

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Pengambilan data dilakukan setelah didapatkan spesimen uji tarik sesuai standar *American Welding Society* (AWS) 2007. Pengambilan data pengujian tarik dilakukan untuk semua variasi dengan pengulangan tiga kali setiap variasi. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah *burn-off length* 3mm, 5mm dan 7mm pada tinggi kerucut 0mm, 1mm, 2mm dan 3mm. Di bawah ini adalah tabel data hasil pengujian tarik :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik

| No | Variasi <i>Burn-off length</i> | Variasi Tinggi Kerucut | Pcs | Kekuatan Tarik (Mpa) | Kekuatan Tarik Rata-rata (Mpa) |
|------|--------------------------------|------------------------|--------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | 3 mm | 0 mm | A | 182.06 | 184.69 |
| | | | B | 190.15 | |
| | | | C | 181.86 | |
| | | 1 mm | A | 196.68 | 183.04 |
| | | | B | 170.95 | |
| | | | C | 181.50 | |
| | 2 mm | A | 184.67 | 187.95 | |
| | | B | 179.59 | | |
| | | C | 199.60 | | |
| | 5 mm | 3 mm | A | 183.09 | 197.89 |
| | | | B | 210.54 | |
| | | | C | 200.05 | |
| 0 mm | | A | 172.95 | 179.71 | |
| | | B | 194.88 | | |
| | | C | 171.29 | | |
| 7 mm | 1 mm | A | 189.20 | 182.93 | |
| | | B | 179.67 | | |
| | | C | 179.91 | | |
| | 2 mm | A | 195.05 | 185.7 | |
| | | B | 194.15 | | |
| | | C | 167.89 | | |
| 3 | 3 mm | A | 193.68 | 191.88 | |
| | | B | 204.02 | | |
| | | C | 177.94 | | |
| | 0 mm | A | 153.39 | 162.17 | |
| | | B | 158.66 | | |
| | | C | 174.45 | | |
| 4 | 1 mm | A | 169.19 | 178.42 | |
| | | B | 184.59 | | |
| | | C | 181.50 | | |
| | 2 mm | A | 182.91 | 182.68 | |
| | | B | 174.76 | | |
| | | C | 190.36 | | |
| 3 mm | A | 197.61 | 189.16 | | |
| | B | 191.58 | | | |
| | C | 178.28 | | | |
| 4 | Spesimen Asli Aluminium A6061 | A | 337.5 | 339.94 | |
| | | B | 338.72 | | |
| | | C | 343.61 | | |

4.1.2 Data Hasil Total Pemendekan

Pengambilan data dilakukan sebelum proses pengelasan gesek untuk mendapatkan nilai panjang awal dan dilakukan setelah proses pengelasan gesek untuk mendapatkan nilai panjang akhir. Lalu dilakukan perhitungan selisih antara panjang awal dan panjang akhir untuk mengetahui total pemendekan yang terjadi. Pengambilan data total pemendekan dilakukan untuk semua variasi dengan pengulangan tiga kali setiap variasi. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah *burn-off length* 3mm, 5mm dan 7mm pada tinggi kerucut 0mm, 1mm, 2mm dan 3mm. Di bawah ini adalah tabel data hasil total pemendekan:

Tabel 4.2 Data Hasil Total Pemendekan

| Variasi <i>Burn-off length</i> | Variasi Tinggi Kerucut | Pcs | Panjang Awal A6061 (mm) | Panjang Awal St41 (mm) | Total Panjang Awal L_0 (mm) | Total Panjang Akhir L_1 (mm) | Total Pemendekan ΔL (mm) | Total Pemendekan ΔL rata-rata (mm) |
|--------------------------------|------------------------|--------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| 3 mm | 0 mm | A | 108.49 | 91.81 | 200.3 | 191.23 | 9.07 | 9.93 |
| | | B | 104.6 | 87.45 | 192.05 | 180.78 | 11.27 | |
| | | C | 107.3 | 87.42 | 194.72 | 185.27 | 9.45 | |
| | 1 mm | A | 106.43 | 98.01 | 204.44 | 195.29 | 9.15 | 10.67 |
| | | B | 109.77 | 86.46 | 196.23 | 185.72 | 10.51 | |
| | | C | 109.86 | 86.7 | 196.56 | 184.19 | 12.37 | |
| | 2 mm | A | 109.37 | 91.42 | 200.79 | 194.56 | 6.23 | 9.01 |
| | | B | 110.4 | 87.16 | 197.56 | 188.2 | 9.36 | |
| | | C | 106.56 | 89.92 | 196.48 | 185.04 | 11.44 | |
| 3 mm | A | 108.91 | 89.73 | 198.64 | 189.62 | 9.02 | 8.68 | |
| | B | 107.11 | 87.87 | 194.98 | 186.61 | 8.37 | | |
| | C | 109.06 | 88.03 | 197.09 | 188.43 | 8.66 | | |
| 5 mm | 0 mm | A | 108.53 | 88.02 | 196.55 | 184.51 | 12.04 | 12.93 |
| | | B | 105.45 | 90.18 | 195.63 | 182.45 | 13.18 | |
| | | C | 105.82 | 89.39 | 195.21 | 181.63 | 13.58 | |
| | 1 mm | A | 105.84 | 87.84 | 193.68 | 182.79 | 10.89 | 12.74 |
| | | B | 107.98 | 87.95 | 195.93 | 184.1 | 11.83 | |
| | | C | 108.34 | 88.53 | 196.87 | 181.35 | 15.52 | |
| | 2 mm | A | 106.37 | 95.84 | 202.21 | 194.91 | 7.3 | 11.98 |
| | | B | 111.59 | 103.05 | 214.64 | 191.39 | 23.25 | |
| | | C | 102.82 | 88.96 | 191.78 | 186.39 | 5.39 | |
| 3 mm | A | 110.95 | 92 | 202.95 | 188.43 | 14.52 | 11.96 | |
| | B | 128.92 | 88.03 | 216.95 | 203.38 | 13.57 | | |
| | C | 106.19 | 86.66 | 192.85 | 185.05 | 7.8 | | |
| 7 mm | 0 mm | A | 112.63 | 87.59 | 200.22 | 182.71 | 17.51 | 17.4 |
| | | B | 105.54 | 89.42 | 194.96 | 176.34 | 18.62 | |
| | | C | 108.48 | 82.96 | 191.44 | 175.37 | 16.07 | |
| | 1 mm | A | 107.82 | 84.11 | 191.93 | 176.29 | 15.64 | 16.22 |
| | | B | 117.64 | 91 | 208.64 | 191.64 | 17 | |
| | | C | 108.06 | 91.44 | 199.5 | 183.47 | 16.03 | |
| | 2 mm | A | 107.26 | 87.07 | 194.33 | 178.53 | 15.8 | 15.79 |
| | | B | 112.08 | 96.85 | 208.93 | 193.23 | 15.7 | |
| | | C | 106.9 | 87.76 | 194.66 | 178.79 | 15.87 | |
| 3 mm | A | 113.84 | 85.57 | 199.41 | 185.6 | 13.81 | 14.54 | |
| | B | 106.78 | 103.15 | 209.93 | 194.68 | 15.25 | | |
| | C | 101.8 | 89.21 | 191.01 | 176.44 | 14.57 | | |

4.1.3 Data Hasil Suhu Pengelasan

Pengambilan data dilakukan selama proses pengelasan gesek berlangsung. Data diambil dengan menggunakan *thermogun* pada jarak yang tetap untuk mendapatkan nilai suhu *flash* tertinggi. Pengambilan data suhu *flash* dilakukan untuk semua variasi dengan pengulangan tiga kali setiap variasi. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah *burn-off length* 3mm, 5mm dan 7mm pada tinggi kerucut 0mm, 1mm, 2mm dan 3mm. Di bawah ini adalah tabel data hasil suhu *flash* :

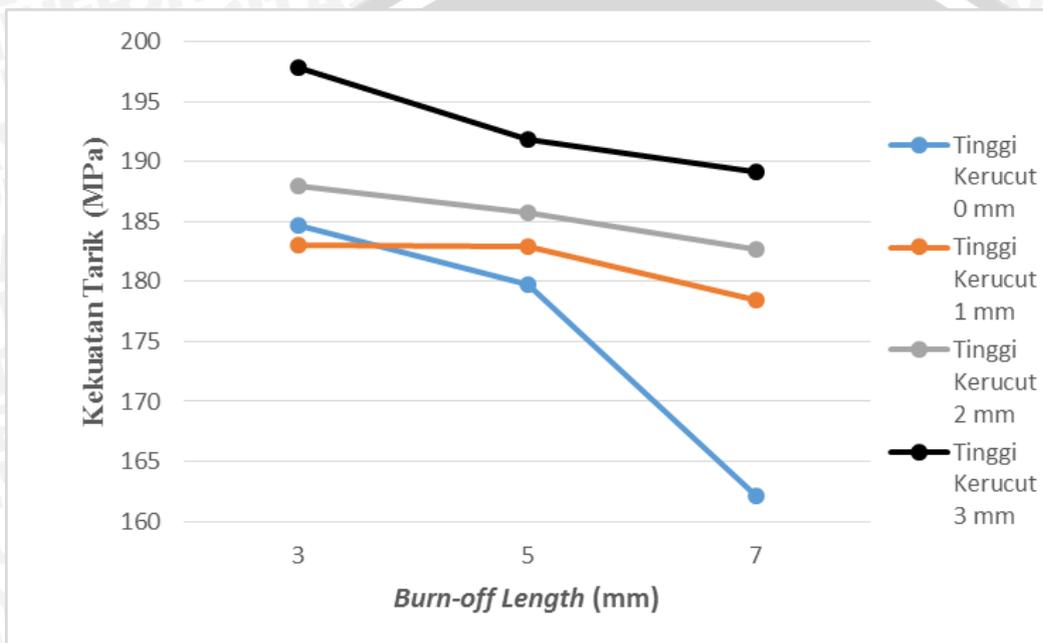
Tabel 4.3 Data Hasil Suhu *Flash*

| No | Variasi <i>Burn-off length</i> | Variasi Tinggi Kerucut | Pengulangan | Suhu <i>Flash</i> (°C) | Suhu <i>Flash</i> Rata-rata (°C) |
|----|--------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|----------------------------------|
| 1 | 3 mm | 0 mm | A | 67.2 | 63.4 |
| | | | B | 63.7 | |
| | | | C | 59.3 | |
| | | 1 mm | A | 60.5 | 67.73 |
| | B | | 76 | | |
| | C | | 66.7 | | |
| | 2 mm | A | 48.5 | 57.2 | |
| | | B | 63.2 | | |
| | | C | 59.9 | | |
| | 3 mm | A | 61.4 | 50.56 | |
| | | B | 35.5 | | |
| | | C | 54.8 | | |
| 2 | 5 mm | 0 mm | A | 79.8 | 74.3 |
| | | | B | 82.1 | |
| | | | C | 61 | |
| | | 1 mm | A | 55.4 | 73.1 |
| | B | | 83.9 | | |
| | C | | 80 | | |
| | 2 mm | A | 38.3 | 59.93 | |
| | | B | 63.1 | | |
| | | C | 78.4 | | |
| | 3 mm | A | 52.8 | 58.5 | |
| | | B | 55.3 | | |
| | | C | 67.4 | | |
| 3 | 7 mm | 0 mm | A | 70.7 | 92.9 |
| | | | B | 97.1 | |
| | | | C | 110.9 | |
| | | 1 mm | A | 87.9 | 81.53 |
| | B | | 97.1 | | |
| | C | | 59.6 | | |
| | 2 mm | A | 65.4 | 64.9 | |
| | | B | 64 | | |
| | | C | 65.3 | | |
| | 3 mm | A | 63.5 | 60.46 | |
| | | B | 55.5 | | |
| | | C | 62.4 | | |

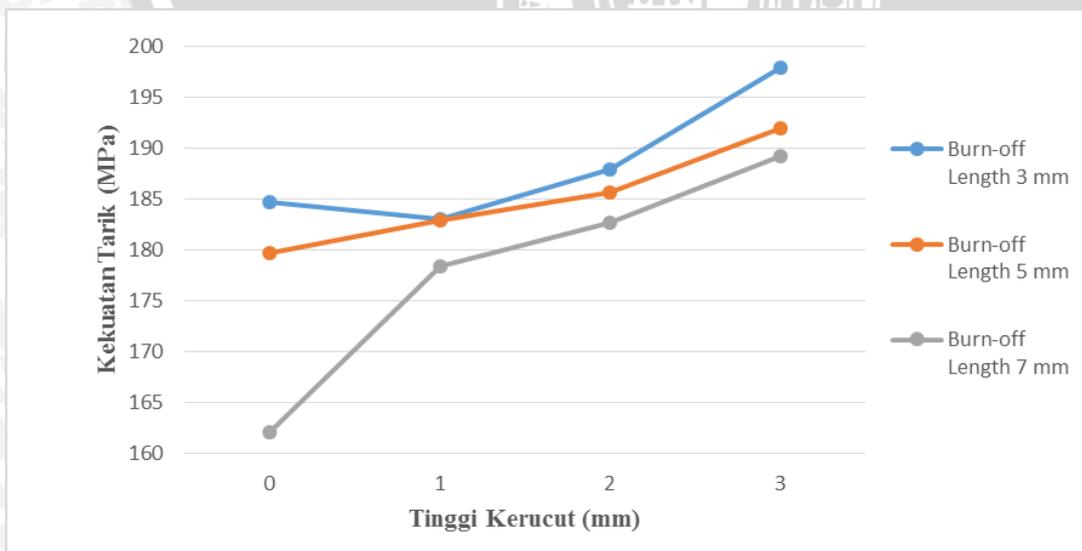
4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Pengelasan Gesek

Dari tabel hasil pengujian tarik yang diperoleh dapat dijadikan grafik agar bisa dilakukan analisis. Gambar 4.1 dan 4.2 adalah grafik yang menjelaskan hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara *burn-off length* terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek



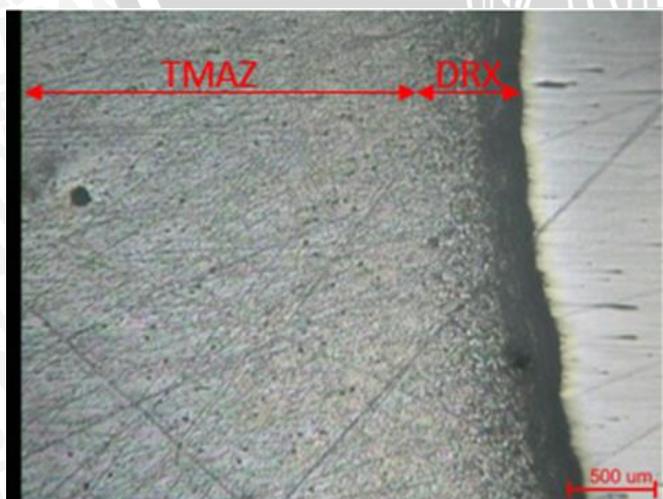
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tinggi kerucut satu sisi terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek

Dari gambar 4.1 dan 4.2 di atas dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi kekuatan tarik yang dihasilkan. Dapat dilihat pada dua grafik di atas, kekuatan tarik terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 162,17 MPa dan kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 197,89 MPa.

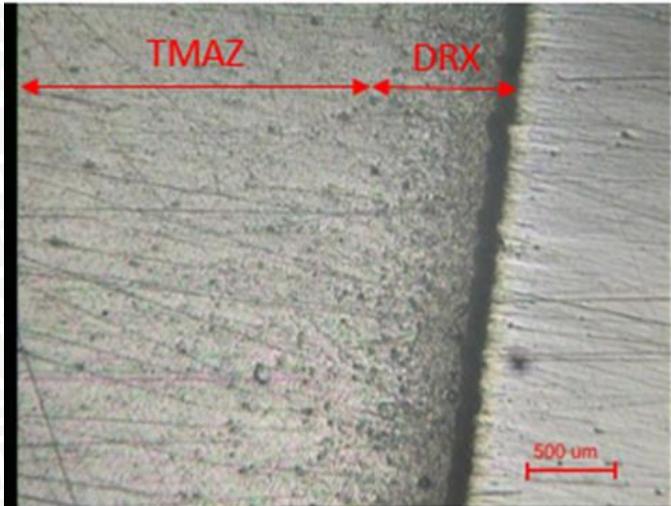
Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin besar maka kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan bila *burn-off length* yang diberikan kecil maka sebagian logam yang bergesekan akan semakin sedikit sehingga panas yang terjadi semakin rendah. Sedangkan bila tinggi kerucut yang digunakan semakin besar maka luas bidang kontak gesek yang terjadi juga semakin kecil, sehingga panas yang timbul juga kecil. Akibat panas yang timbul semakin kecil akan membuat bagian logam yang terpengaruhi panas semakin sedikit, sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi.

4.2.2 Analisis Mikrostruktur Pada Nilai Kekuatan Tarik Tertinggi dan Terendah

Pada analisis mikrostruktur ini dilakukan pada spesimen yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan kekuatan tarik terendah. Spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* 3 mm, sedangkan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* 7 mm. Foto mikro dilakukan pada spesimen aluminium A6061 di daerah sambungan las dengan perbesaran optik sebesar 100x. Hasil foto mikro dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.

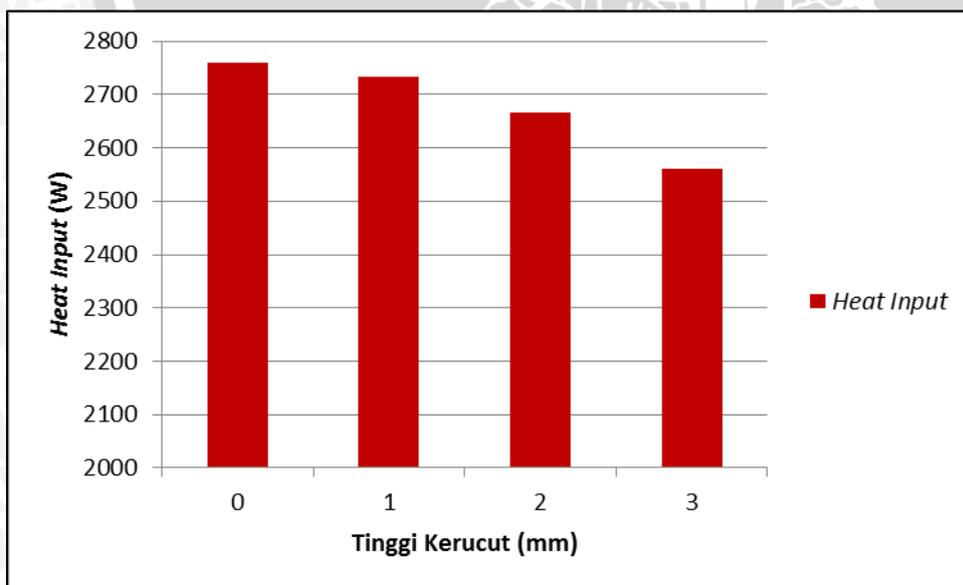


Gambar 4.3 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi



Gambar 4.4 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekuatan tarik terendah

DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) adalah zona yang terbentuk karena deformasi plastis akibat suhu yang tinggi, zona ini memiliki butiran yang halus. Lebar ukuran DRX dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu panas yang terjadi selama pengelasan dan tekanan yang diberikan. Karena pada penelitian ini tekanan yang diberikan sama untuk setiap variasi yaitu *friction pressure* sebesar 39,63 MPa dan *upset pressure* sebesar 99,08 MPa, maka yang mempengaruhi lebar DRX adalah panas yang timbul (*heat input*) tiap spesimen. Nilai *heat input* pada tiap-tiap tinggi kerucut yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.5.



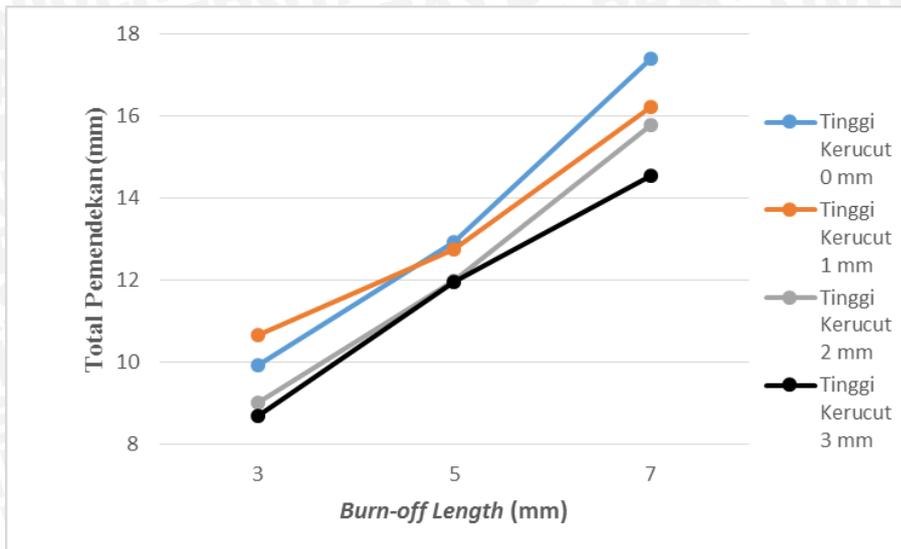
Gambar 4.5 Grafik *heat input* pada tiap-tiap tinggi kerucut

Dari gambar 4.5 didapat data *heat input* untuk tinggi kerucut 0 mm sebesar 2758,5 W dan untuk tinggi kerucut 3 mm sebesar 2561,1 W. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar tinggi kerucut, *heat input* yang terjadi semakin rendah. Dapat dilihat pada gambar 4.3, akibat panas yang timbul (*heat input*) kecil, hasil foto mikro menunjukkan struktur butir yang lebih kecil, halus dan merata, selain itu daerah DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) yang terbentuk berukuran sempit. Akibat ukuran struktur mikro yang kecil maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan tinggi. Sedangkan pada gambar 4.4, hasil foto mikro menunjukkan ukuran struktur butir yang terbentuk lebih besar dan daerah DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) yang terbentuk lebih lebar. Hal ini dikarenakan *heat input* yang terjadi pada spesimen ini lebih tinggi. Akibat ukuran struktur mikro yang besar maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan rendah.

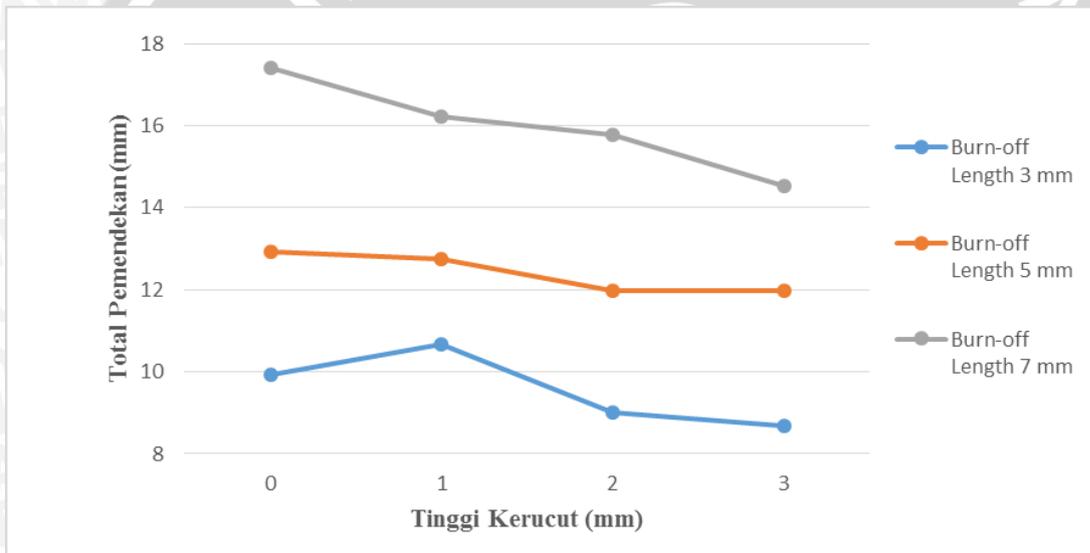
Semakin lebar daerah DRX, menunjukkan bahwa semakin besar panas yang timbul (*heat input*) yang mempengaruhi daerah las tersebut, sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) juga semakin lebar. Semakin lebar HAZ menunjukkan semakin lebar daerah yang mengalami perubahan struktur mikro. Akibat semakin lebar daerah yang mengalami perubahan struktur mikro maka kekuatan tarik yang dihasilkan rendah.

4.2.3 Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Total Pemendekan Sambungan Pengelasan Gesek

Dari tabel hasil total pemendekan yang diperoleh dapat dijadikan grafik agar bisa dilakukan analisis. Gambar 4.6 dan 4.7 adalah grafik yang menjelaskan hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap total pemendekan hasil sambungan las gesek.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara *burn-off length* terhadap total pemendekan hasil sambungan las gesek



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara tinggi kerucut satu sisi terhadap total pemendekan hasil sambungan las gesek

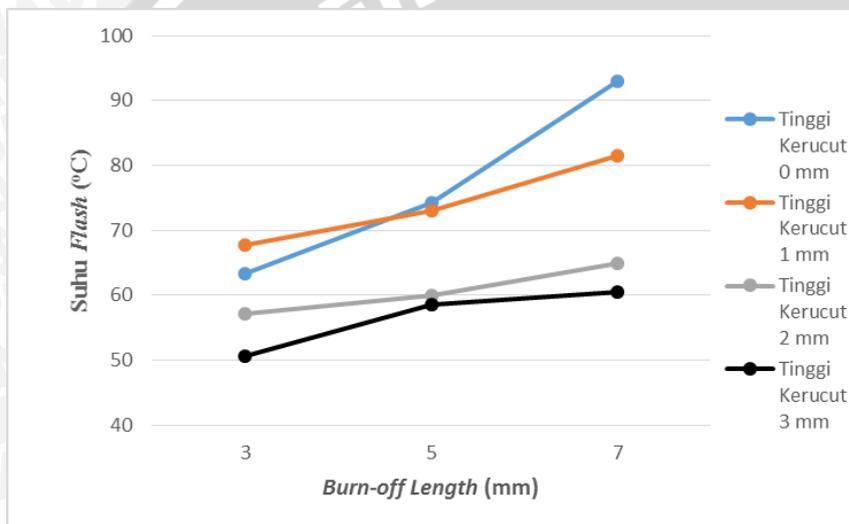
Dari gambar 4.6 dan 4.7 di atas dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi total pemendekan yang dihasilkan. Dapat dilihat pada dua grafik di atas, total pemendekan terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 8,68 mm dan total pemendekan tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 17,4 mm.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka total pemendekan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar *burn-off length* akan membuat bagian logam yang melunak dan membentuk *flash* akan semakin banyak, sedangkan dengan

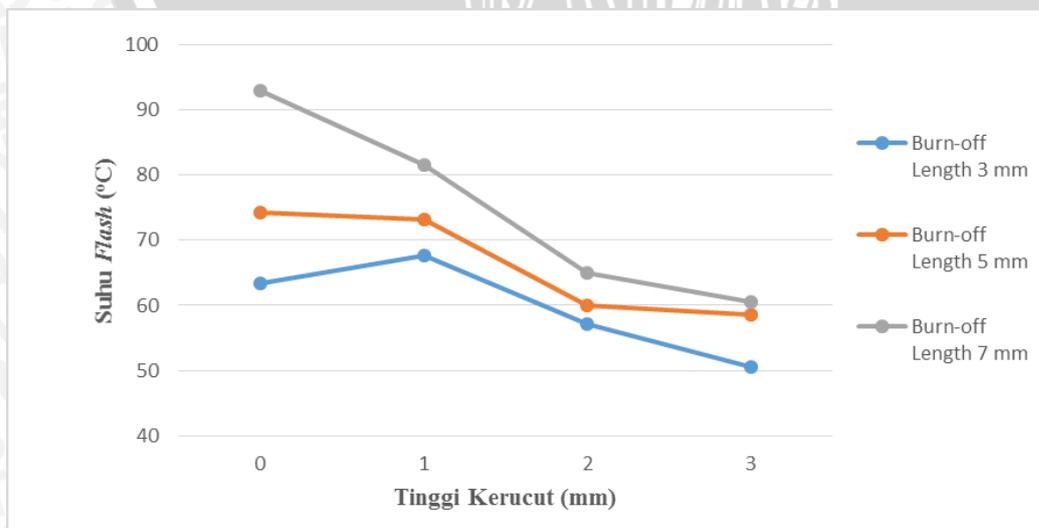
tinggi kerucut yang kecil membuat panas yang timbul semakin besar dan membuat bagian logam yang bergesekan menjadi lebih mudah melunak. Akibat semakin banyak bagian logam yang melunak dan membentuk *flash* maka panjang akhir sambungan las gesek semakin kecil dan membuat selisih panjang awal dan panjang akhir spesimen semakin besar.

4.2.4 Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Suhu Pengelasan Proses Pengelasan Gesek

Dari tabel hasil suhu pengelasan yang diperoleh dapat dijadikan grafik agar bisa dilakukan analisis. Gambar 4.8 dan 4.9 adalah grafik yang menjelaskan hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap suhu *flash* proses pengelasan gesek.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara *burn-off length* terhadap suhu *flash* proses pengelasan gesek



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara tinggi kerucut satu sisi terhadap suhu *flash* proses pengelasan gesek

Dari gambar 4.8 dan 4.9 di atas dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi suhu *flash* yang dihasilkan. Dapat dilihat pada dua grafik di atas, suhu *flash* terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar $50,56^{\circ}\text{C}$ dan suhu *flash* tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar $92,9^{\circ}\text{C}$.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka suhu pengelasan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar *burn-off length* akan semakin banyak bagian logam yang bergesekan, sedangkan dengan tinggi kerucut yang kecil luas bidang kontak gesek semakin besar. Akibat semakin besar gesekan yang terjadi, panas yang timbul karena gesekan semakin besar dan membuat suhu *flash* yang terjadi semakin tinggi.

