

**PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP SIFAT
HYDROPHOBIC DARI LAPISAN NANOKOMPOSIT
SILIKA/POLIETILEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains



**YULIA MAULIDA
NIM. 15034042/2015**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP SIFAT
HYDROPHOBIC DARI LAPISAN NANOKOMPOSIT
SILIKA/POLIETILEN

Nama : Yulia Maulida
NIM : 15034042
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh :
Pembimbing

Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Yulia Maulida
NIM : 15034042
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP SIFAT
HYDROPHOBIC DARI LAPISAN NANOKOMPOSIT
SILIKA/POLIETILEN**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Ratnawulan, M.Si	_____
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si	_____
Anggota	: Drs. Gusnedi, M.Si	_____

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydrophobic* Dari Lapisan Nanokomposit Silica/Polietilen” adalah asli karya saya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Agustus 2019
yang membuat pernyataan



Yulia Maulida
Nim: 15034042

Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydrophobic* Dari Lapisan Nanokomposit Silika/ Polietilen

Yulia Maulida

ABSTRAK

Daun Teratai dan Talas memiliki sifat yang khas dan unik. Dimana daun ini dapat membersihkan diri sendiri dari kotoran dan debu yang menempel pada permukaannya. Fenomena ini disebut juga dengan *hydrophobic* (anti air). Berdasarkan penelitian terdahulu, belum terdapat adanya pengujian terhadap sifat *hydrophobic* menggunakan nanokomposit silika dengan matriks polietilen. Selain itu sudut kontak yang didapatkan dengan memvariasikan temperatur kalsinasi masih sangat rendah. Untuk memecahkan persoalan dari riset yang telah dilakukan terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap sudut kontak dan ukuran butir dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/ polietilen dengan temperatur kalsinasi 30°C, 60°C, 90°C, 120°C, 150°C dan 180°C selama 1 jam.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA UNP dan Laboratorium Kimia FMIPA UNP. Penelitian ini menggunakan alat HEM-3D (*High Energy Milling Elips-3D Mention*), XRF (*X-Ray Fluorescence*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Prekursor dibuat dengan pemberian komposisi polietilen sebanyak 0,5 gram dan serbuk silika sebanyak 0,2 gram. Pelapisan dilakukan dengan metode spin coating dan pemberian variasi temperatur kalsinasi menggunakan oven.

Hasil penelitian ini merupakan pengujian ukuran butir yang dilakukan terhadap sampel yang telah di uji menggunakan SEM (*Scanning electronmicroscop*) dan pengukuran sudut kontak menggunakan software ImageJ. Dari hasil karakterisasi SEM tersebut dapat ditentukan ukuran butir dari nanokomposit silika/polietilen. Ukuran butir mengalami penurunan pada temperatur kalsinasi 30°C-90°C, kemudian mengalami peningkatan pada temperatur 120°C -180 °C. Permukaan kasar yang memiliki sifat *hydrophobic* terbaik terdapat pada temperatur 90°C dengan ukuran butir sebesar 177,93 nm. Sedangkan sudut kontak yang didapatkan adalah 129,55°, 135,57°, 140,52°, 80,79°, 76,72°, 50,97°.

Kata Kunci : *Hydrophobic*, ukuran butir, nanokomposit, polietilen, Silikon Oksida (SiO₂)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberi Rahmat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydrophobic* Dari Lapisan Nanokomposit Silika/ Polyeten**”. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (NK), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Skripsi ini juga merupakan bagian dari Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Dasar (PUPTD) tahun 2019 oleh Dr. Ahmad Fauzi., M.Si (ketua) yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Superhidrofobik Nanokomposit Silika/ Polystirene (SiO₂/PS) Dari Mineral Ekonomis Sumatera Barat Untuk Material Self Cleaning” berdasarkan surat penugasan pelaksanaan penelitian dengan nomor kontrak 930/UN35.13/LT/2019.

Skripsi ini tersusun berkat bimbingan, bantuan dan dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika sekaligus pembimbing skripsi dan pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penulisan skripsi
2. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si dan Bapak Drs. Gusnedi, M.Si sebagai dosen penguji
3. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

4. Kepala Laboratorium Fisika Material dan Kimia UNP yang telah mengizinkan penulis dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium hingga selesai
5. Keluarga Besar Jurusan Fisika, terutama teman-teman angkatan 2015 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini .

Padang , Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KERANGKA TEORITIS	6
A. Pasir Silika.....	6
B. Nanopartikel	8
C. Nanokomposit.....	12
D. Polietilen.....	15
E. Sifat <i>Hydrophobic</i>	16
F. Aplikasi Pemanfaatan Sifat <i>Hydrophobic</i>	18
G. Faktor yang Mempengaruhi Sifat <i>Hydrophobic</i>	20
H. Temperatur Kalsinasi.....	26
I. Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat <i>Hydrophobic</i>	28
J. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	29
K. Metode <i>Spin Coating</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Jenis Penelitian	34
B. Variabel Penelitian	34
C. Instrumen Penelitian.....	35
1. Alat.....	35
2. Bahan.....	41
D. Pelaksanaan Penelitian	44
E. Diagram Alir Penelitian.....	63

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
A. Deskripsi Data	66
B. Analisis Data	72
C. Pembahasan	78
BAB V PENUTUP	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pasir Silika	7
2. Alat HEM-3D.....	11
3. Mekanisme Terjadinya Tumbukan. (a) <i>Steel Ball</i> (b) Sistem <i>Mechanical Steel Ball Milling</i> Sumber.....	12
4. Bentuk butiran <i>Hydrophobic</i>	16
5. Aplikasi <i>self cleaning</i> (a) Kaca mobil yang tidak dilapisi lapisan <i>hydrophobic</i> (b) Kaca mobil yang telah dilapisi lapisan <i>hydrophobic</i>	18
6. Membran <i>Hydrophobic</i> Pada Pemisahan Minyak dan Air	19
7. Bentuk lapisan dan sudut kontak	22
8. Klasifikasi sudut kontak (a) basah sebagian (b) Tidak basah	23
9. Pengukuran sudut kontak.....	23
10. Ilustrasi model Young.....	24
11. Ilustrasi model Wenzel.....	25
12. Ilustrasi model Cassie-Baxter	26
13. Prinsip Kerja SEM	30
14. Alat SEM	32
15. Tahap-tahap penting dari proses pelapisan spin.	33
16. Alat XRF.....	35
17. Alat HEM.....	36
18. Alat XRD	36
19. Alat SEM	37
20. <i>Magneticstirrer</i>	37
21. Oven.....	38
22. Alat <i>Spin Coating</i>	38
23. <i>Ultrasonic Cleaner</i>	39
24. Mesh 200.....	39
25. Substrat kaca	40
26. Timbangan Digital	40
27. . Kamera Nikon D-5000.....	41
28. Pasir Silika milling.....	42
29. Polietilen	42
30. Larutan Xylen	43
31. Indikator Penoftalein.....	43
32. Pengambilan Pasir Silika	44
33. Pengeringan Pasir Silika	44
34. Pemisahan Pasir Silika dengan Bijih Besi	45
35. Penggerusan Pasir Silika.....	45
36. Pengayakan Pasir Silika dengan Saringan 200 mesh.....	46
37. Pencucian Pasir Silika Menggunakan Aqua Bidest	47

38. Pengeringan Pasir Silika	47
39. Penimbangan Pasir Silika	48
40. (a) Holder dan Bola-bola <i>Milling</i> (b) Alat HEM	48
41. Pengenceran Larutan HCL Peekat 36%	49
42. Pengadukan Pasir Silika dengan HCL	49
43. Bentuk Endapan Pada Larutan	50
44. Pengadukan Serbuk Silika dengan Larutan NaOH	50
45. Penyaringan Larutan Natrium Silikat	51
46. (a) Titrasi Larutan (b) Larutan Hasil Titrasi dengan PH 7	52
47. Penyaringan Endapan Menggunakan Kertas Saring	52
48. Pengeringan Endapan Menggunakan Oven	53
49. Hasil Endapan (a) Bentuk Endapan yang Telah Kering (b) Bentuk Endapan yang Telah digerus dengan Mortar	53
50. Melarutkan Polietilen Menggunakan Xylen	54
51. Proses Pencucian Kaca Preparat menggunakan	54
52. Penumbuhan Lapisan Tipis Menggunakan Spin Coating	55
53. Rangkaian Pengukuran Sudut Kontak	57
54. Tampilan Software ImageJ	57
55. Mengukur Sudut Kontak pada Droplet	57
56. Tampilan Untuk Mengukur Nilai Sudut Pada ImageJ	58
57. Tampilan Hasil Pengukuran Menggunakan ImageJ	58
58. Tampilan Set Skala	59
59. Tampilan Pengaturan <i>Threshold</i>	60
60. Tampilan Hasil Pengukuran	60
61. Tampilan Hasil Pengukuran Ukuran Butir Menggunakan ImageJ	60
62. Diagram alir pelaksanaan penelitian	63
63. Diagram Preparasi Pasir Silika	65
64. Data Pengukuran Pasir Silika Setelah HEM Menggunakan XRD	66
65. Pengukuran Sudut Kontak Tanpa Silika	67
66. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 30°C Dengan 3x Pengukuran .	68
67. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 60°C Dengan 3x Pengukuran .	68
68. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 90°C Dengan 3x Pengukuran .	69
69. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 120°C Dengan 3x Pengukuran ...	69
70. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 150°C Dengan 3x Pengukuran ...	70
71. Pengukuran Sudut Kontak Pada Temperatur 180°C Dengan 3x Pengukuran ...	70
72. Bentuk Morfologi Nanokomposit Silika/ Polietilen pada	72
73. Pola Difraksi Sinar-X Pasir Silika Hasil <i>Milling</i> 5 Jam	73
74. Data Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sudut Kontak	75
75. Hubungan Temperatur Kalsinasi dengan	75

76. Hasil Analisis SEM	76
77. Hubungan Temperatur Kalsinasi dengan	78
78. Sudut kontak yang terbentuk setelah lapisan diberi perlakuan panas	81
79. Hasil SEM permukaan silika kalsinasi (a) 800°C dan (b) 1100°C	83
80. Sudut Kontak Tanpa Lapisan Silika	96
81. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 30°C	97
82. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 60°C	98
83. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 90°C	98
84. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 120°C	99
85. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 150°C	100
86. Foto Sudut Kontak Pada Temperatur 180°C	100
87. Pengukuran Ukuran Butir Pada Temperatur 30°C	101
88. Hasil Pengukuran Ukuran Butir	101
89. Pengukuran Ukuran Butir Pada Temperatur 60°C	102
90. Hasil Pengukuran Ukuran Butir	102
91. Pengukuran Ukuran Butir Pada Temperatur 90°C	102
92. Hasil Pengukuran Ukuran Butir	103
93. Pengukuran ukuran butir Pada Temperatur 120°C	103
94. Hasil pengukuran ukuran butir	104
95. Pengukuran ukuran butir Pada Temperatur 150°C	104
96. Hasil pengukuran ukuran butir	104
97. Pengukuran ukuran butir Pada Temperatur 180°C	105
98. Hasil pengukuran ukuran butir	105

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Kimia Pasir Silika Indonesia.....	8
2. Sifat Fisik Pasir Silika Indonesia.....	8
3. Hasil Karakterisasi Pasir Silika Menggunakan XRD Setelah di- <i>milling</i> Selama 5 Jam.....	67
4. Puncak Tertinggi Pasir Silika Hasil Sinar-X Hasil Milling 5 Jam	73
5. Pengaruh Temperatur Terhadap Pengukuran Ukuran Butir SEM.....	77
6. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Tanpa Lapisan Silika.....	97
7. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 30°C	97
8. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 60°C	98
9. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 90°C	99
10. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 120°C.....	99
11. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 150°C.....	100
12. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Rata-rata Pada Temperatur 180°C.....	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Hasil Analisis XRD untuk Ukuran Kristal Waktu Milling 5 jam	89
2. Data Base Hasil XRD Waktu Milling 5 jam	89
3. Perhitungan Sudut Kontak (θ) Masing-masing Sampel.....	96
4. Pengukuran Ukuran Butir Hasil SEM.....	101

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang memiliki sumber daya alam berupa tumbuh-tumbuhan yang khas dan unik. Tumbuhan tersebut sering kita jumpai di kolam dan perairan, contohnya Teratai, Eceng Gondok dan Talas. Tumbuhan ini memiliki permukaan daun yang kasar sehingga daun tersebut tidak dapat basah dan menyerap air yang ada di atasnya. Air tersebut akan menggelinding di permukaan daun sehingga dapat mengambil debu, kotoran dan serangga yang menempel membuat permukaan daun menjadi bersih. Dengan adanya ciri seperti ini maka daun tersebut memiliki sifat *self cleaning* (membersihkan diri sendiri) dan *hydrophobic* (anti air).

Menurut penelitian (Hassan Hasrawati Abu, Mariyam Jameelah Ghazali, 2017), selain pada daun teratai daun pisang juga bersifat *hydrophobic* karena memiliki lapisan lilin pada permukaannya, dimana lapisan lilin yang terdapat pada daun pisang memiliki sudut kontak lebih tinggi dari 90° . Selain lapisan lilin, morfologi, takar lebur dan sudut kontak pada permukaan daun sangat penting dalam menentukan pencirian *hydrophobic* sekaligus menjadi titik permulaan untuk kajian yang lebih mendalam dalam bidang biomimetik. Karakteristik lapisan yang bersifat *hydrophobic* diantaranya memiliki sifat anti basah atau anti air, senantiasa terlihat bersih, memiliki sudut kontak besar dari 90° dan memiliki kekasaran permukaan yang besar.

Aplikasi material *hydrophobic* salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan bahan nanokomposit silika pada media kaca. Kaca merupakan material secara luas yang digunakan pada berbagai bidang seperti konstruksi dan bangunan, industry otomotif, peralatan biomedis, transportasi dan panel sel surya. Kaca seringkali dipasang pada lokasi yang sulit dijangkau sehingga muncul suatu kendala dalam hal perawatan kaca. Maraknya pembangunan gedung-gedung bertingkat berbasis kaca juga mendorong kebutuhan terhadap kaca *self-cleaning* yang terus meningkat. Pemenuhan kebutuhan terhadap kaca *self-cleaning* bertujuan untuk memudahkan pekerjaan, mengurangi biaya dan mencegah terjadinya resiko kecelakaan kerja pada saat pembersihan kaca (Kartini et al., 2018).

Berdasarkan penelitian (Wardani & Zainuri, 2019), pembuatan lapisan *hydrophobic* dengan bahan pasir silika dan TEOS dengan pelapisan menggunakan metode *dip-coating*. Sudut kontak yang didapatkan sebesar 93° pada temperatur 120°C selama 4 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tersebut bersifat *hydrophobic*. Pada penelitian ini hanya menetapkan 1 temperatur dengan pemberian massa yang bervariasi. Selain itu pada penelitian (Widiarti, Endah, & Rahayu, 2018), sintesis silika (SiO_2) termodifikasi dengan TiO_2 *nanorod* dengan pelapisan menggunakan metode sol-gel yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap karakteristik sudut kontak pada cat akrilik. Pada penelitian ini dimana temperatur kalsinasi yang digunakan adalah 250°C , 350°C , dan 450°C dengan sudut kontak yang didapatkan sebesar $86,28^\circ$, $86,68^\circ$ dan $88,88^\circ$. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tersebut belum bersifat *hydrophobic* (Widiarti et al., 2018).

Pada penelitian (Ratna, Pambudi, & Zainuri, 2016), pelapisan *hydrophobic* diaplikasikan pada plat aluminium yang menggunakan bahan nanosilika. Silika diperoleh dari material sintetik yaitu TEOS (*Tetraethyl Orthosilicate*) yang disintesis dengan campuran cat. Pelapisan *hydrophobic* pada plat aluminium diperoleh menggunakan metode sol-gel. Hasil sudut kontak yang didapatkan secara berturut-turut adalah 90,710°, 82,750°, 91,100° dan 91,990°.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, belum terdapat adanya pengujian terhadap sifat *hydrophobic* menggunakan nanokomposit silika dengan matriks polietilen. Selain itu sudut kontak yang didapatkan dengan memvariasikan temperatur kalsinasi masih sangat rendah. Untuk memecahkan persoalan dari riset yang telah dilakukan terdahulu, dalam penelitian ini akan disintesis nanokomposit silika/ polietilen dengan temperatur kalsinasi 30°C, 60°C, 90°C, 120°C, 150°C dan 180°C selama 1 jam. Temperatur ini digunakan agar matriks yang digunakan berupa polietilen dengan titik leleh 135°C tidak meleleh. Oleh sebab itu, peneliti tertarik untuk membuat lapisan *hydrophobic* seperti yang ditunjukkan oleh fenomena daun teratai dengan bahan alami berupa pasir silika alam. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk pengisian partikel yaitu metode *spin coating*. Metode ini dipilih karena *spin coating* dapat menghasilkan lapisan tipis yang rata, cara kerja yang mudah, dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap sudut kontak dan ukuran butir dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/ polietilen. Oleh karena itu peneliti mengangkat judul mengenai “Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydrophobic* Dari Lapisan Nanokomposit Silika/ Polietilen”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Bagaimana ukuran kristal dan struktur kristal yang terdapat pada pasir silika?
2. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sudut kontak dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika /polietilen?
3. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap morfologi dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/polietilen?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah dan mengingat luasnya cakupan penelitian ini, maka peneliti akan memfokuskan permasalahan menjadi :

1. Pasir silika yang digunakan berasal dari daerah Ngarai Sianok Sumatera Barat.
2. Pasir silika yang digunakan sebanyak 0,2 gram dan polietilen sebanyak 0,5 gram
3. Temperatur kalsinasi SiO_2 yang digunakan adalah 30°C , 60°C , 90°C , 120°C , 150°C dan 180°C
4. Waktu kalsinasi digunakan selama 1 jam
5. Metode pelapisan yang digunakan adalah metode *spincoating*

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menyelidiki ukuran kristal dan struktur kristal yang terdapat pada pasir silika
2. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sudut kontak dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/polietilen

3. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/ polietilen

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian fisika.
2. Mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sifat *hydrophobic* dari lapisan nanokomposit silika/polietilen
3. Menambah pengetahuan dan memperluas wawasan pembaca dalam bidang kajian material serta dalam pengembangan aplikasinya dalam berbagai bidang.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Pasir Silika

Pasir silika atau pasir kuarsa yang juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang diendapkan ditepi-tepi sungai, danau atau laut. Di alam, pasir kuarsa ditemukan dengan kemurnian yang bervariasi bergantung kepada proses terbentuknya disamping adanya material lain yang ikut selama proses pengendapan. Material pengotor tersebut bersifat sebagai pemberi warna pada pasir kuarsa, dan dari warna tersebut dapat diperkirakan derajat kemurniannya.

Pasir silika yang terdapat di alam umumnya berwarna putih kekuningan. Mineral-mineral oksida yang terkandung di dalamnya yaitu SiO_2 , MgO , ZnO , Al_2O_3 , TiO_2 . Pada umumnya mineral terbanyak yang terdapat pada pasir tersebut berupa silika (SiO_2) (Munasir, Triwikantoro, Darminto, & Zainuri, 2013). Pasir silika tersebut sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia baik secara langsung maupun digunakan dalam bentuk olahan (nanopartikel). Nanopartikel silika memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki ketahanan panas yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai prekursor katalis, adsorben dan filter komposit (Hartono Sandy Budi, Lannie Hadisoewignyo, 2017). Pada umumnya, pasir kuarsa di alam ditemukan dengan ukuran butir bervariasi dalam distribusi yang melebar, mulai dari fraksi halus (0,06 mm) sampai dengan ukuran kasar (2 mm) (Prayogo & Budiman, 2009). Bentuk pasir silika ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pasir Silika (sumber: Doc. Peneliti)

Silika secara alami terkandung dalam pasir, kerikil, dan batu-batuan. Serbuk silika diperoleh dari pasir alam dengan metode kopresipitasi seperti yang diperoleh di daerah Pantai Bancar, Tuban, Jawa Timur (Hadi, Munasir, & Triwikantoro, 2016). Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kandungan silika menggunakan metode kopresipitasi dengan presentase tertinggi kandungan SiO_2 sebesar 75,702% pada pH 7 dengan molaritas NaOH 7 M. Pemanfaatan silika juga sering digunakan sebagai adsorben, media filter dan komponen katalisator. Silika merupakan bahan baku utama pada *glass industry*, keramik, untuk produksi larutan silikat, silikon dan *alloy*.

Pada dunia industri penggunaan silika gel sudah sangat luas, silika gel merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik dan film sekalipun. Produk anti lembab ini menyerap lembab tanpa merubah kondisi zat nya. Selain itu, silika dapat pula didapatkan melalui proses ekstraksi dari sekam padi dan daun bambu. Sekam padi dari tempat penggilingan padi di desa Kejawan, Kecamatan Tegowanu, Kabupaten Gramobogan, Jawa Tengah mempunyai kadar silika yang cukup tinggi mempunyai fase amorf dan kemurnian sekitar 87-97%, sehingga cukup layak untuk dikembangkan dalam pengembangan material berbasis silika nabati

(Handayani, Nurjanah, & Rengga, 2015). Secara umum komposisi kimia pasir silika di Indonesia ditunjukkan Pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Pasir Silika Indonesia

Komposisi	Kimia Prosentase
SiO ₂	55,30–99,87 %
Fe ₂ O ₃	0,01–9,14 %
Al ₂ O ₃	0,01–18,00 %
TiO ₂	0,01–0,49 %
CaO	0,01–3,24 %
MgO	0,01–0,26 %
K ₂ O	0,01–17,00 %

Sumber : (Prayogo & Budiman, 2009)

Selain komposisi kimia, pasir silika di Indonesia juga memiliki sifat fisik.

Sifat fisik pasir silika Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisik Pasir Silika Indonesia

Sifat Fisik	Deskripsi
Warna	Putih bening atau lain tergantung pada senyawa pengotornya, misal kuning mengandung Fe-oksida, merah mengandung Cuoksida.
Kekerasan	7 (Skala Mohs)
Berat Jenis	2,65
Titik Lebur	± 1715°C
Bentuk Kristal	Hexagonal
Panas spesifik	0,185
Konduktivitas Panas	12 – 100°C

(Sumber : Prayogo and Budiman 2009)

B. Nanopartikel

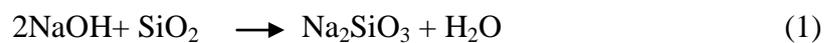
Nanopartikel didefinisikan sebagai partikulat yang terdispersi atau partikel-partikel padatan dengan ukuran butir berkisar 10- 100 nm. Saat ini nanoteknologi sangat penting dalam dunia materi rekayasa. Mengintegrasikan fungsi suatu mesin atau produk dalam ukuran yang lebih kecil berarti tidak hanya mengubah bentuk menjadi ringan, tetapi juga meminimalkan energi yang dibutuhkan dan mempercepat proses serta menghemat biaya pekerjaan. Salah satu aplikasinya

adalah sintesis limbah kulit rotan dalam bentuk nanopartikel pada aplikasi *bionanocomposite* menggunakan *High Energy Milling* (HEM) (Ferdiyan & Nikmatin, 2012). Nanopartikel dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang, diantaranya bidang kedokteran, industri, elektronik, konveksi dan lainnya.

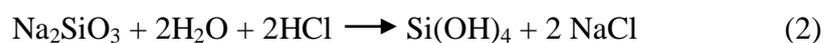
Dalam bidang kedokteran nanopartikel dimanfaatkan dalam pembuatan obat, dalam bidang industri mobil dimanfaatkan dalam pembuatan kaca dan cat mobil, dalam bidang elektronik dimanfaatkan dalam pembuatan prosesor sedangkan dalam bidang konveksi antara lain tahan terhadap air, kotoran dan bau.

Ada dua hal utama yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar yaitu karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif. Reaktivitas material ditentukan oleh atom-atom dipermukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang bersentuhan langsung dengan material lain dan yang kedua ketika ukuran butir menuju orde nanometer, hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum-hukum fisika kuantum. Pengurangan ukuran butir menjadi nanopartikel merupakan langkah penting dalam banyak operasi teknologi. Proses itu sendiri didefinisikan sebagai pemecahan mekanis padatan menjadi partikel yang lebih kecil tanpa mengubah keadaan bahan. Perubahan nanopartikel bahan dapat meningkatkan luas permukaan dan menginduksi cacat pada padatan yang diperlukan untuk operasi selanjutnya seperti reaksi kimia, penyerapan, dan lainnya. Nanopartikel dapat digunakan sebagai material *hydrophobic* yang digunakan untuk melapisi bahan sehingga merubah sifat permukaan bahan tersebut.

Pada penelitian (Fauziah, 2015), perubahan ukuran nanopartikel dengan menggunakan metode sintesis alkali fusion yang meliputi proses hidrotermal dan kopresipitasi. Proses hidrotermal merupakan salah satu metode untuk mendapatkan material anorganik nanokristal. Metode sintesis ini menggunakan kelarutan dalam air, dimana hampir semua kandungan anorganik pada temperatur dan tekanan tertentu terlarut dalam fluida. Air yang dipanaskan memiliki peran penting dalam transformasi prekursor yang digunakan. Prinsip metode alkali fusion adalah membongkar ikatan kimia dalambahan dengan menggunakan senyawa alkali seperti KOH, NaOH, Na₂CO₃ dan kemudian mengikat silika. Dalam proses ekstraksi silika, ada tiga tahapan. Pertama, preparasi natrium silikat (Na₂SiO₃) dari pasir yang mengandung silika dengan menggunakan NaOH. Selama proses alkali fusion terjadi reaksi:



Dari reaksi di atas, terbentuk natrium silikat yang mudah larut dalam air. Kemudian natrium silikat dilarutkan dengan menambahkan air dan mengaduknya. Tahapan kedua adalah melakukan preparasi silicic acid, Si(OH)₄. Pada tahapan ini, larutan natrium silikat direaksikan dengan asam kuat (HCl) hingga terbentuk endapan. Reaksi yang terjadi:



Karena Si(OH)₄ tidak bisa larut dalam asam kuat seperti HCl, HNO₃, H₂SO₄ maka endapan Si(OH)₄ dapat dipisahkan dari larutannya (yang diperoleh dari reaksi 2) dengan melakukan penyaringan. Tahap ketiga adalah preparasi SiO₂ dengan memanaskan Si(OH)₄. Pada tahapan ini, reaksi yang terjadi:



Seiring berjalannya waktu telah dikembangkan alat untuk menghasilkan material dalam ukuran nano yang disebut dengan *Ball Mill*. Alat *High Energy Milling Ellipse 3D Motion* (HEM-E 3D) adalah teknik yang menggunakan energi tumbukkan antara bola-bola penghancur dan dinding *chamber* yang diputar dan digerakkan. Dengan adanya alat ini akan semakin mempermudah untuk menjadikan silika dalam bentuk nanopartikel (Zahara, Fauzi, & Fisika, 2016).

Alat HEM-3D yang digunakan untuk mengubah material menjadi struktur nanopartikel dapat dilihat pada Gambar 2.

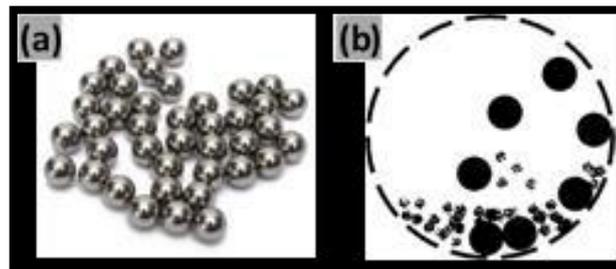


Gambar 2. Alat HEM-3D (Sumber : Doc. Peneliti)

Proses pembentukan material nanopartikel menggunakan HEM-3D dipengaruhi oleh bola-bola milling. Saat dua bola bertumbukan ada serbuk dalam jumlah kecil yang terjebak di antara kedua bola tersebut, dan hal tersebut terjadi berulang ulang. Selama proses *mechanical alloying*, partikel campuran serbuk akan mengalami proses pengelasan dingin dan penghancuran berulang ulang. Ketika bola saling bertumbukan sejumlah serbuk akan terjebak di antara kedua bola tersebut. Beban impact yang di berikan oleh bola tersebut akan membuat serbuk terdeformasi dan akhirnya hancur. Permukaan partikel serbuk campuran yang baru terbentuk memungkinkan terjadinya proses pengelasan dingin kembali

antara sesama partikel sehingga membentuk partikel baru yang ukurannya lebih besar dari ukuran semula. Kemudian partikel tersebut akan kembali mengalami tumbukan dan akhirnya kembali hancur, begitu seterusnya hingga mencapai ukuran yang nanopartikel (Simanjuntak Budi Amin, 2012).

Mekanisme terjadinya tumbukan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Terjadinya Tumbukan. (a) *Steel Ball* (b) Sistem *Mechanical Steel Ball Milling* Sumber : (Simanjuntak Budi Amin, 2012)

C. Nanokomposit

1. Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (Sudirman, Aloma Karo Karo, Ari H, 2004). Penyusun komposit terdiri dari matriks dan penguat.

a. Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan dan tetap stabil setelah proses manufaktur. Matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan

polimer, logam, maupun keramik yang secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit (Hilmi & Pratapa, 2016). Aplikasi matriks polimer nano-komposit untuk kemasan pangan dimulai sejak serat selulosa diketahui sebagai senyawa polimer alami yang tinggi kekuatannya. Disamping itu, selulosa mempunyai keunggulan, yaitu : murah atau kompetitif, mudah diperoleh, ramah lingkungan dan menggunakan energi yang rendah dalam proses pembuatannya (Maharani & Cahyaningrum, 2012). Proses dan teknologi pembuatan komposit nano matriks polimer sendiri pada prinsipnya berdasarkan 2 jenis penguatan kembali nano (*nano-reinforcements*), yakni serat selulosa-mikrofibril dan serat rambut atau *whisker*. Hal ini disebabkan karena penguatan kembali nano serat selulosa dilaporkan telah dapat menghasilkan pengaruh yang sangat besar terhadap perbaikan sifat modulus matriks polimer. Bahkan serat selulosa sangat efektif untuk memperbaiki sifat modulus dan kekuatan polimer, khususnya pada temperatur di atas temperatur transisi gelas dari matriks polimer yang bersangkutan.

b. Penguat

Penguat adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit. Penguat yang digunakan pada penelitian ini adalah silika, sedangkan matriks yang digunakan adalah Polietilen sehingga sifat komposit merupakan paduan dari matriks dan penguat (Sudirman, Aloma Karo Karo, Ari H, 2004). Bahan komposit tidak akan mengubah struktur mikro dari bahan pembentuknya (dalam orde kristalin), tetapi secara keseluruhan material komposit memiliki sifat yang berbeda dari bahan dasarnya, karena adanya ikatan antar permukaan

di antara matriks dan pengisi. Bahan pengisi atau penguat yang digunakan dalam pembuatan matriks polimer nanokomposit dapat mencakup tanah liat (*clay*) dan platelet silikat nano, partikel silika (SiO_2) (Sudiby, 2013).

2. Nanokomposit

Nanokomposit merupakan struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit memainkan peranan penting pada peningkatan dan pembatasan sifat material. Partikel-partikel yang berukuran nano tersebut memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin kuat pula material. Inilah yang membuat ikatan antar partikel semakin kuat sehingga sifat mekanik material bertambah (Marlina & Rahmani, 2012).

Nanokomposit dapat dianggap sebagai struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan inorganik yang tersusun atas komponen organik. Selain itu, material nanokomposit dapat pula terdiri atas dua atau lebih molekul inorganik/organik dalam beberapa bentuk kombinasi dengan pembatas antar keduanya minimal satu molekul atau memiliki ciri berukuran nano. Salah satu riset berskala nano yang mempunyai aplikasi yang luas dan banyak yaitu material nanokomposit.

Beberapa jenis partikel nano yang dipadukan dan diintegrasikan dalam matriks polimer nano-komposit dapat dimanfaatkan sebagai penyedia bahan aktif dan/atau sebagai bahan yang memiliki sifat "cerdas" atau "smart" dalam susunan materi kemasan pangan, seperti : sebagai bahan kemasan antimikroba,

perintang/penghambat masuknya gas oksigen ke dalam kemasan pangan, sebagai alat sensor terhadap keberadaan gas O₂ dan sebagai pendeteksi gas serta sebagai indikator adanya kerusakan pangan akibat terpaparnya gas oksigen. Namun, hingga kini masih menyisakan persoalan/permasalahan penting yang perlu diperhatikan dan dikaji dalam penerapan teknologi nano khususnya pada penerapan polimer nano-komposit untuk kemasan pangan, yaitu masalah keamanannya. Di satu sisi, sifat-sifat dan keamanan materi/bahan dalam bentuk kamba (*bulk*) telah diketahui dengan baik dan jelas, di sisi lain, bahan/material berukuran nano kadang-kadang dapat memunculkan sifat-sifat yang berbeda dengan sifat bahan dalam bentuk skala makronya sehingga menimbulkan kekuatiran bahwa bahan dalam bentuk berukuran nano tersebut akan mudah/bebas bergerak dalam tubuh; sedangkan bahan dalam ukuran nano mempunyai permukaan yang lebih luas dapat meningkatkan sifat reaktifitas bahan tersebut meskipun mereka dalam bentuk kumpulan agregat yang besar pada kondisi umumnya. Disamping itu, masih terbatasnya data ilmiah yang diperlukan tentang informasi migrasi struktur nano dari bahan kemasan ke dalam bahan pangan. Oleh karena itu, penelitian yang lebih mendalam dan rinci untuk mengevaluasi potensi toksisitas produk teknologi nano seperti halnya keamanan lingkungan penggunaannya masih diperlukan. (Sudibyo, 2013)

D. Polietilen

Polietilen adalah suatu bahan yang termasuk dalam golongan polimer, dalam bahasa komersial lebih dikenal dengan nama plastik karena bahan tersebut bersifat termoplastik. Jika polietilen diradiasi, maka bahan tersebut akan mengalami

perubahan strukturnya, yang pada umumnya akan terjadi perubahan sifat-sifat fisisnya. Polietilen merupakan polimer sintetik dari oksietilen dengan rumus struktur $(C_2H_4)_n$, dimana n adalah jumlah rata-rata gugus oksietilen. Penggunaan polimer sebagai matriks memberikan keuntungan dalam proses pembuatannya yang mudah karena mempunyai kerapatan yang rendah. Polimer-polimer yang sering digunakan sebagai matriks adalah polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS), dan sebagainya (Siregar, 2017). Polietilen telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi diantaranya polietilen glikol digunakan sebagai polimer karbon komposit berfungsi sebagai sensor gas (Gunawan & Azhari, 1979).

E. Sifat *Hydrophobic*

Hydrophobic berasal dari dua kata, yaitu *hydro* berarti air dan *phobic* yang asal katanya dari *phobia* berarti takut atau anti merupakan istilah yang biasa digunakan untuk menyatakan permukaan anti/takut terhadap air. Butiran air yang menggelinding ke permukaan mampu mengangkat partikel kotor yang menempel, oleh karena itu daun mampu membersihkan dirinya sendiri. Bentuk butiran *hydrophobic* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk butiran *Hydrophobic* (Simpson, Hunter, & Aytug, 2015)

Sifat *hydrophobic* pada daun teratai memiliki permukaan yang kasar yang menyebabkan air yang jatuh di permukaannya akan menggelinding. Pada umumnya sifat *hydrophobic* dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan dan sudut kontak. Selain itu sifat *hydrophobic* juga dipengaruhi oleh viskositas zat cair. Viskositas atau kekentalan zat cair merupakan gaya gesek antara molekul-molekul penyusun suatu cairan. Pada zat cair, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Sesuai kajian ilmu dalam bidang biofisika dapat terlihat bahwa kekentalan atau viskositas cairan berpengaruh terhadap sifat *hydrophobic* daun. Pengaruh viskositas terhadap sifat *hydrophobic* adalah semakin kecil viskositas fluida yang ditetaskan maka daun memiliki sudut kontak yang semakin besar, sebaliknya semakin besar viskositas fluida yang ditetaskan maka daun memiliki sudut kontak yang semakin kecil. Besarnya sudut kontak ini menyatakan daun bersifat *hydrophobic*. Semakin tinggi sudut kontak maka semakin tinggi hidrofobisitas permukaan. Permukaan dengan sudut kontak $<90^\circ$ dinamakan sebagai *hydrophilic* dan permukaan dengan sudut $>90^\circ$ sebagai *hydrophobic* (Gusrita & Gusnedi, 2014).

Molekul *hydrophobic* cenderung nonpolar sedangkan molekul air bersifat polar. Molekul *hydrophobic* dalam air sering berkumpul bersama, membentuk misel. Air pada permukaan *hydrophobic* akan menunjukkan sudut kontak yang tinggi. Sudut kontak juga dipengaruhi oleh kekasaran pada permukaan lapisan. Struktur permukaan pada daun teratai memiliki dua tingkatan kekasaran, (dalam skala mikro dan nano) yang mampu memperangkap udara dibawah tetesan air sehingga dapat menyebabkan tetesan air bergulir dan inilah karakteristik permukaan super-hidrofobik yang baik.

F. Aplikasi Pemanfaatan Sifat *Hydrophobic*

Aplikasi sifat *hydrophobic* telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang industri tekstil. Pada hasil analisis tekstil menggunakan kain atau kapas dengan material superhidrofobik terdapat lubang antar tenunan, sehingga memungkinkan udara masuk. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tekstil kapas setelah perlakuan dengan material superhidrofobik dapat digunakan sebagai material tekstil (Fachrirozi, 2009).

Pada penelitian Muslim (2018), aplikasi sifat *hydrophobic* juga diterapkan pada kain seperti kain kapas, sutera dan poliamida. Kain yang akan diproses telah melalui proses *pretreatment* meliputi *scouring* dan *bleaching*. Proses pelapisan larutan pada kain dilakukan dengan metoda *pad-dry-cure* (Muslim, Safrihatini, & Aini, 2018). Selain itu teknologi self cleaning banyak dimanfaatkan sebagai pelapis permukaan seperti kaca, bangunan, tekstil, keramik, dan sebagainya. Teknologi self cleaning dapat mempermudah perawatan sehingga biayanya jadi lebih murah. Salah satu contoh aplikasi *self cleaning* yang digunakan pada kaca mobil dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Aplikasi *self cleaning* (a) Kaca mobil yang tidak dilapisi lapisan *hydrophobic* (b) Kaca mobil yang telah dilapisi lapisan *hydrophobic* (Putri, Ratnawulan, & Ramli, 2018)

Selain pada kain dan kaca, aplikasi *hydrophobic* juga dilakukan pada cat akrilik. Hasil uji hidrofobisitas nanosilika pada aplikasi cat akrilik menunjukkan

bahwa semakin banyak jumlah nanosilika dalam cat akrilik membuat hidrofobitas semakin meningkat dibandingkan dengan cat yang tanpa penambahan nanosilika yaitu $95,63^\circ$. Pada penelitian Wenten (2015), menjelaskan bahwa aplikasi sifat *hydrophobic* lainnya dapat digunakan pada mesin pemisah minyak dan air. Dimana pada keramik mesin ini dilapisi dengan membran *hydrophobic* yang menyebabkan keramik mesin dapat memisahkan minyak dan air. Hasil pemisahan minyak dan air dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 . Membran *Hydrophobic* Pada Pemisahan Minyak dan Air (Wenten, 2015)

Pada Gambar 6. Pemurnian minyak pelumas bekas dapat dilakukan dengan teknologi membran. Padatan serta pengotor lainnya terejeksi, sedangkan minyak beserta beberapa aditif dapat melewati membran. Hasilnya, minyak pelumas jernih didapatkan dengan kualitas seperti minyak baru. Untuk proses ini, membran keramik bersifat hidrofobik digunakan pada temperatur tinggi sehingga minyak pelumas bekas yang baru digunakan dapat langsung diproses. Selain itu, hal-hal tersebut meningkatkan fluks sehingga proses lebih ekonomis (Wenten, 2015).

G. Faktor yang Mempengaruhi Sifat *Hydrophobic*

1. Adhesi dan Kohesi

Permukaan cairan yang terdapat dalam suatu pipa gelas yang penampangnya kecil, misalnya pipa kapiler dengan bahan utama SiO_2 , bisa cekung atau cembung. Air yang terdapat dalam pipa kapiler dari gelas permukaannya cekung, sedangkan raksa permukaannya cembung. Molekul-molekul air yang menempel pada pipa kapiler melalui atom hidrogennya membentuk ikatan hydrogen antar molekul dengan atom-atom oksigen dari SiO_2 yang terdapat pada pipa kapiler. Gaya ikat yang terjadi dikenal sebagai adhesi (*adhesion*) karena terjadi antara molekul-molekul yang berbeda. Di samping itu, molekul-molekul air tersebut juga mengadakan ikatan hidrogen antar molekul dengan molekul-molekul air yang tidak menempel pada dinding pipa kapiler. Gaya ikat yang terjadi dikenal sebagai kohesi (*cohesion*), karena terjadi antara molekul-molekul sejenis. Karena adhesi lebih kuat dari pada kohesi, maka permukaan air dalam pipa kapiler menjadi cekung. Atom atom raksa yang dekat dengan pipa kapiler mengadakan gaya tarik dengan SiO_2 dari pipa kapiler yang disebut adhesi (Janjua et al., 2016).

Di samping itu, atom-atom raksa tersebut mengadakan gaya London dengan atom-atom raksa yang tidak menempel pada dinding kapiler. Gaya tarik ini disebut dengan kohesi. Karena adhesi lebih lemah dibandingkan kohesi maka permukaan raksa dalam pipa kapiler menjadi cembung. Tetesan cairan murni di atas permukaan padatan dapat menunjukkan gaya adhesi antara cairan dan permukaan padatan yang mengakibatkan penyebaran cairan (pembasahan) dan gaya kohesi antar molekul cairan yang meniadakan penyebaran cairan.

Pada cairan yang bersifat polar akan membentuk sudut kontak apabila diteteskan di atas padatan yang bersifat non-polar. Apabila cairan polar diteteskan di atas plat yang bersifat polar, maka sudut kontak tidak akan terbentuk. Sudut kontak tersebut dapat terjadi karena adanya gaya adhesi antara padatan dengan cairan dan gaya kohesi antar molekul cairan. Semakin kecil sudut kontak yang diperoleh, maka gaya adhesi semakin besar. Semakin besar sudut kontak yang diperoleh, maka gaya kohesi semakin besar (Putri et al., 2018).

2. Tegangan Permukaan

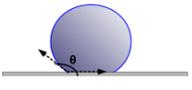
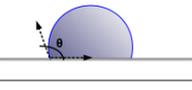
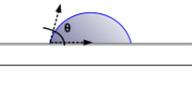
Tegangan permukaan zat cair merupakan kecenderungan permukaan zat cair untuk menegang, sehingga permukaannya seperti ditutupi oleh suatu lapisan elastic. Selain itu, tegangan permukaan juga diartikan sebagai suatu kemampuan atau kecenderungan zat cair untuk selalu menuju ke keadaan yang luas permukaannya lebih kecil yaitu permukaan datar atau bulat seperti bola atau ringkasnya didefinisikan sebagai usaha yang membentuk luas permukaan baru. Dengan sifat tersebut zat cair mampu untuk menahan benda-benda kecil di permukaannya. Seperti silet, berat silet menyebabkan permukaan zat cair sedikit melengkung ke bawah tampak silet itu berada. Lengkungan itu memperluas permukaan zat cair namun zat cair dengan tegangan permukaannya berusaha mempertahankan luas permukaan-nya sekecil mungkin.

Beberapa gejala tegangan permukaan yang sering kita jumpai adalah pada sebuah pipet (penetes obat cair) akan mengeluarkan fluida setetes demi setetes dan tidak mengalir, sebatang jarum yang diletakkan dipermukaan air tidak akan tenggelam dan alat yang hinggap pada permukaan airpun tidak tenggelam (Gede Arya Wiguna, 2018). Tegangan permukaan zat cair pada pipa kapiler dipengaruhi

oleh adhesi dan kohesi. Adhesi menyebabkan zat cair yang dekat dengan dinding naik. Sedangkan kohesi menyebabkan zat cair yang ada di tengah ikut naik. Tegangan permukaan suatu cairan berhubungan dengan garis gaya tegang yang dimiliki permukaan cairan tersebut. Gaya tegang ini berasal dari gaya tarik kohesi (gaya tarik antara molekul sejenis) molekul-molekul cairan.

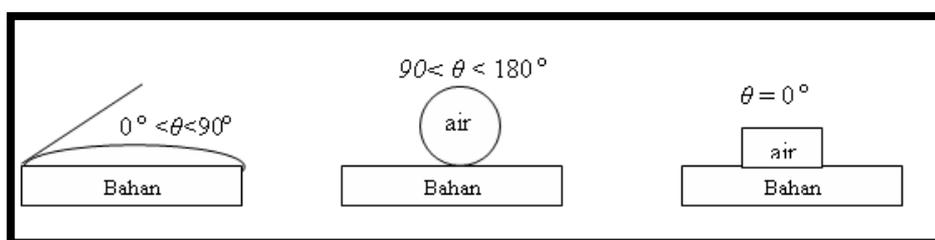
3. Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pada saat cairan diteteskan di atas permukaan suatu padatan, maka dalam beberapa saat cairan akan setimbang. Keadaan setimbang tersebut menyebabkan terbentuknya sebuah sudut θ , yang disebut sebagai sudut kontak. Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk dari dua garis, dimana garis pertama adalah garis batas antara udara dan zat cair yang diteteskan dan garis kedua merupakan batas yang terbentuk antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Pengukuran ini menggunakan tetesan air $50 \mu\text{l}$ yang diteteskan pada permukaan bahan. Profil tetesan air itu diambil 2 menit setelah air diteteskan pada permukaan bahan. Bentuk lapisan dan sudut kontak ditunjukkan pada Gambar 7.

Surface	Contact Angle	Figure
Superhydrophobic	>160	
Hydrophobic	>90	
Hydrophilic	<90	
Superhydrophilic	~ 0	

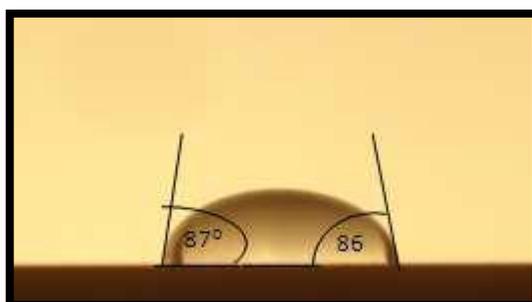
Gambar 7. Bentuk lapisan dan sudut kontak (Rios, 2011)

Para peneliti telah berhasil mengklasifikasikan sudut kontak dalam tiga kelompok yaitu untuk sudut lebih kecil dari ($< 90^\circ$) maka bahan tersebut bersifat basah (*hidrofilik*), sudut kontak antara 90° - 150° disebut bahan anti air (*hydrophobic*), dan sudut kontak lebih dari ($>150^\circ$) disebut *superhydrophobic* atau bersifat menolak air. Cairan yang digunakan untuk mengukur sudut kontak adalah air. Cara klasifikasi sudut kontak terhadap bahan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Klasifikasi sudut kontak (a) basah sebagian (b) Tidak basah (c) Basah keseluruhan (Syakur, Novia, Sarjiya, & Berahim, 2011).

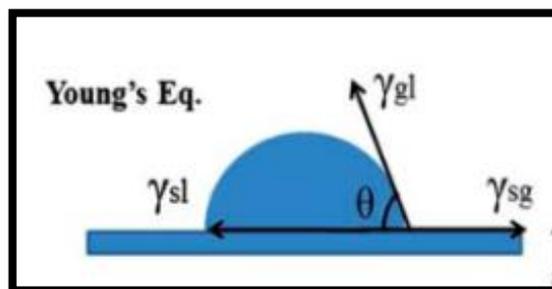
Berdasarkan Penelitian (Syakur et al., 2011), besarnya sudut kontak permukaan bahan terhadap tetesan cairan diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung melalui pemotretan kamera digital yang dihubungkan dengan komputer. Hasil pemotretan ditampilkan dalam bentuk ukur proyektor berskala, selanjutnya sudut kontak pada sisi kiri dan kanan sampel uji diukur dengan menggunakan busur derajat. Contoh perhitungan sudut kontak *hydrophobic* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengukuran sudut kontak (Syakur et al., 2011)

Berdasarkan Gambar 9. Didapatkan hasil pengukuran sudut kontaknya $<90^\circ$, maka dapat disimpulkan bahwa permukaan bahan uji ini bersifat hidrofilik, artinya dapat menyerap air.

Terdapat tiga model yang mampu menjelaskan analisa kebasahan suatu material, yaitu Model Young, Model Wenzel, dan Model Cassie-Baxter. Tingkat kebasahan pada suatu material sangatlah kompleks karena dipengaruhi oleh faktor kekasaran dan sifat kimianya, sehingga sudut kontak tidak bisa diasumsikan dengan model Young yang mengasumsikan air menetes pada permukaan yang halus dan datar secara sempurna, seperti Gambar 10.



Gambar 10. Ilustrasi model Young (Zhan & Chen, 2014).

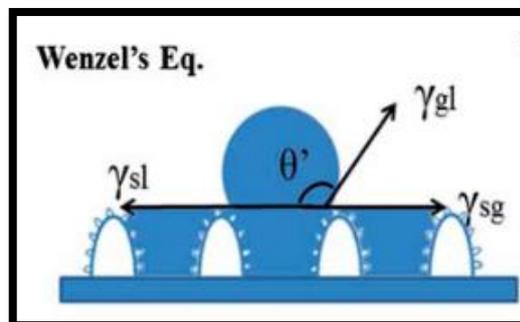
Model Young dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}} \quad (4)$$

Young mengilustrasikan sudut kontak pada permukaan datar dimana γ_{SA} dan γ_{SL} adalah tegangan permukaan solid-air dan solid-liquid, serta γ_{LA} adalah tegangan permukaan liquid-air. Pada permukaan *hydrophobic*, kekasaran permukaan akan mengakibatkan bertambah besarnya sudut kontak, sehingga permukaan akan semakin menolak air. Sedangkan pada permukaan *hydrophilic*, penambahan kekasaran hanya akan menyebabkan sudut kontak semakin menurun dan permukaan semakin mudah menyerap air. Dari persamaan Young diterapkan sistem cair-padat tertentu, tiga parameter termodinamika γ_{LV} , γ_{SV} , dan γ_{SL}

dapat menentukan sudut kontak tunggal dan unik θ_Y . Fenomena keterbasahan lebih dari sekedar keadaan statis. Cairan bergerak untuk mengekspos permukaan dan membasahi permukaan padatan. Pengukuran sudut kontak statis tunggal untuk mengkarakterisasi perilaku pembasahan sudah tidak memadai lagi. Jika garis kontak tiga fasa dapat bergerak, maka sudut kontak yang terbentuk disebut sudut kontak “dinamis” .

Model Wenzel menjelaskan mengenai kebasahan yang homogen dimana air akan memenuhi setiap lekukan permukaan kasar dan terjadi kontak antara air dan permukaan solid. Besar area kontak akan semakin berkurang seiring dengan bertambah kasarnya permukaan dan sudut kontak akan bertambah. Namun, hal ini bergantung pada sifat asli permukaan itu sendiri. Ilustrasi Model Wenzel ditunjukkan pada Gambar 11.



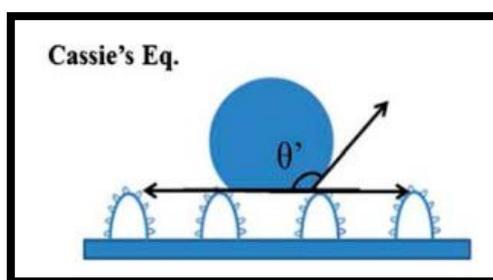
Gambar 11. Ilustrasi model Wenzel (Zhan & Chen, 2014).

Pada Gambar 11. dimana ilustrasi model Wenzel terdapat persamaan

$$\cos \theta_w = r \cos \theta \quad (5)$$

Salah satu ciri khas dari model Wenzel adalah asumsi *hydrophobic* yang disebabkan adanya kekasaran, sehingga persamaan untuk sudut kontak pada permukaan kasar model Wenzel, didapati faktor r “rasio kekasaran”.

Pada permodelan Cassie-Baxter sering disebut dengan model kantung udara dan memiliki tingkat kebasahan yang heterogen. Keadaan ini menjelaskan adanya udara yang terjebak pada saat air ditetaskan ke permukaan. Diasumsikan terdapat dua fase dalam aspek kebasahan Cassie-Baxter, yaitu fase *solid* (fase1) dimana terjadi interaksi antara *solid* dengan *liquid* dan fase udara (fase2) dimana terjadi interaksi antara udara dan *liquid*. Bentuk Ilustrasi Cassie-Baxter ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi model Cassie-Baxter(Zhan & Chen, 2014).

Pada Gambar 12. dimana ilustrasi model Wenzel terdapat persamaan:

$$\cos\theta_c = f_1 \cos\theta + f_2 - 1 \quad (6)$$

Jika f_1 sangat kecil, maka semakin banyak udara yang terjebak didalamnya dan $\cos\theta_c$ dapat mendekati -1 sehingga sudut kontak θ_c yang terbentuk adalah 180° sehingga pada pembentukan lapisan *hydrophobic* dengan menggunakan prekursor SiO_2 sebagai penguat dalam komposit matriks polimer. Sehingga dapat diamati bagaimana pengaruh temperatur perlakuan panas terhadap aspek kebasahan pada lapisan *hydrophobic*.

H. Temperatur Kalsinasi

Kalsinasi merupakan pemanasan serbuk yang dilakukan pada temperatur tinggi tetapi masih berada di bawah titik leleh. Kalsinasi dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk transformasi fasa. Kalsinasi pada struktur silika dapat

diuji dengan XRD Shimadzu 7000 dan AAS Shimadzu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemurnian silika sebelum dan sesudah diproses serta untuk mengetahui fase yang terbentuk.

Temperatur kalsinasi merupakan proses pembakaran tahap awal yang berupa reaksi dekomposisi secara endotermik. Kalsinasi berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida. Kalsinasi juga menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan seperti H_2O , air kristal (dalam bentuk OH) dan gas (CO_2). Selain itu kalsinasi merupakan perlakuan panas terhadap campuran serbuk yang sudah dipelet pada temperatur tertentu, tergantung pada jenis bahan. Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain: Pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar temperatur $100^{\circ}C$ hingga $300^{\circ}C$, pelepasan gas-gas seperti CO_2 berlangsung sekitar temperatur $600^{\circ}C$ dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti, pada temperatur lebih tinggi, sekitar $800^{\circ}C$ struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas.

Kalsinasi berbeda dengan sintering dan annealing. Kalsinasi adalah pemanasan material dengan atmosfer udara biasa atau oksigen. Biasanya tujuan dari kalsinasi adalah menghilangkan *volatile element*, dekomposisi panas (*thermal decomposition*) atau dapat juga untuk mendapatkan fasa baru dengan temperature 800° , 1000° dan 1200° (Latif, Triwikantoro, & Munasir, 2014). Sedangkan *annealing* adalah proses pemanasan material pada temperatur tinggi dengan atmosfer tertentu yang bertujuan merubah sifat-sifat dari material tersebut.

Contohnya *annealing* pada logam umumnya bertujuan untuk mendapatkan keuletan yang tinggi dengan cara mengurangi kekerasannya.

I. Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydrophobic*

Temperatur kalsinasi dapat mempengaruhi perubahan sudut kontak suatu bahan. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan *hydrophobic* atau *hydrophilic*. Berdasarkan penelitian (Irawati, A. F., & Zainuri, M., 2016), pengamatan sudut kontak pada lapisan yang diberi perlakuan panas pada temperatur 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C menggunakan *holding time* masing-masing satu jam memperlihatkan adanya perubahan besar sudut kontak. Pada suhu 100°C sudut kontak yang terbentuk adalah 100,2° tidak terlihat perubahan yang signifikan dari sudut kontak lapisan yang tidak diberi perlakuan panas, yaitu 100,1°. Pada suhu 100°C dan 200°C perubahan sudut kontak tidak terlalu besar, hanya sebesar 0,7°. Ini menunjukkan adanya ketahanan permukaan yang telah dilapisi terhadap suhu kisaran tersebut. Saat lapisan dipanaskan menggunakan suhu 300°C, perubahan sudut kontak mencapai 12,7°, yaitu sebesar 114,6°. Sedangkan sampel yang diberi perlakuan panas pada suhu 400°C mencapai sudut kontak yang tinggi, yaitu 126,4°. Hal ini terjadi karena adanya tingkat kekasaran yang tinggi.

Selain pada sudut kontak, temperatur kalsinasi juga sangat mempengaruhi morfologi pada permukaan bahan. Morfologi pada bahan dapat ditentukan menggunakan alat uji SEM. Berdasarkan citra SEM bahan akan mengalami aglomerasi sehingga mempunyai ukuran partikel yang cukup besar. Hal ini berpengaruh pada tingkat kekasaran dan sifat *hydrophobic* permukaan. Kekasaran yang tinggi menyebabkan sudut kontak semakin besar, sedangkan kekasaran yang

rendah menyebabkan sudut kontak semakin kecil. Menurut penelitian (Rozi, 2016), Peningkatan temperatur kalsinasi menyebabkan perubahan struktur permukaan partikel silika yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur kalsinasi yang digunakan maka partikel yang dihasilkan semakin mengalami penggumpalan.

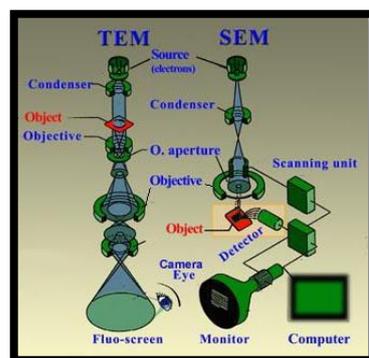
Selain itu perbedaan temperatur menyebabkan perubahan struktur kristal. Struktur kristal mengalami perubahan karena posisi atom-atom dapat berubah seiring dengan kenaikan temperatur. Struktur atom yang terbentuk semakin kuat sehingga kristalinitas silika yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan teori, semakin tinggi temperatur kalsinasi yang digunakan maka kristalinitas nanopartikel silika yang dihasilkan akan semakin tinggi.

J. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu sampel. SEM dimanfaatkan untuk melihat morfologi permukaan suatu sampel dan ukuran sampel. Hasil yang diperoleh berupa *scanning electron micrograph* yang memiliki bentuk tiga dimensi berupa foto. Biasanya SEM memiliki perbesaran 1.000 – 40.000 kali. Bagian utama dari SEM, yaitu penembak elektron, lensa magnetik dan lensa objektif, fine probe, detektor, spesimen, dan monitor CRT.

Penembak elektron berfungsi untuk menembakkan elektron ke sampel. Lensa magnetik dan lensa objektif berfungsi membengkokkan dan memfokuskan berkas elektron. *Fine probe* berfungsi membaca permukaan sampel. Detektor berfungsi menangkap hamburan elektron. *Speciment* berfungsi untuk meletakkan sampel yang akan diuji. Monitor *cathode ray tube (CRT)* berfungsi untuk mengamati

struktur sampel antara lain berupa topografi, morfologi, dan komposisi unsur atau senyawa yang terkandung di dalam objek. Berkas elektron yang dihasilkan oleh *electron gun* difokuskan pada ruang vakum sehingga membentuk *fine probe*. Berkas elektron dilewatkan melalui lensa magnetik dan lensa objektif. Lensa objektif berfungsi sebagai pembelok berkas elektron secara horisontal dan vertikal, sehingga berkas dapat membaca seluruh permukaan sampel. Berkas elektron yang sampai ke permukaan sampel mengalami interaksi dengan elektron pada permukaan sampel. Tumbukan elektron dengan permukaan sampel menghasilkan beberapa sinyal. Sinyal tersebut diantaranya *secondary electrons*, *backscattered electrons* (BSE) dan *diffracted backscattered electrons* (EBSD). *Secondary electrons* memberikan informasi morfologi dan topologi pada sampel. *Backscattered electrons* biasanya digunakan untuk memberikan gambaran kontras pada sampel. Selanjutnya, sinyal-sinyal tersebut diperkuat dan besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada monitor CRT. Pada layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar dapat diamati. Prinsip kerja SEM ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Prinsip Kerja SEM (Pratama, 2017)

SEM dipahami sebagai teknik yang sesuai yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia, ini ditandai dengan diberikannya penghargaan Nobel terhadap para penemunya, Ernst Ruska dan Max Knoll.

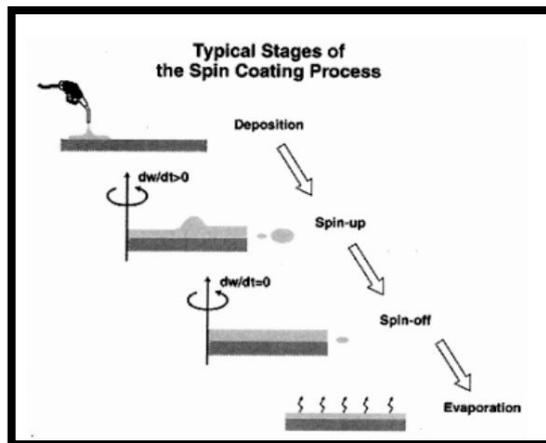
Identifikasi struktur mikro lapisan oksida dengan menggunakan SEM tidaklah sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi harus dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar. Proses pembentukan *image* pada alat ini merupakan proses fisika yang merupakan interaksi korpuskular antara elektron sumber dengan atom pada bahan. Meskipun sinyal data yang dihasilkan cukup kuat dibanding mikroskop optik atau XRD, tetapi karena seringkali obyek pengamatan yang terbilang kecil dan mengandung komponen non konduktif, seperti lapisan pasivasi oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Oleh karena itu SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, *bias* dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras, fokus dan *astigmatismus* yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda. Selain itu, proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis sampel. (Sujatno, Salam, Dimiyati, Sains, & Maju, 2015). Bentuk alat SEM yang biasa digunakan dalam pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Alat SEM (Doc: Laboratorium PPPG Bandung)

K. Metode *Spin Coating*

Spin coating merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat, kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis di atas substrat, atau disebut juga metode percepatan larutan untuk menyiapkan film tipis (Purwanto & Prajitno, 2013). Metode spin coating terdiri dari tiga fase yaitu spin-up, spin-off (aliran fluida), dan penguapan. Proses spin coating ini telah banyak digunakan dalam pembuatan sirkuit terintegrasi, cermin optik, layar televisi berwarna dan disk magnetik untuk penyimpanan data. Tahap-tahap pada metode spin coating ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Tahap-tahap penting dari proses pelapisan spin (Sahu, Parija, & Panigrahi, 2009).

Proses putaran pada metode spin coating terdiri dari 3 langkah penting, dimana pada langkah pertama yaitu langkah pengendapan dimana cairan resin disimpan ke permukaan substrat, langkah putaran dengan kecepatan tinggi untuk mengencerkan fluida, dan langkah pengeringan untuk menghilangkan pelarut berlebih dari film yang dihasilkan. Dua metode umum pengeluaran adalah pengeluaran statis, dan pengeluaran dinamis. Kecepatan putaran adalah salah satu faktor terpenting dalam pelapisan spin. Putaran kecepatan yang tinggi umumnya menentukan ketebalan film akhir. Ketebalan film sebagian besar merupakan keseimbangan antara gaya yang digunakan untuk menggeser resin fluida ke arah tepi substrat dan laju pengeringan, yang mempengaruhi viskositas resin. Saat resin mengering, viskositas meningkat sampai kekuatan radial dari proses putaran tidak lagi dapat memindahkan resin ke permukaan. Pada titik ini, ketebalan film tidak akan berkurang secara signifikan dengan meningkatnya waktu putaran.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Ukuran kristal nanosilika setelah di-*milling* selama 5 jam adalah 47,95 nm dan struktur kristal yang terdapat pada pasir silika yaitu heksagonal
2. Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sudut kontak dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/ polietilen adalah jika penggunaan temperatur kalsinasi 30°C - 90°C maka sudut kontak yang dihasilkan semakin meningkat. Namun jika temperatur kalsinasi 120°C - 180°C maka sudut kontak yang dihasilkan semakin menurun. Jadi sudut kontak yang memenuhi syarat sebagai lapisan *hydrophobic* terdapat pada temperatur kalsinasi 30°C - 90°C
3. Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir dari lapisan *hydrophobic* nanokomposit silika/ polietilen adalah jika penggunaan temperatur kalsinasi 30°C - 90°C maka ukuran butir yang terbentuk semakin mengecil. Namun jika penggunaan temperatur kalsinasi 120°C - 180°C maka ukuran butir yang terbentuk semakin membesar. Jadi ukuran butir yang memenuhi syarat sebagai lapisan *hydrophobic* terdapat pada temperatur kalsinasi 30°C - 90°C

B. Saran

Berdasarkan penelitian ini diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan temperatur kalsinasi antara 30°C - 90°C untuk mendapatkan sudut kontak yang lebih tinggi dan ukuran butir yang lebih kecil. Sehingga mampu menghasilkan lapisan nanokomposit yang bersifat *super hydrophobic*.