

TUGAS AKHIR
ANALISIS SINTESIS NANOSILIKA BERBAHAN
DASAR LIMBAH *FLY ASH* MENGGUNAKAN
METODE PENGGILINGAN DENGAN VARIASI
DURASI WAKTU

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana
Teknik pada program studi teknik sipil fakultas teknik universitas
sriwijaya



MEJANREHAD RECKY APRILIANDO

03011322126121

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ricky Apriliando

NIM : 03011382126121

Judul : Analisis Sintesis Nanosilika Berbahan Dasar Limbah *Fly Ash* Menggunakan Metode Penggilingan Dengan Variasi Durasi Waktu

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Maret 2025



Muhammad Ricky Apriliando
NIM. 03011382126121

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS SINTESIS NANOSILIKA BERBAHAN DASAR LIMBAH FLY ASH MENGGUNAKAN METODE PENGGIILINGAN DENGAN VARIASI DURASI WAKTU

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

Oleh:

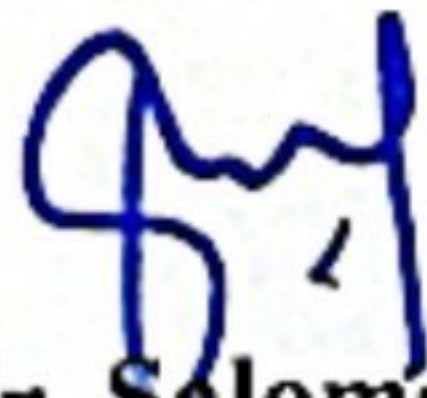
MUHAMMAD RICKY APRILIANDO

03011382126121

Palembang, Maret 2025

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Sintesis Nanosilika Berbahan Dasar Limbah *Fly Ash* Menggunakan Metode Penggilingan Dengan Variasi Durasi Waktu” yang disusun oleh Muhammad Ricky Apriliando, NIM. 03011382126121 telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Maret 2025.

Palembang, 21 Maret 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir:

Ketua:

1. Dr. Ir. Saloma, S.T.,M.T.
NIP. 197610312002122001

()

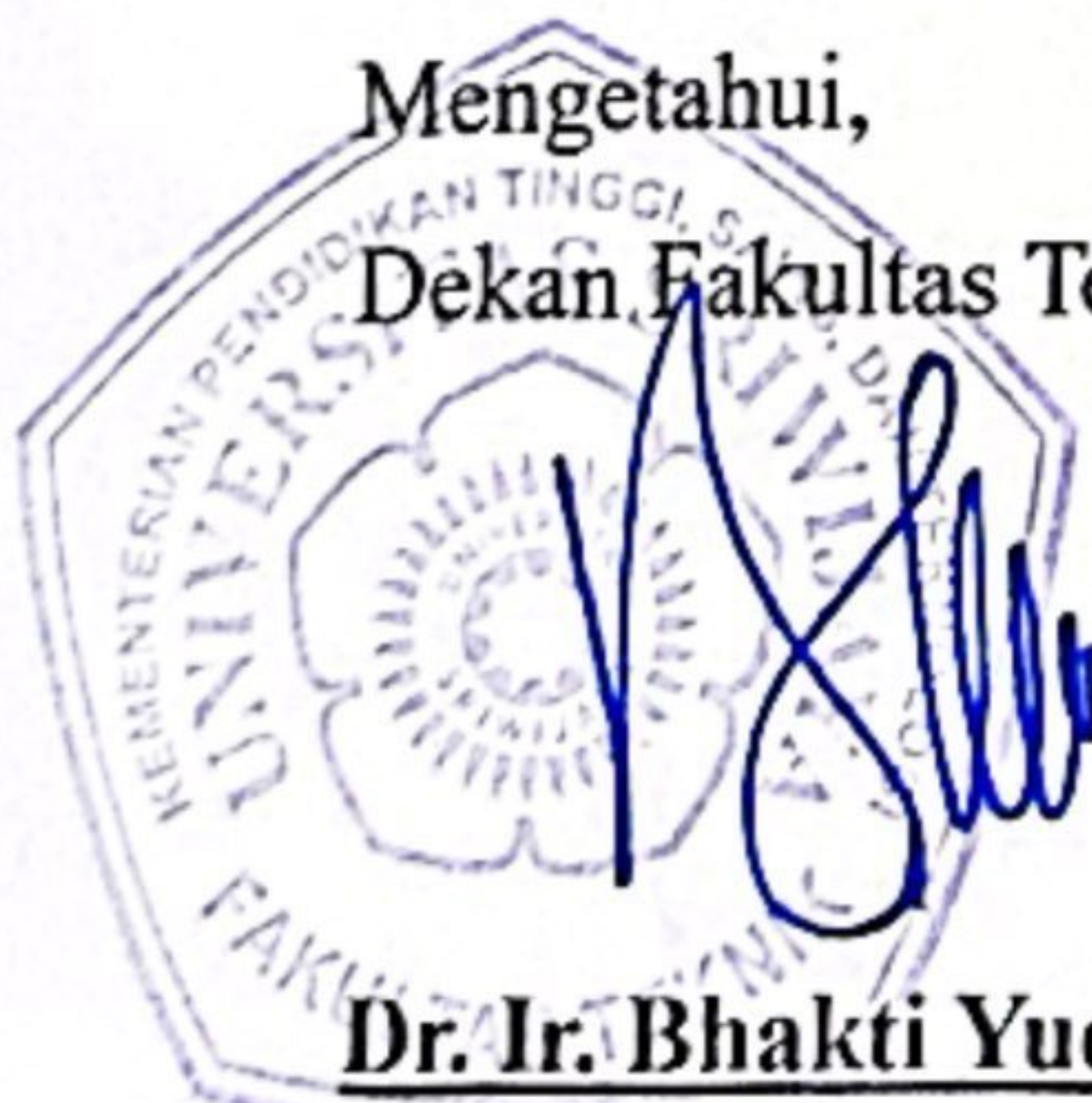
Anggota:

2. Dr.Ir.Siti Aisyah Nurjannah,S.T.,M.T.,IPU
NIP.197705172008012039

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T.,M.T.,IPU.

NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Sipil




Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ricky Apriliando

NIM : 03011382126121

Judul : Analisis Sintesis Nanosilika Berbahan Dasar Limbah Fly Ash Menggunakan Metode Penggilingan Dengan Variasi Durasi Waktu

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Maret 2025



Muhammad Ricky Apriliando
NIM. 03011382126121

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Muhammad Ricky Apriliando
Jenis Kelamin : laki-laki
E-mail : rickyaprlndo23@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDN 241 PALEMBANG	-	-	SD	2009 - 2015
SMPN 9 PALEMBANG	-	-	SMP	2015 - 2018
SMAN 6 PALEMBANG	-	IPA	SMA	2018 - 2021
	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021- 2025

Riwayat Organisasi:

Nama Organisasi	Jabatan	Periode
Ikatan Mahasiswa Sipil	Sekretaris Jendral	2022/2025

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Muhammad Ricky Apriliando
03011382126121

RINGKASAN

ANALISIS SINTESIS NANOSILIKA BERBAHAN DASAR LIMBAH FLY ASH MENGUNAKAN METODE PENGGIILINGAN DENGAN VARIASI DURASI WAKTU

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir,

Muhammad Ricky Apriliando; Dibimbing oleh Dr. Ir. Saloma., S.T.,M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xix + 63 halaman, 46 gambar, 7 tabel

Penelitian ini menganalisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah fly ash menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu. Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang mengandung silika tinggi dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan nanosilika. Sintesis dilakukan menggunakan metode High Energy Milling (HEM) dengan durasi penggilingan 2, 3, dan 4 jam untuk menentukan pengaruh waktu terhadap karakteristik nanosilika. Analisis mikrostruktur dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), dan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar SiO_2 tertinggi (52,025%) diperoleh pada penggilingan selama 3 jam, sementara ukuran kristal terkecil (14,65 nm) ditemukan pada durasi 2 jam. Sampel dengan waktu penggilingan 2 jam juga memiliki persentase amorf tertinggi sebesar 99,65%, yang menunjukkan tingkat reaktivitas yang lebih baik. Penelitian ini membuktikan bahwa durasi penggilingan mempengaruhi komposisi kimia, ukuran kristal, dan homogenitas partikel nanosilika. Studi lanjutan dengan variasi parameter lain seperti suhu penggilingan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi produksi nanosilika dari fly ash.

Kata kunci: Nanosilika, fly ash, XRD, XRF, SEM

SUMMARY

ANALYSIS OF NANOSILICA SYNTHESIS FROM FLY ASH WASTE USING MILLING METHOD WITH DURATION VARIATION

Scientific papers in form of Final Projects,

Muhammad Ricky Apriliando; Guide by Dr. Ir. Saloma., S.T.,M.T

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xix + 63 pages, 46 images, 7 tables

This research analyzes the synthesis of nanosilica from fly ash waste using a milling method with variations in duration. Fly ash is a byproduct of coal combustion that contains high silica content and has the potential to be utilized as nanosilica material. The synthesis was conducted using the High Energy Milling (HEM) method with grinding durations of 2, 3, and 4 hours to determine the effect of time on the characteristics of nanosilica. Microstructural analysis was performed using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope (SEM). The results showed that the highest SiO₂ content (52.025%) was obtained with a milling duration of 3 hours, while the smallest crystal size (14.65 nm) was found at 2 hours of milling. The sample milled for 2 hours also had the highest amorphous percentage of 99.65%, indicating better reactivity. This study proves that milling duration influences the chemical composition, crystal size, and particle homogeneity of nanosilica. Further studies with variations in other parameters, such as milling temperature, are needed to improve the efficiency of nanosilica production from fly ash.

Keywords: Nanosilica, fly ash, XRD, XRF, SEM

ANALISIS SINTESIS NANOSILIKA BERBAHAN DASAR LIMBAH FLY ASH MENGGUNAKAN METODE PENGGIILINGAN DENGAN VARIASI DURASI WAKTU

Muhammad Ricky Apriliando¹⁾, Saloma²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: rickyaprlndo23@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: salomaunsri@gmail.com

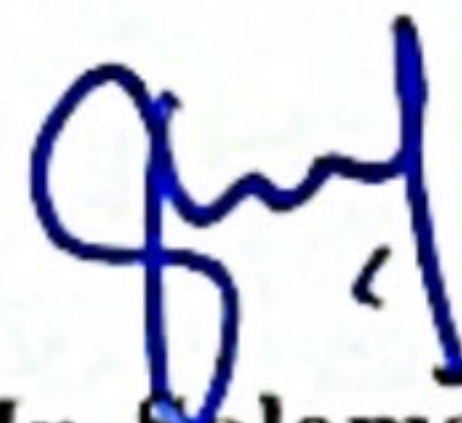
Abstrak

Penelitian ini menganalisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah fly ash menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu. Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang mengandung silika tinggi dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan nanosilika. Sintesis dilakukan menggunakan metode High Energy Milling (HEM) dengan durasi penggilingan 2, 3, dan 4 jam untuk menentukan pengaruh waktu terhadap karakteristik nanosilika. Analisis mikrostruktur dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), dan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar SiO_2 tertinggi (52,025%) diperoleh pada penggilingan selama 3 jam, sementara ukuran kristal terkecil (14,65 nm) ditemukan pada durasi 2 jam. Sampel dengan waktu penggilingan 2 jam juga memiliki persentase amorf tertinggi sebesar 99,65%, yang menunjukkan tingkat reaktivitas yang lebih baik. Penelitian ini membuktikan bahwa durasi penggilingan mempengaruhi komposisi kimia, ukuran kristal, dan homogenitas partikel nanosilika. Studi lanjutan dengan variasi parameter lain seperti suhu penggilingan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi produksi nanosilika dari fly ash.

Kata kunci: nanosilika, fly ash, XRF, XRD, SEM.

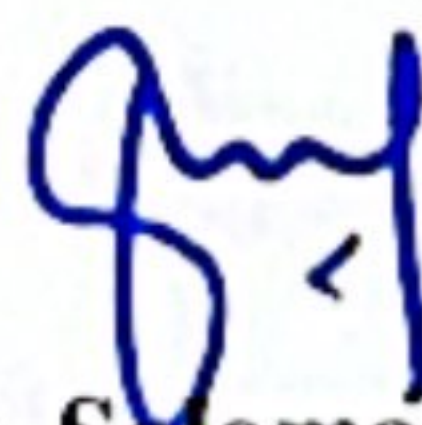
Palembang, Maret 2025

Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

ANALYSIS OF NANOSILICA SYNTHESIS FROM FLY ASH WASTE USING MILLING METHOD WITH DURATION VARIATION

Muhammad Ricky Apriliando¹⁾, Saloma²⁾,

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas
Sriwijaya

E-mail: rickyaprlindo23@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: salomaunsri@gmail.com

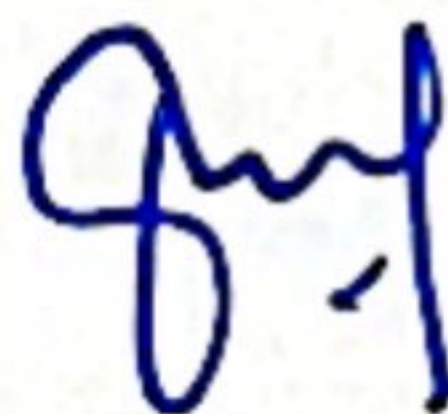
Abstract

This research analyzes the synthesis of nanosilica from fly ash waste using a milling method with variations in duration. Fly ash is a byproduct of coal combustion that contains high silica content and has the potential to be utilized as nanosilica material. The synthesis was conducted using the High Energy Milling (HEM) method with grinding durations of 2, 3, and 4 hours to determine the effect of time on the characteristics of nanosilica. Microstructural analysis was performed using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope (SEM). The results showed that the highest SiO₂ content (52.025%) was obtained with a milling duration of 3 hours, while the smallest crystal size (14.65 nm) was found at 2 hours of milling. The sample milled for 2 hours also had the highest amorphous percentage of 99.65%, indicating better reactivity. This study proves that milling duration influences the chemical composition, crystal size, and particle homogeneity of nanosilica. Further studies with variations in other parameters, such as milling temperature, are needed to improve the efficiency of nanosilica production from fly ash.

Keywords: *nanosilica*, fly ash, XRD, XRF, SEM

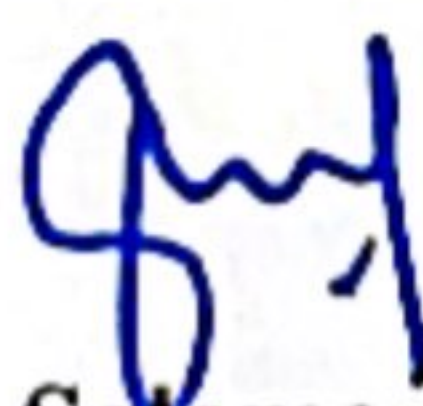
Palembang, Maret 2025

Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma. S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul “Analisis sintesis nanosilika Berbahan Dasar Limbah *Fly Ash* Menggunakan Metode Penggilingan Dengan Variasi Durasi Waktu”. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini, yaitu :

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, SE. M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Ratna Dewi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan.
5. Orang tua ibu Ainah S.E., M.Pd dan Alm. Herianto keluarga, serta A dan teman-teman yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir.

Dalam menyusun proposal ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi penulis dan bagi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Palembang, Maret 2025



Muhammad Ricky Apriliando

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada zaman di era modern terdapat tantangan industri bahan konstruksi merupakan mengembangkan lingkungan yang kondusif dengan mengurangi penggunaan kandungan semen dengan jumlah yang semaksimal mungkin. Sehubungan dengan hal tersebut. Untuk dapat mengembangkan material konstruksi yang inovatif dan cerdas, penerapan nanopartikel dalam industri semen dan konstruksi merupakan teknik yang sangat efektif. Saat ini terdapat minat yang luar biasa terhadap material nano dan nanoteknologi karena kelebihannya. *Nano silica* merupakan bahan berukuran nanometer yang terbuat dari silika (SiO_2), senyawa kimia yang sangat melimpah di alam. Pada umumnya, silika nano diproduksi dari berbagai sumber alami seperti *fly ash*, abu sekam padi, dan tanah diatom, serta dari senyawa sintesis seperti natrium silikat. Proses produksi *nano silica* melibatkan teknik kimia canggih, presipitasi, dan metode hidrotermal, yang memungkinkan kontrol yang tepat atas ukuran dan morfologi partikel. Keuntungan utama *Nano Silica* terletak pada luas permukaannya yang sangat tinggi dan sifat fisikokimia yang unik, yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi. *Nano Silica* digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan beton, sebagai bahan pengental dalam industri kosmetik, sebagai pembawa obat dalam bidang farmasi, serta dalam berbagai inovasi teknologi material nano lainnya. Material-material ini menunjukkan potensi yang besar dalam meningkatkan performa produk dan menciptakan solusi baru di berbagai sektor industri.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan pembentuk beton memiliki dampak positif dari segi lingkungan. *fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara yang sangat halus. Kehalusan butiran *fly ash* berpotensi menimbulkan pencemaran udara. Selain itu, penanganan *fly ash* pada saat ini masih hanya sebatas penimbunan yang dilakukan di lahan-lahan kosong. *Fly ash* memiliki dampak lingkungan, kesehatan, dan ekonomi yang kompleks. Secara kualitas lingkungan, *fly ash* dapat menyebabkan pencemaran udara, pencemaran air dan tanah jika tidak dikelola dengan baik, yang berakibat pada kerusakan lingkungan dan degradasi lahan. Dari

aspek kesehatan, partikel abu terbang yang terhirup dapat menyebabkan penyakit pernapasan seperti asma dan bronkitis, serta meningkatkan risiko kanker karena kandungan logam berat seperti arsenik dan merkuri. Secara ekonomi, pada proses pengelolaan *fly ash* membutuhkan biaya yang besar, namun *fly ash* juga memiliki potensi ekonomi sebagai bahan konstruksi, seperti sebagai bahan tambahan pada beton, yang dapat mengurangi limbah dan emisi CO₂ dari produksi semen. Dengan pengelolaan yang tepat, dampak negatif dari *fly ash* dapat diminimalisir, sementara manfaat positifnya dapat dioptimalkan untuk keberlanjutan dan efisiensi sumber daya.

Pada realitanya, kuat tekan beton yang diperoleh selalu lebih kecil dari kuat tekan perencanaan beton yang telah diperhitungkan. Terdapat banyak usaha yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu untuk memperbaiki sifat-sifat beton yang dihasilkan. Peningkatan tersebut antara lain dengan menambahkan bahan campuran seperti *fly ash* (pengganti sebagian proporsi semen), *silica fume* (pengisi antara pasta semen dan agregat), mikrosilika, dan *nano silica* dengan tujuan untuk meningkatkan sifat beton. Penelitian ini bertujuan membahas tentang proses sintesis menggunakan bahan limbah dasar *fly ash*. Maka dilakukan penelitian lebih lanjut tentang proses Analisis sintesis nanosilika menggunakan bahan limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, diperoleh rumusan masalah yang akan dibahas di dalam penelitian ini mengenai proses sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi waktu penggilingannya serta bagaimana proses sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi waktu penggilingan, serta mengetahui dampak pengaruh variasi waktu penggilingan terhadap karakteristik nanosilika dihasilkan.

1.4. Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini terdapat ruang lingkup sebagai berikut :

1. Limbah *fly ash* dengan saringan berukuran 200 mesh.
2. Waktu yang digunakan dalam proses sintesis *fly ash* adalah 2 jam, 3 jam dan 4 jam.
3. Mesin *high energy milling* sebagai alat penggiling untuk proses sintesis.
4. Berat *fly ash* yang disintesis 3 gram.
5. Analisis mikrostruktur dengan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), *scanning electron microscope* (SEM) dan *X-ray fluorescence* (XRF)

1.5. Metode Pengumpulan Data

Adapun mengenai metode dari pengumpulan data dalam tugas akhir mengenai Analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu menggunakan dua metode berupa :

1. Data Primer

Pada tugas akhir ini data primer didapat secara langsung dari pengujian yang dilakukan di laboratorium serta hasil bimbingan secara langsung kepada dosen pembimbing.

2. Data Sekunder

Pada tugas akhir ini data sekunder didapatkan secara tidak langsung dari objek penelitian dan dari informasi bacaan yang dilihat di internet. Dalam penelitian tugas akhir ini data sekunder berupa studi pustaka yang digunakan sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan penelitian.

1.6. Rencana Sistematika Penulisan

Adapun rencana sistematika penulisan pada laporan tugas akhir mengenai Analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang dari tugas akhir, rumusan masalah dari tugas akhir, tujuan dari penelitian dalam tugas akhir, ruang lingkup dalam tugas akhir, metode dari pengumpulan data tugas akhir dan sistematika penulisan dalam tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan mengenai kajian literatur yang digunakan dalam tugas akhir sebagai penjelasan teori dari pustaka dan literatur mengenai definisi Analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan durasi waktu.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas mengenai material dan alat uji yang akan digunakan dalam tugas akhir, pelaksanaan penelitian tugas akhir yang meliputi bagaimana Analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan mengenai hasil dari pengolahan data yang dihasilkan dari prngujian pada laboratorium mengenai Analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah *fly ash* menggunakan metode penggilingan dengan variasi durasi waktu.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian tugas akhir untuk dipergunakan kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aman., & Utama, P.S., (2013). Pengaruh Suhu dan Waktu pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara. Seminar Nasional Teknik Kimia. Universitas Riau.
- Astuti & Hayati. R. (2015), Sintesis Nanopartikel Silika Dari Pasir Pantai Purus Padang Sumatera Barat Dengan Metode Koprepitasi. Jurnal Fisika Unand Vol. 4. No. 3, Juli 2015 ISSN 2302-8491.
<https://doi.org/10.25077/jfu.4.3.%p>.
- Dorigato A., and Pegoretti., A.(2012). Effect of silica nanoparticle on the mechanical performances of poly (lactic acid). Journal of Polymers and Environment 20: 713-725.
- Jabari., S.R, Mohsen,J., Alimorad,R., Asghar., G.A.(2013) Synthesize and characterization of graphene nanosheets with high surface area and nanoporous structure. Appl Surf Sci 2013;276:672–81.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.03.152>
- James, P. M., Syvitski. 1997. Principles Methods and Application of Particles Size Analysis. Cambride: Cambridge University Press.
<https://doi:10.1017/CBO9780511626142>
- Khitab., A dan Tausif,M., 2014. Nano Construction Materials. Mater. Sci 181-189.
https:// /Nano_Construction_materials_4,1217
- Krishnaraj, L., & Ravichandran, P. T. (2019). Investigation on grinding impact of fly ash particles and its characterization analysis in cement mortar composites. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(2), 267–274.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.02.001>
- Masruroh (2013) Penentuan Ukuran Kristal (CRYSTALLITE SIZE) Lapisan Tipis PZT dengan Metode XRD Melalui Pendekatan Persamaan Scherrer.
<http://dx.doi.org/10.18551/erudio.1-2.4>
- Myronyuk, I., Tatarchuk, H., Vasylyeva, I., Yaremiy, I., & Mykytyn. (2018). Effect of surfacemodified *fly ash* on compressive strength of cement mortar. Phys. Chem. Solid State, 19, 171-178.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.016>

- Navarro-Pardo, F., Martínez-Barrera, G., Martínez-Hernández, A. L., Castaño, V. M., Rivera-Armenta, J. L., Medellín-Rodríguez, F., & Velasco-Santos, C. (2013). Effects on the thermo-mechanical and crystallinity properties of nylon 6,6 electrospun fibres reinforced with one dimensional (1D) and two dimensional(2D)carbon. *Materials*, 6(8), 3494–3513.
[https://doi: 10.3390/ma6083494](https://doi.org/10.3390/ma6083494)
- Nurdin, F. (2013). Pemanfaatan Serat Kulit Rotan Yang Disintesa Dalam Bentuk Nanopartikel Pada Aplikasi Bionanokomposit Dengan Metode High Energy Milling (Skripsi). Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB. Bogor.
<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/62434>
- Rabah, H., Othmane, B., Sofiane, G., Nordine, L., dan Ahmed, B. (2016)., The sequel of modified fly ashes using high energy ball milling on mechanical performance of substituted past cement.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.10.109>
- Rahman, A., (2017). Pembuatan Nanosilika Gel dari Silika Abu Sekam Padi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
<http://repositori.uin-alauddin.ac.id/id/eprint/11592>
- Retnosari, A., (2013) Ekstraksi dan penentuan kadar silika (sio₂) hasil ekstraksi dari abu terbang (fly ash) batubara. jurusan kimia FMIPA universitas jember
<http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/3230>
- Sarimai., dkk (2016) Pengaruh waktu milling dan pengaruh waktu milling terhadap dan ukuran butir forsterite (Mg₂SiO₄) mineral serpentin dari kabupaten solok Selatan.
<https://doi.org/41.4958/k.forta.2016.65.72>
- Sholika, I dkk. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Abu Sekam Padi (Oryza Sativa) dengan variasi Konsentrasi Pengasaman. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sujatno, A., dkk. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, Vol. 9 No.2.

- Suryanarayana. 2001. Mechanical Alloying and Milling. Departemen Metallurgi dan Materials Engineering, Colorado School of Mines, golden Co 80401-1887. USA.
- Vidhya,B.,(2022). Influence of particle size reduction in ball milled rutile TiO₂ on the properties of PVDF-HFP/ TiO₂ nanocomposite films as dielectric layers for electro adhesive load bearing applications.
<https://doi.org/10.1007/s10854-022-09288-1>
- Waluyo, B.(2013) Pembuatan Partikel Nano Fe₂O₃ Dengan Kombinasi Ball-Milling dan Ultrasonic-Milling. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY, Solo, 23 Maret 2013 ISSN : 0853-0823. 2013.
- Wijaya, R.A1., Wijayanti,S2&Astuti.,Y(2021).*Fly Ash* Limbah Pembakaran Batubara sebagai Zat Mineral Tambahan (Additive) untuk Perbaikan Kualitas dan Kuat Tekan Semen.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v27i1.31558>
- Yohanes,. S.(2017) Nano Teknologi Manivestasi NanoSciense. Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Sains Al Quran (UNSIQ) Wonosobo.
- Zulkarnain, J.,Rahwanto., A.,2017. Penggunaan Nano-Katalis dari Mineral Alam pada Material Penyimpan Hidrogen Berbasis Magnesium Hidrida (*MgH₂*). Laporan Penelitian. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Syiah Kuala. Kuala Lumpur.