

**PENGARUH *ARTIFICIAL AGING* KOMPOSIT Al 6061
DENGAN PENGUAT ALUMINA (Al₂O₃) HASIL PROSES
*THIXOFORMING***



TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Strata-1 (S1)
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disusun Oleh:

Sheikhan Azmi Riyanto

331200045

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2024

TUGAS AKHIR

Pengaruh Artificial Aging Komposit A1 6061 Dengan Penguat Alumina (Al2O3) Hasil Proses Thixoforming

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Sheikhan Azmi Riyanto
3331200045

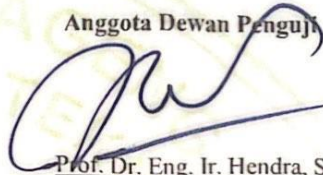
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 16 Agustus 2024

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.
NIP.197312131999031001

Anggota Dewan Penguji



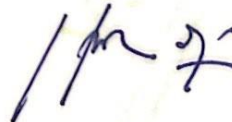
Prof. Dr. Eng. Ir. Hendra, S.T., M.T.
NIP.197311182003121000



Shofiatul Ula, M/Eng.
NIP. 198403132019032009



Miftahul Jannah, S.T., M.T.
NIP. 199103052020122000



Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.
NIP.197312131999031001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 29 Agustus 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP.198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Sheikhan Azmi Riyanto

NIM : 3331200045

Judul : PENGARUH ARTIFICIAL AGING KOMPOSIT AI 6061 DENGAN PENGUAT
ALUMINA (AI₂O₃) HASIL PROSES THIXOFORMING

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.



Cilegon, Agustus 2024

Sheikhan Azmi Riyanto

3331200045

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya lah sehingga saya dapat menyelesaikan laporan skripsi berjudul “Pengaruh *Artificial Aging* Komposit Al 6061 Dengan Penguat Alumina (Al_2O_3) Hasil Proses *Thixoforming*”.

Tujuan dalam pengerjaan laporan ini adalah untuk memenuhi kewajiban tugas akhir/skripsi. Selain itu juga, laporan ini sebagai tujuan menambah wawasan tentang pengaruh *artificial aging* dan *thixoforming* dalam melakukan inovasi terbaru ataupun dunia bekerja nanti bagi pembaca dan juga penulis. Dalam mencapai laporan ini dengan hasil yang maksimal, saya sangat berterimakasih karena telah memberikan pengarahan penyusunan tugas akhir yang baik kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Prof. Dr. Eng A. Ali Alhamidi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1, yang senantiasa memberikan ilmu dan bimbingan selama penelitian hingga laporan ini dibuat.
3. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing 2, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian dan perkuliahan.
4. Bapak Prof. Dr. Eng Ir, Hendra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan berlangsung.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
6. Seluruh jajaran dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
7. Narendra Putra Vendana, Tristan Verill Adam, Ghifari Arifianto, Muhammad Farrel Ludira, Muhammad Naufal Hanif yang menemani dan saling membantu selama penelitian berlangsung.
8. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan kapal (2020) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

9. Kedua orang tua saya Toto Riyanto dan Safariyah, yang selalu mendoakan dan memotivasi sejak awal perkuliahan hingga selesainya laporan tugas akhir, serta adik saya Syafika Azalia Riyanto yang selalu mendoakan.

Saya juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan semuanya, terimakasih atas bantuannya sehingga saya bisa menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Saya sangat menyadari bahwa laporan yang saya buat masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya minta kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini.

Cilegon, Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Komposit adalah bahan berbeda-beda yang menjadi suatu material, yang dimana setiap bahan mempertahankan identitasnya. Mengambil nilai positif dari bahan tersebut dan mengurangi negatifnya dengan beberapa perlakuan yang dilakukan dalam membuat material komposit. *Thixoforming* proses pembentukan komposit dengan cara memanaskan sampai suhu *semi-solidnya* setelah itu menekannya, sehingga butir-butir terdistribusi secara merata. Sehingga material akan lebih kuat dan ulet. Setelah pembentukan melalui *thixoforming*, dilanjutkan dengan perlakuan *artificial aging*. Sebelum *aging* dilakukan *solutioning* pada temperatur 550 °C dengan waktu tahan 30 menit. Setelah itu menyeting temperatur *aging* yaitu 190 °C dengan variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam. *Artificial aging* dilakukan untuk mempercepat laju munculnya presipitat pada material komposit, adapun keuntungannya kekerasan material meningkat. Disebabkan karena presipitat tersebut dapat mengurangi dislokasi pada antar butirnya. Setelah dilakukan *artificial aging*, material komposit dilakukan pengujian impak, kekerasan dan metalografi. Hasil uji impak terbaik pada waktu tahan 3 jam dengan nilai 0.059 J/mm², pada waktu tahan 2 jam mendapatkan nilai 0.0392 J/mm², dan pada waktu tahan 1 jam dengan nilai 0.031 J/mm². Pada pengujian kekerasan hasil terbaik pada waktu tahan 3 jam yaitu 49.6 HRB, pada waktu tahan 2 jam mendapatkan nilai 43.4 HRB, dan waktu tahan 1 jam bernilai 37.3 HRB. Pada pengujian metalografi waktu tahan 1,2, dan 3 jam menunjukan morfologi permukaan termasuk sifat homogenitas dengan butir-butir yang terdistribusi merata serta relatif seragam. Terdapat inklusi atau partikel penguat yaitu alumina yang terlihat kontras menempel pada permukaan material komposit. Setelah 3 pengujian tersebut, bahwasannya *thixoforming* dan variasi waktu tahan *artificial aging* berpengaruh pada sifat mekanik material komposit yang meningkat nilainya.

Kata kunci: *Artificial Aging*, Homogenitas, Komposit, Presipitat, *Thixoforming*

ABSTRACT

Composites are different materials that become a material, where each material retains its identity. Taking the positive value of the material and reducing its negative with some treatment done in making composite materials. *Thixoforming* is the process of forming a composite by heating it to *its semi-solid temperature after which it is pressed, so that the grains are evenly distributed. So that the material will be stronger and more tenacious.* After formation through *thixoforming*, it is followed by *artificial aging* treatment. Before *aging*, solutioning is carried out at a temperature of 550 °C with a holding time of 30 minutes. After that, set the *aging* temperature to 190 °C with a variation in holding time of 1.2, and 3 hours. *Artificial aging* is carried out to accelerate the rate of precipitation in composite materials, as for the advantage of increasing material hardness. This is because the precipitate can reduce dislocation between the grains. After *artificial aging*, composite materials are tested for impact, hardness and metallurgy. The best impact test results were at a 3-hour withstand time with a value of 0.059 J/mm², at a 2-hour withstand time with a value of 0.0392 J/mm², and at a 1-hour withstand time with a value of 0.031 J/mm². In the hardness test, the best result was 49.6 HRB at 3 hours, 43.4 HRB at 2 hours, and 37.3 HRB at 1 hour. In the metallographic test, the withstand time of 1, 2, and 3 hours indicates the surface morphology including homogeneity with evenly distributed and relatively uniform grains. There are inclusions or reinforcing particles, namely alumina that looks contrasting attached to the surface of the composite material. After the 3 tests, it was found that *thixoforming* and variations in artificial aging resistance time had an effect on the mechanical properties of composite materials that increased in value.

Keywords: *Artificial Aging, Composites, Homogeneity, Precipitates, Thixoforming*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	4
2.2 Aluminium	6
2.3 Alumina.....	7
2.4 Klasifikasi Aluminium.....	8
2.5 Aluminium 6061	10
2.6 Komposit.....	10
2.7 <i>Stir Casting</i>	12
2.7 <i>Thixoforming</i>	12
2.8 <i>Artificial Aging</i>	14
2.9 <i>Quenching</i>	15
2.10 Uji Impak	16
2.11 Uji Kekerasan.....	17
2.12 Uji Metalografi.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	20
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	21

3.2.1 Studi Literatur	21
3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan	21
3.2.2.1 Alat Penelitian	21
3.2.2.2 Bahan Penelitian.....	24
3.2.3 Pembuatan Komposit	25
3.2.4 <i>Artificial Aging</i>	27
3.2.5 Pengujian Kekerasan.....	29
3.2.6 Pengujian Metalografi.....	30
3.2.7 Pengujian Impak.....	30
3.2.8 Analisis Data	31
3.2.9 Kesimpulan dan Saran.....	31

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Thixoforming.....	32
4.2 Pengujian Impak.....	33
4.3 Pengujian Kekerasan.....	36
4.4 Pengujian Metalografi.....	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	40

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Efek Temperatur Pada <i>Tensile Strength</i> (MPa)	4
Gambar 2.2 Efek penuaan buatan (<i>artificial aging</i>) pada temperatur dan waktu terhadap kekerasan Al 6061	5
Gambar 2.3 Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap kekuatan luluh Al 6061.....	5
Gambar 2.4 Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap tarik Al 6061	5
Gambar 2.5 Komposisi dan Hasil Penguat	6
Gambar 2.6 Aluminium.....	5
Gambar 2.7 Alumina	7
Gambar 2.8 Aluminium 6061	10
Gambar 2.9 Hubungan Antar Kelas Material.....	11
Gambar 2.10 Alat <i>Stir Casting</i>	12
Gambar 2.11 <i>Thixoforming</i>	13
Gambar 2.12 <i>Aging Oven</i>	15
Gambar 2.13 <i>Quenching Proseses</i>	16
Gambar 2.14 Alat Uji Impak	16
Gambar 2.15 Uji Kekerasan	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Dongkrak <i>Press Hidrolik</i>	22
Gambar 3.3 <i>Muffle Furnace</i>	22
Gambar 3.4 Cetakan Baja.....	23
Gambar 3.5 Penjepit Spesimen	23
Gambar 3.6 <i>Infrared Thermogun</i>	23
Gambar 3.7 Set Tungku Peleburan.....	24
Gambar 3.8 Aluminium 6061	24
Gambar 3.9 Alumina	25
Gambar 3.10 Menyiapkan aluminium dan alumina	25

Gambar 3.11 Proses <i>stir casting</i>	26
Gambar 3.12 Penuangan <i>stir casting</i>	26
Gambar 3.13 Pemanasan hingga suhu 620 ° C	26
Gambar 3.14 Melakukan proses <i>thixoforming</i>	27
Gambar 3.15 <i>Solutioning</i>	28
Gambar 3.16 <i>Quenching</i>	28
Gambar 3.17 Waktu tahan 1 jam	28
Gambar 3.18 Waktu tahan 2 jam dan 3 jam	29
Gambar 3.19 Alat uji kekerasan rockwell & Titik Uji Kekerasan	29
Gambar 3.20 Zeiss EVO 10 Scanning Electron Microscope	30
Gambar 3.21 Alat uji impact & bentuk spesimen	30
Gambar 4.1 Spesimen 1,2, dan 3 sebelum <i>thixoforming</i>	32
Gambar 4.2 Spesimen 1,2, dan 3 setelah <i>thixoforming</i>	32
Gambar 4.3 Hasil pengujian impact	33
Gambar 4.4 Hasil patahan uji impact waktu tahan 1 jam	34
Gambar 4.5 Hasil patahan uji impact waktu tahan 2 jam	34
Gambar 4.6 Hasil patahan uji impact waktu tahan 3 jam	35
Gambar 4.7 Hasil pengujian kekerasan	36
Gambar 4.8 Hasil metalografi waktu tahan 1,2, dan 3 jam	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan cepatnya ekspansi industri material, bermunculan beberapa teknik yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan rekayasa industri dan rancang bangun. Salah satunya metode komposit, menurut [18]. Komposit adalah struktur mikroskopis yang dibentuk dengan menggabungkan serat dan matriks. Material komposit yang diperkuat serat banyak digunakan dalam bidang teknik karena kekuatan dan kekakuannya yang unggul dibandingkan dengan material yang biasa digunakan. Material ini juga memiliki berat jenis yang rendah, kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan biaya yang rendah. Dengan adanya metode tersebut semakin banyak material komposit yang digunakan untuk suatu rekayasa industri sesuai spesifikasi yang diinginkan dan lebih murah.

Thixoforming adalah bentuk material padat yang diisikan pada suatu cetakan dan dilakukan *heat treatment* sampai titik *semi-solid* material tersebut bersamaan dengan pengepresan pada material dalam cetakan tersebut. Banyak proyek penelitian *thixoforming* yang kini berkonsentrasi pada bahan baku yang diperlukan untuk membuat komponen dengan kualitas mekanik dan kemampuan bentuk yang lebih baik, khususnya di industri otomotif. Selain itu, teknik *thixoforming* menghasilkan lebih sedikit komponen yang mengalami kesalahan pengecoran seperti makrosegrasi, penyusutan, dan porositas. Perlakuan panas secara signifikan memengaruhi karakteristik mekanis paduan aluminium 6061, yang merupakan paduan komposit matriks aluminium yang populer. Perlakuan panas telah terbukti meningkatkan karakteristik mekanis komposit matriks aluminium yang diperkuat partikel [26]. Komposit aluminium sering kali menggunakan partikel keramik seperti alumina (Al_2O_3), SiC, dan SiO₂ sebagai penguat. Partikel keramik meningkatkan karakteristik mekanik komposit aluminium.

Maka dari itu dengan metode *thixoforming* pada bahan dasar komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) dan perlakuan *artificial aging* dapat menghasilkan komposit yang memiliki spesifikasi yang lebih unggul daripada material pada biasanya. Hal tersebut digunakan pada bidang industri otomotif, dirgantara, dan pertahanan. Seperti pada bidang industri otomotif, dibutuhkan struktur material dengan keuletan dan kekuatan yang unggul dari material yang biasa digunakan. Pada bidang industri dirgantara dan pertahanan membutuhkan material yang unggul dalam kekuatan, keringanan, dan ketahanan, namun masih belum banyak penelitian atau pengujian *thixoforming* dengan bahan dasar komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) serta perlakuan *artificial aging*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang muncul setelah latar belakang diatas dari penelitian yaitu seperti beriku initt:

1. Bagaimana proses *thixoforming* komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) terkombinasi merata?
2. Bagaimana perlakuan *artificial aging* komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) memperkuat sifat mekanik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin didapat dari studi ini yaitu seperti berikut ini:

1. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian impak komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) hasil proses *thixoforming*.
2. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian kekerasan komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) hasil proses *thixoforming*.
3. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian metalografi komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al_2O_3) hasil proses *thixoforming*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian yang dilakukan yaitu seperti berikut ini:

1. Pada saat uji impact mengikuti standar ASTM E23, uji kekerasan mengikuti standar ASTM E18-22, dan pengamatan struktur mikro *optical microscope* dan atau SEM (metalografi) mengikuti standar ASTM E3.
2. Tidak memperhitungkan efek setelah dilakukannya pengujian pada spesimen.
3. Spesimen komposit yang dibuat serta di uji dalam penelitian ini jenis komposit Al 6061/ Al₂O₃.
4. Waktu penuaan buatan (*artificial aging*) 1 jam, 2 jam, dan 3 jam dengan temperatur 190° C untuk semua variasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti untuk mengetahui sifat mekanik komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al₂O₃) hasil *thixoforming* dan *artificial aging* dari penelitian yang dilakukan.
2. Para akademisi dapat menggunakan penelitian ini sebagai referensi untuk penelitian dimasa depan tentang topik tersebut.
3. Menjadi literasi bagi pembaca terkait dengan perkembangan *thixoforming*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdelgnei, M. A., Omar, M. Z., Ghazali, M. J., & Mohammed, M. N. (2022). Microstructure evaluation and mechanical properties of thixoformed Al-5.7 Si-2Cu-0.3 Mg aluminum alloys. *International Journal of Metalcasting*, 16(1), 370-384.
- [2] Al Ghifari, I., Budiarto, U., & Zakki, A. F. (2018). Analisa Kekuatan Impak, Tarik, dan Mikrografi Aluminium 5083 Akibat Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) dengan Variasi Posisi Pengelasan. 6(4).
- [3] Alhamidi, A., Fitrullah, M., & Dewi, M. (2016). Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(1), 25-34.
- [4] Chandler, H. (1999). *Hardness testing*: ASM international.
- [5] Committee, A. H. (1990). Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials. In: ASM international.
- [6] Davis, J. R. J. (1998). *Metals handbook desk edition*.
- [7] Dwight, J. (1998). *Aluminium design and construction*: CRC Press.
- [8] Ghababazade, R., Mirhabibi, A., Pourasad, J., Brown, A., Brydson, A., & Amiri, M. J. (2007). Study of the phase composition and stability of explosive synthesis nanosized Al₂O₃. 601(1), 2864-2870.
- [9] Hadi, Q. (2018). Pengaruh Pengadukan dengan Variasi Simple Padle Blade Terhadap Kehomogenan dan Sifat Mekanik Komposit Al-Fly-Ash dengan Metode Stir Casting Tanpa Pembasahan.
- [10] Harris, B. (1999). *Engineering composite materials*.
- [11] Hirt, G., & Kopp, R. (2009). *Thixoforming: Semi-solid metal processing*: John Wiley & Sons.
- [12] Husain, N., Ahmad, A., & Rashidi, M. (2017). *An overview of thixoforming process*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [13] Lashkari, O., & Ghomashchi, R. (2007). The implication of rheology in semi-solid metal processes: An overview. 182(1-3), 229-240.

- [14] Mirjalili, F., Abdullah, L. C., Mohamad, H., Fakhru'l-Razi, A., Dayang Radiah, A., & Aghababazadeh. (2011). Process for producing nano-alpha-alumina powder. *2011*.
- [15] Pintubatu, S. P., Sutjipto, S., & Suyitno, S. (2020). *Perancangan Alat Stir Casting untuk Proses Pembuatan Komposit Matriks Aluminium dengan Saluran Penuangan*. Paper presented at the Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar.
- [16] Polat, A., Avsar, M., Ozturk, F. (2015). Effects of the artificial-aging temperature and time on the mechanical properties and springback behavior of AA6061. *Materiali in tehnologije*, 49(4), 487-493.
- [17] Pradityana, A., & Widyanoro, E. K. (2019). Effects of Holding Time During Artificial aging Process on AA6061 to the Mechanical Properties. (3), 121-123.
- [18] Pramono, C., Widodo, S., & Ardiyanto, M. G. (2019). Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy. 3(1), 1-7.
- [19] Prayitno, D., & Apriandini, F. A. (2019). Pengaruh Waktu Tahan Pada Proses Artificial Aging Terhadap Kekerasan Paduan Al-Sn-Cu. 4(1), 1-5.
- [20] Rajaa, S. M., Abdulhadi, H. A., Jabur, K. S., Mohammed, G. Technology, & Research, A. S. (2018). Aging time effects on the mechanical properties of Al 6061-T6 alloy. 8(4), 3113-3115.
- [21] Sukma, H., Prasetyani, R., Rahmalina, D., & Imanuddin, R. (2015). Peran penguat partikel alumina dan silikon karbida terhadap kekerasan material komposit matriks aluminium.
- [22] Vander Voort, G. F. (1999). *Metallography, principles and practice*: ASM international.
- [23] Vaneetveld, G., Rassili, A., Pierret, J.-C., & Lecomte-Beckers, J. (2010). Conception of tooling adapted to thixoforging of high solid fraction hot-crack-sensitive aluminium alloys. 20(9), 1712-1718.
- [24] Vernoal, G., Jokosiworo, S., & Adietya, B. A. (2019). Pengaruh Perbedaan Tool Tilt Angle terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Pada

Aluminium 6061 dengan Pengelasan Double Sided Friction Stir Welding.
7(4).

- [25] Wibowo, A. T., & Samlawi, A. K. (2020). PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI TERHADAP KEKERASAN BAJA DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C. 2(2), 137-148.
- [26] Zhang, X., & Chen, T. (2018). Solution treatment behaviors of 6061 aluminum alloy prepared by powder thixoforming. 21, e20180057.