

**Analisa Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impact Propeller Alumunium Die Casting (ADC) 12 dengan Penambahan Cu-Zn**  
*Analysis of Tensile Strength and Impact Strength Propeller Aluminum Die Casting (ADC) 12 with The Addition of Cu-Zn*

**Ahmad Ilham Ramadhani, Barokah\***, Fahriadi Pakaya, Jozua Ch. Huwae, Marinus S. Tappy<sup>1</sup>, Andie Murtono<sup>1</sup>, Ahmad Tubagus Tsani Risqi Aji  
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung  
\*Korespondensi : [barokah@poltekkp-bitung.ac.id](mailto:barokah@poltekkp-bitung.ac.id)

Received : February 2022

Accepted : March 2022

**ABSTRAK**

*Propeller kapal nelayan umumnya terbuat dari aluminium yang mudah mengalami kerusakan pada saat dihantam batu karang, ombak dan mengalami korosi menyeluruh ataupun pada daerah tertentu. Kelemahan pada propeller tersebut dapat diatasi melalui pengembangan material penyusun dengan penambahan kuningan (Cu-Zn) terhadap material propeller ADC 12. Spesimen berhasil dibuat dengan penambahan 30% Cu-Zn pada ADC 12 dengan menggunakan metode pengecoran yang dilanjutkan pencetakan dengan metode die dan sand casting. Spesimen ADC 12 dan paduan ADC 12+CuZn diuji tarik dan impak sesuai standard ASTM E8 dan ASTM E23 untuk mengetahui perubahan sifat mekanik material tersebut. Berdasarkan hasil pengujian tarik diperoleh bahwa adanya unsur Cu-Zn menurunkan kekuatan tarik ADC 12 (141 MPa) dan paduan ADC 12+CuZn (55,1 Mpa). Hasil pengujian kekuatan impact menunjukkan tingkat kekuatan impact kekerasan rata-rata ADC 12 (15,61 joule) dan paduan ADC 12+CuZn (15,98 joule).*

*Kata Kunci: ADC 12; Cu-Zn; Propeller; Uji Impak; Uji Tarik.*

**ABSTRACT**

*Fishing boat propellers are generally made of aluminum which is easily damaged when hit by rocks, waves and undergoes general corrosion or in certain areas. The weakness in the propeller can be overcome through the development of the constituent material by adding brass (Cu-Zn) to the ADC 12 propeller material. The specimens were successfully made by adding 30% Cu-Zn to ADC 12 using the casting method followed by die casting and sand casting methods. ADC 12 specimens and ADC 12+CuZn alloy were tested for tensile and impact according to ASTM E8 and ASTM E23 standards to determine changes in the mechanical properties of these materials. Based on the results of the tensile test, it was found that the presence of Cu-Zn reduced the tensile strength of ADC 12 (141 MPa) and the alloy ADC 12+CuZn (55.1 Mpa). Impact strength test results show the average hardness level of ADC 12 (15.61 joules) and alloy ADC 12+CuZn (15.98 joules)*

*Keywords: ADC 12; Cu-Zn; Propeller; Impact Test; Tensile Test.*

**PENDAHULUAN**

Material ADC 12 merupakan jenis material paduan Al-Si-Mg. Material ADC12 adalah paduan aluminium cor yang banyak digunakan karena sifatnya yang sangat baik, yaitu kemampuan cor yang tinggi, kepadatan rendah, produktivitas tinggi, tingkat penyusutan rendah dan kekuatan yang relatif tinggi. (Okayasu *et al.*, 2012).

Selain tergolong dalam kelompok material paduan, ADC 12 dapat dimodifikasi dengan adanya penambahan unsur lain dengan tujuan merubah struktur mikro yang berdampak pada *mechanical strength*. Penelitian paduan ADC 12 dengan unsur lain menunjukkan adanya perubahan pada mikrostruktur dan *mechanical properties*. Material ADC 12/SiC dengan paduan TiB dan

Sr dibandingkan tanpa paduan sebesar 144 MPa (kekuatan tarik) dan 53 HRB (kekerasan) (Indarsari *et al.*, 2019). Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan adanya potensi dari *aluminum based* yang dapat ditambahkan dengan unsur lain yang nantinya dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan.

Salah satu penggunaan material *aluminium based* yakni sebagai bahan *propeller* yang berfungsi sebagai tenaga penggerak kapal. *Propeller* telah banyak digunakan pada berbagai dimensi kapal. Termasuk juga kapal nelayan dalam mencari ikan. *Propeller* berperan untuk menghasilkan gaya dorong kapal baik mau maupun mundur. Beberapa *propeller* yang digunakan dibedakan berdasarkan jumlah daun dan jenis material penyusun pada *propeller* (Arief, *et al.*, 2021).

Berdasarkan identifikasi jenis *propeller* yang digunakan oleh masyarakat nelayan pesisir di docking Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung, ditemukan bahwa kapal perikanan dengan GT > 6 menggunakan *propeller* berbahan dasar kuningan. Sedangkan pada perahu-perahu nelayan kecil, umumnya menggunakan *propeller* dari material aluminium base. Jenis *propeller* aluminium didasarkan pada sifat paduan aluminium, diantaranya sifat mekanis aluminium memiliki kekuatan yang tinggi terhadap beban rasio, kemampuan cor yang sangat baik, ketahanan korosi yang tinggi, koefisien ekspansi termal yang rendah, dan keausan yang baik resistensi (Fang *et al.*, 2014).

Namun, terdapat beberapa jenis kerusakan. *propeller* yang sering terjadi di laut, yakni korosi. Korosi yang terjadi pada *propeller* menyebabkan terjadinya proses *dezincification*, *graphitization*, dan *aluminification* (Revie, 2011). Sehingga, menyebabkan terjadinya penurunan *life time* serta mempengaruhi performa dari *propeller* tersebut.

Sifat lain yang harus dimiliki oleh *propeller* yakni memiliki tingkat ketangguhan material yang tinggi. Hal ini didasarkan pada penggunaan *propeller* sebagai pemecah ombak (Ghose & Gokarn, 2004). *Propeller*

diharapkan tidak *brittle* apabila mengalami benturan dengan batu maupun karang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa paduan kuningan kira-kira 45% mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dapat dikerjakan/dibentuk dengan mudah. Hal ini berdampak pada penurunan sifat aplikatif dari *propeller* pada perahu nelayan.

Penelitian terhadap *propeller* telah dilakukan dengan *propeller* berbahan aluminium bekas yang dibuat dengan proses pengecoran menggunakan crusibel berbahan bakar minyak dan dengan cetakan pasir. Sebelum peleburan, tidak dilakukan perhitungan dan pengukuran komposisi campuran bahan, namun sekedar perkiraan. Hasil pengujian menunjukkan komposisi pada unsur-unsur dominannya, yaitu kandungan Al 68,02%-74,38%, Si 1,86-3,28%, Cu 11,2-12,2%, Mg 0-0,746% dan nilai kekerasan material bervariasi dari 59 HRB hingga 62 HRB (Setiawan, 2014).

Jenis aluminium yang digunakan tidak murni sehingga menunjukkan kemampuan yang rendah. Untuk mendapatkan material *propeller* yang kuat, keras, memiliki ketangguhan, *ductile* dan memiliki ketahanan erosi serta ketangguhan yang tinggi, maka perlu adanya penelitian yang dilakukan dengan penambahan unsur *non-ferrous* kuningan (Cu-Zn) pada Al. Salah satu aplikasi dari paduan ini adalah sebagai *propeller* atau baling-baling pada kapal karena memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik, namun memiliki kekerasan yang kurang tinggi (ASM, 1992).

Beberapa riset telah dilakukan oleh para peneliti terkait penambahan Cu-Zn pada Al. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa adanya penambahan material Cu-Zn pada Al murni dengan metode tungku listrik mendapatkan besar energi impact tertinggi 2,08 joule (Rahayu, 2018).

Hasil penelitian dengan penambahan paduan Cu-Zn dengan kandungan 70% dan 30% merupakan kategori fasa yang mudah dikerjakan. Fasa  $\alpha$  pada aluminium based memiliki karakteristik lunak dan mudah dikerjakan (Setiawan, 2013). Selain Al murni, jenis aluminium yang dapat digunakan

sebagai bahan *propeller* yakni *aluminium die casting* (ADC) 12 baik dalam kondisi murni maupun dalam bentuk paduan dengan unsur *non ferrous*.

Hasil penelitian lain dengan penambahan Cu-Zn pada jenis aluminium ADC 12 diperoleh bahwa penambahan Cu-Zn 30% menghasilkan tingkat kekerasan rata-rata 72,6 HRC dan uji metalografi membuktikan terbentuknya Al-Si-Mg,  $\alpha$ -Al, Cu, Zn pada sampel yang menunjukkan adanya persebaran material non-ferrous pada ADC-12 (Ramadhani *et al.*, 2021).

Adanya unsur paduan Al-Si-Mg,  $\alpha$ -Al pada material ADC 12 dengan pengecoran semi solid mampu menghasilkan unsur yang dominan yang menunjukkan adanya perubahan struktur mikro akibat reaksi temperatur saat proses pengecoran. Hal ini tentunya mempengaruhi *mechanical properties* material (Rasyid & Muas, 2017).

Berdasarkan uraian sebelumnya, adanya penambahan material CuZn pada ADC 12 diharapkan mampu mengatasi kelemahan pada jenis *propeller aluminium based*. Perubahan *mechanical properties* pada *propeller* ditunjukkan dengan melakukan analisa terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *impact (toughness)* material ADC-12 sebagai material dasar penyusun *propeller*.

## METODE PENELITIAN

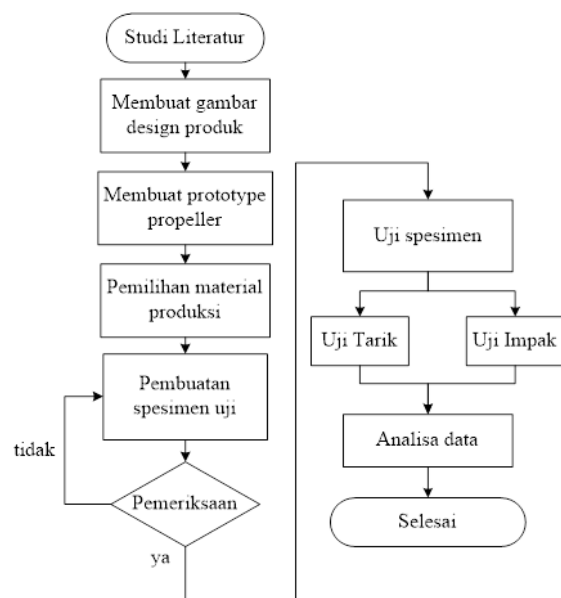
Bahan yang digunakan pada pembuatan *propeller aluminium based* dengan penambahan komposisi Cu-Zn 30 %, meliputi; (a) *Aluminium Die Casting* (ADC) 12, (b) kuningan (Cu-Zn), (c) solar, (d) pasir cetakan.

Diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1, terdiri beberapa proses pembuatan *propeller*. Khususnya pada tahapan pembuatan spesimen uji, yang terdiri dari beberapa proses, meliputi; (a) penimbangan berat *raw material*, (b) peleburan logam, (c) penuangan logam, (d) *solidification* logam atau pembekuan cairan logam, dan (e) pengujian *mechanical properties* material *propeller*.

Pengujian *mechanical properties* material *propeller* dilakukan dengan

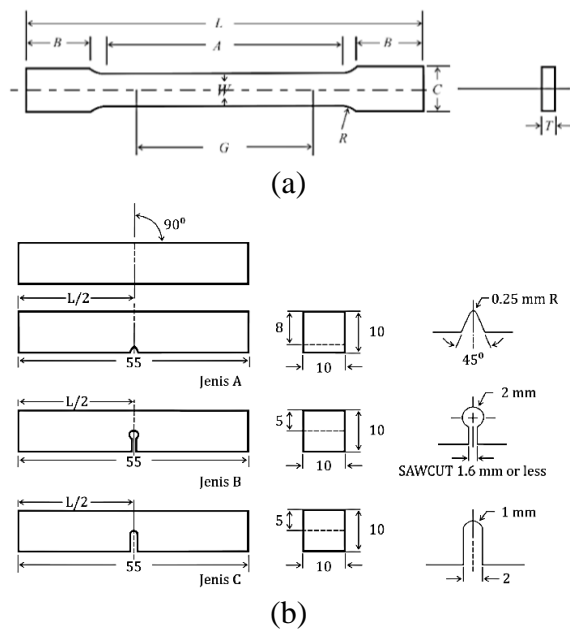
menggunakan spesimen uji tarik yang dibuat sesuai standard ASTM E8 dan spesimen uji impact yang dibuat sesuai standard ASTM E23.

Metode yang digunakan dalam pembuatan *propeller material aluminium based* dengan penambahan komposisi Cu-Zn 30% yakni penelitian eksperimental; dengan metode pengecoran (peleburan material ingot) kemudian diikuti proses *die casting* (pencetakan sampel uji *mechanical strength* dan *sand casting* (pencetakan *propeller*). proses pengecoran merupakan proses utama peleburan material batangan/*ingot* menjadi *molten metal* dengan pemanasan mencapai temperatur titik leleh.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian penambahan CuZn terhadap ADC 12

Tahapan yang dilakukan pada pengujian tarik dan impact yakni (a) preparasi dan (b) pengujian spesimen pada mesin uji. Preparasi bentuk setiap spesimen untuk setiap pengujian yang berbeda mengacu pada spesimen standard ASTM E8 dan E23 pada Gambar 2. Kemudian spesimen *finishing* dengan proses *grinding* untuk mendapatkan dimensi yang sesuai.



**Gambar 2.** (a) Standard spesimen uji tarik ASTM E8; (b) Standard spesimen uji impak ASTM E23 (Widyastuti *et al.*, 2018)

Proses pencetakan spesimen uji tarik dan impak, meliputi beberapa tahapan; Tahapan pertama yakni material ADC 12 dan paduan ADC 12 + Cu-Zn ditimbang berdasarkan persentase massa. Terdapat dua sampel. Spesimen A dengan komposisi penyusun ADC 12 murni dan spesimen B dengan perbandingan komposisi penyusun ADC 12 : Cu-Zn sebesar 70:30.

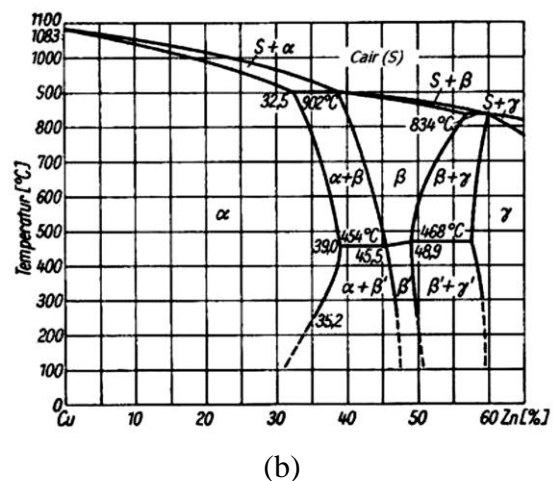
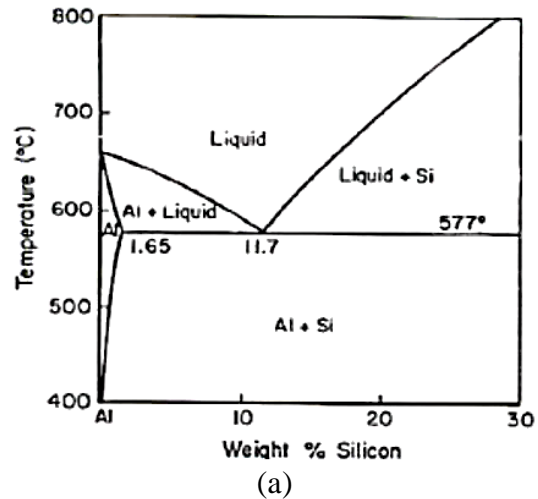
Selanjutnya, kedua spesimen dilebur secara bertahap untuk mendapatkan *molten metal*. Spesimen A dilebur hingga mencapai temperatur 500 °C. Sedangkan spesimen B dilebur melalui dua tahap. Tahap pertama, *ingot* Cu-Zn dilebur pada temperatur 700 °C hingga material menjadi *molten metal*. Selanjutnya penambahan ADC 12 dilakukan secara bertahap dengan kondisi sampel Cu-Zn tetap dilebur untuk menjaga tingkat homogenitas pencampuran. Selanjutnya kedua spesimen telah bercampur secara homogen dicetak kedalam cetakan dengan metode *die casting*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Propeller Hasil Penelitian

Proses peleburan material ADC 12 dan paduan ADC 12 + CuZn, dilakukan secara bertahap dengan proses pemanasan setiap

material hingga mencapai temperatur titik leleh. Berdasarkan diagram fasa paduan aluminium-silikon, diketahui titik lebur kedua material pada rentang temperature 650 °C-800 °C, seperti pada Gambar (3a).



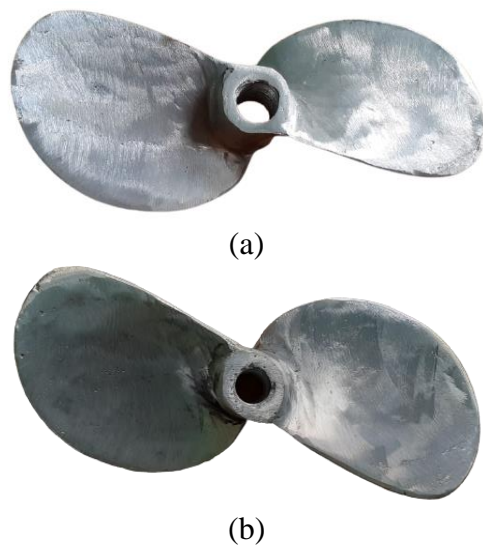
**Gambar 3.** (a) Diagram Fasa paduan Aluminium-Silikon dan (b) Diagram Fasa Kuningan (CuZn) (Laukli, 2004)

Pada spesimen A, material ADC 12 ditimbang dileburkan hingga menjadi *molten metal* dan selanjutnya dicetak menggunakan metode *sand casting* dengan proses penuangan secara bertahap untuk menghindari *void* yang terbentuk pada *propeller* apabila terjadi jeda waktu yang terlalu lama ketika mengalami *solidification*.

Sedangkan spesimen B, material Cu-Zn dileburkan terlebih dahulu karena memiliki titik leleh yang lebih tinggi daripada ADC 12. Pada Gambar (3b), ditunjukkan bahwa sampai pada titik 30% kandungan seng di dalam 70% kandungan tembaga termasuk kategori fasa  $\alpha$ .

Hal ini menunjukkan bahwa ketika titik lebur mencapai 900 °C, maka material Cu-Zn sudah mengalami pencairan. Setelah melebur secara merata, material ADC 12 ditambahkan ke dalam *molten* metal kuningan dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya *molten* metal paduan dituangkan ke dalam cetakan *sand casting*. Proses pengecoran yang telah dilakukan menghasilkan produk *propeller* ukuran 6,5” seperti pada Gambar 4.

Pada diagram fase Al-Si diatas, jenis padual Al-Si dapat menjadi bagi tiga kategori utama berdasarkan jumlah konsentrasi Si dalam Al, meliputi; (a) *hypoeutectic* (<12 wt % Si), (b) *eutectic* (12-13 wt % Si), (c) *hypereutectic* (14-25 wt % Si) ((Rana, Purohit, & Das, 2012).



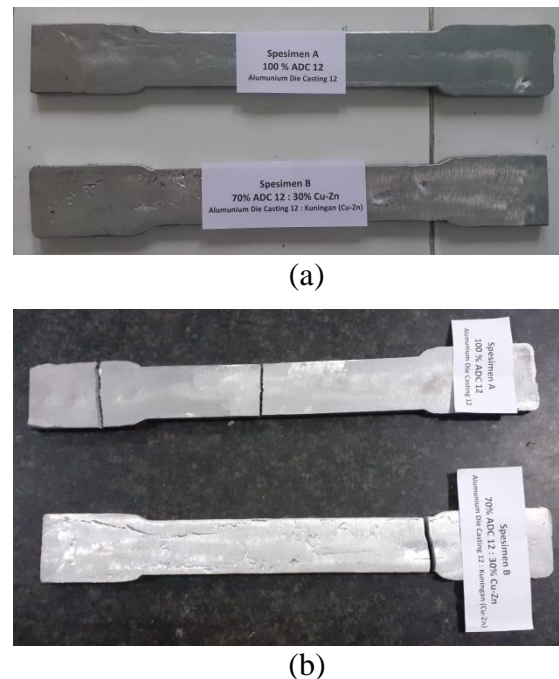
**Gambar 4.** *Propeller* ukuran 6,5” (a) material ADC 12 dan (b) paduan ADC 12 : Cu-Zn sebesar 70:30

Material *aluminium die casting* (ADC 12), termasuk dalam kategori paduan aluminium silicon dengan masing-masing persentase berat (84,8% dan 10,5% wt) (Zulfia, 2018). Hasil *propeller* pada Gambar 4, menunjukkan adanya perbedaan secara makro. Pada Gambar (4a) produk *propeller* berbahan ADC 12, nampak lebih mengkilat karena *propeller* terbuat dari ADC 12 murni. Sedangkan pada Gambar (4b), penambahan 30% Cu-Zn terhadap ADC 12 memberikan tampilan warna yang pudar. Selain itu, tekstur dari *blade propeller* dengan penambahan CuZn 30% tidak rata dan kasar. Berdasarkan

kedua hal tersebut, dapat dikatakan bahwa unsur CuZn yang ada pada ADC 12, telah merubah struktur morfologi *propeller* secara makro.

### Kekuatan Tarik

Pengujian sampel uji tarik dilakukan pada spesimen A dan spesimen B dengan mengacu standard spesimen ASTM E8. Preparasi spesimen dibuat dengan menggunakan material yang akan diuji dan dibentuk/*machining* secara presisi sesuai dengan standard ASTM E8. Gambar 5a, menunjukkan sampel uji tarik yang berhasil dibuat dengan ADC 12 dan paduan ADC 12+CuZn. Sedangkan pada Gambar 5b merupakan spesimen A dan B yang telah dilakukan pengujian tarik. Berdasarkan kedua gambar tersebut, menunjukkan tidak adanya perubahan dimensi yang signifikan. Hasil uji tarik tersebut selanjutnya dibuat grafik  $\sigma$ - $\epsilon$  yang ditunjukkan pada Gambar 6.

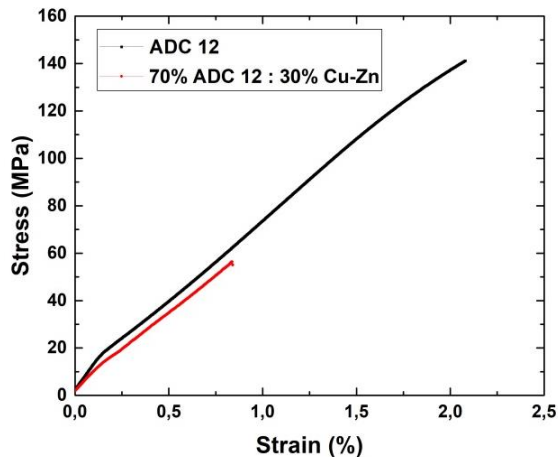


**Gambar 5.** (a) Spesimen A dan B sebelum uji tarik; (b) spesimen A dan B setelah uji Tarik

Berdasarkan Gambar 6, diperoleh grafik  $\sigma$ - $\epsilon$  pada spesimen uji tarik (A) ADC-12 dan (b) 70% ADC-12 : 30% Cu-Zn. Pada grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa spesimen mengalami *fracture* ketika proses pembebanan elastis dilakukan. Namun, kedua spesimen tidak menunjukkan nilai UTS dan sudah mengalami patah (*fracture*). Kedua



spesimen menunjukkan kemiripan yang serupa yakni mengalami patah secara signifikan tanpa adanya proses *necking*. Hal ini dapat dijelaskan bahwa material ADC 12 dan paduan ADC 12+CuZn yang dihasilkan memiliki sifat getas, sehingga tidak mampu menerima deformasi secara signifikan. Hasil pada grafik tersebut menunjukkan adanya penurunan kemampuan tegangan-regangan pada daerah elastis yang dihasilkan pada spesimen B.



**Gambar 6.** Grafik  $\sigma$ - $\epsilon$  pada spesimen uji tarik (spesimen A) ADC-12 dan (spesimen B) 70 % ADC-12 : 30 % Cu-Zn

Penurunan nilai tegangan-regangan pada spesimen B disebabkan adanya fenomena *solidification* pada daerah tertentu. Hasil pengujian menunjukkan adanya patah pada beberapa titik. Spesimen A mengalami patah pertama pada area *grip*, hal ini menandakan saat proses *load* berlangsung, terjadi konsentrasi tegangan pada titik patah tersebut. Kemudian, titik patah kedua terjadi pada area *gauge length* spesimen A. Sedangkan pada spesimen B, titik patah berada pada area R (lekukan pada spesimen). Hal ini menandakan bahwa pada spesimen B, terdapat lubang dan rongga yang memicu terjadi *initial cracking*.

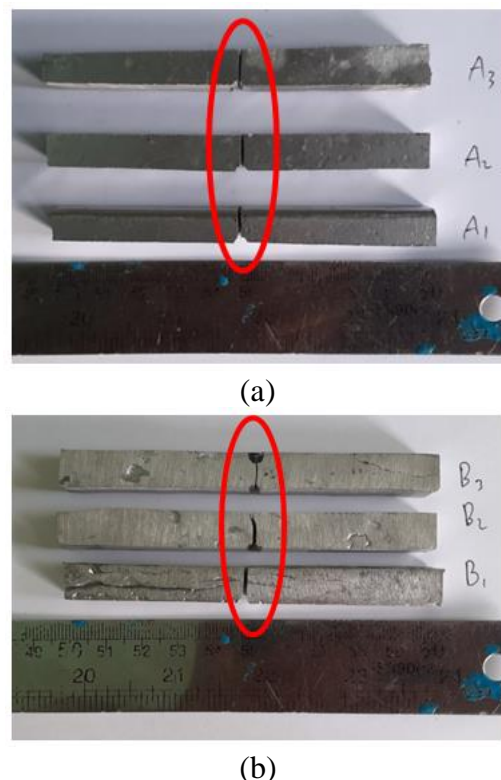
### Kekuatan Impact

Pengujian impact merupakan salah satu jenis pengujian mekanik pada material yang bertujuan untuk mengetahui respon kekuatan material terhadap pembebanan dan gaya secara tiba-tiba (beban kejut) yang diberikan terhadap area benda yang dikenai. Pengujian

sampel uji impact dilakukan pada spesimen A dan spesimen B dengan mengacu pada standard spesimen ASTM E23.

Pengujian impact pada *propeller* dilakukan untuk mengetahui kemampuan *propeller* saat diaplikasikan sebagai alat penggerak kapal perahu nelayan. Hal ini tentunya *propeller* akan mendapatkan gaya dan tekanan secara tiba-tiba dari luar. Umumnya, pada kondisi perairan, *propeller* akan mendapatkan respon ketika terkena batu karang dan arus ombak yang besar. Sehingga pengujian impact digunakan untuk mengukur respon material ketika mengalami beban kejut. Hasil yang diperoleh dalam bentuk energi yang dibutuhkan untuk mematahkan material secara tiba-tiba.

Penempatan *propeller* pada kondisi perairan yang relatif korosif juga mempengaruhi tingkat ketangguhan. Adanya penambahan Cu-Zn, diharapkan mampu untuk menghambat tingkat korosi yang terjadi pada material tersebut.



**Gambar 7.** Hasil uji impact pada spesimen (a) material ADC 12 dan (b) paduan ADC 12 : Cu-Zn sebesar 70:30

Pada Gambar 7, menunjukkan hasil spesimen yang telah mengalami

kerusakan/patahan pada takikan akibat adanya gaya dari pendulum yang bergerak. Bentuk patahan yang terbentuk pada spesimen A dan B, memiliki keragaman bentuk patahan yang menunjukkan bahwa energi impact yang dibebankan terkonsentrasi pada bagian takikan. Besar energi impact yang diserap ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil uji impact spesimen A dan B

Spesimen A	Impact (Joule)	Spesimen B	Impact (Joule)
A1	15,65	B1	15,9
A2	15,6	B2	15,95
A3	15,6	B3	16,1
<b>Rata-rata</b>	<b>15,61</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>15,98</b>

Proses pengujian impact pada spesimen A dan B dilakukan sebanyak 3 kali pengujian. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan validitas data energi impact pada setiap spesimen. Berdasarkan hasil pengujian impact spesimen A dan B pada Tabel 1 menunjukkan energi impact yang lebih besar pada penambahan 30% Cu-Zn. Berdasarkan hasil pengujian impact, dapat dianalisa bahwa *propeller* paduan ADC 12 dan CuZn menunjukan adanya sifat ketangguhan pada spesimen B dengan adanya persebaran kuningan (Cu-Zn) pada material ADC 12. Sehingga, dapat dikatakan bahwa *propeller* dengan paduan ADC 12 – Cu-Zn memiliki sifat ketangguhan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan *propeller* ADC 12. Jenis *propeller* yang dibuat dengan paduan 70% ADC12 : 30% Cu-Zn berpotensi tidak mengalami patah secara tiba-tiba ketika menghantam batu karang maupun hantaman ombak laut yang besar.

## SIMPULAN

*Propeller* ukuran 6,5” berhasil dibuat dengan menggunakan material ADC 12 dan penambahan paduan 30% Cu-Zn terhadap ADC 12. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa adanya penambahan unsur paduan, berpengaruh terhadap penurunan kekuatan tarik serta meningkatkan kekuatan impact pada *propeller*. Adanya peningkatan ketangguhan *propeller* berdampak secara signifikan terhadap kemampuan aplikatif *propeller* pada kondisi perairan. Penelitian selanjutnya dapat

dilakukan dengan memvariasikan serta menambahkan unsur paduan lain untuk mendapatkan performa *propulsion propeller* serta sifat mekanik yang lebih baik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* selama beroperasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, I. S., Baidowi, A., & Pradana, A. N. (2021). Analysis of the Effects from Adding Propeller Boss Cap Fins to Skewed Propeller Performance With CFD Methods. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 6(2), 140–151.
- ASM, I. (1992). *ASM Handbook Vol 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Material*. Amerika: The Materials Information Company.
- Fang, H. C., Chao, H., & Chen, K. H. (2014). Materials Science & Engineering A Effect of Zr , Er and Cr additions on microstructures and properties of Al – Zn – Mg – Cu alloys. *Materials Science & Engineering A*, 610, 10–16.
- Ghose, J. P., & Gokarn, R. P. (2004). *Basic Ship Propulsion*. Kharagpur: Allied Publishers.
- Indarsari, A., Syahrial, A. Z., & Utomo, B. W. (2019). Characteristics Of Aluminium ADC 12 / SiC Composite with the Addition of TiB and Sr Modifier. *E3S Web of Conferences*, 01004(130), 1–10.
- Laukli, H. I. (2004). *High Pressure Die Casting of Aluminium and Magnesium Alloys - Grain Structure and Segregation Characteristics*. Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Okayasu, M., Ohkura, Y., Takeuchi, S., Takasu, S., Ohfuji, H., & Shiraishi, T. (2012). A study of the mechanical properties of an Al – Si – Cu alloy ( ADC12 ) produced by various casting processes. *Materials Science & Engineering A*, 543, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.02.073>
- Rahayu, E. J. (2018). *Pengaruh Komposisi*

*Kuningan (CuZn) Terhadap Kekuatan Impact, Kekerasan, dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Alumunium (Al) dengan Menggunakan Tungku Listrik.* Universitas Negeri Semarang.

- Ramadhani, A. I., Barokah, B., Pakaya, F., Huwae, J. C., Tappy, M. S., Murtono, A., & Aji, A. T. T. R. (2021). Pengaruh Komposisi Cu-Zn Terhadap Tingkat Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Die Casting ( ADC ) 12 Sebagai Bahan Propeller. *Journal of Bluefin Fisheries*, 3(2), 32–39.
- Rana, R. S., Purohit, R., & Das, S. (2012). Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(6), 1–7.
- Rasyid, S., & M, M. (2017). Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Alumunium ADC 12 dengan Teknik Pengecoran Semi Solid (Rheocasting). *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M), 2017*, 1–6.
- Revie, R. W. (2011). *Uhlig's Corrosion Handbook Third Edition*. (R. W. Revie, Ed.) (Thrid). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Setiawan, H. (2013). Pengujian Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Produk Cor Propeller Kuningan. *SIMETRIS*, 3(1), 71–79.
- Setiawan, H. (2014). Pengujian Kekerasan dan Komposisi Kimia Produk Cor Propeller Alumunium. *Prosiding SNST Ke-5*, 31–36.
- Widyastuti, Ardhyanta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R. M. (2018). *Karakterisasi Material, Bagian 1: Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik (I)*. Surabaya: ITS Press.