

**EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE PADA PADUAN Al-FeCr-SiC HASIL  
PEMADUAN MEKANIK BERENERGI TINGGI**



**ANDRE NOVAL**

**NIM: 41321010011**

**UNIVERSITAS  
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2025**

## LAPORAN TUGAS AKHIR

### EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE PADA PADUAN Al-FeCr-SiC HASIL PEMADUAN MEKANIK BERENERGI TINGGI



Disusun oleh:

Nama : Andre Noval

Nim : 41321010011

Program Studi : Teknik Mesin

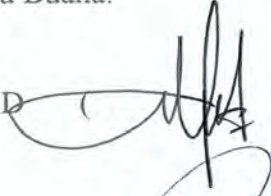
DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
MARET 2025

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Andre Noval  
Nim : 41321010011  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Laporan Skripsi : EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE  
PADA PADUAN Al-FeCr-SiC HASIL  
PEMADUAN MEKANIK BERENERGI TINGGI

Telah berhasil dipresentasikan dalam sidang di hadapan Dewan Penguji dan disetujui sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Pembimbing : Ir. Alfian Noviyanto S.TP., MT.Ph.D (  )  
NIDN : 0319117906  
Penguji 1 : Nurato, ST, MT. Ph.D (  )  
NIDN : 0313047302  
Penguji 2 : Dr.Eng. Imam Hidayat, ST., MT. S (  )  
NIDN : 0005087502

Jakarta, 21 Juni 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, MT

NIDN : 0307037202

Ketua Program Studi



Dr.Eng. Imam Hidayat, ST., MT.

NIDN : 0005087502

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Andre Noval

Nim : 41320010011

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE PADA PADUAN  
Al-FeCr-SiC HASIL PEMADUAN MEKANIK BERENERGI  
TINGGI

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan.

Jakarta, 21 Juni 2025



Andre Noval

## PENGHARGAAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas berkat anugrah dan tuntunannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE PADA PADUAN Al-FeCr-SiC HASIL PEMADUAN MEKANIK BERENERGI TINGGI” dengan begitu baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

Dalam proses ini Penulis menyadari bahwa ada keterbatasan dan kemampuan dalam penyusunan skripsi ini. dalam proses penulisan skripsi ini penulis memperoleh bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak, sehingga skripsi ini dapat selesai walaupun masih terdapat beberapa kekurangan dan keterbatasan dari penulis sendiri. Maka penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Andi Adriansyah selaku Rektor Universitas Mercu Buana,
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana,
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, MT selaku Kepala Program Studi Fakultas Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta,
4. Nurato, ST, MT. Ph.D selaku Koordinator Tugas Akhir dan Sekretaris Program Studi Fakultas Teknik Mesin Universitas Mercu Buana,
5. Sagir Alva, S. Si, M. Sc, Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
6. Ir. Alfian Noviyanto S.TP.,MT.Ph.D selaku Dosen pembimbing yang sudah mengarahkan dan membimbing dalam Penelitian ini,
7. Bapak Firman dan Bapak Dikki selaku Laboran Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan pengarahan terkait proses manufaktur yang tepat untuk digunakan dalam penelitian ini.
8. Kepada Bagas Haqi Arrosyid S. Si yang selalu membantu untuk keberhasilan pengujian dalam penelitian ini,
9. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin angkatan 2021 Universitas Mercu Buana yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.

10. Kepada kedua orang tua saya, Bapak Muklisin dan Ibu Titi Sri Lestari, serta Adik- adik saya yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan do'a,
11. Pihak perpustakaan yang telah memberikan akses kepada penulis untuk dapat melihat referensi penelitian terdahulu.
12. Seluruh dosen pengajar khususnya Dosen Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan ilmunya kepada penulis sehingga penulis dapat kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
13. Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak disebutkan satu persatu namun tidak mengurangi rasa hormat dan terima kasih penulis.

Jakarta, 21 Juni 2025

Andre Noval



## ABSTRAK

Penelitian ini menitikberatkan pada studi mengenai evolusi ukuran partikel serta perubahan fase dalam paduan Al–FeCr–SiC yang disintesis melalui metode pemaduan mekanik berenergi tinggi *High Energy Milling* HEM. Proses milling dilakukan dengan variasi waktu 0, 30, dan 60 menit, serta dibandingkan dengan metode pencampuran manual *hand mixing*. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengevaluasi distribusi ukuran partikel dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi perubahan fase serta struktur kristal. Sampel yang sudah tergiling menjadi ukuran nano, kemudian dilanjutkan ke tahap sintering. Sintering berkaitan dengan laju difusi antarpartikel, ukuran nano yang diperoleh dapat meningkatkan laju difusi antarpartikel sehingga dapat memperoleh paduan yang kompak berdensitas tinggi. Hasil PSA menunjukkan bahwa proses *milling* secara signifikan menurunkan ukuran partikel. Campuran manual memiliki ukuran rata-rata partikel sekitar 1080 nm dengan efisiensi penurunan hanya 8%. Setelah proses *milling* selama 30 menit, ukuran partikel turun menjadi 459 nm dengan efisiensi penyusutan sebesar 57,5%. Sementara itu, pada waktu *milling* 60 menit, ukuran partikel semakin kecil hingga mencapai 56,24 nm, menunjukkan penurunan sebesar 94,8% dibanding ukuran awal. Distribusi ukuran partikel juga semakin sempit dan merata seiring waktu *milling*. Analisis XRD menunjukkan pelebaran puncak difraksi serta penurunan intensitas seiring bertambahnya waktu *milling*, yang mengindikasikan penyusutan ukuran kristalit, peningkatan regangan kisi, serta kemungkinan terbentuknya larutan padat dan fase intermetalik. Fase utama Al, Fe, Cr, dan SiC tetap terdeteksi hingga akhir proses *milling*, dengan partikel SiC yang tetap stabil sebagai unsur penguat. Secara keseluruhan, teknik HEM terbukti efektif dalam memperkecil ukuran partikel hingga skala nanometer dan memodifikasi struktur mikro paduan Al–FeCr–SiC.

**Kata Kunci:** Al–FeCr–SiC, *High Energy Milling*, Ukuran Partikel, PSA, XRD.

## **EVOLUSI UKURAN PARTIKEL DAN FASE PADA PADUAN Al-FeCr-SiC HASIL PEMANDUAN MEKANIK BERENERGI TINGGI**

### **ABSTRACT**

*This study focuses on the investigation of particle size evolution and phase transformation in Al-FeCr-SiC alloys synthesized through the High Energy Milling (HEM) method. The milling process was conducted with varying durations of 0, 30, and 60 minutes and compared with manual mixing using the hand mixing method. Characterization was performed using a Particle Size Analyzer (PSA) to evaluate particle size distribution and X-ray Diffraction (XRD) to identify phase changes and crystal structures. The milled samples, which reached the nanoscale, were subsequently subjected to sintering. Sintering is closely related to the diffusion rate between particles; the nanoscale particle size obtained enhances the diffusion rate, leading to the formation of a dense and compact alloy. PSA results demonstrated that the milling process significantly reduced particle size. The manually mixed sample had an average particle size of approximately 1080 nm, with a size reduction efficiency of only 8%. After 30 minutes of milling, the particle size decreased to 459 nm, achieving a reduction efficiency of 57.5%. At 60 minutes of milling, the particle size further decreased to 56.24 nm, representing a 94.8% reduction compared to the initial size. Particle size distribution also became narrower and more uniform with increasing milling time. XRD analysis revealed peak broadening and intensity reduction with longer milling durations, indicating crystallite size reduction, increased lattice strain, and the possible formation of solid solutions and intermetallic phases. The primary phases of Al, Fe, Cr, and SiC remained detectable throughout the milling process, with SiC particles maintaining stability as reinforcing elements. Overall, the HEM technique proved to be effective in reducing particle size to the nanoscale and modifying the microstructure of the Al-FeCr-SiC alloy.*

**Keywords:** Al-FeCr-SiC, High Energy Milling, Particle Size, PSA, XRD.

## DAFTAR ISI

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                       | <b>i</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b>                       | <b>ii</b>  |
| <b>PENGHARGAAN</b>                              | <b>iii</b> |
| <b>ABSTRAK</b>                                  | <b>v</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                                 | <b>vi</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b>                               | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                            | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                             | <b>x</b>   |
| <b>BAB I</b>                                    | <b>1</b>   |
| <b>PENDAHULUAN</b>                              | <b>1</b>   |
| 1.1. LATAR BELAKANG                             | 1          |
| 1.2. RUMUSAN MASALAH                            | 2          |
| 1.3. TUJUAN                                     | 3          |
| 1.4. MANFAAT                                    | 3          |
| 1.5. RUANG LINGKUP DAN BATAS MASALAH            | 3          |
| 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN                      | 4          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                  | <b>5</b>   |
| 2.1 PENELITIAN TERDAHULU                        | 5          |
| 2.2 PEMADUAN KOMPOSIT BERBASIS AI               | 17         |
| 2.3 PEMADUAN MEKANIK                            | 18         |
| 2.4 KARAKTERISASI SERBUK HASIL PEMADUAN MEKANIK | 20         |
| 2.4.1 <i>Particle size analyzer</i>             | 21         |
| 2.4.2 <i>X-ray diffraction</i>                  | 21         |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>                | <b>25</b>  |
| 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN                     | 25         |
| 3.2 WAKTU DAN PELAKSANAAN                       | 26         |
| 3.3 ALAT YANG DIGUNAKAN                         | 26         |
| 3.3.1 Alat yang digunakan                       | 26         |
| 3.4 BAHAN YANG DIGUNAKAN                        | 30         |
| 3.5 PROSEDUR PENELITIAN                         | 31         |
| 3.5.1 Studi Pustaka                             | 31         |

|                       |                                              |           |
|-----------------------|----------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2                 | Persiapan Alat dan Bahan                     | 32        |
| 3.5.3                 | Persiapan Serbuk Al-FeCr-SiC                 | 32        |
| 3.5.4                 | Proses <i>High Energy Milling</i>            | 33        |
| 3.5.5                 | Karakteristik Sampel                         | 33        |
| <b>BAB IV</b>         | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                  | <b>35</b> |
| 4.1                   | Proses Sintesis Serbuk Al-FeCr-SiC           | 35        |
| 4.2                   | Hasil Karakterisasi PSA                      | 36        |
| 4.3                   | Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> | 43        |
| <b>BAB V</b>          | <b>PENUTUP</b>                               | <b>46</b> |
| 5.1                   | Kesimpulan                                   | 46        |
| 5.2                   | Saran                                        | 47        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> |                                              | <b>49</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>       |                                              | <b>51</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Shaker mill HEM                           | 20 |
| Gambar 2. 2 Proses Skema XRD                          | 24 |
| Gambar 2. 3 Skema Hukum Bragg                         | 22 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir                              | 25 |
| Gambar 3. 2 High Energy Milling                       | 27 |
| Gambar 3. 3 Timbangan digital                         | 27 |
| Gambar 3. 4 X-ray difraction                          | 28 |
| Gambar 3. 5 Mortar                                    | 28 |
| Gambar 3. 6 Saringan 325 Mesh                         | 29 |
| Gambar 3. 7 Wadah                                     | 29 |
| Gambar 3. 8 Glove Box                                 | 29 |
| Gambar 3. 9 Serbuk Al                                 | 30 |
| Gambar 3.10 Serbuk FeCr                               | 30 |
| Gambar 4. 1 Distribusi ukuran partikel PSA            | 37 |
| Gambar 4. 2 Pola difraksi sinar-X senyawa Al-FeCr-SiC | 43 |



## DAFTAR TABEL

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu  | 5  |
| Tabel 4.1. Hasil Ukuran Partikel | 29 |

