

TREATMENT ALUMINIUM 6061 DALAM RUANG TERTUTUP MENGGUNAKAN MEDIA SERBUK KARBON DAN NIKEL-CHROM PADA TEMPERATUR 450°C DENGAN VARIASI WAKTU 4, 5 DAN 6 JAM

Fitra Eka Aditya, Masyrukan
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

ABSTRAK

Industri manufaktur mengalami kemajuan sesuai dengan banyaknya inovasi dari material yang terus diperbarui dan dikembangkan. Logam salah satu material yang memiliki peran besar dalam mengubah dunia manufaktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh *treatment* aluminium 6061 dalam ruang tertutup menggunakan media karbon, nikel, dan chromium pada suhu sekitar 450° selama 4, 5, atau 6 jam terhadap bentuk morfologi SEM. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada material Al + C yang di *treatment* pada ruang tertutup dengan variasi waktu 4, 5, dan 6 jam menunjukkan kadar Carbon yang meningkat seiring lamanya variasi waktu yang digunakan. Hal tersebut ditunjukkan setelah spesimen dilakukan uji Scanning Electron Microscopy (SEM) dimana pada *treatment* variasi waktu 4 jam kadar Carbon(C) sebesar 13.167% berat, pada variasi waktu 5 jam kadar Carbon(C) meningkat sebesar 15.965% berat, dan pada variasi waktu 6 jam kadar Chromium(Cr) juga meningkat sebesar 29.254% berat. Pengujian dari Scanning Electron Microscopy (SEM) Al C + Ni + Cr menunjukkan perubahan morfologi pada spesimen yang telah di *treatment* dengan waktu 4 jam kadar (Ni) sebesar 0.041% berat dan (Cr) sebesar 0.046% berat, pada variasi waktu 5 jam kadar (Ni) menurun sebesar 0.039% berat dan kadar (Cr) menurun sebesar 0.044% berat, sedangkan pada variasi waktu 6 jam kadar (Ni) mengalami peningkatan sebesar 0.140% berat dan kadar (Cr) meningkat sebesar 0.079% berat.

Kata kunci: Aluminium 6061, *Treatment*, Difusi, *Scanning Electron Microscopy*

ABSTRACT

The manufacturing industry is progressing in accordance with the many innovations in materials that are continuously updated and developed. Metal is one of the materials that has a big role in changing the world of manufacturing. The aim of this research is to test the effect of treating aluminum 6061 in a closed chamber using carbon, nickel and chromium media at a temperature of around 450° for 4, 5 or 6 hours on the SEM morphology. Scanning Electron Microscopy (SEM) testing on Al + C material treated in a closed room with time variations of 4, 5 and 6 hours shows that carbon levels increase with the length of time used. This was shown after the specimens were subjected to a Scanning Electron Microscopy (SEM) test where at the 4 hour *treatment* time variation the Carbon(C) content was 13.167% by weight, at the 5 hour time variation the Carbon(C) content increased by 15.965% by weight, and at the time variation At 6 hours, Chromium(Cr) levels also increased by 29,254% by weight. Tests from Scanning Electron Microscopy (SEM) of Al C + Ni + Cr showed morphological changes in specimens that had been treated for 4 hours with levels of (Ni) of 0.041% by weight and (Cr) of 0.046% by weight, at a time variation of 5 hours the levels (Ni) decreased by 0.039% by weight and (Cr) levels decreased by 0.044% by weight, while at a time variation of 6 hours (Ni) levels increased by 0.140% by weight and the content (Cr) increased by 0.079% by weight.

Keywords: Aluminum 6061, Treatment, Diffusion, Scanning Electron Microscopy

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur mengalami kemajuan sesuai dengan banyaknya inovasi dari material yang terus diperbarui dan dikembangkan. Logam salah satu material yang memiliki peran besar dalam mengubah dunia manufaktur. Produk- produk yang dihasilkan dari logam itu sendiri berupa komponen otomotif, peralatan rumah tangga, alat konstruksi, dirgantara dan dari beberapa peralatan tersebut bahan baku logam yang digunakan bisa berupa aluminium.

Baja karbon rendah sering digunakan sebagai bahan dalam konstruksi umum karena memiliki kekuatan tinggi, meskipun kekerasan dan ketahanannya terhadap aus rendah. Masalah ini dapat diatasi dengan mengubah sifat material melalui proses perlakuan panas. Perlakuan panas yang diterima baja selama produksi merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan struktur mikronya. Salah satu cara untuk mengubah struktur baja karbon rendah adalah melalui perlakuan panas, yang sangat meningkatkan ketahanan logam terhadap panas. Mendinginkan spesimen dalam media dengan laju pendinginan yang berbeda—misalnya, solar, air, oli, atau udara—dilanjutkan dengan memanaskannya dalam ruang pembakaran pada suhu yang dibutuhkan untuk rekristalisasi selama jangka waktu tertentu. (Saktisahdan, 2019).

Karena sifatnya yang mudah ditempa, tahan terhadap korosi, dan mudah diregangkan, aluminium dapat dikerjakan di lingkungan panas maupun dingin. Berkat sifat unggul ini, banyak barang disekitar kita yang terbuat dari aluminium. Saat ini, telah banyak penelitian yang mempelajari paduan aluminium untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Paduan aluminium adalah aluminium yang dicampur dengan unsur-unsur lain untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Material ini sangat populer di berbagai industri karena ringan dan memiliki persyaratan seperti tahan terhadap beban berulang, beban kejutan, retak- leleh, serta memiliki usia pakai yang lebih lama. Perlakuan panas merupakan salah satu perlakuan material yang dapat memperbaiki karakteristik mekanis aluminium. (Wardoyo & Sumpena, 2018).

Paduan aluminium 6061 adalah paduan Al-Mg-Si yang dapat diolah dengan perlakuan panas. Aluminium 6061 terkenal karena memiliki sifat mekanik yang sangat baik, seperti kekuatan tinggi dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Selain itu, paduan ini juga memiliki ketangguhan yang tinggi sehingga mampu menahan retak. Karena sifat-sifat ini, aluminium 6061 dianggap sebagai kandidat material yang potensial untuk industri otomotif dan dirgantara. Keselamatan tabrakan kendaraan dan pesawat ditingkatkan karena ketahanannya terhadap retak dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. (Marini & Ismail, 2011).

Logam aluminium memiliki titik leleh sekitar 660 °C, yang memungkinkan proses

pengerasan presipitasi melalui temperatur aging. Telah diketahui secara umum bahwa metode ini dapat menghasilkan tingkat kekerasan dan kekuatan impak yang lebih tinggi untuk seri 6069 pada paduan aluminium dibandingkan bahan dasarnya. Aging adalah metode untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium melalui pengerjaan dingin dan perlakuan panas, dikenal juga sebagai pengerasan presipitasi (Wisnaningsih & Yunus, 2017). Ada dua bentuk penuaan yang berbeda: alami dan buatan. Untuk menua logam paduan aluminium secara alami, logam paduan aluminium harus dibiarkan dalam suhu dingin, idealnya antara 15 dan 25 derajat Celsius, selama 5 hingga 8 hari. Sementara itu, aging buatan dilakukan dalam kondisi panas pada suhu antara 100 °C - 200 °C selama 1 hingga 24 jam. Penuaan buatan mempengaruhi sifat mekanik karena perubahan struktur mikro (Pratikno dkk., 2020).

Tujuan perlakuan panas adalah mengubah karakteristik mekanis logam tanpa mengubah bentuk fisiknya dengan memanaskan dan mendinginkan material secara berulang. Perubahan pada sifat mekanik dan struktur mikro logam terjadi karena transformasi fasa dan perubahan struktur selama proses pemanasan dan pendinginan. Faktor-faktor yang mempengaruhi struktur dan transformasi fasa logam selama proses pemanasan meliputi laju pendinginan efektif dan kandungan karbon dalam logam. Perlakuan panas sangat penting untuk mengubah sifat-sifat logam, terutama kekuatan dan kekerasannya (Yahaya dkk., 2020). *Heat treatment* digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan dan keuletan pada paduan aluminium. Penambahan elemen jejak meningkatkan efek perlakuan panas. Pengawetan paduan aluminium dengan penambahan Zr sering dilakukan melalui pengendapan kekerasan dan aging buatan (Kantorikova dkk., 2020).

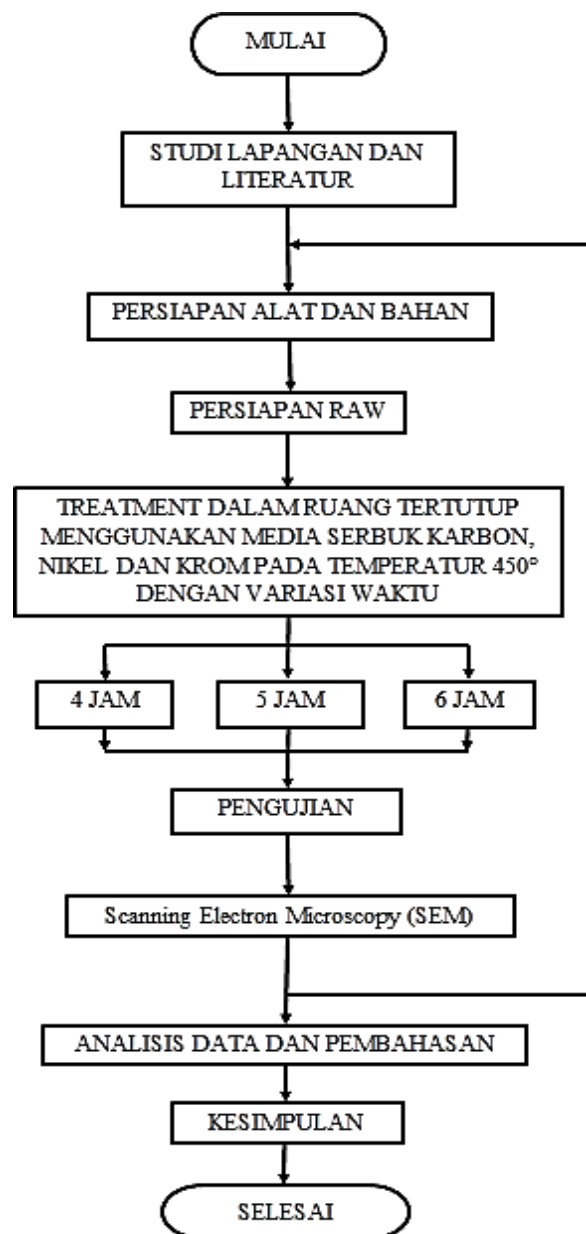
Unsur paduan utama aluminium 6061 adalah magnesium (Mg) dan silikon (Si), dan termasuk dalam seri paduan aluminium 6xxx. Al6061 memiliki susunan kimia 95,85–98,56% aluminium (Al), 0,8–1,2% magnesium (Mg), 0,40–0,8% silikon (Si), dan sejumlah kecil unsur tambahan seperti besi, tembaga, kromium, seng, titanium, dan mangan. Laporan (Wardani et al., 2020)

Berdasarkan uraian diatas penulis akan melakukan penelitian tentang—*Treatment Aluminium 6061 Dalam Ruang Tertutup Menggunakan Media Serbuk Karbon, Nikel dan Krom pada Temperatur 450°C dengan Variasi Waktu 4, 5, dan 6 Jam.*

2. METODE

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil *treatment* Alumunium 6061 dalam ruang tertutup menggunakan media karbon, nikel, dan chrom pada temperatur 450° dengan variasi waktu 4, 5, dan 6 jam terhadap bentuk morfologi *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

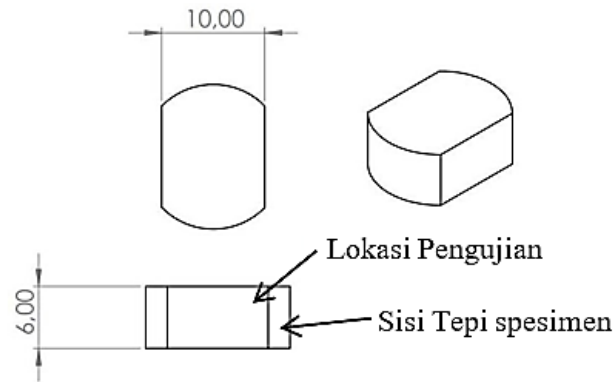
Penelitian ini diawali dengan melakukan studi lapangan dan studi literatur kemudian mempersiapkan alat dan bahan dengan menggunakan material yaitu Alumunium 6061 dengan panjang 6 mm tinggi 4 mm dan karbon dekoratif partikel nikel-chrom. Selanjutnya akan dilakukan *treatment* dalam ruang tertutup dengan variasi waktu 4, 5 dan 6 jam yang setelah itu dilakukan proses pengujian yaitu pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta. Untuk memperjelas proses penelitian yang dilakukan maka dibuat diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang hasil uji *Scanning Electron Microscopic* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Spesimen yang diuji meliputi Spesimen Uji di *Treatment* Tanpa media Karbon Dekoratif Nickel dan Chrome, Spesimen Uji di *Treatment* dengan Media Karbon Dekoratif Nickel dan Chrome.

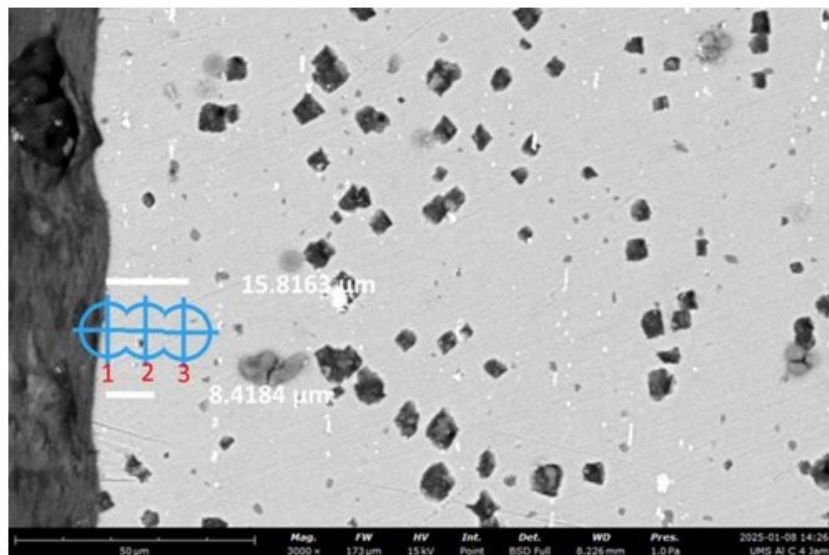


Gambar 2. Skema Spesimen Uji

3.1 Spesimen Uji di *Treatment* Tanpa Media Karbon Dekoratif Nickel Chrom

3.1.1 *Treatment* Selama 4 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 3. Foto SEM Spot Bagian Sampling Al-C

Tabel 1. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 1

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	13.733	6.620
13	Al	Alumunium	86.267	93.380

Tabel 2. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	12.560	6.012
	13	Al	Alumunium	87.440	93.988

Tabel 3. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 3

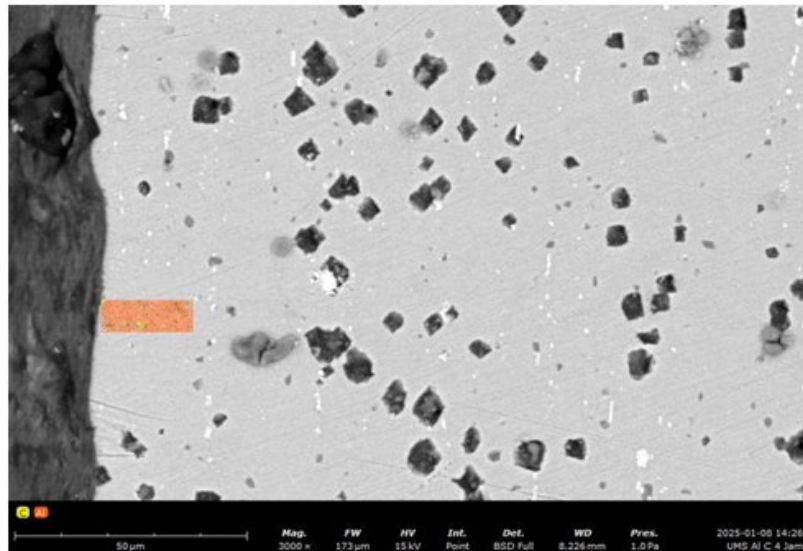
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	14.499	7.021
	13	Al	Alumunium	85.501	92.979

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 2 didapatkan *Spot Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 86.267% berat, sedangkan unsur (C) sebesar 13.733% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 2, diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C, dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 87.440% berat, sedangkan unsur Carbon(C) sebesar 12.560% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 3 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 85,501% berat, sedangkan unsur Carbon(C) sebesar 14.499% berat. Pada proses pengambilan sampel spot *analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 15.8163 μm . Dari hasil analisis ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al mengalami penurunan, sementara unsur C dari spot pertama ke spot kedua mengalami penurunan, sedangkan untuk di spot ketiga mengalami kenaikan. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 4. Foto SEM Mapping Bagian Sampling Al-C

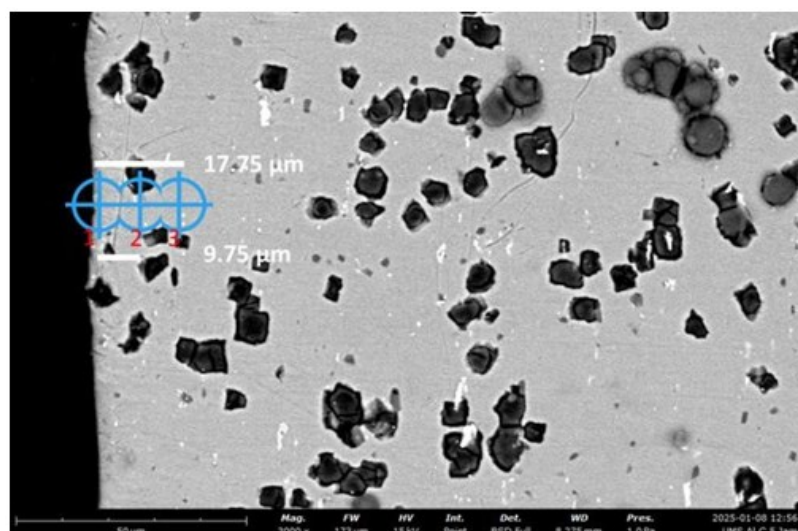
Tabel 4. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al-C

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	13.167	6.325
	13	Al	Alumunium	86.833	93.675

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 4, didapatkan *Map Analysis* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi kimia spesimen Al-C, dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 86.833% berat, sedangkan unsur Carbon(C) sebesar 13.167% berat.

3.1.2 Treatment Selama 5 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 5. Foto SEM Spot Bagian Sampling Al-C

Tabel 5. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 1

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	12.925	6.200
	13	Al	Alumunium	87.075	93.800

Tabel 6. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	9.770	4.600
	13	Al	Alumunium	90.230	95.400

Tabel 7. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 3

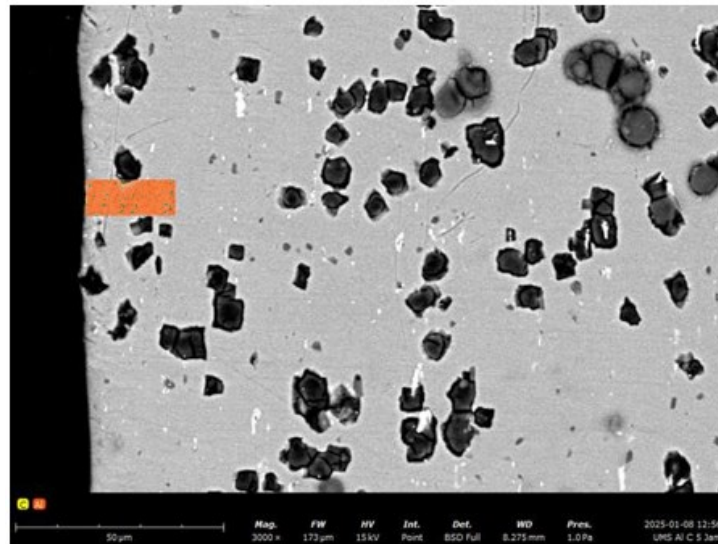
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	11.165	5.300
	13	Al	Alumunium	88.835	94.700

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 5, didapatkan *Spot Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C, dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 87.075% berat, sedangkan unsur (C) sebesar 12.925% berat.

Berdasarkan *Spot Analysis* Tabel 6, diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C, dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 90.230% berat, sedangkan unsur Carbon(C) sebesar 9.770% berat.

Berdasarkan *Spot Analysis* Tabel 7 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 88.835% berat, sedangkan unsur Carbon(C) sebesar 11.165% berat. Pada proses pengambilan sampel spot *analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 17,75 μm . Dari hasil analisis ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al dari spot pertama ke spot kedua mengalami kenaikan, sedangkan dari spot kedua ke spot ketiga mengalami penurunan. Sementara unsur C dari spot pertama ke spot kedua mengalami penurunan, sedangkan untuk di spot ketiga mengalami kenaikan. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 6. Foto SEM Mapping Bagian Samping Al-C

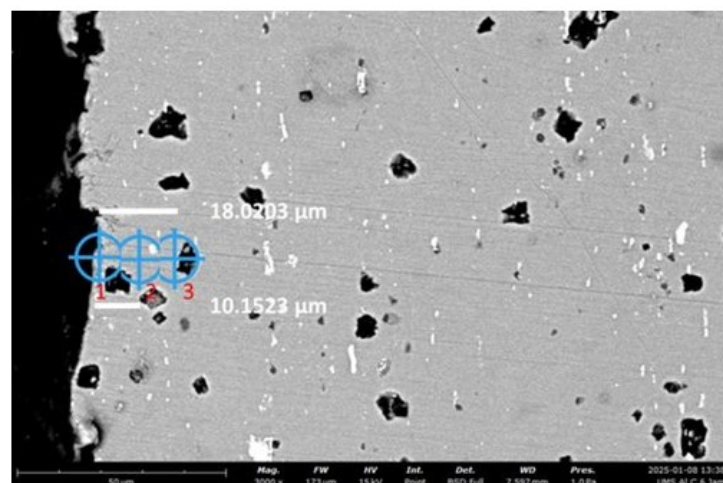
Tabel 8. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al-C

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	15.965	7.800
13	Al	Alumunium	84.035	92.200

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 6, didapatkan Map *Analysis* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi kimia spesimen Al-C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 84.035% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 15.965% berat.

3.1.3 Treatment Selama 6 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 7. Foto SEM Spot Bagian Samping Al C

Tabel 9. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 1

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	23.952	12.300
	13	Al	Alumunium	76.048	87.700

Tabel 10. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	23.012	11.747
	13	Al	Alumunium	76.988	88.253

Tabel 11. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 3

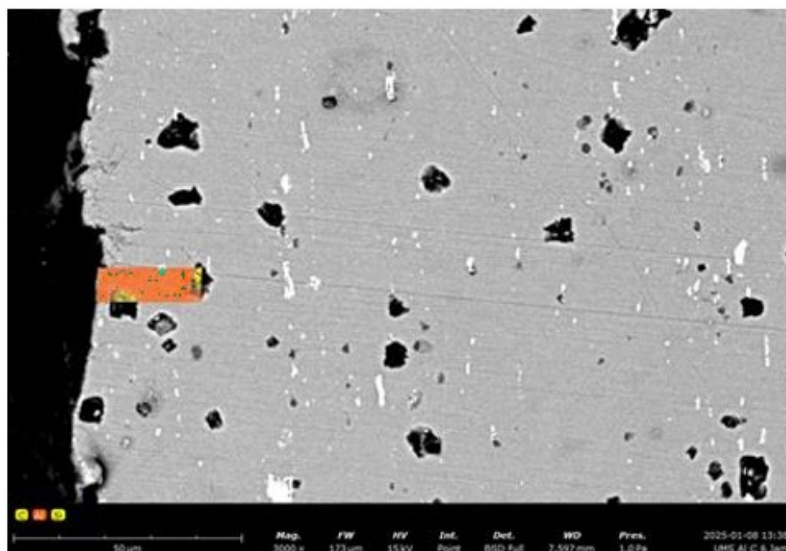
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	27.257	14.300
	13	Al	Alumunium	72.243	85.700

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 7, didapatkan Spot *Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 9. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C, dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 76.048% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 23.952% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 10, diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al-C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 76.988% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 23.012% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 11 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 72,743% berat, sedangkan, unsur Carbon (C) sebesar 27,257% berat. Pada proses pengambilan sampel spot *analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 18,0203 μm . Dari hasil analisis ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al dari spot pertama ke spot kedua mengalami kenaikan, sedangkan dari spot kedua ke spot ketiga mengalami penurunan. Sementara unsur C dari spot pertama ke spot kedua mengalami kenaikan, sedangkan untuk di spot ketiga mengalami penurunan. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 8. Foto SEM Mapping Bagian Samping Al-C

Tabel 12. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al-C Spot 3

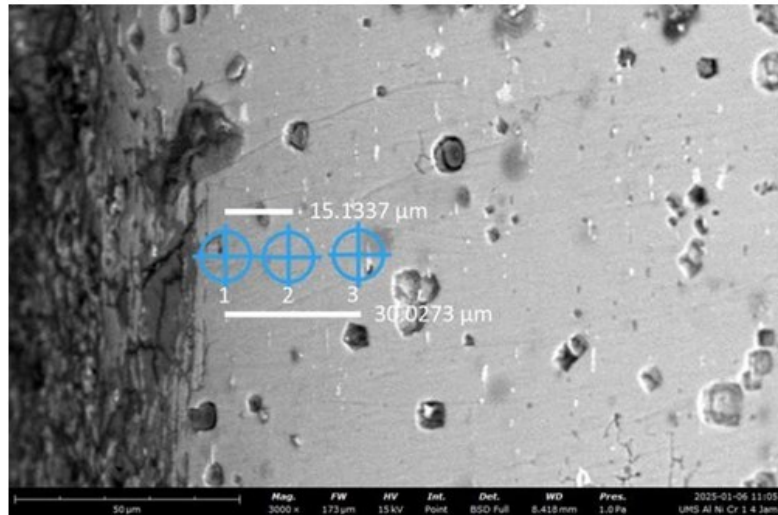
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	29.254	15.547
	13	Al	Aluminium	70.262	83.852
	14	Si	Silicon	0.484	0.602

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 8 didapatkan *Map Analysis* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi kimia spesimen Al C dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 70.262% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 29.254% berat dan Silicon (Si) 0.484% berat.

3.2 Spesimen Uji di *Treatment* Dengan Karbon Dekoratif Nikel Chrom

3.2.1 *Treatment* Selama 4 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 9. Foto SEM Spot Bagian Sampling Al NiCr

Tabel 13. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 1

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	13	Al	Alumunium	99.856	99.700
	24	Cr	Chromium	0.052	0.100
	28	Ni	Nickel	0.092	0.200

Tabel 14. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	13	Al	Alumunium	99.856	99.700
	24	Cr	Chromium	0.052	0.100
	28	Ni	Nickel	0.092	0.200

Tabel 15. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 3

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	35.406	19.600
	13	Al	Alumunium	64.515	80.200
	24	Cr	Chromium	0.042	0.100
	28	Ni	Nickel	0.037	0.100

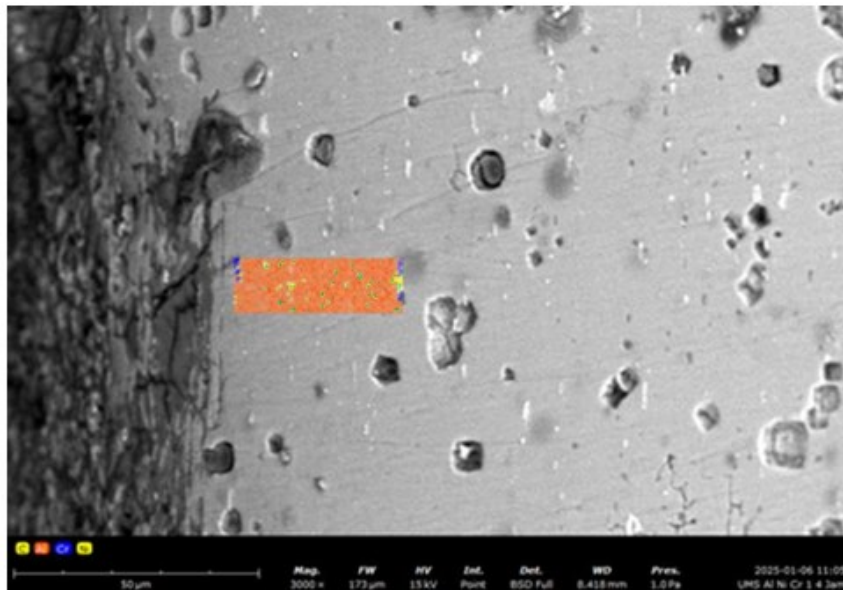
Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan gambar 9 didapatkan Spot *Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 13. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 99.856% berat. Sedangkan unsur lainnya (Cr) 0.052% berat, (Ni) 0.92% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 14 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur

komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 99.856% berat. Sedangkan, unsur lainnya (Cr) 0.52% berat, dan (Ni) 0.92% berat.

Berdasarkan *Spot Analysis* Tabel 15 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 64.515% berat. Sedangkan, unsur lainnya (C) 35.406% berat, (Cr) 0.042%, dan (Ni) 0.037% berat. Pada proses pengambilan sampel *spot analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 30.0273 μm . Dari hasil *analysis* ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al mengalami penurunan, sementara unsur Nickel (Ni) dan Chromium (C) mengalami penurunan. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 10. Foto SEM Mapping Bagian Samping Al NiCr

Tabel 16. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr

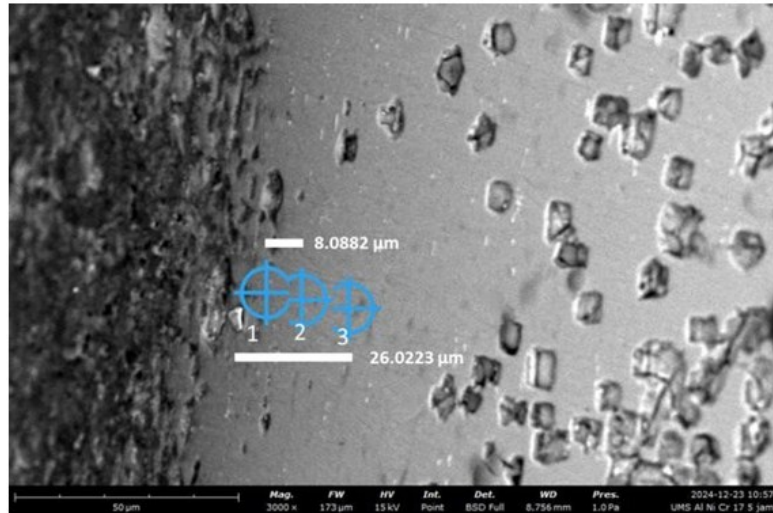
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	19.452	9.700
	13	Al	Alumunium	80.460	90.100
	24	Cr	Chromium	0.046	0.100
	28	Ni	Nickel	0.041	0.100

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 10 didapatkan *Map Analysis* seperti yang ditunjukkan pada tabel 16. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi

kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 80.460% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 19.452% berat, Chromium (Cr) 0.046% berat dan Nickel (Ni) 0.041% berat.

3.2.2 Treatment Selama 5 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 11. Foto SEM Spot Bagian Sampling Al NiCr

Tabel 17. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 1

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	13	Al	Alumunium	99.902	99.800
	24	Cr	Chromium	0.052	0.100
	28	Ni	Nickel	0.046	0.100

Tabel 18. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	13	Al	Alumunium	99.902	99.800
	24	Cr	Chromium	0.052	0.100
	28	Ni	Nickel	0.046	0.100

Tabel 19. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 3

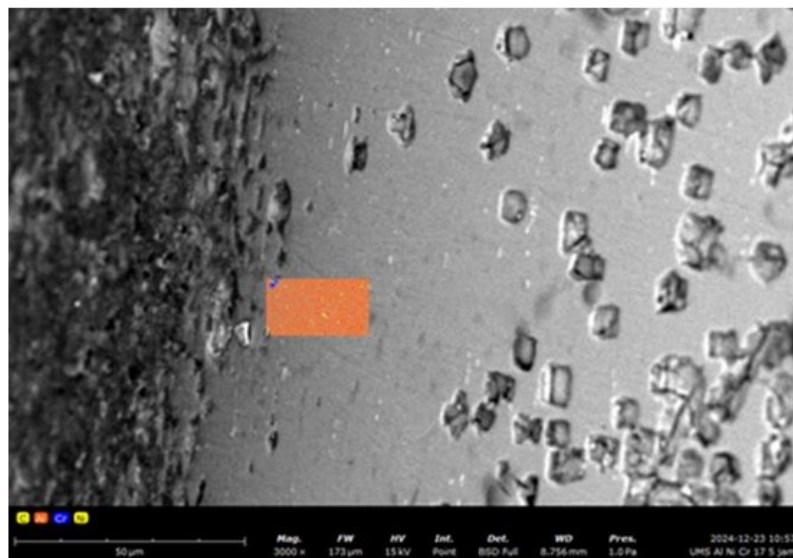
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	25.457	13.187
	13	Al	Alumunium	74.459	86.613
	24	Cr	Chromium	0.045	0.100
	28	Ni	Nickel	0.039	0.100

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan gambar 11 didapatkan *Spot Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 17. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 99.906% berat. Sedangkan unsur lainnya (Cr) 0.052% berat, (Ni) 0.46% berat.

Berdasarkan *Spot Analysis* Tabel 18 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 99.902% berat. Sedangkan, unsur lainnya (Cr) 0.052% berat, dan (Ni) 0.046% berat.

Berdasarkan *Spot Analysis* Tabel 19 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 74.459% berat. Sedangkan, unsur lainnya (C) 25.457% berat, (Cr) 0.045%, dan (Ni) 0.039% berat. Pada proses pengambilan sampel spot *analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 26,0223 μm . Dari hasil *analysis* ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al mengalami penurunan, sementara unsur Nickel (Ni) dan Chromium (C) mengalami penurunan. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 12. Foto SEM Mapping Bagian Samping Al NiCr

Tabel 20. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr

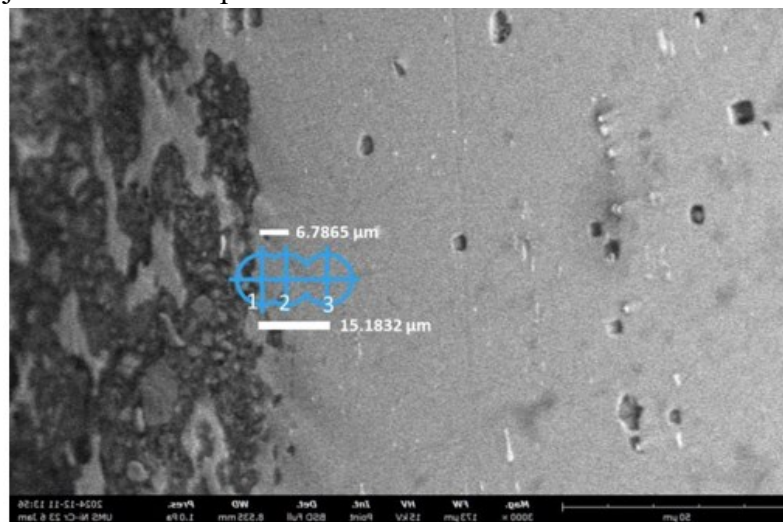
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	23.804	12.200
	13	Al	Alumunium	76.111	87.600

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	24	Cr	Chromium	0.045	0.100
	28	Ni	Nickel	0.040	0.100

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 12 didapatkan *Map Analysis* seperti yang ditunjukkan pada tabel 20. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 76.111% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 23,804% berat, Chromium (Cr) 0.045% berat dan Nickel (Ni) 0.040% berat.

3.2.3 Treatment Selama 6 Jam

a. Hasil Pengujian SEM EDS Spot



Gambar 13. Foto SEM Spot Bagian Sampling Al NiCr

Tabel 21. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 1

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	57.767	35.800
	12	Mg	Magnesium	0.000	0.000
	13	Al	Alumunium	38.587	53.700
	24	Cr	Chromium	0.186	0.500
	26	Fe	Iron	3.262	9.400
	28	Ni	Nickel	0.198	0.600

Tabel 22. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 2

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	57.016	37.000
	12	Mg	Magnesium	0.000	0.000

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	13	Al	Alumunium	42.751	62.300
	24	Cr	Chromium	0.107	0.300
	28	Ni	Nickel	0.126	0.400

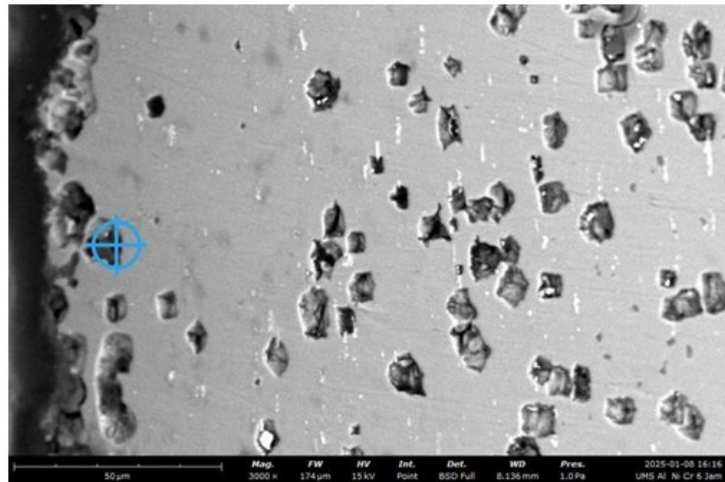
Tabel 23. Hasil Spot *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr Spot 3

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	54.196	34.400
	12	Mg	Magnesium	0.000	0.000
	13	Al	Alumunium	45.602	65.000
	24	Cr	Chromium	0.073	0.200
	28	Ni	Nickel	0.129	0.400

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan gambar 13 didapatkan Spot *Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 21. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Carbon merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 57.767% berat. Sedangkan unsur lainnya (Al) 38.587% berat, (Cr) 0.186% berat, (Fe) 3.262% berat, dan (Ni) 0.198% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 22 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Carbon merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 57.016% berat. Sedangkan, unsur lainnya (Al) 42.751%, (Cr) 0.107% berat, dan (Ni) 0.126% berat.

Berdasarkan Spot *Analysis* Tabel 23 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Carbon merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 54.196% berat. Sedangkan, unsur lainnya (Al) 45.602% berat, (Cr) 0.073% berat, dan (Ni) 0.129% berat. Pada proses pengambilan sampel spot *analysis*, terdapat jarak dari tepi hingga titik spot terakhir yang sebesar 26,0223 μm . Dari hasil *analysis* ketiga spot tersebut, diketahui bahwa kandungan Al mengalami kenaikan, sementara unsur Nickel (Ni) mengalami penurunan dan Chromium (C) mengalami penurunan. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada specimen uji.



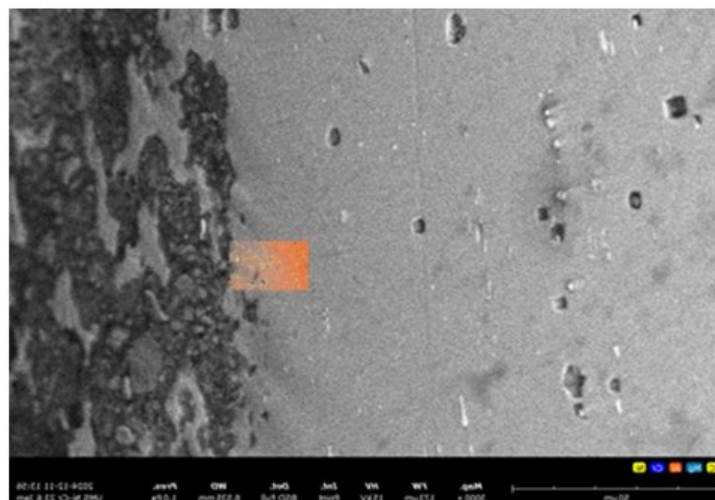
Gambar 14. Foto SEM Spot Bagian Samping Al NiCr

Tabel 24. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	42.418	24.224
	13	Al	Alumunium	56.277	72.172
	24	Cr	Chromium	0.121	0.300
	28	Ni	Nickel	1.184	3.303

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan gambar 14 didapatkan Spot *Analysis* seperti ditunjukkan pada Tabel 24. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 56.277% berat. Sedangkan unsur lainnya (C) 42.418% berat, (Cr) 0.121% berat, dan (Ni) 1.184% berat. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

b. Hasil Pengujian SEM EDS Mapping



Gambar 15. Foto SEM Spot Bagian Samping Al NiCr

Tabel 25. Hasil Map *Analysis* Spesimen Uji Al NiCr

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	43.336	25.325
	12	Mg	Magnesium	0.000	0.000
	13	Al	Alumunium	56.445	74.074
	24	Cr	Chromium	0.079	0.200
	28	Ni	Nickel	0.140	0.400

Berdasarkan penentuan area titik uji berdasarkan Gambar 15 didapatkan Map *Analysis* seperti yang ditunjukkan pada tabel 25. Diketahui bahwa terdeteksi beberapa komposisi kimia spesimen Al NiCr dengan Aluminium merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 56.445% berat, sedangkan unsur Carbon (C) sebesar 43.336% berat, Chromium (Cr) 0.079% berat dan Nickel (Ni) 0.140% berat.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan data yang telah diambil, sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil data pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada material Aluminium (Al) + Carbon (C) yang di *treatment* pada ruang tertutup dengan variasi waktu 4, 5, dan 6 jam menunjukkan kadar Carbon yang meningkat seiring lamanya variasi waktu yang digunakan. Hal tersebut ditunjukkan setelah spesimen dilakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di mana pada *treatment* variasi waktu 4 jam kadar Carbon (C) sebesar 13.167% berat, pada variasi waktu 5 jam kadar Carbon (C) meningkat sebesar 15.965% berat, dan pada variasi waktu 6 jam kadar Chromium (Cr) juga meningkat sebesar 29.254% berat. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji dan hasilnya akan terus meningkat setiap kenaikan waktu *treatment* yang dilakukan.
2. Hasil pengujian dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Al Karbon (C) + Nickel (Ni) + Chrome(Cr) menunjukkan perubahan morfologi pada spesimen yang telah di*treatment* dengan variasi waktu 4, 5, dan 6 jam. Hal tersebut ditunjukkan setelah spesimen dilakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di mana pada *treatment* variasi waktu 4 jam kadar Nickel (Ni) sebesar 0.041% berat dan Chrome (Cr) sebesar 0.046% berat, pada variasi waktu 5 jam kadar Nickel (Ni) menurun sebesar 0.039% berat dan, kadar Chrome (Cr) menurun sebesar 0.044% berat, sedangkan pada variasi waktu 6 jam kadar Nickel (Ni)

mengalami peningkatan sebesar 0.140% berat dan kadar Chromium (Cr) meningkat sebesar 0.079% berat. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses difusi pada spesimen uji.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan untuk pengembangan penelitian yang sama, sehingga mendapatkan beberapa saran dalam penelitian tersebut, sebagai berikut :

1. Untuk riset selanjutnya bisa dilakukan pengujian X-Ray Diffraction (XRD) dan Hardness untuk mengetahui lebih detail hasil dari topik *treatment* aluminium pada ruang tertutup.
2. Untuk riset selanjutnya dilakukan variasi suhu dan waktu saat proses *treatment* untuk mendapatkan hasil penelitian yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- A Study On The Formation Of Iron Aluminide (FeAl) From Elemental Powders. (2015). *Journal Of Alloys And Compounds*, 261-269.
- Aji, Y. W. (2020). *Analisis X-Ray Diffraction (Xrd) Pada Friction Stir Welding Pada Aluminium Seri 6061-T6 Dengan Penambahan Filler Pelat Seng Dan Pelat Kuningan*. Surakarta: Academia.Edu.
- Akhil, K., Arul, S., & Sellamuthu, R. (2014). The Effect Of Heat *Treatment* And Aging Process On Microstructure And Mechanical Properties Of A356 Aluminium Alloy Sections In Casting. *Procedia Engineering*, 1676-1682.
- Alviandra, S., Jumiadi, & Mardjuki. (2017). Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Magnesium Pada Al-Si Menggunakan Dapur Krusibel Terhadap Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Transmisi*, 217-226.
- Amalia, Y., & Fatah, A. S. (2021). Pengaruh Kandungan Silicon (Si) Terhadap Cacat Hot Tearing Yang Dihasilkan Dalam Produk Aluminium. *Journal Of Metallurgical Engineering And Processing Technology (Jmept)*, 1-5.
- Auras, R., & Schvezov, C. (2004). Wear Behavior, Microstructure, And Dimensional Stability Of As-Cast Zinc-Aluminum/Sic (Metal Matrix Composites) Alloys. *Metallurgical And Materials Transactions*, 1579-1590.
- Budiarto, Antonius, D., & Putra, B. A. (2020). Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age Terhadap Kekerasan, Densitas Dan Struktur Kristal Paduan Aluminium (7075) Untuk Bahan Sirip Roket. *Jurnal Kajian Ilmiah (Jki)*, 13-28.

- Chauhan , K. P. (2017). Influence Of Heat *Treatment* On The Mechanical Properties Of Aluminium Alloys (6xxx Series): A Literature Review. *International Journal Of Engineering Research & Technology (Ijert)*, 386-389.
- Dewi, M., Alhamidi, A., & Fitrullah, M. (2016). Studi Mikrostruktur Dan Sifat Mekanik Aluminium 6061 Melalui Proses Canai Dingin Dan Aging. *Jurnal Untirta*, 1-7.
- Durmus, Y. E., Guerrero, S. S., Tempel, H., Hausen, F., Kungi, H., & Eichel, R.-A. (2019). Influence Of Al Alloying On The Electrochemical Behavior Of Zn Electrodes For Zn-Air Batteries With Neutral Sodium Chloride Electrolyte. *Frontiers In Chemistry*.
- Fikara, F. A., & Siswanto, R. (2021). Pengaruh Holding Time Dan Media Pendingin Pada Carburizing Material Sus 630 Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Jtam Rotary*, 81-94.
- Harahap, V., & Harahap, M. H. (2013). Pengaruh Karakteristik Pasir Merah Labuhan Batu Selatan Terhadap Sifat Mekanik (Uji Sem, Difraksi Sinar X, Uji Impak) Dari Beton. *Jurnal Einstein*, 64-75.
- Heling, E., & Prayitno, D. (2019). Pengaruh Karburisasi Yang Dilanjutkan Dengan Proses Quenching Dalam Media Air Terhadap Kekerasan Baja S45c. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 63-68.
- Herizen, D., & Siswanto, R. (2020). Pengaruh Variasi Holding Time Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Sus 630 Metode Hardening. *Rotary*, 149-160.
- Istiqlalayah, H., Ratnaning, K., & Baihaqi, M. (2016). Pengaruh Variasi Media Karburasi Terhadap Kekerasan Dan Kedalaman Difusi Karbon Pada Baja St 42. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (Seniati)*, 138-142.
- Junia, D., Sunaryo, & Khaerudini, D. S. (2018). Produksi Hidrogen Dari Limbah Kaleng Minuman Berbasis Reaksi Alumunium Dan Air Dengan Bantuan Katalis Naoh. *Jurnal Risenologi Kpm Unj*, 1-9.
- Kantoríková, E., Kuriš, M., & Pastirčák, R. (2021). Heat *Treatment* Of Alsi7mg0.3 Aluminium Alloys With Increased Zirconium And Titanium Content. *Archives Of Foundry Engineering*, 89-93.
- Kirono, S., & Amri, A. (2011). Pengaruh Tempering Pada Baja St 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1-10.

- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. (2017). Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial Vs Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 85-89.
- Kurniawan, F. A., & Isranuri, I. (2016). Penyelidikan Karakteristik Mekanik Tarik Paduan Aluminium Magnesium (Al-Mg) Dengan Metode Pengecoran Konvensional. *Jurnal Inotera*, 1-4.
- Kusuma, A. W., Karyasa, I. W., & Suardana, I. N. (2014). Anodizing Logam Aluminium Dengan Variasi Beda Potensial. *Journal Kimia Visvitalis*, 138- 145.
- Ladeiro, C., Nunes, F., Trindade, M., & Costa, J. (2024). Effect Of Aging Heat Treatment In An Al-4008 Produced By Liquid Metal Printing. *U.Porto Journal Of Engineering*, 45-58.
- Lopez, G., Sommadossi, S., Gust, W., & Mittemeijer, E. (2002). Phase Characterization Of Diffusion Soldered Ni/Al/Ni Interconnections. *Interface Science*, 13-19.
- Majanasastra, R. S. (2016). Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 Dan Aluminium Al 6063. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 15-30.
- Marini, M., & Ismail, A. (2011). Torsional Deformation And Fatigue Behaviour Of 6061 Aluminium Alloy. *Iium Engineering Journal*, 21-32.
- Mazuli, S., & Haripriadi, B. D. (2020). Analisa Pengaruh Arang Kayu Bakau, Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Kayu Leban Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 128-137.
- Mazuli, S., & Haripriadi, B. D. (2020). Analisa Pengaruh Arang Kayu Bakau, Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Kayu Leban Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 128-137.
- Meol, P., Maliwemu, E., Bunganaen, W., & Pell, Y. (2016). Pengaruh Tegangan Listrik Dan Waktu Pada Krom Plating Terhadap Keausan Pada Hasil Produk Pengecoran Aluminium Scrap. *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*, 47-54.
- Miao, Q., Wu, D., Chai, D., Zhan, Y., Bi, G., Niu, F., Et Al. (2020). Comparative Study Of Microstructure Evaluation And Mechanical Properties Of 4043 Aluminum Alloy Fabricated By Wire-Based Additive Manufacturing. *Materials And Design*, 1-12.

- Niam, M., Purwanto, H., & Respati, S. M. (2017). Pengaruh Waktu Pelapisan Elektro Nikel-Khrom Dekoratif Terhadap Ketebalan, Kekerasan Dan Kekasaran Lapisan. *Momentum*, 7-10.
- Pratikno, H., Rachmatullah, T., & Ikhwani, H. (2020). Influence Of Pre-Weld Heat Treatment And Aging Post-Weld Heat Treatment On Tensile Test And Microstructure Of Aluminium 6061 Weld Joint. *International Journal Of Offshore And Coastal Engineering (Ijoce)*, 1-8.
- Prawira, M. Z., Sisworo, S. J., & Samuel. (2015). Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekuatan Impact Alumunium 5083 Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 362-370.
- Saefuloh, I., Pramono, A., Bonke, R., & Rukmayadi, Y. (2018). Studi Mechanical Properties Dan Struktur Mikro Hasil Variasi Temperatur Dan Waktu Aging Pada Alumunium Matrix Composite (Amc) Hasil Proses Stir Casting Dengan Kandungan Matrix Berlebih. *Jurnal Mesin Nusantara*, 60-68.
- Saepuddin, A., Machfuroh, T., & Safitri, A. Z. (2020). Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Arang Tempurung Kelapa Terhadap Tingkat Kekerasan Material Aluminium 6061 Pada Proses Pack Carburizing. *Jurnal Taman Vokasi*, 25-36.
- Saktisahdan, T. (2019). Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Laminar*, 28-33.
- Setiawan, H. (2014). Pengujian Kekerasan Dan Komposisi Kimia Produk Cor Propeler Alumunium. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 31- 36.
- Setiawan, R., Sehonon, & Setiawan, F. (2022). Analisis Waktu Pelapisan Nikel Pada Aluminium Alloy 2024 Terhadap Uji Kekerasan Vickers Dengan Menggunakan Proses Elektrolating. *Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 180- 185.
- Siswanto, R. (2014). Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Peleburan Terhadap Komposisi Al Dan Mg Menggunakan Metode Pengecoran Tuang. *Sntmut*, 1- 6.
- Slamet, S., & Suyitno. (2013). Pengaruh Konsentrasi Cu Terhadap Sifat Mekanis Paduan Al-Cu Pada Proses Pembekuan Searah (Unidirectional Solidification) . *Momentum*, 18-22.
- Slametriadi, F., Sehonon, & Setiawan, F. (2023). Analisis Pengaruh Pelapisan Nikel Pada Material Aluminium Seri 2024 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Dengan Metode Elektrolating. *Teknika Sttkd*, 174-180.

- Soysal, T. (2021). A Criterion To Find Crack-Resistant Aluminium Alloys To Avoid Solidification. *Science And Technology Of Welding And Joining*, 99-105.
- Sujita. (2016). Proses Pack Carburizing Dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung Dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara. *Jurnal Mechanical*, 36-41.
- Sulaeman, M., Budiman, H., & Koswara, E. (2019). Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan Dengan Metode Rockwell Dan Uji Komposisi Kimia Pada Cangkul Di Balai Besar Logam Dan Mesin (Bblm) Bandung. *Polban*, 539- 543.
- Taufik, H., Kurniawandy, A., & Arita, D. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent. *Jurnal Saintis*, 52-62.
- Tsamroh, D. I., & Fauzy, M. R. (2022). Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8-13.
- Wang, X., Chen, Z., Dong, D., Zhu, D., Wang, H., & Wei, Z. (2021). Study On The Phase Selection And Debye Temperature Of Hyper-Peritectic Al-Ni Alloy Under High Pressure. *Mdpi Jurnal Metals*, 1-11.
- Wardani, I., Setyowati, V., Ir. Suheni, & Saputro, A. (2020). Pengaruh Natural Aging Sebelum Proses Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 6061. *Jurnal Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 103-114.
- Wardoyo, & Sumpena. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Pada Aluminium Paduan Almgisi - Fe12% Terhadap Keausan. *Jurnal Engine*, 33- 39.
- Wisnaningsih, & Yunus, M. (2017). Pengaruh Temperatur Aging Terhadap Paduan Alumunium Seri 6069 Terhadap Nilai Kekerasan Dan Kekuatan Impact. *Jurnal Ilmu Teknik*, 61-74.
- Yahaya, S. N., Azmi, I. I., Ng, C. H., Lai, C. F., Hashim, M. Y., Adam, A., Et Al. (2020). An Overview On Forming Process And Heat Treatments For Heat Treatable Aluminium Alloy. *Journal Of Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences*, 112-124.
- Zulhanif, & Hasyumi, Z. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Artificial Aging Pada Aluminium 6061 Terhadap Sifat Kekerasan Dan Strukur Mikro. *Jurnal Mechanical*, 1-4.