

**PENGARUH KOMPOSISI NANOKOMPOSIT SILIKA/POLIETILEN
TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DARI LAPISAN TIPIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains



**LATHIFA ZONESYA PUTRI
NIM. 15034066/2015**

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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Lathifa Zonesya Putri
NIM : 15034066
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PENGARUH KOMPOSISI NANOKOMPOSIT
SILIKA/POLIETILEN TERHADAP SIFAT
HIDROFOBİK DARI LAPISAN TIPIS**

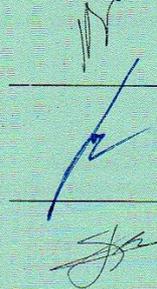
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

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

Tanda tangan



PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH KOMPOSISI NANOKOMPOSIT
SILIKA/POLIETILEN TERHADAP SIFAT
HIDROFOBİK DARI LAPISAN TİPIS**

Nama : Lathifa Zonesya Putri
NIM : 15034066
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

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Pengaruh Komposisi Nanokomposit Silika/Polietilen Terhadap Sifat Hidrofobik Dari Lapisan Tipis" adalah asli dari 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



Lathifa Zonesva Putri
Nim: 15034066

Pengaruh Komposisi Nanokomposit Silika/Polietilen terhadap Sifat Hidrofobik dari Lapisan Tipis

Lathifa Zonesya Putri

ABSTRAK

Penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi pasir silika yang berasal dari alam untuk diaplikasikan menjadi sifat hidrofobik pada permukaan kaca telah dilakukan. Namun dari penelitian tersebut belum didapatkan sifat hidrofobik yang optimum yaitu memiliki sudut kontak/sudut sentuh antara permukaan dengan air yang besar dari 100° . Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis komposisi nanokomposit silika/polietilen yang memiliki sudut kontak besar dari 100° .

Penelitian ini jenisnya adalah eksperimen, dimana pasir silika di *milling* selama 5 jam dengan alat *High Energy Milling* (HEM-E3D), setelah itu nanopartikel silika dimurnikan dan diuji *X-Ray Diffraction* (XRD). Kemudian membuat *precursor* nanokomposit silika/polietilen dengan variabel bebas merupakan komposisi silika sebanyak 5 variasi yaitu 0 gram, 0,1 gram, 0,2 gram, 0,3 gram dan 0,4 gram, serta menetapkan variabel kontrol yang digunakan yaitu komposisi polietilen sebanyak 0,5 gram untuk setiap variasi komposisi silika dan menetapkan pelarut yang digunakan sebanyak 10 ml lalu *precursor* yang dilapisi pada kaca untuk kemudian dikeringkan dengan temperature 60° . Kemudian variabel terikat yang didapatkan merupakan hasil karakterisasi struktur Kristal dan ukuran Kristal dari XRD, sudut kontak dari pengukuran dengan kamera D5200, dan morfologi lapisan dari karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Hasil dari penelitian ini adalah lapisan hidrofobik yang disintesis dari nanokomposit silika/polietilen memiliki ukuran partikel yang tidak jauh berbeda ketika komposisi dari nanokomposit divariasikan. Ukuran partikel pada morfologi lapisan tanpa kandungan silika adalah 507 nm dan sudut kontak yang dibentuk 58° , sedangkan ukuran partikel pada morfologi lapisan yang mengandung variasi komposisi silika 0,1 gram, 0,2 gram, 0,3 gram dan 0,4 gram adalah berturut-turut sebesar 148,22nm, 131,31 nm, 140,33 nm dan 228,15 nm sedangkan sudut kontak yang terbentuk berturut-turut 140° , 143° , 140° , dan 134° . Ukuran partikel dan sudut kontak terbaik didapat pada komposisi nanokomposit silika/polietilen bernilai 0,2 gram/0,5 gram.

Kata Kunci: Hidrofobik, Ukuran Partikel, Nanokomposit, Silika, Polietilen, Sudut Kontak

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul: **“PENGARUH KOMPOSISI NANOKOMPOSIT SILIKA / POLIETILEN TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DARI LAPISAN TIPIS”**. 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 (SiO_2/PS) dari Mineral Ekonomis Sumatera Barat Untuk Material Self Cleaning” berdasarkan surat penugasan pelaksanaan penelitian dengan nomor kontak 930/UN35.13/LT/2019.

Skripsi ini ditulis untuk menyelesaikan kuliah Penulis guna meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Fisika Non Kependidikan Universitas Negeri Padang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika dan pembimbing yang telah meluangkan waktu, mencurahkan pikiran, tenaga dan dana dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

2. Bapak Drs. Gusnedi M.Si selaku penguji I dan Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si selaku penguji II yang telah memberikan masukan, kritik dan saran demi kebaikan skripsi ini.
3. Ibu Syafriani S.Si, M.Si, Ph. D selaku Ketua Program Studi Fisika, FMIPA UNP dan Penasehat Akademik penulis.
4. Bapak Kepala Laboratorium Fisika dan Bapak Kepala Laboratorium Kimia beserta Staf yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam melaksanakan penelitian hingga selesai.
5. Rekan-rekan mahasiswa Fisika 2015 Universitas Negeri Padang yang juga telah memberikan masukan saran-saran dan dorongan semangat, bahkan mencurahkan pikiran dan tenaganya untuk penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis mohon maaf, jika dalam Skripsi ini terdapat kekhilafan dan kekeliruan, baik teknis maupun isinya. Kritik yang konstruktif dan sehat sangat penulis harapkan demi sempurnanya skripsi ini.

Padang, 27 Juli 2019
Penulis,

LATHIFA ZONESYA PUTRI
NIM. 15034066

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	7
A. Pasir Silika	7
B. Nanopartikel.....	10
C. Polietilen	14
D. Sifat Hidrofobik	16
E. Faktor-faktor yang mempengaruhi Sifat Hidrofobik	17
F. Nanokomposit	24
G. Pengaruh Komposisi Nanokomposit Silika/Polietilen terhadap Morfologi Lapisan Tipis.....	26
H. Pengaruh Komposisi Silika terhadap Sudut Kontak Lapisan Tipis Bersifat Hidrofobik.....	28
I. Metode <i>Spin Coating</i>	29
J. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Jenis Penelitian.....	34
B. Waktu dan Tempat Penelitian	34
C. Variabel Penelitian	34
D. Instrumen Penelitian.....	35
E. Pelaksanaan Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	75
A. Deskripsi Data	75

B. Analisis Data	84
C. Pembahasan.....	91
BAB V PENUTUP	96
A. Kesimpulan	96
B. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
1. Pasir Silika (Dokumentasi Pribadi)	7
2. Struktur Kristal Silika	8
3. Mekanisme <i>milling Bottom Up dan Top Down</i>	11
4. Interaksi bola-bola baja dengan serbuk	12
5. Proses <i>milling</i> menggunakan HEM-E 3D	12
6. Perbedaan kaca.....	16
7. Profil tetes air dan sudut kontak pada permukaan membran dengan hidrofobisitas berbeda.....	20
8. Ilustrasi model Young (Irawati dan Zainuri, 2016)	21
9. Ilustrasi model Wenzel (Irawati and Zainuri, 2016).....	22
10. Ilustrasi model Cassie-Baxter (Irawati and Zainuri, 2016).....	23
11. Bentuk ikatan nanokomposit (Hadiyawardman, 2008).....	25
12. Morfologi lapisan hidrofobik (Wardani and Zainuri, 2018)	27
13. Sudut Kontak Tetesan Air dengan Lapisan Permukaan.....	28
14. Metode Spin Coating.....	29
15. Tahapan penetesan	30
16. Tahapan percepatan.....	31
17. Tahapan perataan	31
18. Tahapan pengeringan	32
19. Blok Diagram SEM.....	33
20. Alat X-Ray Fluoresense	35
21. Alat HEM-E 3D	36
22. Alat XRD	36
23. Alat SEM	37

24. Mesh 200.....	37
25. Alat Timbangan Digital.....	38
26. Gelas ukur	38
27. Gelas kimia	39
28. <i>Spin Coating</i>	39
29. <i>Ultrasonic cleaner</i>	40
30. Magnetic Stirrer	40
31. Substrat Kaca	41
32. Oven.....	41
33. Kamera DSLR 5200.....	42
34. Kertas lakmus.....	42
35. Nanopartikel silika	43
36. Polietilen	44
37. Xilen	44
38. Gambar PP	45
39. Aquadest	45
40. Asam Klorida pekat 37%	46
41. NaOH padat	46
42. Pengeringan Sampel.....	47
43. Ekstraksi Pasir dengan Magnet	47
44. Menggerus pasir silika	48
45. Menyaring dengan Mesh 200.....	49
46. Pengujian XRF.....	49
47. Pengeringan Sampel.....	50
48. Menimbang Sampel	51
49. Sampel di Milling.....	51
50. Pengenceran HCl.....	52

51. Mengaduk campuran HCl	53
52. Mengendapkan Silika	53
53. Mengaduk NaOH dengan Silika.....	54
54. Mengaduk Larutan dengan Aquades	54
55. Menyaring Larutan dengan Kertas Saring	55
56. Mengaduk Larutan Natrium Silikat	55
57. Titrasi Larutan.....	56
58. Endapan Natrium Silikat	57
59. Mencuci Endapan.....	57
60. Endapan dioven.....	58
61. Endapan silika digerus	58
63. Mengaduk Matrix Polietilen.....	59
62. Mencuci Kaca	60
64. <i>Spin Coating</i> Lapisan Tipis	61
65. Mengoven Lapisan Tipis pada Kaca	62
66. Karakterisasi Sudut Kontak.....	62
67. Tampilan Software ImageJ.....	63
68. Tampilan karakterisasi SEM	64
69. Mengatur skala ukuran	64
70. Proses Memperjelas Batas Ukuran Partikel.....	65
71. Hasil <i>Bandpass Filter</i>	65
72. Tampilan <i>Thresold</i>	65
73. Tool Mengukur Ukuran Partikel	66
74. Tampilan Ukuran Partikel	66
75. Rangkaian Alat Memfoto Sudut Kontak	67
76. Tampilan <i>Software ImageJ</i>	67
77. Mengukur sudut kontak menggunakan <i>Software ImageJ</i>	68

78. Tampilan Mengukur Nilai Sudut Pada <i>Software ImageJ</i>	68
79. Tampilan Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Software ImageJ</i>	69
80. Diagram Alir Penelitian	72
81. Diagram preparasi sampel	73
82. Diagram pembentukan lapisan nanokomposit	74
83. Data Hasil Pengukuran XRD Waktu Milling 5 jam	75
84. Sudut Kontak Komposisi 0/0,5	77
85. Sudut Kontak Komposisi 0,1/0,5.....	77
86. Sudut Kontak Komposisi 0,2/0,5.....	78
87. Sudut Kontak Komposisi 0,3/0,5.....	79
88. Sudut Kontak Komposisi 0,4/0,5.....	80
89. Morfologi Silika/Polietilen 0/0,5.....	81
90. Morfologi Silika/Polietilen 0,1/0,5.....	82
91. Morfologi Silika/Polietilen 0,2/0,5.....	82
92. Morfologi Silika/Polietilen 0,3/0,5.....	83
93. Morfologi Silika/Polietilen 0,4/0,5.....	84
94. Pola difraksi sinar-x Silika Hasil Milling 5 jam	85
95. Sudut Kontak Tetesan Air dengan Lapisan Permukaan Silika/Polietilen	87
96. Perbandingan Sudut Kontak Pada Masing-masing Komposisi.....	87
97. Perbedaan bentuk morfologi Nanokomposit Silika/Polietilen	89
98. Pengaruh Variasi Komposisi Terhadap Ukuran Butir	90
99. Polimer tanpa penambahan nanopartikel.....	93
100. Polimer dengan penambahan nanopartikel	93
101. Foto Sudut Kontak Pada Kaca dengan Komposisi Silika/polietilen0/0,5	109
102. Foto Sudut Kontak Pada Kaca dengan Komposisi Silika/polietilen0,1/0,5	109
103. Foto Sudut Kontak Pada Kaca dengan Komposisi Silika/polietilen0,2/0,5	110
104. Foto Sudut Kontak Pada Kaca dengan Komposisi Silika/polietilen0,3/0,5	110

105. Foto Sudut Kontak Pada Kaca dengan Komposisi Silika/polietilen0,4/0,5	111
106. Morfologi 0/0,5	111
107. Morfologi 0,1/0,5	112
108. Morfologi 0,2/0,5	112
109. Morfologi 0,3/0,5	113
110. Morfologi 0,4/0,5	113

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
1. Sifat fisik SiO ₂	8
2. Perbedaan fasa kristal.....	9
3. Karakteristik silika <i>amorf</i>	9
4. Sifat-sifat xilena	15
5. Klasifikasi sudut kontak.....	20
6. Nilai energi permukaan polimer.....	25
7. Variabel penelitian	35
8. Hasil Karakterisasi XRD waktu <i>milling</i> 5 jam.....	76
9. Hasil Pengukuran Sudut Kontak 0/0,5	77
10. Hasil Pengukuran Sudut Kontak 0,1/0,5	78
11. Hasil Pengukuran Sudut Kontak 0,2/0,5	79
12. Hasil Pengukuran Sudut Kontak 0,3/0,5	79
13. Hasil Pengukuran Sudut Kontak 0,4/0,5	80
14. Beberapa puncak Hasil Difraksi Sinar-X Hasil <i>Milling</i> 5 jam.....	85
15. Struktur Silika Oksida.....	86
16. Ukuran Butir Terhadap Variasi Komposisi.....	90

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
1. Data Hasil Analisis XRD untuk Ukuran Kristal Waktu Milling 5 jam.....	101
2. Data Base Hasil XRD Waktu Milling 5 jam.....	101
3. Perhitungan Sudut Kontak (θ) Masing-masing Sampel.....	109
4. Pengukuran Ukuran Partikel	111

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini pemanfaatan teknologi nanopartikel semakin dibutuhkan dalam kehidupan. Salah satu aplikasi pemanfaatan nanopartikel adalah *alternative coating*/pelapisan pada kaca. Kaca yang dilapisi dengan nanopartikel akan bersifat hidrofobik. Manfaat yang didapatkan dari kaca bersifat hidrofobik ini adalah kaca akan bersifat *self cleaning* (Hamidah dkk, 2012).

Self cleaning merupakan suatu kemampuan bagi suatu material untuk membersihkan dirinya sendiri sehingga mampu mempertahankan diri untuk tetap menjadi bersih. Metode yang dimanfaatkan untuk aplikasi *self cleaning* memanfaatkan metode efek *lotus*/teratai yang dihasilkan dari senyawa kimia tertentu sehingga mampu membersihkan substrat dari kontaminan (Liao, Huang and Wu, 2012). Menurut (Hasan, 2017) dalam penelitiannya, sifat efek *lotus* pada daun teratai dijadikan acuan untuk mengkaji kesan lilin di atas daun pisang yang dimana lapisan berlilin pada permukaan daun pisang memberikan sifat hidrofobik yang berfungsi untuk *self cleaning*, karakteristik lilin dari tumbuhan tersebut membentuk permukaan seperti bonggolan mikro yang menyumbang kepada sifat hidrofobik dan kekasaran permukaan serta memiliki sudut sentuh antara air dengan permukaan (sudut kontak) sebesar $137,3^{\circ}$ sesuai dengan sifat hidrofobik yang memerlukan sudut kontak lebih tinggi dari 90° (Nurfathihah, 2016).

Menurut penelitian (Putri dan Ratnawulan, 2018), mengaplikasikan sifat hidrofobik terhadap material lain seperti kaca yang tidak dapat langsung diambil

dari alam dilakukan proses pembuatan bahan yang memanfaatkan nanopartikel, bahan tersebut dibuat dalam bentuk nanokomposit yaitu material yang terdiri dari *matrix* dan *filler*. *Matrix* menjadi dasar pembentukan bahan komposit yang dapat mengikat *filler* dengan tidak terjadi ikatan kimia. Sedangkan *filler* merupakan bahan pengisi yang dapat memperkuat *matrix* dalam material komposit (Miftakhul, 2015).

Permukaan material hidrofobik yang dibuat bisa diamati melalui sudut kontak yang terbentuk. Semakin besar sudut kontak, maka kemampuan permukaan menahan air akan semakin meningkat. Untuk membuat permukaan yang bersifat hidrofobik maka perlu dilakukan modifikasi permukaan berdasarkan kekasaran dan komposisi kimia permukaan yang dapat menghasilkan morfologi permukaan material yang kasar (Ratna, 2016). Sudut kontak material dapat dibagi menjadi empat yaitu superhidrofobik, hidrofobik, hidrofilik dan superhidrofilik yang memiliki sudut kontak berturut-turut $>150^{\circ}$, $>90^{\circ}$, $<90^{\circ}$ dan $\sim 0^{\circ}$.

Untuk membuat nanokomposit yang bersifat hidrofobik dimanfaatkan bahan yang banyak ditemukan di alam serta memanfaatkan polimer yang memiliki energi permukaan yang rendah. Energi permukaan yang rendah akan menurunkan *wettability* (kebasahan) permukaan padatan sehingga akan dihasilkan permukaan dengan sifat hidrofobik. Menurut (Putri dan Ratnawulan, 2018) menggunakan Mangan sebagai bahan *filler* dan polistiren sebagai bahan *matrix*, dari hasil penelitiannya didapatkan sudut kontak lapisan hidrofobik dengan sudut 140° , sedangkan dalam penelitian ini permukaan material hidrofobik dibuat dengan mencampurkan nanopartikel silika sebagai *filler* yang memiliki karakteristik

material yang cukup baik dalam hal hidrofobisitas dengan Polietilen sebagai matrix (Ratna, 2016).

Menurut (Wardani, 2018) dalam penelitiannya, Memanfaatkan pasir silika dari Bancar Tuban dengan memvariasikan komposisi silika dalam pembuatan campuran nanokomposit Silika Oksida/*Tetraethylorthosilicate* (SiO₂/TEOS) lapisan hidrofobik, variasi silika yang digunakan yaitu 1 gram, 2 gram, 3 gram dan 4 gram. Dari hasil karakterisasi sudut kontak didapatkan sudut kontak berturut-turut 94⁰, 95⁰, 93⁰, dan 98⁰. Namun penelitian ini masih memiliki kelemahan dari sudut kontak yang masih bisa ditingkatkan lagi untuk dijadikan sebagai aplikasi *self cleaning*. Maka peneliti dengan mengganti *matrix* yang digunakan ingin meningkatkan sudut kontak menjadi lebih hidrofobik lagi agar dapat dijadikan sebagai aplikasi *self cleaning* secara optimal (Wardani, 2018). Campuran *matrix* dan *filler* akan membentuk campuran nanokomposit, campuran tersebut akan dilapisi pada substrat kaca.

Pada penelitian (Putri dan Ratnawulan, 2018), Metode menumbuhkan lapisan tipis nanokomposit pada substrat kaca menggunakan metode spin coating. Metode ini dipilih karena mempunyai metode yang sederhana dan murah. Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau spin.

Penelitian mengenai lapisan hidrofobik dengan bahan silika telah diteliti oleh (Ratna, 2016), dan (Hamidah, 2012). Menurut (Ratna, 2016) dalam penelitiannya, TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) atau *precursor* silika sintetis yang disintesis dengan metode *sol gel* memiliki ukuran partikel 1232 nm dengan kemurnian 98,3±0,02%. *Precursor* silika ini dilapisi pada permukaan plat

aluminium, dari hasil karakterisasi silika memiliki struktur amorf dan pada temperature 1000°C didapatkan sudut kontak sebesar 91⁰.

Dan menurut (Hamidah, 2012) dalam penelitiannya, Kaca Hidrofobik didapatkan dari pelapisan substrat kaca dengan lapisan tipis silika termodifikasi yang terbuat dari *precursor waterglass*. Kondisi terbaik pelapisan kaca dengan silika termodifikasi ini diperoleh pada variable konsentrasi *waterglass* 3,6%, konsentrasi larutan *TMCS/Trymethylchlorosilane* 1,5 M dan lama modifikasi 13 jam akan menghasilkan kaca hidrofobik dengan sudut kontak 118⁰.

Namun kedua penelitian ini memiliki kelemahan dalam bahan dasar yang digunakan berupa silika sintesis yang mahal harganya dan silika modifikasi yang bukan alami dari alam. Untuk alasan diatas penulis ingin melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Komposisi Nanokomposit Silika / Polyetilen Terhadap Sifat Hidrofobik dari Lapisan Tipis”. Pada penelitian ini diharapkan didapat sudut kontak yang besar dari 100⁰ dan morfologi permukaan yang kasar.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan yaitu :

1. Bagaimana struktur Kristal dan ukuran Kristal dari nanopartikel silika yang digunakan?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi nanokomposit silica / polyetilen terhadap sudut kontak lapisan tipis bersifat hidrobik?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi nanokomposit silica / polyetilen terhadap morfologi lapisan hidrofobik?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, peneliti membatasi masalah yang dikaji yaitu :

1. Variasi komposisi nanokomposit silica/polietilen dilakukan sebanyak lima variasi komposisi
2. Melakukan pengukuran terhadap sudut kontak yang terbentuk dari lapisan tipis.
3. Melakukan pengukuran terhadap ukuran partikel dari morfologi permukaan yang terbentuk.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini :

1. Mengkaji struktur dan ukuran Kristal dari nanopartikel silika yang digunakan
2. Mengkaji pengaruh variasi komposisi nanokomposit silica/polietilen terhadap sudut kontak lapisan tipis yang bersifat hidrofobik.
3. Mengkaji pengaruh variasi komposisi nanokomposit silica/polietilen terhadap morfologi lapisan tipis yang bersifat hidrofobik.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah :

1. Bagi peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika S1 dan pengetahuan dalam bidang kajian Fisika.
2. Kelompok kajian Fisika Material dan Biofisika, dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam pengembangan pembuatan material berbasis nanokomposit silika/polietilen dengan keterkaitan terhadap ketahanan air yang dapat diterapkan dalam aplikasi kaca, selain itu dapat memberikan

informasi atau inovasi dalam pemanfaatan pasir alam untuk diaplikasikan sebagai material hidrofobik.

3. Jurusan Fisika, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian material.
4. Peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan penelitian tentang material utama dalam lapisan tipis bersifat hidrofobik dan dapat menjadi sumber ide bagi peneliti lainnya.
5. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian material serta dalam pengembangan aplikasinya dalam berbagai bidang.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Pasir Silika

Silika Oksida (SiO_2) merupakan senyawa yang berlimpah di alam namun tidak berupa senyawa tunggal. Kandungan silika yang tinggi dapat ditemukan pada pasir kuarsa yang berwarna putih (Miftakhul dan Abdullah, 2015). Gambar 1 berikut merupakan pasir silika/pasir kuarsa dengan kemurnian 60% yang berasal dari Ngarai Sianok Sumatera Barat :



Gambar 1. Pasir Silika (Dokumentasi Pribadi)

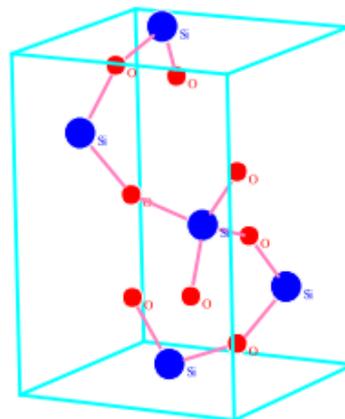
Silikon dioksida (SiO_2) atau biasa juga disebut silika pada umumnya ditemukan dialam dalam batu pasir, pasir silika atau *quartzite*. Zat ini merupakan material dasar pembuatan kaca dan keramik. Silika merupakan salah satu material oksida yang keberadaannya berlimpah di alam, khususnya di kulit bumi. Beberapa sifat fisik SiO_2 tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik SiO₂

Spesifikasi	Sifat
Warna	Putih
Kekerasan	7 (skala mohs)
Berat Jenis	2,65
Titik Lebur	1715 °C
Bentuk Kristal	Hexagonal
Panas Spesifik	0,185
Panas Konduktifitas	12-100 °C

Sumber : (Trianasari, 2017)

Gambar 2 berikut struktur kristal dari silika :



Gambar 2. Struktur Kristal Silika (Trianasari, 2017)

Keberadaan silika bisa dalam bentuk amorf , dan kristal. Ada tiga bentuk kristal silika, yaitu *quartz*, *tridymite*, *crystalite*, dan terdapat dua kristal yang merupakan perpaduan dari bentuk kristal tadi. Perbedaan bentuk kristal pada silika juga memperlihatkan perbedaan pada sifat-sifat silika itu sendiri. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan fasa kristal

Fasa	Kerapatan (kgm^{-3})	Rentang stabilitas ($^{\circ}\text{C}$)
Kuarsa/ quartz	2600	<870
Tridimit	2300	870-1470
Cristabolit	2210	1470-1723

Sumber : (Trianasari, 2017)

Silika non kristalin/*amorf* adalah silika yang memiliki susunan atom dan molekul dengan pola acak/tidak beraturan. Menurut (Rahayu dan Zainuri, 2016) dalam penelitiannya, pengaruh jenis fasa SiO_2 (*Quartz, Amorf, dan Cristobalite*) terhadap sifat hidrofobik pada media kaca. Dari ketiga fasa yang digunakan, fasa amorf memiliki sifat hidrofobik paling baik dengan membentuk sudut $148,24^{\circ}$, namun kekurangan dari penelitian ini tidak membahas pengaruh komposisi dari komposit yang digunakan (Rahayu dan Zainuri, 2016). Tabel 3 berikut menunjukkan karakteristik dari silika *amorf* :

Tabel 3. Karakteristik silika amorf

Nama lain	Silikon dioksida
Rumus Molekul	SiO_2
Massa Jenis (g/cm^3)	2,6
Bentuk	Padat
Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	1610
Titik Leleh ($^{\circ}\text{C}$)	2230
Struktur Kristal	Quartz, Cristobalit, tridimit

Sumber : (Trianasari, 2017)

B. Nanopartikel

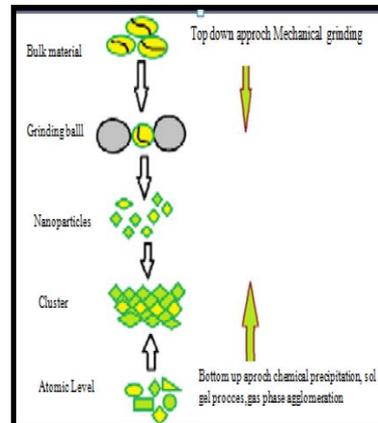
Nanopartikel merupakan material yang dibuat dalam skala nano yaitu (10^{-9} m). Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Nanopartikel silika merupakan silika yang dibuat dalam skala nano, pembuatan silika dalam skala nano bertujuan untuk menghasilkan sifat baru yang lebih baik terhadap material lain, yaitunya sifat hidrofobik pada lapisan tipis.

Nanopartikel dapat terjadi secara alamiah ataupun secara sintesis oleh manusia. Sintesis oleh manusia berarti membuat partikel berukuran kecil dari 100 nm serta mengubah sifat dan fungsi dari partikel. Sintesis partikel dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan, molekul pelapis (*capping agent*), temperatur dan pengadukan.

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesis pun dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Proses sintesis secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia. Yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer, atau penggabungan material berukuran sangat kecil, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer (Abdullah, 2008).

Secara fisika, sintesis nanopartikel akan masuk dalam dua kelompok besar. Cara pertama adalah memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini kadang disebut pendekatan *top-down*. Pendekatan kedua adalah memulai dari atom-atom atau molekul-molekul yang

membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki. Pendekatan ini disebut *bottom-up* (Abdullah, 2008). Metode *milling bottom up* dan *top down* dapat diilustrasikan dari Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Mekanisme *milling Bottom Up* dan *Top Down* (Firmansari, 2016)

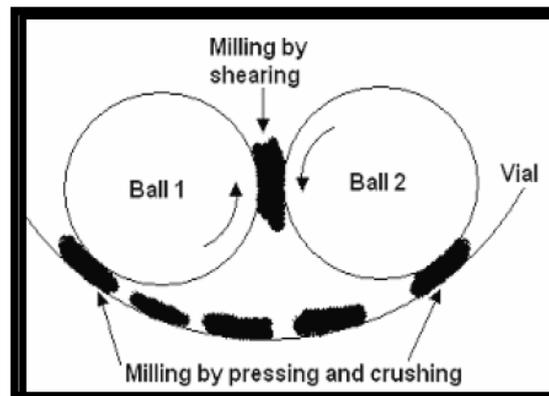
Keuntungan menggunakan *milling* secara mekanik merupakan metoda yang sederhana dan efektif untuk menumbuhkan kristal padat (ukuran butiran kristal menjadi kecil) tanpa melalui reaksi kimia yang membutuhkan waktu yang lama dalam proses sintesa nanopartikel (Firmansari, 2016).

Alat yang digunakan untuk melakukan sintesis nanopartikel adalah alat *High Energy Milling Ellipse 3D Motion* (HEM-E 3D). Dengan alat ini sangat mempermudah dalam mensintesis partikel menjadi berukuran nanopartikel.

HEM-E3D adalah mesin untuk menghasilkan nanopartikel yang dirancang dan dikembangkan para pakar nanoteknologi Indonesia melalui berbagai inovasi, tes dan pengalaman. Desain *high energy ball mill* yang bergerak *ellips* secara tiga dimensi dapat meningkatkan kinerjanya menjadi lebih efisien (Firmansari, 2016).

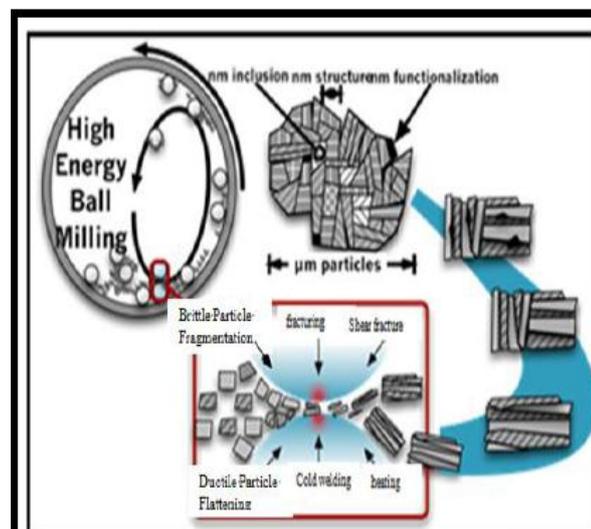
Proses penggilingan dengan alat HEM-E 3D adalah serbuk dimasukkan kedalam *chamber* logam yang didalamnya terdapat beberapa buah bola baja yang berputar secara terus menerus. Bola baja yang terus berputar akan saling

bertumbukan dan mengakibatkan serbuk homogen yang dimasukkan kedalam chamber logam ini akan tertumbuk. Hal ini menyebabkan serbuk tersebut menjadi pecah. Begitu seterusnya hingga mencapai ukuran nanopartikel. Interaksi antara bola-bola baja dan serbuk dalam *chamber* dapat dilihat pada Gambar 4 :



Gambar 4. Interaksi bola-bola baja dengan serbuk (Firmansari, 2016)

Berikut merupakan Gambar 5 merupakan proses yang terjadi selama waktu milling pada alat HEM-E 3D

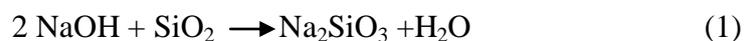


Gambar 5. Proses milling menggunakan HEM-E 3D (Firmansari, 2016)

Gambar 5 merupakan proses *milling*. Ukuran partikel akan meningkat pada waktu tertentu karena akibat *milling* partikel mengalami *agglomeration* dan *cold*

welding karena proses awal dari sampel akan mengalami proses pematihan-pematihan partikel sampai berukuran kecil dan terjadi kompresi sehingga sampel menjadi gumpalan-gumpalan menjadi satu kembali sampel kemudian terjadi pematihan-pematihan lagi pada waktu yang lebih lama dan ukuran kristal mejadi kecil kembali hal ini disebabkan gaya *impact* , gaya atrisi, gaya gesekan dan gaya kompresi pada proses *milling* (Firmansari, 2016).

Secara kimia, metode *alkali fushion* digunakan dalam membuat silika berukuran nano. Metode *alkali fushion* adalah membongkar ikatan kimia dalam bahan dengan menggunakan senyawa alkali seperti Natrium Hidroksida (NaOH) yang kemudian mengikat silika. Dari proses ekstraksi silika, ada tiga tahapan yang dilalui. Pertama, preparasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari pasir yang mengandung silika dengan menggunakan NaOH. Selama proses terjadi reaksi (Fauziyah, 2015)



Dari reaksi diatas terbentuk *Natrium silikat* yang mudah larut dalam air. Kemudian Natrium silikat dilarutkan dengan menambah air dan mengaduknya. Tahapan kedua adalah tahapan preparasi *silicic acid* $\text{Si}(\text{OH})_4$, pada tahapan ini natrium silikt direaksikan dengan asam kuat (HCl) hingga terbentuk endapan. Reaksi yang terjadi (Fauziyah, 2015):



$\text{Si}(\text{OH})_4$ tidak bisa larut dalam asam kuat, maka endapan $\text{Si}(\text{OH})_4$ dapat dipisahkan dari larutannya dengan melakukan penyaringan. Tahap ketiga adalah preparasi SiO_2 dengan memanaskan $\text{Si}(\text{OH})_4$. Pada tahapan ini reaksi yang terjadi (Fauziyah, 2015):



Dengan melalui tahapan HEM – E3D dan ketiga tahapan *alkali fusion* diatas didapatkan partikel nanosilika yang murni. Hasil akhir dari reaksi jika larutan diendapkan dan dikeringkan akan didapat serbuk silika yang sesuai untuk dijadikan bahan pembuatan nanokomposit dalam aplikasi pembuatan lapisan hidrofobik.

C. Polietilen

Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, mempunyai titik leleh 110-137°C dan memiliki energy permukaan yang rendah yaitu $33,2 \cdot 10^3$ Newton/meter (Wenten, 2015). Polietilena bersifat resistensi terhadap zat kimia, pada suhu kamar polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan pelarut anorganik. Molekul polietilen merupakan atom karbon rantai panjang dengan dengan dua atom hydrogen mengikat masing-masing setiap atom karbon. Rumus monomer dari polietilena adalah $(CH_2=CH_2)_n$ (Sari, 2018).

Beberapa jenis polietilena antara lain *Low Density Polyethylene* (LDPE), dan *High Density Polyethylene* (HDPE), dan. LDPE memiliki struktur rantai percabangan yang tinggi dengan cabang-cabang yang panjang dan pendek. Sedangkan HDPE mempunyai struktur rantai lurus, (Irvantino, 2013). Polietilena dengan kerapatan rendah diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas pada suhu tinggi 200 °C dan tekanan yang sangat tinggi yaitu 1000 atm, sedangkan polietilen dengan kerapatan tinggi diproduksi menggunakan katalis *Ziegler-Natta* pada suhu yang lebih rendah dibawah 100 °C dan tekanan kurang dari 100 atm (Sari, 2018).

HDPE dan LDPE memiliki perbedaan sifat fisiknya, HDPE memiliki daya regang dan ketegangan yang solid, sehingga banyak digunakan untuk membuat pipa, tabung, bejana dan benda lainnya, LDPE memiliki sifat kenyal, tidak mudah

sobek, dan tahan terhadap kelembapan dan bahan kimia, sehingga banyak digunakan untuk pembungkus, dus, isolator listrik, pelapis kabel dan sebagainya, sedangkan campuran HDPE dengan LDPE dapat digunakan sebagai bahan pengganti karet dan mainan anak-anak (Sari, 2018).

Polietilena merupakan polimer yang termasuk golongan polyolefin, dengan berat molekul rata-rata (Mw) = 50.000-300.000. Jenis polietilena yang banyak digunakan adalah LDPE (*Low Density Polyethylene*) yang mempunyai rantai cabang digunakan sebagai pengemas yaitu sekitar 44,5% dari total plastic kemas kemudian diikuti HDPE (*High Density Polyethylene*) yang tidak mempunyai rantai cabang tetapi merupakan rantai utama yang lurus kurang lebih 25,4% (Irvantino, 2013).

Polietilena tahan terhadap asam dan basa, tetapi dapat dirusak oleh asam nitrat pekat. Polietilena tidak tahan terhadap cahaya dan oksigen. Secara kimia, polietilena sangat lembam. Polimer ini tidak larut dalam pelarut apapun pada suhu kamar, tetapi mengembang oleh hidrokarbon dan tetraklorometana (karbon tetraklorida) (Irvantino, 2013).

Dalam memproduksi polietilena digunakan bahan baku yang disebut xilena. Xilena sering digunakan sebagai pelarut karet dan digunakan sebagai *thinner* cat. Tabel 4 merupakan sifat-sifat dari xilena.

Tabel 4. Sifat-sifat xilena

No	Parameter	
1	Rumus Molekul	$C_8H_{10}, C_6H_4(CH_3)_2$
2	Titik Lebur	$-47,4^0C$
3	Titik Didih	$138,5^0C$
4	Titik Nyala	30^0C

Sumber: (Sari, 2018)

D. Sifat Hidrofobik

Hidrofobik, *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 ia mampu membersihkan dirinya sendiri. Sifat ini dapat diaplikasikan pada kaca seperti diperlihatkan pada Gambar 6



Gambar 6. Perbedaan kaca (a) kaca bukan hidrofobik (b) kaca hidrofobik(Wenten, 2015)

Ada dua aspek yang berkaitan erat dengan dengan sifat hidrofobik suatu permukaan yaitu geometri permukaan dan komposisi kimia permukaan. Geometri permukaan berkaitan dengan kekasaran dimana semakin kasar permukaan maka sifat hidrofobiknya semakin baik. Sedangkan komposisi kimia permukaan berkaitan dengan sifat molekul-molekul penyusun permukaan. Jika molekul-molekul penyusun permukaan cenderung bersifat polar, maka hal ini dapat menyebabkan terjadinya tarik menarik antara molekul permukaan dan molekul-molekul H_2O yang juga bersifat polar, sehingga sifat hidrofobiknya buruk (Ratna, Pambudi dan Zainuri, 2016).

Permukaan hidrofobik mampu diamati melalui sudut kontak antara air dan permukaan uji yang terbentuk. Semakin besar sudut kontakya mengindikasikan permukaan tersebut sulit terbasahi. Permukaan yang bersifat hidrofobik memiliki sudut kontak antara 90° - 150° . Untuk permukaan yang memiliki sudut kontak $>150^{\circ}$ disebut dengan istilah superhidrofobik. Untuk permukaan yang memiliki sudut kontak antara 10° - 90° disebut dengan hidrofilik, sedangkan untuk yang memiliki sudut kontak $<10^{\circ}$ disebut dengan istilah superhidrofilik (Karthick and Maheshwari, 2008).

E. Faktor-faktor yang mempengaruhi Sifat Hidrofobik

1. Kohesi dan Adhesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel yang sejenis (partikel-partikel suatu zat tidak dapat bergabung dengan partikel zat lain). Gaya kohesi zat padat lebih besar dibandingkan dengan zat cair dan gas. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain tidak dapat menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Gaya kohesi mengakibatkan dua zat bila dicampurkan tidak akan saling mendekat. Contoh peristiwa kohesi adalah : tidak bercampurnya air dengan minyak, tidak melekatnya air raksa pada dinding pipa kapiler, dan air pada daun talas.

Adhesi adalah Gaya tarik menarik antara partikel yang tidak sejenis. Gaya adhesi mengakibatkan dua zat akan melekat bila berampur (partikel suatu zat dapat bergabung dengan partikel zat lain). Contoh gaya adhesi adalah : Bercampurnya air dengan teh/kopi, melekatnya air pada dinding pipa kapiler, melekatnya tinta pada kertas, air di atas telapak tangan, susu tumpah di lantai.

Ada 3 kemungkinan yang terjadi ketika dua zat dicampurkan yaitu ketika gaya kohesi lebih besar dari gaya adhesi kedua zat tidak akan bercampur contohnya minyak kelapa dicampur air, gaya kohesi sama dengan gaya adhesi kedua zat akan tercampur merata contohnya air dicampur dengan alkohol, dan gaya adhesi lebih besar dari gaya kohesi yang terjadi adalah kedua zat akan saling menempel contohnya adalah air yang menempel pada kaca.

Bentuk permukaan zat cair dalam wadah dipengaruhi oleh gaya kohesi dan adhesi. Pengaruhnya dapat dilihat pada kondisi dimana air dimasukkan dalam tabung reaksi akan berbentuk meniskus cekung, sedangkan kondisi dimana air raksa dimasukkan kedalam tabung reaksi akan berbentuk meniskus cembung. Permukaan yang memiliki sudut kontak yang besar dengan air disebut dengan *low-adhesion* atau memiliki sifat adhesi yang kecil (Putri dan Ratnawulan, 2018).

2. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah besarnya gaya yang bekerja tegak lurus pada 1 satuan panjang permukaan cairan. Gaya tarik-menarik molekul-molekul dalam cairan sama kesegala arah, tetapi molekul-molekul pada permukaan cairan lebih tertatik kedalam cairan. Hal ini disebabkan karena jumlah molekul dalam fase uap lebih kecil daripada fase cair. Akibatnya zat cair selalu berusaha mendapatkan luas permukaan terkecil. Oleh karena itu, tetesan-tetesan cairan dan gelembung-gelembung gas berbentuk bulat dan mempunyai luas permukaan terkecil (Muliawati, 2006 dalam Putri dan Ratnawulan, 2018).

Permukaan zat cair mempunyai sifat ingin merenggang, sehingga permukaannya seolah-olah ditutupi oleh suatu lapisan yang elastis. Hal ini disebabkan adanya gaya tarik-menarik antar partikel sejenis didalam zat cair

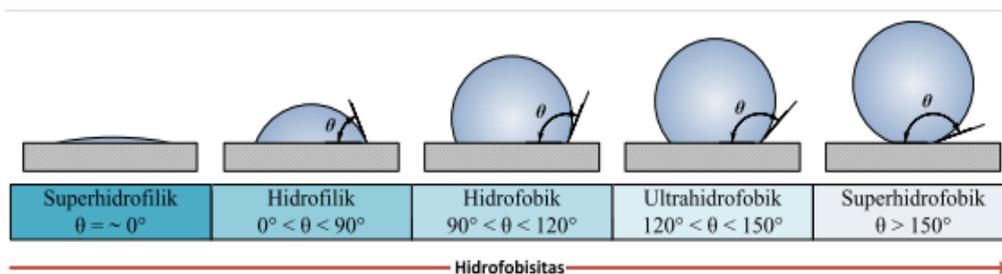
sampai ke permukaan. Di dalam cairan, tiap molekul ditarik oleh molekul lain yang sejenis di dekatnya dengan gaya yang sama ke segala arah. Akibatnya tidak terdapat sisa (resultan) gaya yang bekerja pada masing-masing molekul. Adanya gaya atau tarikan kebawah menyebabkan permukaan cairan berkontraksi dan berada dalam keadaan tegang.

Dibagian dalam cairan, setiap molekul cairan dikelilingi oleh molekul-molekul cairan di samping dan di bawah. Di bagian atas tidak ada molekul cairan lainnya karena molekul cairan tarik-menarik satu dengan yang lainnya, maka terdapat gaya total yang besarnya nol pada molekul yang berada di bagian dalam cairan. Sebaliknya molekul cairan yang terletak di permukaan di tarik oleh molekul cairan yang berada di samping dan bawahnya. Akibatnya, pada permukaan cairan terdapat gaya total yang berarah ke bawah karena adanya gaya total yang arahnya ke bawah, maka cairan yang terletak di permukaan cenderung memperkecil luas permukaannya dengan menyusut sekuat mungkin. Hal ini yang menyebabkan lapisan cairan pada permukaan seolah-olah tertutup oleh selaput elastis yang tipis.

Tegangan permukaan bervariasi antara berbagai cairan. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan merupakan agen pembasah yang buruk karena air membentuk droplet, misalnya tetesan air hujan pada kaca depan mobil. Permukaan air membentuk suatu lapisan yang cukup kuat sehingga beberapa serangga dapat berjalan di atasnya.

3. Sudut Kontak

Sudut kontak (θ) merupakan sudut yang dibentuk oleh sebuah garis singgung terhadap cairan pada garis kontak dan sebuah garis yang melalui dari dasar tetes cairan. Seperti terlihat dari Gambar 7 :



Gambar 7. Profil tetes air dan sudut kontak pada permukaan membran dengan hidrofobisitas berbeda (Wenten, 2015)

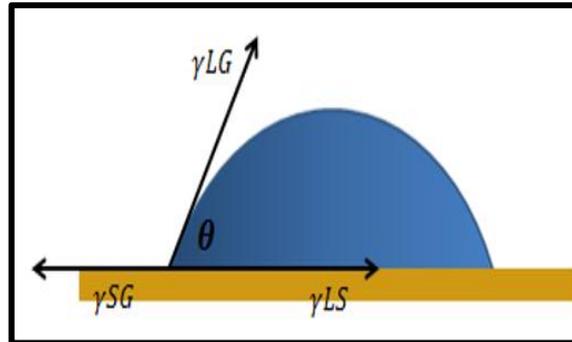
Dari gambar diatas bisa dilihat sudut kontak yang terjadi sangat besar, sehingga terbentuk butiran yang sangat bulat atau disebut superhidrofobik. Tabel 5 menunjukkan klasifikasi sudut kontak.

Tabel 5. Klasifikasi sudut kontak

Klasifikasi	Sudut Kontak
Superhidrofobik	$>150^0$
Hidrofobik	$>90^0$
Hidrofilik	$<90^0$
Superhidrofilik	$\sim 0^0$

Sumber : (Rahayu dan Zainuri, 2016)

Terdapat tiga rmodel 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 8.



Gambar 8. Ilustrasi model Young (Irawati dan Zainuri, 2016)

Model Young dapat dilihat pada persamaan 1 sebagai berikut:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}} \quad (1)$$

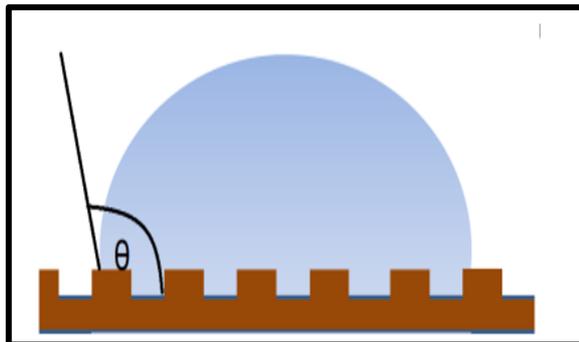
Dimana : γ_{SG} = tegangan antarmuka padatan-uap

γ_{LG} = tegangan antarmuka cairan-uap

γ_{LS} = tegangan antarmuka padatan-cairan

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. 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 (Hansen, 2012).

Gambar 9 merupakan ilustrasi model Wenzel.



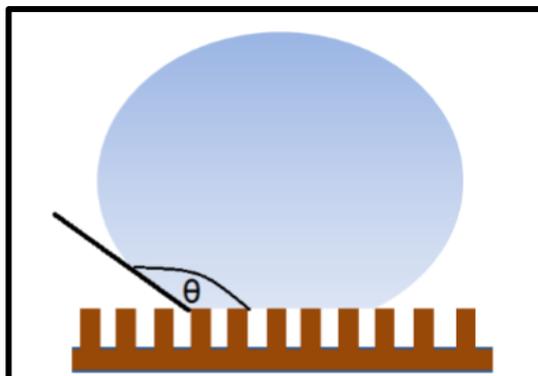
Gambar 9. Ilustrasi model Wenzel (Irawati and Zainuri, 2016)

Persamaan model wenzel dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\cos \theta r = r \cos \theta \quad (2)$$

Dimana r merupakan faktor kekasaran sebagai parameter tak berdimensi yang selalu lebih besar dari 1. Berdasarkan persamaan Wenzel, jika $\theta < \pi/2$ maka $\theta r < \theta$ dan jika $\theta > \pi/2$ maka $\theta r > \theta$. Oleh karena itu, pada model Wenzel, kekasaran dapat meningkatkan hidrofilisitas pada permukaan yang pada awalnya terbasahi. Sedangkan pada permukaan yang pada awalnya tidak terbasahi, kekasaran dapat membuat permukaan semakin tidak terbasahi, yang menyebabkan peningkatan hidrofobisitas. Pada model Wenzel droplet air cenderung melekat pada permukaan (Wang, 2012 dalam Wenten, 2015). Salah satu ciri khas dari model Wenzel adalah asumsi hidrofobik 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 diteteskan ke permukaan. Droplet air dapat menggelinding dengan mudah pada model pembasahan Cassie-Baxter. Diasumsikan terdapat dua fase dalam aspek kebasahan Cassie-Baxter, yaitu fase solid (fase 1) dimana terjadi interaksi antara

solid dengan liquid dan fase udara (fase2) dimana terjadi interaksi antara udara dan liquid. Gambar 10 merupakan ilustrasi model Cassie-Baxter :



Gambar 10. Ilustrasi model Cassie-Baxter (Irawati and Zainuri, 2016)

Persamaan model Cassie-Baxter dapat dilihat pada persamaan 3.

$$\cos \theta_c = f_1 \cos \theta + f_2 - 1 \quad (3)$$

Dimana : f_1 = area fraksional dari cairan yang kontak dengan padatan.

(f_2) = area fraksional dari udara

$$\theta = 180^\circ$$

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° (Cassie dan Baxter, 1944). Penelitian ini mengarah pada pembentukan lapisan hidrofobik dengan menggunakan prekursor SiO_2 , sehingga dapat diamati bagaimana pengaruh variasi komposisi terhadap aspek kebasahan pada lapisan hidrofobik.

4. Komposisi

Komposisi dan modifikasi senyawa kimia serta bahan penyusun sangat mempengaruhi dalam pembuatan lapisan hidrofobik, komposisi dan modifikasi senyawa yang tepat di ujikan untuk pengembangan dalam pembuatan lapisan

hidrofobik. Riset untuk mengembangkan sifat material yang hidrofobik atau anti air diupayakan agar didapat sifat hidrofobik dari berbagai sumber daya material dari alam maupun dari material sintetis, dalam pembuatan sifat hidrofobik tersebut dilakukan berbagai variable bebas seperti variasi suhu dan variasi komposisi nanokomposit agar terbentuk sifat material hidrofobik.

F. Nanokomposit

1. Komposit

Material komposit merupakan suatu substansi yang tersusun dari kombinasi dua atau lebih material yang berbeda. Material baru ini diharapkan dapat memberikan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan bahan-bahan penyusunnya. Ada dua istilah material dalam komposit, yaitu matrik dan penguat (*reinforcement*). Salah satu dari keduanya atau bisa juga gabungan keduanya dibutuhkan untuk membuat komposit. Fungsi utama matrik adalah melindungi komposit dari gangguan luar (berupa tekanan, suhu dan sebagainya), mentransfer beban yang diterima komposit kepada penguat yang digunakan sehingga membuat material lebih kuat, dan mengikat penguat sehingga arah orientasinya stabil sesuai dengan yang diinginkan. Sedangkan penguat (*reinforcement*) merupakan suatu material yang mempunyai sifat fisik khas yang bisa membuat kekuatan komposit bertambah. Penggunaan polimer sebagai matrik memberikan keuntungan dalam proses pembuatannya yang mudah karena mempunyai kerapatan yang rendah. Polimer-polimer yang sering digunakan sebagai matrik adalah polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS), dan sebagainya. Berdasarkan penjelasan diatas, dalam penelitian ini akan digunakan polietilen sebagai matrix dan bahan nanosilika sebagai penguat.

Penggunaan polietilen sebagai matrix didasarkan pada energy permukaan dari polimer polietilen yang rendah karena membran hidrofobik umumnya dibuat dari polimer yang memiliki energy permukaan rendah. Nilai energy permukaan polimer dapat dilihat pada Tabel 6.

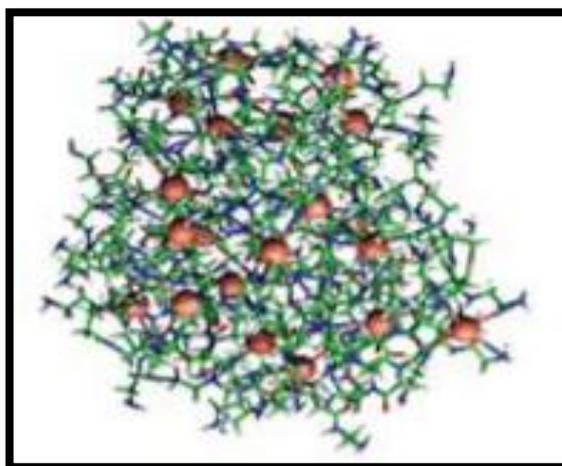
Tabel 6. Nilai energy permukaan polimer

Polimer	Energi Permukaan (10^3 N/m)
Polietilen	33,2
Polivinil Klorida	45
Polyethyleneterephthalate	44,6
Polistiren	42

(Wenten, 2015)

2. Nanokomposit

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. Bentuk ikatan antara polimer dengan nanopartikel yang membentuk nanokomposit dapat dilihat pada Gambar 11

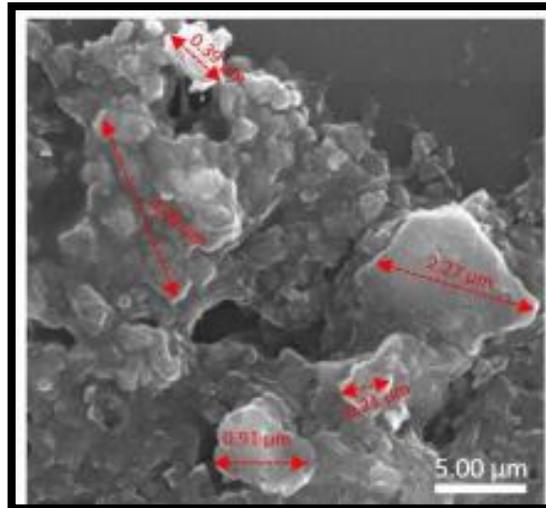


Gambar 11. Bentuk ikatan nanokomposit (Hadiyawardman, 2008)

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. Namun, penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu dimana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru semakin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya (Sriyanti, 2014).

G. Pengaruh Komposisi Nanokomposit Silika/Polietilen terhadap Morfologi Lapisan Tipis

Berdasarkan penelitian oleh (Wardani and Zainuri, 2018), Modifikasi pembuatan lapisan *hydrophobic* menggunakan pasir silika yang dicampur dengan TEOS (*Tetraethylorthosilicate*) sebagai bahan pengisinya. Dan material HDMS (*Hexametildisilane*) digunakan untuk menurunkan energy permukaan pada lapisan sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofobitasnya. HDMS digunakan sebagai pengikat. Gambar 12 merupakan bentuk morfologi sifat hidrofobik dari lapisan tipis dengan 1 gram massa silika didalamnya:

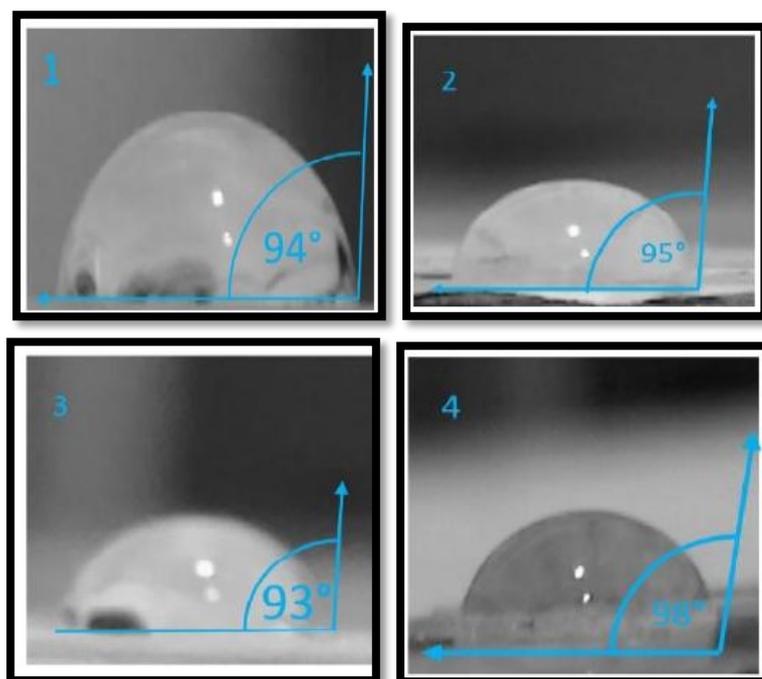


Gambar 12. Morfologi lapisan hidrofobik (Wardani and Zainuri, 2018)

Berdasarkan Gambar 12 terlihat bentuk struktur morfologi telah berhasil membentuk hierarki structural. Struktur yang berorde mikro pada gambar 10 memiliki ukuran 5 mikron, kemudian partikel bertumpuk-tumpuk dengan partikel yang lebih kecil lagi yaitu berukuran 2,27 mikron, dan bertumpuk-tumpuk lagi pada ukuran yang lebih kecil. Terlihat bahwa terdapat partikel orde nano paling kecil yang berada paling luar dengan ukuran 0,21 mikro dan 0,91 mikro. Hierarki structural ini dapat dilihat dari penyusunan orde micron yang semakin keatas orde penyusunan tiap *layer* makin kecil, sehingga hal ini dapat meningkatkan kekasaran morfologi permukaan yang menyebabkan sifat hidrofobitasnya semakin tinggi. Sedangkan energy permukaan yang menurun disebabkan interaksi yang kecil antara air dengan udara, sehingga air akan cenderung mempertahankan bentuk bulatnya, akibatnya sudut kontak yang terbentuk akan semakin besar, dan sifat hidrofobitasnya pun akan semakin besar pula (Wardani and Zainuri, 2018).

H. Pengaruh Komposisi Silika terhadap Sudut Kontak Lapisan Tipis Bersifat Hidrofobik

Berdasarkan penelitian oleh (Wardani and Zainuri, 2018), Modifikasi pembuatan lapisan *hydrophobic* menggunakan pasir silika yang dicampur dengan TEOS (*Tetraethylorthosilicate*) sebagai bahan pengisinya. Dan material HDMS (*Hexametildisilane*) digunakan untuk menurunkan energy permukaan pada lapisan sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofobitasnya. HDMS digunakan sebagai pengikat, dalam penelitiannya (Wardani and Zainuri, 2018) memvariasikan massa dari silika dengan variasi massa 1 gram, 2 gram, 3 gram, dan 5 gram. Pelapisan bahan menggunakan metode *dip coating* (Wardani and Zainuri, 2018). Gambar 11 merupakan hasil karakterisasi sudut kontak dari lapisan *hydrophobic* sesuai dengan variasi massa yang digunakan :

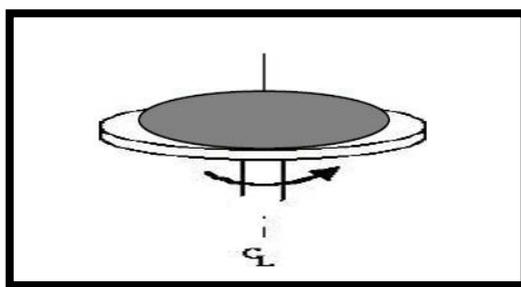


Gambar 13. Sudut Kontak Tetesan Air dengan Lapisan Permukaan (1). 1 gram, (2). 2 gram, (3). 3 gram, (4). 4 gram (Wardani and Zainuri, 2018)

Sudut kontak yang ditunjukkan oleh Gambar 13 menunjukkan penambahan konsentrasi massa pengisi silika tidak terlalu berpengaruh besar terhadap sudut kontak yang terbentuk antara keempat variasi massa tersebut. Tetapi keempat variasi massa tersebut telah berhasil dibuat dan memiliki sifat hidrofobik. Namun penelitian ini masih memiliki kelemahan dengan ukuran sudut kontak yang masih dapat ditingkatkan lagi ukurannya. Sudut kontak tertinggi terbentuk pada variasi massa 4 gram yaitu sebesar 98° , sedangkan sudut kontak terendah terdapat pada variasi massa 3 gram yaitu sebesar 93° . Pada variasi massa 1, 2 dan 3 tidak terlalu terlihat perubahan sudut kontak yang besar (Wardani dan Zainuri, 2018).

I. Metode *Spin Coating*

Spin coating merupakan satu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan keatas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan di atas substrat atau metode percepatan larutan pada substrat yang diputar (Purwanto dan Prajitno, 2013). Gambar 14 berikut merupakan metode dari *spin coating* :



Gambar 14. Metode Spin Coating
(Zulianingsih, 2012)

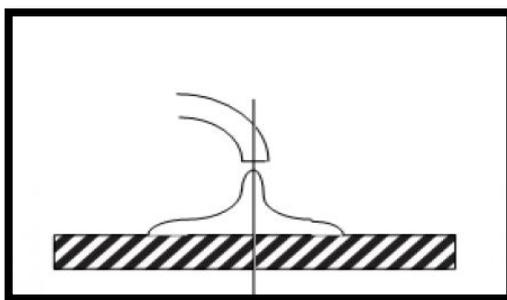
Prinsip kerja pembuatan lapisan tipis dengan metode spin coating adalah larutan dituangkan di atas gelas substrat yang diletakkan diatas spin coater dengan

kecepatan tinggi (rpm) dalam waktu tertentu. Semakin cepat putaran akan diperoleh lapisan tipis yang semakin homogeny dan tipis. Dengan spin coating dimungkinkan dapat diperoleh kualitas lapisan tipis yang semakin sempurna (Purwanto and Prajitno, 2013).

Metode spin coating ini memuat empat tahapan dasar yaitu, tahapan penetesannya cairan, tahapan percepatan spin coating, tahapan perataan, dan tahapan pengeringan.

1. Tahapan penetesannya cairan (dispense)

Pada bagian ini cairan dideposisikan diatas permukaan substrat, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi. Seperti Gambar 15 berikut :

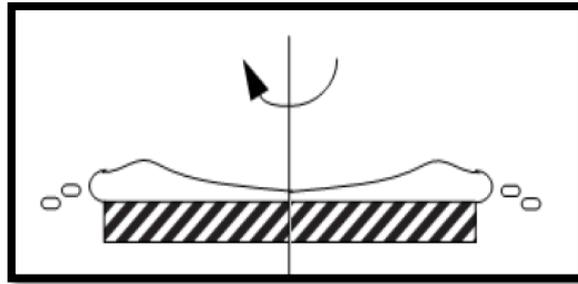


Gambar 15. Tahapan penetesannya cairan
(Zulianingsih, 2012)

Kemudian lapisan tipis yang telah dibuat akan dikeringkan sampai pelarut pada lapisan tersebut benar-benar sudah menguap. Proses ini dibagi menjadi dua macam yaitu : *Static dispense* : Proses disposisi sederhana yang dilakukan pada larutan diatas pusat substrat. *Dinamic dispense* : proses deposisi dengan kecepatan putar yang kecil kira-kira 500 rpm (Purwanto and Prajitno, 2013).

2. Tahapan percepatannya *spin coating*

Setelah tahapan penetesannya cairan, larutan dipercepat dengan kecepatan yang relative tinggi. Seperti Gambar 16 berikut :

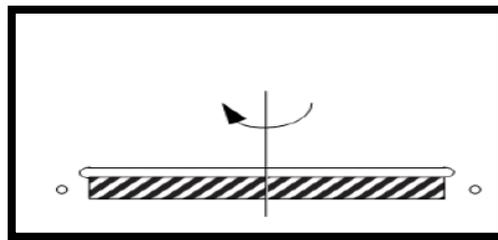


Gambar 16. Tahapan percepatan
(Zulianingsih, 2012)

Kecepatan yang digunakan pada substrat ini akan mengakibatkan adanya gaya sentrifugal dan turbulensi cairan. Kecepatan yang digunakan antara 1500-6000 rpm dan tergantung pada sifat cairan terhadap substrat yang digunakan. Waktu yang digunakan kira-kira 10 menit (Purwanto and Prajitno, 2013).

3. Tahap perataan

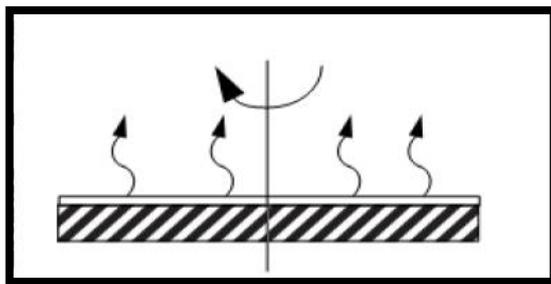
Setelah melalui tahapan percepatan maka akan terjadi perataan larutan diatas substrat. Perataan ini agar lapisan tidak terjadi ketebalan pada salah satu bagiannya. Gambar 17 berikut merupakan tahapan perataan :



Gambar 17. Tahapan perataan
(Zulianingsih, 2012)

4. Tahapan pengeringan

Pada tahap ini terbentuk lapisan tipis murni dengan suatu ketebalan tertentu. Seperti Gambar 18 berikut :



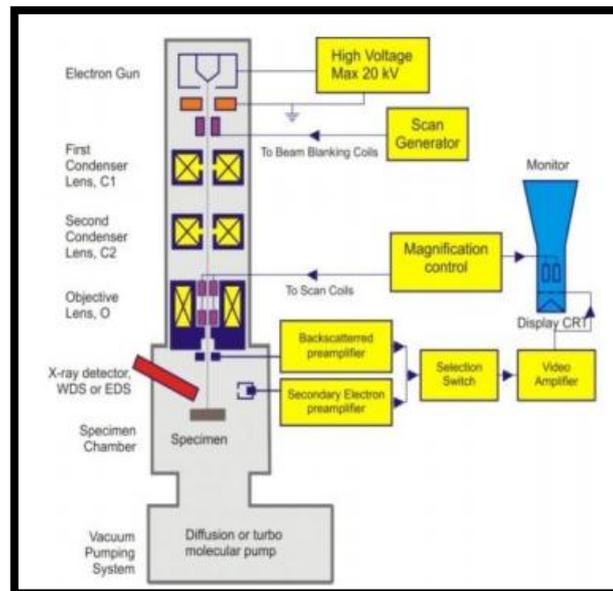
Gambar 18. Tahapan pengeringan
(Zulianingsih, 2012)

Tingkat ketebalan lapisan yang terbentuk bergantung pada tingkat kelembaban dasar substrat. Adanya kelembaban yang kecil menyebabkan kelebihan lapisan murni yang terbentuk akan menjadi semakin kecil (Purwanto and Prajitno, 2013).

J. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM adalah sebuah instrument yang menggunakan elektron-elektron berenergi tinggi dalam sebuah *raster-scan pattern* untuk membentuk gambar-gambar atau mengumpulkan sinyal-sinyal lain, membentuk permukaan tiga dimensi dari sebuah sampel. Hidrofobisitas sangat dipengaruhi oleh morfologi permukaannya. Dan *scanning electron microscopy (SEM)* merupakan alat yang erring digunakan untuk menampakkan karakteristik morfologi suatu material (Zhu dan Inada, 2012 dalam Wenten, 2015).

Pada dasarnya SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan electron dan dipantulkan atas berkas sinar electron sekunder. SEM menggunakan prinsip scanning dengan prinsip utamanya adalah berkas electron diarahkan pada titik-titik permukaan sampel. Gerakan electron diarahkan dari satu titik ke titik lain pada permukaan sampel. Gambar 19 merupakan gambar blok diagram SEM



Gambar 19. Blok Diagram SEM
(Sujatno, 2015)

Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang *scan coil* *discan*-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa *astigmatismus* dikoreksi oleh perangkat *stigmator*. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya (Sujatno, 2015).

Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride* LaB6 atau *Cerium Hexaboride* CeB6, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). Ketiga adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor *secondary electron* (SE) dan detektor *Backscattered electron* (BSE) (Sujatno, 2015).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ukuran kristal yang digunakan sebesar 47,95 nm dengan waktu milling 5 jam, menghasilkan silika quartz dengan kemurnian 75%.
2. Kandungan silika didalam nanokomposit sangat mempengaruhi lapisan menjadi hidrofobik, namun variasi komposisi silika yang diberikan tidak terlalu mempengaruhi dalam pembentukan sudut kontak untuk membuat lapisan menjadi hidrofobik. Komposisi optimum yang diperoleh dan sudut kontak yang terbentuk adalah komposisi 0,2/0,5 dengan sudut kontak 143°
3. Kandungan silika didalam nanokomposit sangat mempengaruhi lapisan menjadi hidrofobik, namun variasi komposisi silika yang diberikan tidak terlalu mempengaruhi dalam pembentukan morfologi lapisan nanokomposit Silika/Polietilen, komposisi optimum yang diperoleh untuk mendapatkan ukuran sebaran partikel yang kecil adalah pada komposisi 0,2/0,5 dengan ukuran butir terkecil yaitu 131,31 nm.

B. Saran

Saran untuk penelitian ini selanjutnya adalah :

1. Diharapkan dapat melakukan penelitian untuk meningkatkan sudut kontak menjadi superhidrofobik.

2. Untuk peneliti berikutnya diharapkan dapat membuat lapisan silika/polietilen yang bersifat transparan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah M, 2008. *Pengantar Nanosains*. Bandung : Penerbit ITB.
- Adi, W.A, Fauzy, R, Taryana, Y dan Yusmaniar.2018.*Pengaruh Komposisi Silika dari Abu Sekam Padi terhadap Daya Serap Gelombang Elektromagnetik pada Komposit Unsaturated Polyester Resins/Silika*. Jurnal ILMU DASAR. Vol. 19 No. 1 :7-16
- Afifah, M, Fuad, A, dan Diantoro, M.2015. *Pengaruh Nanosilika Terhadap Mikrostruktur, Kekuatan Tarik, Dan Ketahanan Kikis Komposit Karet Alam/Nanosilika*.UNM:Seminar Nasional Fisika dan Pembelajarannya 2015
- Bramantya, Yonando, L.P, Rifaldi, M, dan Oktavian, R.2018.*Sintesis dan Karakterisasi Silika Aerogol Hidrofobik dan Oliofilik dari Pasir Laut sebagai Absorben Tumpahan Minyak*. Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan. Vol. 2 No. 2 : 49-54
- Cassie, A.B.D. and S.Baxter. 1944. *Wettability of Porous Surfaces*. Trans. Faraday Soc., 40:p. 546-551.
- Darwis, Darmawati, Khaeroni, R, dan Iqbal. 2017. *Pemurnian dan Karakterisasi Silika menggunakan Metode Purifikasi (Leaching) dengan Variasi Waktu Milling pada Pasir Kuarsa Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso*. Jurnal of Science and Technology. Vol. 6 No. 2 : 187-193.
- Dewanto, Adrian Sjahmi dan Munasir.2016.*Core Shell Partikel Fe₂O₃/a-SiO₂ Berbasis Bahan Alam Disintesis dengan Metode Kopresipitasi*. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia. Vol. 5 No 2 : 1-4
- Fauziyah, N.A. 2015."Karakterisasi Komposit PEG 4000/SiO₂ (SiO₂ = Kuarsa, Amorf, Kristabolit) dengan *Dynamic Mechanical Analyser (DMA)*", "Tesis, 87 Hal., Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia, 29 Mei 2015.
- Firmansari, V., Ratnawulan, Ramli, dan Fauzi, A. 2016. *Pengaruh Waktu Milling Terhadap Ukuran Butir Forsterite (Mg₂SiO₄) dari Batuan Dunit di Daerah Jorong Tongar Nagari Aur Kuning, Kabupaten Pasaman Barat*. Pillar Of Physic. Vol.8 Oktober :89-96.

- Hamidah, Nur, Rizkiana, M.F, Setyawan, H, dan Affandi, S.2012. *Pelapisan Hidrofobik pada Kaca melalui Metode Sol-Gel dengan Precursor Waterglass*.ITS:Jurnal Teknik Pomits. Vol. 1,No. 1 : 1
- Hadiyawarman, Nuryaddin, B.W, dan Khairurrijjal.2008. *Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing*. Jurnal Nanosains & Nanoteknologi.Vol. 1 No. 1 : 14 – 21
- Hasan, H.A., Ghazali, M.J., Zainuddin, M.A., dan Azhari, C.H. 2017. Kesan Lilin Keatas Sifat Hidrofobik Permukaan Daun Pisang. Jurnal Kejuruteraan Vol 29 No. 1 : 1-7
- Irawati, A, F,. Dan Zainuri, M,. 2016.*Pengaruh Temperatur Perlakuan Panas Pada Lapisan Hydrophobic Komposit PDMS/SiO₂ dengan Fasa Silika Kristobalit*.JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 5, No.1, (2016) 2337-3520 (2301-928X Print).
- Irvantino, Brian. 2012. *Preparasi Katalis Ni/Zeolit Alam dengan Metode Sonokimia untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietien (Skripsi)*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Karthick, B., dan Ramesh Maheshwari. 2008. *Lotus-Inspired Nanotechnology Applications. Resonance, General ArticleI*.
- Latthe, and Sanjay Subbash. 2012. *Recent Progress in Preparation of Superhydrophobic Surfaces. Jsemat, Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology 2. Pg. 76-94*.
- Liao, C.H., C.W. Huang, & J.C.S. Wu. 2012. *Hydrogen Production from Semiconductor based Photocatalysis via Water Splitting. Catalysis. 2(1):490-516*.
- Muhlis, Imam Fathonil, S.J. Iswarin, Rahmat Triandi, Masruroh.(2013). *Studi Penumbuhan Lapisan Tipis PZT dengan Metode Spin Coating*. Volume 1, Nomor 1
- Pambudi dan Zainuri.2016. *Pengaruh Waktu Tahan Proses Kalsinasi Silika sebagai Material Pelapis Hidrofobik*.ITS:Jurnal Sains dan Seni. Vol. 5,No,2:80-83
- Putri, T.A., Ratnawulan, dan Ramli.2018. *Sintesis Lapisan Hidrofobik Nanokomposit Mangan Oksida/Polystiren (MnO₂/PS) untuk Aplikasi Self Cleaning*. Pillar of Physic UNP. Vol 11 No 2: 1-8
- Purwanto, Romli dan Gontjang Prajitno.2013.*Variasi kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk Pembuatan dan*

Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (Garcinia Mangostana) sebagai Dye Sensitizer. JURNAL SAINS DAN SENI POMITS. Vol. 2 No. 1 : 2337-3520

Rahayu, F., dan Zainuri, M.2016. “Pengaruh Jenis Fasa SiO₂ (Amorphous, Quartz, Cristobalite) Terhadap Sifat Hydrophobic pada Media Kaca”. Jurnal POMITS 1-7

Rohmah dan Zainuri.2016. “Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi SiO₂ terhadap Sifat Kebasahan pada Permukaan Hidrofobik” .ITS:Jurnal Seni dan Sains. Vol. 5,No,2:1

Sari, N,H. 2018. Material Teknik. Yogyakarta: CV Budi Utama.

Sriyanti,Ida.2008. *Nanocomposite prepared by simple mixing method. “Challenging Science Education in The Digital Era” Physics Education University of Sriwijaya.*

Sujatno, A, Salam, R, Bandriyana dan Dimiyati, Arbi. 2015. Studi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Jurnal Forum Nuklir Vol. 9 No.2: 44-50

Sumadiyasa, M. 2018. Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. Buletin Fisika. Vol 19 No.1 :28-35

Trianasari. 2017.“Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (*Pumice*)”, *Skripsi*, 62 Hal., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia, Oktober 2017.

Wardani, A. H dan Zainuri, M. 2018. Pengaruh Variasi Massa SiO₂ Terhadap Sudut Kontak dan Transparansi pada Lapisan *Hydrophobic*. Jurnal Sains dan Seni ITS Vol 7 No.2 : 2337-3520

Wenten,. Himma, N.F,. Anisah, S., dan Prasetya, N.2014. Membran Superhidrofobik Pembuatan,Karakterisasi dan Aplikasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Zulianingsih, Nika. 2012. “Analisa Pengaruh Jumlah Lapisan Tipis BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel terhadap Ketebalan dan Sifat Listrik (*Kurva Histeresis*)”, *Skripsi*, 49 Hal., Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia, Januari 2012.