

## Pengaruh Waktu Penggilingan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Al-Ni-Co Dengan Metode Mechanical Alloy

Rozi Afrizal<sup>1</sup>, Sutrisna<sup>2,\*</sup>, Mustakim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jl. Barbarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: [sutrisna@itny.ac.id](mailto:sutrisna@itny.ac.id)

### Abstrak

*Al-Ni-Co alloy components are corrosion-resistant metals, good conductors of electricity and heat, and good conductors of heat and electricity. The purpose of this study was to determine the effect of annealing time of Al-Ni-Co alloy on hardness and microstructure using mechanical alloys. The material used in this alloy system is a composition of 85%Al-10%Ni-5%Co. The process is carried out by mixing the powder, then the milling process is carried out for 4 hours, 8 hours and 12 hours by heating at 500°C and holding for 1 hour. The heat treatment process uses a furnace. The tests to be carried out on the alloy are hardness and microstructure. The results of the microstructure of milling 4 hours and 8 hours of Ni and Co alloys were still not homogenized in the Al element, while milling 12 had spread throughout the Al-Ni-Co alloy. The highest hardness value of the specimen was 309.79 kg/mm<sup>2</sup> milling 12 hours.*

**Keywords:** Paduan Al-Ni-Co, powder, perlakuan panas, kekerasan, struktur mikro

### Abstrak

Komponen paduan Al-Ni-Co merupakan logam tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, dan konduktor panas serta elektrik yang baik. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu *anil* paduan Al-Ni-Co terhadap kekerasan dan struktur mikro dengan menggunakan paduan mekanik. Bahan yang digunakan dalam sistem paduan ini komposisi 85%Al-10%Ni-5%Co proses yang dilakukan pencampuran *powder* kemudian proses *milling* selama 4 jam, 8 jam, dan 12 jam dengan pemanasan pada suhu 500°C ditahan selama 1 jam. Proses perlakuan panas menggunakan furnace. Pengujian yang akan dilakukan pada paduan adalah kekerasan dan struktur mikro. Hasil struktur mikro *milling* 4 jam dan 8 jam paduan Ni dan co masih belum terhomogenisasi pada unsur Al, sedangkan *milling* 12 sudah menyebar ke seluruh paduan Al-Ni-Co.. Nilai kekerasan tertinggi spesimen yaitu sebesar 309,79 kg/mm<sup>2</sup> *milling* 12 jam.

**Kata kunci:** Al-Ni-Co Alloy, powder, heat treatment, hardness, microstructure

### PENDAHULUAN

Sifat mekanik suatu paduan adalah komposisi kimia, perlakuan panas, proses pengecoran dan proses pengerjaan. Jadi dengan mengubah komposisi kimia sampai batas tertentu dan memberikan perlakuan panas, maka sifat mekanik paduan akan menjadi lebih baik sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan proses *milling*, merupakan proses penguraian

material yang menghasilkan bentukan bidang datar yang biasanya menggunakan bantuan mesin. Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap hasil dari proses *milling* ini seperti kecepatan, waktu, temperature, dan tekanan.

Logam Al digunakan di hampir semua kehidupan, logam-logam digunakan di dunia fisik maupun kimia. Di fisik aluminium digunakan dalam struktur pesawat terbang, rangka-rangka etalase, rangka pintu dan jendela, peralatan-peralatan dapur, sebagai pembungkus (aluminium foil), dan sebagainya. Di kimia aluminium digunakan sebagai reduktor dalam berbagai ekstraksi ion logam larutan. Ada pun kelebihan dan kelemahan aluminium, kelebihanannya mudah dibentuk dan lentur, dapat didaur ulang, dan berlimpah di bumi. Namun demikian, aluminium juga memiliki kelemahan karena luntur lunak dan tidak kuat, tidak kuat menahan beban, dan bukan konduktor listrik yang baik, serta logam ini tidak cocok digunakan untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan seperti rangka bangunan.

Logam Ni berwarna putih keperak-perakan sedikit keemasan, nikel termasuk logam transisi dan memiliki sifat keras serta ulet. Nikel juga tergolong dalam kelompok logam besi-kobalt yang dapat menghasilkan paduan yang saat berharga. Nikel murni berbentuk powder untuk memaksimalkan luas permukaan reaktif memiliki aktivitas kimia yang signifikan, tetapi potongan yang besar bereaksi dengan udara dalam kondisi normal karena lapisan teroksidasi di permukaan dan mencegah korosi lebih lanjut. Sifat nikel yang keras, mudah ditempa, sedikit ferromagnetis, dan merupakan konduktor yang agak baik terhadap panas dan listrik. Ni tergolong dalam grup besi-kobalt yang dapat menghasilkan alloy yang sangat berharga. Ni digunakan secara besar-besaran untuk pembuatan baja tahan karat dan *alloy* yang bersifat tahan korosi seperti, Invar, Monel, Inconel, dan Hastelloys. *Alloy* tembaga-nikel berbentuk tabung banyak digunakan dalam pembuatan instalasi proses menghilangkan garam untuk mengubah air laut menjadi air segar dan nikel juga digunakan untuk membuat uang koin dan baja nikel untuk melapisi senjata dan ruangan besi, nikel yang sangat halus digunakan sebagai katalis untuk menghidrogenasi minyak sayur (menjadikannya padat). Ni juga digunakan dalam keramik, pembuatan magnet Alnico dan baterai penyimpanan Edison. (Mastahbarokah, 2017).

Logam Co merupakan unsur kimia dalam table periodik yang memiliki lambing Co dan nomor atom 27. Kobalt terjepit di antara besi dan nikel di bagian tengah table periodik dengan logam transisi, yang menjembatani unsur-unsur kelompok utama yang terletak di kedua sisi. Elemen ini biasanya ditemukan dalam bentuk campuran di alam, elemen bebasnya diproduksi dari peleburan reduktif, logam berwarna abu-abu perak yang keras dan berkilau. Kobalt menjadi salah satu dalam pembuatan baterai untuk kelistrikan dan alat-alat yang berbasis elektronik lain-lainnya. Kobalt selalu dikombinasikan dengan unsur-unsur seperti nikel, tembaga, aluminium, besi, atau arsenik.

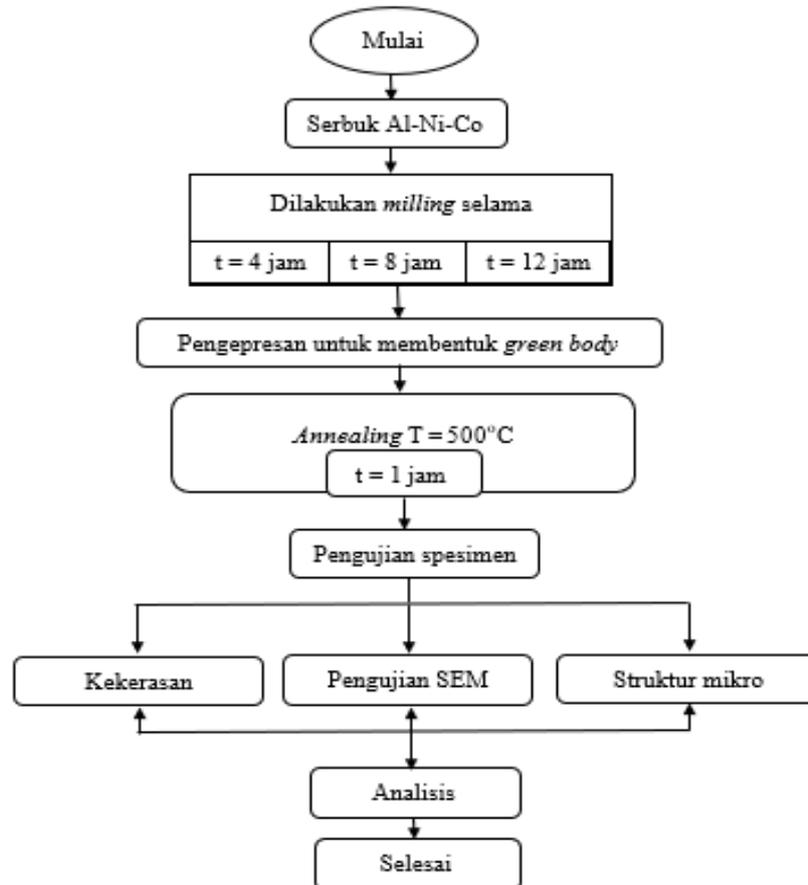
Paduan Al-Ni-Co ketika kadar Al meningkat menjadi 20% dendrit yang berbeda muncul dan di daerah interdendritik terdapat struktur eutektik. Ketika *anil* pada 800°C, ketiga fasa tersebut cukup jelas dimana Co berada disekitar fasa b yang gelap akibat reaksi perite ctoid. Setelah dianil pada suhu 600°C terlihat bahwa sejumlah fase skunder-c keluar dari fase primer. Fase b dan fase c0 juga mengendap keluar dari matriks c secara terputus-putus membuat struktur mikro menjadi lebih kompleks. Singkatnya perlakuan homogenisasi suhu tinggi menghilangkan struktur dendritik dan eutektik. Dalam uji kekerasan bahwa pada kandungan Al rendah cenderung fase tunggal pada temperatur tinggi dengan nilai kekerasan rendah. Sedangkan dengan meningkatnya kandungan Al kekerasan akan meningkat secara bertahap ke nilai yang tinggi.

Metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) merupakan proses pembuatan serbuk dan benda jadi dari serbuk logam atau paduan logam dengan ukuran serbuk tertentu tanpa melalui proses peleburan, energi yang digunakan dalam proses ini relative rendah sedangkan keuntungan lainnya antara lain hasil akhirnya dapat langsung di sesuaikan dengan dimensi yang di inginkan yang berarti akan mengurangi biaya pemesinan dan bahan baku yang terbuang, Yang menjadi

masalah utama untuk memanfaatkan hasil serbuk tersebut adalah perlakuan-perlakuan terhadap serbuk logam dengan sebaik-baiknya, sehingga menjadi sebuah benda yang mempunyai nilai yang tinggi (Rusianto, 2009). Paduan mekanis adalah teknik pemrosesan solit-state dan bubuk yang melibatkan pencampuran berulang, rekahan, dan pengelasan ulang partikel bubuk campuran di *ball milling* berenergi tinggi untuk menghasilkan bahan yang homogen.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan prosedur yang ditunjukkan diagram alir berikut :



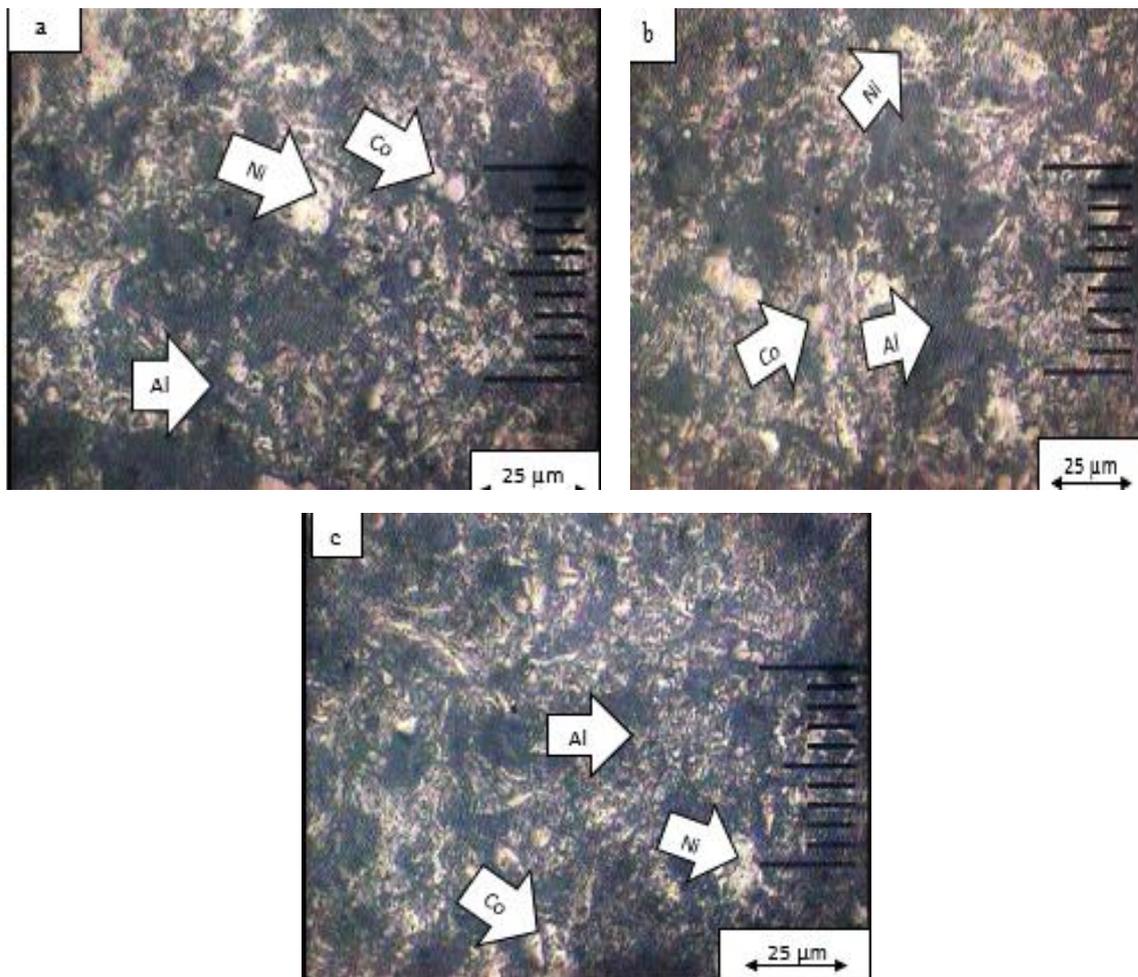
**Gambar 1.** Diagram Alur

Penelitian ini adalah eksperimen dilaboratorium Badan dan Riset yang dimulai dari penyiapan pencampuran serbuk paduan logam dengan komposisi Al-Ni-Co kemudian di *milling* dengan metode *mechanical alloying* dengan variasi penggilingan 4 jam, 8 jam, dan 12 jam. Setelah serbuk di *milling* dipress dibuat menjadi spesimen (*green body*) dan dilanjutkan *annealing* pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  ditahan selama waktu 1 jam, selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro dan kekerasan.

Serbuk Al-Ni-Co dengan kemurnian 99,99% dan 1-50 mikron. Paduan Al-Ni-co dicampur kemudian digiling dilakukan proses pengepresan beban 6 ton dengan tekanan pressure  $75\text{ kg/cm}^2$  ditahan selama 15 menit ini dilakukan untuk membuat spesimen (*green body*). Proses *annealing* paduan Al-Ni-Co variasi milling 4 jam, 8 jam, dan 12 jam. Pemanasan paduan Al-Ni-Co dengan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam dengan proses *anil* pemanasan awal  $24^{\circ}\text{C}$  didalam furnace.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Struktur Mikro

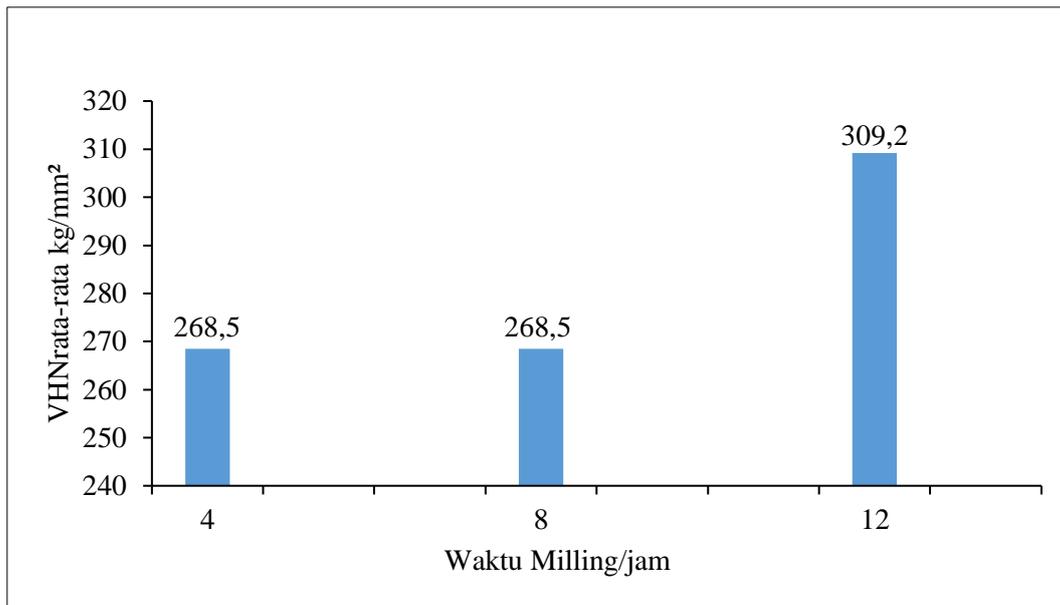


**Gambar 2.** Struktur mikro paduan Al-Ni-Co dengan pemanasan 600°C setelah di *milling* 4 jam, 8 jam, dan 12 jam.

*Milling* 4 jam dapat diamati struktur mikro paduan Al-Ni-Co masih membentuk paduan yang belum homogen, terlihat seperti gambar di atas elemen Al, Ni, Co berdiri sendiri-sendiri dan susunanya terpisah dimana spesimen Co masih jelas belum tercampur pada paduan Al dan Ni, terlihat jelas pada gambar a. Hal ini dikarenakan waktu *milling* yang diberikan selama 4 jam belum cukup waktu membentuk paduan padat diamati pada gambar a. Ditunjukkan pada gambar b *milling* selama 8 jam paduan Al-Ni-Co bahwa unsur-unsur Co, Ni, dan Al masih terlihat individu yaitu menggumpal di daerah tertentu. Fenomena ini disebabkan karena proses pemanasan belum sampai pada titik lebur dari paduan tersebut sehingga belum terjadi larutan padat.

Selain itu waktu *milling* 8 jam juga masih belum cukup membentuk unsur-unsur menjadi seragam, terlihat besar unsur Al lebih dari 25 µm sementara Co hanya sekitar 10 µm. Sedangkan pada gambar c terlihat hasil struktur mikro setelah dilakukan *milling* selama 12 jam dan kemudian dipanaskan pada suhu 500°C. Dari gambar tersebut terlihat bahwa distribusi unsur sudah menyebar ke seluruh paduan Al-Ni-Co. Selain itu besarnya unsur-unsur yang ada sudah hampir sama, hanya ada Sebagian unsur Ni saja yang lebih besar yaitu sekitar 20 µm. Hal ini terjadi antara lain unsur Ni mempunyai nomor atom yang lebih tinggi daripada unsur yang lain.

## Pengujian Kekerasan



**Gambar 6.** Diagram uji kekerasan *vickers*

Gambar 6. menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan *Vickers* dengan beban 200 gf selama 5 detik, setiap spesimen dilakukan pengujian 3 titik yang berbeda secara acak. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen paduan Al-Ni-Co diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada spesimen *milling* 12 jam yaitu sebesar 309,2 kg/mm<sup>2</sup>, tingginya nilai kekerasan ini disebabkan oleh adanya ukuran butir yang kecil dan internal *stress* karena hasil paduan mekanik. Hasil *milling* 4 jam dan *milling* 8 jam memiliki nilai kekerasan yang sama yaitu 268,5 kg/mm<sup>2</sup>, seharusnya semakin lama waktu penggilingan maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

Dapat pada gambar 4.7 bahwa nilai kekerasan antara *milling* 4 jam dan 8 jam memiliki nilai kekerasan yang sama, ini disebabkan karena belum terjadinya merata pada setiap unsur pada paduan Al-Ni-Co tersebut. Sedangkan nilai yang diharapkan *milling* 8 jam lebih tinggi daripada *milling* 4 jam. Karena semakin lama waktu *milling* maka semakin meningkat nilai kekerasannya

Dalam penelitian ini paduan Al-Ni-Co memiliki kekerasan mikro tertinggi 309,2 kg/mm<sup>2</sup>. Jadi dari hasil pengujian kekerasan, dapat disimpulkan *milling* diatas 12 jam dan *annealing* 500°C ditahan 1 jam akan menghasilkan kekerasan yang lebih bagus, karena perubahan batas butir lebih halus pada spesimen

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengamatan struktur mikro pada penggilingan 4 jam masih belum homogen dimana elemen Al, Ni, dan Co berdiri sendiri-sendiri. Penggilingan 8 jam unsur Co masih terlihat individu karena proses pemanasan yang belum mencapai unsur Co terhomogen terhadap Al dan Ni. Sedangkan pada penggilingan 12 jam distribusi unsur sudah menyebar ke seluruh paduan Al-Ni-Co. Selain itu besarnya unsur-unsur yang ada sudah hamper sama, hanya ada Sebagian unsur Ni saja yang lebih besar yaitu sekitar 20  $\mu\text{m}$ .
2. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen *milling* 12 jam yaitu sebesar 309,2 kg/mm<sup>2</sup>, tingginya nilai kekerasan ini disebabkan oleh adanya ukuran butir yang kecil dan internal *stress* karena hasil paduan mekanik.

## SARAN

1. Waktu mixing/mencampur unsur-unsur Al, Ni, Co sebaiknya diruang vakum biar tidak terjadi kontaminasi dengan udara luar.
2. Penelitian lebih lanjut terhadap paduan Al-Ni-Co dengan metode waktu penggilingan dan suhu pemansan yang lebih lama.
3. Dilakukan pengujian lain untuk melengkapi data.
4. Dalam melakukan mounting diharapkan ukuran spesimen tidak terlalu kecil agar memudahkan dalam pengamplasan spesimen tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu dan yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiantoro, B., Saefuloh, & Haryadi, Z. (2018). Pengaruh *Quencing* Dan *Temperatur* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit. *Teknik Mesin Unita, IV*.
- Amar, & Sari. (2013). Penentuan Kadar Nikel Dalam Mineral Laterit Melalui Pemekatan Dengan Metode Kopresitapi Menggunakan Cu-Pirolidin Dithiokabamat. *amar*.
- Amira, Y. (2017). Definisi Paduan Intermetalik. *Yulia Amira Blogs*.
- Anggianto. (2011). Karakteristik Dan Sifat-sifat Spesifik Kobalt (Co). *Wahid Priyono*.
- B. Grushko, D. Holland-Moriz, R. wittmann, & G. Wilde. (1998). Transisi Antara struktur Periodik Dan Kuasipriodik Pada Al-Ni-Co. *Paduan dan Senyawa 280*.
- B. Grushko, S. Mi, & J. G. Highfield. (2002). A Study Of The Al-rich Region Of The Al-Ni-Mo Alloy System. *Alloys and Compounds, 334*.
- Candra, G., Firdaus, N., Putra, A., & Eldina, G. I. (2016). UJI KETAHANAN FATIK ALUMINIUM SCRAP HASIL REMELTING PISTON BEKAS MENGGUNAKAN ALAT UJI FATIK TIPE ROTARY BENDING. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin*.
- Dohmeir, C., loos, D., & Schnockel, H. (1996). Sintesis, Struktur, dan Reaksi. *Angewandte Chemie Internasional, 35, Issue 2*.
- Everhart, J. L. (1971). Retrieved from Engineering Properties Of Nikel and Nikel Alloy: <http://doi.org/10.1007/978-1-4684-1884-2>
- Firmansyah. (2021). Hardness Test. *Detech Material Testing Laboratory*.
- Firmansyah. (2021). Hardness Test. *DETECH Material Testing Laboratory*.
- Groover, M. P. (2010). Teknologi Manufaktur. *Fundamentals of Modern Manufacturing*.
- Hardoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jin Grade S45C Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Crankshaft. *Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam 45 Bekasi, 103-105*.
- Haryadi, Saefuloh, I., Zahrawati, A., & Adjiantoro, B. (2018). Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit. *Teknik Mesin Unitirta, IV, No 1*.
- IARC. (2012). Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. *Internasional Agency For Research On Cancer*.
- Ihsan, E. E., Candra, G., Firdaus, N., Sari, S. D., & Putra, A. (2016). ALUMINIUM. *Kimia, Universitas Negeri Padang, Indonesia*.
- LKALLOY. (2018). *Berapa banyak jenis perlakuan panas annealing yang Anda tahu*. Retrieved from [https://lkalloy.com/id/how-many-types-of-annealing-heat-treatment-did-you-know/#:~:text=Anil%20adalah%20proses%20perlakuan%20panas,secara%20perlahan%20\(pendinginan%20tungku\)](https://lkalloy.com/id/how-many-types-of-annealing-heat-treatment-did-you-know/#:~:text=Anil%20adalah%20proses%20perlakuan%20panas,secara%20perlahan%20(pendinginan%20tungku))

- M. Idris. (2019). *Mengenal Nikel, Logam Yang Disamakan Edhy Prabowo dengan Lobster*. Retrieved from KOMPAS.com: <https://money.kompas.com/read/2019/12/17/152402426/mengenal-nikel-logam-yang-disamakan-edhy-prabowo-dengan-lobster?page=all>
- Mastahbarokah. (2017). Materi Kimia Organik, Kimia Anorganik, Tabel Periodik Unsur Kimia, Kimia Anatalik. *Mastah.org*.
- McAlister, A. J. (1989). Bull. Alloy Phase Diagrams. *ASM Internasional ASM Handbook Volume 3 Alloy BookFi*, 288-289.
- Mond, L. (1890). Action Of Carbon Monoxide On Nikel. *Chemical Society*.
- Murtiono, A. (2012). PENGARUH QUENCHING DAN TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON SEDANG UNTUK MATA PISAU PEMANEN SAWIT. *e-Dinamis*.
- Nishizawa, T. (1991). Solubility Of Antimony In Cobalt, Nikel and Co-Ni Alloys. *ASM Internasional ASM Handbook Volume 3 Alloy BookFi*, 653.
- Novitasari, S. (2019). Simulasi Sifat-sifat Magnetik Material Co<sub>0.8</sub>Ni<sub>0.2</sub> Random Alloy dan Double Layers Dalam Berbagai Variasi Ukuran Sisi Kubus. *Digitas Repository Universitas Jember*.
- Ra, A. S., Samal, S., Nayan, N., & Bakshi, S. R. (2019). Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Entropi Tinggi Berbasis Ti-Al-Ni-Co-Fe Disiapkan Dengan Rute Metalurgi Serbuk. *Dept. Teknik Metalurgi Dan Material, IIT Madres*, 126-130.
- Rusianto. (2009). HOT PRESSING METALURGI SERBUK ALUMINIUM DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN. *Institut Sains & Teknologi AKPRIND. Yogyakarta*.
- Senjaya, Wijayanto, & A. P Bayuseno. (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nikel Alloy N06025 Pada Wasteheat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1).
- Setyo, A., & Suheli. (2015). Sifat Fisik Dan Mekanis Lapisan Nikel-Chromium Pada Permukaan Baja AISI 410. *Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang*.
- Sutrisna. (2021). Studi paduan entropi medium NiFeCoCr sebagai fase pengikat pada paduan tungsten . *www.elsevier.com/locate/intermet*, 4-8
- Sulistioso, G., & Sukaryo. (2011). Sintesis, Analisis Korosi dan Toksisitas Pada Material Biokompatibel Co-Cr-Mo. *Pusat Teknologi Bahan Industri, Batan*.
- Surdia, T. (2005). *Pengujian Kekerasan Logam dengan Metode Rockwell*. Retrieved from <https://novotest.id/pengujian-kekerasan-logam-metode-rockwell/>
- Surdia, T., & Cijjiwa, k. (1991). Teknik Pengecoran Logam. *PT Pradnya Peramita, Jakarta*.
- Suroto. (1983). Ilmu Logam. *ATMI Press, Surakarta*.
- Suryanarayana, C. (2008). Recent Developmentals In Mechanical Alloying. *Rev. Adv. Master. Sci. 18*.
- T. Benameur, A. Inoue, & T. Masutomo. (1994). Transisi Fase Kristal Ke Amort Dalam Sistem Al-Ni-Co Selama Paduan Mekanik. *Transaksi material, JIM, Jil, 35, No 7*.
- Tuncay, T., Tuyari, B., Tuncay, B., & Sunari, T. (2022). Peran Nikel Terhadap Struktur Mikro Dan Perilaku Kehausan Pada Prealloy A356/XNi Yang Dihasilkan Dengan Metode Mechanical Alloying. *Ilmu-ilmu BAUN. Inst. Majalah, 24(2)*, 448-493.
- Vlack, V. (1992). Ilmu dan Teknologi Bahan. *Erlangga, Jakarta*.
- Vogel. (1979). Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro. *PT Kalman Media Pustaka. Jakarta*.
- Wanta, K. C., Putra, F. D., & Susanti, R. F. (2019). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak Spent Catalyst. *Jurnal Rekayasa Proses, 13(2)*.
- Wuloyo, B. (2009). Pengaruh Penambahan Rotating Disk Pada Proses Gas Atomisasi Baja Terhadap Efisiensi Dan Karakteristik Serbuk Baja. *B. wuloyo*, 1-2.

- X. Y. Kamu, Zhu, Y., Shi, W., & S. Jin. (1994). Pembentukan Decagonal Quasicrystalline Al-Co Oleh Implantasi Ion. *Pembukaan dan Pelapis Teknologi Departemen Teknik Mesin, Universitas Teknologi Dalian, 116024*, 392.
- Yang Zhou, Nash, P., & Bessa, S. M. (2017). Phase Equilibria in the Al-Co-Ni Alloy System. *J. Phase Equilib. Diffus*, 638-645.
- Yuswanto. (2020). Analisis SEM (Scanning Elektron Mikroskop) dan Foto Mikro Pada Material Komposit Serat Tangkal Jagung Dengan Matriks Plastik Poliprolen. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Zhou, F., Zhou, Y., Martins, j. M., Nash, P., & Wang, J. (2019). Pengaruh Presipitasi Pada Paduan Al-Co-Ni Terhadap Sifat Mekanik. *Materials Characterization 151*.