

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Ardiyanto (2017) telah meneliti tentang pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap kekuatan tarik aluminium 6061 pada pengelasan *tungsten inert gas (tig)* dengan variasi sudut kampuh (50° , 85° dan 120°) dan kuat arus (60 A, 110 A dan 160 A). Hasil yang diperoleh menjelaskan bahwa Penggunaan kuat arus dan sudut kampuh yang kecil meningkatkan terjadinya cacat pada hasil las sehingga menurunkan kekuatan tariknya. Berdasarkan uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 160 A sebesar $16,45 \text{ kg/mm}^2$, kekuatan tarik terendah terjadi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 60 A sebesar $1,27 \text{ kg/mm}^2$.

Rahmanto (2016) telah melakukan penelitian tentang analisis sifat mekanik dan struktur mikro aluminium 6061 hasil pengelasan *friction welding* dengan variasi kecepatan putaran dan tekanan *upset*. Dalam penelitian yang dilakukan, peneliti menggunakan beberapa variasi, yaitu: tekanan gesek dibuat konstan (15 MPa), waktu gesek dibuat tetap (60 detik), tekanan *upset* (50 MPa, 60 MPa), waktu *upset* (30 detik), putaran mesin (600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm). Hasil pengujian menyimpulkan bahwa besarnya tekanan *upset* berpengaruh pada hasil lasan, hal ini dibuktikan dengan adanya cacat las pada tekanan *upset* 50 MPa pada saat dilakukan pengujian struktur mikro.

Prasetyono dkk (2012) melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon AISI 1045. Penelitian tersebut menggunakan variasi parameter sebagai berikut: tekanan gesek (5,98 MPa, 11,96 MPa, 17,94 MPa), putaran mesin dibuat konstan (4124 Rpm), waktu gesek 70 detik, 90 detik), waktu *upset* (2 detik), dan tekanan *upset* (23,93 MPa, 33,5 MPa, 52,64 MPa). Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin bertambahnya tekanan gesek serta tekanan *upset* akan membuat ikatan lasan

menjadi semakin baik, hal ini juga dibuktikan dengan pengujian struktur mikro dimana terdapat banyak struktur mikro berupa perlit.

Subiyanto dkk (2016) melakukan penelitian tentang studi eksperimen pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa pengelasan gesek (FW) terhadap kekuatan tarik dan impact pada baja AISI 1045. Penelitian tersebut menggunakan beberapa parameter, antara lain: putaran mesin dibuat konstan (4200 Rpm), waktu gesek (50 detik, 70 detik, 90 detik), tekanan gesek (6 MPa, 12 MPa dan 18 MPa), dan tekanan *upset* (24 MPa, 34 MPa, 53 Mpa). Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa semakin bertambahnya tekanan *upset* maka kekuatan hasil lasan semakin besar pula hal ini dibuktikan dari hasil lasan dimana kekuatan sambungan terbesar pada tekanan *upset* 53 Mpa dan kekuatan terkecilnya pada tekanan *upset* 24 Mpa.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa terdapat parameter penting yang perlu diperhatikan dalam penyambungan menggunakan metode *continuous drive friction welding*, yaitu: waktu gesek, tekanan gesek, waktu *upset*, tekanan *upset*, dan kecepatan putar mesin. Penggunaan parameter tersebut akan berpengaruh terhadap kekuatan sambungan yang dihasilkan. Berdasarkan fakta tersebut maka penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan parameter yang sesuai dalam proses penyambungan logam silinder pejal aluminium 6061 T6 perlu dilakukan agar dapat memperoleh sambungan dengan kekuatan tarik yang maksimal.

2.2 Dasar Teori

DIN (*Deutsche Industrie Normen*) mendefenisikan pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang dilakukan pada saat kondisi lumer atau cair. Dapat juga diartikan, pengelasan merupakan suatu proses penyambungan logam yang terjadi karena panas baik dengan pengaruh tekanan ataupun tanpa dipengaruhi tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang dihasilkan karena gaya tarik menarik yang terjadi antar atom. Pengelasan dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya: pengelasan fusi (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressure welding*), dan pematrian

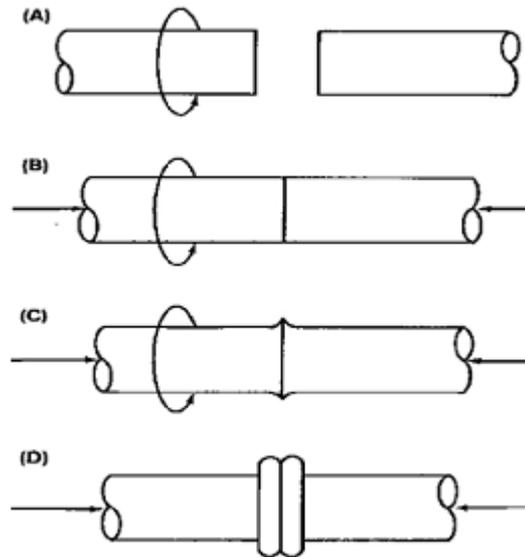
(*brazing*). Pengelasan fusi adalah cara pengelasan yang pada prosesnya sambungan dipanaskan hingga mencair menggunakan sumber panas yang diperoleh dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar. Pengelasan tekan adalah metode pengelasan yang pada prosesnya sambungan dipanaskan setelah itu kemudian dilakukan penekanan hingga menjadi satu. Pematrian adalah metode pengelasan yang pada prosesnya sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam dimana logam tersebut mempunyai titik cair rendah. Dalam metode ini logam induk tidak ikut mencair.

2.2.1 Friction Welding

Friction welding adalah pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat (*solid state*). Proses pengelasan dilakukan dengan suhu yang lebih kecil dari titik lebur material las tersebut. Pada pengelasan gesek terjadi proses penyambungan yang kompleks, karena didalamnya terdapat fenomena fisik, perubahan panas akibat gesekan, deformasi plastis, perubahan struktur dan sebagainya. Dilihat dari prosesnya ada beberapa jenis *friction welding*, di antaranya: *friction stir welding*, *linear friction welding* dan *continuous drive friction welding*

2.2.1.1 Continuous drive friction welding (CDFW)

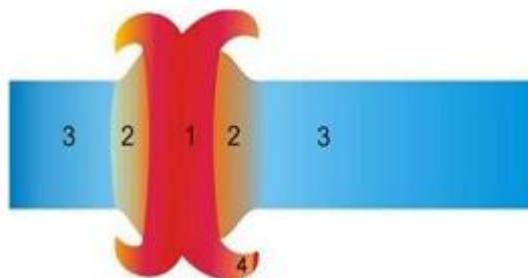
Continuous drive friction welding atau *Rotary friction welding* merupakan pengelasan yang terjadi karena panas yang dihasilkan dari gesekan kedua ujung permukaan benda kerja. Gesekan yang terjadi disebabkan karena adanya panas yang timbul dari kedua ujung permukaan benda kerja dan pemberian beban antara material yang berputar dan material yang diam atau keduanya berputar berlawanan arah. Pada proses penyambungannya CDFW mempunyai beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan. Beberapa parameter penting pada proses penyambungan CDFW meliputi waktu gesek, kecepatan putar, tekanan gesek, waktu *upset*, dan tekanan *upset*. Penggunaan parameter diatas akan mempengaruhi sifat mekanik dari hasil sambungan las gesek (Prasetyono dkk, 2012). Tahap awal penyambungan CDFW (Gambar 2.1) dimulai dari menentukan parameter yang akan digunakan dan penyiapan benda kerja.



Gambar 2.1. Tahapan penyambungan CDFW (Surendran, 2012)

Langkah berikutnya memasang benda kerja pada mesin, satu benda kerja diposisikan dalam keadaan diam, sedangkan lainnya ditempatkan dalam keadaan berputar (A). Jika kecepatan putaran dari benda kerja sudah sesuai, antar benda kerja kemudian disatukan (B). Setelah benda kerja saling bergesekan kemudian diberikan tekanan gesek dan disesuaikan lama waktu gesek sesuai yang diinginkan (C). Setelah waktu gesek tercapai kemudian mesin dihentikan dan terakhir diberikan tekanan *upset* selama waktu *upset* yang direncanakan (D).

Pada proses penyambungan CDFW gesekan antara permukaan benda kerja menimbulkan panas yang tinggi. Adanya panas tersebut akan mempengaruhi sifat mekanis dan metalurgi dari benda kerja (Sahin, 2010). Pada proses pengelasan, secara umum dapat dikategorikan beberapa daerah hasil pengelasan (Gambar 2.2), yaitu (Muhammad, 2014):

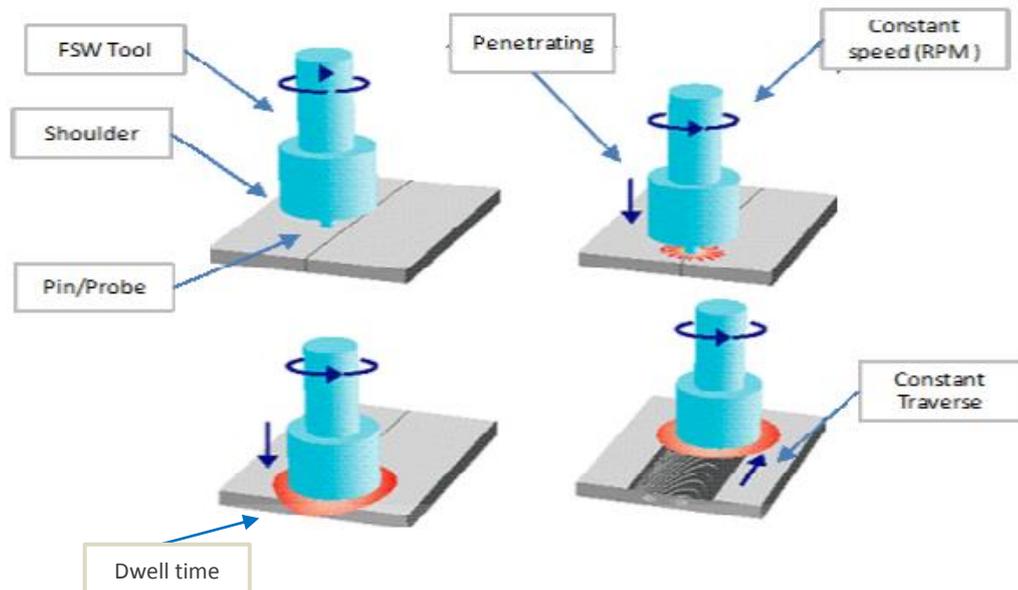


Gambar 2.2 Daerah pengelasan (Prabowo, 2017)

1. Daerah inti atau daerah utama pengelasan merupakan daerah dimana terjadi pencairan kemudian membeku kembali sehingga terjadi perubahan struktur mikro serta sifat mekaniknya.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah terkena pengaruh panas, adalah daerah dimana tidak terjadi pencairan maupun pembekuan namun mengalami pengaruh panas sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro.
3. *Base Metal* (BM) atau logam induk, merupakan daerah dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur mikro maupun sifat mekanik.
4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.

2.2.1.2 Friction Stir Welding (FSW)

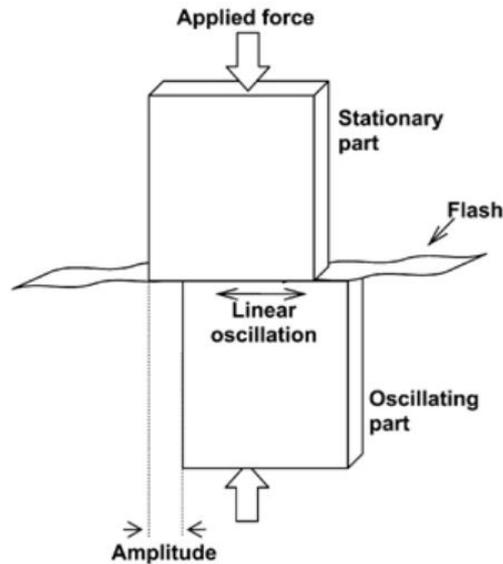
Metode dasar pada proses pengelasan FSW sangat sederhana, yaitu *non-consumable rotating tool* dengan bentuk tertentu digunakan untuk menyambungkan dua benda kerja. *Friction stir welding* merupakan pengelasan *solid state*, dimana tool dengan bentuk silindris yang mempunyai *shoulder* serta pin yang ditempatkan diantara dua buah benda kerja yang akan disambungkan. Pada penyambungan FSW adanya gesekan pin serta *shoulder* dengan logam induk menghasilkan panas yang menyebabkan terjadinya pelunakan logam induk sehingga memungkinkan terjadinya proses penyambungan antar benda kerja. Pin dan *shoulder* dari *tool* yang bergesekan dengan benda kerja menyebabkan timbulnya panas pada saat penyambungan. Panas yang ditimbulkan menyebabkan material melunak tanpa melewati titik leburnya (Fery *et al*, 2012).



Gambar 2.3 Prinsip kerja FSW (Rahayu, 2012)

2.2.1.3 *Linier Friction Welding (LFW)*

Berdasarkan proses penyambungannya *linier friction welding* termasuk jenis pengelasan *solid state*, dimana proses penyambungan terjadi akibat adanya gesekan antara satu benda kerja yang berada dalam posisi diam dan diberikan tekanan dengan benda kerja lain yang bergerak secara linier yang mengakibatkan ujung benda kerja yang saling bergesekan melumer yang memungkinkan terjadinya proses penyambungan antara dua benda kerja tersebut (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Proses penyambungan LFW (Bahmji *et al*, 2013)

2.2.2 Keunggulan dan kelemahan *friction welding*

Proses penyambungan menggunakan *Friction welding* mempunyai beberapa keunggulan, Adapun keunggulannya adalah sebagai berikut:

1. Pada proses penyambungan menggunakan *friction welding* tidak diperlukan logam pengisi.
2. Pada *friction welding* pengontrolan yang dilakukan sedikit, tidak seperti pada pengelasan busur listrik.
3. Proses *friction welding* dapat digunakan pada penyambungan dua logam yang sama maupun berbeda.
4. Hemat biaya.
5. Tidak menghasilkan asap maupun percikan api pada prosesnya (Prabowo, 2017).

Meskipun memiliki banyak keunggulan *friction welding* juga memiliki kelemahan, diantaranya:

1. *Friction welding* kurang maksimal dalam penyambungan benda kerja dengan bentuk persegi atau kotak.
2. Biaya yang mahal untuk investasi mesin.
3. Pada penggunaannya *friction welding* hanya untuk keperluan tertentu saja (Iswar dkk, 2012).

2.2.3 Aplikasi *friction welding*

Penggunaan teknologi *friction welding* banyak digunakan untuk penyambungan material sejenis maupun beda jenis mengingat efisiennya pengelasan tersebut baik dari segi ekonomi maupun waktu pengelasan. Pengelasan jenis ini banyak digunakan untuk penyambungan material dengan bentuk tertentu namun umumnya berbentuk silinder dimana las lain tidak dapat melakukan penyambungan secara menyeluruh pada bagian tertentu dari material tersebut. Berikut merupakan beberapa contoh aplikasi dari penyambungan *friction welding* (gambar 2.5)



Gambar 2.5 Aplikasi penyambungan friction welding (*mtiwelding.com*, 2017)

2.2.4 Aluminium

Aluminium adalah logam ringan yang mempunyai daya hantar listrik yang baik, tahanan korosi yang baik, dan berbagai sifat baik lainnya sebagai logam.

Adapun penambahan berbagai unsur dapat digunakan untuk menaikkan kekuatan mekanik dari aluminium. Penambahan unsur Mg, Mn, Ni, Si, Zn, Cu, dan berbagai unsur lainnya baik satu persatu maupun bersamaan mampu menaikkan sifat dari aluminium, beberapa sifat tersebut diantaranya ketahanan aus, ketahanan korosi, dan koefisien pemuaian rendah (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Aluminium

Aluminium ditemukan sebagai suatu unsur pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy, dan direduksi sebagai sebuah logam pertama kali oleh H. C. Oersted pada tahun 1825, serta untuk industry pada tahun 1886. Salah satu cara yang masih digunakan untuk memproduksi aluminium sampai sekarang adalah dengan proses elektrolisis dari garam yang terfusi. Cara ini ditemukan oleh Paul Heroult dan C. M. Hall yang dikenal dengan proses Heroult Hall (Saito dkk, 1999)

Secara umum aluminium dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu aluminium murni dan paduan aluminium:

2.2.4.1 Aluminium murni

Aluminum didapat dengan proses elektrolisa dalam keadaan cair, pada umumnya kemurnian yang dicapai 99,85% berat. Jika dilakukan elektrolisa lagi

kemurnian yang dapat mencapai 99.99% berat. Sifat fisik dan mekanik aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Sifat - sifat fisik aluminium (Saito dkk, 1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	>99.0
Masa jenis (20°C)	2.6989	2.71
Titik cair	660.2	653-657
Panas jenis (cal//g°C)(100°C)	0.2226	0.2297
Hantaran listrik (%)	64.94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (/°C)	0.00429	0.0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	23.86×10^{-6}	23.5×10^{-6}
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a=4.013 kX	Fcc, a=4.04 Kx

Catatan : fcc : face centered cubic = kubus berpusat muka

Tabel 2.2 Sifat – sifat mekanik aluminium (Saito dkk, 1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99.996		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4.9	11.6	9.3	16.9
Kekuatan mulur (0.2%)(kg/mm ²)	1.3	11.0	3.5	14.8
Perpanjangan (%)	48.8	5.5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Ketahanan aluminium terhadap korosi berbanding lurus dengan kemurniannya, semakin tinggi tingkat kemurniannya maka semakin tinggi juga ketahanannya terhadap korosi. Untuk aluminium dengan kemurnian $\geq 99,9\%$ mampu bertahan bertahun – tahun jika digunakan di udara. Daya hantar listri dari aluminium kira- kira 65% jika dibandingkan dengan kemampuan hantaran listri dari tembaga, namun aluminium mempunyai masa jenis sepertiganya tembaga, jadi perluasan penampang memungkinkan untuk dilakukan (Saito dkk, 1999). Oleh sebab itu memungkinkan untuk menggunakannya sebagai kabel tenaga dan dalam bermacam bentuk lainnya, misalnya: lembaran yang tipis (*foil*), reflector, dan kondensor elektrolitik.

2.2.4.2 Paduan aluminium

Paduan aluminium mempunyai klasifikasi standar yang beragam. Klasifikasi yang sempurna dan sangat terkenal yaitu standar Aluminium Association di Amerika (AA) dimana standar tersebut berdasar standar terdahulu oleh Alcoa (Aluminium Company of America). Paduan tempa dinyatakan oleh satu atau dua angka "S". Dan untuk paduan coran dengan tiga angka. Empat angka digunakan dalam penandaan standar AA, dimana angka yang pertama yaitu menyatakan tentang sistem paduan dengan unsur yang telah ditambah, yaitu : 1 : Al murni, 2 : Al-Cu, 3 : Al-Mn, 4 : Al-Si, 5 : Al-Mg, 6 : Al-Mg-Si, dan 7 : Al-Zn. Angka kedua yaitu menyatakan dari kemurnian pada Al murni dan paduan yang dimodifikasi, untuk angka ketiga dan keempat sebagai tanda untuk Alcoa terdahulu kecuali S. Al yang kemurniannya 99,0% atau lebih dinyatakan dengan 1100. Untuk klasifikasi paduan tempa dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan (Saito dkk, 1999)

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99.5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99.0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan paduan utama
6061-6069		Mg ₂ Si merupakan paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan paduan utama

Pada paduan aluminium telah dikenal adanya perubahan karena perlakuan bahan. Table 2.4 menyatakan hal tersebut.

Tabel 2.4 Klasifikasi perlakuan bahan (Saito dkk, 1999)

Tanda	Perlakuan
F	Setelah pembuatan
O	Dianil penuh
H	Pengerasan regangan
H 1 n	Pengerasan regangan
H 2 n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
H 3 n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan $n=2$ (1/4 keras), 4 (1/2 keras), 6 (3/4 keras), 8 (keras), 9 (sangat keras)
T	Perlakuan panas
T2	Penganilan penuh (hanya untuk coran)
T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

1. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan coran dimana didalamnya terkandung 4-5% Cu, ternyata mempunyai penyusutan besar, mempunyai resiko kegetasan terhadap panas yang besar, dan mudahnya terjadi retakan terhadap coran. Keadaan ditersebut bisa dikurangi dengan adanya Si. Dengan adanya perlakuan panas T6 terhadap coran, maka kekuatan tarik dari bahan dapat mencapai kira-kira 25 kgf/mm².

Pada paduan Al-Cu-Mg dimana didalamnya terkandung 4% Cu dan 0,5% Mg mampu mengeras oleh penuaan pada temperatur biasa dalam waktu beberapa hari setelah pelarutan. Jika sebuah paduan didalamnya terkandung Cu maka kemampuan tahan korosi dari paduan itu jelek, oleh sebab itu jika memerlukan ketahanan korosi yang baik maka Al murni diperlukan untuk melapisi permukaan dari paduan tersebut.

2. Paduan Al-Mn

Unsur Mn merupakan unsur dimana jika dipadukan dengan Al ketahanan korosi dari Al tidak menurun serta memperkuat Al, sehingga digunakan dalam menciptakan paduan yang tahan terhadap korosi.

3. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si mempunyai berbagai sifat baik sebagai aluminium paduan, antara lain : permukaan yang bagus, tahan korosi, sangat ringan, koefisien pemuaian kecil, tidak getas terhadap panas, dan konduktor yang baik untuk panas maupun listrik. Berdasarkan dari berbagai sifat baik tersebut, maka aluminium jenis ini menjadi banyak digunakan. Misalnya digunakan untuk cor cetak dengan Al-12% Si. Pada paduan ini tidak diperlukan adanya modifikasi, namun jika memerlukan modifikasi untuk memperbaiki sifatnya dengan perlakuan panas, maka ditambah Cu, Mg, dan Ni guna memberi kekerasan saat panas. Tabel 2.5 menunjukkan Kekuatan tarik panas paduan Al-Si-Ni-Mg-Cu.

Tabel 2.5 Kekuatan tarik panas paduan Al-Si-Ni-Mg-Cu (Saito dkk, 1999)

Paduan	Perlakuan	Temperatur uji (°C)	Sifat-sifat mekanik		
			Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)
Alcoa 32S Al-12.5Si-1.0Mg- 0.9Cu-0.9Ni (untuk dibentuk)	T6: 510-521°C, 4 jam dicelup dingin di air, 160-174 °C, 6-10 jam penuaan	24	39.2	32.2	8
		204	11.2	7.7	30
		316	4.2	2.5	60
		371	2.5	1.4	120
Alcoa A 132 Al-12Si-2.5Ni-1.2Mg- 0.8Cu (untuk dicor cetak)	T551: 168-174 °C, 14- 18 jam dianil, Tanpa perlakuan pelarutan	24	25.2	19.6	0.5
		204	16.1	9.5	2.0
		316	7.7	3.5	8.0
Alcoa D 132 Al-9Si-3.5Cu-0.8Mg- 0.8Ni (umyul docor cetak)	T5: 204°C, 7-9 jam dianil, Tanpa perlakuan prlarutan	24	25.2	19.6	1.0
		204	14.4	9.1	5.0
		316	6.3	4.2	20.0
		371	3.9	2.8	40.0

4. Paduan Al-Mg

Paduan ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, atau disebut hidronalium. Ketahanan korosi mampu dipengaruhi oleh Fe dan Cu, sehingga perlu diperhatikan terhadap unsur pengotor yang tercampur.

Paduan yang mudah ditempa, diekstruksi dan dirol adalah paduan dengan tambahan 2-3% Mg. Paduan yang biasanya sebagai bahan tempaan adalah paduan 5052 pada sistem ini paduan 5056 merupakan yang paling kuat yang pada penggunaannya dikeraskan terlebih dahulu oleh pengerasan regangan jika membutuhkan kekerasan yang tinggi. Paduan yang mudah dilas serta kuat adalah paduan 5083 dengan paduan antara 4,5% Mg. Sifat mekanik paduan Al-Mg ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Table 2.6 Sifat mekanik paduan Al-Mg (Saito dkk, 1999)

Paduan	Keadaan	Sifat-sifat mekanik					
		Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (0.2%) (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan Brinell	Batas leleh 5x10 ⁸ (Kgf/m ²)
5052 (Al-2.5Mg-0.25Cr)	O	21.9	8.4	30	12.7	45	12.0
	H38	28.8	25.3	8	16.9	85	13.4
5056 (Al-5.2Mg-0.1Mn-0.1Cr)	O	29.5	15.5	35	18.3	-	14.1
	H18	43.6	40.8	6	23.2	-	15.5

5. Paduan Al-Mg-Si

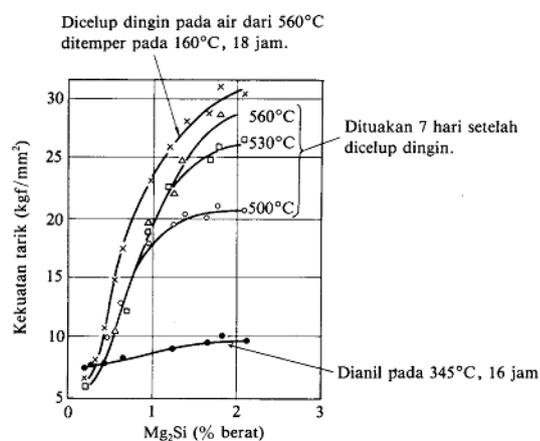
Al yang ditambah dengan sedikit Mg, maka pengerasan karena penuaan jarang terjadi, namun jika mengandung Si memungkinkan untuk dikeraskan dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Hal ini terjadi karena Mg₂Si berkelakuan sebagai komponen murni dan mengakibatkan keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al.

Paduan ini jika dibandingkan dengan paduan lainnya sebagai bahan tempaan maka kurang baik, namun paduan ini sangat liat, sangat mampu bentuk dalam temperatur biasa, tahan korosi, mampu bentuk pada ekstruksi, serta dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Paduan pada sistem ini banyak digunakan untuk rangka konstruksi karena mempunyai hantaran listrik

yang baik serta kekuatan yang cukup baik. Pencampuran senyawa lain seperti: Fe, Cu, dan Mn dapat mengakibatkan hantaran listrik menjadi tinggi, maka perlu untuk dihindari. Beberapa contoh dari aplikasi penggunaan aluminium 6061 dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Aplikasi penggunaan aluminium 6061 (www.sidharthametals.com)



Gambar 2.8 Pengaruh kadar MgSi pada kekuatan tarik paduan Al-Mg₂Si (Saito dkk, 1999)

Grafik 2.8 menunjukkan kekuatan setelah penuan dan kadar Mg_2Si . Perlakuan pelarutan pada $500^{\circ}C$, pencelupan serta ditemer selama 18 jam pada $160^{\circ}C$ mampu mengeraskan paduan secara maksimum.

Tabel 2.7 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Mg-Si (Saito dkk, 1999)

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (Kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (Kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (Kgf/mm ²)	Kekerasan Brinell	Batas leleh (Kgf/mm ²)
6061	O	12.6	5.6	30	8.4	30	6.3
	T4	24.6	14.8	28	16.9	65	9.5
	T6	31.6	28.0	15	21.0	95	9.5
6063	T5	19.0	14.8	12	11.9	60	6.7
	T6	24.6	21.3	12	15.5	73	6.7
	T83	26.0	24.6	11	15.5	82	-

Table 2.7 menunjukkan contoh perlakuan panas serta sifat mekanik paduan pada istem ini.

6. Paduan Al-Mg-Zn

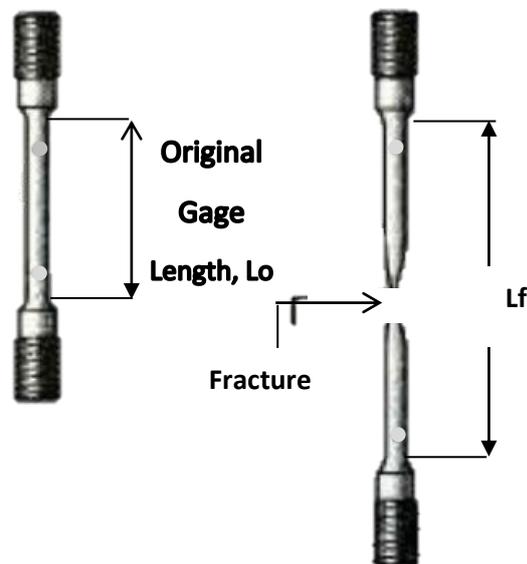
Pada sistem ini paduan yang dihasilkan dapat dijadikan sangat kuat dengan adanya penuan setelah pelarutan, namun paduan ini mempunyai sifat patah getas yang disebabkan retakan korosi tegangan. Tahun 1940 seseorang bernama Igarashi dkk di Jepang membuat suatu penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan suatu paduan, pada penelitiannya dia berhasil menemukan adanya penambahan kira-kira 0,3%Mn atau Cr. Pada paduan tersebut batas butir Kristal bisa diperhalus, retakan korosi tegangan tidak terjadi, dan bentuk presitipasi berubah. Amerika Serikat juga mengembangkan suatu paduan yang mengandung Al-5,5%Zn-2,5%Mn-1,5%Cu-0,3%Cr-0,2%Mn atau biasa dikenal dengan paduan 7075 dimana paduan tersebut memiliki kekuatan tertinggi dibandingkan paduan yang lainnya. Table 2.8 menunjukkan sifat sifat mekanik paduan 7075 (Saito dkk, 1999).

Table 2.8 Sifat-sifat mekanik paduan 7075 (Saito dkk, 1999)

Perlakuan Panas	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)		Kekerasan		Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Batas leleh (kgf/mm ²)
			(a)	(b)	Rockwell	Brinell		
O	23.2	10.5	17	16	E60-70	60	15.5	-
T6	58.4	51.3	11	11	B85-95	150	33.8	16.2

2.2.5 Pengujian kekuatan tarik

Pengujian tarik adalah metode yang banyak dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material. Sifat yang bisa diketahui dari pengujian ini antara lain: keuletan, kekutan, modulus elastisitas, ketangguhan, serta kemampuan *strain-hardening* suatu material. Material yang akan di uji biasanya berbentuk silinder pejal, namun bisa juga dalam bentuk datar ataupun pipa. Spesimen yang akan di uji tarik biasanya disiapkan berdasar pada standar JIS, DIN, atau ASTM (Gambar 2.9) (Rahmanto, 2016).



Gambar 2.9 Spesimen uji tarik (Rahmanto, 2016)

Proses uji tarik dilakukan dengan cara menjepit kedua ujung dari benda uji kemudian satu ujung benda uji dihubungkan ke perangkat pengukur dari mesin dan ujung yang lain dihubungkan dengan perangkat peregang. Setelah itu spesimen uji tarik diberikan beban berupa gaya tarik secara kontinu, secara bersamaan dilakukan juga pengamatan perpanjangan pada spesimen yang di uji. Data yang dihasilkan kemudian akan ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan regangan. Seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Grafik tegangan regangan (Sastranegara, 2009)

Uji tarik dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan data, yaitu: sifat mekanik dan karakteristik perpatahan dari material yang diuji

2.2.5.1 Sifat mekanik material

Uji tarik pada logam atau non logam akan memberikan hasil yang relatif lengkap dari material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Data yang dapat diketahui, antara lain:

1. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)
 Batas proporsionalitas adalah batas tegangan dan regangan memiliki hubungan proporsionalitas satu dengan yang lain. Bertambahnya tegangan, bertambah pula regangannya secara proporsional.
2. Batas elastis (*elastic limit*)
 Batas elastis merupakan daerah yang jika tegangan luar dihilangkan maka panjang material kembali seperti semula. Daerah proporsionalitas adalah bagian dari batas ini. Kemudian jika bahan diberi tegangan secara terus menerus maka akan mengakibatkan deformasi plastis pertama kali.
3. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)
 Titik tersebut adalah batas material terus mengalami deformasi tanpa ada penambahan beban. Tegangan luluh (*yield stress*) adalah Tegangan (*stress*) dimana akan mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh. Gejala luluh merupakan gejala yang umum dijumpai pada logam ulet dengan struktur Kristal FCC dan BCC yang membentuk *interstitial solid solution* dari atom boron, carbon, oksigen, dan hidrogen. Titik luluh atau kekuatan luluh

adalah kemampuan dari suatu bahan untuk menahan deformasi plastis jika digunakan pada struktural dimana pembebanan mekanik seperti puntir, bending atau tarik terlibat didalamnya. Titik luluh sendiri harus dicapai atau dilewati jika bahan digunakan pada proses manufaktur seperti *drawing*, *rolling*, *stretching* dan lain sebagainya.

4. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Kekuatan tarik maksimum adalah kekuatan sebuah material untuk menanggung tegangan maksimal sebelum material tersebut patah. Kekuatan tarik maksimum merupakan batas yang tidak diperbolehkan untuk dilewati.

5. Kekuatan putus (*breaking strength*)

Cara menentukan kekuatan ini dengan cara beban saat material putus dibagi luas penampang awal. Pada bahan ulet mekanisme (*necking*) akan terjadi dikarenakan adanya deformasi yang terlokalisasi. Fenomena tersebut terjadi ketika bahan melampaui beban maksimum dan terus terjadi deformasi hingga titik putus. Pada yang bersifat getas, kekuatan putus mempunyai kekuatan yang sama dengan kekuatan maksimum, sedangkan pada bahan yang bersifat ulet, kekuatan putusnya akan lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan maksimum.

6. Keuletan (*ductility*)

Keuletan adalah gambaran dari suatu logam untuk menahan deformasi sampai terjadi patahan. Bahan yang akan dibentuk dengan proses tertentu, seperti: *rolling*, *stretching*, *bending*, *hammering*, *drawing*, dan *cutting* harus memiliki sifat tersebut. Mengukur keuletan menggunakan pengujian tarik bisa dilakukan dengan:

1. *Elongasi* (persentase perpanjangan)

Elongasi didapat dengan cara membagi perubahan panjang material terhadap panjang ukur awal dari material yang diuji.

$$\text{Elongasi, } \varepsilon (\%) = \left[\frac{(L_f - L_0)}{L_0} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan : - L_f merupakan panjang akhir material uji

- L_0 merupakan panjang awal material uji

7. Modulus elastisitas (E)

Modulus elastisitas merupakan kekakuan dari material tertentu. Semakin besar modulus elastisitas suatu material maka suatu material akan semakin kaku. Ukuran nilai modulus hanya dapat dirubah dengan merubah struktur dari suatu bahan, hal ini dikarenakan modulus elastisitas dibentuk oleh ikatan atom-atom.

8. Modulus kelentingan

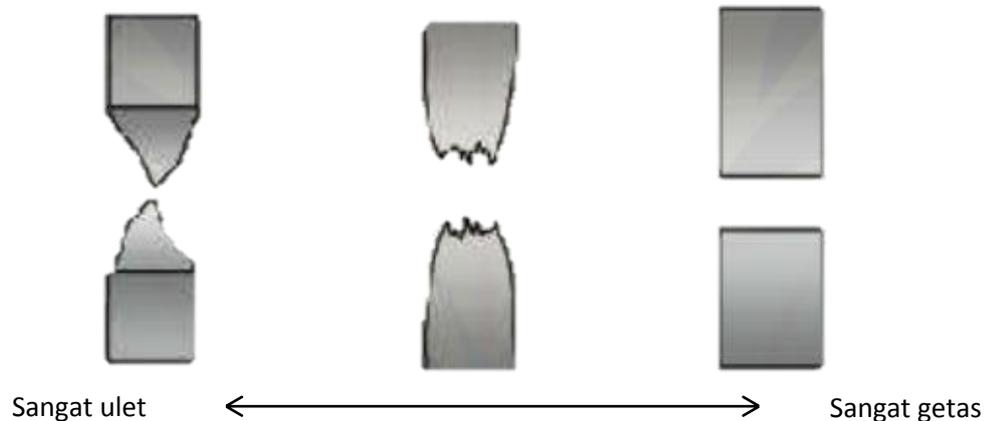
Merupakan kekuatan suatu material menyerap atau menerima energi yang berasal dari luar dengan tanpa adanya kerusakan. Nilai kelentingan didapat dari luas segitiga bentukan dari daerah elastis.

9. Modulus ketangguhan

Modulus ketangguhan adalah kemampuan dari suatu material untuk menyerap atau menerima energi sampai terjadi perpatahan. sebuah material yang memiliki modulus ketangguhan tinggi jika mengalami pembebanan berlebihan maka akan terjadi distorsi, namun hal ini akan lebih baik jika dibandingkan dengan material yang mempunyai modulus ketangguhan yang kecil karena jika terjadi perpatahan maka material tersebut akan patah tanpa adanya peringatan dahulu.

2.2.5.2 Model perpatahan material

Pada saat melakukan uji tarik beberapa material berbeda dengan variasi tertentu maka akan menghasilkan beberapa hasil yang berbeda, berikut tampilan patahan suatu material seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 bentuk perpatahan benda uji tarik (Rahmanto, 2016)

patahan suatu material akan berserabut serta gelap jika material tersebut bersifat ulet, sedangkan untuk material yang getas, patahan akan berbutir serta terang. Perpatahan getas umumnya tidak disukai karena material dengan sifat getas kurang tangguh jika di bandingkan dengan material yang ulet, serta material getas tidak akan ada peringatan sebelum terjadi kerusakan.

2.2.6 Pengujian Strukur Mikro

Dilakukannya pengujian struktur mikro pada suatu material adalah agar diketahui struktur dari suatu material baik sifat fisis serta mekanik yang terkandung didalam suatu material. Adapun beberapa factor yang dapat mempengaruhi struktur mikro dari suatu material, antara lain: perlakuan panas terhadap material dan elemen paduan (Fitriyanto, 2014).

Untuk melakukan pengujian mikro terhadap suatu material, maka material tersebut harus melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Pemotongan (*cutting*)

Proses pemotongan material dikerjakan dengan gergaji dan material dicekam menggunakan ragum agar pada saat proses pemotongan material tidak goyang. Proses pemotongan dilakukan agar material yang akan diuji sesuai ukuran yang sudah ditentukan, pengujian hanya dilakukan pada bagian tertentu suatu material. Hal ini juga karena menyesuaikan dengan ukuran meja landasan di mikroskop yang kecil.

2. Pengamplasan (*Grinding*)

Proses penghalusan dilakukan menggunakan kertas amplas. Dilakukannya proses ini bertujuan untuk memperkecil kerusakan permukaan yang terjadi akibat proses pemotongan. Proses ini juga ditujukan agar nantinya cahaya memantul ke atas dengan baik. Selama proses ini dilakukan proses pendinginan dilakukan secukupnya, dengan menggunakan fluida yang tidak merusak, fluida yang dipakai untuk proses ini adalah air. Kertas amplas yang digunakan dimulai dari urutan yang paling kasar hingga paling halus.

3. Pemolesan (*Polishing*)

Pemolesan dilakukan dengan tujuan untuk mengkilapkan permukaan serta membersihkan kotoran-kotoran yang terdapat pada permukaan material, bahan yang dipakai biasanya autosol, kit, atau braso.

4. Etsa (*Etching*)

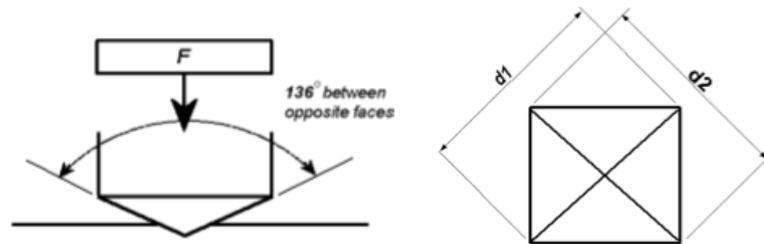
Etsa merupakan proses pengkorosian atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali pada permukaan benda uji dengan bantuan senyawa kimia baik menggunakan listrik maupun tidak. Etsa bertujuan agar permukaan benda uji yang akan diamati dapat dilihat secara jelas detail strukturnya.

5. Pemotretan.

Pemotretan dilakukan dengan menggunakan *inverted metallurgical microscope*.

2.2.7 Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Kekerasan material merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen pada material tersebut apabila diberikan beban atau gaya dari luar. Cara yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material salah satunya yaitu dengan menggunakan metode pengujian kekerasan *micro vickers*. Cara ini menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan dasar berbentuk persegi dan sudut puncak 136° yang ditekan dengan beban (F) terhadap material yang akan diuji (Gambar 2.12).



Gambar 2.12 Indentasi micro Vickers (Gordonengland, 2014)

Nilai Kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas penampang lekukan atau luas bekas piramida. Variasi beban yang biasanya digunakan pada pengujian mikro vickers adalah 25, 50, 100, 200, 300, 500, dan 1000 *gram force*, tergantung pada tingkat kekerasan material yang akan di uji. Untuk luas penampang lekukan bekas indentor dihitung dari pengukuran mikroskopis panjang diagonalnya. Kekerasan dihitung dengan mengukur diagonal d_1 dan d_2 dari jejak yang ditinggalkan. Nilai kekerasan vickers dapat dihitung sebagai berikut (Persamaan 2.3):

$$\begin{aligned} \text{VHN} &= \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} \dots\dots\dots (2.3) \\ &= \frac{1.854 F}{d^2} \quad (F = \text{kgf}, d = \text{mm}) \\ &= \frac{1854 F}{d^2} \quad (F = \text{gf}, d = \mu\text{m}) \end{aligned}$$

Keterangan:

- VHN : Vickers Hardness Number
- F : Beban yang diberikan (kgf atau gf)
- A : Luas penampang indentasi (mm^2 atau μm^2)
- θ : Sudut indentor (136°)
- d : Panjang diagonal bekas indentasi (mm atau μm)

2.2.8 Fraktografi

Fraktografi adalah ilmu yang mempelajari ciri-ciri patahan. Sehingga dengan mengenal ciri-ciri tersebut dapat diketahui bentuk patahan yang terjadi dan menganalisa penyebab terjadinya patahan. Pemeriksaan fraktografi dilakukan untuk mengkaji dan meneliti permukaan patahan secara kasat mata atau dengan bantuan stereo mikroskop, dan bila diperlukan juga dapat digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau *Transmission Electron Microscope* (TEM) (Hatta, 2013).