

Analisis Pengaruh Komposisi *Bimetal* Fe-Cr Dengan *Blending Powder Metallurgy* Terhadap Struktur Mikro

I Gusti Bagus Ananda Yuda Pratama^{1*}, Indreswari Suroso², Noviana Utami³

^{1,2,3} Prodi Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta
Jl. Parangtritis KM. 4,5, Bangunharjo, Sewon, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author. 190202099@students.sttkd.ac.id

Abstract

This research examines the development of bimetallic materials consisting of Iron (Fe) and Chromium (Cr) using powder metallurgy technology. In the aviation industry, the need for metal materials that meet certain standards, are easy to find, and are economically affordable is very important. Therefore, this study aims to understand the impact of the mixture composition of 75%Fe-25%Cr on the microstructure and dispersion of powders through the powder metallurgical mixing method. The results of the research revealed that the element Fe dominates the microstructure of the tested specimens. The Cr element contributes to increasing corrosion resistance, while the C element appears as a result of the sintering process. However, there were findings that the distribution of the powder in the specimen was still uneven, especially when the observations were made at 200x magnification. For future studies, it is advisable to explore variations in mixing speed and time to achieve a more even distribution of the powder. In addition, the addition of variations in the test will provide a deeper understanding of the characteristics of the Fe-Cr bimetallic material produced through powder metallurgy technology. This will help the aviation industry in finding materials that suit their needs.

Keywords: bimetallic, mixture composition, microstructure, powder distribution, powder metallurgy

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengembangan material bimetal yang terdiri dari Besi (Fe) dan Kromium (Cr) dengan menggunakan teknologi metalurgi serbuk. Dalam industri penerbangan, kebutuhan akan material logam yang memenuhi standar tertentu, mudah ditemukan, dan terjangkau secara ekonomis sangat penting. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak dari komposisi campuran 75%Fe-25%Cr terhadap struktur mikro dan penyebaran serbuk melalui metode *blending powder metallurgy*. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa unsur Fe mendominasi struktur mikro pada spesimen yang diuji. Unsur Cr memberikan kontribusi dalam meningkatkan ketahanan terhadap korosi, sementara unsur C muncul akibat proses *sintering*. Namun, ada temuan bahwa penyebaran serbuk dalam spesimen masih belum merata, terutama ketika pengamatan dilakukan pada pembesaran 200x. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggali variasi dalam kecepatan dan waktu *blending* untuk mencapai penyebaran serbuk yang lebih merata. Selain itu, penambahan variasi dalam pengujian akan memberikan pemahaman lebih mendalam tentang karakteristik material bimetal Fe-Cr yang dihasilkan melalui teknologi metalurgi serbuk. Ini akan membantu industri penerbangan dalam mencari material yang sesuai untuk kebutuhan mereka.

Kata kunci: bimetal, komposisi campuran, metalurgi serbuk, penyebaran serbuk, struktur mikro

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dalam dunia penerbangan sekarang ini telah berkembang dengan pesat. Sebagian besar industri penerbangan sudah menggunakan dan memanfaatkan teknologi. Salah satu teknologi yang digunakan yaitu metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk merupakan suatu metode yang dikembangkan untuk manufaktur yang dapat menghasilkan bentuk komponen akhir melalui proses pencampuran antar serbuk secara

bersamaan, yang memiliki manfaat bagi bidang-bidang industri seperti penerbangan dan militer terkhususnya pesawat terbang [1]. Dengan melihat perkembangan teknologi tersebut maka dalam penyusunan penelitian ini akan menganalisis komposisi bimetal berbahan dasar Besi (Fe) dan Kromium(Cr)

Berdasarkan pengamatan, diketahui *start-up* industri penerbangan membutuhkan berbagai material metal. Salah satunya yaitu *bimetal*, *bimetal* ialah gabungan dari 2

logam yang membentuk jalinan metalurgi diantara logam tersebut. *Bimetal* menjadikan komponen yang dibuat dari 2 logam terintegrasi tetapi tiap-tiap logam masih memiliki karakter uniknya tersendiri [2]. Pembuatan *bimetal* salah satunya dari besi (Fe) dan kromium(Cr) berguna dalam proses produksi material yang dibutuhkan sesuai spesifikasi yang diperlukan. Beberapa material logam yang digunakan saat ini masih sulit ditemukan dalam jumlah yang banyak. Hal ini dibuktikan dari mahalnya harga material yang digunakan saat ini. Industri penerbangan menginginkan material metal yang sesuai spesifikasi, mudah untuk ditemukan, dan relatif murah [3].

Berdasarkan dari permasalahan tersebut, maka dibuatlah material metal yang mudah untuk ditemukan dan juga memiliki harga yang relatif murah untuk di produksi. Pembuatan material metal ini dikhususkan untuk *start-up* industri penerbangan yang masih melakukan penelitian atau percobaan pembuatan material metal. Namun tidak menutup kemungkinan untuk industri penerbangan berkembang yang sudah melakukan penelitian dan percobaan pembuatan material untuk menggunakan material metal yang akan dibuat ini [4]. Dengan dilakukan pembuatan material metal ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk *start-up* industri penerbangan yang sedang melakukan penelitian atau percobaan pembuatan material metal, maupun start-up industri penerbangan yang akan memproduksi material metal berbahan besi (Fe) dan kromium (Cr).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Komposit

Komposit adalah bahan rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih komponen terpisah, terdiri dari penguat dan matriks [5]. Dua atau lebih material digabungkan pada skala makroskopis, tetapi penguat dan matriks masih dapat dipisahkan secara makroskopik. Salah satu material komposit yang saat ini sedang dikembangkan adalah

Metal Matrix Composite (MMC). Metal Matrix Composite adalah material komposit yang menggunakan logam sebagai material matriksnya. Keuntungan dari komposit matriks logam adalah kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal tinggi, densitas rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi dan ketahanan aus yang baik [6].

2.2 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi yang menggunakan serbuk sebagai bahan utama sebelum dilakukan proses pencetakan atau pembentukan [7]. Teknik produksi ini bekerja dengan memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian dipanaskan dibawah suhu leleh serbuk. Metalurgi serbuk memungkinkan kontrol yang tepat berdasarkan komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat dihasilkan oleh teknik lain [8]. Metalurgi serbuk adalah suatu proses di mana serbuk dan produk jadi dihasilkan dari serbuk logam atau paduan logam dengan ukuran serbuk tertentu tanpa meleleh. Konsumsi energi dari proses ini relatif rendah dan keuntungan tambahannya adalah hasil akhir dapat langsung disesuaikan dengan dimensi yang dibutuhkan, yang berarti mengurangi biaya pemesinan dan limbah bahan baku. Masalah terbesar dalam menggunakan hasil serbuk adalah pengolahan sebaik mungkin serbuk logam menjadi benda berharga [9].

2.3 Bimetal

Bimetal merupakan gabungan dari 2 logam yang membentuk jalinan metalurgi diantara logam tersebut. Bimetal menjadikan komponen yang terbuat dari 2 jenis logam menyatu tetapi tiap- tiap logam masih memiliki karakteristiknya tersendiri. Kedua logam tersebut akan melengkapi satu sama lain berdasarkan karakter dari masing-masing logam tersebut [2].

2.4 Metalografi

Metalografi adalah metode untuk memperoleh gambar yang menunjukkan

struktur mikro, dalam hal ini struktur logam dan paduannya. Dengan uji mikrografi ini, kami menentukan struktur logam dengan memperjelas batas butir logam. Di setiap butiran, semua sel satuan disusun dalam satu arah dan dalam pola tertentu. Batas butir memiliki lima derajat kebebasan, batas butir antara dua butir yang berdekatan memiliki daerah transisi non-searah dalam dua butir. Batas butir dapat dilihat sebagai dua dimensi, bentuknya dapat melengkung, dan dapat memiliki ketebalan tertentu, berjarak antara dua dan tiga atom. Penjajaran yang tidak seragam antara butiran yang berdekatan menyebabkan penumpukan atom yang kurang efisien di sepanjang batas [10]. Pemeriksaan metalografi adalah proses yang bertujuan untuk mendapatkan gambar yang menunjukkan struktur mikro logam atau paduan. Proses ini memungkinkan kita untuk menentukan struktur suatu logam atau paduan dengan memperjelas batas butir logam sehingga dapat dilihat dan difoto langsung di bawah mikroskop [11].

2.5 Struktur mikro

Struktur mikro merupakan suatu metode analisis atau pengujian yang dapat diketahui dengan menganalisis suatu material menggunakan alat mikroskop [12]. Analisis struktur mikro memiliki tujuan untuk mengetahui batas butir suatu material uji dengan pengetsaan menggunakan larutan etsa. Proses dari terbentuknya batas butir maupun ukuran butir tidak dapat dilihat tanpa melakukan proses pengetsaan. Dilakukannya pengetsaan bertujuan untuk membuat logam terserang dengan asam agar terlihat batas butir dan ukuran butirnya [11].

2.6 Besi (Fe)

Besi memiliki lambang Fe dan nomor atom 26. Di alam, Besi tidak diperoleh langsung dalam keadaan murni, tetapi bentuk mineral. Mineral besi dapat berbentuk oksida seperti Hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), dll. Kemudian karbonat Seperti siderit (FeCO_3) dan sulfida seperti pirit (FeS_2). bijih besi Hancurkan dan pisahkan kotoran seperti silika dan proses

benefisiasi. Kemudian dilakukan proses granulasi. Tabel 1. menunjukkan sifat fisik dan kinerjanya Mekanik besi [13].

Tabel 1. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Besi

Struktur Kristal	BCC
Densitas (g/cm ³)	7.87
Massa Atom	55.85
Nomor Atom	26
Titik Lebur	1538 °C
Brinell Hardness	50-90 HB
Yield strength proof 0.2%	131 MPa
Ultimate tensile strength	698 MPa

2.7 Khromium (Cr)

Kromium ialah salah satu logam yang tercantum dalam kalangan transisi. Dalam struktur kimia, kromium dilambangkan dengan simbol "Cr" [14].

Tabel 2. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Khromium

Struktur Kristal	BCC
Densitas (g/cm ³)	7.19
Massa Atom	52
Nomor Atom	24
Titik Lebur	1875 °C
Brinell Hardness	125 HB
Yield strength proof 0.2%	362 MPa
Ultimate tensile strength	415 MPa
Elongation	44%

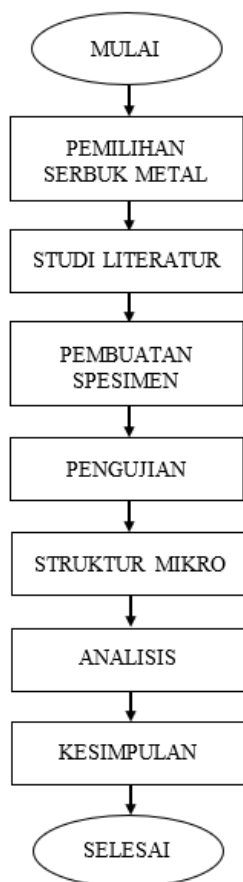
2.8 Baja Tahan Karat Ferit

Baja tahan karat ferit memiliki sifat yang sangat menguntungkan dikarenakan tanpa menggunakan kandungan Ni menyebabkan sukar untuk terjadinya korosi tegangan. Jika ketahanan tikangkat korosi pada baja tahan karat ferit dibuat sama atau lebih tinggi dari pada baja tahan karat austenit, akan lebih menguntungkan apabila menggunakan baja tahan karat ferit dari pada baja tahan karat austenit yang lebih mudah terjadi korosi tegangan [10].

3. Metode Penelitian

Menurut Fadhilah [15] untuk mengamati struktur mikro menggunakan alat uji metalografi, ada beberapa langkah yang harus diikuti. Pertama, spesimen yang akan diamati ditempatkan di bawah mikroskop metalografi. Spesimen ini perlu dipersiapkan sebelumnya untuk pengamatan. Setelah spesimen ditempatkan, langkah berikutnya adalah memastikan

bahwa baik spesimen maupun alat uji metalografi tetap dalam posisi yang stabil dan tidak mengalami pergerakan selama proses pengamatan. Hal ini penting agar hasil pengamatan dapat menjadi akurat dan tidak terganggu oleh getaran atau pergerakan yang tidak diinginkan. Selanjutnya, mikroskop metalografi diaktifkan, dan gambar yang dihasilkan akan ditampilkan pada layar monitor. Pengguna dapat mengatur lensa mikroskop untuk mengubah perbesaran gambar, memungkinkan mereka untuk memeriksa struktur mikro spesimen dengan lebih detail. Terakhir, dengan bantuan mikroskop dan layar monitor, pengamat dapat secara cermat mengamati struktur mikro dari spesimen uji. Informasi yang diperoleh dari pengamatan ini dapat digunakan untuk evaluasi dan analisis lebih lanjut terkait dengan sifat dan karakteristik material yang diamati. Proses ini merupakan langkah kunci dalam menganalisis bahan dan memahami struktur mikro mereka dengan lebih baik.



Gambar 1. Flowchart penelitian

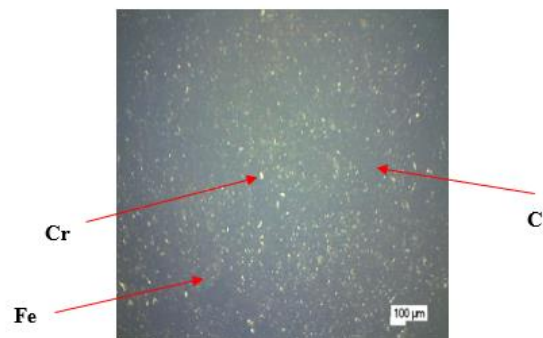
3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian pada penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk untuk pembuatan spesimen bimetal dan menggunakan metode pengujian struktur mikro (metalografi). Dalam proses pembuatan spesimen bimetal menggunakan metode metalurgi serbuk, serbuk-serbuk metal ditimbang sesuai komposisi 75%Fe-25%Cr, kemudian dicampurkan (blending), dipadatkan (compacting), dan dipanaskan (sintering) dibawah suhu leleh masing-masing serbuk metal yang mana titik leleh Fe 1538°C dan Cr 1906°C, setelah produk bimetal jadi maka bimetal tersebut diuji menggunakan pengujian struktur mikro (metalografi).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Struktur mikro pada spesimen Bimetal 75%Fe-25%Cr

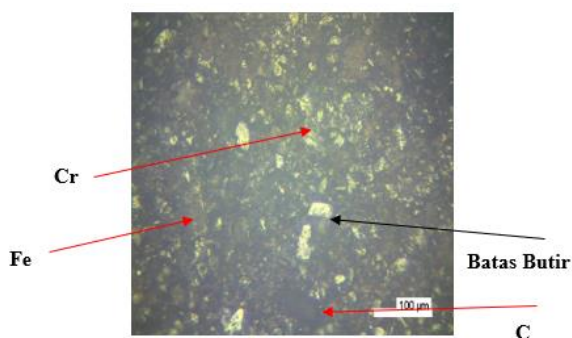
Pengujian metalografi ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Wahid Hasyim. Adapun material yang digunakan dalam pengujian ini adalah bimetal 75%Fe dan 25%Cr dengan diameter 15 mm. Pengujian ini menggunakan alat pengujian mikroskop metalografi, dengan pengamatan pada 2 lokasi yang berbeda dengan 4 gambar pengamatan menggunakan pembesaran 50x dan 200x dengan skala 100 µm.



Gambar 2. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Pinggir

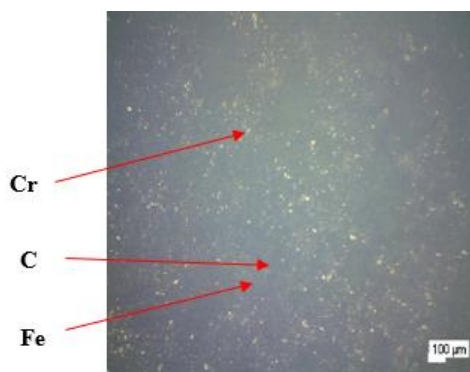
Pada Gambar 2. Struktur mikro pada bagaian pinggir dengan perbesaran 50x dapat dilihat terdapat unsur Cr yang ditunjukkan berwarna perak abu-abu

berkilau, unsur Fe yang ditunjukkan berwarna keabu-abuan gelap, dan C ditunjukkan berwarna hitam. Terlihat unsur Fe mendominasi di antara unsur C dan Cr hal itu disebabkan oleh komposisi campuran Fe dan Cr yang menggunakan 75%Fe dan 25%Cr munculnya unsur C disebabkan oleh terjadinya pelakuan panas pada saat *sintering*. Maka dari itu unsur Fe terlihat mendominasi pada bagian pinggir spesimen dengan perbesaran 50x dan pada berbesaran ini batas butir belum dapat terlihat dengan jelas.



Gambar 3. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Pinggir

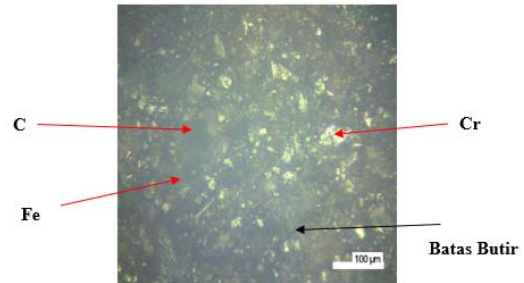
Pada Gambar 3. struktur mikro pada bagaian pinggir dengan perbesaran 200x dapat terlihat jelas bahwa Fe lebih mendominasi pada struktur mikro di bandingkan dengan unsur Cr dan dapat dilihat di beberapa titik unsur Cr di kelilingi oleh unsur Fe disekitarnya, dan batas butir pada pembesaran 200x ini sudah dapat terlihat cukup jelas.



Gambar 4. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Tengah

Pada Gambar 4. Struktur mikro pada bagaian tengah spesimen dengan perbesaran

50x dapat dilihat unsur Fe mendominasi disusul oleh unsur Cr dan sedikit unsur C, posisi dari setiap unsur tersebut dapat dilihat menyebar merata dan tidak pada satu titik yang sama.



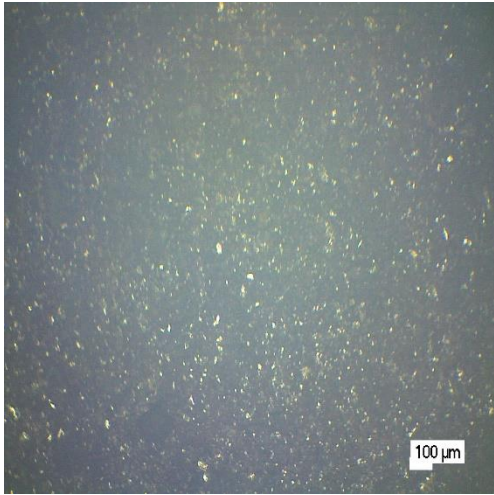
Gambar 5. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Tengah

Pada Gambar 5. Struktur mikro dengan perbesaran 200x, unsur Fe terlihat sangat mendominasi dan disusul oleh unsur Cr dan selanjutnya sedikit unsur C, pada perbesaran ini dapat terlihat adanya titik yang terdapat kumpulan unsur Cr yang tidak menyebar dengan merata ke seluruh titik.

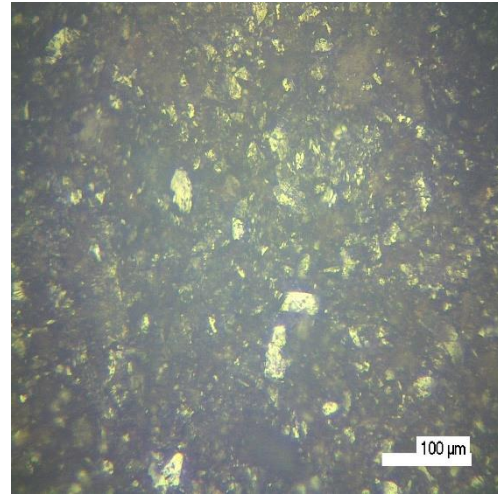
Unsur Fe yang terdapat pada spesimen yang di amati struktur mikro berkontribusi untuk mempengaruhi kekuatan dan kekerasan pada spesimen, unsur karbon (C) yang terkandung pada spesimen bimetal yang di amati struktur mikro berasal dari perlakuan panas pada saat sintering yang juga memiliki kelebihan yang menguntungkan sebagai penghantar panas yang baik yang dapat mempercepat proses terjadinya pelelehan serbuk, unsur kromium (Cr) yang juga terkandung pada spesimen dapat meningkatkan ketahanan korosi dari spesimen dikarenakan kromium memiliki lapisan nonpori yang dimana jika bereaksi langsung dengan udara dapat terlindungi oleh lapisan non pori tersebut.

4.2 Penyebaran Serbuk pada Spesimen Bimetal 75%Fe-25%Cr

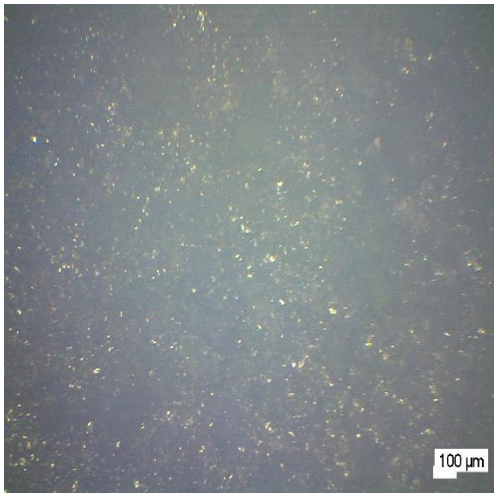
Analisis ini menggunakan hasil dari pengujian struktur mikro yang menggunakan alat pengujian mikroskop metalografi, pada 2 lokasi yang berbeda dengan 4 gambar pengamatan dengan pembesaran 50x dan 200x.



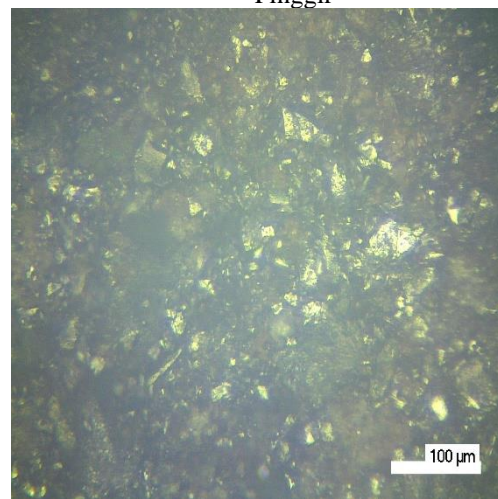
Gambar 6. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Pinggir



Gambar 8. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 200x Bagian Pinggir



Gambar 7. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 50x Bagian Tengah



Gambar 9. Spesimen Fe-Cr Perbesaran 200x Bagian Tengah

Dapat dilihat pada Gambar 6. dan Gambar 7. hasil dari pengujian stuktur mikro dengan perbesaran 50x pada bagian pinggir dan tengah menunjukkan unsur serbuk Cr yang ditunjukkan dengan warna perak abu-abu berkilau menyebar ke seluruh bagian pada perbesaran 50x, dan unsur serbuk Fe yang di tunjukkan dengan warna keabu-abu gelap menyebar mengelilingi unsur sebuk Cr yang terdapat pada seluruh bagian pada berbesaran 50x, tetapi dapat dilihat pada kedua gambar unsur sebruk Cr terlihat lebih banyak muncul pada gambar bagian pinggir di bandingkan dengan unsur serbuk Cr yang muncul pada gambar tengah.

Dapat dilihat pada Gambar 8. dan Gambar 9. hasil dari pengujian struktur mikro dengan perbesaran 200x pada bagian pinggir dan tengah menunjukkan terjadinya kumpulan unsur serbuk Cr pada satu titik di kedua gambar, pada Gambar 8. unsur serbuk Cr mengalami pengumpulan di bagian kanan atas pada bagian yang di lakukan pengamatan sedangkan pada Gambar 9. pengumpulan unsur serbuk Cr terjadi pada bagian tengah sedikit kekanan.

5. Kesimpulan

Dari hasil Pengujian Struktur Mikro dan Analisis Penyebaran Serbuk Bimetal Fe-Cr yang telah dilakukan sehingga dapat disimpulkan kesimpulan dari penelitian ini yaitu pengujian struktur mikro pada bimetal 75%Fe dan 25%Cr menunjukkan unsur Fe

yang ditunjukkan berwarna keabu-abu gelap mendominasi pada spesimen uji dibandingkan dengan unsur Cr yang ditunjukkan dengan warna perak abu-abu berkilau dan diikuti unsur C yang ditunjukkan dengan warna hitam. Unsur Fe yang terdapat pada pengujian struktur mikro berfungsi sebagai unsur yang mempengaruhi kekuatan dan kekerasan pada spesimen bimetal Fe dan Cr. Unsur Cr memiliki efek sebagai pencegah percepatan proses terjadinya korosi pada material bimetal Fe dan Cr. Unsur C yang terdapat pada spesimen bimetal Fe dan Cr yang berasal dari dilakukannya proses sintering pada spesimen yang dapat mempengaruhi nilai dari kekerasan ketika menyatu dengan unsur Fe.

Dan analisis penyebaran serbuk pada spesimen bimetal 75%Fe dan 25%Cr menunjukkan bahwa penyebaran serbuk pada spesimen ini masih kurang merata dan perlu di tingkatkan dikarenakan pada perbesaran 50x serbuk Fe dan Cr sudah menyebar dengan merata di seluruh bagian spesimen bimetal, tetapi pada perbesaran 200x masih terdapat beberapa titik yang terlihat kumpulan unsur serbuk Cr yang dikelilingi oleh unsur serbuk Fe di sekitarnya.

Referensi

- [1] A. W. Prameswari, A. S. Satyawan, dan D. M. Ariffin, "Research Civil Aircraft Model (RCAM) Dengan Metode Dinamis 6 Derajat Kebebasan Menggunakan MATLAB," *Pros. Semin. Nas. Sains Teknol. dan Inov. Indones.*, vol. 3, no. November, hal. 11–22, 2021, doi: 10.54706/senastindo.v3.2021.152.
- [2] N. Santoso dan B. Suharnadi, "Analisis Interface Bimetal Aluminium-Tembaga yang Dibuat dengan Pengecoran Sentrifugal Variasi Kecepatan Putar," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 4, no. 2, hal. 90–95, 2020.
- [3] P. Penerbangan, P. Dalam, M. Peradaban, dan I. Artikel, "Hari Suroto," hal. 45–53.
- [4] M. Saduk dan F. Niron, "Analisis Kekuatan Bending dan Kekuatan Impact Komposit Epoxy Diperkuat Serat Pelepah Lontar," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 3, hal. 121–127, 2017, doi: 10.21776/ub.jrm.2017.008.03.1.
- [5] H. Susanto, R. Lusiani, I. Saefuloh, dan H. Akbar, "Pengaruh perendaman bambu dengan air laut terhadap kekerasan dan laju keausan komposit kampas rem," vol. 12, no. 1, hal. 80–87, 2023.
- [6] I. D. M. A. P. Karthanegara, M. A. Sahbana, dan A. R. Fadhillah, "Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Al-Cu terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Metal Matrix Composite Al-Cu+Al₂O₃," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 3, hal. 351, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i3.3140.
- [7] A. D. Saragih dan S. Sutjipto, "Pengaruh Doping Kromium (Cr) Terhadap Sifat Kekerasan Pada Pembuatan Roda Gigi Lurus Berbahan Serbuk Besi (Fe)," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 5, no. 2, hal. M1–M5, 2020, doi: 10.22236/teknoka.v5i.6050.
- [8] A. Saifullah, Murjito, dan Daryono, "Analisa Tekanan Kompaksi dan Waktu Sintering Terhadap Sifat Mekanik pada Campuran Metalurgi Serbuk Besi (Iron Powder) dengan Zat Arang (Karbon)," *Sentara*, no. eISSN (Online) 2527-6050, hal. 152–159, 2018.
- [9] T. Rachman, "Metalurgi Serbuk Al-Mg," *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., hal. 10–27, 2018.
- [10] A. Wisnujati, "Analisis Perlakuan Carburizing Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Bahan Sprocket Imitasi Sepeda Motor," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 1, hal. 127–134, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i1.844.

- [11] D. Luhur, I. Saputra, P. Teknologi, dan L. Radioaktif -Batan, "Prosiding Hasil Penelitian Dan Kegiatan Tahun 2018 Analisis Struktur Mikro Logam Stainless Steel Tipe Ss 304 Di Instalasi Khipsb3," *Pus. Teknol. Limbah Radioakt. - BATAN*, hal. 29–37, 2019.
- [12] S. Djiwo dan A. E. Purkuncoro, "Analisis Kekerasan Al-Cu Dengan Variasi Prosentase Paduan Cu Pada Proses Pengecoran Dengan Penambahan Serbuk Degasser," *J. Flywheel*, vol. 9, no. 1, hal. 38–47, 2014, [Daring]. Tersedia pada: http://www.academia.edu/download/35530458/JURNAL_FLY_WHEEL_Analisis_2014.pdf
- [13] A. Yafi, "Pengaruh Kadar Kromium Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn Melalui Proses Peleburan," *Skripsi*, hal. 1–99, 2016.
- [14] A. Asmadi, E. S, dan W. Oktiawan, "Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH Dan Nahco₃ (Studi Kasus Pt. Trimulyo Kencana Mas Semarang)," *J. Air Indones.*, vol. 5, no. 1, 2018, doi: 10.29122/jai.v5i1.2431.
- [15] I. Fadhilah, "Analisis Struktur Mikro (Metalografi)," *J. Ilm.*, hal. 1, 2018.