

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sudah banyak penelitian yang dilakukan dengan FSW untuk melakukan pengujian tarik, kekerasan dan uji struktur mikro dan makro. Tetapi, dari sekian banyaknya penelitian kecepatan putaran *tool* dan *feed rate* yang dipakai pada umumnya rendah. Maka dari itu, di penelitian ini dilakukan penelitian dengan kecepatan putar *tool* dan *feed rate* yang rendah. Tetapi, memiliki kemiringan pengelasan yang berbeda dan dilakukan pengelasan secara *dissimilar*.

Hasil pengelasan FSW dengan aluminium 5052 menghasilkan uji kekerasan vikers dengan nilai tertinggi sebesar 78 VHN. Kemudian dilakukan pengelasan dengan variasi kecepatan putar *tool* 950, 1500, 2500 dan 3600 rpm. Dimana hasil uji kekerasan dan uji tarik yang paling tertinggi pada kecepatan putar *tool* 3600 rpm sebesar 207 MPa dan 69,6 VHN, sedangkan yang hasil uji mekanik yang terendah pada putaran *tool* 1500 rpm yaitu 112 MPa dan 56,5 VHN (Erwanto, 2015).

Proses *friction stir welding* aluminium 5083–H112 memakai mesin *frais* dan *tool* dengan bentuk *pin* tirus beralur, silinder beralur dan segitiga beralur dengan parameter putaran *tool* 1500 rpm, kecepatan pengelasan 29 mm/min, sudut kemiringan *tool* 0° dan kedalaman pembenaman *pin* 4,8 mm menunjukkan nilai kekerasan sebesar 85 HV dan impak rata-rata di sambungan las sebesar 0,24 J/mm² memakai *pin* tirus beralur lebih tinggi dibanding dengan memakai *pin* silinder beralur dan segitiga beralur. Kekuatan tarik tertinggi menggunakan *pin* tirus beralur sebesar 172 MPa masih lebih rendah dari kekuatan tarik logam induk sebesar 331 MPa karena adanya cacat pada hasil lasan (Helmi dan Tarmizi, 2017).

Analisis kombinasi elektroda pada pengelasan material baja dengan stainless steel ditinjau dari sifat mekanik. Diperoleh foto makro dengan HAZ baja karbon sebesar 2,546 mm dan HAZ stainless steel 4,330 mm. Lalu, pada uji kekerasan nilai tertinggi ditunjukkan pada spesimen no 2 dengan variasi elektroda

E309 dan E7018 sebesar 352,9 VHN, dan terendah di tunjukan di spesimen no 5 sebesar 218 VHN. Pada uji tarik tidak menunjukkan hasil yang signifikan dan lebih memperlihatkan hasil yang sama rata. Ini menunjukkan kerekatan antar elektroda dapat menempel dengan baik (Ilham, 2017).

Pengelasan FSW tak sejenis antara Al 1xxx dan Al2024-T3 pada kecepatan putaran 1850 rpm dan *feedrate* 6 mm/min laju perambatan retak fatik yang dihasilkan terendah dengan harga $\Delta K > 1 \text{ MPa.m}^{0.5}$. Siklus patah terbesar adalah 5420576 siklus dengan laju rambat retak $\frac{da}{dN} = 5,8056E - 10 (\Delta K)^{2,0749}$ dan akan mengalami peningkatan pada putaran 1450 rpm dan 2280 rpm (Hariyanto, 2010).

Pada pengelasan *friction stir welding double sided* menggunakan Aluminium 5083 pada hasil pengujian makro, pada spesimen FSW sisi sama dan FSW sisi beda tidak ditemukan adanya cacat pengelasan. Di dalam hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa perlakuan pengelasan FSW sisi beda memiliki nilai kesetaraan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pengelasan FSW sisi sama. Hasil uji kekerasan pada hasil pengelasan FSW sisi beda memiliki nilai yang dominan lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan FSW sisi sama. Rata-rata nilai kekerasan FSW sisi sama sebesar 82,43 HV dan rata-rata nilai kekerasan FSW sisi beda sebesar 70,16 HV, dengan nilai perbedaan rata-rata 17,01% ini dapat disimpulkan bahwa pengelasan FSW sisi beda lebih baik dibandingkan dengan pengelasan FSW sisi sama. Pada pengujian tarik, spesimen FSW sisi beda memberikan harga kuat tarik maksimum yang lebih besar 3,53% daripada spesimen FSW sisi sama. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa perlakuan pengelasan dua sisi FSW sisi beda memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada FSW sisi sama (Baihaqi dan Santosa, 2013).

Pengelasan *friction stir welding* pada aluminium AA 1100 menggunakan variasi kecepatan putar *tool*. Pada uji tarik dapat diketahui bahwa *ultimate strength* tertinggi adalah menggunakan putaran tool 1120 rpm dan *ultimate strength* pada putaran tool 980 rpm adalah yang terendah. Pada uji makro dengan kecepatan 980 rpm menghasilkan cacat *wormholes* yang terbesar. Tetapi, pada kecepatan putar 780 rpm juga terjadi cacat *wormholes* (Pamungkas dkk., 2012).

Penelitian yang dilakukan pada pengelasan *friction stir welding* yang menggunakan aluminium 1100-H18 dan menggunakan variasi pengaruh kecepatan putar indentor las gesek punter (FSW). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan data bahwa kecepatan rotasi indentor yang tinggi cenderung menghasilkan pembangkitan panas yang lebih baik dibandingkan menggunakan kecepatan rotasi indentor yang rendah. Kecepatan putar indentor las yang terlalu rendah ataupun terlalu tinggi akan menghasilkan berbagai jenis cacat alur gelombang hasil lasan, permukaan yang pecah (*surface tearing*) dan porositas yang tersebar (Sukmana dan Sustiono, 2016).

Penelitian pada *friction stir welding* menggunakan aluminium 5052 yang menggunakan variasi putaran dan kecepatan *tool* lalu dilakukan uji kekerasan, uji impak dan uji tarik. Pada uji kekerasan hasil tertinggi dicapai pada kecepatan putar *tool* 1100 rpm dengan *feedrate* 19,8 mm/mnt menghasilkan 62,36 HR. Uji impak mempunyai nilai tertinggi pada kecepatan putar *tool* 1100 rpm dengan *feedrate* 19,8 mm/mnt sebesar 0,157 J/mm². Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen yang dilas menggunakan putaran *tool* 1800 rpm dengan kecepatan pengelasan 11,4 mm/mnt dengan nilai rata-rata sebesar 5,3 Kg/mm² (Iqbal dkk., 2014).

Pengelasan FSW pada aluminium 5053 menggunakan variasi kecepatan putar *tool* pada pengelasannya. Kecepatan putar *tool* yang paling baik dalam penelitian ini ditunjukkan pada 755 rpm. Karena, pada variasi ini tidak ada cacat pada *stir zone* dan memiliki panjang *surface irregularities* cukup pendek. Semakin besar kecepatan putar yang dipakai, heat Input yang diterima semakin besar sehingga menyebabkan ukuran butir semakin besarnamun dengan ukuran butir yang besar menyebabkan tingkat kekerasan menurun (Nurdiansyah dkk., 2012).

Pengaruh bentuk *tool*, kecepatan putar, dan *feedrate* mempengaruhi penelitian yang dilakukan pada pengelasan *friction stir welding dissimilar* yang menggunakan paduan aluminium AA5083 dan AA6061. Pada uji tarik, hasil teroptimal adalah menggunakan bentuk *tool* persegi, kecepatan putar 1400 rpm dan *feedrate* 60 mm/min. Dengan menghasilkan kekuatan tarik 173,84 MPa dan tegangan luluh sebesar 127,12 MPa. Tetapi, nilai kekerasannya diperoleh yang

paling kecil dibandingkan pengelasan yang lain. Karena, memakai kecepatan rotasi tertinggi yaitu 1400 rpm (Manohar dkk., 2016).

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan diatas dapat disimpulkan bahwa baik dari pengelasan dengan satu material maupun dua material. Kekerasan yang dipengaruhi dari kecepatan putaran yang dipakai saat pengelasan. Semakin tinggi kecepatan putar yang dipakai maka semakin tinggi pula kekerasannya. Pada uji tarik hasil yang disimpulkan adalah kecepatan putar tidak menentukan besarnya hasil dari uji tarik. Dapat disimpulkan juga bahwa pada pengujian aluminium 5083 yang sudah dilakukan pada pengelasan FSW. Perlakuan pengelasan dua sisi FSW sisi beda memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada FSW sisi sama.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan adalah teknik menyambung logam dengan cara melelehkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah yang akan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Pengelasan dapat digunakan dalam berbagai hal yaitu: konstruksi. Meliputi: perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan dan berbagai macam pipa.

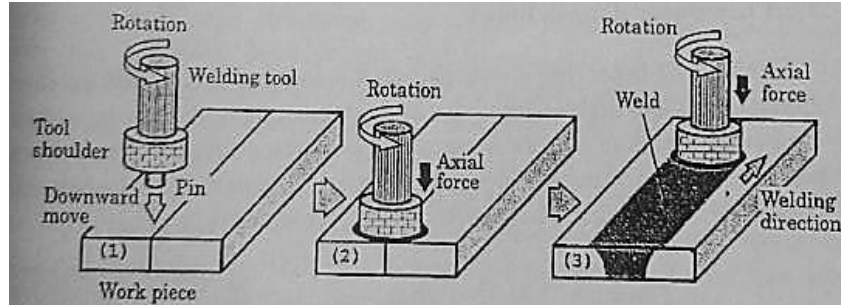
2.2.2 FSW (*Friction Stir Welding*)

1. Friction Stir Welding

Las ini adalah las yang memanfaatkan putaran dari alat-alat yang bergesek terhadap dua buah lempengan logam yang disambung. Pengelasan ini pada umumnya digunakan pada plat-plat logam. Plat yang akan disambung diletakkan berjejer dan di cekam, kemudian *pin tool* digerakkan secara kontinyu dan dengan gerakan aksial yang konstan.

Prinsip las ditunjukkan pada Gambar 2.1. gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi prinsip dasar terciptanya proses pengelasan. Pada proses pengelasan, terdapat alat yang berputar ditekan pada material yang akan disambung. Gesekan alat yang berbentuk silindris yang dilengkapi *pin/probe* dengan material, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. Alat itu bergerak pada kecepatan konstan pada

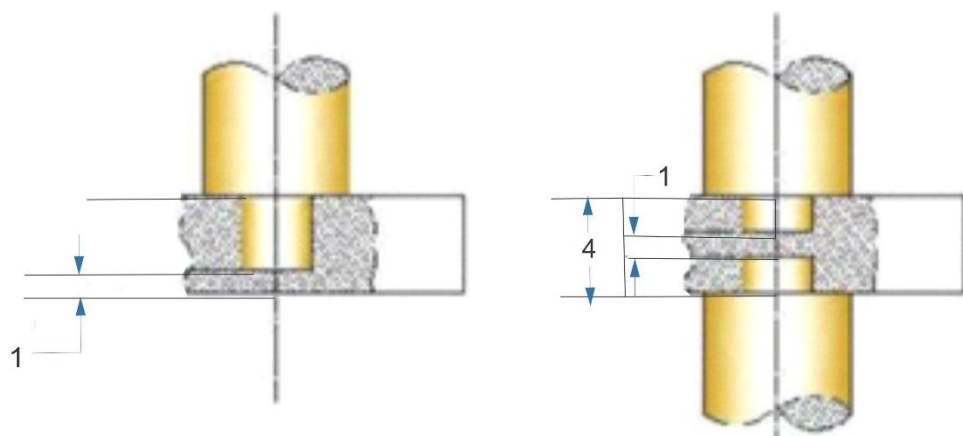
jalur pengelasan dari material yang akan disambung dan berfungsi sebagai pengaduk.



Gambar 2.1 Prinsip FSW (Winarto, 2011)

Dalam pengelasan FSW, ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melalui jalur pengelasan (*joint line*). Kedua kecepatan ini harus ditentukan secara teliti supaya hasil pengelasan bagus dan tidak mudah cepat berlubang.

Dalam proses pengerjaanya FSW dibedakan menjadi dua. Pertama proses FSW satu tunggal (*single sided friction stir welding*) yaitu proses pengerjaanya hanya pada satu bidang pengelasan, dan yang kedua FSW sisi ganda (*double sided friction stir welding*) yaitu proses pengerjaanya pada kedua bidang pengelasan. Gambar 2.2 adalah gambar jenis pengelasan. Di gambar itu dijelaskan gambar FSW *single sided* dan FSW *double sided*.

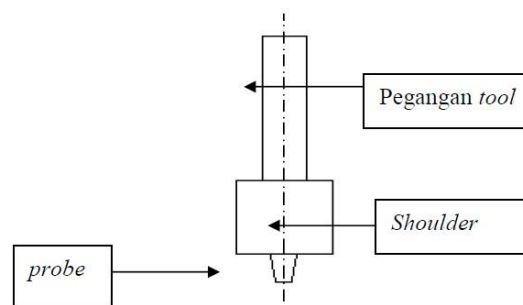


Gambar 2.2 Jenis Pengelasan (Prabowo dkk., 2019)

2.2.3 Bentuk *Pin Tool*

1. *Pin Tool* Kerucut

Pin tool kerucut yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Wijayanto dan Anelis, 2010) pengelasan pada alumunium 6110 dengan metode *friction stir welding* (FSW) menggunakan kecepatan 3600 rpm, *feed rete* 320 mm/menit.



Gambar 2.3 Desain *pin tool* kerucut (Wijayanto dan Anelis, 2010)

2. *Pin tool* segitiga

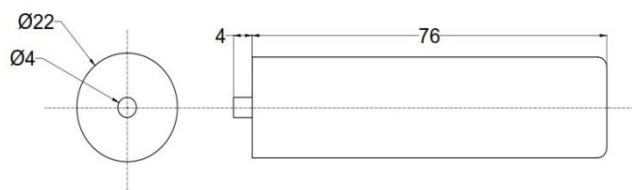
Pin tool segitiga pengelasan pada alumunium 5052 dengan metode *friction stir welding* (FSW) dengan kecepatan 1700 rpm, menghasilkan pengelasan menyatu dengan baik dan permukaan yang cukup halus dan bersih, karena pada saat proses pengelasan FSW berlangsung kecepatan *feeding* pengelasan baik dikisaran 0.03-0,04 mm/s, kecepatan pengelasan FSW akan mempengaruhi hasil foto mikro (Sumarlin, 2015) .

3. *Pin tool* segiempat

Pin tool segiempat pengelasan pada alumunium 5052 dengan metode *friction stir welding* (FSW) dengan kecepatan 1700 rpm dengan *feed rete* 45 mm/menit, menghasilkan pengelasan menyatu dengan baik tetapi permukaannya kurang merata. Hasil bagian bawah foto mikro yang baik dengan menggunakan *pin tool* segi empat ini diakibatkan karena jumlah sisi yang ada pada *pin tool* segi empat dan proses gesekan yang merata karena jumlah sisi segiempat lebih banyak dibandingkan dengan *pin tool* segitiga (Sumarlin, 2015).

4. *Pin Tool* Silinder

Pengelasan dengan menggunakan *pin tool* silinder ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Apriansyah, 2015) pada aluminium 5052 kecepatan putar *tool* 3600 rpm dengan variasi *feed rate* sambungan las menyatu dengan baik, dan permukaan halus tetapi saat berakhir pengelasan terjadi rongga. Hal tersebut disebabkan panas yang dihasilkan kurang baik dan tidak konstan pada akhir pengelasan.



Gambar 2.4 Desain *pin tool* silinder (Apriansyah, 2015)

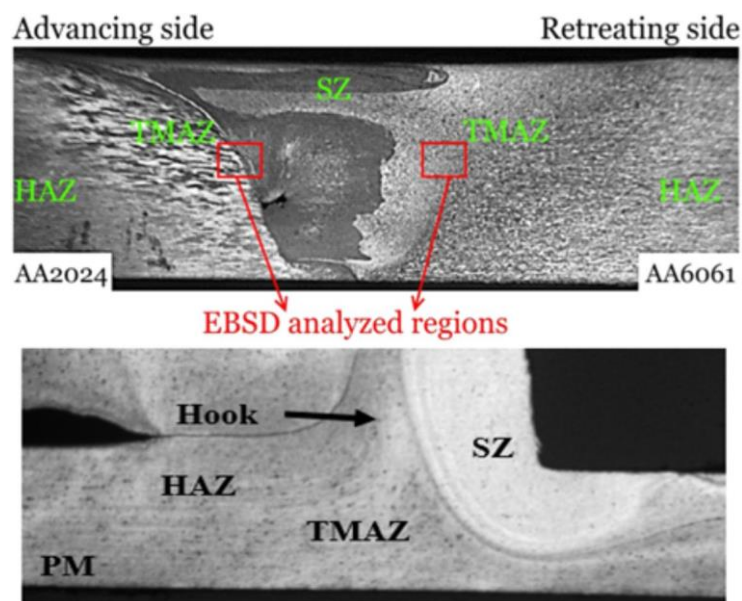
2.2.4 Daerah Pengelasan FSW

Daerah pengelasan adalah daerah yang terpengaruh akibat panas yang menyebabkan perubahan sifat mekanik, struktur makro dan mikro. Namun pada kasus tertentu struktur mikro dan sifat mekanik tidak mengalami perubahan apapun. Bagian daerah pengelasan ditunjukkan pada Gambar 2.5 sedangkan daerah pengelasan dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

- Parent Material* (PM) adalah Daerah yang jauh dari daerah pengelasan. Daerah ini belum mengalami deformasi namun mungkin mengalami siklus termal dari lasan. Ini tidak terpengaruh oleh panas dalam hal struktur mikro atau sifat mekanik.
- The Heat Affected Zone* (HAZ) adalah bagian yang terletak lebih dekat ke pusat las dan sudah mengalami siklus termal selama pengelasan yang telah memodifikasi struktur mikro dan properti mekanis, bagian ini tidak mengalami deformasi plastis.
- Thermo-mechanically Affected Zone* (TMAZ) ditemukan di bagian di mana sudah berubah bentuk bahan secara plastis. Dalam beberapa bahan, di

bagian ini mendapatkan regangan plastik yang drastis tanpa rekristalisasi. Ada batas yang jelas antara zona rekristalisasi dan TMAZ.

- d. *Stir Zone (SZ)* adalah bagian yang sepenuhnya rekristalisasi, yang berada di sekitar *pin* alat. Butiran pada zona aduk kira-kira sama dan terkadang lebih besar dari butiran dalam material induk.
- e. *Hook* adalah pembentukan cacat geometri yang berasal dari antarmuka dari dua lembaran yang dilas.



Gambar 2.5 Daerah pengelasan pada FSW (Moradi dkk., 2018)

2.2.5 Keuntungan dan Kelemahan FSW

Terdapat beberapa keuntungan dari FSW, yaitu:

1. Sifat mekanik yang baik saat proses pengelasan.
2. Peningkatan K3 karena tidak adanya bahan berbahaya saat melakukan proses FSW.
3. Bahan akan terus dipakai, contohnya pada indentornya.
4. Tidak ada pengisi atau pelindung gas yang diperlukan untuk aluminium.
5. Mudah dioperasikan.
6. Biaya pengelasan yang lebih murah.
7. Bisa beroperasi di semua posisi (horizontal, vertikal, dll), karena tidak ada lubang atau kolam las.

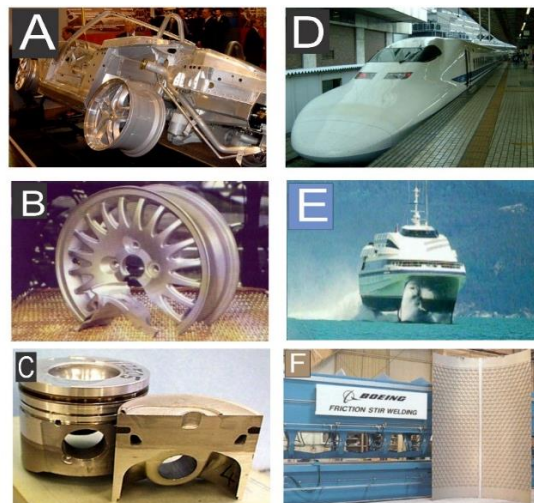
8. Dampak buruk bagi lingkungan rendah.
9. Kinerja umum serta keuntungan biaya didapatkan dari perpaduan atau peleburan menjadi gesekan.

Tapi, terdapat beberapa kekurangan yang harus diatasi dalam FSW yaitu:

1. Terdapat sebuah lubang yang tertinggal ketika proses mencabut hasil *pin* las.
2. Kurang fleksibel yang akan berdampak pada proses manual dan juga pada lengkungan.
3. Laju pengelasan sering lebih lambat daripada pengelasan lainnya.

2.2.6 Aplikasi FSW

FSW sudah banyak diterapkan dalam industri. Aplikasi pengelasan ini diantaranya sebagai berikut. Pembuatan kabin pesawat terbang, lambung kapal dan dunia otomotif juga sudah ada penerapan aplikasinya. Gambar 2.6 adalah aplikasi-aplikasi dari *friction stir welding*.



Gambar 2.6 Aplikasi FSW pada rangka Mobil, *velg* Mobil, *piston*, *floor panels* pada kereta shinkansen, lambung kapal dan kabin pesawat (ESAB, 2012)

2.2.7 Aluminium

Definisi Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Logam ini logam yang ringan dan punya ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik. Biasanya aluminium dicampur dengan logam

lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan untuk berbagai hal, seperti untuk komponen penerbangan, aplikasi arsitek, dan suku cadang kendaraan bermotor. Material yang sering dicampur dengan aluminium adalah tembaga, mangan, silikon, magnesium dan zinc. Adapun, sifat mekanis yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Sifat Aluminium adalah:

1. Konduktor yang baik.
2. Mudah difabrikasi.
3. Ringan.
4. Tahan korosi dan tidak beracun.
5. Meskipun kekuatannya rendah, tetapi paduan dari aluminium bisa meningkatkan sifat mekanisnya.

Sifat mekanis aluminium

Tabel 2.1 Sifat mekanis aluminium (Pratama, 2017)

| 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 |
| Kekuatan Brinell | 17 | 27 | 23 | 44 |

Aluminium murni adalah aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun yang dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga aluminium sering dipadukan dengan logam lain. Adapun paduan-paduan aluminium yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Paduan-paduan yang ada pada aluminium (Rino dkk., 2012)

| Alloys | Main alloying element | Applications |
|--------|---|---|
| 1xxx | Mostly pure aluminium; no major alloying conditions | Food and chemical industries |
| 2xxx | Copper | Airframes |
| 3xxx | Manganese | Architectural applications |
| 4xxx | Silicon | Welding rods, automobile parts |
| 5xxx | Magnesium | Boat hulls, marine industries |
| 6xxx | Magnesium and silicon | Architectural extrusions, window frames |
| 7xxx | Zinc | Aircraft components |
| 8xxx | Other elements | |
| 9xxx | Unassigned | |

Dalam paduan Aluminium, terdapat beberapa paduan yaitu:

1. Aluminium seri 1xxx

Memiliki kekuatan yang rendah, ketahanan terhadap korosi yang tinggi, tingkat reflektif yang tinggi, dan dapat menjadi konduktor yang baik. Jadi, seri 1xxx ini cocok untuk pengemasan dan perangkat listrik.

2. Aluminium seri 2xxx

Melalui pengerasan dengan precipitation hardening bisa digunakan untuk penerbangan, untuk kebutuhan militer dan komponen permesinan.

3. Aluminium seri 3xxx

Seri ini memerlukan pembentukan dengan cara ditekan dan digulung. Seri ini digunakan biasanya komponen bangunan dan peralatan rumah.

4. Aluminium seri 4xxx

Seri digunakan untuk produk yang membutuhkan tingkat kekakuan yang tinggi, namun keuletan yang rendah. Seri ini biasanya digunakan bagian kendaraan bermotor.

5. Aluminium seri 5xxx

Paduan ini berkekuatan sedang, ketahanan korosi yang sangat tinggi. Biasanya digunakan pada bidang kelautan.

6. Aluminium seri 6xxx

Paduan dengan kekuatan tinggi, dapat dibentuk dengan baik, ketahanan korosi. Sehingga, paduan ini biasanya digunakan untuk bangunan (khususnya pintu, jendela, dan lain-lain).

7. Aluminium seri 7xxx

Paduan ini memiliki kekuatan yang tinggi. Biasanya paduan ini digunakan pada bidang penerbangan dan luar angkasa.