# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan proses penyambungan , pengamatan, dan pengujian dalam setiap spesimen, maka akan menghasilkan data hasil pengujian. Data yang diperoleh dari proses pengujian digunakan untuk mengetahui hasil pengaruh variasi waktu gesekan terhadap uji struktur mikro, nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang akan dibahas pada bab ini.

## 4.1 Hasil Pengelasan gesek

Setelah melakukan proses penyambungan silinder pejal antara *stainless steel* 304 dan baja karbon rendah St 42, maka didapat hasil sambungan yang terdapat pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4

Gambar 4. 1 Hasil penyambungan dengan waktu gesek 3 detik.

Gambar 4. 2 Hasil penyambungan dengan waktu gesek 6 detik.

Gambar 4. 3 Hasil penyambungan dengan waktu gesek 9 detik.

Gambar 4. 4 Hasil penyambungan dengan waktu gesek 12 detik.

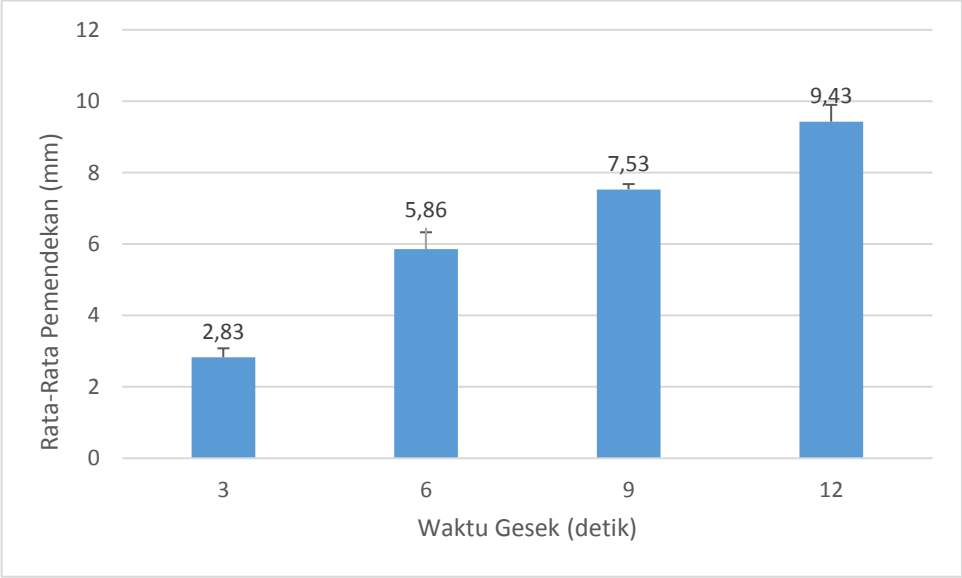
Gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4 merupakan proses hasil penyambungan silinder pejal dengan material *stainless steel* 304 dan baja karbon rendah St 42. Dalam proses penyambungan, baja karbon rendah St 42 merupakan bagian yang berputar dan *stainless steel* 304 merupakan bagian yang diam atau tetap. Proses penyambungan ini menggunakan parameter variasi waktu gesek, yaitu 3 detik, 6 detik, 9 detik dan 12 detik. Dari hasil penyambungan ,semua sepesimen menghasilkan flash dalam proses penyambungannya.

Setelah proses penyambungan, kemudian dilakukan pengukuran panjang spesimen sebelum proses penyambungan dan panjang spesimen setelah proses penyambungan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel hasil pengukuran panjang spesimen

| Variasi | No | Panjang Awal (mm) | Panjang Akhir (mm) | Pemendekan (mm) | Rata-Rata (mm) | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **3 Detik** | 1 | 155 | 152.2 | 2.8 | 2.83 | ±0.25 |
| | 2 | 155 | 152.4 | 2.6 | | |
| | 3 | 155 | 151.9 | 3.1 | | |
| **6 Detik** | 4 | 155 | 149.5 | 5.5 | 5.86 | ±0.47 |
| | 5 | 155 | 149.3 | 5.7 | | |
| | 6 | 155 | 148.6 | 6.4 | | |
| **9 Detik** | 7 | 155 | 147.6 | 7.4 | 7.53 | ±0.15 |
| | 8 | 155 | 147.3 | 7.7 | | |
| | 9 | 155 | 147.5 | 7.5 | | |
| **12 detik** | 10 | 155 | 145.4 | 9.6 | 9.43 | ±0.47 |
| | 11 | 155 | 145.2 | 9.8 | | |
| | 12 | 155 | 146.1 | 8.9 | | |

Dari hasil tabel 4.1, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu gesekan dengan hasil pemendekan spesimen. Grafik hubungan antara waktu gesekan dengan pemendekan hasil spesimen dapat dilihat pada gambar 4.5




Gambar 4. 5 Diagram hubungan waktu gesek dengan pemendekan spesimen.

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.5, dapat disimpulkan bahwa waktu gesek mempengaruhi hasil pemendekan. Hal itu terbukti dari perbandingan hasil pemendekan antara waktu gesek 3 detik, 6 detik, 9 detik dan 12 detik, dimana selalu bertambah hasil pemendekannya.

## 4.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro

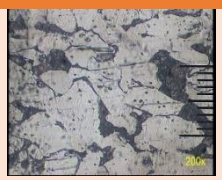
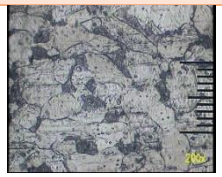
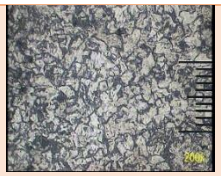
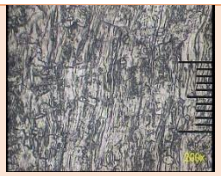
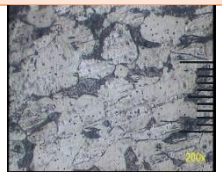
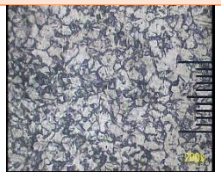
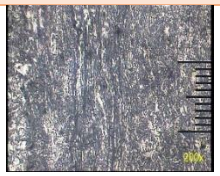
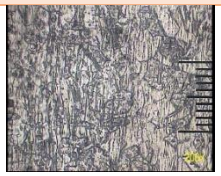
Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada spesimen dengan variasi waktu gesek 3 detik, 6 detik, 9 detik dan 12 detik. Pengujian struktur mikro ini bertujuan untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terdapat pada hasil sambungan silinder pejal *stainless steel* 304 dan baja karbon rendah St 42.

Hasil data pengujian struktur mikro yang di hasilkan ini kemudian dapat dijadikan acuan untuk melakukan pengujian nilai kekerasan. Pengujian struktur mikro ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Spesimen pengujian struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.6.

Gambar 4. 6 Spesimen pengujian struktur mikro; (A) waktu gesek 3 detik, (B) waktu gesek 6 detik, (C) waktu gesek 9 detik, (D) waktu gesek 12 detik.

Hasil pengujian struktur mikro pada sambungan logam pejal antara baja karbon rendah St 42 dengan stainless steel 304 variasi waktu gesek 3 detik, 6 detik, 9 detik dan 12 detik dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengamatan struktur mikro variasi waktu gesek 3,6,9,12 detik pada daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah sambungan las.

| Variasi Waktu Gesek | Struktur Mikro Logam Induk St 42 | Struktur Mikro Daerah HAZ St 42 | Struktur Mikro Sambungan Las St 42 – SS 304 | Struktur Mikro Daerah HAZ SS 304 | Struktur Mikro Logam Induk SS 304 |
|---|---|---|---|---|---|
| **3 Detik** |  | | | | |
| **6 Detik** |  | | | | |
| **9 Detik** | |  | |  | |
| **12 Detik** |  |  |  |  | |

Pengujian struktur mikro ini dilakukan di beberapa titik spesimen, yaitu pada daerah logam induk, HAZ dan daerah sambungan pada masing masing logam. Pengujian dilakukan pada seluruh hasil pengujian sambungan silinder pejal baja karbon rendah St 42 dengan *stainless steel* 304 dengan variasi waktu gesek 3 detik, 6 detik, 9 detik dan 12 detik. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah sambungan las, daerah HAZ dan daerah logam induk.

Pada hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada daerah HAZ masing masing logam mempunyai struktur mikro yang lebih padat dari pada daerah logam induk. Pada daerah HAZ masing-masing logam terdapat perbedaan pada setiap variasi waktu gesekan, hal itu dapat dilihat pada daerah HAZ *stainless steel* 304, variasi waktu 12 detik mempunyai HAZ dengan butiran struktur mikro yang

lebih padat dibandingkan dengan daerah HAZ dengan variasi waktu 3 detik. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin lama variasi waktu gesek semakin padat butiran struktur mikro yang terdapat pada daerah HAZ.

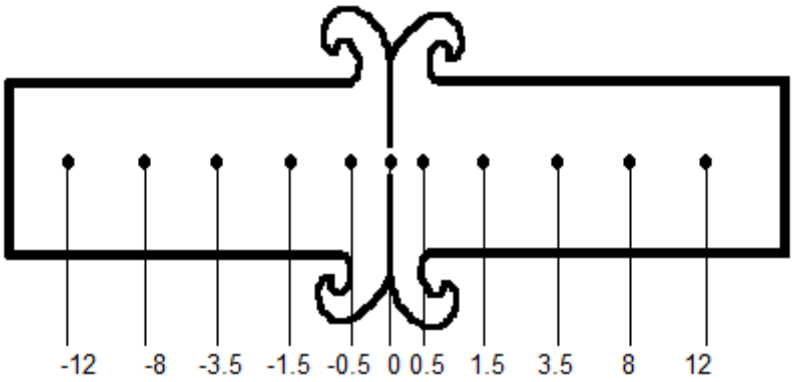
Pada daerah las, butiran struktur mikro lebih menyatu dibandingkan dengan daerah HAZ pada masing-masing logam. Daerah las tiap spesimen juga memiliki perbedaan pada setiap variasi waktu gesek, dimana pada variasi 3 detik masih terlihat garis sambungan sedangkan pada variasi waktu 12 detik garis sambungan sudah terlihat menyatu. Semakin lama waktu gesek yang dialami semakin tidak terlihat garis sambungan yang terdapat pada daerah sambungan las. Hal ini dapat disimpulkan bahwa variasi waktu gesek sangat berpengaruh pada sambungan las antara silinder pejal baja karbon rendah St 42 dengan stainless steel 304, semakin lama waktu gesekan maka semakin panas juga sambungan yang dihasilkan sehingga butiran struktur mikro dapat menyatu dengan sempurna. Husodo, dkk (2014), mengatakan spesimen mengalami perubahan struktur mikro dan distribusi kekerasan karena pada proses *friction welding* mengalami perlakuan panas akibat gesekan lalu pemberian tekanan tempa. Nugroho dkk (2014), struktur mikro daerah las berfasa austenitberbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit lebih besar dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenit.

## 4.3 Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

Setelah melakukan pengujian struktur mikro, maka dapat ditentukan titik untuk melakukan pengujian nilai kekerasan. Pada pengujian nilai kekerasan ini terdapat 11 titik yang akan diujikan.

Pengujian nilai kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Gambar titik pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8.

Gambar 4. 7 Spesimen pengujian nilai kekerasan; (A) waktu gesek 3 detik, (B) waktu gesek 6 detik, (C) waktu gesek 9 detik, (D) waktu gesek 12 detik.




Gambar 4. 8 Posisi titik pengujian nilai kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode pengujian *vickers* , dengan ketentuan beban sebesar 200 gf. Hasil nilai kekerasan pada sambungan logam pejal silinder antara baja karbon rendah St 42 dengan *stainless steel* 304 dapat dilihat pada tabel 4.3 sampai dengan tabel 4.6.

Tabel 4.3 Hasil pengujian nilai kekerasan dengan variasi waktu gesek 3 detik

| Waktu Gesek | Area | Jarak Dari Sambungan (mm) | d1 (µm) | d2 (µm) | d rata-rata (µm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 Detik | SS 304 | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 3.5 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 1.5 | 47.0 | 48.0 | 47.50 | 164.4 |
| | | 0.5 | 47.0 | 48.0 | 47.50 | 164.4 |
| | Sambungan | 0.0 | 46.0 | 48.0 | 47.00 | 167.9 |
| | St 42 | 0.5 | 45.0 | 46.0 | 45.50 | 179.1 |
| | | 1.5 | 46.0 | 47.0 | 46.50 | 171.5 |
| | | 3.5 | 41.0 | 40.0 | 40.50 | 226.1 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |

Tabel 4.4 Hasil pengujian nilai kekerasan dengan variasi waktu gesek 6 detik

| Waktu Gesek | Area | Jarak Dari Sambungan (mm) | d1 (µm) | d2 (µm) | d rata-rata (µm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 Detik | SS 304 | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 3.5 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 1.5 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 0.5 | 42.0 | 41.0 | 41.50 | 215.3 |
| | Sambungan | 0.0 | 45.0 | 43.0 | 40.00 | 191.6 |
| | St 42 | 0.5 | 47.0 | 46.0 | 46.50 | 171.5 |
| | | 1.5 | 46.5 | 46.0 | 46.25 | 173.4 |
| | | 3.5 | 43.0 | 43.0 | 43.00 | 200.6 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 12.0 | 39.0 | 40.0 | 39.50 | 237.7 |

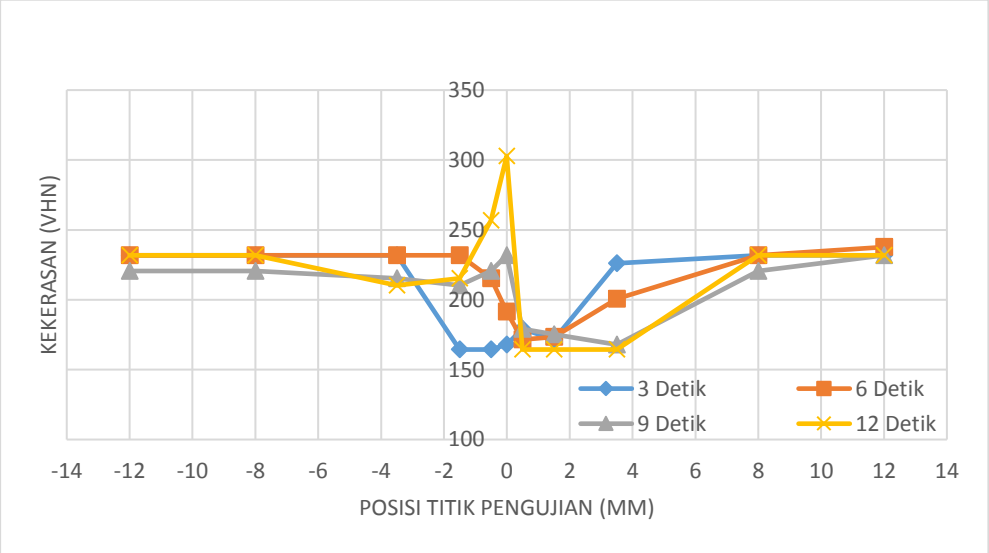
Tabel 4.5 Hasil pengujian nilai kekerasan dengan variasi waktu gesek 9 detik

| Waktu Gesek | Area | Jarak Dari Sambungan (mm) | d1 (µm) | d2 (µm) | d rata-rata (µm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 Detik | SS 304 | 12.0 | 42.0 | 40.0 | 41.00 | 220.6 |
| | | 8.0 | 42.0 | 40.0 | 41.00 | 220.6 |
| | | 3.5 | 42.0 | 41.0 | 41.50 | 215.3 |
| | | 1.5 | 42.0 | 42.0 | 42.00 | 210.2 |
| | | 0.5 | 40.0 | 42.0 | 41.00 | 220.6 |
| | Sambungan | 0.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | St 42 | 0.5 | 46.0 | 45.0 | 45.50 | 179.1 |
| | | 1.5 | 46.0 | 46.0 | 46.0 | 175.3 |
| | | 3.5 | 47.0 | 47.0 | 47.00 | 167.9 |
| | | 8.0 | 42.0 | 40.0 | 41.00 | 220.6 |
| | | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |

Tabel 4.6 Hasil pengujian nilai kekerasan dengan variasi waktu gesek 12 detik

| Waktu Gesek | Area | Jarak Dari Sambungan (mm) | d1 (µm) | d2 (µm) | d rata-rata (µm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 Detik | SS 304 | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 3.5 | 42.0 | 42.0 | 42.00 | 210.2 |
| | | 1.5 | 42.0 | 41.0 | 41.50 | 215.3 |
| | | 0.5 | 38.0 | 38.0 | 38.00 | 256.8 |
| | Sambungan | 0.0 | 35.0 | 35.0 | 35.00 | 302.8 |
| | St 42 | 0.5 | 47.0 | 48.0 | 47.50 | 164.4 |
| | | 1.5 | 47.0 | 48.0 | 47.50 | 164.4 |
| | | 3.5 | 48.0 | 47.0 | 47.50 | 164.4 |
| | | 8.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |
| | | 12.0 | 40.0 | 40.0 | 40.00 | 231.8 |

Dari tabel-tabel berikut agar mudah dilakukan pembahasan maka akan di tampilkan dalam bentuk grafik. Grafik hasil pengujian kekerasan variasi gesek 3,6,9,12 detik antara logam silinder pejal baja karbon rendah St 42 dengan *stainless steel* 304 dapat dilihat pada gambar 4.9

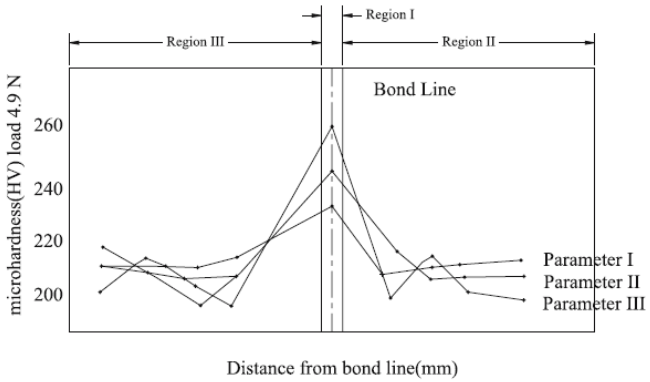



Gambar 4. 9 Grafik pengujian nilai kekerasan

Dari grafik nilai kekerasan tersebut dapat diketahui nilai kekerasan di setiap sambungan varisi waktu gesek, yaitu pada waktu gesek 3 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 167,9 VHN, pada waktu gesek 6 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 191,6 VHN, pada waktu gesek 9 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 231,8 VHN dan pada waktu gesek 12 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 302,8 VHN.

Dari hasil nilai kekerasan maka disimpulkan, semakin lama waktu gesek dalam proses penyambungan maka nilai kekerasannya pun semakin tinggi, ini dikarenakan karena semakin lama waktu gesek makan panas yang dihasilkan juga makin tinggi sehingga membuat struktur mikro menjadi lebih rapat dan juga meningkatkan nilai kegetasan pada sambungan las. hal ini juga dapat dilihat pada pengujian struktur mikro dimana pada sambungan variasi waktu gesek 12 detik terlihat struktur mikro telah menyatu antara baja karbon rendah St 42 dengan *stainless steel* 304, sedangkan pada sambungan variasi waktu gesek 3 detik masih

terlihat garis sambungan antara baja karbon rendah St 42 dengan *stainless steel* 304. Sathiya dkk (2005), hasil peneletian yang telah dilakukan menyatakan bahwa semakin rendah waktu gesek yang diberikan maka semakin rendah juga nilai dari suatu kekerasan pada sambungannya. Nilai kekerasan tertinggi pada waktu gesek 8 detik sebesar 260 HV, nilai kekerasan terendah pada waktu gesek 2 detik sebesar 235 HV.




Gambar 4. 10 Nilai kekerasan pada sambungan SS 304 (Sathiya dkk, 2005)

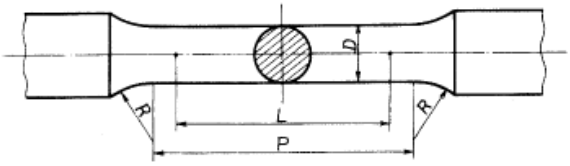
## 4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik ini menggunakan seluruh spesimen yang telah disambung dengan variasi waktu yang berbeda. Sebelum melaksanakan pengujian tarik, spesimen yang telah disambung dilakukan proses penghilangan *flash* terlebih dahulu dengan cara di bubut. Setelah proses penghilangan *flash* telah selesai, maka spesimen dibentuk sesuai standar pengujian tarik JIS Z 2201:1998.

Namun terdapat kendala dalam proses pembuatan spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar ukuran JIS Z 2201:1998, yaitu hasil dari proses pembuatan spesimen didapatkan diameter sambungan terkecil sebesar 11.5 mm, hal ini dikarenakan pada proses penyambungan yang hasilkan tidak *center* sehingga dalam proses penghilangan *flash* didapatkan hasil terkecil sebesar 11.5 mm, sedangkan standar ukuran yang dipakai besar diameter sambungan sebesar 12.5 mm. Maka dalam proses pembuatan spesimen pengujian tarik ini hanya menggunakan standar ukuran JIS Z 2201:1998 sebagai acuan. Namun standar ukuran pengujian tarik

untuk raw material tetap menggunakan standar ukuran sesuai JIS Z 2201:1998. Standar ukuran JIS Z 2201:1998 ditunjukkan pada gambar 3.13.

Gambar 4. 11 Spesimen pengujian kekuatan tarik

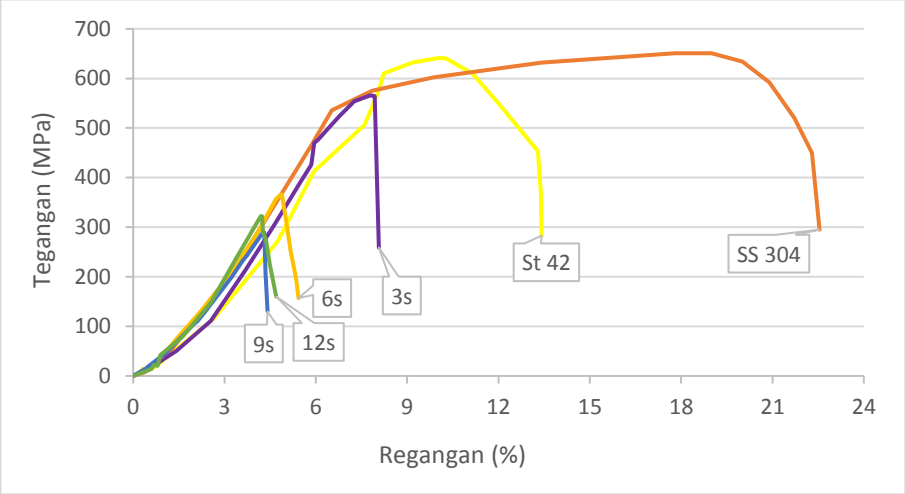



Unit : mm

| Diameter *D* | Gauge length *L* | Parallel length *P* | Radius of fillet *R* |
|---|---|---|---|
| 11.5 | 50 | 60 approx. | 15 min. |

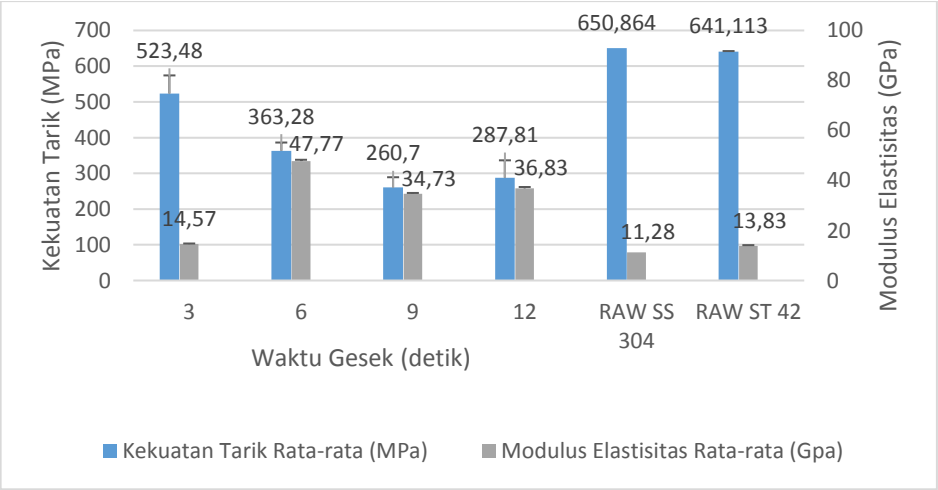
Gambar 4. 12 standar ukuran spesimen pengujian kekuatan tarik (*Modified*: JIS Z 2201:1998)

Setelah proses pembuatan spesimen sesuai standar ukuran JIS telah selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses pengujian kekuatan tarik. Pengujian kekuatan tarik dilakukan ber-urutan dimulai dengan spesimen raw material (2 spesimen) dilanjutkan spesimen dengan waktu gesek 3,6,9,12 detik. Maka total spesimen yang dilakukan pengujian kekuatan tarik sebanyak 6 spesimen. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan di Laboratorium Material S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.




Gambar 4. 13 Grafik tegangan regangan pengujian tarik

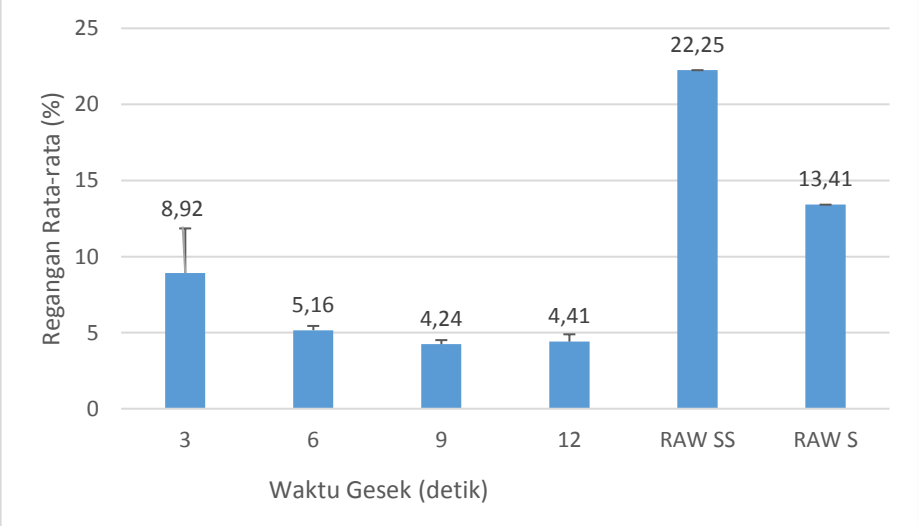
Dari gambar 4.13 dapat diketahui nilai kekuatan tarik RAW material *stainless steel* 304 dan baja karbon rendah St 42 memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar daripada hasil sambungan di setiap variasi waktu gesek. Nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh RAW material *stainless steel* 304 sebesar 650,864 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah dimiliki oleh sambungan dengan waktu gesek 9 detik sebesar 289,394 MPa. Dari nilai kekuatan tarik tersebut juga dapat disimpulkan, semakin lama waktu gesek maka tingkat keuletan suatu sambungan akan menurun.




Gambar 4. 14 Diagram hasil kekuatan tarik dan modulus elastisitas.

Gambar 4.14 menunjukan nilai kekuatan tarik maksimum pada penelitian ini dimiliki oleh sambungan dengan variasi waktu gesek 3 detik, yaitu sebesar 503 MPa. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan variasi waktu gesek yang lainnya, yaitu variasi waktu gesek 6 detik menghasilkan kekuatan tarik sebesar 363 MPa, variasi waktu gesek 9 detik menghasilkan kekuatan tarik sebesar 260 MPa dan variasi waktu gesek 12 detik menghasilkan kekuatan tarik sebesar 288 MPa. Sathiya dkk (2007), hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh parameter variasi waktu gesek material *stainless steel* (8,7,6,5,4 detik), menyatakan bahwa semakin lama waktu gesek yang diberikan maka nilai kekuatan tarik yang didapatkan semakin menurun. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada waktu gesek 4 detik sebesar 551,12 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah pada waktu gesek 8 detik sebesar 530 MPa. Hasil penelitian ini mempunyai kemiripan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, semakin lama waktu gesek yang diberikan maka nilai kekuatan tarik akan semakin rendah.

Namun hasil kekuatan tarik maksimum pada sambungan variasi waktu gesek 3 detik masih jauh dibawah kekuatan tarik kedua RAW material. RAW material *stainless steel 304* memiliki kekuatan tarik sebesar 651 MPa, dan RAW St 42 memiliki kekuatan tarik sebesar 641 MPa.



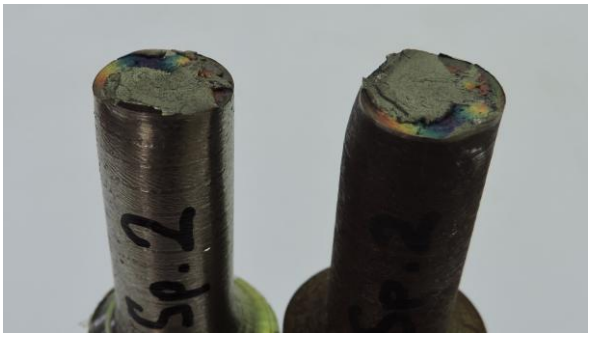

Gambar 4. 15 Diagram regangan terhadap waktu gesek

Gambar 4.15 menunjukan regangan maksimum terjadi pada sambungan variasi waktu gesek 3 detik, hasil regangan ini berbanding lurus dengan hasil nilai kekuatan tarik padaa setiap variasi waktu gesek. Hasil regangan maksimum pada sambungan sebesar 8,9 % jauh dibawah nilai regangan RAW material *stainless steel* 304 sebesar 22,5% . Hal ini karena pada saat proses pengujian tarik spesimen dari hasil pengelasan terjadi patahan tepat di sambungannya, karena pada sambungan mengalami perubahan struktur mikro akibat panas yang dihasilkan pada proses penyambungan sehingga menyebabkan juga nilai kekuatan tarik pada sambungan menurun dibandingkan kekuatan tarik pada RAW material seperti yang terlihat pada gambar 4.15. Hasil patahan spesimen setelah proses pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4.16.

Gambar 4. 16 Hasil patahan proses pengujian tarik

Gambar 4. 17 Permukaan patahan waktu gesek 3 detik

Pada gambar 4.17 permukaan patahan terlihat kasar pada kedua material karena sudah terjadinya deformasi plastis. Pada gambar patahan tersebut juga tidak terjadi pengaruh oksidasi pada saat proses pengelasan. Nilai kekuatan tarik pada sambungan ini sudah melebihi 50% dari nilai kekuatan tarik RAW material.

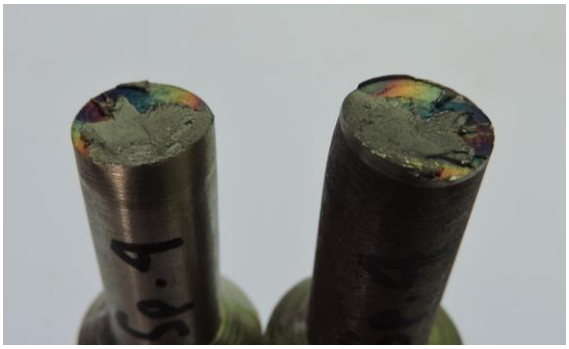


Gambar 4. 18 Permukaan patahan variasi waktu gesek 6 detik

Pada gambar 4.18 permukaan patahan terlihat kasar pada kedua material karena sudah terjadinya deformasi plastis. Pada patahan ini terjadi pengaruh oksidasi pada saat proses penyambungan yang ditandakan adanya warna pelangi di permukaan patahan. Nilai kekuatan tarik pada sambungan ini sudah melebihi 50% dari nilai kekuatan tarik RAW material.

Gambar 4. 19 Permukaan patahan variasi waktu gesek 9 detik

Pada gambar 4.19 permukaan patahan terlihat kasar pada kedua material karena sudah terjadinya deformasi plastis. Pada patahan ini terjadi pengaruh oksidasi pada saat proses penyambungan yang ditandakan adanya warna pelangi di permukaan patahan. Nilai kekuatan tarik pada sambungan ini paling kecil diantara variasi waktu gesek yang lainnya.



Gambar 4. 20 Permukaan patahan variasi waktu gesek 12 detik

Pada gambar 4.20 permukaan patahan terlihat kasar pada kedua material karena sudah terjadinya proses deformasi. Pada patahan ini terjadi pengaruh oksidasi pada saat proses penyambungan yang ditandakan adanya warna pelangi pada permukaan patahan. Nilai kekuatan tarik pada sambungan ini masih dibawah 50% dari nilai kekuatan tarik RAW material.

Dari seluruh foto permukaan patahan, patahan pada variasi waktu gesek 3 detik merupakan sambungan yang paling baik diantara variasi waktu gesek yang lainnya dikarenakan pada variasi waktu gesek 3 detik tidak terjadi pengaruh oksidasi pada proses penyambungan dan pada variasi ini juga nilai kekuatan tarik tertinggi pada sambungan diperoleh.