

**PENGARUH VOLUME APTES PADA
FUNGSIONALISASI *MESOPOROUS SILICA*
NANOPARTICLES DARI
LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL* TERHADAP
DRUG LOADING KURKUMIN**

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh :

**Angela Margaretha
(6141901018)**

Pembimbing :

**Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.
Anastasia Prima Kristijarti, S.Si., M.T.**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Angela Margaretha

NPM : 6141901018

Judul :

**PENGARUH VOLUME APTES PADA FUNGSIONALISASI *MESOPOROUS*
SILICA NANOPARTICLES DARI LIMBAH SLUDGE *GEOTHERMAL* TERHADAP
DRUG LOADING KURKUMIN**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 14 Februari 2023

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.

Anastasia Prima Kristijarti, S.Si., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

LEMBAR REVISI

Nama : Angela Margaretha
NPM : 6141901018
Judul :

**PENGARUH VOLUME APTES PADA FUNGSIONALISASI *MESOPOROUS*
SILICA NANOPARTICLES DARI LIMBAH SLUDGE *GEOTHERMAL* TERHADAP
DRUG LOADING KURKUMIN**

CATATAN :

1. Perbaiki logo Unpar pada halaman judul.
2. Revisi Abstrak, kaitan abstrak dengan isi penelitian - misalnya peralatan digunakan untuk karakterisasi.
3. Revisi Bab 4 dituliskan di Laporan Penelitian, yang dikembalikan ke mahasiswa.

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 14 Februari 2023

Penguji 1

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng.

Penguji 2

Ir. Tony Handoko, S.T., M.T.



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Angela Margaretha

NPM : 6141901018

Dengan ini, menyatakan bahwa proposal penelitian dengan judul :

**PENGARUH VOLUME APTES PADA FUNGSIONALISASI *MESOPOROUS*
SILICA NANOPARTICLES DARI LIMBAH SLUDGE *GEOTHERMAL* TERHADAP
DRUG LOADING KURKUMIN**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 14 Februari 2022



Angela Margaretha

(6141901018)

INTISARI

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber energi panas bumi dengan perkiraan menyimpan hingga 40% cadangan panas bumi dunia. Sebagai upaya pemanfaatannya, energi panas bumi atau energi *geothermal* ini banyak dieksplorasi dan dieksploitasi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Listrik dari *geothermal* mendukung kebijakan pemerintah dalam upaya pengelolaan energi nasional dikarenakan energi *geothermal* merupakan sumber daya alam terbarukan. Namun dalam proses eksplorasi dan eksploitasinya, PLTP dari energi *geothermal* juga menghasilkan limbah yang berdampak negatif bagi lingkungan. Salah satu kandungan yang terdapat pada limbah *sludge geothermal* dalam jumlah yang tinggi adalah silika. Silika dari limbah *sludge geothermal* dapat di sintesis menjadi *Mesoporous Silica Nanoparticles* (MSN) melalui metode sol-gel. MSN yang telah dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai *drug delivery system* untuk meningkatkan kelarutan dan bioavailabilitas molekul obat seperti kurkumin. *Drug loading* kurkumin ke dalam MSN melalui berbagai metode, salah satunya adalah *immersion* atau perendaman MSN di dalam larutan kurkumin.

MSN pada penelitian ini telah dibuat melalui metode sol-gel terlebih dahulu. MSN yang telah disintesis ini kemudian akan di kalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam untuk menghilangkan senyawa pengotor yang tidak diinginkan seperti surfaktan. Selanjutnya, MSN yang telah dikalsinasi akan di fungsionalisasi menggunakan larutan APTES untuk memodifikasi gugus fungsi pada MSN khususnya silanol agar dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi kurkumin. Karakterisasi terhadap MSN dan analisis *drug loading* dilakukan menggunakan XRD, XRF, BET, FTIR, PSA dan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui pengaruh MSN terfungsionalisasi terhadap kinerja adsorpsi kurkumin ke MSN.

Karakterisasi yang dilakukan terhadap nanosilika yang telah dikalsinasi berhasil menghilangkan senyawa surfaktan PVP. Nanosilika sebelum dikalsinasi memiliki karakteristik isotherm mesopori dengan terjadinya peningkatan luas permukaan dan volume pori setelah kalsinasi. Analisis PSA menghasilkan data ukuran partikel sebesar 1,165 dan 1,511 nm dengan nilai PI 0,820 dan 0,812. Kemurnian silika setelah dikalsinasi meningkat menjadi 99,103% dari sebelumnya 98,621% dan diketahui berada dalam fasa amorf. Variasi volume APTES untuk fungsionalisasi nanosilika yaitu 3ml, 9ml dan 15ml; dan berdasarkan hasil karakterisasi gugus N-H maka nanosilika yang berhasil terfungsionalisasi adalah variasi 3ml APTES. Diperoleh %*drug loading* dan kapasitas pemuatan kurkumin setelah nanosilika terfungsionalisasi meningkat dibandingkan nanosilika tanpa fungsionalisasi. Model isotherm yang sesuai untuk nanosilika dengan fungsionalisasi adalah model isotherm Temkin sedangkan kinetika adsorpsi yang sesuai adalah mengikuti model pseudo orde 2

Kata kunci : MSN, fungsionalisasi, APTES, kurkumin, *drug loading*

ABSTRACT

Indonesia is a country rich in geothermal energy resources with an estimated store of up to 40% of the world's geothermal reserves. As an effort to utilize it, geothermal energy or geothermal energy is widely explored and exploited for Geothermal Power Plants (PLTP). Geothermal electricity supports government policies in efforts to manage national energy because geothermal energy is a renewable natural resource. However, in the exploration and exploitation process, PLTP from geothermal energy also produces waste that has a negative impact on the environment. One of the ingredients contained in high amounts of geothermal sludge waste is silica. Silica from geothermal sludge waste can be synthesized into Mesoporous Silica Nanoparticles (MSN) via the sol-gel method. The resulting MSN can be used as a drug delivery system to increase the solubility and bioavailability of drug molecules such as curcumin. Drug loading curcumin into MSN through various methods, one of which is immersion or immersion of MSN in curcumin solution.

The MSN in this study was prepared using the sol-gel method first. The synthesized MSN will then be calcined at 600oC for 3 hours to remove unwanted impurities such as surfactants. Furthermore, the calcined MSN will be functionalized using APTES solution to modify the functional groups on MSN, especially silanol in order to increase the adsorption capacity of curcumin. MSN characterization and drug loading analysis were carried out using XRD, XRF, BET, FTIR, PSA and UV-Vis spectrophotometer to determine the effect of functionalized MSN on the adsorption performance of curcumin onto MSN.

The characterization of the calcined nanosilica succeeded in removing the PVP surfactant compound. Nanosilica before calcination has the characteristics of a mesoporous isotherm with an increase in surface area and pore volume after calcination. PSA analysis yielded particle size data of 1.165 and 1.511 nm with PI values of 0.820 and 0.812. The purity of silica after calcination increased to 99.103% from the previous 98.621% and it was known that it was in the amorphous phase. APTES volume variations for nanosilica functionalization were 3 ml, 9 ml and 15 ml; and based on the results of the characterization of the N-H groups, the 3 ml APTES variation was successfully functionalized. The % drug loading and loading capacity of curcumin after functionalized nanosilica were increased compared to non functionalized nanosilica. The isotherm model suitable for nanosilica with functionalization is the Temkin isotherm model while the suitable adsorption kinetics is as follows pseudo orde 2.

Keywords : *MSN, functionalization, APTES, curcumin, drug loading*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas penyertaanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian “Pengaruh Volume APTES Pada Fungsionalisasi *Mesoporous Silica Nanoparticles* dari Limbah Sludge Geothermal Terhadap *Drug Loading* Kurkumin” tepat pada waktunya. Proposal penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu tugas akhir guna mencapai gelar Sarjana Teknik Kimia di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan masukan, saran, kritik, dan dukungan selama proses penyusunan proposal penelitian ini :

1. Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, waktu, saran, dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian.
2. Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, waktu, saran, dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian.
3. Ibu Anastasia Prima Kristijarti, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, waktu, saran, dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan proposal penelitian.
5. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan proposal penelitian ini. Akhir kata, penulis berharap jika proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca dan membutuhkan.

Bandung, Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
INTISARI	x
BAB I_PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah	3
1.4 Premis	3
1.5 Hipotesis	3
1.6 Tujuan Penelitian	4
1.7 Manfaat Penelitian	4
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah <i>Sludge Geothermal</i>	7
2.2 Silika	9
2.2.1 Silika Kristalin	10
2.2.2 Silika Amorf	10
2.3 Nanopartikel	11
2.3.1 Aktivasi Permukaan Partikel	11
2.3.2 Peningkatan Luas Permukaan	12
2.4 Sintesis Nanopartikel	13
2.5 Nanosilika	15
2.5.1 <i>Mesoporous Silica Nanoparticles (MSN)</i>	15
2.6 Metode Sol-Gel	17
2.7 Karakteristik MSN untuk DDS	18
2.8 Fungsionalisasi Permukaan MSN	19

2.9 Kurkumin	21
2.10 <i>Drug Loading</i>	22
2.10.1 <i>Immersion</i>	25
2.10.2 Incipient Wetness Impregnation	25
2.10.3 Solvent Evaporation	26
2.10.4 Diffusion Supported Loading.....	26
2.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi <i>Drug Loading</i>	27
2.11.1 Ukuran MSN	27
2.11.2 Polaritas Pelarut	27
2.11.3 Waktu Kontak dan Pengadukan	28
2.11.4 Konsentrasi dan Ukuran Molekul Adsorbat.....	28
2.12 Karakterisasi MSN dan Analisa <i>Drug Loading</i>	28
2.12.1 Karakterisasi Morfologi dan Ukuran	28
2.12.2 Karakterisasi Kristalinitas	29
2.12.3 Karakterisasi Gugus Fungsi dan <i>Drug Loading</i>	30
2.13 Isoterm Adsorpsi.....	32
2.13.1 Isoterm Freundlich	32
2.13.2 Isoterm Langmuir.....	32
2.13.3 Isoterm Temkin	33
2.14 Kinetika Adsorpsi	34
2.14.1 Pseudo Orde 1	34
2.14.2 Pseudo Orde 2	34
2.14.3 Weber-Morris.....	35
BAB III_ METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1 Gambaran Umum Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Bahan.....	36
3.2.1 Alat	36
3.2.2 Bahan.....	37
3.3 Prosedur Penelitian	37
3.3.1 Prosedur Kalsinasi MSN	38
3.3.2 Proses Fungsionalisasi MSN.....	39
3.3.3 Proses <i>Drug Loading</i>	41
3.4 Analisis <i>Drug Loading</i>	43

3.4.1 Penentuan Gelombang Maksimum	43
3.4.2 Penentuan Kurva Standar	43
3.4.3 Analisis <i>Drug Loading</i>	43
3.5 Variasi Percobaan	43
3.6 Rencana Jadwal Kegiatan Penelitian	44
BAB IV_PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Perlakuan Kalsinasi terhadap Nanosilika	45
4.2 Fungsionalisasi Nanosilika dengan <i>3-aminopropyltriethoxy orthosilane</i> APTES ...	52
4.3 <i>Drug Loading</i> Kurkumin pada Nanosilika	55
4.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	55
4.3.2 Pembuatan Kurva Standar	56
4.3.3 Pengaruh MSN Tanpa dan Terfungsionalisasi terhadap Adsorpsi Kurkumin	56
4.3.4 Analisis FTIR <i>Drug Loading</i>	58
4.3.5 Isoterm Adsorpsi.....	59
BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN A_MATERIAL SAFETY DATA SHEET	50
A.1 Nanosilika (SiO ₂)	50
A.2 Etanol (C ₂ H ₅ OH).....	51
A.3 <i>3-aminopropyltriethoxy orthosilane</i> (APTES) C ₉ H ₂₃ NO ₃ Si	52
A.4 Kurkumin (C ₂₁ H ₂₀ O ₆).....	52
LAMPIRAN B_HASIL ANTARA	74
B.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	74

B.2 Pembuatan Kurva Standar	74
B.3 Kinerja Adsorben pada <i>Drug Loading</i>	75
B.4 Isoterm Adsorpsi	79
B.5 Kinetika Adsorpsi	80
LAMPIRAN C _CONTOH PERHITUNGAN.....	81
C.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	81
C.2 Pembuatan Kurva Standar.....	81
C.3 Perhitungan Efisiensi <i>Drug Loading</i> dan Kapasitas Pemuatan Kurkumin	
C.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi	
C.5 Penentuan Kinetika Adsorpsi	
LAMPIRAN D _GRAFIK.....	85
D.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	85
D.2 Pembuatan Kurva Standar	85
D.3 Kinerja Adsroben pada <i>Drug Loading</i> Kurkumin	86
D.4 Isoterm Adsorpsi.....	86
D.5 Kinetika Adsorpsi	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi koordinasi tetrahedral ion oksigen dan silicon	9
Gambar 2.2	Representasi silika dua dimensi	10
Gambar 2.3	Perubahan Luas Permukaan Spesifik dengan Miniaturisasi Kubus Padat	12
Gambar 2.4	Skema Produksi Nanopartikel.....	13
Gambar 2.5	Morfologi Nanosilika	15
Gambar 2.6	Skema dari berbagai bahan mesopori untuk <i>drug delivery system</i>	16
Gambar 2.7	Skema fungsionalisasi MSN dengan APTES	21
Gambar 2.8	Struktur Kurkumin	22
Gambar 2.9	Skema metode untuk pemuatan obat ke dalam MSN	23
Gambar 2.10	Skema metode DiSupLo	27
Gambar 2.11	Hasil karakterisasi MSN	29
Gambar 2.12	Ilustrasi adsorpsi <i>monolayer</i>	33
Gambar 3.1	Skema proses kalsinasi MSN.....	38
Gambar 3.2	Skema peralatan kalsinasi MSN.....	39
Gambar 3.3	Skema proses fungsionalisasi MSN.....	40
Gambar 3.4	Skema peralatan <i>drug loading</i>	41
Gambar 3.5	Skema proses <i>drug loading</i>	42
Gambar 4.1	Struktur PVP	46
Gambar 4.2	Hasil FTIR karakterisasi nanosilika terkalsinasi.....	46
Gambar 4.3	Molekul air pada permukaan MSN	46
Gambar 4.4	Kurva isotherm sebelum dan setelah kalsinasi.....	48
Gambar 4.5	Kategori kurva isotherm.....	49
Gambar 4.6	Kurva distribusi ukuran partikel nanosilika	50
Gambar 4.7	Hasil XRD nanosilika sebelum dan setelah kalsinasi	51
Gambar 4.8	FTIR fungsionalisasi nanosilika dengan APTES.....	54
Gambar 4.9	Hasil XRD nanosilika terfungsionalisasi APTES	54
Gambar 4.10	Penentuan panjang gelombang maksimum.....	55
Gambar 4.11	Kurva standar larutan kurkumin.....	56
Gambar 4.12	Persentase <i>drug loading</i> kurkumin.....	57
Gambar 4.13	Hasil analisis FTIR <i>drug loading</i>	59

Gambar 4.14 Model isotherm Langmuir.....	61
Gambar 4.15 Model isotherm Freundlich.....	61
Gambar 4.16 Model isotherm Temkin.....	62
Gambar 4.17 Grafik Webber-Morris untuk nanosilika terfungsionalisasi 3ml APTES....	65
Gambar 4.18 Grafik Webber-Morris untuk nanosilika terfungsionalisasi 9ml APTES....	66
Gambar 4.19 Grafik Webber-Morris untuk nanosilika terfungsionalisasi 15ml APTES..	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Premis fungsionalisasi MSN.....	5
Tabel 1.2 Premis <i>drug loading</i> kurkumin.....	6
Tabel 2.1 Komposisi limbah <i>sludge geothermal</i>	8
Tabel 2.2 Ukuran Berbagai Objek	11
Tabel 2.3 Kategori nanopartikel hasil sintesis berbagai metode	14
Tabel 2.4 Karakteristik dari berbagai jenis MSN	17
Tabel 2.5 Perbandingan Metode <i>Drug Loading</i>	24
Tabel 2.6 Daerah serapan inframerah senyawa organik	30
Tabel 2.7 Estimasi panjang gelombang warna pada cahaya tampak	32
Tabel 3.1 Variasi volume APTES, waktu pengadukan, dan perlakuan pencucian.....	44
Tabel 3.2 Rencana jadwal kerja penelitian	44
Tabel 4.1 Hasil karakterisasi BET	48
Tabel 4.2 Hasil karakterisasi PSA	49
Tabel 4.3 Komposisi yang terkandung dalam nanosilika	52
Tabel 4.4 <i>Parenteral component limit</i> (ppm)	52
Tabel 4.5 Kapasitas adsorpsi kurkumin	58
Tabel 4.6 Parameter dan nilai R ² model isotherm Langmuir, Freundlich dan Temkin	62
Tabel 4.7 Parameter dan % <i>error</i> setiap kinetika adsorpsi pada <i>drug loading</i>	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia terletak di salah satu kerangka tektonik paling aktif di dunia yang menjadikan Indonesia sebagai negara kaya dengan energi panas bumi yang tersebar di 285 titik daerah dengan potensi sebesar 29.215 GW (Fandari, 2014). Sumber daya panas bumi atau *geothermal* menurut UU No.27 Tahun 2003 adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan serta gas lainnya yang secara genetic semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu system panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan terlebih dahulu. Selain itu, dilaporkan pula apabila sekitar 40% cadangan energi panas bumi dunia terletak di Indonesia. Karena potensinya yang besar, salah satu upaya untuk pemanfaatan energi panas bumi ini adalah sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB). Untuk pemanfaatannya, perlu dilakukan kegiatan eksplorasi dan eskploitasi yang bertujuan untuk mentransfer energi panas tersebut ke permukaan dalam wujud uap panas, air panas atau campuran uap air dan unsur lainnya.

Kebijakan pembangunan nasional mempunyai tujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui penggunaan sumber daya alam terbarukan. Melalui Perpres No 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, pemerintah telah berupaya Menyusun strategi pengelolaan energi nasional 2006-2025, yang di dalamnya disebutkan bahwa dalam pasokan energi nasional harus dipenuhi 17% energi terbarukan (Fandari, 2014). Namun dalam prosesnya, mulai tahap eksplorasi yaitu pengeboran sumber daya hingga tahapan eksploitasi berupa operasi produksi pembangkit listrik dengan tenaga panas bumi sebagai penggeraknya menghasilkan limbah. Secara umum, limbah yang dihasilkan oleh PLTP tergolong dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang terdiri dari tiga jenis yaitu limbah padat berupa lumpur (*sludge*), limbah cair dan limbah gas. Kandungan dari limbah-limbah ini terdiri dari berbagai senyawa seperti amoniak (NH_3), kalium (K), magnesium (Mg), air raksa (Hg), silika (SiO_2) dan lainnya (Mei dan Sulistyono, 2019).

Kandungan unsur silika pada limbah *geothermal* ditemukan dalam presentase yang tinggi. Salah satu PLTP *Geothermal* di Indonesia adalah PT Geo Dipa Dieng yang masih

menghasilkan silika dalam jumlah yang massif mencapai 165 ton setiap bulan. Kandungan silika yang tinggi dalam limbah *geothermal* dapat dijadikan sebagai bahan dasar sintesis *mesoporous silica nanoparticles* (MSN) yang dapat dimanfaatkan untuk system penghantaran obat (*drug delivery system*) karena mampu meningkatkan kelarutan obat (Trzeciak, dkk., 2021). Sintesis nanopartikel dapat dilakukan melalui 2 pendekatan, yaitu *top-down* dan *bottom-up*. Salah satu metode yang termasuk dalam pendekatan *bottom-up* yang paling umum digunakan adalah sol-gel. Metode ini dikenal karena proses yang sederhana, efisien dan mampu menghasilkan nanopartikel yang seragam. MSN sebagai agen pembawa yang baik digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar, volume pori yang tinggi dan menyediakan jalur untuk difusi molekul obat serta aman untuk dikonsumsi. MSN memiliki 2 permukaan fungsional yang dapat dimodifikasi dengan gugus fungsi yang sesuai untuk meningkatkan pemuatan obat yang bersifat hidrofobik ataupun hidrofilik. MSN yang difungsionalisasikan diharapkan mampu menunjukkan kapasitas adsorpsi molekul obat yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak terfungsionalisasi (Kwon, dkk., 2013).

Kurkumin merupakan senyawa yang terdapat pada tanaman kunyit. Kurkumin merupakan obat alami yang memiliki aktivitas antioksidan, antiseptic dan anti-inflamasi serta memiliki sifat terapeutik yang berpotensi untuk melawan sel kanker. Kurkumin terbatas oleh hidrofobitas dan bioavailabilitas karena tidak larut atau relative stabil dalam air pada pH asam dan netral. Oleh karena itu, nanopartikel silika mesopori dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan bioavailabilitas kurkumin (C. Chen, dkk., 2018)

Proses pemuatan kurkumin ke dalam MSN dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan *immersion* yang termasuk ke dalam metode berbasis pelarut. Metode ini memiliki prinsip dasar terjadinya peristiwa adsorpsi yang terjadi antara kurkumin yang berperan sebagai adsorbat dan MSN yang berperan sebagai adsorben. Adsorpsi kurkumin oleh MSN terjadi akibat interaksi gugus silanol dari MSN yang bertemu dengan gugus COH pada kurkumin (Wijayanti dan Kurniawati, 2019).

Silika yang berasal dari limbah *geothermal* akan disintesis menjadi MSN melalui metode sol-gel. MSN yang telah dihasilkan selanjutnya akan difungsionalisasi terlebih dahulu sebelum di enkapsulasi dengan kurkumin menggunakan metode *immersion*. Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh fungsionalisasi permukaan pada MSN terhadap kapasitas pemuatan kurkumin jika dibandingkan dengan MSN tidak terfungsionalisasi. Adapun variabel pembanding yang akan dilakukan adalah volume larutan APTES dan waktu pengadukan untuk fungsionalisasi permukaan MSN.

1.2 Tema Sentral Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan kandungan silika dari limbah sludge geothermal untuk di sintesis menjadi mesoporous silica nanoparticles (MSN) yang akan digunakan dalam *drug delivery system* (DDS). MSN yang telah disintesis melalui proses sol-gel sebagian akan difungsionalisasi untuk memodifikasi gugus yang terdapat pada permukaan MSN. Modifikasi gugus fungsi ini dilakukan untuk mengoptimalkan kapasitas adsorpsi kurkumin pada MSN. Selanjutnya, MSN yang tidak dan telah terfungsionalisasi akan digunakan untuk drug loading menggunakan kurkumin dengan metode immersion. Melalui penelitian ini, akan diketahui secara kualitatif berdasarkan karakterisasi yang dilakukan untuk mengetahui apakah fungsionalisasi yang dilakukan telah berhasil, selain itu juga diharapkan dapat diketahui apakah terjadi perbedaan yang signifikan antara kapasitas adsorpsi MSN terfungsionalisasi dengan MSN tidak terfungsionalisasi.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah tersebut, maka terdapat beberapa masalah yang diidentifikasi dalam penelitian ini :

1. Bagaimana pengaruh volume APTES terhadap MSN terfungsionalisasi yang dihasilkan terhadap *drug loading* kurkumin?

1.4 Premis

Hasil penelitian yang telah dilakukan terdahulu dan berdasarkan literatur dapat dijadikan dasar pemilihan variasi dan kondisi proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Hasil perolehan tersebut terkait kondisi proses fungsionalisasi dan metode *drug loading* disajikan dalam **Tabel 1.1** dan **Tabel 1.2**.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan maka dihasilkan beberapa hipotesis pada penelitian ini :

1. Semakin banyak APTES yang digunakan maka gugus termodifikasi akan semakin merata pada permukaan MSN sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi kurkumin

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mempelajari proses fungsionalisasi MSN dan proses *drug loading* kurkumin. Tujuan khusus dari penelitian ini :

1. Mengetahui struktur pada permukaan MSN setelah dilakukan fungsionalisasi.

2. Mengetahui pengaruh variasi volume APTES yang ditambahkan terhadap struktur MSN terfungsionalisasi
3. Mengetahui pengaruh MSN terfungsionalisasi dan tidak terhadap kapasitas adsorpsi kurkumin.

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini untuk berbagai pihak antara lain :

1. Bagi Pemerintah

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi evaluasi dan perbaikan bagi peraturan-peraturan yang mendukung pemanfaatan energi *geothermal* sebagai solusi energi alternatif untuk pembangkit listrik beserta dengan permasalahan pengolahan limbah *sludge geothermal* yang dapat dikelola dan dimanfaatkan menjadi produk bernilai guna tinggi salah satunya untuk aplikasi *drug delivery system*.

2. Bagi Industri

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan perkembangan dunia industry dalam kemajuan pemanfaatan nanosilika sebagai *drug delivery system*.

3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu pengetahuan dan wawasan baru dalam manfaat limbah *sludge geothermal*.

4. Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat memberi pengetahuan tentang perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan untuk berbagai aplikasi nanosilika khususnya dalam pemanfaatannya sebagai *drug delivery system*.

Tabel 1.1 Premis fungsionalisasi MSN

Sumber	Larutan Gugus Fungsi	Jenis Obat	Tipe MSN	Pelarut	Massa MSN	Volume APTES	Proses Fungsionalisasi				
							Waktu Pengadukan	Suhu operasi	Pencucian	Suhu pengeringan	Waktu pengeringan
(Bolouki., 2015)	APTES (3-aminopropyltriethoxysilane)	Curcumin		Toluen (100 ml)	1	1 ml	20 jam	RT	Etanol	100°C	12 jam
(Swiderska-Sroda., 2016)	APTES (3-aminopropyltriethoxysilane)	Curcumin		Toluen (100 ml)	1 g	1.5 ml	24 jam	RT	Etanol	50°C	12 jam
(Jambhrunkar., 2014)	APTES (3-aminopropyltriethoxysilane)			Metanol (25 ml)	0.4 g	1.5 ml	24 jam	RT	Metanol	50°C	24 jam
(Chen., 2014)	APTES (3-aminopropyltriethoxysilane)	Curcumin		Etanol (100 ml)	1 g	2 ml	24 jam	80°C			
(Kotcherlakota., 2016)	APTES (3-aminopropyltriethoxysilane)	Curcumin	KIT - 6 MSU -2 MC M-41	Toluen (100 ml)	5 g	5.8 ml	48 jam	100°C	Toluene, ethanol, methanol, ethyl ether	RT	24 jam

Tabel 1.2 Premis *drug loading* kurkumin

Sumber	Tipe MSN	Metode	Jenis obat	Massa / Konsentrasi	Proses Loading			Penghilangan pelarut			Produk	
					Rasio	Pelarut	Waktu	Metode	Durasi	Suhu	Kapasitas loading	
(Trzeciak, dkk., 2020)	MCM-41	DiSupLo	Ibuprofen	90 mg (campuran)	(1:1)	Etanol	30 menit	Oven	6 jam	50°C	57,6 (%wt)	
					(1:3)						31,2 (%wt)	
(Limnell, dkk., 2011)	MCM-41	Immersion	Indometachin (IMC)		(5:1)	Etanol		Oven	2,5 jam	60°C		
		Rotavapor			(1:2,3)			1,5 jam	Rotavapor	15 menit	45-50°C	27
(Charnay., 2016)	MCM-41	Immersion	Ibuprofen			24 jam					25,5 mg/g	
											DMSO	47 mg/g
											DMA	0 mg/g
											DMF	184 mg/g
											Etanol	590 mg/g
Incipient wetness impregnation	Heksana	500 mg/g										
(Kotcherlakota., 2018)	KIT-6	Immersion	Curcumin	0,63 g/ 100 ml		48 jam	Etanol				2,68%	
	MSU-2										3,56%	
	MCM-41										3,58%	
(Bolouki, 2015)	MCM-41	Immersion	Curcumin	20mg/ml		24 jam	Etanol	Pencucian dan pengeringan	3 kali	Ruang	82,33%	