

**PENGARUH KALSINASI DAN MASSA *MESOPOROUS*  
*SILICA NANOPARTICLES* (MSN) DARI LIMBAH *SLUDGE*  
*GEOHERMAL* TERHADAP *DRUG LOADING*  
**KURKUMIN****

**Laporan Penelitian**

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

oleh :

**Annasthasya Milleni Angelina**

(6141801113)

Pembimbing :

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

**Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.**



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

**2022**

***EFFECT OF CALCINATION AND MASS OF MESOPOROUS  
SILICA NANOPARTICLES (MSN) FROM GEOTHERMAL  
SLUDGE WASTE ON DRUG LOADING CURCUMIN***

**Research Report**

Compiled to fulfill the final project in order to achieve  
an undergraduate's degree in Chemical Engineering

by :

**Annasthasya Milleni Angelina**

(6141801113)

Supervisor :

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

**Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.**



**CHEMICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE STUDY PROGRAM**

**INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY**

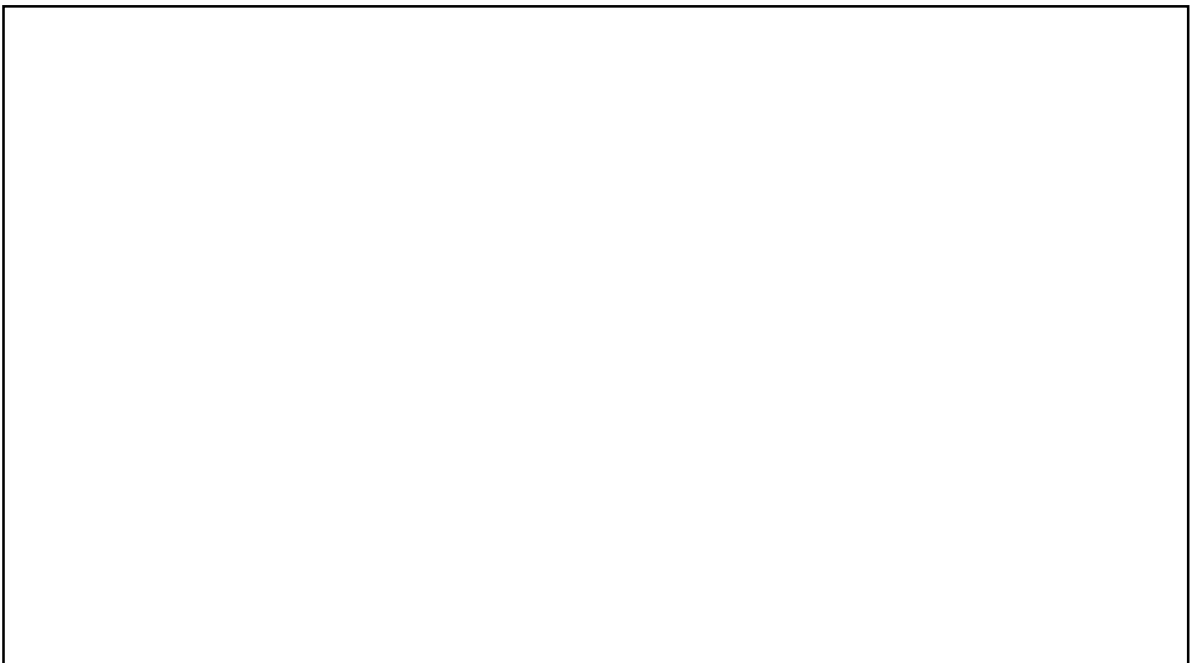
**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**JUDUL : PENGARUH KALSINASI DAN MASSA *MESOPOROUS SILICA NANOPARTICLES* (MSN) DARI LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL* TERHADAP *DRUG LOADING* KURKUMIN**

**CATATAN :**



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 14 Februari 2022

Pembimbing 1

Pembimbing 2

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

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

### SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Annasthasya Milleni Angelina

NPM : 6141801113

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**PENGARUH KALSINASI DAN MASSA *MESOPOROUS SILICA*  
*NANOPARTICLES* (MSN) 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, 15 Februari 2022



Annasthasya Milleni Angelina

(6141801113)

**LEMBAR REVISI**

**JUDUL : PENGARUH KALSINASI DAN MASSA *MESOPOROUS SILICA NANOPARTICLES* (MSN) DARI LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL* TERHADAP *DRUG LOADING* KURKUMIN**

**CATATAN :**


Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 14 Februari 2022

Penguji 1

  
Hans Kristianto, S.T., M.T.

Penguji 2

  
Jessen Chrisyla, B.Sc., M.Sc.

## INTISARI

Indonesia merupakan negara yang berlimpah dengan sumber daya *geothermal* hingga 29.000 MW atau sekitar 40% dari total *geothermal* di dunia. *Geothermal* dimanfaatkan sebagai sumber listrik dan diolah di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB). Energi listrik dari *geothermal* dapat dijadikan sebagai alternatif dari energi fosil karena ramah lingkungan dan dapat terus diperbarui. Namun, pengolahan *geothermal* dapat menghasilkan limbah *sludge* yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia. Di lain sisi, limbah *sludge geothermal* memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga silika dapat diambil untuk dijadikan *Mesoporous Silica Nanoparticles* (MSN). MSN yang telah disintesis akan diaplikasikan untuk *drug delivery system*, khususnya *drug loading* kurkumin. Kurkumin dimuat ke MSN dengan menggunakan metode *immersion* berupa pencelupan. Hasilnya didapatkan kelarutan dan bioavailabilitas dari kurkumin yang lebih tinggi.

Penelitian dilakukan untuk mengamati dan mempelajari pembuatan MSN dari limbah *sludge geothermal* dengan metode sol-gel. *Sludge geothermal* terlebih dahulu digerus dengan mortar dan alu dan selanjutnya diayak dengan ayakan mesh 100. *Sludge geothermal* kemudian ditambahkan dengan natrium hidroksida (NaOH) sehingga terbentuk larutan prekursor  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Larutan prekursor  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  diberikan surfaktan PVP pada titik CMC 1 %-b. Fungsi surfaktan PVP adalah sebagai *template* MSN dan mengatasi aglomerasi MSN sehingga distribusi ukuran yang homogen. Selanjutnya, larutan ditambahkan dengan asam klorida (HCl) sehingga mengalami gelasi. Setelah melewati proses *aging*, pencucian, perendaman, dan pengeringan, MSN dilakukan kalsinasi agar *template* terpisah dari MSN. Akhirnya, MSN berhasil diperoleh dan dikarakterisasi dengan XRD, XRF, BET, dan FTIR. Penelitian juga dilakukan untuk mempelajari *drug loading* dari kurkumin secara *immersion*. Kurkumin dilarutkan dengan pelarut etanol dan kemudian MSN dicelupkan ke dalamnya sehingga kurkumin termuat pada MSN. Penelitian *drug loading* kurkumin dilakukan untuk mengamati pengaruh dari kalsinasi dan massa MSN terhadap *drug loading* kurkumin.

Massa MSN divariasikan sebanyak 1 gram, 3 gram, 5 gram, 7 gram, dan 9 gram dengan ukuran partikel lolos 400 mesh. Variasi jenis MSN yang digunakan terdiri atas MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi. Pengadukan dilakukan selama 6 jam dengan pengambilan sampel setiap 10 menit selama 2 jam pertama dan setiap 30 menit untuk 4 jam berikutnya. Analisis secara kuantitatif dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan hasil karakterisasi, MSN tidak terkalsinasi dan terkalsinasi memiliki kandungan silika amorf dengan kadar berturut-turut sebesar 98,23% dan 98,31%. Kalsinasi yang dilakukan dengan *muffle furnace* pada  $600^\circ\text{C}$  selama 7 jam berhasil meningkatkan kemurnian MSN dan menghilangkan surfaktan PVP dari MSN. Di samping itu, ukuran pori dari kedua jenis MSN tergolong mesopori dengan bentuk kurva isoterm memenuhi tipe IV(a). Sementara itu, *drug loading* kurkumin berlangsung lebih baik pada MSN terkalsinasi yang ditunjukkan dengan kapasitas adsorpsi dan % efisiensi *drug loading* yang lebih besar daripada MSN tidak terkalsinasi. Selain itu, peningkatan % efisiensi *drug loading* dan penurunan kapasitas adsorpsi terjadi seiring bertambahnya massa MSN. Model isoterm yang cocok untuk MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi adalah isoterm Freundlich. Kinetika adsorpsi yang cocok untuk MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi adalah pseudo orde 1.

Kata kunci : *immersion*, MSN, *sludge geothermal*, sol-gel, kurkumin

## ABSTRACT

*Indonesia is an abundant country with 29,000 MW geothermal resources or about 40% of the total geothermal in the world. Geothermal is used as a source of electricity and processed in the Geothermal Power Plant (PLTPB). Electrical energy from geothermal can be used as an alternative to fossil energy because it is eco-friendly and can be continuously renewed. However, sludge geothermal can also harm the environment and humans. On the other hand, geothermal sludge waste has a high silica content so that silica can be extracted to be synthesized as Mesoporous Silica Nanoparticles (MSN). The synthesized MSN will be applied for drug delivery system, especially drug loading curcumin. Curcumin was loaded into MSN by using immersion method, so curcumin will have higher solubility and bioavailability.*

*The research was conducted to observe and study the manufacture of MSN from geothermal sludge waste using the sol-gel method. The geothermal sludge is first grounded with a mortar and pestle and then sieved with a 100 mesh sieve. The geothermal sludge is then added with sodium hydroxide (NaOH) to form a  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  precursor solution. The  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  precursor solution was given PVP surfactant at the CMC point (1%-b). The function of PVP surfactant is as template for MSN and makes MSN smaller in size with a homogeneous size distribution. Next, the solution is added with hydrochloric acid (HCl) so that it undergoes gelation. After going through the aging process, washing, soaking, and drying, MSN is calcined so that the template is separated from MSN. Finally, MSN was successfully obtained and characterized by XRD, XRF, BET, and FTIR. Research was also conducted to study the drug loading of curcumin by immersion. The effect of calcination and mass of MSN on drug loading of curcumin was studied.*

*The mass of MSN was varied as much as 1 gram, 3 grams, 5 grams, 7 grams, and 9 grams with a particle size of 400 mesh. The variety of MSN used consisted of uncalcined MSN and calcined MSN. Stirring was carried out for 6 hours with sampling every 10 minutes for the first 2 hours and every 30 minutes for the next 4 hours. Finally, quantitative analysis was carried out using a UV-Vis spectrophotometer. The results of the analysis were used to determine the isotherm model and the ongoing adsorption kinetics. Based on the characterization results, uncalcined and calcined MSN contained amorphous silica with levels of 98.23% and 98.31%, respectively. Calcination carried out with a muffle furnace at  $600^\circ\text{C}$  for 7 hours succeeded in increasing the purity of MSN and remove PVP surfactant from MSN. However, PVP surfactant still remained on the calcined MSN. In addition, the pore sizes of MSN is classified as mesoporous with the isotherm curve conforming to type IV(a). However, drug loading of curcumin was better in calcined MSN which was indicated by a larger adsorption capacity and % drug loading efficiency than uncalcined MSN. In addition, there was an increase in % drug loading efficiency and a decrease in adsorption capacity as the MSN mass increased. The suitable isotherm models for uncalcined MSN and calcined MSN are the Freundlich isotherm. The adsorption kinetics which are suitable for uncalcined MSN and calcined MSN is pseudo order 1.*

*Keywords: immersion, MSN, sludge geothermal, sol-gel, curcumin*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Pengaruh Kalsinasi dan Massa *Mesoporous Silica Nanoparticles* (MSN) dari Limbah *Sludge Geothermal* terhadap *Drug Loading* Kurkumin”. Adapun tujuan dari penulisan laporan penelitian ini adalah untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian. Ucapan terima kasih diberikan kepada:

1. Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. dan Ibu Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng., selaku dosen yang telah mendidik, membimbing, dan memberikan waktu dan saran kepada penulis selama penyusunan laporan penelitian.
2. Orang tua, adik, dan keluarga besar yang telah mendukung, memotivasi, dan mendoakan selama penyusunan laporan penelitian.
3. Teman-teman di jurusan Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan dorongan dan motivasi untuk menyelesaikan laporan penelitian.
4. Pihak-pihak lain yang memberikan dukungan, doa, dan semangat.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian yang disusun masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan laporan penelitian ini. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Bandung, 15 Februari 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
INTISARI.....	xiv
<i>ABSTRACT</i> .....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tema Sentral Masalah .....	2
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 .....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Limbah Sludge Geothermal .....	7
2.2. Silika .....	9
2.2.1. Silika Kristalin.....	11
2.2.2. Silika Amorf.....	12
2.3. Nanopartikel .....	12
2.3.1. Nanopartikel Organik.....	12
2.3.2. Nanopartikel Inorganik .....	13
2.3.3. Nanopartikel Berbasis Karbon .....	15
2.4. Nanosilika .....	15

2.5. Metode Pembuatan Nanosilika .....	16
2.5.1. Metode <i>Bottom-up</i> .....	18
2.5.2. Metode <i>Top-down</i> .....	20
2.6. Metode Sol-Gel dalam Pembuatan Nanosilika .....	21
2.6.1. Hidrolisis .....	22
2.6.2. Kondensasi .....	23
2.6.3. Gelasi.....	25
2.6.4. <i>Templating</i> .....	27
2.6.5. Pematangan ( <i>Aging</i> ) .....	27
2.6.6. Pengeringan ( <i>Drying</i> ).....	28
2.6.7. Penghilangan Surfaktan .....	28
2.7. Faktor-Faktor yang Dapat Mempengaruhi Pembuatan Nanosilika .....	29
2.7.1. Kandungan Silika dalam Limbah <i>Sludge Geothermal</i> .....	29
2.7.2. Konsentrasi Pelarut NaOH .....	29
2.7.3. Temperatur.....	29
2.7.4. Waktu.....	29
2.7.5. Kecepatan Pengadukan .....	30
2.7.6. Prekursor.....	30
2.7.7. pH.....	30
2.7.8. Surfaktan .....	31
2.7.9. Sonifikasi .....	32
2.8. Surfaktan.....	33
2.8.1. <i>Alkyl benzene sulfonate</i> (ABS) .....	34
2.8.2. <i>Sodium dodecyl sulphate</i> (SDS) .....	35
2.8.3. <i>Cetyl trimethyl ammonium bromide</i> (CTAB).....	36
2.9 <i>Drug Delivery System</i> (DDS) .....	37
2.9.1. Drug Loading dalam Drug Delivery System (DDS) .....	38
2.9.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Drug Loading.....	41
2.10. Identifikasi Struktur dari MSN yang Telah Memuat Obat .....	43
2.11. <i>Mesoporous Silica Nanoparticles</i> (MSN) pada DDS .....	43
2.11.1. MCM-41.....	47
2.11.2. SBA-15.....	48
2.12. Kurkumin .....	48
2.13. Isoterm Adsorpsi.....	49

2.13.1. Isoterm Langmuir .....	50
2.13.2. Isoterm Freundlich .....	50
2.13.3. Isoterm Temkin .....	52
2.14. Kinetika Adsorpsi .....	52
2.14.1. Pseudo Orde 1 .....	52
2.14.2. Pseudo Orde 2 .....	53
2.14.3. Weber-Morris .....	54
2.15. Karakterisasi MSN dan <i>Drug Loading</i> .....	54
2.15.1. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	54
2.15.2. <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM).....	55
2.15.3. Brunauer Emmett Teller (BET).....	56
2.15.4. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	56
2.15.5. Fluoresensi sinar-X (XRF).....	57
2.15.6. Spektrofotometer UV-Vis .....	58
 BAB III.....	 60
METODE PENELITIAN .....	60
3.1. Gambaran Umum Penelitian.....	60
3.2. Alat dan Bahan.....	60
3.2.1. Alat.....	60
3.2.2. Bahan.....	63
3.3. Prosedur Penelitian .....	63
3.3.1. Proses Pembuatan MSN .....	63
3.3.2. Proses <i>Drug Loading</i> .....	64
3.4. Analisis <i>Drug Loading</i> .....	67
3.4.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....	67
3.4.2. Pembuatan Kurva Standar .....	67
3.4.3. Analisis <i>Drug Loading</i> .....	67
3.5. Variasi Percobaan .....	68
3.6. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	68
 BAB IV.....	 69
PEMBAHASAN.....	69
4.1. Penghilangan <i>Template</i> pada <i>Mesoporous Silica Nanoparticles</i> (MSN) .....	69

4.2. Karakterisasi MSN.....	70
4.3. <i>Drug Loading</i> Kurkumin pada MSN .....	77
4.3.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	78
4.3.2. Penentuan Kurva Standar .....	79
4.3.3. Kinerja Adsorben MSN pada Adsorpsi Kurkumin .....	80
4.3.4. Isoterm Adsorpsi .....	84
4.3.5. Kinetika Adsorpsi.....	89
BAB V .....	94
KESIMPULAN DAN SARAN .....	94
5.1. Kesimpulan .....	94
5.2. Saran .....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN A <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i> .....	104
LAMPIRAN B HASIL ANTARA .....	114
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN.....	164
LAMPIRAN D GRAFIK .....	173

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Ikatan kovalen antarsilika.....	9
<b>Gambar 2.2</b> Perbandingan antara silika kristalin dengan silika amorf.....	10
<b>Gambar 2.3</b> Nanopartikel organik.....	12
<b>Gambar 2.4</b> Nanopartikel organik sebagai <i>nanomedicine</i> .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Nanopartikel inorganik yang digunakan sebagai <i>drug delivery system</i> .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Nanopartikel basis karbon .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Berbagai bentuk dari nanosilika yang biasanya digunakan untuk aplikasi biomedis.....	16
<b>Gambar 2.8</b> Pembentukan material mesopori secara <i>bottom up</i> dan <i>top down</i> .....	17
<b>Gambar 2.9</b> Mekanisme tahap hidrolisis pada kondisi asam .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Mekanisme tahap hidrolisis pada kondisi basa .....	23
<b>Gambar 2.11</b> Mekanisme tahap kondensasi pada kondisi asam .....	23
<b>Gambar 2.12</b> Mekanisme tahap kondensasi pada kondisi basa.....	23
<b>Gambar 2.13</b> Mekanisme pembentukan $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .....	24
<b>Gambar 2.14</b> Polimerisasi asam silikat .....	25
<b>Gambar 2.15</b> Pertumbuhan struktur dari sol-gel .....	26
<b>Gambar 2.16</b> Reaksi proses sol-gel non hidrolitik .....	27
<b>Gambar 2.17</b> Ketergantungan dari laju hidrolisis dan kondensasi terhadap pH .....	30
<b>Gambar 2.18</b> Skema mekanisme sintesis MSN dari MCM-41 .....	32
<b>Gambar 2.19</b> Pembentukan misel saat kadar surfaktan di atas konsentrasi CMC .....	34
<b>Gambar 2.20</b> Struktur molekul ABS .....	35
<b>Gambar 2.21</b> Struktur molekul SDS.....	35
<b>Gambar 2.22</b> Reaksi sintesis SDS .....	35
<b>Gambar 2.23</b> Skema konfigurasi CTAB pada permukaan zeolite .....	36
<b>Gambar 2.24</b> Skema konfigurasi CTAB pada permukaan zeolite .....	36
<b>Gambar 2.25</b> Ilustrasi konsep desain nanopartikel dalam penghantaran tertarget molekuler .....	37
<b>Gambar 2.26</b> Perbedaan antara obat yang tanpa <i>drug delivery sytem</i> dengan obat dengan <i>drug delivery system</i> .....	38
<b>Gambar 2.27</b> Bentuk MSN.....	44

<b>Gambar 2.28</b> Morfologi pori .....	44
<b>Gambar 2.29</b> Jenis MSN .....	46
<b>Gambar 2.30</b> Hasil SEM dari MCM-41, SBA-16, dan SBA-15 .....	47
<b>Gambar 2.31</b> Hasil TEM dari MCM-41, SBA-16, dan SBA-15 .....	47
<b>Gambar 2.32</b> Struktur molekul kurkumin .....	48
<b>Gambar 2.33</b> Mekanisme adsorpsi <i>monolayer</i> .....	50
<b>Gambar 2.34</b> Mekanisme adsorpsi <i>multilayer</i> .....	51
<b>Gambar 2.35</b> Perbedaan resolusi dari SEM dan mikroskop cahaya.....	55
<b>Gambar 2.36</b> Skema diagram dari spektrofotometer UV-Vis .....	58
<b>Gambar 3.1</b> Skema peralatan pembuatan prekursor $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .....	61
<b>Gambar 3.2</b> Skema peralatan pengeringan silika gel dengan <i>oven</i> .....	61
<b>Gambar 3.3</b> Skema peralatan <i>drug loading</i> .....	62
<b>Gambar 3.4</b> Skema prosedur pembuatan MSN .....	66
<b>Gambar 3.5</b> Skema <i>drug loading</i> kurkumin dengan metode <i>immersion</i> .....	66
<b>Gambar 4.1.</b> Interaksi PVP dengan MSN.....	69
<b>Gambar 4.2</b> Warna MSN.....	70
<b>Gambar 4.3</b> Hasil karakterisasi MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi secara XRD.....	71
<b>Gambar 4.4</b> Hasil karakterisasi XRD .....	72
<b>Gambar 4.5</b> Kurva isoterm untuk MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi .....	74
<b>Gambar 4.6</b> Jenis kurva isoterm .....	74
<b>Gambar 4.7</b> Gugus fungsi yang terdapat pada MSN.....	75
<b>Gambar 4.8.</b> Gugus fungsi pada PVP.....	76
<b>Gambar 4.9</b> Hasil karakterisasi FTIR pada MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi .....	76
<b>Gambar 4.10</b> Kurkumin murni dan kurkumin berikatan dengan MSN.....	78
<b>Gambar 4.11</b> Ikatan antara kurkumin dengan MSN.....	78
<b>Gambar 4.12</b> Panjang gelombang maksimum larutan kurkumin dalam etanol .....	79
<b>Gambar 4.13</b> Kurva standar larutan kurkumin dalam etanol .....	80
<b>Gambar 4.14</b> Penurunan absorbansi dengan bertambahnya waktu pada adsorpsi MSN tidak terkalsinasi.....	81
<b>Gambar 4.15</b> Penurunan absorbansi dengan bertambahnya waktu pada adsorpsi MSN terkalsinasi.....	82

<b>Gambar 4.16</b> Pengaruh variasi massa MSN terhadap % efisiensi <i>drug loading</i> (pada menit ke-360) .....	83
<b>Gambar 4.17</b> Pengaruh variasi massa MSN terhadap kapasitas adsorpsi (pada menit ke-360) .....	83
<b>Gambar 4.18</b> Ilustrasi adsorpsi kurkumin pada MSN tidak terkalsinasi .....	84
<b>Gambar 4.19</b> Larutan kurkumin setelah <i>drug loading</i> .....	84
<b>Gambar 4.20</b> Isoterm Langmuir .....	85
<b>Gambar 4.21</b> Isoterm Freundlich.....	85
<b>Gambar 4.22</b> Isoterm Temkin .....	86
<b>Gambar 4.23</b> Mekanisme adsorpsi <i>multilayer</i> .....	88
<b>Gambar 4.24</b> Grafik Weber-Morris.....	91
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Weber-Morris.....	91
<b>Gambar 4.26</b> Grafik Weber-Morris.....	92
<b>Gambar 4.27</b> Grafik Weber-Morris.....	92
<b>Gambar 4.28</b> Grafik Weber-Morris.....	92

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Premis pembuatan nanosilika dengan metode sol-gel .....	5
<b>Tabel 1.2</b> Premis <i>drug loading</i> kurkumin .....	6
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi limbah <i>sludge geothermal</i> .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Karakteristik silika amorf.....	10
<b>Tabel 2.3</b> Karakteristik dari silika kristalin.....	11
<b>Tabel 2.4</b> Perbandingan antara metode <i>top-down</i> dan <i>bottom-up</i> .....	17
<b>Tabel 2.5</b> Kategori pembentukan nanopartikel dengan berbagai metode .....	18
<b>Tabel 2.6</b> Kandungan dalam natrium silikat .....	24
<b>Tabel 2.7</b> Perbandingan metode pengecilan ukuran dan penambahan surfaktan.....	31
<b>Tabel 2.8</b> Jenis surfaktan berdasarkan perbedaan muatan .....	34
<b>Tabel 2.9</b> Perbandingan kelebihan dan kekurangan metode <i>drug loading</i> .....	39
<b>Tabel 2.10</b> Karakteristik jenis MSN.....	45
<b>Tabel 2.11</b> Karakteristik kurkurmin.....	49
<b>Tabel 2.12</b> Panjang gelombang warna dalam daerah cahaya tampak .....	59
<b>Tabel 3.1</b> Variasi ukuran partikel dan massa MSN.....	68
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi senyawa dalam MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi .....	73
<b>Tabel 4.2</b> Konsentrasi logam dalam MSN hasil penelitian dan batas yang diizinkan .....	73
<b>Tabel 4.3</b> Ukuran pori dan luas permukaan MSN.....	75
<b>Tabel 4.4</b> Parameter dan nilai $R^2$ dari isoterm Langmuir, Freundlich, dan Temkin .....	86
<b>Tabel 4.5</b> Parameter dan nilai $R^2$ dari model kinetika pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 untuk adsorpsi MSN tidak terkalsinasi.....	89
<b>Tabel 4.6</b> Parameter dan nilai $R^2$ dari model kinetika pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 untuk adsorpsi MSN terkalsinasi.....	90



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi panas bumi (*geothermal*) terbesar di dunia. Letak geografis Indonesia yang berada di daerah yang dilewati oleh cincin api menjadikannya sebagai negara yang berlimpah dengan sumber daya panas bumi. Jumlah panas bumi yang dimiliki Indonesia sekitar 40% atau 29.000 MW dari total panas bumi di dunia. Pada tahun 2016, potensi panas bumi mencapai 19.543,3 MW. Bahkan, pemerintah Indonesia diperkirakan akan meningkatkan pemanfaatan panas bumi dari 2.130,6 MW atau 8,9% menjadi 7.241,5 MW atau 16,8% pada 2025. Ketersediaan panas bumi yang melimpah dimanfaatkan sebagai sumber daya listrik (Mei dan Sulistyono, 2019).

Panas bumi merupakan panas yang terkandung, baik dalam air panas, uap air, dan batuan beserta mineral dan gas yang tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Panas bumi diambil dari bawah permukaan bumi dan diolah di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB). Panas bumi akan dialirkan dari sumur untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik dari panas bumi tergolong sebagai energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui sehingga menjadi sumber energi alternatif dari sumber energi fosil. Namun, pengolahan energi panas bumi di PLTPB menghasilkan limbah *geothermal* yang terdiri atas limbah *brine*, *sludge*, dan gas. Limbah *brine* dan gas diolah dan dibuang setelah memenuhi baku mutu limbah. Limbah *sludge* dibuang juga ke tempat pembuangan sekitar 165 ton per bulan. Limbah *sludge* dapat membahayakan lingkungan dan berdampak pada kesehatan manusia. Dengan demikian, limbah *sludge geothermal* diolah dan kandungan silikanya yang tinggi diambil untuk dimanfaatkan sebagai produk yang bermanfaat (Meiyati, 2016).

Silika diperoleh dari limbah *sludge geothermal* dengan struktur amorf. Silika selanjutnya diolah menjadi *mesoporous silica nanoparticles* (MSN). Ukuran dari MSN sebesar 1-100 nm dengan ukuran pori 2-50 nm. Ukuran MSN yang kecil membuat luas permukaan yang besar, biokompatibel, dan dapat dilakukan fungsionalisasi sehingga cocok diaplikasikan untuk *drug delivery system*, khususnya *drug loading* (Jenie dkk., 2018; Selvarajan dkk., 2020).

MSN dapat dibuat dengan metode *bottom up* maupun *top down*. Metode *bottom up* merupakan metode konstruktif yang menyusun atom-atom atau molekul-molekul menjadi gabungan yang lebih besar melalui interaksi kovalen dan antarmolekul. Metode *top-down* merupakan metode destruktif yang melibatkan pengecilan ukuran dari material yang berukuran besar (*bulk*) menjadi nanopartikel secara langsung atau mekanik (Iqbal dkk., 2012; Agusetiani, 2013). Pembuatan MSN menggunakan metode *bottom up*, yaitu sol-gel. Metode sol-gel paling cocok digunakan karena sederhana, dapat diperoleh kemurnian dan kekuatan yang lebih tinggi, didapatkan MSN yang berpori, dan homogen. Selain itu, metode sol-gel mudah dilakukan karena berlangsung pada kondisi temperatur rendah. Pembuatan MSN dengan metode sol-gel juga disertai penambahan surfaktan *polyvinylpyrrolidone* (PVP). Fungsi dari surfaktan adalah untuk menurunkan tegangan permukaan sehingga dapat terdispersi merata. Akibatnya, MSN yang terbentuk tidak mengalami aglomerasi. Selain itu, surfaktan juga dijadikan sebagai *template* yang dapat mengarahkan struktur dari MSN yang dibuat.

MSN dapat digunakan sebagai *drug delivery system* (DDS), khususnya *drug loading*. *Drug loading* obat pada MSN akan meningkatkan kelarutan, bioavailabilitas, dan aktivitas farmakologisnya. Salah satu obat yang dapat diaplikasikan *drug loading* ke MSN adalah kurkurmin. Umumnya, kurkurmin digunakan sebagai bahan pewarna dan penambah cita rasa makanan. Namun, kurkumin juga dapat dikonsumsi sebagai obat bagi penyakit diabetes, kanker, disfungsi hati, dan lainnya. Kekurangan dari kurkumin adalah kinerja kurkumin dalam tubuh yang kurang efektif. Hal tersebut dikarenakan kurkumin memiliki bioavailabilitas, kelarutan, dan kestabilan yang rendah. Permasalahan dapat diatasi dengan pengaplikasian *drug loading* kurkumin pada MSN secara *immersion*. Walaupun penelitian *drug loading* kurkumin masih tergolong cukup baru, peluang yang dimiliki sangat besar. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari *drug loading* kurkumin pada MSN. Di samping itu, pengamatan juga dilakukan untuk mengamati pengaruh dari kalsinasi dan massa MSN terhadap karakteristik dan uji *drug loading* kurkumin pada MSN.

## **1.2. Tema Sentral Masalah**

Penelitian ini dilakukan berkaitan dengan pemanfaatan limbah *sludge geothermal* untuk dijadikan MSN sebagai langkah penanggulangan masalah limbah. Limbah *sludge geothermal* yang dibiarkan menumpuk dapat membahayakan lingkungan sehingga dapat diolah dengan diambil kandungan silikanya yang tinggi. Metode pembuatan MSN yang

digunakan pada penelitian adalah metode sol-gel yang disertai dengan penambahan surfaktan *polyvinylpyrrolidone* (PVP). MSN yang diperoleh akan dikarakterisasi, kemudian dimanfaatkan untuk *drug loading* kurkumin. Metode *drug loading* yang digunakan adalah metode *immersion*. Metode tersebut dilakukan dengan mencelupkan MSN ke dalam larutan kurkumin disertai dengan pengadukan sehingga kurkumin dapat termuat dalam MSN. Perilaku kalsinasi dan banyaknya massa MSN yang digunakan akan divariasikan untuk dilihat pengaruhnya terhadap uji *loading* kurkumin. Di samping itu, sampel MSN yang memuat kurkumin akan diteliti sepanjang waktu pengadukan untuk model isoterm adsorpsi dan kinetiknya.

### 1.3. Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral, masalah yang ingin diidentifikasi dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kalsinasi dalam pembuatan MSN terhadap karakteristik MSN dan uji *drug loading* kurkumin?
2. Bagaimana pengaruh massa MSN yang diperlukan untuk *drug loading* kurkumin secara *immersion* terhadap uji *drug loading* kurkumin?
3. Bagaimana model isoterm dan kinetika adsorpsi dari uji *drug loading* kurkumin pada MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi?

### 1.4. Premis

Hasil penelitian terdahulu dapat dijadikan dasar dalam pemilihan variasi penelitian, variabel proses, bahan, dan alat yang digunakan dalam penelitian. Hasil yang diperoleh terkait pembuatan nanosilika dengan metode sol-gel untuk *drug loading* dapat diamati pada **Tabel 1.1** dan **Tabel 1.2**.

### 1.5. Hipotesis

Berdasarkan studi literatur, hipotesis mengenai penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kalsinasi akan membuat surfaktan terlepas dari MSN sehingga MSN mendapatkan situs aktif yang lebih banyak untuk adsorpsi.
2. Massa partikel MSN yang semakin banyak dapat mengurangi jumlah kurkumin yang dimuat pada MSN.

3. Adsorpsi kurkumin pada MSN memenuhi model isoterm Freundlich dan model kinetika pseudo orde 2.

### 1.6. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pembuatan MSN dengan metode sol-gel disertai penambahan surfaktan PVP untuk aplikasi *drug loading* kurkumin. Tujuan khusus dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui karakteristik dari MSN yang terbentuk dari metode sol-gel dengan adanya pengaruh kalsinasi.
2. Mempelajari pengaruh dari variasi massa MSN untuk *drug loading* kurkumin secara *immersion* terhadap uji *drug loading* kurkumin.
3. Menentukan model isoterm dan kinetika adsorpsi dari uji *drug loading* kurkumin pada MSN tidak terkalsinasi dan MSN terkalsinasi.

### 1.7. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi pemerintah  
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi penanganan masalah limbah *sludge geothermal* untuk dijadikan sebagai produk yang bernilai jual tinggi dan bermanfaat.
2. Bagi industri  
Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kemajuan dalam dunia industri mengenai pembuatan nanosilika dari limbah *sludge geothermal*, beserta aplikasinya dalam industri farmasi.
3. Bagi masyarakat  
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan memperluas wawasan masyarakat dalam pemanfaatan limbah *sludge geothermal*.
4. Bagi ilmu pengetahuan  
Penelitian ini diharapkan dapat memajukan ilmu pengetahuan melalui pembelajaran pembuatan nanosilika dari limbah *sludge geothermal* sebagai *drug delivery system*, khususnya *drug loading*.

Tabel 1.1 Premis pembuatan nanosilika dengan metode sol-gel

Literatur	Bahan baku	Pelarut	Katalis	Kondisi Operasi										Hasil Produk		
				Templating		Aging	Pengeringan			Template Removing			Tipe	Ukuran Partikel (nm)	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	
				Tipe	Template	Waktu	Metode	Temperatur	Daya	Durasi	Metode	Temperatur				Waktu
(Windianto, 2020)	Limbah <i>sludge</i> geothermal PLTP Geo Dipa Dieng	NaOH (1,5 M)	HCl (2 M)	-	-	3 jam	Microwave	-	Low (100W)	85 menit	-	-	-	Nanosilika berpori	10,08	330,08
									Medium (380W)	30 menit					7,78	402,86
									Medium-high (540 W)	30 menit					19,98	152,02
									High (700 W)	30 menit					9,36	356,04
(Jenie dkk., 2018)	Limbah <i>sludge</i> geothermal PLTP Geo Dipa Dieng	NaOH (1,5 M)	HCl (2N)	-	-	43 jam	Oven	105 °C	-	12 jam	-	-	-	Nanosilika berpori	10,04	340,06
															18 jam	289
															72 jam	15
(Stanley dan Nesaraj, 2014)	TEOS 99%	Etanol	Amonia	Soft	CTAB 5% CTAB 1% PVP 5% PVP 10% SDS 2% SDS 3% Tanpa surfaktan	12 jam	-	600 °C	-	2 jam	-	-	-	Nanosilika amorif	608,6	-
															310,3	-
															315,8	-
															390,1	-
															495,2	-
(Rakhmasari dkk., 2019)	Limbah <i>sludge</i> geothermal PLTP Geo Dipa Dieng	NaOH (1,5 N)	HCl (2 N)	Soft	ABS 0,1% ABS 0,2% ABS 0,4%	18 jam	Oven	90 °C	-	6 jam	Kalsinasi	400 °C	3 jam	Nanosilika	2901	-
															2924	-
															2045	-

Tabel 1.2 Premis *drug loading* kurkumin

Literatur	Jenis Obat	Metode	Jenis MSN	Ukuran MSN	Kondisi Operasi									Kapasitas Pemuatan Obat
					Pelarut	Konsentrasi (mg/mL)	Volume Larutan (mL)	Massa MSN (mg)	Temperatur (°C)	Perlakuan	Waktu	Perlakuan Tambahan	Pengeringan	
(Charnay dkk., 2004)	Ibuprofen	<i>Immersion</i>	MCM-41	Luas permukaan: 920 m <sup>2</sup> /g	<i>Dimethylsulfoxide</i> (DMSO)	65	2,5	50	Temperatur ruang	Pengadukan	24 jam	-	-	25,5
					<i>Dimethylformamide</i> (DMF)									47,7
				Volume: 0,61 cm <sup>3</sup> /g	<i>Dimethylacetamide</i> (DMA)									0
					Etanol Heksana									184 590
		<i>Incipient wet impregnation</i>		Ukuran MSN: 35 nm	Etanol			500				Pencucian dengan 5-10 mL etanol	50°C	500
(Elbially dkk., 2020)	Kurkumin	<i>Immersion</i>	MSN	Ukuran MSN: 184,6 ± 13,69 nm	Etanol	-	2	8	5°C	Pengadukan	30 menit	Pencucian dengan air distilasi	5°C	92,4 %
(Bolouki dkk., 2015)	Kurkumin	<i>Immersion</i>	MSN	Ukuran MSN: 110 ± 13 nm	Etanol	20	10	500	Temperatur ruang	Pengadukan	24 jam	Pencucian dengan aseton dan air deionisasi	Temperatur ruang	82,33 %