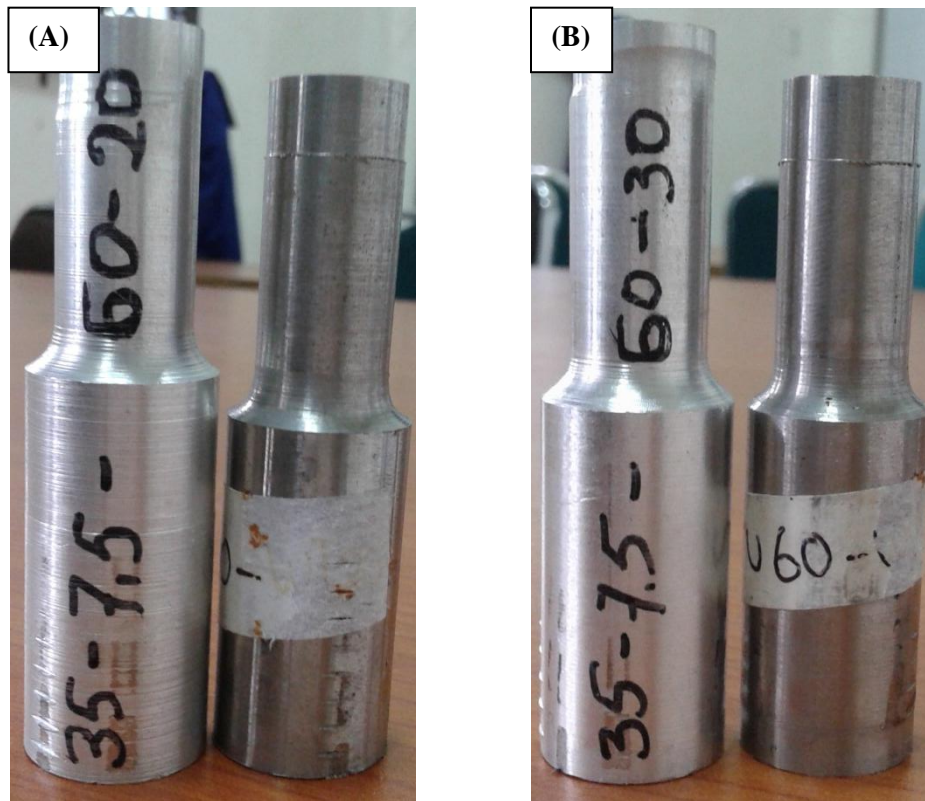
Pada gambar 4.15. dari kurva beban regangan pengujian tarik, titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis yang tinggi. Dari

kurva beban regangan pada variasi tekanan tempa 60 MPa waktu gesek 20 detik mendapatkan nilai elastisitas sebesar 5.797 kN.



Gambar 4.16. Penampang patahan pengujian tarik tekanan tempa 40 MPa, (a). waktu tempa 20 detik, (b). waktu tempa 60 detik.





Gambar 4.17. Penampang patahan pengujian tarik tekanan tempa 60 MPa, (a). waktu tempa 20 detik, (b). waktu tempa 30 detik.

Dari hasil yang dilakukan setelah pengujian tarik diperoleh bahwa spesimen hanya putus didaerah sambungan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.16. dan 4.17. di penampang sisa patahannya logam aluminium 2024 T4 hanya menempel pada logam stainless steel AISI 420. Pada waktu terjadi gesekan aliran panas tidak merata sehingga patahan terjadi pada sambungan ketika ditarik. Pada hasil pengujian tarik dari 10 spesimen hasil patahan hanya putus di daerah sambungan hal ini dapat dilihat pada gambar 4.16. dan 4.17. yang telah di ambil foto patahannya menandakan bahwa salah satu logam menempel pada logam lainnya, walaupun sambungan tidak sepenuhnya menyambung atau dengan kata lain difusi belum terjadi.