

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA DAN PERHITUNGAN

LAMPIRAN A.1 Pengukuran Sudut Kontak pada Masing-Masing Variabel

Tabel A.1 Hasil Pengukuran Sudut Kontak pada Variabel Rasio H₂O: Natrium Silikat

Rasio	Sampel ke-	Sudut Kontak (°) Xi	Rata Rata (μ)	(Xi-μ) ²	∑(Xi-μ) ²	% Error
15:1	1	118.940	119.290	0.123	25.014	2.888
	2	122.989		13.680		
	3	115.942		11.211		
16:1	1	129.425	127.122	5.302	7.973	1.630
	2	126.069		1.110		
	3	125.873		1.561		
17:1	1	138.151	137.435	0.513	0.982	0.572
	2	136.751		0.468		
	3	137.403		0.001		
18:1	1	144.991	143.900	1.191	2.870	0.978
	2	142.618		1.643		
	3	144.09		0.036		
19:1	1	135,000	130.722	18.301	28.358	3.075
	2	129.256		2.149		
	3	127.910		7.907		

Tabel A.2 Hasil Pengukuran Sudut Kontak pada Variabel Konsentrasi NH₄OH

Konsentrasi NH ₄ OH (M)	Sampel ke-	Sudut Kontak (°) Xi	Rata Rata (μ)	(Xi-μ) ²	Σ(Xi-μ) ²	% Error
0.1	1	144.991	143.900	1.191	2.870	0.978
	2	142.618		1.643		
	3	144.090		0.036		
0.2	1	146.683	145.824	0.738	1.606	0.732
	2	144.895		0.863		
	3	145.894		0.005		
0.3	1	146.681	149.940	10.623	18.489	2.483
	2	150.440		0.250		
	3	152.700		7.616		
0.4	1	156.413	157.259	0.716	0.892	0.545
	2	157.166		0.009		
	3	158.199		0.883		
0.5	1	154.213	154.312	0.010	0.564	0.433
	2	153.837		0.225		
	3	154.885		0.329		

Tabel A.3 Hasil Pengukuran Sudut Kontak pada Pengujian Stabilitas Membran Silika Hidrofobik

Hari ke-	Sampel ke-	Sudut Kontak (°) Xi	Rata Rata (μ)	(Xi-μ) ²	Σ(Xi-μ) ²	% Error
0	1	156.413	157.259	0.716	1.608	0.732
	2	157.166		0.009		
	3	158.199		0.883		
1	1	146.310	145.048	1.593	2.603	0.931
	2	144.744		0.092		
	3	144.090		0.918		
2	1	149.876	146.116	14.138	22.863	2.761
	2	143.326		7.784		
	3	145.146		0.941		
3	1	145.939	147.147	1.459	8.099	1.643
	2	149.470		5.396		
	3	146.032		1.243		
4	1	151.064	150.606	0.209	0.713	0.487
	2	150.824		0.047		
	3	149.931		0.456		
5	1	150.400	153.139	7.500	32.349	3.284
	2	151.260		3.529		
	3	157.756		21.320		

*Keterangan:

%Error $\leq 5\%$

$$\% \text{ Error} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}}$$

(Ruben, 2011)

LAMPIRAN A.2 Perhitungan Selektivitas Membran Komposit Silika Hidrofobik

Data

Berat Buchner	=	97.416	gr
Berat Erlenmeyer	=	70.039	gr
Berat Petri Dish	=	42.115	gr
Wadah 1	=	102.038	gr
Wadah 2	=	101.247	gr
Wadah 3	=	101.976	gr
Wadah 4	=	47.761	gr
Wadah 5	=	47.381	gr
Wadah 6	=	48.332	gr
Plastisin 60	=	2.838	gr
Kain 60%	=	1.34	gr
Massa Campuran	=	20	gr

Tabel A.4 Data Pengamatan Proses Pemisahan Campuran Minyak-Air Menggunakan Membran Silika Hidrofobik

Kadar Minyak	Berat Sampel Filtrat (gr)	Berat Retentat (gr)	Berat Permeat (gr)	Berat Hilang (gr)*	Berat Rangkaian Alat (gr)		e** (%)
					Awal	Akhir	
55%	53.843	8.676	6.082	5.242	374.700	380.100	73.79
60%	54.422	7.200	7.041	5.759	375.100	381.100	71.21
65%	56.008	6.318	8.627	5.055	374.100	379.200	74.73
70%	56.449	5.733	8.688	5.579	374.700	380.300	72.11
75%	111.929	4.643	10.682	4.675	374.600	379.300	76.63

* Berat hilang merupakan berat minyak yang terserap di dalam membran

**

$$e = ((a - a_0) / a) \times 100$$

Keterangan:

e = efisiensi

a = berat awal campuran minyak-air

a₀ = berat massa hilang selama pemisahan

(Zulfiqar, 2016)

Tabel A.5 Data Penimbangan Wadah dan Minyak Permeat Setelah Pemanasan

Kadar Minyak	Berat Wadah + Minyak Permeat Setelah pemanasan ke- (gr)		
	1	2	3
55%	53.807	53.803	53.803
60%	54.391	54.389	54.388
65%	55.989	55.984	55.983
70%	56.437	56.436	-
75%	111.925	111.923	-

Tabel A.6 Data Penimbangan Berat Permeat Setelah Pemanasan

Kadar Minyak	Berat Permeat Setelah Pemanasan ke- (gr)		
	1	2	3
55%	6.046	6.042	6.042
60%	7.010	7.008	7.007
65%	8.608	8.603	8.602
70%	8.676	8.675	-
75%	10.678	10.676	-

Tabel A.7 Data Perhitungan Kadar Air dalam Permeat

Kadar Minyak	Kadar Air Permeat Setelah Pemanasan ke- * (gr)			0,02% Sampel Uji	Selisih 2 Penimbangan berturut-turut (gr)
	1	2	3		
55%	0.036	0.040	0.040	0.0012	0.0000
60%	0.031	0.033	0.034	0.0014	0.0001
65%	0.019	0.024	0.025	0.0017	0.0006
70%	0.012	0.013	-	0.0017	0.0010
75%	0.004	0.006	-	0.0021	0.0020

*Pengulangan uji kadar air dilakukan hingga selisih berat antara 2 penimbangan berturut turut tidak melebihi 0,02% dari berat contoh uji

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana:

R = koefisien rejeksi

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

(Notodarmojo dkk., 2014)

$$C_p = \frac{\text{Massa Air pada Permeat}}{\text{Massa Campuran}}$$

$$C_f = \frac{\text{Massa Air pada Umpan}}{\text{Massa Campuran}}$$

$$\% \text{ Air dalam Permeat} = \frac{\text{Massa Air pada Permeat}}{\text{Massa Permeat}}$$

Tabel A.8 Data Porsen Air dalam Permeat

Kadar Minyak	Berat Air Setelah Pemanasan ke-			% Air dalam Permeat
	1	2	3	
55%	0.036	0.040	0.040	0.658
60%	0.031	0.033	0.034	0.477
65%	0.019	0.024	0.025	0.285
70%	0.012	0.013	-	0.150
75%	0.004	0.006	-	0.056

Tabel A.9 Data Selektivitas Membran Silika Hidrofobik

Kadar Minyak	C _p	C _f	R
55%	0.002	0.45	0.996
60%	0.002	0.4	0.996
65%	0.001	0.35	0.997
70%	0.001	0.3	0.998
75%	0.000	0.25	0.999

LAMPIRAN A.3 Perhitungan Beda Nyata Terkecil (BNT)

LAMPIRAN A.3.1 Uji Beda Nyata Terkecil Variabel I; Variabel Rasio H₂O:Natrium Silikat

Tabel A.10 Hasil Uji Sudut Kontak Variabel Rasio H₂O:Natrium Silikat

Rasio	Sudut Kontak (°)
1	119.29
2	127.122
3	137.435
4	143.9
5	130.722

Tabel A.11 Hasil Perhitungan Anova: Single Factor

SUMMARY					
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>	
Rasio	5	15	3	2.5	
Sudut Kontak (°)	5	658	131.694	89.413	

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	41405.235	1	41405.235	900.964	1.647E-09	5.318
Within Groups	367.653	8	45.957			
Total	41772.888	9				

Tabel A.12 Hasil Perhitungan BNT Berdasarkan Rumus

1. MS _E	45.957
2. t _{α,df_e}	2.306
α	0.05
df _e	8
3. r	1
Hasil BNT	22.108

Tabel A.13 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

Rasio	Sudut Kontak (°)		Rasio	Sudut Kontak (°)	Besar Beda	BNT	Keterangan
1	119.29	vs	2	127.122	7.832	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
	119.29	vs	3	137.435	18.145	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
	119.29	vs	4	143.9	24.61	22.108	Berbeda Signifikan
	119.29	vs	5	130.722	11.432	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
2	127.122	vs	3	137.435	10.313	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
	127.122	vs	4	143.9	16.778	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
	127.122	vs	5	130.722	3.6	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
3	137.435	vs	4	143.9	6.465	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
	137.435	vs	5	130.722	6.713	22.108	Tidak Berbeda Signifikan
4	143.9	vs	5	130.722	13.178	22.108	Tidak Berbeda Signifikan

LAMPIRAN A.3.2 Uji Beda Nyata Terkecil Variabel II; Variabel Konsentrasi NH₄OH

Tabel A.14 Hasil Uji Sudut Kontak Variabel Konsentrasi Katalis NH₄OH

Konsentrasi (M)	Sudut Kontak
0.1	143.9
0.2	145.824
0.3	149.94
0.4	157.259
0.5	154.312

Tabel A.15 Hasil Perhitungan Anova: Single Factor

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Konsentrasi (M)	5	1.5	0.3	0.025
Sudut Kontak	5	751	150.247	31.408

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	56210.257	1	56210.257	3576.457	6.791E-12	5.318
Within Groups	125.733956	8	15.717			
Total	56335.991	9				

Tabel A.16 Hasil Perhitungan BNT Berdasarkan Rumus

1. MS _E	15.717
2. t _{α,df_e}	2.306
α	0.05
df _e	8
3. r	1
Hasil BNT	12.929

Tabel A.17 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

Konsentrasi (M)	Sudut Kontak (°)		Konsentrasi (M)	Sudut Kontak (°)	Besar Beda	BNT	Keterangan
0.1	143.9	vs	0.2	145.824	1.924	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
	143.9	vs	0.3	149.94	6.04	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
	143.9	vs	0.4	157.259	13.359	12.929	Berbeda Signifikan
	143.9	vs	0.5	154.312	10.412	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
0.2	145.824	vs	0.3	149.94	4.116	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
	145.824	vs	0.4	157.259	11.435	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
	145.824	vs	0.5	154.312	8.488	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
0.3	149.94	vs	0.4	157.259	7.319	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
	149.94	vs	0.5	154.312	4.372	12.929	Tidak Berbeda Signifikan
0.4	157.259	vs	0.5	149.94	7.319	12.929	Tidak Berbeda Signifikan

LAMPIRAN A.3.3 Uji Beda Nyata Terkecil Stabilitas Membran dalam 5 Hari

Tabel A.18 Hasil Uji Stabilitas Membran

Hari	Sudut Kontak (°)
0	157.259
1	145.048
2	146.116
3	147.147
4	150.606
5	153.139

Tabel A.19 Hasil Perhitungan Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	6	15	2.5	3.5
Sudut Kontak (°)	6	899.315	149.886	22.117

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	65167.752	1	65167.752	5087.939	7.153E-15	4.965
Within Groups	128.083	10	12.808			
Total	65295.834	11				

Tabel A.20 Hasil Perhitungan BNT Berdasarkan Rumus

1. MS_E	12.808
2. t_{α, df_e}	2.228
α	0.05
df_e	10
3. r	1
Hasil BNT	11.277

Tabel A.21 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

Hari	Sudut Kontak (°)		Hari	Sudut Kontak (°)	Besar Beda	BNT	Keterangan
	157.259	vs	1	145.048	12.211	11.277	Berbeda Signifikan
	157.259	vs	2	146.116	11.143	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
0	157.259	vs	3	147.147	10.112	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	157.259	vs	4	150.606	6.653	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	157.259	vs	5	153.139	4.12	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	145.048	vs	2	146.116	1.068	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
1	145.048	vs	3	147.147	2.099	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	145.048	vs	4	150.606	5.558	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	145.048	vs	5	153.139	8.091	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	146.116	vs	3	147.147	1.031	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
2	146.116	vs	4	150.606	4.49	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	146.116	vs	5	153.139	7.023	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
	147.147	vs	4	150.606	3.459	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
3	147.147	vs	5	153.139	5.992	11.277	Tidak Berbeda Signifikan
4	150.606	vs	5	153.139	2.533	11.277	Tidak Berbeda Signifikan

LAMPIRAN A.3.4 Uji Beda Nyata Terkecil Proses Pemisahan Campuran Minyak-Air

Tabel A.22 Hasil Rejeksi Pemisahan Campuran Minyak-Air

Kadar Minyak	R
0.55	0.996
0.6	0.996
0.65	0.996
0.7	0.998
0.75	0.999

Tabel A.23 Hasil Perhitungan Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Kadar Minyak	5	3.25	0.65	0.006
R	5	4.984	0.997	1.918E-06

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.301	1	0.301	96.239	9.792E-06	5.318
Within Groups	0.025	8	0.003			
Total	0.326	9				

Tabel A.24 Hasil Perhitungan BNT Berdasarkan Rumus

1. MSE	0.003
2. t_{α, df_e}	2.306
α	0.05
df_e	8
3. r	1
Hasil BNT	0.182

Tabel A.25 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

Kadar Minyak	Sudut Kontak		Kadar Minyak	Sudut Kontak	Besar Beda	BNT	Keterangan
0.55	0.996	vs	0.6	0.996	0.0002	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.65	0.996	0.0009	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.7	0.998	0.0023	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.75	0.999	0.0032	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
0.6	0.996	vs	0.65	0.996	0.0007	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.7	0.998	0.0020	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.75	0.999	0.0030	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
0.65	0.996	vs	0.7	0.998	0.0013	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
	0.996	vs	0.75	0.999	0.0023	0.182	Tidak Berbeda Signifikan
0.7	0.998	vs	0.75	0.999	0.0010	0.182	Tidak Berbeda Signifikan

LAMPIRAN A.4 Tabulasi Puncak Pita Serapann FT-IR Serbuk Silika Hidrofobik

Tabel A. 26 Tabulasi Data Puncak Pita Serapan FT-IR pada Serbuk Silika Hidrofobik

No.	Bilangan Gelombang Puncak (/cm)	%T
1.	451,34	22.181
2.	648,08	43.053
3.	802,39	30.037
4.	972,12	31.596
5.	1087,85	19.115
6.	1095,57	19.095
7.	1417,68	48.575
8.	1556,55	48.145
9.	1629,85	53,853
10.	1870,95	64,917
11.	2856,58	56,689
12.	2927,94	51,368
13.	3091,89	47,596
14.	3128,54	46,010
15.	3172,9	44,948
16.	3450,65	46,165

LAMPIRAN B. DOKUMENTASI KEGIATAN



(a)



(b)

Gambar B.1 (a) Proses pembuatan larutan alkali (b) pH larutan alkali



Gambar B.1 Perendaman kain dalam larutan alkali



(a)



(b)

Gambar B.3 (a) Kain setelah perendaman larutan alkali (b) pH 7 setelah pencucian



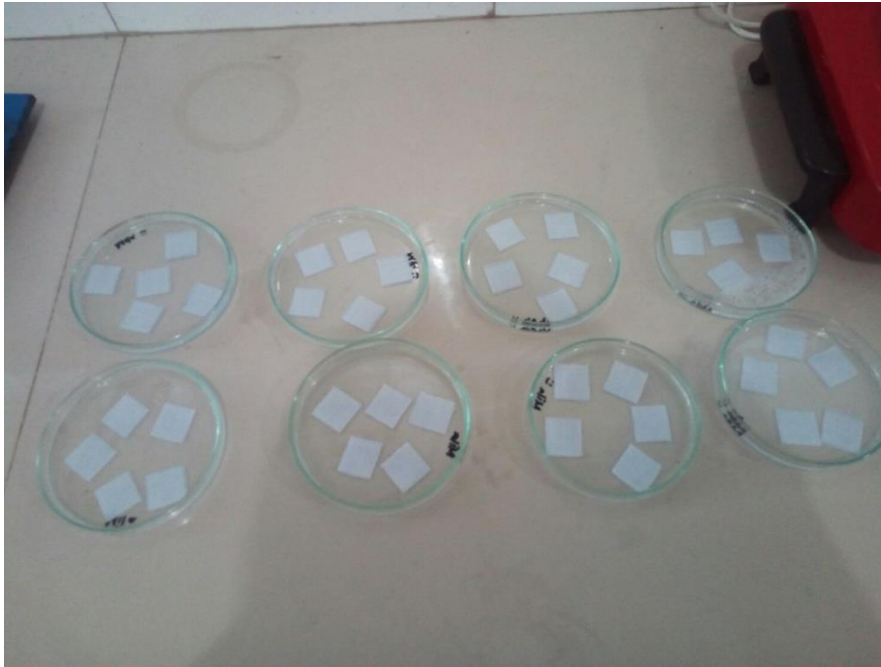
Gambar B.4 Homogenisasi menggunakan *ultrasonic*



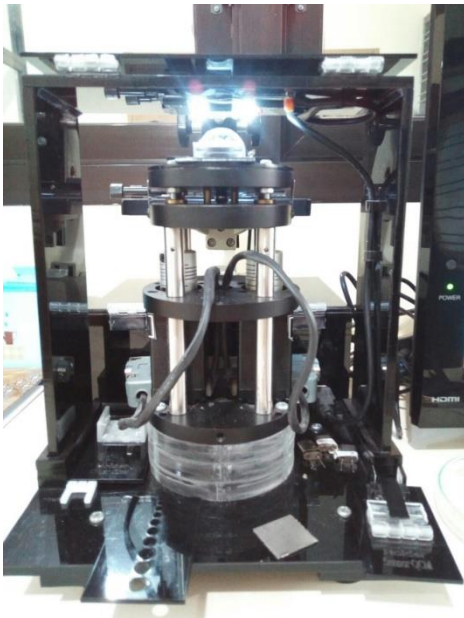
Gambar B.5 Proses sililasi



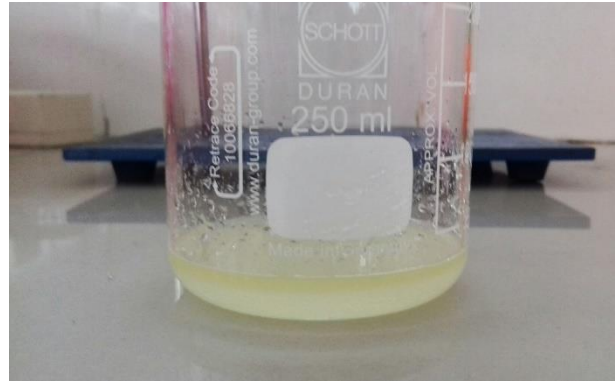
Gambar B.6 Pengeringan membran komposit hidrofobik



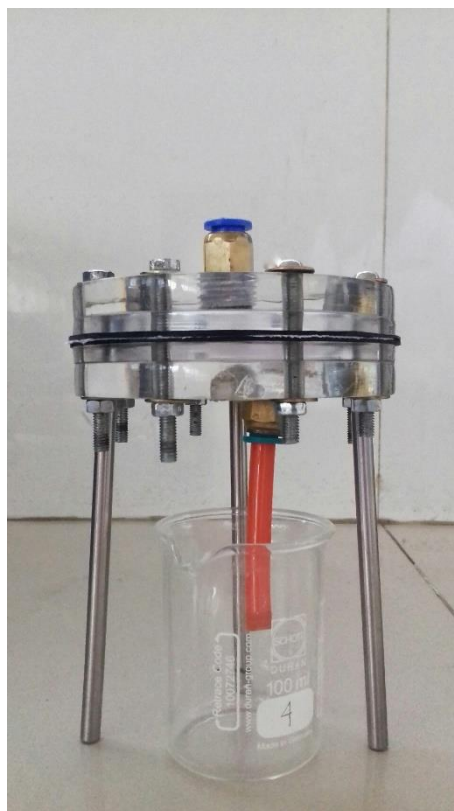
Gambar B.7 Membran komposit hidrofobik



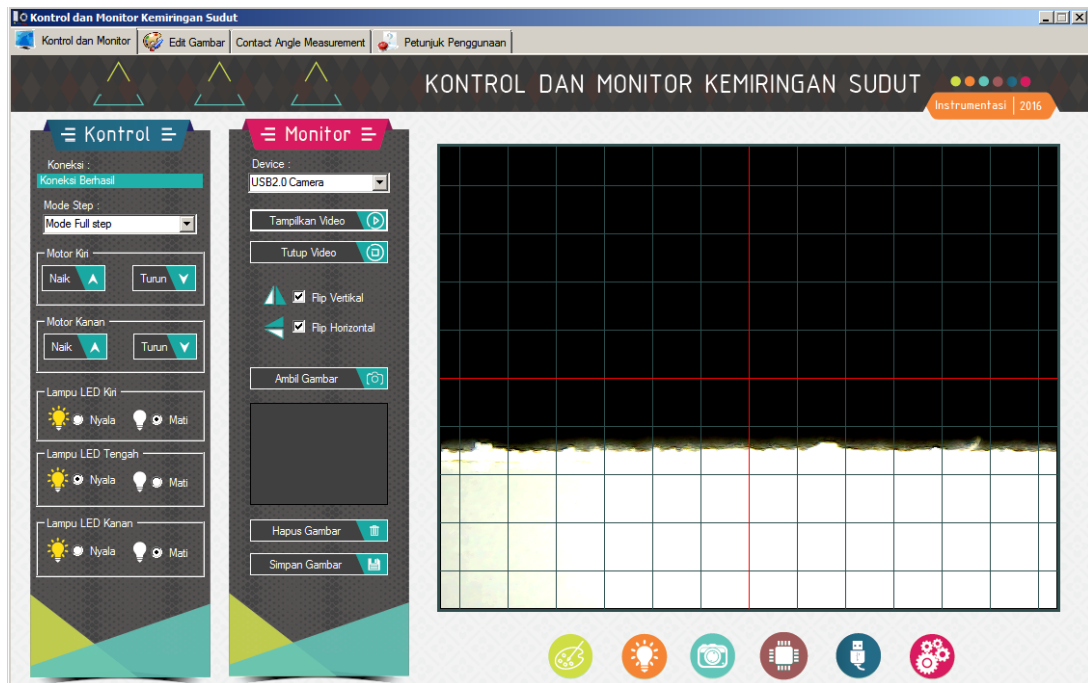
Gambar B.8 Uji sudut menggunakan goniometer



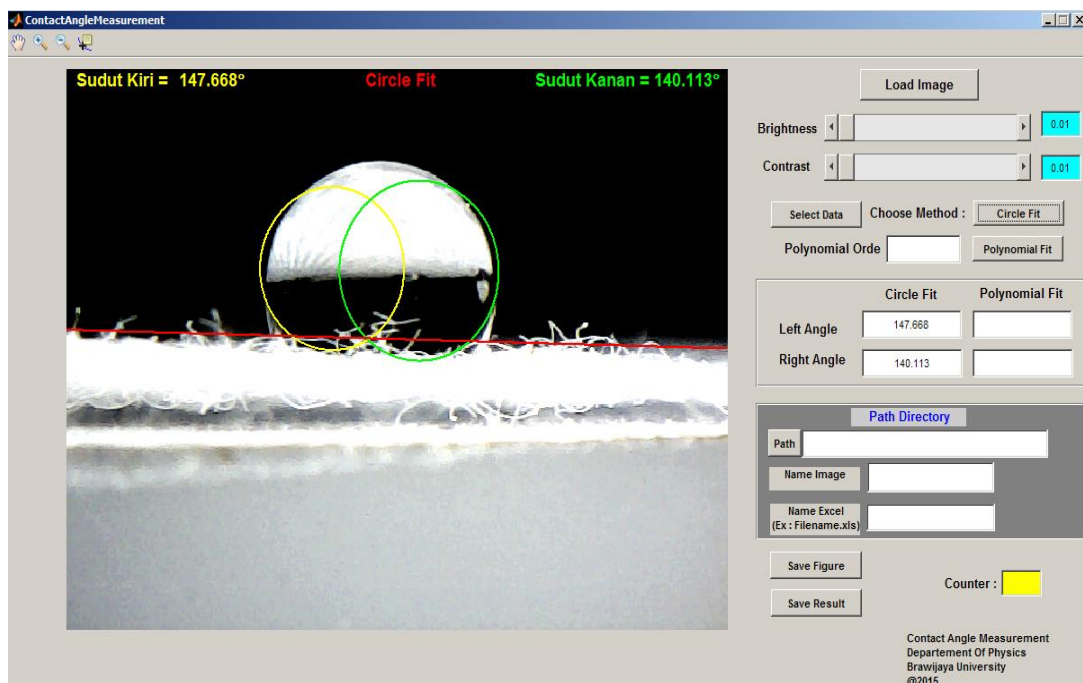
Gambar B.9 Emulsi air dalam minyak



Gambar B.10 Proses pemisahan minyak-air



Gambar B.10 Pengambilan gambar tetesan air pada permukaan membran menggunakan goniometer



Gambar B.11 Pengukuran sudut kontak menggunakan software *contact angle measurement*

LAMPIRAN C. SURAT PENGANTAR

LAMPIRAN C.1 Surat Pengantar Penggunaan Alat Goniometer



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
<http://teknik.ub.ac.id> E-mail : teknik@ub.ac.id

Nomor : 57/JUN10/F07/01/PP/2018
Hal : Permohonan Peminjaman Alat

09 JAN 2018

Yth Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA
Universitas Brawijaya

Bersama ini kami hadapkan dengan hormat, mahasiswa kami :

No.	Nama	No. Induk Mahasiswa
1.	Mila Baank Imansari	145061101111009
2.	Nadia Sjavra Mahardana	145061101111021

Jurusan : Teknik Kimia

Mahasiswa tersebut membutuhkan Alat Goniometer guna penelitian dalam rangka mengerjakan Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk itu kami mohon bantuan dan kesediaan Bapak/Ibu agar memfasilitasi.

Judul Skripsi : Pengaruh Rasio H₂O:Natrium Silikat dan Konsentrasi Katalis NH₄OH Pada Membran Komposit Silika Hidrofobik dalam Pemisahan CPO-Air
Waktu Pelaksanaan : 18 Desember 2017 sd 31 Januari 2018
Fasilitas yang dibutuhkan : Alat Goniometer

Atas Perhatian, serta kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

A.n Dekan,
Wakil Dekan Bidang Akademik,

Dr. Ir. Surjono, MTP
NIP 196505181990021001

Tembusan :

1. Ketua Jurusan Teknik Kimia FT UB;
2. Kalab Instrumentasi & Pengukuran Jurusan Fisika MIPA;
3. Mahasiswa Yang Bersangkutan.

LAMPIRAN C.2 Surat Pengantar Uji FT-IR



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
http : teknik.ub.ac.id E-mail : teknik@ub.ac.id

Nomor : 699 /UN10.F07.01/PP/2018
Hal : Permohonan Uji Fourier
Transform Infrared (FT-IR)

01 MAR 2018

Yth. Kepala Laboratorium Sentral Mineral Dan Material Maju
Fakultas MIPA
Universitas Negeri Malang
Malang

Bersama ini kami hadapkan dengan hormat, mahasiswa kami :

No.	Nama	No. Induk Mahasiswa
1.	Mila Baarik Imansari	145061101111009
2.	Nadia Sjavira Mahardana	145061101111021

Jurusan : Teknik Kimia

Mahasiswa tersebut membutuhkan pengujian FT-IR guna penelitian dalam rangka mengerjakan Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk itu kami mohon bantuan dan kesediaan Bapak/Ibu agar memfasilitasi.

Judul Skripsi : Pengaruh Rasio H₂O:Natrium Silikat dan Konsentrasi Katalis NH₄OH Pada Membran Komposit Silika Hidrofobik dalam Pemisahan CPO-Air
Waktu Pelaksanaan : 1 Maret 2018 sd 31 Maret 2018
Fasilitas yang dibutuhkan : Pengujian FT-IR

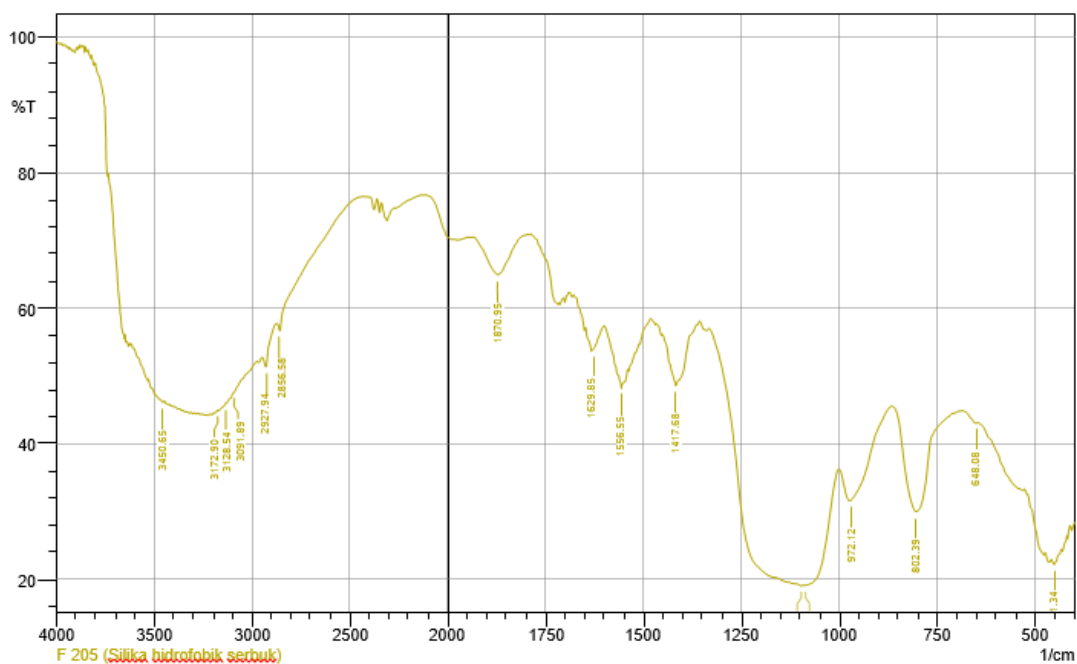
Atas Perhatian, serta kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

A. A. Bekan,
Wakil Dekan Bidang Akademik,

Mahardana Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D
NIP. 197308191999031002

Tembusan :
1. Ketua Jurusan Teknik Kimia FT UB;
2. Mahasiswa Yang Bersangkutan.

LAMPIRAN D. HASIL UJI FT-IR



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	
1	451.34	22.181	1.139	457.13	433.98	14.742	0.278
2	648.08	43.053	0.156	677.01	646.15	11.104	0.063
3	802.39	30.037	15.274	866.04	696.3	69.845	11.32
4	972.12	31.596	6.736	1001.06	867.97	57.014	5.146
5	1087.85	19.115	0.762	1091.71	1002.98	55.042	3.941
6	1095.57	19.092	0.099	1109.07	1091.71	12.452	0.03
7	1417.68	48.575	8.09	1450.47	1365.6	23.605	2.784
8	1556.55	48.145	4.579	1598.99	1541.12	16.493	1.019
9	1629.85	53.853	3.386	1647.21	1600.92	11.873	0.671
10	1870.95	64.917	5.77	1936.53	1805.37	22.035	2.275
11	2856.58	56.689	1.697	2870.08	2461.17	67.903	0.142
12	2927.94	51.368	2.707	2947.23	2872.01	19.69	0.415
13	3091.89	47.596	0.082	3093.82	2974.23	35.97	0.013
14	3128.54	46.01	0.208	3132.4	3093.82	12.748	0.051
15	3172.9	44.948	0.105	3176.76	3132.4	15.231	0.072
16	3450.65	46.165	0.29	3495.01	3446.79	15.979	0.109

Comment;
F 205 (Silika hidrofobik serbuk)

Date/Time; 3/12/2018 10:44:21 AM
No. of Scans; 40
Resolution; 4 [1/cm]
Apodization: Happ-Genze

User; Lab Sentral UM

PENGARUH RASIO H₂O:NATRIUM SILIKAT DAN KONSENTRASI KATALIS NH₄OH PADA MEMBRAN KOMPOSIT SILIKA HIDROFOBİK DALAM PEMISAHAN CPO-AIR

Mila Baarik Imansari, Nadia Sjavira Mahardana, Bambang Poerwadi
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Hayono 167, Malang 65145
Email: milabaarik21@gmail.com, vira.sjavira20@gmail.com

ABSTRAK

Membran komposit hidrofobik merupakan membran modifikasi dimana partikel silika hidrofobik didepositkan ke dalam media berupa kain katun. Membran tersebut yang digunakan dalam pemisahan campuran minyak-air skala laboratorium. Partikel silika hidrofobik dalam penelitian ini difabrikasi dengan metode sol gel menggunakan prekursor larutan natrium silikat (*waterglass*) dan agen sililasi berupa TEOS (*tetraethoxysilane*). Variabel yang ditinjau meliputi rasio H₂O:natrium silikat pada 15:1; 16:1; 17:1; 18:1; dan 19:1; dan juga konsentrasi katalis NH₄OH 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, dan 0,5 M. Dengan metode sol-gel, partikel SiO₂ akan didepositkan ke dalam membran untuk menciptakan sifat hidrofobitas yang dihitung berdasarkan nilai sudut kontak butiran air di atas membran. Pemisahan minyak-air dilakukan berdasarkan perbedaan kepolaran dimana membran ini dengan sifat oleofiliknya akan menyerap minyak sehingga minyak dapat melewati membran. Sementara membran juga akan menghalangi air akibat sifat hidrofobiknya. Rasio H₂O:natrium silikat pada 18:1 menghasilkan sudut kontak tertinggi sebesar 143.900°. Kemudian rasio 18:1 digunakan untuk variasi katalis NH₄OH, dan menghasilkan nilai sudut kontak tertinggi sebesar 157,259° pada konsentrasi 0,4 M. Uji kestabilan hidrofobitas membran dilakukan selama 5 hari dan didapatkan membran dapat mempertahankan hidrofobitasnya tanpa ada perubahan signifikan pada sudut kontakannya. Pada proses pemisahan minyak-air, selektivitas membran komposit hidrofobik berdasarkan nilai koefisien rejeksinya (R) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada keseluruhan variasi % minyak, yaitu sekitar 0,996-0,999. Hal ini menunjukkan membran komposit dapat memisahkan campuran minyak-air.

Kata kunci: hidrofobik, membran, silika, sol-gel

ABSTRACT

The hydrophobic composite membrane is a modified membrane in which silica particles are deposited on cotton fabric medium. The hydrophobic silica particles in this study are fabricated by sol-gel method using sodium silicate (*waterglass*) solution and a TEOS (*tetraethoxysilane*) as sililation agent. The variables that examined in this study are the ratio of H₂O to sodium silicate of 15: 1; 16: 1; 17: 1; 18: 1; and 19: 1; and NH₄OH catalyst concentration of 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M, 0.4 M, and 0.5 M. Silica (SiO₂) particles are deposited on the membrane to create hydrophobicity which is measured based on the value of contact angle of the water droplet on the membrane surface. Oil-water separation process is based on polar differences in which the membrane with its oleophilic properties absorbs the oil then passes it. While the membrane will block the water due to its hydrophobic nature. The H₂O: sodium silicate ratio on 18:1 produces the highest contact angle about 143.900°. By using 18:1 on NH₄OH concentration variation, 0.4 M produces the highest contact angle about 157.259°. The hydrophobicity resistance was conducted for 5 days and it was obtained that it could maintain its hydrophobicity without any significant difference. In water-oil separation process, the selectivity of the hydrophobic composite membrane indicated that there is no significant difference in the rejection coefficient (R) in all variation of water-oil percentage ie, 0,996-0,999 which implies that membrane could separate oil-water mixture successfully

Keywords: hydrophobic, membrane, silica, sol-gel

PENDAHULUAN

Proses pemisahan minyak-air menjadi tahapan yang esensial dalam pabrik tekstil, permesinan, pengolahan kulit, pengolahan logam, pengolahan limbah, pengeboran minyak, dan pengolahan minyak nabati. Indonesia sangat unggul dalam pengolahan minyak nabati khususnya minyak kelapa sawit. Hasil dari proses ekstraksi berupa minyak mentah yang terdiri atas minyak kelapa sawit, air, serat, dan padatan non-minyak atau *non-oily solid* (NOS). Proses pemurnian minyak mentah dilakukan pada *Continuous Settling Tank* (CST) yang berfungsi untuk mengendapkan serat dan NOS, untuk mempermudah pemisahan suhu dipertahankan antara 80-90°C. pengembangan teknologi yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan sangat diperlukan untuk memaksimalkan proses ini. Melalui pengembangan yang tepat pemisahan berbasis membran atau penghalang dapat digunakan dalam proses pemisahan campuran CPO-air pada tangki pengendapan (*settling tank*) pada proses pengolahan minyak kelapa sawit.

Proses pemurnian dengan cara konvensional menggunakan *settling tank* memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah membutuhkan energi yang dapat meningkatkan biaya produksi. Salah satu teknologi yang dapat diaplikasikan dalam pemisahan CPO-air adalah material

komposit yang memiliki sifat hidrofobik dan oleofilik dengan metode pemisahan filtrasi berbasis membran atau penghalang. Teknologi ini memiliki kelebihan diantaranya yaitu: mudah untuk di-*scale up*, kondisi operasi yang mudah dikondisikan, tidak menggunakan aditif, dan konsumsi energi yang rendah. Pada pemisahan berbasis membran, membran akan bertindak sebagai penghalang dan memungkinkan pemisahan senyawa tertentu melalui difusi dan penyaringan.

Komposit hidrofobik memiliki sifat hidrofobik yang dihasilkan dari kombinasi hirarki struktur mikro-nano permukaannya dan perbedaan kepolaran. Kepolaran yang berbeda pada minyak dan air dapat mengakibatkan proses pemisahan minyak-air, dimana material ini dengan sifat oleofiliknya akan menyerap minyak dan melewati penghalang, sementara penghalang juga akan menghalangi air akibat sifat hidrofobiknya. Komposit hidrofobik pada penelitian ini dibuat dengan dapat dibuat dengan mengombinasikan senyawa oleofilik dan hidrofobik pada suatu permukaan material dengan tingkat topografi kekasaran yang cukup. Hidrofobitas dapat dibuat dengan metode sol-gel menggunakan larutan silika atau “water glass” dan prekursor (agen sililasi).

Penelitian ini akan membuat membran komposit silika hidrofobik dengan

menggunakan kain katun murni sebagai material penyokongnya dan akan didepositkan dengan silika hidrofobik. Selama proses pembuatan akan dikaji pula pengaruh rasio air terhadap larutan silikat dan konsentrasi katalis amonium hidroksida (NH_4OH) terhadap sudut kontak komposit dan kestabilan komposit pada keadaan atmosferik.

METODE PENELITIAN

Alat

Peralatan yang diperlukan meliputi alat gelas, *magnetic stirrer*, oven, buret, neraca analitik, modul membran, alat instrumentasi FT-IR (*Fourier Transform InfraRed*), dan alat instrumentasi SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Bahan

Bahan yang digunakan adalah kain katun “*Toyobo*”, minyak goreng “*Sovia*” sebagai pengganti CPO, natrium silikat (*analytical grade*, rasio $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O} = 3,02$), larutan asam asetat 1M, larutan amonium hidroksida, etanol 96%, larutan TEOS (*tetraethoxysilane*) 98%, dan n-heksana.

Prosedur Kerja

Persiapan Kain sebagai Media

Kain katun dicuci terlebih dahulu dengan air bebas ion untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada kain. Kemudian kain katun akan mendapat

perlakuan menggunakan larutan alkali. Larutan alkali dibuat dengan mencampurkan NaOH 0,375 M dan larutan ABS yang dibuat dengan melarutkan 1 gram ABS ke dalam 500 mL akuades. Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 40 menit. Kain kemudian direndam dalam larutan alkali selama 20 menit. Setelah direndam, kain dibilas dengan air hingga pH 7 dan dikeringkan pada suhu 110°C .

Preparasi Sol Silika

Sol silika dibuat dengan mencampurkan natrium silikat dengan *deionized water* sebagai sumber H_2O dengan rasio tertentu yang menjadi variabel pada penelitian ini. Kedua bahan dihomogenkan dengan menggunakan *ultrasonic bath* selama 5 menit. Larutan asam asetat 1 M ditetaskan menggunakan buret pada larutan natrium silikat secara perlahan hingga pH menunjukkan nilai 4. Kemudian dilanjutkan dengan meneteskan larutan ammonium hidroksida sesuai variabel yang divariasikan hingga mencapai pH 6.

Preparasi Gel SiO_2 Hidrofobik dengan Agen TEOS

Sol silika yang dihasilkan kemudian disililasi dengan menggunakan campuran TEOS- n-heksana dengan perbandingan volume 1:2. Proses sililasi dilakukan dengan pemanasan dan pengadukan pada 60°C selama 16 jam sehingga didapatkan

campuran gel SiO₂ hidrofobik. Campuran gel SiO₂ hidrofobik tersebut disaring dan residu penyaringan berupa gel SiO₂ hidrofobik dicuci dengan n-heksana dan etanol. Pencucian dengan n-heksana sebanyak 1 kali sementara pencucian dengan etanol sebanyak 3 kali. Gel SiO₂ hidrofobik kemudian dilarutkan dalam etanol dengan perbandingan 1:1 selama 3 menit menggunakan ultrasonik

Pelapisan Kain Katun dengan SiO₂

Hidrofobik

Pelapisan kain katun dilakukan dengan membuat larutan suspensi gel SiO₂ hidrofobik. 0,8% (wt/wt) dalam pelarut etanol. Pendispersian gel SiO₂ hidrofobik dalam etanol dilakukan selama 3 menit menggunakan *ultrasonic bath*. Kain katun yang telah mendapatkan perlakuan sebelumnya, direndam dalam suspensi gel SiO₂ hidrofobik 0,8% selama 10 menit. Kemudian dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 80°C selama 30 menit untuk mendapatkan kain komposit SiO₂ hidrofobik yang digunakan dalam proses pemisahan campuran minyak-air

Pengukuran Sudut Kontak Komposit

Silika Hidrofobik

Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan menggunakan instrumen Goniometer di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

Uji Stabilitas Membran Komposit Silika

Hidrofobik

Uji ini dilakukan untuk mengamati kestabilan membran komposit hidrofobik untuk mempertahankan sifat hidrofobiknya. Pengamatan dilakukan selama 5 hari, dimana sebelum pengujian setiap harinya, sampel akan dipanaskan selama 30 menit pada suhu 110°C. Setelah itu, membran akan didiamkan dalam desikator dan diuji menggunakan Goniometer.

Uji Gugus Fungsi Silika pada Sol SiO₂

Hidrofobik

Pengujian FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) pada serbuk silika hidrofobik dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang.

Uji SEM (Scanning Electron Microscopy)

Pengujian SEM membran komposit silika hidrofobik dilakukan di Laboratorium Material dan Metalurgi Institut Sepuluh Nopember Surabaya.

Uji Selektivitas Membran Komposit

Hidrofobik pada Proses Pemisahan

Campuran CPO-Air

Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran silika hidrofobik adalah koefisien rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran dalam hal ini adalah air, dan dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana:

R = koefisien rejeksi

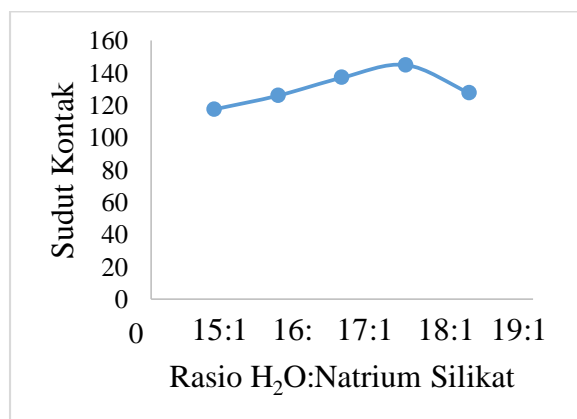
C_p = konsentrasi zat terlarut air dalam permeal

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Nilai R akan berada diantara 0 sampai 1. Jika harga R = 1 maka air dapat ditahan oleh membran secara sempurna. Dalam menghitung R akan dibutuhkan data massa air dalam permeal yang dihitung menggunakan metode gravimetri berdasarkan SNI 01-2901-2006.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Rasio H₂O:Natrium Silikat terhadap Hidrofobisitas Membran Komposit Silika Hidrofobik

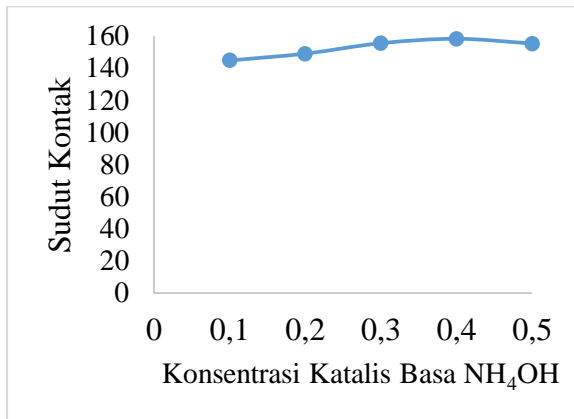


Gambar 1. Grafik Sudut Kontak Membran terhadap Variabel Rasio H₂O: Natrium Silikat

Berdasarkan Gambar 1, sudut kontak yang tertinggi adalah sudut kontak pada rasio 18:1. Pada variabel pertama hingga variabel keempat sudut kontak mengalami peningkatan. Hal ini, dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai rasio yang digunakan, maka sudut kontak yang dihasilkan juga semakin besar. Dengan kata lain, semakin besar sudut kontak yang terukur, maka sifat hidrofobisitas yang dimiliki membran komposit tersebut semakin baik.

Semakin meningkatnya rasio menunjukkan bahwa larutan semakin encer dengan begitu jarak antar spesies silika yang mengalami kondensasi (gelasi) akan semakin besar. Sehingga, frekuensi setiap spesies bertabrakan akan semakin kecil (Aegerter, 2011). Sudut kontak yang didapatkan terus meningkat hingga rasio 18:1 karena semakin banyak gugus –OH yang terganti oleh gugus silika alkoksida pada proses sililasi akibat distribusi natrium silikat yang baik. Sehingga membran yang didapatkan semakin non-polar dan memiliki ketahanan yang baik terhadap air serta penyerapan minyak yang lebih cepat. Namun, pada variabel ke-5, rasio 19:1, sudut kontak yang didapatkan lebih kecil dari rasio 18:1. Hal ini dapat dikarenakan substitusi gugus silanol dengan gugus silika alkoksida tidak mencukupi pada jumlah TEOS yang tetap. Sehingga sisi yang bersifat nonpolar yang dihasilkan pun lebih sedikit.

Pengaruh Konsentrasi Katalis Amonium Hidroksida terhadap Hidrofobisitas Membran Komposit Silika Hidrofobik



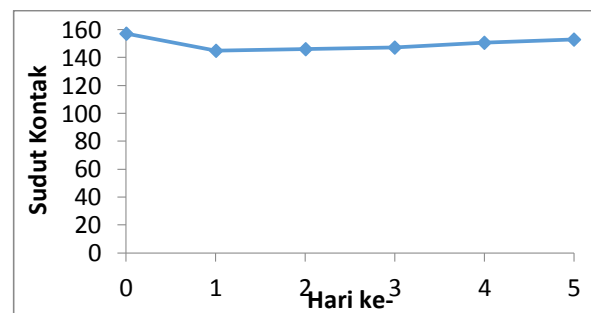
Gambar 2. Grafik Sudut Kontak Variabel terhadap Konsentrasi Katalis Basa NH_4OH

Berdasarkan grafik dapat terlihat sudut kontak tertinggi adalah sudut kontak pada konsentrasi NH_4OH 0,4M. Terlihat pula terjadi peningkatan sudut kontak seiring bertambahnya konsentrasi NH_4OH hingga akhirnya turun pada konsentrasi 0,5M.

Seiring penambahan konsentrasi maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pH 6 akan lebih sedikit. Dengan kata lain, waktu gelasnya juga akan semakin kecil sehingga akan membentuk partikel dengan cabang yang acak dan tidak beraturan (Aegerter, 2011). Hal ini akan menghasilkan partikel dengan dimensi yang beragam. Apabila partikel ini didepositkan ke kain maka dimensi yang beragam ini akan menghasilkan kekasaran yang berkontribusi pada hidrofobisitas suatu permukaan.

Pada variabel ke-5 terjadi penurunan sudut kontak Hal ini terjadi karena selain mempengaruhi laju polikondensasi, penambahan katalis juga mencegah adanya kompetisi reaksi akibat H^+ yang menghasilkan banyak gugus silanol (Si-OH) dan mengeliminasi Si-O^- . Sementara, laju reaksi akan lebih maksimal apabila konsentrasi Si-O^- setara dengan Si-OH . Ketika penambahan katalis mencapai konsentrasi 0,5 M, dapat dimungkinkan Si-OH yang terbentuk sedikit sehingga konsentrasinya tidak setara dengan Si-O^- . Selain itu, sedikitnya Si-OH yang terbentuk, maka ketika TEOS ditambahkan tidak banyak silanol yang dapat dimodifikasi gugusnya oleh silika alkoksida. Hal ini menyebabkan, sifat hidrofobisitas yang didapatkan tidak maksimal.

Analisa Uji Stabilitas Membran Komposit Silika Hidrofobik

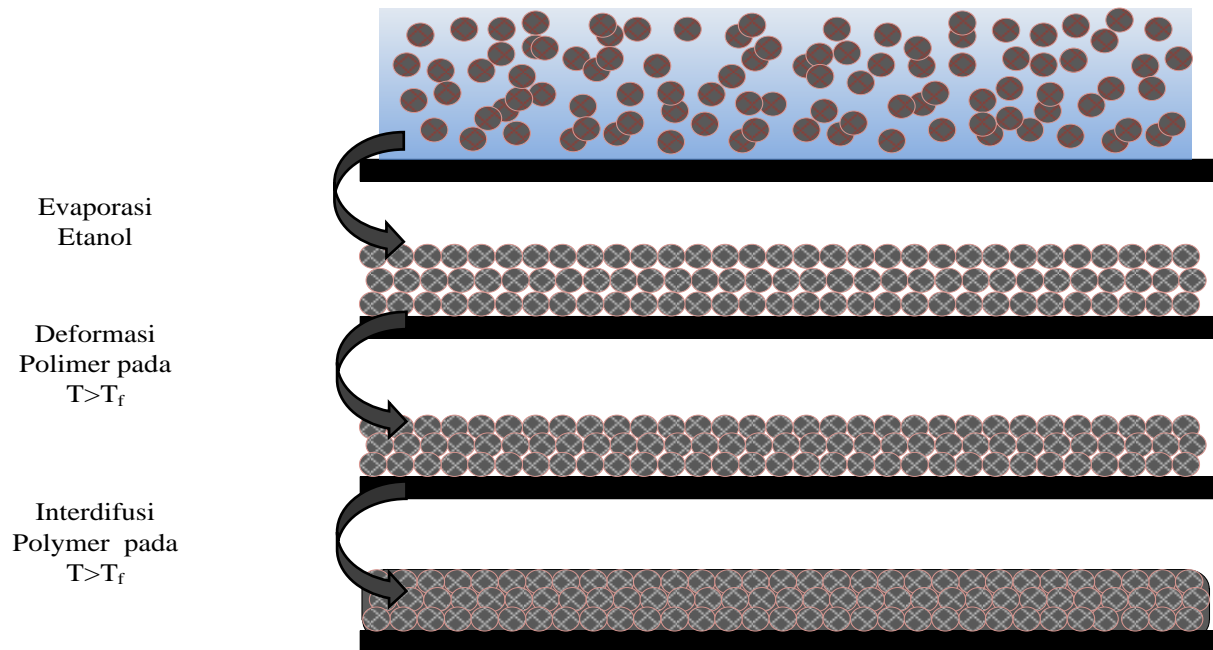


Gambar 3. Grafik Uji Stabilitas Sudut Kontak Membran Komposit Silika Hidrofobik

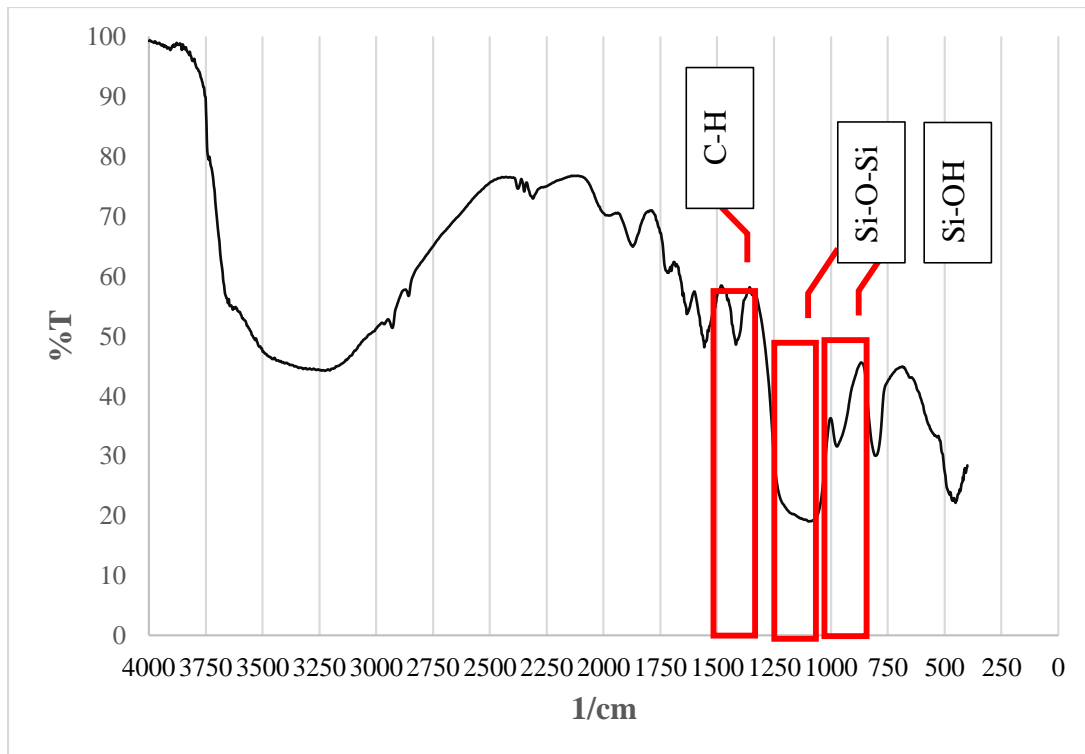
Peningkatan nilai sudut kontak ini diakibatkan semakin padatnya formasi

partikel silika pada kain akibat pengeringan berkala selama pengujian kestabilan. Apabila suatu lapisan partikel dikeringkan di atas suhu formasi minimum (T_f) maka partikel tersebut akan terdeformasi mengisi celah antar partikel dan menghasilkan susunan

lapisan partikel yang padat (*close-packed*). Apabila lapisan partikel dipanaskan di atas suhu transformasi kaca (T_g , *glass transition temperature*) maka akan membentuk lapisan film yang kokoh secara mekanis. Hal tersebut diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Tranformasi Lapisan Partikel Silika pada Membran Komposit Silika Hidrofobik



Gambar 5. Spektra Uji FT-IR Serbuk Silika Hidrofobik

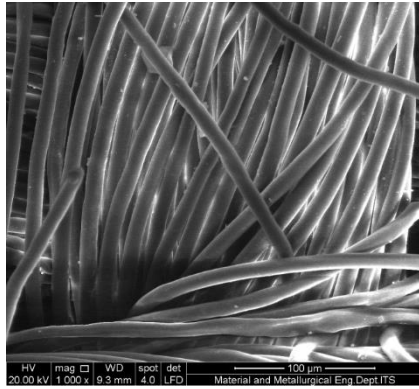
Analisa Uji FT-IR (*Fourier Transform InfraRed*) pada Gel Silika Hidrofobik

Pengujian FT-IR dilakukan pada rentang 400-4000 cm^{-1} dan menghasilkan puncak spektra pada bilangan gelombang yang disajikan pada Gambar 5. Pada bilangan gelombang 451 cm^{-1} menginterpretasi vibrasi tekuk Si-O-Si. Puncak pada rentang 1095 – 1075 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus siloksan (Si-O-Si). Bilangan gelombang tersebut memiliki %T terendah sekitar 19%. Hal ini menunjukkan bahwa pada senyawa tersebut didominasi gugus Si-O-Si karena semakin kecil nilai %T maka semakin

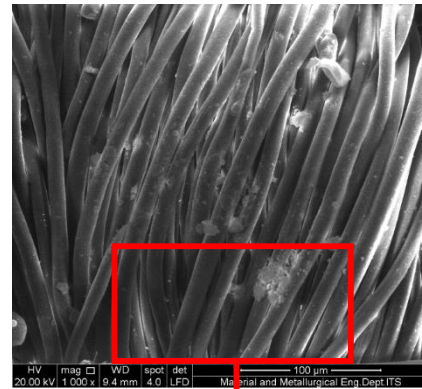
banyak sinar yang ditangkap oleh gugus fungsi dan menyebabkan suatu gugus fungsi ber-vibrasi. Banyaknya gugus fungsi Si-O-Si menunjukkan adanya proses polimerisasi membentuk senyawa bercabang dan membentuk partikel yang lebih besar. Sementara, gugus fungsi silanol (Si-OH) dan O-H dideteksi pada bilangan gelombang 972,12 cm^{-1} dan 3450,65 cm^{-1} memiliki intensitas yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat gugus fungsi yang tidak tersubstitusi dengan gugus silika alkoksida pada saat proses sililasi.

Puncak pada rentang $2860-2970\text{ cm}^{-1}$ & $1380-1470\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi metil berupa vibrasi ulur dan tekuk C-H alkana. Gugus fungsi metil memberikan

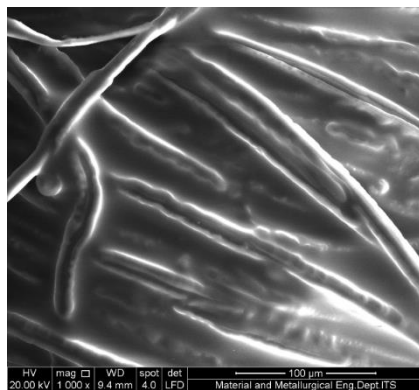
sifat hidrofobik pada gel silika. Dengan adanya gugus C-H membuktikan adanya substitusi gugus silika alkoksida dengan gugus $-\text{OH}$ pada partikel SiO_2 .



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Hasil Uji SEM dengan perbesaran 1000x pada permukaan: (a) kain katun murni, (b) membran komposit silika hidrofobik (c) membran silika hidrofobik setelah pemisahan minyak-air

Analisa Analisa Uji SEM (Scanning Electron Microscopy)

Membran yang digunakan merupakan membran yang difabrikasi pada rasio H₂O: natrium silikat 18:1 dengan konsentrasi katalis NH₄OH 0,4 M. Uji ini dilakukan guna mengetahui morfologi permukaan dari membran yang akan berpengaruh pada sifat hidrofobitas pada membran. Gambar 6 menunjukkan hasil uji SEM kain katun murni (a), kain katun setelah didepositkan dengan partikel hidrofobik (b), dan membran silika hidrofobik setelah proses pemisahan minyak-air. Dapat dilihat bahwa deposit partikel SiO₂ pada membran komposit silika hidrofobik (b) menghasilkan struktur yang memiliki kekasaran lebih dibanding sebelum didepositkan partikel SiO₂ hidrofobik (a). Hal tersebut diakibatkan oleh melekatnya partikel silika (SiO₂) hidrofobik pada celah-celah kain. Partikel dengan dimensi yang beragam pada suatu permukaan akan menghasilkan struktur permukaan yang akan memerangkap udara dan menghasilkan sifat kedap air (hidrofobik) yang akan mencegah interaksi permukaan dengan liquid. Selain itu, dengan adanya proses sililasi pada partikel maka kondisi permukaan hidrofobik dapat dimaksimalkan.

Analisa Uji Selektivitas Membran Komposit Hidrofobik pada Proses Pemisahan Campuran Minyak-Air

Tabel 1.Data Hasil Uji Pemisahan Minyak-Air

% Minyak	Cp	Cf	R
55%	0.040	9	0.996
60%	0.034	8	0.996
65%	0.025	7	0.997
70%	0.013	6	0.998
75%	0.006	5	0.999

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan nilai R yang mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa membran dapat memisahkan air meskipun masih ada sejumlah air yang lolos melewati membran hidrofobik. Semakin kecil konsentrasi air dalam campuran, maka nilai R-nya semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa massa air dalam permeat akan bertambah seiring pertambahan persen massa air dalam umpan. Kemungkinan air lolos melewati membran akan lebih besar apabila massa air dalam umpan lebih besar karena membran komposit silika hidrofobik menahan jumlah air yang lebih banyak pula.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Rasio H₂O:natrium silikat 18:1 menghasilkan sudut kontak tertinggi sebesar 143,900° dimana berdasarkan uji BNT, rasio ini memiliki perlakuan yang berbeda signifikan dengan rasio 15:1 yang berpengaruh pada hasil sudut kontak. Namun, tidak berbeda signifikan dengan rasio yang lain.
2. Melalui penggunaan rasio H₂O:natrium silikat 18:1 dan konsentrasi NH₄OH sebesar 0,4 M menghasilkan nilai sudut kontak tertinggi yaitu sebesar 157,259° dimana berdasarkan uji BNT, konsentrasi ini memiliki perlakuan yang berbeda signifikan dengan konsentrasi 0,1 M yang berpengaruh pada hasil sudut kontak. Namun, tidak berbeda signifikan dengan konsentrasi yang lain.
3. Selektivitas membran komposit hidrofobik yang dikaji berdasarkan nilai koefisien rejeksi (R) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada keseluruhan variasi %minyak, yaitu sekitar 99,6-99,9%. Hal ini menunjukkan membran berhasil memisahkan campuran minyak-air.

DAFTAR PUSTAKA

- Aegerter, Michael A., Nicholas L., dan Mathhias M. K. 2011. *Aerogels Handbook*. New York: Springer.
- Brinker, C.J. dan Scherer, G.W.. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. London: Academic Press, Inc.
- Widiamara, Arif dan Kelvinsius, J. F. G.. 2017. Efek Waktu dan Suhu Operasi Proses Sililasi pada Pembuatan Aerogel Silika pada Pengeringan Tekanan Atmosferik (*Ambient-Pressure Drying*). Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya:tidak diterbitkan.
- Xue, C. H., Peng Ting Jiang, Ping Zhang, Ya Ru-Li, dan Shun Tian Jia. 2013. Fabrication of Superhydrophobic and Superoleophilic Textiles for Oil-Water Separation. *Journal of Applied Surfaces*. 284: 464-471.
- Zulfiqar, Usama, dkk. 2016. In-situ synthesis of bi-modal hydrophobic silica nanoparticles for oil-water separation. *Journal of Colloids and Surfaces A; Physicochem. Eng.* 508: 301-30

