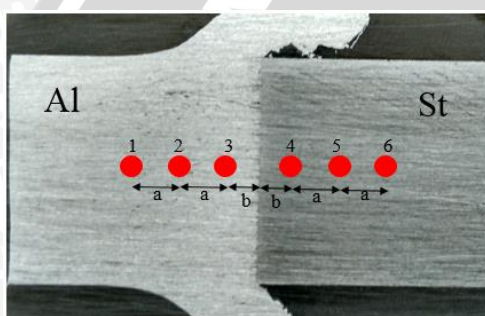


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengambilan data dilakukan dengan metode Vickers, setelah spesimen selesai dilas kemudian spesimen dibelah dua dan dihaluskan permukaannya kemudian diuji kekerasannya. Pada saat pengelasan dilakukan tiga kali pengulangan pada setiap variasi. Variasi yang digunakan adalah *burn-off length* 3 mm, 5 mm dan 7 mm dengan tinggi kerucut satu sisi pada St 41 sebesar 1 mm, 2 mm dan 3 mm. Pengujian kekerasan dilakukan enam titik di tiap spesimen. Berikut adalah gambar pengambilan titik pengujian pada spesimen:



Keterangan: a = 1 mm

b = 0.5 mm

Gambar 4.1 Pengambilan titik pengujian kekerasan

Hasil uji kekerasan ditampilkan pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1
Data Hasil Pengujian Kekerasan

Tinggi	BoL	Pengulangan	Kekerasan Al (HV)			Kekerasan St (HV)		
			1	2	3	4	5	6
HO	B3	A	72.72	77.04	79.86	262.9	245.2	244.1
		B	68.91	71.83	78.23	231.4	228.3	203.5
		C	75.69	76.07	77.43	259.2	233.4	238.7
	B5	A	65.71	71.3	72.36	213.1	197	194.6
		B	67.93	70.78	72.72	214.9	210.4	207.8
		C	57.84	59.94	63.74	170.3	165.9	167.8
	B7	A	47.74	49.23	50.56	169.8	160.2	156
		B	46.54	49.13	54.31	192.09	176.32	170.57
		C	45.99	51	51.08	172.4	170.7	168
H1	B3	A	73.81	72.9	86.61	262.9	249.8	226.4
		B	68.25	79.45	74.92	260.7	247	244
		C	73.81	77.24	80.07	248.1	244.7	241.4
	B5	A	58.22	67.76	75.69	233.2	216.3	198.7
		B	64.19	69.08	73.62	198.6	194.6	189.9
		C	69.75	69.75	74.74	189.9	186.2	176.3
	B7	A	55.6	56.09	58.35	195.6	182.1	179.2
		B	53.05	51.73	52.38	177.2	158.2	151.08
		C	51.41	48.83	56.71	184.6	184.6	176.8
H2	B3	A	78.36	83.91	86.46	281.1	250.9	235.5
		B	73.08	73.26	80.07	269.2	269.2	256.8
		C	69.66	78.12	84.85	270.4	270.4	269.2
	B5	A	63.45	70.95	75.11	260.4	247.7	236.1
		B	65.86	67.6	72.72	253.8	246.9	238.4
		C	67.6	72.54	75.87	274.3	271.7	269.2
	B7	A	63.3	61.16	67.44	212.2	211.3	208.7
		B	78.43	80.7	84.62	283.8	243	238.7
		C	67.6	71.83	73.62	239.5	236.6	212.2
H3	B3	A	72.72	82.62	86.69	344.4	329.4	328.2
		B	83.72	86.46	89.5	350.7	331.2	326.7
		C	76.65	85.07	88.92	343.5	330.4	325.8
	B5	A	74.62	78.84	88.28	336.8	324	315.4
		B	74.4	79.57	83.38	328	325.7	313.9
		C	73.06	77.16	87.64	338.7	322.1	308.6
	B7	A	71.83	73.62	76.65	279.2	267.9	253.2
		B	78.23	77.43	85.07	309.9	290.9	285.2
		C	67.93	74.37	79.86	296.6	272.2	274.9

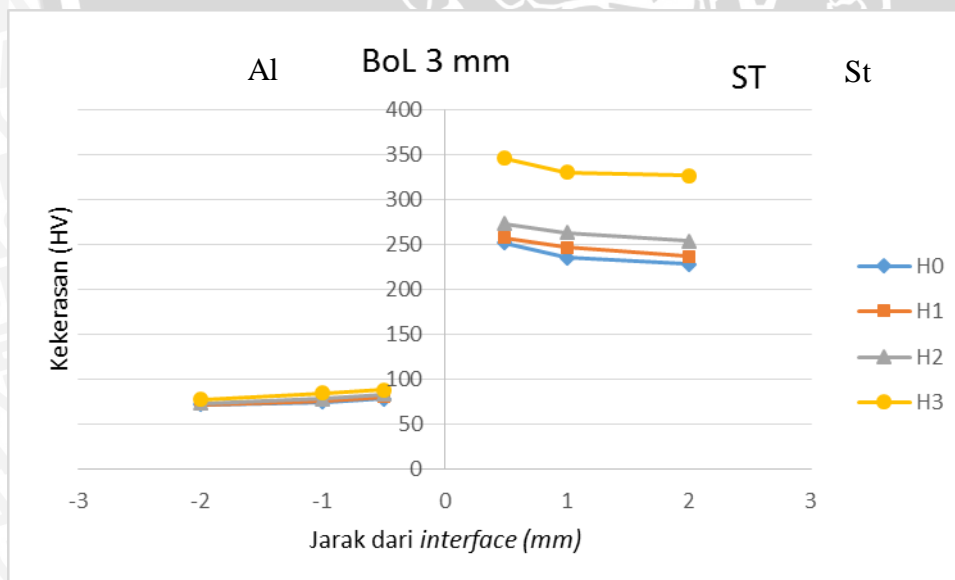
Tabel 4.2
Data Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan

BoL	Tinggi	Kekerasan Al (HV)			Kekerasan St (HV)		
		1	2	3	4	5	6
3	0	72.44	74.98	78.51	251.17	235.63	228.77
	1	71.96	76.53	80.53	257.23	247.17	237.27
	2	73.7	78.43	83.79	273.57	263.5	253.83
	3	77.69	84.72	88.37	346.2	330.33	326.9
5	0	63.83	67.34	69.61	199.43	191.1	190.06
	1	64.05	68.86	74.68	207.23	199.03	188.3
	2	65.64	70.36	74.57	262.83	255.43	247.9
	3	74.03	78.52	86.43	341.17	327.27	315.97
7	0	46.76	49.79	51.98	178.09	169.07	164.86
	1	53.35	52.2	55.81	185.8	174.97	169.03
	2	69.78	71.23	75.23	245.17	230.3	219.87
	3	72.66	75.14	80.53	295.23	277	271.1

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara *Burn-off Length* 3 mm Dengan Variasi Tinggi Kerucut

Dari perhitungan *Burn-off Length* 3 mm diperoleh besar kekerasan pada sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut dapat dilihat pada grafik hubungan antara *Burn-off Length* 3mm dengan variasi tinggi kerucut berikut ini.



Gambar 4.2 Hubungan antara *Burn-off Length* 3 mm terhadap variasi tinggi kerucut

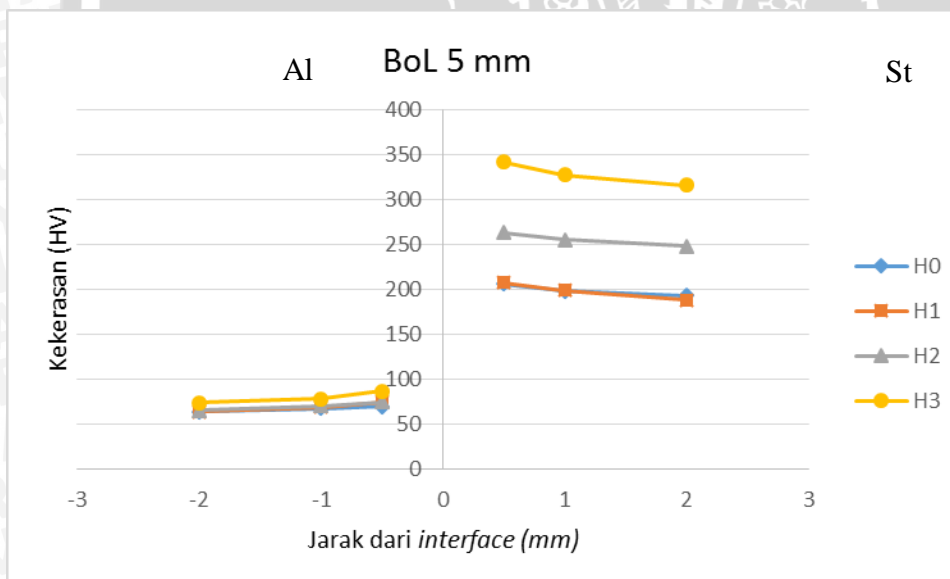
Pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi didapat pada saat tinggi kerucut 3 mm, dengan nilai rata-rata 334.48 HV pada sisi St 41 dan 83.59 HV

pada sisi A6061. Sedangkan kekerasan terendah didapat pada saat tinggi kerucut 0 mm dengan nilai rata-rata 238.52 HV pada sisi St 41 dan 75.98 HV pada sisi A6061.

Hasil diatas menunjukkan bahwa tinggi kerucut mempengaruhi nilai kekerasan pada sambungan las gesek. Semakin besar tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin tinggi sedangkan semakin rendah tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin kecil tinggi kerucut maka luas bidang kontak akan semakin besar sehingga *heat input* yang terjadi akan semakin besar dan mengakibatkan banyak perubahan struktur mikro pada *interface* (daerah kontak saat pengelasan) sehingga nilai kekerasan pada sambungan las menurun.

4.2.2 Hubungan Antara *Burn-off Length* 5 mm Dengan Variasi Tinggi Kerucut

Dari perhitungan *Burn-off Length* 5 mm dengan variasi tinggi kerucut diperoleh besar kekerasan pada sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut dapat dilihat pada grafik hubungan antara *Burn-off Length* 5 mm dengan variasi tinggi kerucut berikut ini.



Gambar 4.3 Hubungan antara *Burn-off Length* 5 mm terhadap variasi tinggi kerucut

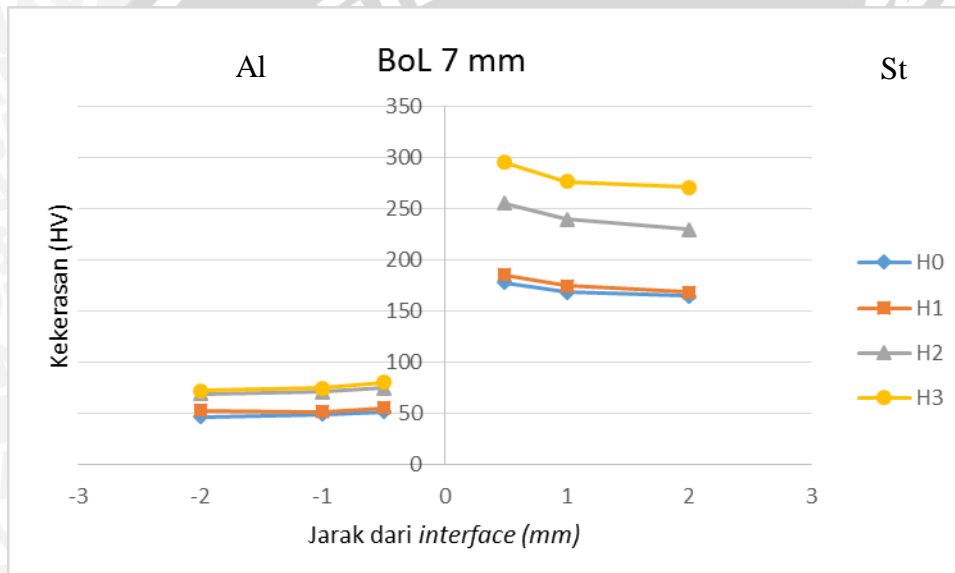
Pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi didapat pada saat tinggi kerucut 3 mm, dengan nilai rata-rata 328.13 HV pada sisi St41 dan 79.66 HV pada sisi A6061. Sedangkan kekerasan terendah didapat pada saat tinggi kerucut 0 mm dengan nilai rata-rata 193.53 HV pada sisi St 41 dan 66.92 HV pada sisi A6061.

Hasil diatas menunjukkan bahwa tinggi kerucut mempengaruhi nilai kekerasan pada sambungan las gesek. Semakin besar tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin

tinggi sedangkan semakin rendah tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin kecil tinggi kerucut maka luas bidang kontak akan semakin besar sehingga *heat input* yang terjadi akan semakin besar dan mengakibatkan banyak perubahan struktur mikro pada *interface* (daerah kontak saat pengelasan) sehingga nilai kekerasan pada sambungan las menurun.

4.2.3 Hubungan Antara Burn-off Length 7 mm Dengan Variasi Tinggi Kerucut

Dari perhitungan *Burn-off Length* 7 mm dengan variasi tinggi kerucut diperoleh besar kekerasan pada sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut dapat dilihat pada grafik hubungan antara *Burn-off Length* 7 mm dengan variasi tinggi kerucut berikut ini.



Gambar 4.4 Hubungan antara *Burn-off Length* 7 mm terhadap variasi tinggi kerucut

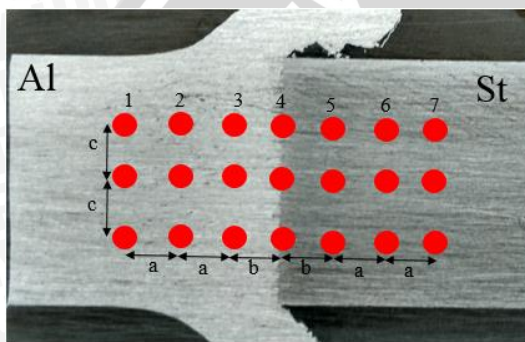
Pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi didapat pada saat tinggi kerucut 3 mm, dengan nilai rata-rata 281.11 HV pada sisi St41 dan 76.11 HV pada sisi A6061. Sedangkan kekerasan terendah didapat pada saat tinggi kerucut 0 mm dengan nilai rata-rata 170.67 HV pada sisi St 41 dan 49.52 HV pada sisi A6061.

Hasil diatas menunjukkan bahwa tinggi kerucut mempengaruhi nilai kekerasan pada sambungan las gesek. Semakin besar tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin tinggi sedangkan semakin rendah tinggi kerucut maka nilai kekerasan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin kecil tinggi kerucut maka luas bidang kontak akan semakin besar sehingga *heat input* yang terjadi akan semakin besar dan mengakibatkan

banyak perubahan struktur mikro pada *interface* (daerah kontak saat pengelasan) sehingga nilai kekerasan pada sambungan las menurun.

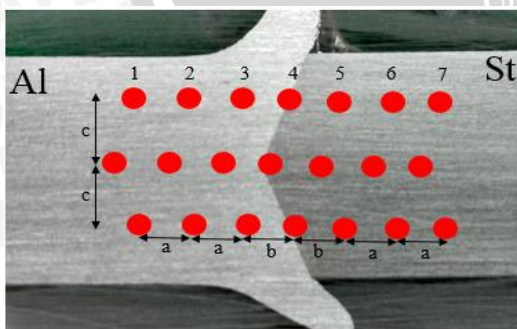
4.2.4 Analisis Nilai Kekerasan Tertinggi dan Terendah Pada Sambungan Las Gesek

Dari semua perhitungan yang sudah dilakukan maka diketahui ada rata-rata nilai kekerasan tertinggi dan terendah dari semua variasi yang sudah diuji. Pada analisa data tertinggi terendah ini spesimen dengan rata-rata nilai kekerasan tertinggi dan terendah masing-masing dilakukan 21 titik uji kekerasan. Titik 4 tepat di *interface*, titik 3 dan 5 berjarak 0.5 mm dari *interface*, titik 2 dan 6 berjarak 1.5 mm dari *interface*, titik 1 dan 7 berjarak 2.5 mm dari *interface*. Gambar pengambilan titik pengujian tertinggi dan terendah ditampilkan pada gambar dibawah ini:



Keterangan: $a = 1 \text{ mm}$
 $b = 0.5 \text{ mm}$
 $c = 3.5 \text{ mm}$

Gambar 4.5 Pengambilan titik pengujian pada spesimen kekerasan terendah



Keterangan: $a = 1 \text{ mm}$
 $b = 0.5 \text{ mm}$
 $c = 3.5 \text{ mm}$

Gambar 4.6 Pengambilan titik pengujian pada spesimen kekerasan tertinggi

Analisis nilai perhitungan data tertinggi dan terendah tersebut dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini:

Tabel 4.3

Data nilai kekerasan tertinggi

	Kekerasan Al (HV)	Kekerasan Interface (HV)	Kekerasan St (HV)
Atas	87.09	194.3	343.5
Tengah	86.56	191.9	336.2
Bawah	90.39	193.1	348.27

Tabel 4.4

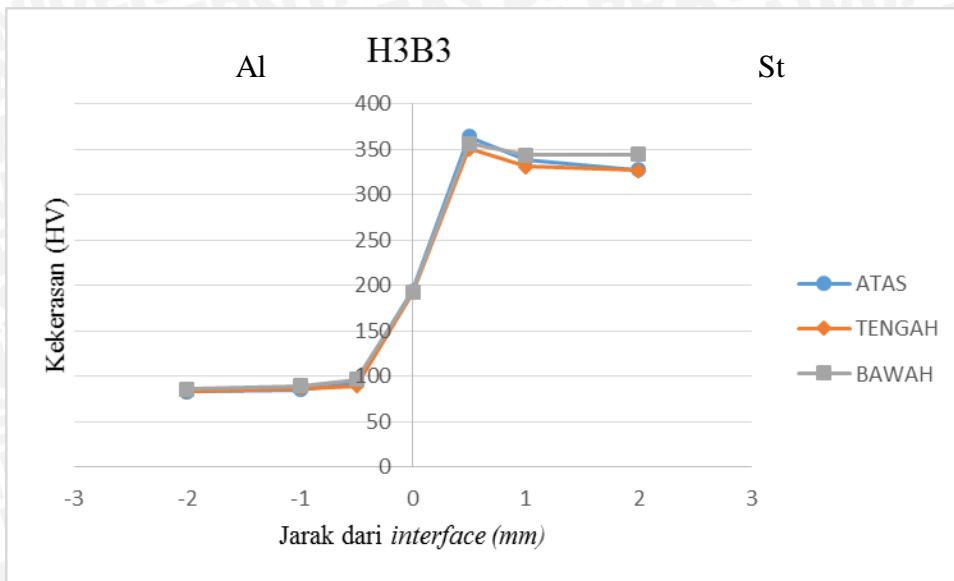
Data nilai kekerasan terendah

	Kekerasan Al (HV)	Kekerasan Interface (HV)	Kekerasan St (HV)
Atas	53.79	114.5	166.87
Tengah	49.18	81.97	162
Bawah	50.89	90.07	169.3

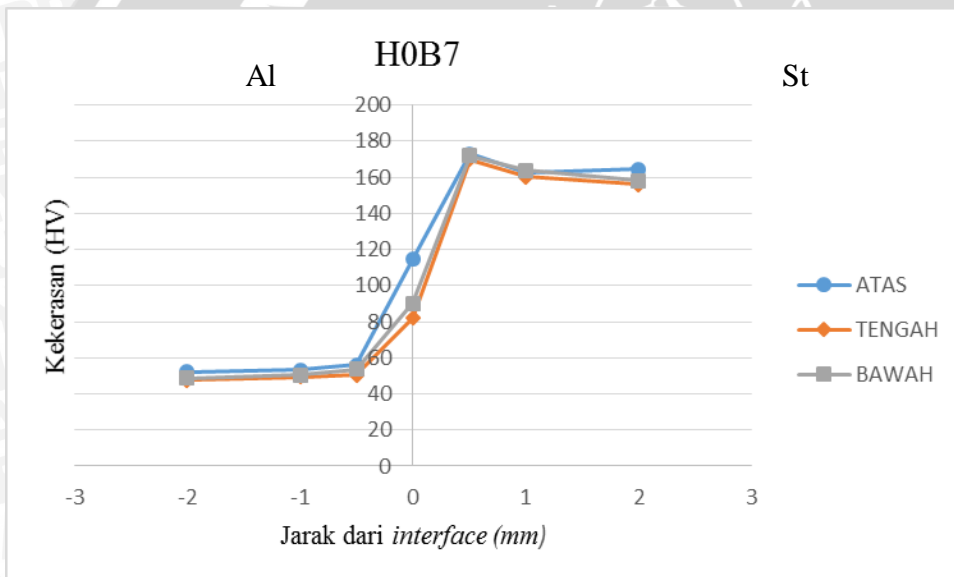
Tabel 4.5

Data nilai kekerasan rata-rata tertinggi dan terendah

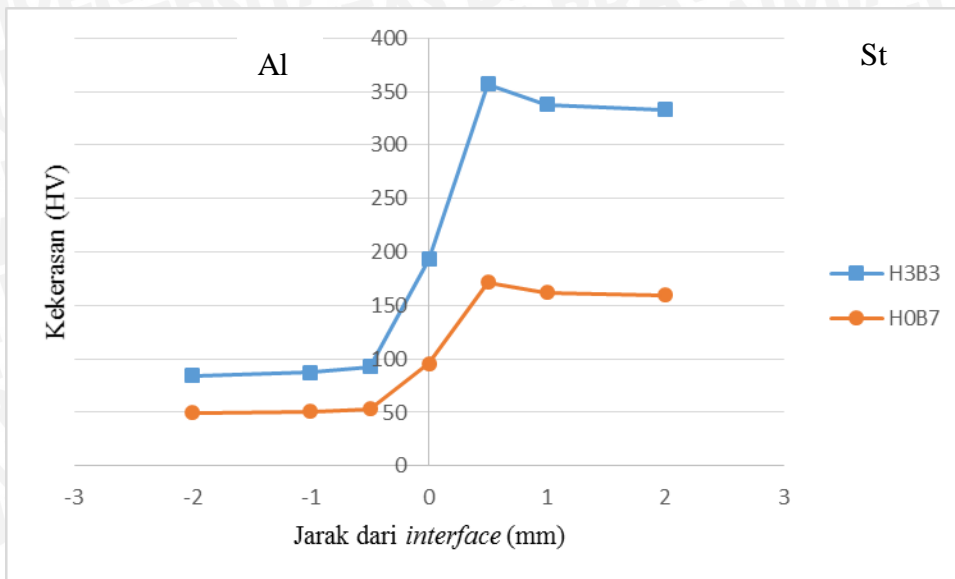
	Kekerasan Al (HV)	Kekerasan interface (HV)	Kekerasan St (HV)
Tertinggi	88.01	193.1	342.66
Terendah	51.29	95.51	166.06



Gambar 4.7 Hasil nilai kekerasan tertinggi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *Burn-off Length* 3 mm



Gambar 4.8 Hasil nilai kekerasan terendah pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *Burn-off Length* 7 mm



Gambar 4.9 Grafik perbandingan variasi rata-rata nilai kekerasan tertinggi dan terendah

Dari grafik diatas dapat diketahui untuk rata-rata nilai kekerasan tertinggi didapat pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* sebesar 3 mm, variasi ini adalah tinggi kerucut tertinggi dan *burn-off length* terendah. Dengan nilai kekerasan rata-rata pada sisi A6061 sebesar 88.01 HV, nilai rata-rata pada sisi St 41 sebesar 342.66 HV dan nilai kekerasan pada *interface* sebesar 193.1 HV.

Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah pada seluruh variasi pengelasan terdapat pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* sebesar 7 mm. Dengan nilai kekerasan rata-rata pada sisi A6061 sebesar 51.29 HV, nilai rata-rata pada sisi St 41 sebesar 166.06 HV dan nilai kekerasan pada *interface* sebesar 95.51 HV.

Nilai kekerasan tertinggi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* 3 mm didapat karena semakin tinggi kerucut maka luas bidang kontak awal saat pengelasan lebih kecil pada daerah las (*interface*) sehingga *heat input* yang terjadi lebih rendah dari pada saat tinggi kerucut 0 mm. Dan semakin kecil *burn-off length* maka *heat input* pada daerah las akan semakin kecil pula dari pada yang memakai *burn-off length* lebih besar dari 3 mm. Jadi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* sebesar 3 mm nilai kekerasan tertinggi dapat terjadi dikarenakan pada variasi ini *heat input* yang terjadi paling kecil dari pada variasi lainnya sehingga daerah HAZ yang terdapat pada sambungan las semakin kecil maka perubahan struktur mikro yang terjadi tidak banyak.

Nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* 7 mm dikarenakan semakin rendah tinggi kerucut maka *heat input* yang terjadi pada saat pengelasan akan semakin besar dari pada menggunakan tinggi kerucut lebih dari 0 mm.

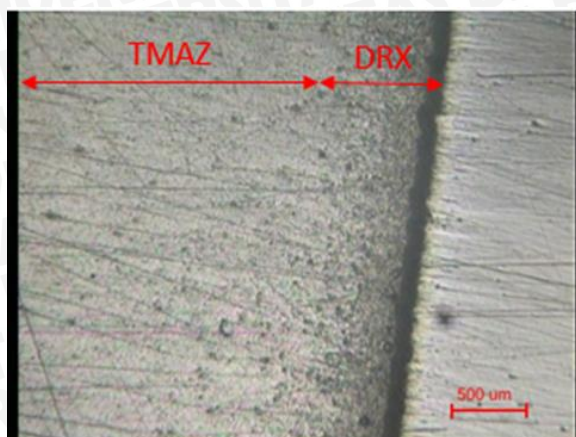
Dan juga semakin besar *burn-off length* maka *heat input* yang terjadi pada daerah las juga akan semakin besar. Maka kekerasan terendah terdapat pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* sebesar 7 mm terjadi karena pada variasi ini *heat input* terbesar terjadi dibandingkan dengan variasi lainnya. Dengan besarnya *heat input* maka daerah HAZ yang terjadi akan semakin besar sehingga terjadi banyak perubahan struktur mikro pada daerah sambungan las gesek ini yang menyebabkan turunnya nilai kekerasan.

4.2.5 Analisis Mikrostruktur Pada Nilai Kekerasan Tertinggi dan Terendah

Pada analisa mikrostruktur ini dilakukan pada dua spesimen, satu spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi dan satu spesimen dengan nilai kekerasan terendah. Spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* 3 mm, sedangkan spesimen dengan nilai kekerasan terendah pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* 7 mm. Foto mikro dilakukan pada spesimen A6061 pada daerah las dengan perbesaran optik sebesar 100x. Hasil foto mikro dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.10 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekerasan tertinggi



Gambar 4.11 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekerasan terendah

DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) adalah zona yang terbentuk karena deformasi plastis dan karena suhu yang tinggi serta memiliki butiran yang halus. Lebar ukuran DRX dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu panas yang terjadi selama pengelasan dan tekanan yang diberikan. Karena tekanan hidrolis yang diberikan disini sama semua pada setiap spesimen yaitu 7000 N saat *friction* dan 17500 N saat *upset*, maka yang mempengaruhi lebar DRX adalah suhu yang dihasilkan tiap-tiap spesimen.

Pada hasil foto mikro dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi (Gambar 4.10) memiliki struktur butir yang lebih kecil, halus dan padat, dengan kecil nya ukuran struktur mikro maka nilai kekerasan akan semakin besar pula. Ukuran butir pada variasi ini kecil dikarenakan *heat input* yang terjadi lebih kecil dari pada variasi lainnya. Pada spesimen dengan kekerasan tertinggi didapat suhu *flash* saat pengelasan 46,8°C, suhu tersebut merupakan suhu terkecil dari semua variasi. Dengan kecilnya *heat input* maka struktur butirnya juga lebih kecil serta daerah yang terdeformasi semakin kecil. Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa daerah DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) berukuran sempit yang berarti daerah yang terdeformasi plastis semakin sedikit.

Pada spesimen dengan nilai kekerasan terendah (Gambar 4.11) terlihat pada hasil foto mikro bahwa struktur butirnya memiliki ukuran yang besar dan tidak padat distribusi butirnya. Ukuran struktur butirnya besar dikarenakan *heat input* yang terjadi pada variasi ini paling besar dibandingkan dengan variasi lainnya. Suhu *flash* yang dihasilkan pada saat kekerasan terendah yaitu 108,1°C yang merupakan suhu tertinggi dari semua variasi. Dengan besarnya *heat input* maka struktur butirnya membesar dan daerah yang terdeformasi semakin luas yang menyebabkan nilai kekerasannya rendah dibanding dengan yang memiliki struktur butir lebih kecil. Semakin besar suhu juga menyebabkan zona DRX nya lebih lebar dari yang memiliki kekerasan tertinggi yang berarti daerah HAZ semakin luas.

Dengan semakin lebarnya daerah DRX menunjukkan bahwa semakin besarnya suhu yang mempengaruhi daerah las tersebut sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) juga semakin lebar. Semakin lebarnya DRX menunjukkan semakin lebarnya daerah yang mengalami perubahan struktur mikro. Dengan semakin lebarnya daerah yang mengalami perubahan struktur mikro maka kekerasannya akan rendah karena struktur mikronya berukuran besar.

