**EFEK PERLAKUAN PANAS *ARTIFICIAL AGING***

**PADA PADUAN AL TERHADAP TINGKAT KEKERASAN DAN UJI *IMPACT***

**Danny Arya Wibawa**

S1-Teknik Mesin:Konversi Energi, Fakultas-Teknik, Universitas’Negeri’Surabaya

E-mail: danywibawa@mhs.unesa.ac.id

**Arya Mahendra Sakti**

Jurusan:Teknik Mesin, Fakultas-Teknik, Universitas’Negeri’Surabaya.

E-mail:-aryasakti@unesa.ac.id.

Abstrak.

Aluminium dan paduannya merupakan jenis material yang cukup penting dikarenakan nilai teknologinya yang tinggi dan aplikasinya yang luas. Faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu paduan adalah komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan. Dari penelitian sebelumnya belum didapat pengaruh waktu tahan (*holding time*) terhadap paduan material alumunium dengan melihat hasil uji kekerasan *Rockwell* dan uji *Impact*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu tahan ( *holding time* ) Al 6061 + Al komersil terhadap tingkat kekerasan dan uji *impact*. Objek penelitian ini adalah 4kg (Al 6061) + 1 kg (Al komersil) + 31gr (NaCl) dengan variasi *holding time* 4,5, dan 6 jam. Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dan dihitung secara teoritis dimasukkan dalam tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan nilai efektivitas pada waktu aging selama 4 jam menghasilkan rata-rata nilai kekerasan sebesar 87,98 HRB. Waktu aging selama 5 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar besar 90,59 HRB. Waktu aging selama 6 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 92,35 HRB, sedangkan uji *impact holding time* 4 jam sebesar 0,179 J/mm² , pada material dengan *holding time* 5 jam sebesar 0.189 J/mm², dan material dengan *holding time* 6 jam sebesar 0,199 J/mm². Aging pada temperatur 150⁰C dengan proses aging tahan waktu 6 jam memberikan hasil kekerasan tertinggi pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan temperature 150⁰C merupakan akhir dari pengerasan tahap pertama dan maksimal terbentuknya fase zona [GP-1]. Kenaikan nilai kekerasan aluminium 6061 pada temperature 150⁰C ditandai dengan semakin banyak presipitat yang ada. Prespitat yang bertambah besar dan jumlah yang juga bertambah akan menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin padat

**Kata kunci :** Al6061, AL komersil, uji impact, uji kekerasan, artificial aging

Abstract

*Aluminum and its alloys are significant materials due to their great technical value and wide range of applications. Chemical composition, heat treatment, casting method, and machining technique are all factors that can influence an alloy's mechanical characteristics. Previous research has not been able to determine the influence of holding time on aluminum alloy material through looking at the results of the Rockwell hardness and Impact tests. The goal of this study was to examine the influence of holding time (holding time) on the level of hardness and impact testing of commercial Al 6061 + Al. The subject of this study was 4 kg (Al 6061) + 1 kg (commercial Al) + 31gr (NaCl) with holding times that ranged from 4.5 to 6 hours.* *The study data was descriptively and theoretically computed, and it was presented in tables and graphs. The results revealed that the effectiveness value after 4 hours of aging resulted in an average hardness value of 87.98 HRB. After 5 hours of aging, the hardest value obtained was 90.59 HRB. The greatest hardness value obtained after 6 hours of aging was 92.35 HRB, while the impact holding time test for 4 hours was 0.179 J/mm2, for materials with a holding time of 5 hours it was 0.189 J/mm2, and for materials with a holding time of 6 hours it was 0.199 J/mm2. In this investigation, aging at 1500°C for 6 hours produced the maximum hardness findings.* *This is due to the fact that 1500 degrees Celsius marks the conclusion of the first stage of hardening and the maximal creation of the [GP-1] zone phase. The presence of additional precipitate indicates an increase in the hardness value of aluminum 6061 at 1500C. The increasing size and quantity of precipitation will cause the gap between precipitate particles to grow denser*

**Keywords:** Al6061, AL komersil, impact test, hardness test, artificial aging.

# **PENDAHULUAN**

Sebagian besar industri pengecoran melayani permintaan pembuatan transportasi laut. Transportasi laut mempunyai peranan penting dalam mobilitas produk, barang, jasa seperti kapal dan perahu. Konstruksi kapal terdiri dari beberapa komponen salah satunya *propeller*. Kecepatan kapal dipengaruhi oleh kondisi *propeller* yang dipasang pada poros dan memiliki hubungan langsung terhadap mesin kapal. Kapal laut mendapatkan tenaga untuk bergerak melalui poros *propeller* yang berputar sama dengan putaran poros dimana kecepatan putaran poros bergantung kecepatan putaran mesin kapal.

*Propeller* umumnya terbuat dari perunggu atau kuningan, tetapi ada juga yang terbuat dari aluminium, karena sifatnya yang tangguh, anti korosi dan *machinability*. Aluminium yang sering digunakan adalah Al 6061 hal ini disebabkan karena material ini mempunyai kekuatan tarik 12,6 𝑘𝑔𝑓⁄𝑚𝑚2 dan juga mempunyai titik cair yang sangat rendah yaitu 660°C, sehingga mudah untuk diproses.

Aluminium dan paduannya merupakan jenis material yang cukup penting dikarenakan nilai teknologinya yang tinggi dan aplikasinya yang luas. Faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu paduan adalah komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan aluminium adalah penerapan perlakuan panas. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses aging. Proses aging dilakukan dengan cara memanaskan aluminium sampai suhu tertentu dalam jangka waktu tertentu, kemudian didinginkan di udara terbuka. Sesuai pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widyantoro, 2018 bahwa variasi temperatur pada Aluminium 6061 mempengaruhi terhadap uji Impak, kekerasan, dan struktur Mikro. Penelitian tersebut menvariasikan temperatur selama 1 jam kemudian di *quenching* dengan media ai.

Berdasarkan permasalahan dan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis akan meneliti pengaruh waktu tahan (*holding time*) yangbertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan ketangguhan material aluminium

**METODE**

**Jenis Penelitian+**

Dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif asosiatif yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai kekerasan dan ketangguhan material Al 6061. Penelitian ini dilaksanakan di beberapa tempat, yaitu: Proses pengecoran dan pembuatan spesimen di Bengkel UKM pengecoran Aluminium Jl. Klampis Ngasem 7/1 Surabaya, pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, dan uji ketangguhan *impact* dilakukan di Universitas Brawijaya (UB).

**Variabel Penelitian**

* **Variabel Bebas**

Merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebasnya variasi waktu aging terhadap alumunium yaitu 4 jam, 5 jam, 6 jam.

* **Variabel Terikat**

Merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya nilai kekerasan dan nilai ketangguhan Al 6061.

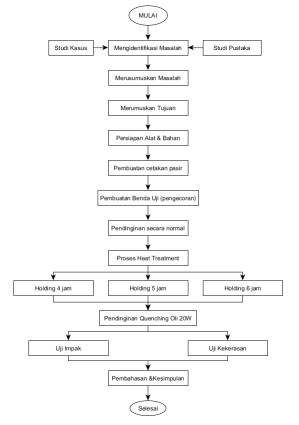
* **Variabel Kontrol**

Variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu :

1. Komposisi aluminium murni Al 6061 yaitu 4 kg.
2. Komposisi aluminium komersil (blok motor) yaitu 1 kg.
3. Kadar garam (NaCl) = 31 gr.
4. Spesimen dibuat dengan proses pengecoran cetakan pasir (*sand casting*).
5. Metode pengujian kekerasan dengan menggunakan alat *Rockwell Hardness Tester* skala HRB.

Uji ketangguhan menggunakan alat uji *impact test* dengan standar ASTM E23-07a.

**Rancangan Penelitian**



Gambar 1. Rancangan Penelitian.

**Alat Untuk Penelitian**

* Timbangan, tungku, penjepit lengan panjang, model, cetakan pasir, kowi ( alat tuang ), kompor tangan, dan APD
* Alat *Quenching* : Oli SAE 20W, *Furnace*, Tang Penjepit
* Alat lainnya : Gerinda tangan, Kertas *Abrasive gird* (500, 1000, 2000), Tanggam dan Ragum, Kikir, *Stopwatch*.

**Bahan Untuk Penelitian**

* Aluminium tipe Al 6061.
* Aluminium Komersil (Blok Motor)
* Garam

**Instrumen Penelitian**

* + Mesin Uji Kekerasan yang berfungsi untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen uji dengan menggunakan metode *Rockwell Hardness Tester* skala HRb.
  + Mesin Uji *Impact* yang berfungsi untuk mengetahui nilai ketangguhan dari spesimen uji menggunakan metode ASTM E23-07a

**HASIL DAN PEMBAHASAN**.

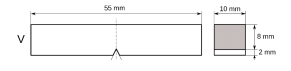
**Pembuatan cetakan pasir**

Pembuatan cetakan pasir dilakukan sebelum proses pengecoran. Pasir yang digunakan adalah pasir khusus dicampur dengan pasir *silica* yang berfungsi sebagai perekat, kemudian dilakukan penyaringan agar terhindar dari pasir kasar atau kotoran tertentu. Tahap selanjutnya adalah pembuatan model (sesuai bentuk yang diinginkan) ukuran 200mm x 30 mm x 15 mm. Setelah itu, pola yang sudah dibuat ditanamkan pada cetakan pasir kemudian diambil tanpa merubah bentuk pola. Terdapat 2 cetakan pasir saat proses pengecoran yaitu cetakan pertama sebagai wadah cairan paduan alumunium dan cetakan kedua sebagai jalur masuk cairan alumunium. Kedua cetakan diolesi dengan kapur sebelum ditumpuk agar di tidak lengket atau menempel saat diangkat.

**Proses Pengecoran**

Proses pengecoran dilakukan dengan menyiapkan bahan dan alat yang akan digunakan. Panaskan tungku pembakaran dan kowi lalu masukan Al 6061, Al komersil, dan garam kedalam kowi, tunggu hingga meleleh dan aduk merata. Tahap selanjutnya, masukan hasil coran kedalam cetakan yang sudah disediakan dan tunggu hingga hasil coran mengeras. Setelah mengeras bongkar cetakan dan pengecoran diangkat.

**Proses *Aging*/ Proses *Heat Treatment***

Pada proses *Heat Treatment* langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan sampel uji, bersihkan sampel uji dari kotoran yang melekat, memakai APD ( (Alat Pelindung Diri) atau keselamatan kerja dan menyiapkan tang penjepit. Langkah selanjutnya, siapkan stopwatch, letakkan secara teratur sampel benda uji di tungku pemanas, nyalakan tungku pemanas dan atur temperatur tungku pemanas hingga 150℃. Pertahankan temperatur dengan waktu penahanan selama 4,5 dan 6 jam. Setelah itu, ambil sampel benda uji dari dapur pemanas menggunakan tang penjepit kemudian dinginkan secara tepat dengan media *quenching* oli SAE 20 W diluar tungku sampai temperatur perlahan menurun hingga suhu ruang.

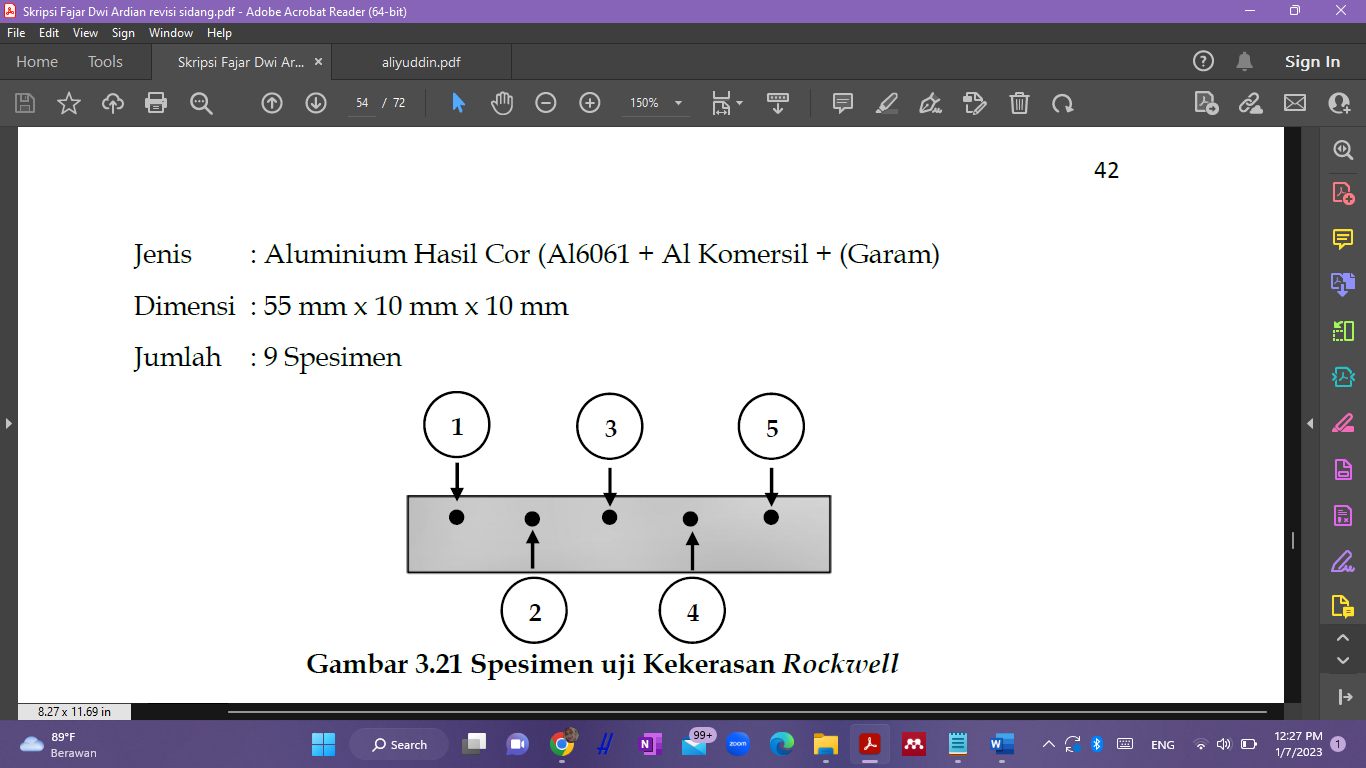
**Proses Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan *Rockwell* skala HRb yang diberikan pada spesimen uji menggunakan 5 titik pada setiap spesimennya, sampel yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki deskripsi sebagai berikut:

Jenis : Aluminium Hasil Cor (4 kg Al 6061 + 1 kg Al Komersil + 31 gr Garam)

Dimensi : 55 mm x 10 mm x 10 mm

Jumlah : 9 Spesimen



Gambar 1. Spesimen uji Kekerasan *Rockwell*

Langkah pengujian kekerasan *Rockwell Hardness Tester* yaitu menyiapkan spesimen uji, permukaan spesimen uji dibersihkan terlebih dahulu kemudian pasang indentor berupa kerucut intan. Kalibrasi alat uji kekerasan harus terlebih dahulu. Pemasangan alat uji kekerasan harus tegak lurus dengan spesimen, meletakkan spesimen dan atur dengan tepat titik penetrasi kemudian tentukan jarak antar titiknya. Selanjutnya menyeting beban untuk pengujian, memulai uji dengan menekan tombol start, dan tunggu sampai hasil uji keluar. Langkah selanjutnya melakukan pengujian ke titik lain yang sudah ditentukan. Setelah selesai dan di dapat data pengujiannya lepaskan spesimen dari mesin uji. Langkah terakhir matikan mesin lalu proses analisis data.

**Proses Uji Impact ASTM E23-07a**

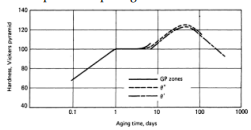
Langkah pengujian *Impact* ASTM E23-07a yaitu meratakan alur pengecoran menggunakan gerinda, spesimen dipotong dengan ukuran 55 x 10 x 10 mm, sesuai standar pengujian yang di tetapkan. Setelah itu, proses pemotongan selesai kemudian benda kerja dirapikan dengan kikir dan dihaluskan menggunakan ampelas. Langkah terakhir buat takikan spesimen sekitar 45°.

Gambar 2. Spesimen uji *impact charpy*

Langkah pengujian *impact* yaitu memastikan alat uji dalam kondisi baik dan terkalibrasi. Persiapkan alat-alat pengujian dan spesimen uji yang sudah di bentuk sesuai standart pengujian. Tempatkan bandul pada posisi awal untuk pengujian. Atur jarum penunjuk pada posisi 0 kemudian ambil spesimen diletakkan pada tempatnya dengan tepat. Apabila sudah siap tekan pin pengunci beban sehingga bandul meluncur menimpa spesimen. Tekan rem ketika bandul akan mengayun untuk kedua kalinya, ulangi langkah diatas untuk seluruh spesimen. Langkah terakhir, lakukan analisis hasil pengujian impak berdasarkan hasil yang di dapat.

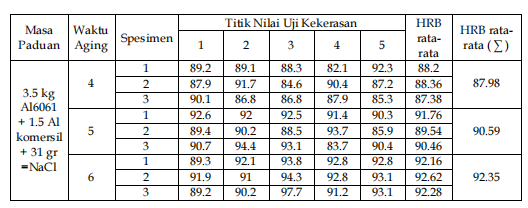
**Hasil dan pembahasan uji kekerasan Rockwell**

Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, Hubungan antara waktu (aging) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar 3

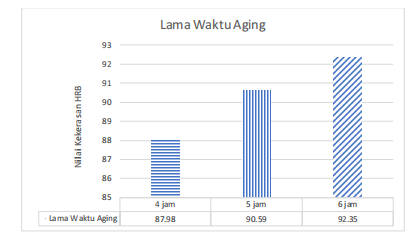


Gambar 3. Waktu (aging) versus kekuatan dan kekerasan paduan alumunium ( Smith,1995)

Tabel 1 Hasil Pengujian kekerasan dilakukan di lab uji bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Data yang diperoleh berupa nilai kekerasan.Berikut adalah data dari pengujian kekerasan



Tabel 1. Hasil uji kekerasan paduan alumunium dengan komposisi 3,5 kg Al6061 + 1,5 Al komersil + 31gr Nacl dengan perlakuan *quenching* oli sae 20w



Gambar 4. Hasil pengujian kekerasan

Berdasarkan tabel hasil pengujian kekerasan dari material yang memiliki komposisi 3,5 kg (Al6061) + 1,5 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan diberi perlakuan panas *quenching* dengan media *quenching* oli sae 20w menghasilkan Kenaikan nilai kekerasan. Waktu aging selama 6 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 87,98 HRB. Waktu aging selama 5 jam menghasilkan nilai kekerasan sebesar 90,59 HRB. Waktu aging selama 6 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 92,35 HRB.

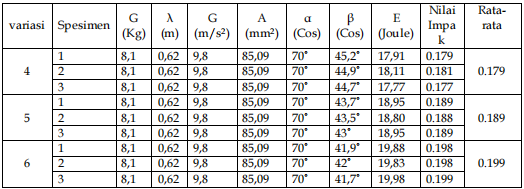
Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan dengan komposisi paduan 3,5 kg (Al6061) + 1,5 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan perlakuan panas *quenching* oli sae 20w dapat meningkatkan nilai kekerasan di bandingkan nilai kekerasan *propeller* yang dijual dipasaran. Dimana *propeller* yang dijual dipasaran hanya memiliki nilai kekerasan 83,6 BHN. Sedangkan setelah diberikan perlakuan panas dengan dan *quenching* oli 20w, nilai kekerasan spesimen mendapatkan nilai kekerasan paling besar 92,35 HRB.



Gambar 5. Pengujian specimen di lab uji bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya

**Hasil dan pembahasan uji kekerasan Impack**

Hasil Pengujian impak pada spesimen dilakukan di lab Manufaktur politeknik Negeri Malang data yang diperoleh berupa nilai impak.



Tabel 2. Data pengujian impact

Perhitungan untuk mendapatkan nilai impak pada material memiliki perasaan

W = G x λ x g (cos β – cos cos α)(J)

Keterangan :

W = Usaha yang diperlakukan untuk mematahkan benda uji (J)

G = Berat Pendulum (Kg)

λ = Jarak lengan ayun (m)

g = Nilai Gravitasi 9,8 m/s2

cos α = sudut awal pendulum

cos β = sudut akhir pendulum

besarnya hasil impak dapat diketahui :

𝐾 =

Keterangan:

K = Nilai Impak (J/mm2)

W = usaha yang diperlukan untuk mematahakan benda uji (J)

A = Luas penampang di bawah takikan (mm2)

Sebagai contoh perhitungan pada spesimen tanpa perlakuan, diketahui =

g = 9.8 m/s2

G = 8.1 kg

Λ = 0.62 m

A = 100 mm2

Cos α = 70˚

Cos β = 48˚

Jawab :

W = G x λ x g (cos β – cos cos α)(J)

W = 8.1 kg x 0.62 m x 9.8 m/s2 (cos 48˚ – cos 70˚)

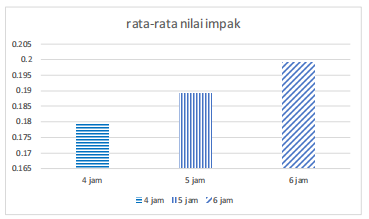
W = 49.21 kg.m2/s2 (0.669 – 0.324)

W = 16.977 J

Setelah mengetahui niali W maka melanjutkan untuk mencari nilai impak :

K =

K = 0.162 J/mm



Gambar 6. Hasil uji impak

Pada grafik diatas menunjukan bahwa nilai impak pada material yang memiliki komposisi 3,5 kg (Al6061) + 1,5 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan diberi perlakuan panas *quenching* dengan media *quenching* oli sae 20w di waktu holding 5 jam menghasilkan nilai impak dengan rata-rata sebesar 0.189 J/mm2. Sedangkan untuk waktu holding di 6 jam mengalami kenaikan nilai impak menjadi 0.199 J/mm2. Dengan proses *heat treatment* dengan variasi waktu *holding* di material yang memiliki komposisi 3,5 kg (Al6061) + 1,5 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dapat meningkatkan nilai impak pada spesimen yang semula belum diberikan heat treatment dengan nilai impak hanya 0.162 J/mm2.

**PENUTUP**

**Simpulan**

* Nilai kekerasan Rockwell didapat pada komposisi paduan 4 kg (Al6061) + 1 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan varias waktu holding 4 jam dan *quenching* Oli SAE 20W yang memperoleh nilai sebesar 87,98 HRB dan waktu holding 6 jam memperoleh nilai kekerasan sebesar 92,35 HRB. Durasi waktu *holding* dapat meningkatkan kekerasan material. Nilai kekerasan *propeller* di pasaran yang mulanya 83,6 BHN menjadi 92,35 HRB sehingga terjadi peningkatan nilai kekerasan terhadap paduan ini sebesar 8,75 HRB.
* Nilai kekuatan impak pada komposisi paduan 4 kg (Al6061) + 1 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan waktu *holding* 6 jam memperoleh nilai sebesar 0.199 J/mm dan kekuatan impak terendah pada komposisi paduan 3,5 kg (Al6061) + 1,5 kg (Al Komersil) + 31 gr (NaCl) dengan waktu *holding* 4 jam memperoleh nilai kekerasan sebesar 0.179 J/mm. Dapat disimpulkan bahwa lama waktu *holding* dapat meningkatkan kekuatan impak.

**Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

* Saat proses pengecoran sebelum proses penuangan pada cetakan pasir diusahakan cairan bersih tidak ada kotoran ataupun terak yang ikut pada saat proses penuangan..
* Perhatikan kecepatan tuang agar tidak terjadi pengerasan atau pembekuan cairan dengan cepat dan juga perhatikan diameter lubang tuang coran dan lubang pembuangan udara agar tidak terjadi cacat jarum pada hasil coran

**DAFTAR PUSTAKA**

Afandi, Y. K., Arief, I. S., & Amiadji, A. (2015). Analisa Laju Korosi pada pelat baja Karbon dengan Variasi ketebalan coating. Jurnal Teknik ITS, 4(1), G1-G5

Ananta, R. H. (2016). Pengaruh Variasi Waktu Celup dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Permukaan dan Struktur Mikro Baja ST41 Pada Proses Pelapisan Nikel. Jurnal Teknik Mesin, 4(03).

Arianto, I., & Hardjono, I. I. (2016). Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Jalur Pipa Panasbumi Di Area Kamojang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat Tahun 2016 (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Farima, L., & Palupi, A. E. (2021). Efek Perlakuan Panas Dengan Variasi Double Quenching Dan Penambahan Garam (Nacl) Pada Al6061 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. Jurnal Teknik Mesin UNESA. Volume 9 No 1, 47-56.

Malau, V., & Luppa, N. S. (2011). Pengaruh variasi waktu dan konsentrasi larutan NaCl terhadap kekerasan dan laju korosi dari lapisan nikel elektroplating pada permukaan baja karbon sedang. Prosiding SNST Fakultas Teknik, 1(1).

Manurung, C. (2014). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketebalan Lapisan dan Laju Korosi (MPY) Hasil Elektroplating Baja Karbon Rendah dengan Pelapis Nikel

MAZDA, B. T. (2016). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Holding Time Dan Temperatur Aging Pada Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium Adc 12 (Doctoral DissertationInstitut, Teknologi Sepuluh Nopember).

Mustofa, A., Jokosisworo, S., & Santosa, A. W. B. (2018). Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar dan Kekuatan Puntir Baja ST 41 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Quenching. Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 6, No. 1.

Muttahar, M. I. Z., Putra, P. A., & Frista, G. (2019). Pengaruh Variasi Waktu Holding Proses Artificial Aging Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Impak Paduan Al-Si. Metal Indonesia, 41(2), 69-74.

Nanulaitta, L. (2012). NJM,“Analisa sifat kekerasan baja St-42 dengan pengaruh besarnya butiran media katalisator tulang sapi (CaCo3) melalui proses pengarbonan padat (Pack Carburizing). Jurnal Teknologi, Vol. 9, No. 1.

Nugroho, Y. S. A., & Sulistyo, S. (2017). Pelapisan Stainless Steel Aisi 304 Menggunakan Nikel (Ni) Melalui Proses Elektroplating. Jurnal Teknik Mesin, 5(1), 16-24.

Saefuloh, I., Pramono, A., Jamaludin, W., Rosyadi, I., & Haryadi, H. (2017). Studi karakterisasi sifat mekanik dan struktur mikro material piston alumunium-silikon alloy. FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta, 2(1), 56-62.

Setiawan, H. (2015). Pengujian Kekuatan Tarik Produk Cor Propeler Alumunium. Prosiding SNATIF, 429-434.

Sudiro, T., -, K., ‘Izzudin, H., & Zaini Thosin, K. (2012). ANALISIS STRUKTUR MIKRO LAPISAN BOND COAT NIAL THERMAL BARRIER COATING (TBC) PADA PADUAN LOGAM BERBASIS CO. Jurnal Energi Dan Manufaktur, Vol 3, No. 1.

Pambudi, B. S., Luthfansa, M. R., & Nurdiansyah, W. H. (2017). Pengaruh variasi viskositas oli sebagai media pendingin terhadap sifat kekerasan pada proses quenching baja aisi 4340. Skripsi, Fakultas teknologi industry, Institute teknologi sepuluh November, Surabaya.

Pattireuw, K. J., Rauf, F. A., & Lumintang, R. C. A. (2013). Analisis laju korosi pada baja karbon dengan Menggunakan air laut dan H2SO4. Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat, 2(1).

Prasetyo, Y. D. (2016). Pengaruh Variasi Tegangan Dalam Proses Elektroplating Seng Pada Baja Api 5l Grade B Terhadap Ketahanan Korosi, Kekuatan Adhesi, Dan Ketebalan Lapisan (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Widyantoro, E. K. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Yudha Kurniawan Afandi, (2015). Analisa Laju Korosi pada pelat baja Karbon dengan Variasi ketebalan coating. Jurnal Teknik ITS, 4(1), G1-G5.