

**STUDI SINTESIS NANOPARTIKEL NIKEL DARI LARUTAN
PRESIPITASI BESI, KOBALT, NIKEL DENGAN METODE
SOL-GEL**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Fardiani Adillah Afif
3334190086

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI SINTESIS NANOPARTIKEL NIKEL DARI LARUTAN
PRESIPITASI BESI, KOBALT, NIKEL DENGAN METODE
SOL-GEL**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.

NIP. 196006232003122001

Pembimbing II



Ulin Herlina, M.T.

NIP. 198102112005022002

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI SINTESIS NANOPARTIKEL NIKEL DARI LARUTAN
PRESIPITASI BESI, KOBALT, NIKEL DENGAN METODE
SOL-GEL**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Fardiani Adillah Afif

3334190086

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal


Susunan Dewan Penguji


Penguji I : Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.


Penguji II : Ulin Herlina, M.T.

Penguji III : Fajri Ikhsan, S.Si., M.Si.

Tanda Tangan







Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitva Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Studi Sintesis Nanopartikel Nikel dari Larutan
Presipitasi Besi, Kobalt, Nikel dengan Metode
Sol-Gel
Nama Mahasiswa : Fardiani Adillah Afif
NIM : 3334190086
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 30 Juni 2023



Fardiani Adillah Afif
NIM. 3334190086

ABSTRAK

Nanoteknologi merupakan salah satu bidang utama penyangga kemajuan teknologi di Era Revolusi Industri 4.0. Sintesis merupakan salah satu pengaplikasian yang penting dari bidang nanoteknologi. Nikel oksida (NiO) nanopartikel telah mendapatkan banyak perhatian lebih dalam bidang nanoteknologi dikarenakan memiliki sifat kimia, magnetik, dan fisik yang unik. Pembuatan nanopartikel nikel dengan cara sintesis diperlukan agar dapat menghasilkan produk nanopartikel nikel dengan kemurnian yang tinggi dan ukuran partikel yang kecil. Pada penelitian ini, untuk mengolah NiO nanopartikel, dilakukan proses sintesis dengan menggunakan metode sol-gel, sebab mudah dilakukan, hemat biaya, menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi, dan memiliki kontrol yang baik terhadap komposisi kimia produk pada suhu rendah, serta tidak memerlukan energi yang tinggi. Dalam upaya peningkatan kemurnian nikel dan mendapatkan ukuran partikel nikel yang kecil, dilakukan variasi kondisi sintesis, yaitu asam, basa, dan netral untuk mengetahui parameter optimum proses optimasi I sintesis. Kemudian, pada proses sintesis optimasi II dilakukan sintesis dengan variasi waktu stirring, yaitu 24, 48, dan 72 jam yang berfungsi untuk mengetahui waktu stirring yang optimum. Selanjutnya, pada proses sintesis optimasi III dilakukan dengan variasi penambahan perlakuan ultrasonik dan tanpa perlakuan ultrasonik yang bertujuan untuk mengetahui parameter optimum perlakuan ultrasonik. Pada penelitian dilakukan sintesis dengan prekursor yang digunakan, yaitu larutan hasil presipitasi Fe, Co, Ni yang ditambahkan dengan surfaktan, yaitu polyethylene glycol dan triton, serta penambahan etanol. Kemudian, hasil terbaik yang didapatkan dari penelitian ini berdasarkan, kondisi sintesis, waktu stirring, dan perlakuan ultrasonik, yaitu sintesis kondisi basa, dengan waktu stirring 48 jam dengan penambahan perlakuan ultrasonik. Ukuran partikel yang dihasilkan berkisar 31-40 nm dan kemurnian nikel sebesar 5,25%.

Kata Kunci: Nanoteknologi, sintesis, NiO nanopartikel, sol-gel, polyethylene glycol, dan triton

ABSTRACT

Nanotechnology is one of the main areas supporting technological progress in the Industrial Revolution 4.0 Era. Synthesis is one of the most important applications in the field of nanotechnology. Nickel oxide (NiO) nanoparticles have received increasing attention in the field of nanotechnology due to their unique chemical, magnetic and physical properties. Manufacture of nickel nanoparticles by synthesis method is necessary in order to produce nickel nanoparticles with high purity and small particle size. This study aims to produce nickel nanoparticles by using the sol-gel method to synthesize them. The sol-gel method was chosen because it is easy to perform, cost-effective, produces products with high purity,

and has good control over the chemical composition of the product at low temperatures, and does not require high energy in the process. The synthesis process in this study was carried out by 3 optimizations, namely in the optimization process I was carried out with a variety of synthesis conditions, namely acid, base and neutral which aims to determine the best synthesis conditions. Then, in the optimization synthesis process II, the stirring time was varied, namely 24, 48, and 72 hours to determine the optimum stirring time. Furthermore, in the optimization synthesis process III carried out with variations in the addition of ultrasonic treatment and without ultrasonic treatment which aims to determine the optimum parameters of ultrasonic treatment. The precursors used in this study were solutions of Fe, Co, Ni precipitation added with surfactants, namely polyethylene glycol and triton, as well as the addition of ethanol. Then, the best results were obtained from this study based on the synthesis conditions, stirring time, and ultrasonic treatment, namely synthesis under alkaline conditions, with a stirring time of 48 hours with the addition of ultrasonic treatment. The resulting particle sizes range from 31-40 nm and nickel purity of 5.25%.

Keywords— *Nanotechnology, Synthesis, Nanoparticles, Sol-Gel, Polyethylene Glycol, and Triton.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala curahan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Sintesis Nanopartikel Nikel dari Larutan Presipitasi Besi, Kobalt, Nikel dengan Metode Sol-Gel” dengan baik. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Metalurgi di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam penyelesaian studi dan penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini tidak lepas dari kerjasama dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan dan Koordinator Skripsi Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. dan Ibu Ulin Herlina, M.T. selaku pembimbing I dan II skripsi, serta Bapak Fathan Bahfie, S.T. M.Si. selaku pembimbing lapangan yang telah banyak memberikan bimbingan serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Kedua orang tua, kakak dan adik yang telah menjadi *support system* terbaik.
4. Teman-teman Teknik Metalurgi, dan pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga penulis terbuka untuk saran, koreksi, dan tanggapan untuk perbaikan penelitian ini. Penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Cilegon, 30 Juni 2023

Fardiani Adillah Afif

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nikel Laterit Konawe	9
2.2 Proses Pelindian Bijih Nikel.....	11
2.3 Proses Presipitasi Fe dan Ni	14
2.4 Metode Sintesis Nanopartikel	19
2.5 Metode Sol-Gel	23
2.6 <i>Polyethylene Glycol</i> (PEG).....	27
2.7 Triton X-100	28
2.8 <i>Monosodium Glutamate</i> (MSG).....	29
2.9 Pengaruh pH dan Waktu Pada Metode Sol-Gel	30
2.10 Pengaruh Sonikasi Terhadap Sol-Gel Hasil Sintesis	32
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.2.1 Alat yang digunakan.....	37
3.2.2 Bahan yang digunakan	38
3.3 Prosedur Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	

4.1	Preparasi dan Karakterisasi Sampel Nikel Laterit.....	46
4.2	Pengaruh Variasi Kondisi Sintesis (Asam, Basa, dan Netral) Terhadap Kadar dan Ukuran Partikel Nanopartikel Nikel	48
4.3	Pengaruh Waktu <i>Stirring</i> Sintesis Terhadap Kadar dan Ukuran Partikel Nanopartikel Nikel	54
4.4	Pengaruh Perlakuan Ultrasonik Setelah Sintesis Terhadap Kadar dan Ukuran Partikel Nanopartikel Nikel	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A. Contoh Perhitungan.....		77
LAMPIRAN B. Data Penelitian.....		81
LAMPIRAN C. Gambar Alat dan Bahan		87

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Data ICP-OES Laporan Akhir Disertasi Sampel Larutan Hasil Presipitasi Fe, Co, Ni	19
Tabel 3.1 Alat-Alat Pengujian yang Digunakan Dalam Penelitian.....	37
Tabel 3.2 Alat-Alat yang Digunakan Dalam Penelitian	37
Tabel 3.3 Bahan-Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian.....	38
Tabel 4.1 Data Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) Sintesis Basa	53
Tabel 4.2 Data Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> Sintesis Basa 24, 48, 72 Jam ..	58
Tabel 4.3 Data Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) Sintesis Basa 48 Jam Dengan Ultrasonik dan Tanpa Ultrasonik	64
Tabel B.1 Data PSA Sintesis Basa 24 Jam	83
Tabel B.2 Data PSA Sintesis Basa 48 Jam (Ultrasonik).....	84
Tabel B.3 Data PSA Sintesis Basa 72 Jam	84
Tabel B.4 Data PSA Sintesis Basa 48 (Tanpa Ultrasonik)	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Profil Endapan Laterit	10
Gambar 2.2 Tahapan Pengolahan Nikel Laterit	11
Gambar 2.3 Pengaruh pH Terhadap Proses Presipitasi Ni	17
Gambar 2.4 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaOH 10%, 20%, 30% dan 40% Terhadap Presipitasi Fe.....	18
Gambar 2.5 Diagram Klasifikasi Metode Sintesis Nanopartikel	20
Gambar 2.6 Pola XRD Nanopartikel Ni Variasi pH	22
Gambar 2.7 Tahapan Preparasi dengan Metode Sol-Gel.....	23
Gambar 2.8 Grafik Diagram Suhu Sintesis Terhadap Diameter Kristal Nanopartikel yang Terbentuk.....	27
Gambar 2.9 Struktur <i>Polyethylene Glycol</i> (PEG)	28
Gambar 2.10 <i>Monosodium Glutamate</i> (MSG)	30
Gambar 2.11 Grafik Hasil XRD Nanopartikel NiO	31
Gambar 2.12 Hasil SEM NiO Nanopartikel (a) Nikel Nitrat Natrium Hidroksida, (b) Nikel Nitrat Asam Sitrat, (c) Nikel Klorida Sodium Hidroksida.....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis Nanopartikel Nikel Metode Sol-Gel	36
Gambar 3.2 Kalsin Terbaik Nikel Laterit dari Hasil Reduksi Selektif	38
Gambar 3.3 Pelindian dengan Reagen <i>Monosodium Glutamate</i> (MSG)	39
Gambar 3.4 Proses Filtrasi Larutan Hasil Pelindian	39
Gambar 3.5 Hasil Presipitasi Fe Menggunakan H ₂ SO ₄	40
Gambar 3.6 Hasil Presipitasi Ni Menggunakan NaOH	41

Gambar 3.7 Sintesis Nanopartikel Nikel Menggunakan Metode Sol-Gel Kondisi a.) Asam, b.) Basa, c.) Netral	42
Gambar 3.8 Alat Karakterisasi SEM-EDS	43
Gambar 3.9 Alat Pengujian PSA Pada Sampel	44
Gambar 4.1 Sampel Nikel Laterit Setelah Preparasi Awal	47
Gambar 4.2 Hasil SEM Nanopartikel Nikel Sintesis Basa 24 Jam	50
Gambar 4.3 EDS dari Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa 24 Jam	51
Gambar 4.4 Hasil Data EDS a) Morfologi Nanopartikel Ni, b) Persebaran Ni, dan c) Persebaran O	52
Gambar 4.5 Grafik PSA dari Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa 24 Jam	53
Gambar 4.6 Hasil SEM Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Optimal a.) 24 Jam, b.) 48 Jam, dan b.) 72 Jam	55
Gambar 4.7 Endapan Ni yang Mengendap Pada Dasar Wadah Saat Proses Sintesis 72 Jam Berlangsung	56
Gambar 4.8 EDS Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa a.) 24 Jam, b.) 48 Jam, c.) 72 Jam	57
Gambar 4.9 Grafik PSA dari Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa a.) 24 Jam, b.) 48 Jam, c.) 72 Jam	59
Gambar 4.10 Hasil SEM yang Menunjukkan Morfologi dan Ukuran Partikel Nanopartikel Ni Sintesis Kondisi Basa 48 Jam a.) Dengan Ultrasonik, b.) Tanpa Ultrasonik	61
Gambar 4.11 EDS dari Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa 48 Jam a.) Dengan Ultrasonik, b.) Tanpa Ultrasonik	62
Gambar 4.12 Grafik PSA dari Nanopartikel Nikel Sintesis Kondisi Basa 48 Jam a.) Dengan Ultrasonik, b.) Tanpa Ultrasonik	65
Gambar B.1 Hasil SEM Sintesis Kondisi Basa Selama 24 Jam	81
Gambar B.2 Hasil SEM Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Ultrasonik)	81
Gambar B.3 Hasil SEM Sintesis Kondisi Basa Selama 72 Jam	81

Gambar B.4 Hasil SEM Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Tanpa Ultrasonik)	82
Gambar B.5 Hasil EDS Sintesis Kondisi Basa Selama 24 Jam	82
Gambar B.6 Hasil EDS Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Ultrasonik).....	82
Gambar B.7 Hasil EDS Sintesis Kondisi Basa Selama 72 Jam	83
Gambar B.8 Hasil EDS Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Tanpa Ultrasonik)	83
Gambar B.9 Grafik PSA Sintesis Kondisi Basa Selama 24 Jam	84
Gambar B.10 Grafik PSA Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Ultrasonik)	85
Gambar B.11 Grafik PSA Sintesis Kondisi Basa Selama 72 Jam	85
Gambar B.12 Grafik PSA Sintesis Kondisi Basa Selama 48 Jam (Tanpa Ultrasonik).....	85
Gambar C.1 Batang Pengaduk	87
Gambar C.2 <i>Beaker</i> 50 ml dan 250 ml	87
Gambar C.3 Botol <i>Centrifuge</i>	88
Gambar C.4 <i>Bulb</i>	88
Gambar C.5 Corong	89
Gambar C.6 Mesin <i>Centrifuge</i>	89
Gambar C.7 <i>Erlenmeyer</i> 250 ml	90
Gambar C.8 Gelas Ukur 100 ml	90
Gambar C.9 <i>Hotplate</i>	91
Gambar C.10 Kertas pH meter	91
Gambar C.11 Kertas Saring	92
Gambar C.12 Labu Ukur	92
Gambar C.13 <i>Magnetic Stirrer</i>	93

Gambar C.14 Mesin SEM-EDS	93
Gambar C.15 Mesin PSA	94
Gambar C.16 Neraca Digital	94
Gambar C.17 <i>Oven</i>	95
Gambar C.18 Plastik <i>Wrap</i>	95
Gambar C.19 Plastik Sampel	96
Gambar C.20 Pipet Tetes	96
Gambar C.21 Pipet Ukur	97
Gambar C.22 Sarung Tangan <i>Latex</i>	97
Gambar C.23 Sarung Tangan <i>Oven</i>	98
Gambar C.24 <i>Aquadest</i>	98
Gambar C.25 Asam Sitrat Monohidrat	99
Gambar C.26 Asam Sulfat	99
Gambar C.27 <i>Etanol</i>	100
Gambar C.28 Hidrogen Peroksida	100
Gambar C.29 <i>Monosodium Glutamate</i>	101
Gambar C.30 Natrium Hidroksida	101
Gambar C.31 Nikel Laterit Kalsin Terbaik	102
Gambar C.32 <i>Polyethylene Glycol</i>	102
Gambar C.33 Triton X-100	103

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan salah satu bidang utama penyangga kemajuan teknologi di Era Revolusi Industri 4.0. Meskipun nanoteknologi masih tergolong bidang baru di Indonesia, akan tetapi nanoteknologi ini mulai berkembang ke arah yang positif, karena pengembangannya memberikan kontribusi yang sangat besar seperti dalam bidang energi, lingkungan, medis, sensor, dan elektronik, sehingga potensinya cukup menjanjikan dan area risetnya pun cukup luas (Fidiani, E., 2021). Nanoteknologi adalah suatu proses rekayasa bahan atau proses manipulasi suatu obyek yang sudah ada, berawal dari yang tidak memiliki nilai atau manfaat, menjadi obyek baru berukuran nano yang sangat bernilai dan memiliki harga jual tinggi dengan karakter khusus sesuai dengan kebutuhan (Jumini, Sri, 2017).

Sintesis merupakan salah satu pengaplikasian yang penting dari bidang nanoteknologi. Proses sintesis nanoteknologi melibatkan pembuatan material pada skala nanometer dari bahan-bahan kimia, fisika, dan makhluk hidup. Teknik sintesis nanoteknologi yang umum dibagi menjadi dua, yaitu *top-down* dan *bottom-up*, yang terdiri dari: sintesis kimia, fisika, dan biologi (Harish, V., 2022). Sintesis kimia adalah pembentukan material pada skala nanometer melalui proses kimia, yaitu dengan mereaksikan molekul atau senyawa kimia. Beberapa metode sintesis kimia, antara lain: *Chemical Vapor Deposition* (CVD), sol-gel, dan hidrotermal (Trisnayanti, N. P., 2020).

Sintesis fisika adalah pembentukan material pada skala nanometer melalui proses fisika seperti deposisi atau pengurangan ukuran. Beberapa metode sintesis fisika, antara lain: *nanolithografi*, *sputtering*, dan penggilingan mekanis (Trisnayanti, N. P., 2020). Sedangkan, sintesis biologi atau biosintesis adalah pembentukan material skala nanometer dengan melibatkan makhluk hidup seperti bakteri, jamur, alga, dan tumbuhan untuk menghasilkan produk akhir yang bermanfaat seperti obat-obatan, bahan bakar, dan material nanoteknologi (Sheldon, R. A., dan John, M. W., 2017).

Akhir-akhir ini, nikel oksida (NiO) nanopartikel telah mendapatkan banyak perhatian lebih karena memiliki sifat kimia, magnetik, dan fisik yang unik sehingga dapat diaplikasikan di berbagai bidang nanoteknologi seperti tinta untuk pencetakan nanotube, sensor, elektroda, baterai, katalis, dan semikonduktor. NiO nanopartikel memiliki sifat optik yang berbeda dibandingkan dengan NiO makro atau mikro. Warna NiO nanopartikel cenderung lebih cerah dan transparan karena adanya efek kuantum (Hong, S., *et al*, 2021). Nikel oksida nanopartikel memiliki potensi yang besar sebagai katalis dalam reaksi, kemudian aditif propelan dan sintering dalam plastik, pelapis, serta serat. Nikel mudah didapatkan pada kerak bumi, maka Ni ini lebih hemat biaya daripada kebanyakan logam yang digunakan sebagai katalis. Selain itu, Ni memiliki konduktivitas listrik yang baik (Hill, K. *et al*, 2019) dan bermanfaat sebagai nanofluida dalam kemurnian yang sangat tinggi, dapat dipasifkan, dilapisi, serta didistribusikan (Deen, J. *et al*, 2020).

Penelitian ini menggunakan metode sol-gel untuk mengolah NiO nanopartikel, sebab mudah dilakukan dan menghasilkan produk dengan

kemurnian dan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan metode kimia lain, yaitu *chemical vapour deposition* (CVD) dan hidrotermal. Metode sol-gel ini merupakan metode sintesis kimia (*wet chemical method*) dalam struktur nano yang dilakukan dengan cara prekursor alkoksida logam dilarutkan dalam air atau alkohol dan diubah menjadi gel dengan pemanasan dan pengadukan, selanjutnya gel tersebut dikeringkan menggunakan *oven*. Metode sol-gel ini juga dipilih dikarenakan hemat biaya dan memiliki kontrol yang baik terhadap komposisi kimia produk pada suhu rendah, serta tidak memerlukan energi yang tinggi (Elma, M., 2018).

Pada penelitian ini digunakan sampel NiO yang berasal dari Sulawesi Tenggara, Kabupaten Konawe yang telah di ekstraksi dengan metode modifikasi proses caron berupa larutan hasil presipitasi Fe, Co, Ni. Pada penelitian ini akan dibahas proses sintesis nanopartikel nikel oksida (NiO) dari larutan hasil presipitasi Fe, Co, Ni dengan menggunakan metode sol-gel kemudian mengamati pengaruh variasi kondisi (asam, basa, dan netral), waktu dan pengaruh sonikasi pada proses sintesis tersebut.

Variasi dari tiga kondisi, yaitu: asam, basa, dan netral memiliki pengaruh pada ukuran, stabilitas, dan sifat material yang dihasilkan. Pada kondisi asam, berpengaruh pada kecepatan reaksi dan stabilitas koloid. pH yang rendah (asam) dapat mempercepat reaksi dan membantu pembentukan partikel yang lebih kecil, namun dapat menyebabkan destabilisasi koloid dan aglomerasi partikel. Sebaliknya, pH yang tinggi (basa) dapat membuat partikel lebih besar dan memperbaiki stabilitas koloid, tetapi proses sintesis dapat menjadi lebih lambat.

Pada kondisi netral, berpengaruh pada stabilitas dan ukuran partikel. pH netral dapat membentuk partikel yang lebih kecil dan lebih stabil, tetapi reaksi dapat memakan waktu lebih lama (Veselov, G. B. *et al.*, 2022). Akan tetapi, sifat dari sampel juga dipertimbangkan, apabila sampel awal bersifat asam atau basa, hal tersebut berpengaruh juga pada pemilihan kondisi yang optimal dalam sintesis penelitian kali ini.

Variasi waktu pada saat proses *stirring* berpengaruh pada hasil sintesis. Pada umumnya, waktu *stirring* yang lebih lama dapat meningkatkan homogenitas dan kelarutan bahan dalam larutan. Selain itu, partikel-partikel bahan akan lebih baik terdispersi di dalam larutan, sehingga reaksi kimia dapat terjadi dengan lebih efektif. Hal ini dapat menghasilkan gel yang lebih padat, homogen, dan memiliki sifat fisika-kimia yang lebih baik. Namun, waktu *stirring* yang terlalu lama juga dapat menyebabkan partikel-partikel bahan mengendap pada dasar wadah, yang mengurangi efektivitas reaksi kimia dan menghasilkan gel yang tidak homogen. Selain itu, waktu *stirring* yang terlalu lama juga dapat mempercepat proses aglomerasi partikel dan menyebabkan terbentuknya partikel yang lebih besar, sehingga mengurangi luas permukaan spesifik gel (Ningrum, Y. P., 2018).

Setelah proses sintesis biasanya dilanjutkan dengan tahapan sonikasi. Proses sonikasi merupakan proses perlakuan gelombang ultrasonik dari generator listrik yang diubah menjadi getaran fisik sehingga memiliki efek kavitasi pada larutan yang menyebabkan pecahnya molekul-molekul larutan untuk mempercepat jalannya reaksi agar didapatkan ukuran nanopartikel yang sesuai. Metode sonikasi ini memiliki keunggulan, yaitu menghasilkan ukuran partikel

sangat kecil dan mencegah terjadinya *creaming* atau sedimentasi selama masa penyimpanan (Rusdiana, I. A. *et al*, 2018).

1.2 Identifikasi Masalah

Akhir-akhir ini nanoteknologi dikenal di kalangan industri, dikarenakan menjadi bidang utama penyangga kemajuan teknologi di Era Revolusi Industri 4.0. Sintesis merupakan salah satu pengaplikasian yang penting dari bidang nanoteknologi. Nanopartikel nikel oksida (NiO) telah mendapatkan banyak perhatian lebih untuk dilakukan proses sintesis, karena memiliki sifat kimia, magnetik, dan fisik yang unik sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai bidang nanoteknologi seperti tinta untuk pencetakan *nanotube*, sensor, elektroda, baterai, katalis, dan semikonduktor. Untuk membuat nanopartikel nikel dengan hasil yang baik, maka diperlukan metode sol-gel yang dianggap merupakan metode yang paling tepat dan banyak digunakan dalam proses sintesis. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses sintesis nanopartikel nikel dari larutan hasil presipitasi besi, kobalt, nikel dengan metode sol-gel kemudian melihat manakah parameter yang paling optimal berdasarkan variasi kondisi, yaitu asam, basa, dan netral, lalu dari variasi waktu, yaitu 24, 48, dan 72 jam, serta variasi sonikasi, yaitu dengan ultrasonik dan tanpa ultrasonik untuk digunakan dalam metode sol-gel ini.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh variasi kondisi (asam, basa, dan netral) pada proses sintesis nanopartikel nikel oksida menggunakan metode sol-

gel.

2. Mengetahui pengaruh variasi waktu dan sonikasi pada proses sintesis nanopartikel nikel oksida menggunakan metode sol-gel.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini meliputi:

1. Sampel bijih laterit (nikel oksida) berasal dari Sulawesi Tenggara, tepatnya di Kabupaten Konawe yang merupakan kalsin terbaik dari reduksi selektif. Nikel oksida yang digunakan dalam proses sintesis ini berupa larutan presipitasi besi, kobalt, nikel.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrometalurgi di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
3. Penelitian dimulai dari proses pelindian basa pH 9 menggunakan *monosodium glutamate* (MSG) sebagai *agent* pelindian dengan penambahan NaOH 10 M dan hidrogen peroksida (H₂O₂) 1% sebagai oksidator dengan variabel yaitu:
 - a. Rasio *solid : liquid* (1 : 8) g/ml
 - b. Temperatur pelindian basa (NaOH) : 60°C
 - c. Waktu pelindian basa (NaOH) : 2 jam
 - d. Kecepatan pengadukan : 250 rpm
4. Proses sintesis nanopartikel nikel dilakukan menggunakan metode sol-gel, dengan NaOH sebagai agen pengendap Ni (*precipitation agent*), *polyethylene glycol* dan triton sebagai agen surfaktan, etanol sebagai

agen pembentuk (*solvent*) dan asam sitrat sebagai agen pengatur pH.

Berikut variabel yang digunakan:

- a. Perbandingan PEG : Etanol : Triton, yaitu (1 : 1 : 0,1) ml
 - b. Temperatur sintesis : 80°C
 - c. Kecepatan pengadukan : 250 rpm
 - d. Waktu ultrasonik : 3 jam
 - e. Suhu ultrasonik : 60°C
 - f. Variasi kondisi : asam, basa, dan netral (Optimasi I)
 - g. Variasi waktu *stirring* : 24, 48, 72 jam (Optimasi II)
 - h. Variasi sonikasi : penambahan perlakuan ultrasonik dan tanpa penambahan perlakuan ultrasonik (Optimasi III)
5. Karakterisasi sampel menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan standar ASTM 2809-13 dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan sampel dengan perbesaran 200.000 kali dari produk hasil sintesis nanopartikel nikel dengan menggunakan metode sol-gel. Sedangkan, karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA) dengan standar CA 94538 USA dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel NiO nanopartikel secara keseluruhan di dalam sampel.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal skripsi ini, terdiri dari lima bab. Bab I terdapat pendahuluan penelitian yang terdiri dari latar belakang sintesis nanopartikel nikel dengan metode sol-gel, identifikasi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II terdapat tinjauan pustaka yang

merupakan penjelasan teori mulai dari yang umum hingga khusus yang berkaitan dengan proses sintesis nanopartikel nikel dengan menggunakan metode sol-gel, yaitu penjelasan nikel laterit konawe (sampel awal), proses presipitasi nikel, metode yang digunakan dalam sintesis nanopartikel, metode sol-gel, *Polyethylene Glycol* (PEG), Triton X-100, *Monosodium Glutamate* (MSG), pengaruh pH dan waktu pada metode sol-gel, dan pengaruh perlakuan ultrasonik terhadap hasil sintesis. Bab III terdapat metodologi penelitian yang terdiri dari diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan saat penelitian, serta prosedur penelitian. Bab IV terdapat hasil dan pembahasan yang disajikan dalam bentuk paragraf yang disertai dengan data tabel dan gambar sesuai hasil yang didapatkan. Pada Bab V terdapat kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah selesai dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamo, Giorgia, et al. (2017) *Functionalization Of Nanoparticles In Specific Targeting And Mechanism Release*. Italy: Elsevier.
- Akinsunmade, Ola (2022) 'Solid Liquid Extraction (Leaching)', *The Engineer's Perspective*. Available at: <https://www.theengineersperspectives.com/solid-liquid-extractions/>.
- Amanda, R. F. (2020) *Studi Karakteristik Mineralogi Dan Geokimia Endapan Bijih Nikel Laterit Sebagai Implikasi Dalam Pengolahan*. Universitas Hasanuddin.
- Andries, H. V. (2015) *Influence of polyethylene glycol inclusion on growth performance and serum biochemistry of growing pigs fed on Acacia tortilis leaf meal*. University of KwaZulu-Natal.
- Anugraini, A. et al. (2018) 'Pengaruh Waktu Sonikasi Terhadap Karakteristik Selulosa Asetat Hasil Sintesis Dari Sabut Pinang', *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), pp. 18-26.
- Bahfie, F. et al. (2021) 'Tinjauan Teknologi Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit: Review on Technology of Nickel Laterite Extraction'. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3), pp. 135-152.
- Bahfie, F. (2023) *Pemurnian Nikel dari Laterit dengan Metode Piro-Hidrometalurgi Menjadi Nikel Nanopartikel*. Universitas Indonesia.
- Bokov, D., et al. (2021) 'Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application', *Advances in Materials Science and Engineering*, 21 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/5102014>.
- Boudiaf, M., et al. (2021) 'Green Synthesis Of Nio Nanoparticles Using Nigella Sativa Extract And Their Enhanced Electro-Catalytic Activity For The 4-Nitrophenol Degradation', *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2021.110020>.

- Dahman, Y., *et al.* (2017) 'Nanopolymers', *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-51256-5.00006-X121>.
- Deen, J. *et al.* (2020) 'Advanced Functional Nanoparticles Technology: From Synthesis to Applications', *Nanotechnology Reviews*. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0109>.
- Elma, M. (2018) *Proses Sol-Gel: Analisis, Fundamental Dan Aplikasi*. Penerbit: Universitas Lambung Mangkurat.
- Fajaroh, F. (2018) 'Sintesis Nanopartikel dengan Prinsip Kimia Hijau', *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya (SNKP)*. Malang.
- Famia, A. M., dan Muldarisnur. (2019) 'Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida', *Jurnal Fisika*, 8(2).
- Fan, Xiangxiang, *et al.* (2013) 'Factors Research on The Influence of Leaching Rate of Nickel and Cobalt from Waste Superalloys with Sulfuric Acid', *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, 2, pp. 63-67. <http://dx.doi.org/10.4236/ijnm.2013.22008>.
- Faradis, R. (2017) *Sintesis dan Karakterisasi Material Fotokatalis Seng Oksida (ZnO) menggunakan Metode Sonikasi untuk Degradasi Metilen Biru*. Universitas Islam Negeri Malang.
- Fidiani, E. (2021) *Mengenal Lebih Dekat Dunia Nano Di Era Nano Teknologi*. Riset dan Abdimas. Available at: <https://unpar.ac.id/mengenal-lebih-dekat-dunia-nano-di-era-nano-teknologi/>.
- Firnando, H.G., dan Astuti. (2015) 'Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel dan Kristalinitas Nanopartikel Fe₃O₄', *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), pp. 1-5.
- Funakoshi, K., *et al.* (2016) 'Continuous Precipitation of Nickel Hydroxide by Addition of Ammonium Ions', *Crystal Growth Design*. ACS Publications.

<http://dx.doi.org/10.1021/acs.cgd.5b00950>.

Harish, V. *et al.* (2022) 'Nanoparticle and Nanostructure Synthesis and Controlled Growth Methods', *Nanomaterials*, 12, 3226. <https://doi.org/10.3390/nano12183226>.

Hasria, *et al.* (2021) 'Profil Endapan Nikel Laterit di Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara', *Promine*, 9(1), pp. 13-22.

Hill, K. *et al.* (2019) 'Protein-Engineered Nanoscale Micelles for Dynamic 19F Magnetic Resonance and Therapeutic Drug Delivery', *ACS Publications*, 13(3), pp. 2969-2985.

Hong, S. *et al.* (2021) 'Characterization of Nickel Oxide Nanoparticles Synthesized Under Low Temperature', *Micromachines*, 12, 1168. <https://doi.org/10.3390/mi12101168>.

Hu, Xiujuan, *et al.* (2022) 'Ammonia Leaching Process for Selective Extraction of Nickel and Cobalt from Polymetallic Mixed Hydroxide Precipitate', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108936>.

Ilyas, S., *et al.* (2019) 'Extraction of Nickel and Cobalt from A Laterite Ore Using The Carbothermic Reduction Roasting-Ammonical Leaching Process', *Journal Pre-proofs*. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115971>.

Jannah, R. R., dan Amaria. (2020) 'Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Pereduksi Asam Amino Sebagai Deteksi Ion Logam Berat', *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*. Universitas Negeri Surabaya.

Jumini, Sri. (2017) 'Nanoteknologi Manivestasi Nanosciences', *Jurnal PPKM II*, pp. 199-206.

Kyle, J. (2010) 'Nickel Laterite Processing Technologies–Where to Next? In: ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference', *ResearchGate*. Perth, Western Australia. Available at: <http://researchrepository.murdoch.edu.au/>.

- Li, Zoushuang, *et al.* (2022) "Acombined Multiscale Modeling and Experimental Study On Surface Modification of High-Volume Micro-Nanoparticles With Atomic Accuracy", *International Journal of Extreme Manufacturing*, 4. <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ac529c>.
- Liza, Yulia M. *et al.* (2018) "SOL-GEL: PRINCIPLE AND TECHNIQUE", *A Review INA-Rxiv Papers*. Available at: <https://doi.org/10.31227/osf.io/2cuh8>.
- Löliger, J. (2000) 'Function and Importance of Glutamate for Savory Foods', *The Journal of nutrition*, 130(4), pp.915S-920S.
- Luo, Wei, *et al.* (2010) 'Kinetics of Saprolitic Laterite Leaching by Sulphuric Acid at Atmospheric Pressure', *Mineral Engineering*, 23, pp. 458-462.
- Mahdavi, R., dan Ashraf Talesh. (2017) "The Effect of Ultrasonic Irradiation on The Structure, Morphology and Photocatalytic Performance of ZnO Nanoparticles by Sol-Gel Method". *Ultrasonics Sonochemistry*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.05.012>
- Mateos, D., *et al.* (2019) "Synthesis of High Purity Nickel Oxide by A Modified Sol-Gel Method", *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.005>.
- Maulana, D. S. (2020) *Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida*. Universitas Airlangga.
- Mirjailili, F., *et al.* (2011) "Effect of Stirring Time on Synthesis of Ultra Fine α -Al₂O₃ Powder by A Simple Sol-Gel Method", *Journal of Ceramic Processing Research*, vol. 12(6), pp. 738-741.
- Merck, KGaA. (2023) 'Triton X-100 Properties and Description', *Sigma Aldrich*. Available at: <https://www.sigmaaldrich.com/ID/en/product/sial/x100>.
- Muflihatun, *et al.* (2015) 'Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Kopersipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya', *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55).

- Ndlovu, S., dan G. Simate (2007) 'The Leaching of Nickel Laterite Ore Using Acidic Media and Ferric Ions', *Ouro Preto-MG*.
- Neppolian, B., *et al.* (2007) ' Ultrasonic-Assisted Sol-Gel Method of Preparation of TiO₂ Nanoparticles: Characterization, Properties and 4-chlorophenol Removal Application', *Ultrasonic Sonochemistry*, 15, pp. 649-658.
- Ningrum, Y. P. (2018) *Sintesis dan Karakteristik Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Limbah Geothermal Sebagai Fluorescent Fingerprint Powder*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ninh Pham, A., *et al.* (2006) 'Kinetics of Fe(III) Precipitation in Aqueous Solutions at pH 6.0-9.5 and 25°C', *Geochimica Elsevier*. doi:10.1016/j.gca.2005.10.018.
- Ningsih. (2016) *Buku Sintesis Anorganik*. Penerbit: UNP Press Padang.
- Oktaviani, D. T., *et al.* (2015) 'Sintesis Nano Ag dengan Metode Reduksi Kimia', *Jurnal Sains dan Teknologi*, 13(2).
- Patra, J. K., *et al.* (2014) 'Green Nanobiotechnology: Factors Affecting Synthesis and Characterization Techniques', *Journal of Nanomaterials*, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/417305>.
- Perdana, F. A. (2010) *Sintesis Dan Karakterisasi Partikel Nano Fe₃O₄ Dengan Template PEG-1000*. Surabaya: FMIPA, ITS.
- Pine, S. (1988) *Kimia Organik*. Edisi keempat. Bandung: Penerbit ITB.
- Pooyandeh, S., Shahidi, S., Khajehnezhad, A., Ghoranneviss, Z. (2020) 'Synthesizing and Deposition of Nickel Oxide Nanoparticles On Glass Mat Using Sol-gel Method (Morphological and Magnetic Properties)', *The Journal of The Textile Institute*, 112(6), pp. 887-895.
- Prasetyo, E., *et al.* (2020) Monosodium Glutamate as Selective Lixiviant for Alkaline Leaching of Zinc and Copper from Electric Arc Furnace Dust",

Metals, 10, 644. <http://dx.doi.org/10.3390/met10050644>.

Purnomo, S. R., *et al.* (2017) 'studi Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Metode Biologi Menggunakan Tanaman Sambiloto (*Andrographis Paniculata* Ness)', *Buletin Fisika*, 18(1), pp. 6-11.

Puyol, D., *et al.* (2017) 'Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects', *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>.

Rafique, M., *et al.* (2019) 'Laser Ablation Synthesis of Silver Nanoparticles in Water and Dependence on Laser Nature', *Opt Quant Electron, Springer*, 51, 179. <https://doi.org/10.1007/s11082-019-1902-0>.

Ramesh, dan Vishnu K. (2006) 'Synthesis of nickel hydroxide: Effect of precipitation conditions on phase selectivity and structural disorder', *Journal of Power Sources*, 156, pp. 655-661. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.05.050.

Revangga, David. (2020) *Sintesis dan Karakterisasi Material Magnetik Nickel Oxide (NiO) Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Waktu Stirring*. Diploma Thesis, Universitas Negeri Malang.

Rusdiana, I. A. *et al.* (2018) 'Pengaruh Sonikasi Terhadap Sifat Fisik Formula Herbisida yang Ditambahkan Surfaktan Dietanolamida', *Agroradix*, 1(2), 34–41.

Schubert, U. (2015) *The Sol-Gel Handbook: Characterization, and Applications*. First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Schwinefus, J., *et al.* (2015) 'Molar Mass and Second Virial Coefficient of Polyethylene Glycol by Vapor Pressure Osmometry', *Journal of Chemical Education*. <http://pubs.acs.org/>.

Shamim, A., *et al.* (2019) 'Synthesis of Nickel Nanoparticles by Sol-gel Method and their Characterization', *Open Journal of Chemistry*, 2(1), pp. 16-20.

- Sheldon, R. A., dan John, M. W. (2017) 'Role of Biocatalysis in Sustainable Chemistry', *Chemical Reviews ACS Publications*. DOI:10.1021/acs.chemrev.7b00203.
- Subagja, D. (2017) *Sintesis Dan Karakterisasi Ni-Tio2 Dan Nio-Tio2 Dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Dan Aktivitasnya Dalam Degradasi Metilen Biru*. Universitas Negeri Semarang.
- Trisnayanti, N. P. (2020) *Synthesis Nanoparticles Method*. University of Indonesia.
- Veselov, G. B. *et al.* (2022) 'Preparation of The Nanostructured Ni-Mg-O Oxide System by a Sol-Gel Technique at Varied pH', *Nanomaterials*, 12, 952. <https://doi.org/10.3390/nano12060952>.
- Wahab, *et al.* (2022) 'Presipitasi Besi Dari Larutan Hasil Pelindian Bijih Nikel Laterit', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 18(3), pp. 167-175. Doi: 10.30556/jtmb.Vol18.No3.2022.1176.
- Wanta, K. C., *et al.* (2019) 'Pengaruh Derajat Keasaman (pH) dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak Spent Catalyst', *Jurnal Rekayasa Proses*. 13(2), pp. 94-105. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.31163>.
- Yoga, J. P. C. (2022) 'Proses Hidrometalurgi Ekstraksi Nikel Menggunakan Bijih Laterit untuk Memproduksi MHP', *ResearchGate*. Yogyakarta.
- Yuniarti, Y. (2015) *Pemurnian Pasir Silika Dengan Metode Sonikasi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Yuniarti, E., *et al.* (2013) 'Pengaruh pH, Suhu dan Waktu pada Sintesis LiFePO₄/C dengan Metode Sol-Gel Sebagai Material Katoda untuk Baterai Sekunder Lithium', *Berkala MIPA*, 23(3).
- Zaidan, M., Wahyu, G. (2021) 'Kajian Bahan Baku Mineral Nikel Untuk Baterai Listrik Di Daerah Sulawesi Tenggara', *Jurnal Rekayasa Pertambangan (JRP)*, 1(1).

Zhang, P., *et al.* (2015) 'Precipitation of α -Fe₂O₃ and Recovery of Ni and Co from Synthetic Laterite-Leaching Solutions', *Hydrometallurgy*, 153, pp. 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.01.011>

Zorkipli, N. N., *et al.* (2016) "Synthesis of NiO Nanoparticles Through Sol-gel Method", *Procedia Chemistry*, 19(2016), pp. 626-631.