

TUGAS AKHIR

ANALISIS KANDUNGAN NANOSILIKA BERBAHAN
DASAR KAOLIN MENGGUNAKAN
METODE PRESIPITASI DENGAN VARIASI WAKTU
PENGERINGAN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas
Sriwijaya



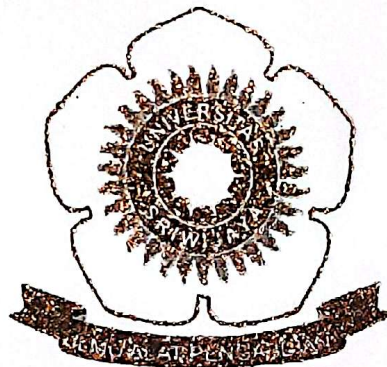
IRSYAD ZAKI
03011282126044

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS KANDUNGAN NANOSILIKA BERBAHAN
DASAR KAOLIN MENGGUNAKAN
METODE PRESIPITASI DENGAN VARIASI WAKTU
PENGERINGAN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas
Sriwijaya



IRSYAD ZAKI
03011282126044

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irsyad Zaki

NIM : 03011282126044

Judul : Analisis Kandungan Nanosilika Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Waktu Pengeringan

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, Mei 2025



Irsyad Zaki
NIM. 03011282126044

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KANDUNGAN NANOSILIKA BERBAHAN DASAR KAOLIN MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI DENGAN VARIASI WAKTU PENGERINGAN

TUGAS AKHIR

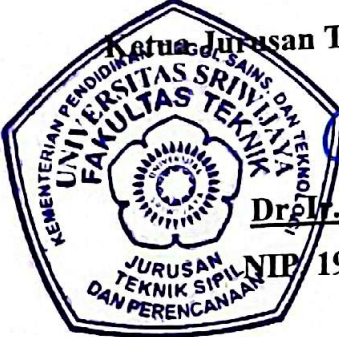
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Oleh:

IRSYAD ZAKI
03011282126044

Palembang, Mei 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T.,M.T.
NIP. 198605192019031007

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan


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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Kandungan Nanosilika Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Waktu Pengeringan” yang disusun oleh Irsyad Zaki, NIM. 03011282126044 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 09 Mei 2025.

Palembang, 09 Mei 2025

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Ketua:

1. Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T, M.T.

NIP. 198605192019031007

()

Anggota:

2. Dr. Ir. Hanafiah, M.S.

NIP. 195603141985031002

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Teknik


Sipil

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

NIP. 197502112003121002


Jurusan Teknik

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

NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irsyad Zaki

NIM : 03011282126044

Judul : Analisis Kandungan Nanosilika Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Waktu Pengeringan

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, Mei 2025



Irsyad Zaki

NIM. 03011282126044

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Irsyad Zaki
Jenis Kelamin : Laki-laki
E-mail : irsyadzk03@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD IT A BA TA TSA LAHAT	-	-	SD	2009 - 2015
SMP N 5 LAHAT	-	-	SMP	2015 - 2018
SMA N 2 LAHAT	-	IPA	SMA	2018 - 2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021- 2025

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Irsyad Zaki
03011282126044

RINGKASAN

ANALISIS KANDUNGAN NANOSILIKA BERBAHAN DASAR KAOLIN MENGUNAKAN METODE PRESIPITASI DENGAN VARIASI WAKTU PENGERINGAN

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir, 09 Mei 2025

Irsyad Zaki; Dimbing oleh Dr., Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xx + 60 halaman, 63 gambar, 9 tabel

Nanosilika merupakan silika yang berukuran nano yaitu berkisar 1-100 nm dan memiliki fungsi untuk meningkatkan kuat tekan beton. Nanosilika dapat dihasilkan dengan proses sintesis dari kaolin. Material yang digunakan pada penelitian ini berupa kaolin dan *Magnetic Stirrer* sebagai alat pengaduk. Penelitian ini menggunakan variasi waktu pengeringan 6 jam, 12 jam dan 24 jam. Pada penelitian ini menggunakan pengujian mikrostruktur untuk menganalisis hasil ekstraksi berupa *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari hasil uji XRD dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pengeringan kristal akan mengecil pada waktu tertentu namun dengan seiring bertambahnya waktu pengeringan ukuran kristal akan semakin besar. Dari hasil uji XRF dan SEM dapat ditarik kesimpulan bahwa pengeringan yang terlalu cepat dan pengeringan yang terlalu lama akan mengurangi kandungan silika. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa waktu pengeringan optimum pada proses sintesis adalah 12 jam yang menghasilkan kemurnian silika $\pm 57\%$ serta ukuran kristal sebesar 21.24 nm dengan kristalin sebanyak 8.83% dan amorf sebanyak 91.17%.

Kata kunci: Nanosilika, kaolin, XRD, XRF, SEM

SUMMARY

ANALYSIS OF NANOSILICA CONTENT FROM KAOLIN USING PRECIPITATION METHOD WITH VARIATION OF DRYING TIME

Scientific papers in form of Final Projects, May 09th, 2025

Irsyad Zaki; Guide by Advisor Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xx + 60 pages, 63 images, 9 tables

Nanosilica is silica with a nanoscale size ranging from 1 to 100 nm, which serves to enhance the compressive strength of concrete. Nanosilica can be synthesized from kaolin. The materials used in this study include kaolin and a magnetic stirrer as a mixing tool. This research employs variations in drying times of 6 hours, 12 hours, and 24 hours. Microstructural testing methods, including X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), and Scanning Electron Microscope (SEM), were utilized to analyze the extracted products. From the XRD test results, it can be concluded that the longer the drying time the crystals will shrink at a certain time but with increasing drying time the crystal size will get bigger. From the XRF and SEM test results, it can be concluded that drying too fast and drying too long will reduce the silica content. According to tests, the optimum drying time for the synthesis process is 12 hours, which produces silica purity of about 57% with a crystal size of 21.24 nm, composed of 8.83% crystalline and 91.17% amorphous material.

Keywords: Nanosilica, kaolin, XRD, XRF, SEM

ANALISIS KANDUNGAN NANOSILIKA BERBAHAN DASAR KAOLIN MENGGUNAKAN METODE PRESPITASI DENGAN VARIASI WAKTU PENGERINGAN

Irsyad Zaki¹⁾, Arie Putra Usman²⁾

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

E-mail: irsyadzki03@gmail.com

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

E-mail: arieputrausman@ft.unsri.ac.id

Abstrak

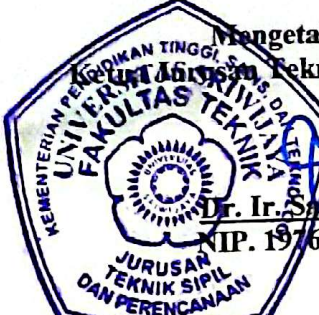
Nanosilika merupakan silika yang berukuran nano yaitu berkisar 1-100 nm dan memiliki fungsi untuk meningkatkan kuat tekan beton. Nanosilika dapat dihasilkan dengan proses sintesis dari kaolin. Material yang digunakan pada penelitian ini berupa kaolin dan *Magnetic Stirrer* sebagai alat pengaduk. Penelitian ini menggunakan variasi waktu pengeringan 6 jam, 12 jam dan 24 jam. Pada penelitian ini menggunakan pengujian mikrostruktur untuk menganalisis hasil ekstraksi berupa *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari hasil uji XRD dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pengeringan kristal akan mengecil pada waktu tertentu namun dengan seiring bertambahnya waktu pengeringan ukuran kristal akan semakin besar. Dari hasil uji XRF dan SEM dapat ditarik kesimpulan bahwa pengeringan yang terlalu cepat dan pengeringan yang terlalu lama akan mengurangi kandungan silika. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa waktu pengeringan optimum pada proses sintesis adalah 12 jam yang menghasilkan kemurnian silika $\pm 57\%$ serta ukuran kristal sebesar 21.24 nm dengan kristalin sebanyak 8.83% dan amorf sebanyak 91.17%.

Kata kunci: Nanosilika, Kaolin, XRD, XRF, SEM

Palembang, Mei 2025

Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Arie Putra Usman. S.T., M.T.
NIP. 198605192019031007

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,

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

ANALYSIS OF NANOSILICA CONTENT FROM KAOLIN USING PRECIPITATION METHOD WITH VARIATION OF DRYING TIME

Irsyad Zaki¹⁾, Arie Putra Usman²⁾

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

E-mail: irsyadzki03@gmail.com

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

E-mail: arieputrausman@ft.unsri.ac.id

Abstract

Nanosilica is silica with a nanoscale size ranging from 1 to 100 nm, which serves to enhance the compressive strength of concrete. Nanosilica can be synthesized from kaolin. The materials used in this study include kaolin and a magnetic stirrer as a mixing tool. This research employs variations in drying times of 6 hours, 12 hours, and 24 hours. Microstructural testing methods, including X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), and Scanning Electron Microscope (SEM), were utilized to analyze the extracted products. From the XRD test results, it can be concluded that the longer the drying time the crystals will shrink at a certain time but with increasing drying time the crystal size will get bigger. From the XRF and SEM test results, it can be concluded that drying too fast and drying too long will reduce the silica content. According to tests, the optimum drying time for the synthesis process is 12 hours, which produces silica purity of about 57% with a crystal size of 21.24 nm, composed of 8.83% crystalline and 91.17% amorphous material.

Keywords: Nanosilica, kaolin, XRD, XRF, SEM

Palembang, Mei 2025
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Arie Putra Usman. S.T., M.T.
NIP. 198605192019031007

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



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 Kandungan Nanosilika Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Waktu Pengeringan** “. 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 Prof. 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 yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Imroatul Chalimah Juliana S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan.
6. Bapak Dr. Ir. Hanafiah, M.S. Selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan tugas akhir.
7. Dosen-dosen serta staf jurusan Teknik Sipil yang telah membantu penulisa dalam menyelesaikan tugas akhir ini serta membantu penulis selama masa perkuliahan
8. Kedua orang tua dan saudara penulis, Papa Edwar Riady, Mama Elisyah Aryani, Ayuk Ria Resty Aprilliani, Ayuk Nisrina Haya dan Adik Annisa Meutiani atas doa dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kepada Dewi Sendani yang telah menemani penulis selama masa kuliah dan membantu dalam menyusun tugas akhir ini.
10. Seluruh teman-teman angkatan 2021 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan.

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, Mei 2025



Irsyad Zaki

DAFTAR ISI

PERNYATAAN INTEGRITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Metode Pengumpulan Data.....	3
1.6 Rencana Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nano Teknologi.....	5
2.1.1 Kelebihan Penggunaan Nano Teknologi Dalam Konstruksi	6
2.1.2 Kekurangan Penggunaan Nano Teknologi Dalam Konstruksi	8
2.2 Nanosilika	9
2.3 Proses Sintesis.....	10
2.3.1 Metode <i>Top-down</i>	11
2.3.2 Metode <i>Bottom-up</i>	11
2.4 Metode Sintesis Kimia	12
2.5 Kaolin.....	13
2.6 Pengujian Mikrostruktur	15

2.6.1	<i>X-Ray Diffraction</i>	15
2.6.2	<i>Scanning Electron Microscope</i>	16
2.6.3	<i>X-Ray Fluorescence</i>	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Studi Literatur	21
3.2	Alur Penelitian	21
3.3	Alat dan Bahan.....	23
3.3.1	Kaolin	23
3.3.2	Asam Sulfat	23
3.3.3	Timbangan	24
3.3.4	Natrium Hidroksida (NaOH).....	24
3.3.5	Aquades	24
3.3.6	<i>Beaker Glass</i>	25
3.3.7	Saringan 200 Mesh	25
3.3.8	Oven	25
3.3.9	Alat Pengujian Titrasi	26
3.3.10	<i>Magnetic Stirrer</i>	26
3.3.11	Alat Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	27
3.3.12	Alat Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i>	27
3.3.13	Alat Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i>	27
3.4	Tahapan Pengujian	28
3.4.1	Tahap 1	29
3.4.2	Tahap 2	29
3.4.3	Tahap 3	29
3.4.4	Tahap 4	33
3.4.5	Tahap 5	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Pengujian Mikrostruktur	36
4.1.1	<i>X-Ray Fluorescence</i>	36
4.1.2	<i>X-Ray Diffraction</i>	41
4.1.3	<i>Scanning Electron Microscope</i>	52
BAB 5 PENUTUP		55

5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan kuat nanosilika (3% dan 5%).....	7
Gambar 2.2 Pengaruh nanosilika terhadap kuat tekan beton	10
Gambar 2.3 Metode <i>Top-down</i> dan <i>Bottom-up</i>	11
Gambar 2.4 pendekatan sintesis nanopartikel <i>top down</i> dan <i>bottom up</i>	12
Gambar 2.5 Struktur Kaolin	13
Gambar 2.6 Hasil XRD nanosilika	15
Gambar 2.7 Hasil SEM nanosilika	16
Gambar 3.1 Diagram air penelitian	21
Gambar 3.2 Kaolin	23
Gambar 3.3 Asam Sulfat	23
Gambar 3.4 Timbangan	24
Gambar 3.5 Natrium Hidroksida	24
Gambar 3.6 Aquades	24
Gambar 3.7 <i>Beaker Glass</i>	25
Gambar 3.8 Saringan 200 mesh.	25
Gambar 3.9 Oven.....	25
Gambar 3.10. Alat Pengujian Titasi.	26
Gambar 3.11. <i>Magnetic Stirrer</i>	26
Gambar 3.12 Alat Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	27
Gambar 3.13 Alat Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i>	27
Gambar 3.14 Alat Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i>	27
Gambar 3.15 Proses pencampuran aquades dan larutan H_2SO_4	29
Gambar 3.16 Penyaringan kaolin	30
Gambar 3.17 Pencucian kaolin dengan larutan 1N H_2SO_4	30
Gambar 3.18 Penyaringan kaolin	30
Gambar 3.19 Pengeringan dengan oven dalam suhu 120°C selama 2 jam	31
Gambar 3.20 Proses refluks kaolin.....	31
Gambar 3.21 Penyaringan benda uji	31
Gambar 3.22 Proses titrasi benda uji.....	32
Gambar 3.23 Pencucian benda uji.....	32

Gambar 3.24 Pengeringan benda uji menggunakan oven	33
Gambar 3.25 Tampilan <i>new project origin</i>	34
Gambar 3.26 Import data	34
Gambar 3.27 Pembuatan grafik	35
Gambar 3.28 Analisis pada grafik	35
Gambar 3.29 Tampilan pop up <i>peak analyzer</i>	36
Gambar 3.30 Pencarian nilai maksimum pada excel	36
Gambar 3.31 Import data nilai maksimum pada <i>peak analyzer</i>	37
Gambar 3.32 Menu <i>integrate peaks</i>	37
Gambar 3.33 Pemilihan <i>integrate</i> pada <i>toolbox gadgets</i>	38
Gambar 3.34 Pengaturan <i>integrate</i>	38
Gambar 3.35 Pembesaran luas area	39
Gambar 4.1 Hasil XRF waktu pengeringan 6 jam	38
Gambar 4.2 Hasil XRF waktu pengeringan 12 jam	38
Gambar 4.3 Hasil XRF waktu pengeringan 24 jam	39
Gambar 4.4 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 6 jam	41
Gambar 4.5 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 12 jam	42
Gambar 4.6 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 24 jam	42
Gambar 4.7 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 6 jam	43
Gambar 4.8 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 12 jam	44
Gambar 4.9 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 24 jam	44
Gambar 4.10 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 6 jam pengeringan	45
Gambar 4.11 Grafik luas area titik puncak waktu 6 jam pengeringan	45
Gambar 4.12 Hasil perhitungan luas area total waktu 6 jam pengeringan	46
Gambar 4.13 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 12 jam pengeringan	46
Gambar 4.14 Grafik luas area titik puncak waktu 12 jam pengeringan	47
Gambar 4.15 Hasil perhitungan luas area total waktu 12 jam pengeringan	47
Gambar 4.16 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 24 jam pengeringan	48
Gambar 4.17 Grafik luas area titik puncak waktu 24 jam pengeringan	48

Gambar 4.18 Hasil perhitungan luas area total waktu 24 jam pengeringan	49
Gambar 4.19 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	52
Gambar 4.20 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	53
Gambar 4.21 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Uji Tekan Beton Dengan Campuran nanosilika	7
Tabel 2.2 Kandungan Kimia Kaolin.....	14
Tabel 2.3 Hasil Uji XRF	17
Tabel 4.1 Hasil XRF waktu pengeringan 6 jam.....	36
Tabel 4.2 Hasil XRF waktu pengeringan 12 jam.....	36
Tabel 4.3 Hasil XRF waktu pengeringan 24 jam.....	37
Tabel 4.4 Kandungan kimia semen portland jenis I	40
Tabel 4.5 Hasil perhitungan ukuran kristal	51
Tabel 4.6 Perbandingan nilai kristalin dan amorf pada benda uji	51

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 Kandungan Nanosilika Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Waktu Pengeringan** “. 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 Prof. 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 yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Imroatul Chalimah Juliana S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan.
6. Bapak Dr. Ir. Hanafiah, M.S. Selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan tugas akhir.
7. Dosen-dosen serta staf jurusan Teknik Sipil yang telah membantu penulisa dalam menyelesaikan tugas akhir ini serta membantu penulis selama masa perkuliahan
8. Kedua orang tua dan saudara penulis, Papa Edwar Riady, Mama Elisyah Aryani, Ayuk Ria Resty Aprilliani, Ayuk Nisrina Haya dan Adik Annisa Meutiani atas doa dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kepada Dewi Sendani yang telah menemani penulis selama masa kuliah dan membantu dalam menyusun tugas akhir ini.
10. Seluruh teman-teman angkatan 2021 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan.

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, Mei 2025

Irsyad Zaki

DAFTAR ISI

PERNYATAAN INTEGRITAS	
HALAMAN PENGESAHAN.....	
HALAMAN PERSETUJUAN	
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
RIWAYAT HIDUP	
RINGKASAN	
<i>SUMMARY</i>	
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Metode Pengumpulan Data.....	3
1.6 Rencana Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nano Teknologi.....	5
2.1.1 Kelebihan Penggunaan Nano Teknologi Dalam Konstruksi	6
2.1.2 Kekurangan Penggunaan Nano Teknologi Dalam Konstruksi	8
2.2 Nanosilika	9
2.3 Proses Sintesis.....	10
2.3.1 Metode <i>Top-down</i>	11
2.3.2 Metode <i>Bottom-up</i>	11
2.4 Metode Sintesis Kimia	12
2.5 Kaolin.....	13
2.6 Pengujian Mikrostruktur	15
2.6.1 <i>X-Ray Diffraction</i>	15

2.6.2	<i>Scanning Electron Microscope</i>	16
2.6.3	<i>X-Ray Fluorescence</i>	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Studi Literatur	21
3.2	Alur Penelitian	21
3.3	Alat dan Bahan.....	23
3.3.1	Kaolin	23
3.3.2	Asam Sulfat	23
3.3.3	Timbangan	24
3.3.4	Natrium Hidroksida (NaOH)	24
3.3.5	Aquades	24
3.3.6	<i>Beaker Glass</i>	25
3.3.7	Saringan 200 Mesh	25
3.3.8	Oven	25
3.3.9	Alat Pengujian Titrasi.....	26
3.3.10	<i>Magnetic Stirrer</i>	26
3.3.11	Alat Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	27
3.3.12	Alat Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i>	27
3.3.13	Alat Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i>	27
3.4	Tahapan Pengujian	28
3.4.1	Tahap 1	29
3.4.2	Tahap 2.....	29
3.4.3	Tahap 3	29
3.4.4	Tahap 4.....	33
3.4.5	Tahap 5.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Pengujian Mikrostruktur	36
4.1.1	<i>X-Ray Fluorescence</i>	36
4.1.2	<i>X-Ray Diffraction</i>	41
4.1.3	<i>Scanning Electron Microscope</i>	52
BAB 5 PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan.....	55

5.2	Saran.....	56
	DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan kuat nanosilika (3% dan 5%).....	7
Gambar 2.2 Pengaruh nanosilika terhadap kuat tekan beton	10
Gambar 2.3 Metode <i>Top-down</i> dan <i>Bottom-up</i>	11
Gambar 2.4 pendekatan sintesis nanopartikel <i>top down</i> dan <i>bottom up</i>	12
Gambar 2.5 Struktur Kaolin	13
Gambar 2.6 Hasil XRD nanosilika	15
Gambar 2.7 Hasil SEM nanosilika	16
Gambar 3.1 Diagram air penelitian	21
Gambar 3.2 Kaolin	23
Gambar 3.3 Asam Sulfat	23
Gambar 3.4 Timbangan	24
Gambar 3.5 Natrium Hidroksida	24
Gambar 3.6 Aquades	24
Gambar 3.7 <i>Beaker Glass</i>	25
Gambar 3.8 Saringan 200 mesh.	25
Gambar 3.9 Oven.....	25
Gambar 3.10. Alat Pengujian Titrasi.	26
Gambar 3.11. <i>Magnetic Stirrer</i>	26
Gambar 3.12 Alat Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	27
Gambar 3.13 Alat Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i>	27
Gambar 3.14 Alat Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i>	27
Gambar 3.15 Proses pencampuran aquades dan larutan H_2SO_4	29
Gambar 3.16 Penyaringan kaolin	30
Gambar 3.17 Pencucian kaolin dengan larutan 1N H_2SO_4	30
Gambar 3.18 Penyaringan kaolin	30
Gambar 3.19 Pengeringan dengan oven dalam suhu $120^{\circ}C$ selama 2 jam	31
Gambar 3.20 Proses refluks kaolin.....	31
Gambar 3.21 Penyaringan benda uji	31
Gambar 3.22 Proses titrasi benda uji.....	32
Gambar 3.23 Pencucian benda uji.....	32

Gambar 3.24 Pengeringan benda uji menggunakan oven	33
Gambar 3.25 Tampilan <i>new project origin</i>	34
Gambar 3.26 Import data.....	34
Gambar 3.27 Pembuatan grafik.....	35
Gambar 3.28 Analisis pada grafik	35
Gambar 3.29 Tampilan pop up <i>peak analyzer</i>	36
Gambar 3.30 Pencarian nilai maksimum pada excel.....	36
Gambar 3.31 Import data nilai maksimum pada <i>peak analyzer</i>	37
Gambar 3.32 Menu <i>integrate peaks</i>	37
Gambar 3.33 Pemilihan <i>integrate</i> pada <i>toolbox gadgets</i>	38
Gambar 3.34 Pengaturan <i>integrate</i>	38
Gambar 3.35 Pembesaran luas area	39
Gambar 4.1 Hasil XRF waktu pengeringan 6 jam	38
Gambar 4.2 Hasil XRF waktu pengeringan 12 jam	38
Gambar 4.3 Hasil XRF waktu pengeringan 24 jam	39
Gambar 4.4 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 6 jam.....	41
Gambar 4.5 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 12 jam.....	42
Gambar 4.6 Hasil uji XRD keberadaan senyawa waktu pengeringan 24 jam.....	42
Gambar 4.7 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 6 jam	43
Gambar 4.8 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 12 jam	44
Gambar 4.9 Hasil XRD variasi waktu pengeringan 24 jam	44
Gambar 4.10 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 6 jam pengeringan	45
Gambar 4.11 Grafik luas area titik puncak waktu 6 jam pengeringan	45
Gambar 4.12 Hasil perhitungan luas area total waktu 6 jam pengeringan	46
Gambar 4.13 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 12 jam pengeringan	46
Gambar 4.14 Grafik luas area titik puncak waktu 12 jam pengeringan	47
Gambar 4.15 Hasil perhitungan luas area total waktu 12 jam pengeringan	47
Gambar 4.16 Hasil perhitungan luas area titik puncak waktu 24 jam pengeringan	48
Gambar 4.17 Grafik luas area titik puncak waktu 24 jam pengeringan	48

Gambar 4.18 Hasil perhitungan luas area total waktu 24 jam pengeringan	49
Gambar 4.19 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	52
Gambar 4.20 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	53
Gambar 4.21 Foto SEM hasil durasi waktu 6 jam pengeringan.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Uji Tekan Beton Dengan Campuran nanosilika	7
Tabel 2.2 Kandungan Kimia Kaolin	14
Tabel 2.3 Hasil Uji XRF	17
Tabel 4.1 Hasil XRF waktu pengeringan 6 jam.....	36
Tabel 4.2 Hasil XRF waktu pengeringan 12 jam.....	36
Tabel 4.3 Hasil XRF waktu pengeringan 24 jam.....	37
Tabel 4.4 Kandungan kimia semen portland jenis I	40
Tabel 4.5 Hasil perhitungan ukuran kristal	51
Tabel 4.6 Perbandingan nilai kristalin dan amorf pada benda uji	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Didalam konstruksi, beton adalah salah satu material yang sangat umum dimanfaatkan jika dibandingkan material kayu dan baja. Beton banyak dan umum digunakan dikarenakan memiliki banyak keunggulan, diantaranya ialah biayanya relatif murah karena bahan pembentuknya yang banyak ditemukan dialam, tahan akan korosi dan pembusukan, mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi yang mampu menopang berat beban yang sangat berat. Didalam perencanaannya, kekuatan tekan pada beton yang direncanakan akan selalu lebih besar dari kekuatan tekan pada beton yang akan dihasilkan. Sudah banyak usaha dari para peneliti terdahulu untuk meningkatkan sifat pada beton. Dari berbagai macam usaha tersebut salah satu diantaranya yaitu dengan cara mencampurkan bahan bahan aditif contohnya mikrosilika, abu terbang, *silica fume*, dan nanosilika yang bertujuan untuk memperbaiki sifat beton. Nanosilika sudah umum dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk memperkuat dan meningkatkan kinerja struktur pada beton. Hal ini karena nanosilika dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan tekan dalam beton. Pencampuran sebagian proporsi nanosilika pada campuran beton dapat meningkatkan kepadatan pada zona transisi interaksi dan meningkatkan permeabilitas beton.

Nanoteknologi ialah teknologi yang memanfaatkan berbagai sifat fisika ataupun sifat kimiawi pada material dengan skala nanometer. 10^{-9} meter merupakan singkatan dari satu nanometer. Apabila ada partikel ataupun struktur molekul atom yang diciptakan dengan ukuran skala 1 sampai 10 nm, hal ini akan mengakibatkan beton menghasilkan sifat fisika atau kimiawi (mekanik) yang jauh berbeda bila dibandingkan dengan beton yang memanfaatkan material berukuran skala mikro.

Nanosilika yang dapat dimanfaatkan biasanya berasal dari bahan sisa atau limbah semikonduktor yang dapat ditemukan dari hasil industri, karakter dari nanosilika memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja. Selain itu, partikel nanosilika memiliki ketahanan yang tinggi terhadap berbagai macam kondisi yang buruk. Untuk menghasilkan nanosilika kita bisa menggunakan berbagai limbah contohnya limbah kaolin.

Kaolin merupakan bahan yang unik karena tidak hanya digunakan dalam industri tetapi juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada semen. Kaolin memiliki senyawa kimia, yaitu silika. Ketika direaksikan dengan kalsium hidroksida, yang berasal dari interaksi antara air dan semen, maka akan membuat semen menjadi lebih padat. Dengan menutup pori-pori kapiler yang memungkinkan air masuk, kaolin juga dapat meningkatkan daya tahan beton. Ketika semen biasa digunakan untuk membuat beton, semen akan menghasilkan lebih banyak air, yang dapat meningkatkan korosi. Menambahkan kaolin sebanyak 15% dari total campuran semen ke dalam beton akan memperkuat ikatan semen, sehingga menghasilkan beton yang tidak terlalu berpori dan lebih kuat terhadap penetrasi ion klorida. Hasilnya, ketika beton direaksikan dengan baja tulangan, beton tidak terlalu rentan terhadap korosi.

Dengan perkembangan teknologi saat ini kaolin dimanfaatkan untuk campuran beton dalam bentuk nano yang akan diolah sehingga menghasilkan nanosilika yang berasal dari proses sintesis bahan dasar kaolin. Variasi waktu pengeringan dapat mempengaruhi sifat-sifat nanosilika yang disintesis dari Kaolin menggunakan metode presipitasi, termasuk ukuran partikel, morfologi, dan kemurnian. Penelitian yang membahas tentang proses sintesis berbahan dasar limbah kaolin masih sedikit sehingga dibutuhkan penelitian yang lebih mendalam mengenai analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir mengenai Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan, bagaimana analisis sintesis nanosilika berbahan dasar limbah kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan, serta mengetahui efek variasi waktu pengeringan terhadap kualitas nanosilika yang dihasilkan

1.4. Ruang Lingkup

Didalam penelitian ini terdapat ruang lingkup sebagai berikut :

1. Limbah kaolin yang lolos saringan 200 mesh sebanyak 100 gram.
2. Larutan 1 N H_2SO_4 300 ml dan 6 N H_2SO_4 50 ml.
3. Larutan 2 N NaOH 300 ml.
4. Oven untuk pengeringan.
5. Metode presipitasi untuk menghasilkan nanosilika.
6. Variasi waktu pengeringan yang digunakan (6 Jam, 12 Jam, 24 Jam) untuk suhu yang dipakai adalah 120 °C.
7. Analisis mikrostruktur dengan pengujian alat *x-ray diffraction* , pengujian *x-ray fluorescence* , dan pengujian *scanning electron microscope* .

1.5. Metode Pengumpulan Data

Berikut penjelasan tentang metode pengumpulan data didalam Tugas Akhir tentang Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan menggunakan dua metode berupa :

1. Data Primer

Didalam tugas akhir ini adapun data primer didapatkan langsung melalui hasil dari bimbingan dengan dosen pembimbing kemudian dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan.

2. Data Sekunder

Didalam tugas akhir ini adapun data sekunder yaitu objek penelitian yang didapatkan tidak langsung dan juga didapatkan dari berbagai informasi yang didapat melalui internet. Data sekunder untuk penelitian tugas akhir ini adalah studi pustaka yang akan dipakai untuk pedoman yang berhubungan mengenai hasil serta analisis dalam tugas akhir ini.

1.6 Rencana Sistematika Penulisan

Adapun rencana sistematika penulisan pada laporan tugas akhir mengenai Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini menjelaskan terkait tentang latar belakang, rumusan masalah, kemudian tujuan pada penelitian, lalu ruang lingkup penelitian, metode dari pengumpulan data pada penelitian dan juga sistematika penulisan pada tugas akhir dalam penelitian ini

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka menjelaskan tentang literatur yang didapat dari berbagai informasi yang nantinya akan dimanfaatkan dalam tugas akhir untuk hasil pembahasan teori pustaka dan juga literatur yang telah didapatkan terkait Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian akan menjelaskan tentang alat alat dan material serta tahapan tahapan yang akan digunakan dan dilakukan pada pengujian didalam tugas akhir ini yang menjelaskan bagaimana Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini menjelaskan terkait pembahasan dan hasil dari analisis data yang telah didapat dari pengujian dilaboratorium tentang Analisis kandungan nanosilika berbahan dasar kaolin menggunakan metode presipitasi dengan variasi waktu pengeringan.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab 5 penutup ini memberikan penjelasan mengenai saran serta kesimpulan oleh penulis didalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2022). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 300). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102597>
- Ahmed, H., Ibrahim, D., Mustafa, R., & Faraj, R. (2022). Synthesis and characterization of Nano ashes from different waste materials and their effects on the compressive strength of sustainable concrete: A systematic review. *Sulaimani Journal for Engineering Sciences*, 9(2), 10–22. <https://doi.org/10.17656/sjes.10153>
- Aliofkhazraei, M. (2015). Handbook of nanoparticles. In *Handbook of Nanoparticles*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15338-4>
- Aliyu, U. M., Rathilal, S., Mustapha, S. I., Musamali, R., & Tetteh, E. K. (2023). Hydrothermal synthesis of kaolin-based ZSM-5 zeolite: Effect of synthesis parameters and its application for bioethanol conversion. *Catalysis Communications*, 182(August). <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106750>
- Behzadian, R., & Shahrajabian, H. (2019). Experimental Study of the Effect of Nano-silica on the Mechanical Properties of Concrete/PET Composites. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(8), 3660–3668. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-2440-9>
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H., & Kianfar, E. (2021). Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5102014>
- Buyondo, A. K., Kasedde, H., Kirabira, J. B., & Bongomin, O. (2024). Characterization and treatment effects on Mutaka kaolin for additive in coatings: Mineral composition, thermal and structural modifications.

- Heliyon*, 10(1), e24238. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24238>
- Farhan, R. Z., & Ebrahim, S. E. (2021). Preparing nanosilica particles from rice husk using precipitation method. *Baghdad Science Journal*, 18(3), 494–500. <https://doi.org/10.21123/BSJ.2021.18.3.0494>
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37647>
- Furqon, Muhammad Agung., Siti Nurjanah. 2016. Sintesis Zeolit Y Menggunakan Bahan Baku Metakaolin Dari Kaolin Belitung dalam Laporan Tugas Akhir. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- G. Foua, M.M., 2012. Antibacterial Modification of Textiles Using Nanotechnology, in: Bobbarala, V. (Ed.), A Search for Antibacterial Agents. InTech. <https://doi.org/10.5772/45653>
- Gumelar, B., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Variasi Penambahan Nanosilika Komersial Pada Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1–8.
- Hamid, A., Prasetyo, D., Esti Purbaningtias, T., Rohmah, F., & Febriana, I. D. (2020). Pengaruh Tahap Kristalisasi pada Sintesis ZSM-5 Mesopori dari Kaolin Alam. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(2), 40–49. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss2.art1>
- Horikoshi, S. dan Serpone, N., 2013, Microwave in Nanoparticle Synthesis, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KgaA, Manheim
- Meddah, M. S., Praveenkumar, T. R., Vijayalakshmi, M. M., Manigandan, S., & Arunachalam, R. (2020). Mechanical and microstructural characterization of rice husk ash and Al₂O₃ nanoparticles modified cement concrete. *Construction and Building Materials*, 255, 119358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119358>
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (2019). An Introduction to Nanotechnology. In *Interface Science and Technology* (1st ed., Vol. 28). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>
- Nugraha, P., & Antoni (2007). Teknologi beton dari material, pembuatan, ke beton kinerja tinggi.

- Pan, Z., Tao, Z., Murphy, T., & Wuhner, R. (2017). High temperature performance of mortars containing fine glass powders. *Journal of Cleaner Production*, 162, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.003>
- Qisti, N., Indrasti, N. S., & Suprihatin. (2016). Optimization of process condition of nanosilica production by hydrothermal method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 162(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/162/1/012036>
- Rana, A. K., Rana, S. B., Kumari, A., & Kiran, V. (2009). Significance of Nanotechnology in Construction Engineering. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(4), 6–8. <http://ijrte.academypublisher.com/vol01/no04/ijrte0104046048.pdf>
- Retno, N. (2016). Pengaruh Penambahan Nano Material Terhadap Sifat Mekanik Dan Durabilitas Beton (the Effect of Nano Material Addition on Mechanical Properties and Durability of Concrete). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 33(2), 92–101.
- Rizka, A. B. (2014). *Pengaruh Temperatur Kalsinasi Dan Waktu Penahanan Terhadap Pertumbuhan Kristal Nanosilika* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Rosalia, R., Asmi, D., & Ginting, E. (2016). Preparasi dan Karakterisasi Keramik Silika (SiO₂) Sekam Padi dengan Suhu Kasinasi 800-1000 C. *Jurnal Teoro Dan Aplikasi Fisika*, 04(01), 101–106. <http://dx.doi.org/10.25077/jfu.13.1.54-60.2024>
- Shafiq, N., Nuruddin, M. F., Khan, S. U., & Ayub, T. (2015). Calcined kaolin as cement replacing material and its use in high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 81, 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.050>
- Shaikh, F. U. A., Supit, S. W. M., & Sarker, P. K. (2014). A study on the effect of nano silica on compressive strength of high volume fly ash mortars and concretes. *Materials and Design*, 60, 433–442. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.025>
- Sharfina, E., Nuryanto, R., Surya, Y., & Putra, P. (2015). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Journal of Scientific and Applied Chemistry Pengaruh Variasi Waktu Milling terhadap Karakter Produk Sintesis LiMn₂O₄ dengan Reaksi Padat-Padat. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(1), 7–12. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>

- Warren, B. E. (1941). X-ray diffraction methods. *Journal of Applied Physics*, 12(5), 375–383. <https://doi.org/10.1063/1.1712915>
- Samadhi, T. (2016). *Synthesis of γ - Al_2O_3 Catalyst Support from Kaolin of Indonesian Origin*. <https://www.researchgate.net/publication/269165685>
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete—A review. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2060–2071.
- Wang, G. (2018). *Nanotechnology: The New Features. December 2018*. <http://arxiv.org/abs/1812.04939>
- Zulkarnain, Adi Rahwanto. 2017. Penggunaan Nano-Katalis dari Mineral Alam pada Material Penyimpan Hidrogen Berbasis Magnesium Hidrida (MgH_2). Laporan Penelitian Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Syiah Kuala. Kuala Lumpur. <http://dx.doi.org/10.13057/ijap/v6i01.178>