

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
MEMBRAN PEEK SILIKA/CLAY UNTUK APLIKASI
*DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)***



Tesis

untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-2

Magister Teknik Kimia

Marita Im

L4C009009

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2011**

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT MEMBRAN PEEK
SILIKA/CLAY UNTUK APLIKASI *DIRECT METHANOL FUEL CELL*
(DMFC)**

Disusun oleh

Marita Im

L4C009009

telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 30 September 2011 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

Ketua Penguji

Pembimbing Pertama

Dr. Nyoman Widiasta, ST, MT

NIP 197004231995121001

Anggota Penguji (1)

Dr. Tutuk D. K, ST, M.Eng

NIP 197306211997021001

Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng

NIP 195412111979011001

Anggota Penguji (2)

Pembimbing Kedua

Dr. Nita Aryanti, ST, MT

NIP 197501172000032001

Ir. Diyono Ikhsan, SU

NIP 195110161979031001

Mengetahui

Pembantu Dekan I Fakultas Teknik

Dr. rer. nat. Ir. Imam Buchori

NIP 197011231995121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, 19 Agustus 2011

Penulis

Marita Im

NIM L4C009009

ABSTRAK

Ketersediaan bahan bakar fosil semakin hari semakin menipis serta berkurangnya suplai minyak mentah dunia menimbulkan perhatian yang mendalam untuk mencari sumber – sumber energy alternatif yang lebih ramah terhadap lingkungan. DMFC merupakan salah satu sumber energy alternatif yang tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan, efisiensi tinggi, portable dan dioperasikan pada temperatur yang relative rendah. Dalam DMFC membrane merupakan komponen utama karena selain berfungsi sebagai sarana transportasi ion hidrogen (H^+) yang dihasilkan dari reaksi oksidasi di anoda juga sebagai pembatas antara kedua elektroda. Membran yang banyak digunakan adalah Nafion tetapi memiliki permasalahan yaitu terjadi *methanol cross-over*. Untuk mengurangi *methanol cross-over* melalui membran salah satu alternatif yang dilakukan adalah modifikasi membran elektrolit alternatif. Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi sulfonasi polyether eter keton (SPEEK) dengan silika/clay. Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap yaitu proses sulfonasi, pembuatan membran, karakterisasi membran dengan swelling air dan swelling metanol, *scanning electron microscopy* (SEM), *fourier transform infra red* (FTIR), konduktifitas proton dan permeabilitas metanol. Hasil SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan membran rapat, berpori dan asimetris tergantung pada komposisi silika/clay. Hasil FTIR menunjukkan puncak bilangan gelombang SPEEK silika/clay adalah $1089,78\text{ cm}^{-1}$. Swelling air SPEEK silika/clay 3%, 5% dan 97% adalah 38,23%, 19,08% dan 3,52% serta swelling metanol adalah 49,10%, 22,35% dan 5,68%. Konduktifitas proton komposit membran SPEEK silika/clay 3%, 5% dan 97% adalah $5,94E-02\text{ S/cm}$, $3,87E-02\text{ S/cm}$ dan $1,22E-03\text{ S/cm}$, tetapi masih dapat digunakan untuk operasi sel bahan bakar karena lebih besar dari $1 \times 10^{-5}\text{ S/cm}$. Permeabilitas metanol komposit membran SPEEK silika/clay 3%, 5% dan 97% adalah $6,88E-07\text{ cm}^2/\text{s}$, $5,78E-07\text{ cm}^2/\text{s}$ dan $3,90E-07\text{ cm}^2/\text{s}$. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar komposisi silika/clay dalam modifikasi membran SPEEK menyebabkan terjadi penurunan swelling air dan swelling metanol, konduktifitas proton, dan permeabilitas metanol.

Kata kunci : PEEK, silika/clay, *direct methanol fuel cell*.

ABSTRACT

The depletion of fossil fuels availability and the reduction of crude oil supplies caused deep concern to find environmentally friendly alternative energy sources. Direct methanol fuel cell (DMFC) is one of the alternative energy sources which do not cause pollution to the environment, having high efficiency, portable, and can be operated at relatively low temperatures. In the DMFC a membrane is the main component not only because of the membrane is means of transport but also acts as barrier between the two electrodes. Nafion membrane is widely used as DMFC. However, there is problem methanol cross-over when using the Nafion membrane. In order to reduce the methanol cross-over through the membrane, an alternative can be made by modifying alternative electrolyte membrane. In this research SPEEK is modified with silica/clay. The research comprises three stages a sulfonation process, membrane preparation, characterization membrane consist of water and methanol swelling, scanning electron microscopy (SEM), fourier transform infra red (FTIR), proton conductivity and methanol permeability. The results of SEM showed that the membrane has a dense, porous, and asymmetrical, depends on the composition of silica/clay. The FTIR analysis obtained the peak wave number of $1089,78\text{ cm}^{-1}$. The Water swelling SPEEK silica/clay with concentration of 3%, 5%, and 97% are 38.23%, 19.08% and 3.52% respectively. While the methanol swelling are 49.10%, 22.35%, and 5.68%, for the SPEEK silica/clay concentration of 3%, 5%, and 97%, respectively. The proton conductivity composite membranes SPEEK silica/clay of 3%, 5%, and 97% are $5.94\text{E-}02\text{ S/cm}$, $3.87\text{E-}02\text{ S/cm}$, and $1.22\text{E-}03\text{ S/cm}$, respectively. The values of proton conductivity can still be used for fuel cell operation since they had values higher than the $1\times 10^{-5}\text{ S/cm}$. The methanol permeability of composite membrane SPEEK silica/clay with concentration of 3%, 5%, and 97% are $6.88\text{E-}07\text{ cm}^2/\text{s}$, $5.78\text{E-}07\text{ cm}^2/\text{s}$, and $3.90\text{E-}07\text{ cm}^2/\text{s}$, respectively. The results of this research indicate that the larger composition of silica/clay in the modification of membrane SPEEK causing a decline in water and methanol swelling, proton conductivity and methanol permeability.

Keywords : PEEK, silica/clay, direct methanol fuel cell.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan inayahnya sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Membran PEEK Silika/Clay untuk Aplikasi *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) ini adalah serangkaian kegiatan penelitian eksperimental di Laboratorium sebagai syarat untuk mencapai derajat sarjana S-2 Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

Penulisan Tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ketua dan Sekretaris Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang Bapak Prof.Dr.Ir. Bambang Pramudono, MS dan Ibu Ir. Nur Rokhati, MT.
2. Pembimbing I dan II Bapak Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST, M.Eng dan Ibu Dr. Nita Aryanti, ST, MT atas segala arahan dan bimbingan dari mulai penulisan usulan penelitian, penelitian hingga pada penulisan tesis.
3. Casindo untuk dana penelitian.
4. Semua Dosen dan Pegawai di Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
5. Ibu Dr. Eniya Listiani Dewi dan para Pegawai Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi atas segala arahan selama penelitian di Laboratorium Pengujian Material dan Fuel Cell Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Puspiptek Serpong.
6. Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan Maluku Utara Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pendidikan dan Penjaminan Mutu Pendidikan Kementerian Pendidikan Nasional atas bantuan dana pendidikan studi S2 Magister Teknik Kimia
7. Kepala Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan Maluku Utara beserta staf atas segala motivasi dan dorongannya.

8. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Puspiptek Serpong atas fasilitas penggunaan laboratorium.
9. Laboratorium Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Laboratorium Analisa Kimia Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Puspiptek Serpong dan Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia Serpong
10. Kedua Orang Tua, Kak Arman Im, Kak Darna Im Arsyad, dan Kak Nurhayati serta dua keponakan Muhammad Rizki Ramadhani dan Nazwa Tartila Nurul Qoyum atas dukungan moril dan materil.
11. Ibu Dr Ir. Sri Handayani MT, Ibu Ir. Anie Sri Handayani, M.Si dan Ibu Dede atas segala arahan selama penelitian di Laboratorium Teknik Kimia ITI Serpong
12. Teman – teman kuliah di Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
13. Semua pihak yang telah membantu hingga tesis ini dapat diselesaikan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu segala saran dan kritik sangat diharapkan. Akhirnya semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama bagi inovasi dunia pendidikan di Indonesia.

Semarang, 19 Agustus 2011

Penulis

Marita Im

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi – vii
DAFTAR ISI	viii – ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi – xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1 – 4
1.1.Latar Belakang	1 – 3
1.2.Perumusan Masalah	3
1.3.Tujuan Penelitian	4
1.4.Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5 – 35
2.1. <i>Fuel Cell</i>	5 – 8
2.2. <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>	8 – 13
2.2.1. Prinsip Kerja	8 – 12
2.2.2. Metanol	12 – 13
2.3. Membran untuk <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>	13 – 16
2.4. Komposit Membran	16 – 18
2.5. Teknik Pembuatan Komposit Membran	18 – 25
2.5.1. Inversi Fasa	20 – 22
2.5.2. Polimerisasi Antar Permukaan	22 – 23

2.5.3. <i>Dip-Coating</i>	23 – 24
2.5.4. Polimerisasi Plasma	24 – 25
2.6. Polimer PEEK	25 – 27
2.7. Silika	27 – 30
2.8. <i>Clay</i>	31 – 35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36 – 47
3.1. Metode Penelitian	36 – 37
3.1.1. Proses Sulfonasi	38 – 40
3.1.2. Pembuatan Membran	40 – 42
3.1.3. Karakterisasi Membran	42 – 47
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48 – 67
4.1. Karakterisasi Membran	49 – 67
BAB V PENUTUP	68
5.1. Kesimpulan	68
5.2. Saran	68
BAB VI RINGKASAN	69 – 70
DAFTAR PUSTAKA	71 – 74
LAMPIRAN	75 – 108

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Jenis <i>fuel cell</i> dan karakteristik	7 – 8
Tabel 2.2. Membran untuk <i>direct methanol fuel cell</i> (DMFC)	15 – 16
Tabel 4.1.a. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	51
Tabel 4.1.b. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	53
Tabel 4.1.c. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	55
Tabel 4.2.a. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	57
Tabel 4.2.b. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	59
Tabel 4.2.c. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	61
Tabel 4.3. Swelling air dan swelling metanol SPEEK dan modifikasi SPEEK	62
Tabel 4.4. Swelling air dan swelling methanol Nafion dan modifikasi Nafion	64
Tabel 4.5. Konduktifitas proton membran Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK	65
Tabel 4.6. Permeabilitas methanol Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK	66

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1. Struktur Kimia Nafion	2
Gambar 2.1. Skema <i>Fuel Cell</i>	6
Gambar 2.2. <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>	10
Gambar 2.3. Skema Proses Reaksi <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>	11
Gambar 2.4. Cara Kerja DMFC sesuai Literatur	12
Gambar 2.5. Skema Diagram Komposit Membran Asimetris	18
Gambar 2.6. Gambar Pembentukan Komposit Membran melalui Polimerisasi Antar Permukaan	22
Gambar 2.7. Ilustrasi Skematik <i>Dip-Coating</i>	23
Gambar 2.8. Dua Pemindaian Mikrograf Elektron dari Komposit Serat Berongga	24
Gambar 2.9. Peralatan Polimerisasi Plasma	25
Gambar 2.10. Struktur kimia PEEK	26
Gambar 2.11. Polimerisasi <i>step-growth</i> PEEK	27
Gambar 2.12. Silika	29
Gambar 2.13. <i>Clay</i>	30
Gambar 2.14. Asal usul tanah liat secara sederhana	32
Gambar 2.15. Dua partikel <i>kwarsa</i> dengan lapisan air	33
Gambar 3.1. Blok diagram penelitian	37

Gambar 3.2. <i>Polyether ether keton</i> tersulfonasi (SPEEK)	38
Gambar 3.3. Proses Sulfonasi PEEK	38 – 39
Gambar 3.4. Proses Pembuatan Membran	41
Gambar 3.5. Tahap preparasi sampel dengan SEM	43
Gambar 3.6. Spektrometer FTIR	44
Gambar 3.7. Sel Konduktifitas	45
Gambar 3.8. Dua wadah sel difusi	47
Gambar 4.1.a. Morfologi komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	49
Gambar 4.1.b. <i>Mapping</i> komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	49
Gambar 4.1.c. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	50
Gambar 4.2.a. Morfologi komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	51
Gambar 4.2.b. <i>Mapping</i> komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	51
Gambar 4.2.c. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	52
Gambar 4.3.a. Morfologi komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	53
Gambar 4.3.b. <i>Mapping</i> komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	53
Gambar 4.3.c. EDS komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	54
Gambar 4.4.a. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 3%	56
Gambar 4.4.b. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 5%	58
Gambar 4.4.c. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/ <i>clay</i> 97%	60
Gambar 4.5. Grafik hubungan komposisi silika/ <i>clay</i> membran modifikasi	63

SPEEK terhadap swelling air dan swelling metanol

Gambar 4.6. Grafik hubungan komposisi silika/*clay* membran modifikasi 66

SPEEK terhadap konduktifitas proton

Gambar 4.7. Grafik hubungan komposisi silika/*clay* membran modifikasi 67

SPEEK terhadap permeabilitas metanol

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran I. Perhitungan reagen kimia	75
Lampiran II. Perhitungan swelling air dan swelling methanol	76
Lampiran III. Pengukuran konduktifitas proton dengan LCR meter	77 – 104
Lampiran IV. Perhitungan permeabilitas metanol	105 – 108

BAB I

PENDAHULUAN

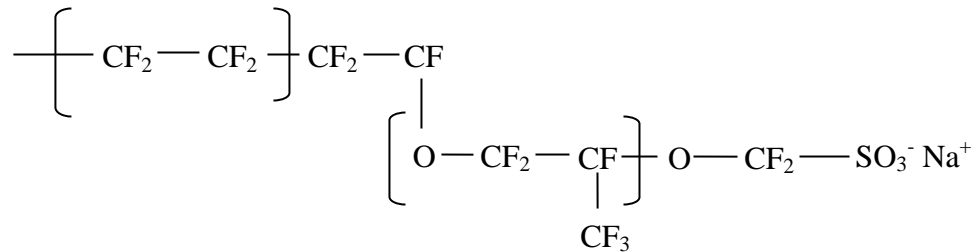
1.1 Latar Belakang

Perkembangan peradaban umat manusia telah memicu peningkatan konsumsi penggunaan energi sepanjang waktu. Bahan bakar fosil mendominasi pemakaian bahan bakar oleh umat manusia di seluruh dunia. Ketergantungan masyarakat duniapun semakin besar terhadap sumber energi ini (Akhadi, 2009). Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin hari semakin menipis dan berkurangnya suplai minyak mentah dunia menimbulkan perhatian yang mendalam untuk mencari sumber – sumber energi alternatif yang lebih ramah terhadap lingkungan.

Sejak tahun 2006, Indonesia mulai memasuki era kebangkitan energi ke II. Berbeda dengan era kebangkitan energi I yang terjadi pada tahun 1966, pada era kebangkitan energi II, pengembangan energi memprioritaskan pada pengembangan energi alternatif sebagai sumber energi dan mengurangi penggunaan energi berbasis minyak bumi. Melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Pemerintah telah menetapkan bauran energi nasional tahun 2025 dimana peran minyak bumi sebagai energi akan dikurangi dari 52% saat ini hingga kurang dari 20% pada tahun 2025. Pada tahun 2025 itu pula, energi alternatif diharapkan mulai mengambil peran yang lebih penting dengan menyuplai 17% terhadap bauran energi nasional (Legowo, 2007). Diantara sumber – sumber energi alternatif yang tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan, efisiensi tinggi, portable, dioperasikan pada temperatur yang relatif rendah (biasanya di bawah 100 °C) adalah *direct methanol fuel cell* (DMFC) (Zulfikar dkk., 2009).

Komponen utama dari jenis *direct methanol fuel cell* adalah membran. Membran berfungsi sebagai sarana transportasi ion hidrogen (H⁺) yang dihasilkan dari reaksi oksidasi di anoda, dan juga sebagai pembatas antara kedua elektroda

tersebut. Saat ini membran yang banyak digunakan adalah membran elektrolit komersial Nafion yang terbuat dari fluoro polimer dengan menambahkan rantai cabang yang mengandung gugus sulfonat. Struktur kimia gugus Nafion seperti terlihat dalam Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Struktur kimia Nafion (Mulder, 1996)

Kemampuan Nafion sebagai penghantar proton sudah cukup baik dengan konduktivitas proton 0,082 S/cm. Pemakaian Nafion untuk aplikasi PEMFC sudah sangat baik, tetapi jika diaplikasikan pada DMFC akan mengalami penurunan kinerja *fuel cell* (FC) karena terjadinya *methanol cross-over*. Permeasi metanol ini dapat menyebabkan hilangnya sebagian kecil bahan bakar yang digunakan dan menyebabkan laju reaksi di katoda menjadi lambat yang berarti menurunkan kinerja voltase sel secara keseluruhan (Handayani dan Dewi, 2009).

Dalam upaya untuk mengurangi *methanol cross-over* melalui membran maka ada dua alternatif yang dilakukan yaitu dengan modifikasi struktur membran konvensional yaitu membran Nafion serta pengembangan membran elektrolit alternatif dengan modifikasi (Hartanto dkk., 2007). Hartanto dkk melakukan penelitian dengan memodifikasi polimer polyether ether keton dengan penambahan silika (SiO₂), hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan 3% silika (SiO₂) ke dalam polimer PEEK dapat menaikkan konduktivitas ionik dan menurunkan permeabilitas metanol, tetapi jika lebih dari 3% maka konduktivitas ionik akan turun. Karena kelemahan dari PEEK adalah memiliki konduktivitas proton ataupun konduktivitas ionik yang rendah dibandingkan dengan Nafion sehingga perlu dimodifikasi dengan penambahan aditif (Nuh, 2006). Penelitian ini adalah dengan memodifikasi polimer PEEK yang telah

disulfonasi dengan menggunakan campuran silika dan *clay* sebagai bahan pengisi dengan komposisi tertentu. Penambahan silika gel di dalam membran berfungsi sebagai adsorbent. Demikian pula *clay* digunakan dalam membran memiliki fungsi yang sama yaitu sebagai adsorbent, karena komponen utama dari *clay* adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Perbandingan kadar SiO_2 dan Al_2O_3 akan mempengaruhi daya aktif tanah. Tanah yang mempunyai perbandingan SiO_2 dan Al_2O_3 yang besar adalah tanah yang paling baik untuk mengadsorpsi, sedangkan tanah yang mempunyai perbandingan SiO_2 dan Al_2O_3 kecil kemampuan adsorpsinya kecil (Davis dan Masser dalam Supeno, 2007). Sehingga dengan adanya silika dan *clay* dengan komposisi tertentu tersebut di dalam struktur membran maka diharapkan akan mengurangi *methanol cros-over* bila diaplikasikan pada sistem *direct methanol fuel cell*.

1.2 Perumusan Masalah

Selama dua dekade terakhir, telah terjadi peningkatan yang signifikan dalam penelitian dan pengembangan *fuel cell*, karena kemampuannya untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi listrik tanpa menyebabkan polusi (Shang dkk., 2009). Diantara beberapa jenis *fuel cell* yang menggunakan membran adalah *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) dan *direct methanol fuel cell* (DMFC). Membran yang biasanya digunakan adalah Nafion yang memiliki sifat termal, kimia dan mekanik yang baik, namun membran Nafion ini memiliki kelemahan jika diaplikasikan pada *direct methanol fuel cell* (DMFC) yaitu terjadinya *methanol cross-over*. Untuk mengurangi *methanol cross-over* melalui membran maka ada dua alternatif yang dilakukan yaitu modifikasi struktur membran konvensional yaitu Nafion dan pengembangan membran elektrolit dengan modifikasi (Hartanto dkk., 2007). Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan pembuatan komposit membran PEEK – silika/*clay* dengan komposisi tertentu sehingga diharapkan tidak terjadi *methanol crossover*.

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi dalam *direct methanol fuel cell* (DMFC) yaitu adanya *methanol cross-over*, maka penelitian ini bertujuan:

1. Untuk mengkaji proses pembuatan komposit membran PEEK – silika/*clay* dengan komposisi tertentu
2. Untuk mengkaji karakterisasi komposit membran PEEK silika/*clay* tentang :
 - ❖ Swelling air dan swelling metanol
 - ❖ *Scanning electron microscopy* (SEM)
 - ❖ *Fourier transform Infrared* (FTIR)
 - ❖ Konduktifitas proton
 - ❖ Permeabilitas metanol

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental, sehingga akan memberikan beberapa manfaat yaitu :

1. menghasilkan produk komposit membran PEEK silika/*clay*
2. mengetahui karakterisasi komposit membran PEEK silika/*clay* sehingga bila diaplikasikan pada sistem *direct methanol fuel cell* (DMFC) akan mengurangi *methanol cross-over*

BAB II

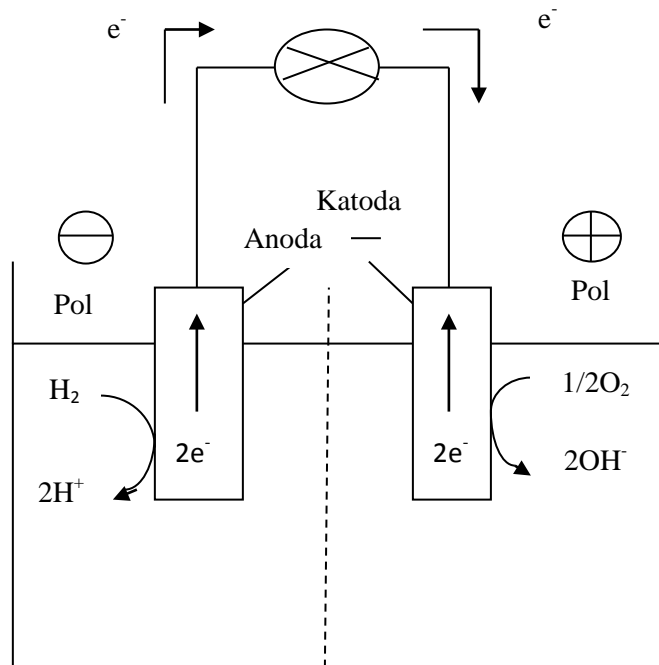
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuel Cell

Fuel cell pertama kali dirakit oleh seorang ahli hukum (hakim) dan fisika amatir Sir William Robert Grove pada tahun 1839 dengan melakukan pembalikan elektrolisa air, elektroda yang digunakan yaitu platina. Dia mencampurkan hidrogen dan oksigen dan memproduksi listrik dan air. Pada tahun 1889, penggunaan istilah *fuel cell* pertama diperkenalkan oleh Ludwig Mond dan Charles Langer. Mereka membangun *fuel cell* menggunakan udara dan gas buang industri batubara (Suhada, 2001). Ilmuwan lain yang ikut mengembangkannya adalah William White Jacques. Dia adalah peneliti pertama yang menggunakan asam fosfat sebagai elektrolit (Markun dan Sulistiyani, 2008). Pada tahun 1932 Francis Bacon berhasil mengembangkan *fuel cell*. Untuk menerapkan *fuel cell* dalam penggunaan praktis baru dapat dilakukan 27 tahun kemudian, yaitu sebagai penghasil tenaga listrik untuk alat las dengan kapasitas 5 kW. Mulai tahun 1950 pihak NASA di Amerika Serikat telah melakukan pemanfaatan untuk program angkasa luar mereka yaitu untuk pesawat roket Appolo dan Gemini. Selama lebih dari 30 tahun, *US Department of Technology* telah melakukan banyak penelitian dan pengembangan dan pada tahun 1987 mereka mulai menerapkannya pada kendaraan.

Fuel cell bekerja berdasar prinsip pembakaran listrik-kimiawi, *cell* ini akan memproduksi energi listrik arus searah. *Fuel cell* ini terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda, elektrolit hanya dapat menghantar ion saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit, jadi elektrolit ini bukan penghantar listrik dan juga menghindarkan terjadinya reaksi kimia. Pada anoda akan dialirkan secara berkesinambungan bahan bakar dan pada katoda dialirkan oksigen, pengaliran ini dilakukan secara terpisah. Karena pengaruh katalisator pada elektroda, maka molekul-molekul dari gas yang dialirkan akan berubah menjadi ion. Reaksi pada anoda menghasilkan elektron yang bebas, sedang pada katoda elektron yang bebas akan diikat.

Elektron-elektron bebas yang terjadi harus dialirkan keluar melalui penghantar menuju ke anoda, agar proses listrik-kimiawi dapat berlangsung. Panas yang timbul dari hasil reaksi kimia harus terus menerus dibuang, agar energi listrik dapat terbentuk secara kontinyu. Skema *fuel cell* seperti terlihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema *fuel cell* (Suhada, 2001)

Di dalam proses *fuel cell* seperti pada Gambar 2.1 reaksi kimia yang terjadi adalah sebagaimana terdapat pada persamaan reaksi dari 2.1 – 2.3 :



Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton :



Setiap molekul H_2 terpecah menjadi dua atom H^+ (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen akan mengalami perubahan menjadi H_2O seperti pada reaksi 2.3 :



Molekul oksigen akan bergabung dengan empat elektron, menjadi ion oksigen yang bermuatan negatif untuk selanjutnya bergabung lagi dengan proton yang mengalir dari anoda. Setiap ion oksigen akan melepaskan kedua muatan negatifnya dan bergabung dengan dua proton, sehingga terjadi oksidasi menjadi air.

Jenis dari pada *fuel cell* ditentukan oleh material yang digunakan sebagai elektrolit yang mampu menghantar proton. Pada saat ini ada sekitar 7 jenis *fuel cell* yaitu:

- ✚ Alkaline (AFC)
- ✚ Proton exchange membrane, juga disebut proton elektrolit membrane (PEM)
- ✚ Phosphoric Acid (PAFC)
- ✚ Molten carbonate (MCFC)
- ✚ Solid oxide (SOFC)
- ✚ Direct methanol fuel cell (DMFC)
- ✚ Regenerative fuel cell merupakan jenis yang terbaru. Dengan menggunakan elektrolisa tenaga solar cell, maka bahan – bahan yang diperlukan oleh *fuel cell* diambil dari air dengan cara mengubahnya menjadi hidrogen dan oksigen, selanjutnya dapat menghasilkan tenaga listrik, panas dan air. Air ini didaur ulang dengan proses yang sama.

Dari tabel 2.1 dapat dilihat jenis elektrolit untuk masing-masing *fuel cell* dan operasi temperatur, karakteristik dan penggunaannya.

Tabel 2.1. Jenis *fuel cell* dan karakteristik (Suhada, 2001)

Jenis	Elektrolit	Temperatur operasi (°C)	Karakteristik	Penggunaan
<i>Alkaline(AFC)</i>	Kalium Hidroksida (KOH)	60 – 120	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO2	Pesawat ruang angkasa, kendaraan
<i>Polymer Exchange Membrane</i>	Polymer elektrolit (H+)	60 – 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki	Kendaraan (sedan, bis, minivan),

(PEM)			kepekaan thd CO (<100ppm)	stasiun pembangkit panas, kamera
<i>Phosphoric Acid Fuel cell</i> (PAFC)	<i>Phosphor Acid</i> (H ⁺)	160 – 200	Efisiensi energi terbatas, peka thd CO (<1,5% Vol)	Stasiun pembangkit panas, kendaraan
Molten Carbonate (MCFC)	Molten carbonate/larutan carbonate/CaCO ₃ , KCO ₃ (CO ₃ ²⁻)	500 – 650	Problem Korosi	Stasiun Pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
Solid Oxide (SOFC)	Lapisan keramik (O ²⁻)	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabungan Stasiun pembangkit dg. turbin gas
Direct Methanol Fuel cell (DMFC)	Elektrolit Polymer (H [*])	60 – 120	Efisiensi sistem tinggi, peka thd. Hasil oksidasi di anoda	Kendaraan, alat – alat portabel (laptop, HP, kalkulator)

Fuel cell mempunyai efisiensi yang cukup tinggi, dari 40% sampai 70%, tergantung dari jenis *fuel cell*, yang paling tinggi adalah *alkaline* (AFC), *solid oxide* (SOFC) dan *direct methanol fuel cell* (DMFC). *Fuel cell* mempunyai kepekaan terhadap zat – zat tertentu seperti CO₂, CO, korosi dan produk oksidasi.

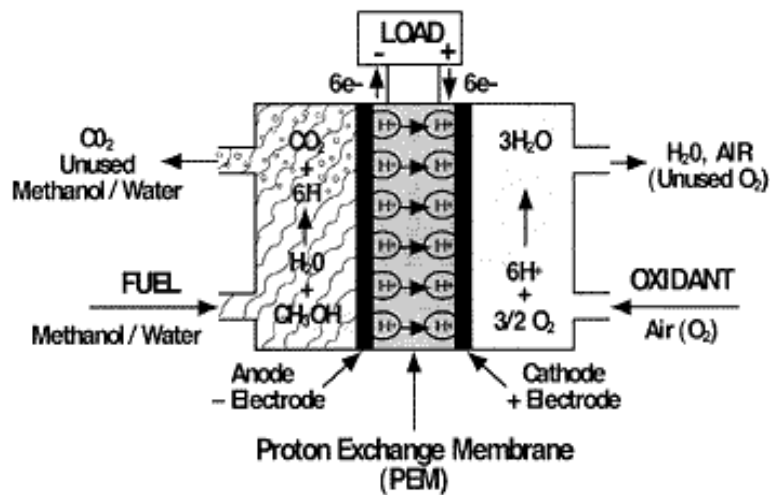
2.2 Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

2.2.1 Prinsip Kerja

Direct methanol fuel cell (DMFC) merupakan salah satu dari beberapa jenis sel bahan bakar yang menggunakan membran penukar proton (*proton exchange membrane* (PEM)) sebagai penghubung antara reaksi di katoda dan anoda. Sesuai namanya, membran ini menggunakan metanol sebagai sumber energi. Berbeda dengan sel bahan bakar hidrogen cair, asam posfat, maupun larutan alkaline, sel bahan bakar ini langsung memanfaatkan metanol untuk

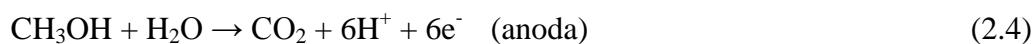
menghasilkan energi. Jadi metanol tidak perlu dirubah dahulu menjadi bentuk lain sebelum dapat menghasilkan energi. Inilah yang dimaksud dengan kata-kata “*direct*”. Komponen dasar dari sel bahan bakar ini adalah dua buah elektroda (katoda dan anoda) yang dipisahkan oleh sebuah membran. Uniknya, katoda langsung bertindak sebagai katalis (elektrokatalis) yang mempercepat terjadinya reaksi perubahan metanol di anoda. Katalis yang biasanya digunakan adalah Platina (Pt) (Ladelta, 2007). Membran penukar proton dalam DMFC memegang fungsi utama dalam efisiensi energi sel. Membran yang umum digunakan adalah Nafion, tetapi memiliki kelemahan yaitu terjadinya *methanol cross-over*. Untuk mengatasi permasalahan ini ada dua alternatif yaitu modifikasi struktur membran komersial Nafion dan pengembangan membran elektrolit dengan modifikasi (Hartanto dkk., 2007).

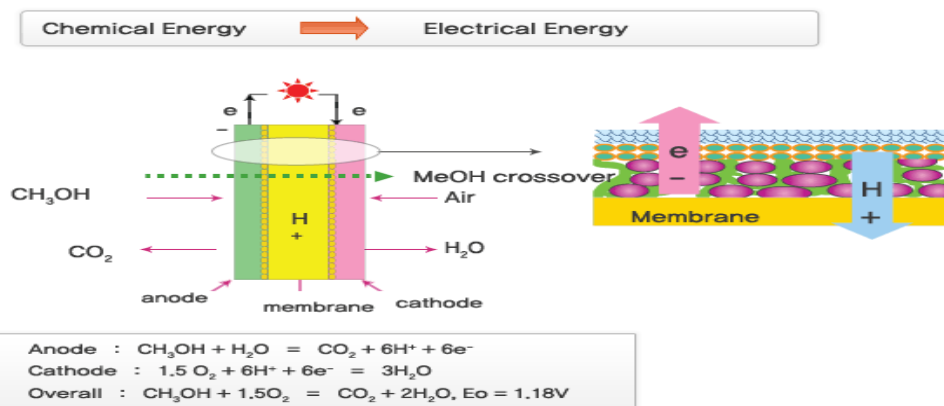
Cara kerja *direct methanol fuel cell* seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2 terlihat di sisi anoda metanol dan air diinjeksikan ke dalam batch reaksi dengan kecepatan konstan. Tumbukan dengan katalis membantu terjadi reaksi konversi metanol secara katalitik menjadi proton, CO₂ dan elektron. Gas CO₂ di keluarkan dari sistem sementara proton bergerak menyeberangi membran menuju katoda yang kemudian bereaksi dengan oksigen menghasilkan air. Tumpukan elektron di anoda menghasilkan beda potensial yang memaksa elektron dari reaksi konversi tersebut mengalir dalam sebuah sirkuit arus, dipakai sebagai arus searah oleh peralatan elektronik, kemudian sampai di katoda sehingga menyempurnakan reaksi pembentukan molekul air.



Gambar 2.2. *Direct methanol fuel cell* (DMFC) (Ladelta, 2007)

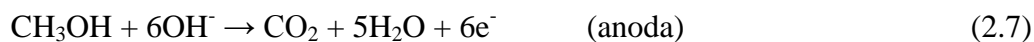
Dalam *direct methanol fuel cell*, metanol secara langsung diubah menjadi energi listrik melalui proses kimia dengan menggunakan membran sebagai penghalang selektif sehingga effisiensinya menjadi tinggi dibandingkan dengan cara konvensional. Dengan efisiensi yang tinggi maka menghemat metanol sebagai bahan bakar akibatnya CO₂ yang dihasilkan dari reaksi dalam jumlah yang kecil pula. Skema proses reaksi yang terjadi dalam DMFC (Gambar 2.3) adalah sebagai berikut :



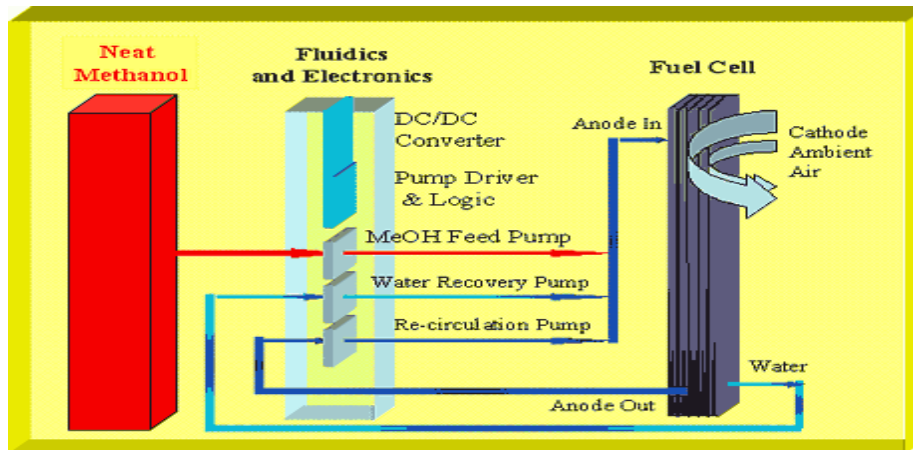


Gambar 2.3. Skema proses reaksi *direct methanol fuel cell* (DMFC) (daejoo.co.kr)

Dengan adanya elektrolit alkalin, proses reaksi di dalam sistem *direct methanol fuel cell* (DMFC) menjadi (Arico dkk., 2009) :



Dalam literatur, cara kerja *direct methanol fuel cell* (DMFC) biasanya dibedakan antara cara kerja aktif dan pasif (Arico dkk., 2009). Cara aktif dilakukan dengan alat bantu seperti pompa, blower, sensor, dan sebagainya. Alat – alat tersebut berfungsi sebagai pemasok reaktan dan pengontrol *stack* operasi untuk mengoptimalkan kondisi kerja. Hal ini memungkinkan tercapainya karakteristik listrik yang paling tepat. Sedangkan cara pasif, tidak ada konsumsi energi untuk alat bantu (tidak termasuk step-up DC/converter DC) dan reaktan mencapai letak katalis dengan konveksi alam, pengaruh gaya kapiler atau karena konsentrasi/gradien tekanan parsial. Sistem ini lebih sederhana dibandingkan dengan cara aktif dan tidak ada jumlah daya yang signifikan dari *stack* yang hilang pada alat bantu, namun kondisi operasi tidak mungkin optimal untuk mencapai efisiensi dan kinerja terbaik (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Cara kerja DMFC sesuai literatur (MTI Micro's Mobion® technology, mtimicrofuelcells.com)

Secara umum DMFC ini digunakan untuk keperluan energi alat-alat portable seperti handphone, laptop, kalkulator dan juga sebagai mesin penggerak fuel cell pada kendaraan bermotor.

2.2.2 Metanol

Metanol merupakan cairan polar yang dapat bercampur dengan air, alkohol – alkohol lain, ester, keton, eter, dan sebagian besar pelarut organik. Metanol sedikit larut dalam lemak dan minyak . Secara fisika metanol mempunyai afinitas khusus terhadap karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Titik didih metanol berada pada 64,7 °C dengan panas pembentukan (cairan) –239,03 kJ/mol pada suhu 25 °C. Metanol mempunyai panas fusi 103 J/g dan panas pembakaran pada 25 °C sebesar 22,662 J/g. Tegangan permukaan metanol adalah 22,1 dyne/cm sedangkan panas jenis uapnya pada 25 °C sebesar 1,370 J/(gK) dan panas jenis cairannya pada suhu yang sama adalah 2,533 J/(gK) (www.fctec.com). Sebagai alkohol alifatik yang paling sederhana dengan rumus kimia CH₃OH, reaktifitas metanol ditentukan oleh group hidroksil fungsional. Metanol bereaksi melalui pemutusan ikatan C-O atau O-H yang dikarakterisasi dengan penggantian group –H atau –OH.

Metanol dapat diproduksi dari dua macam metoda yaitu metoda alamiah dengan cara ekstraksi atau fermentasi, dan metoda sintesis dengan cara sintesis

gas hidrogen dan karbon dioksida atau oksidasi hidrokarbon atau dengan cara elektro/radiasi sintesis gas karbon dioksida. Selain itu metanol dapat diproduksi dari berbagai macam bahan baku seperti : gas alam, dan batu bara. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa metanol paling ekonomis diproduksi dari gas alam dibanding dari batu bara. Biaya produksi metanol dari gas alam sekitar 0,736 USD/galon sedangkan dari batu bara sekitar 1,277 USD/galon.

Perusahaan penghasil metanol di Indonesia diantaranya adalah Pertamina dan PT. Kaltim Methanol Industry (PT. KMI) dengan bahan baku gas alam. Pabrik metanol Pertamina berada di Pulau Bunyu dengan kapasitas produksi 110 juta galon/tahun sedangkan pabrik metanol PT. KMI berada di Kalimantan Timur dengan kapasitas produksi sekitar 220 juta galon/tahun. Produksi metanol dari Indonesia diperuntukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri antara 167.000 – 834.000 galon per bulan selebihnya diekspor ke Amerika , Korea , Jepang, dan Taiwan . Saat ini kapasitas produksi metanol dunia diperkirakan sekitar 12,5 milyar galon (37,5 juta ton) per tahun. Jika dilihat dari jumlah ini maka produksi metanol Indonesia hanya sekitar 2,67% dari produksi dunia.

2.3 Membran untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)

Membran merupakan salah satu komponen penting dalam sistem *fuel cell*. Membran yang paling banyak digunakan untuk aplikasi *fuel cell* baik *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) atau *direct methanol fuel cell* (DMFC) adalah membran komersial Nafion. Kemampuan Nafion sebagai membran perfluorinasi sudah menunjukkan kinerja yang baik pada PEMFC tetapi jika dihubungkan dengan aplikasi pada DMFC menyebabkan terjadinya *methanol crossover*. *Methanol crossover* tidak hanya menyebabkan sebagian kecil bahan bakar (metanol) yang digunakan hilang tetapi juga menyebabkan katoda tergenang. Hal ini mengakibatkan laju reaksi di katoda menjadi lebih lambat yang berarti menurunkan kerja voltase sel secara keseluruhan. Untuk mengurangi *methanol crossover* melalui membran ada dua pendekatan yang dilakukan yaitu

modifikasi struktur membran konvensional yaitu Nafion atau pengembangan membran polimer elektrolit dengan modifikasi tertentu (Hartanto dkk., 2007).

Tuntutan untuk membran elektrolit baik untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) atau *Direct Ethanol Fuel Cell* (DEFC) adalah sama (Roelofs, 2010) yaitu harus memiliki kriteria sebagai berikut :

- konduktifitas proton tinggi
- rendah oksidasi dan *cross-over*
- stabilitas kimia tahan lama/jangka panjang
- stabilitas mekanik bagus
- kompatibilitas dengan lapisan katalis
- mudah perakitan sel bahan bakar
- Biaya rendah

Umumnya membran elektrolit sebagian besar terdiri dari polimer. Berbagai modifikasi dilakukan untuk meningkatkan sifat dari membran polimer seperti *cross-over* bahan bakar, konduktifitas proton dan stabilitas. Sehingga dalam pembuatan membran untuk *direct methanol fuel cell* ada beberapa faktor yang berpengaruh sangat penting yaitu :

- material membran
material memegang peranan penting dalam pembuatan membran untuk *direct methanol fuel cell* (DMFC). Kebanyakan material membran elektrolit terbuat dari polimer yang kemudian dalam perkembangan mengalami berbagai macam modifikasi. Ada material membran elektrolit yang dalam pembuatannya perlu disulfonasi terlebih dahulu tetapi adapula yang tidak
- komposisi zat aditif
aditif memiliki peranan penting pula dalam pembuatan membran untuk *direct methanol fuel cell* (DMFC). Ketika membran harus memiliki konduktifitas proton dan stabilitas yang baik serta tidak terjadi *cross-over* maka perlu penambahan aditif dengan komposisi tertentu

- komposisi solvent
penggunaan solvent dengan komposisi tertentu akan berpengaruh pada saat pengirangan membran dengan oven. Jika solvent yang digunakan dengan perbandingan yang lebih banyak maka waktu pengeringan lebih lama dan begitupun sebaliknya
- suhu oven
saat pembuatan membran perlu dioven untuk proses pengeringan membran. Jika suhu oven tinggi proses pengeringan berlangsung cepat tetapi sebaliknya jika suhu oven rendah proses pengeringan berlangsung lama
- pencetakan
pencetakan membran akan terbentuk sesuai wadah yang digunakan

Beberapa modifikasi pengembangan membran untuk *direct methanol fuel cell* (DMFC) seperti terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Membran untuk *direct methanol fuel cell* (DMFC)

Material	Hasil	Referensi
Zirkonium Fosfat – Zirkonium Oksida	Konduktifitas proton lebih tinggi, efisiensi lebih besar 50% dari efisiensi Nafion 117.	Vaivars dkk., 2004
Nanopartikel Pd – Nafion TM	Permeasi metanol secara signifikan menurun dengan adanya nanopartikel Pd pada Nafion TM tetapi hanya berpengaruh sedikit terhadap konduktifitas proton.	Haolin dkk., 2005
Ar – CF ₄ – Nafion (modifikasi plasma)	Permeabilitas metanol dan konduktifitas proton menurun.	Lue dkk., 2006
PEEK – Zeolit	Permeabilitas metanol turun	Nuh, 2006
Akronitril Butadiene Stiren (ABS) – Zeolit	Zeolit 3% berat pada ABS tersulfonasi adalah komposisi optimum karena meningkatkan konduktifitas proton dan swelling air serta menurunkan permeabilitas methanol	Dewi dan Handayani ,2007
PEEK – Silika	Konduktifitas ionik membran lebih tinggi, meningkatkan swelling air dan metanol serta menurunkan permeabilitas membran elektrolit	Hartanto dkk., 2007
Polyvinyl Alkohol/Hydroxyapatite (PVA/HAP)	Pada aplikasi Alkalin DMFC pada suhu dan tekanan ambient kinerja elektrokimia baik, densitas daya maksimum 11,48 pada 25 °C, potensial tinggi.	Yang dkk., 2007
PEEK – ABS	Konduktifitas proton semakin besar,	Handayani

	permeabilitas metanol rendah, selektivitas membran paling tinggi.	dan Dewi, 2009
Chitosan – Poly(vinyl Alkohol) dan Kalsium Oksida	Adanya CaO dalam CPV menurunkan permeabilitas metanol, terjadi penurunan proton konduktifitas tetapi masih lebih tinggi dari Nafion 115	Mat dan Liong, 2009
PWA/Silika/PFSA	Konduktifitas proton meningkat (PWA – silika 0 – 5% berat ke dalam PFSA), tetapi akan turun jika lebih dari 5% namun masih lebih tinggi dari Nafion 115, permeabilitas metanol menurun (PWA – Silika 0 – 5% berat), tetapi jika penambahan lebih dari 5% permeabilitas metanol naik.	Shang, dkk., 2009
Kitosan – Silika	Nilai permeabilitas metanol dan kapasitas pertukaran ion menurun dengan meningkatnya konsentrasi kitosan dalam membran dan daya hantar ionik rendah.	Zulfikar, dkk., 2009
Polyvinylidene Fluoride – Sulfonat Polystyrene	Ukuran distribusi pori seragam, karakter hidrofilik kuat karena adanya gugus asam sulfonat, permeabilitas metanol rendah dan meningkatkan kinerja pada DMFC.	Liu, dkk., 2010

2.4 Komposit Membran

Komposit mempunyai suatu pengertian yang sangat luas dan kompleks. Secara umum definisi komposit adalah gabungan dua atau lebih material untuk mendapatkan suatu material baru. Menurut Schwartz (Ginting, 2002) Definisi komposit adalah terdiri dari beberapa tahap :

1. Tahap/Peringkat Atas

Suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih atom yang berbeda dapat didefinisikan sebagai bahan komposit. Dalam hal ini bahan komposit termasuk alloy polimer dan keramik.

2. Tahap/Peringkat Mikrostruktur

Dalam tahap ini suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih struktur molekul atau fasa merupakan suatu komposit. Mengikuti definisi ini banyak bahan yang secara tradisional dikenal sebagai komposit seperti kebanyakan bahan logam. Contoh besi keluli yang merupakan alloy multifusi yang terdiri dari karbon dan besi.

3. Tahap/Peringkat Makrostruktur

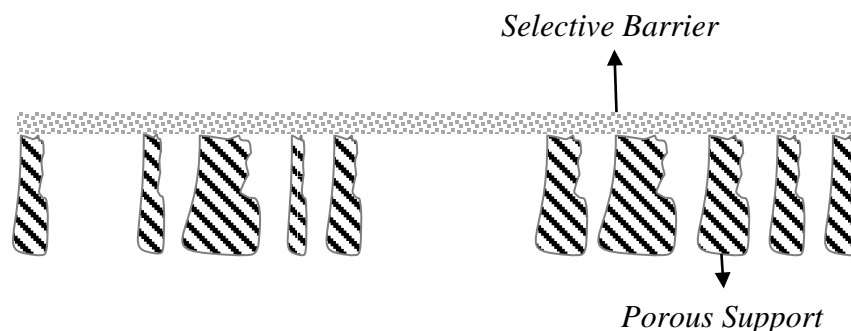
Merupakan gabungan bahan yang berbeda komposisi atau bentuk untuk mendapatkan suatu sifat atau ciri tertentu. Dimana konstituen gabungan masih tetap dalam bentuk asal, dimana dapat ditandai secara fisik dari permukaan antara satu sama lain.

Kroschwitz dan rekan (Ginting, 2002) menyatakan bahwa komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Rosato dan Di Matitia (Ginting, 2002) juga menyatakan bahwa plastik dan bahan-bahan penguat yang biasanya dalam bentuk serat, dimana ada serat pendek, panjang, anyaman pabrik atau lainnya. Selain itu ada juga yang menyatakan bahwa bahan komposit adalah kombinasi bahan tambahan yang berbentuk serat, butiran atau cuhisker seperti pengisi serbuk logam, serat kaca, karbon, aramid (kevlar), keramik, dan serat logam dalam julat panjang yang berbeda-beda didalam matriks. Menurut Agarwal dan Broutman (Ginting, 2002), menyatakan bahwa bahan komposit mempunyai komposisi dan ciri-ciri yang berbeda dari sifat dan ciri konstituen asalnya. Dengan kata lain, bahan komposit adalah bahan yang heterogen yang terdiri dari fasa tersebar dan fasa yang berterusan. Fasa tersebar selalu terdiri dari serat atau bahan pengukuh, sedangkan fasa berterusan terdiri dari matriks.

Membran sebagai penghalang selektif antara dua fasa, istilah selektif yang melekat ke membran atau proses membran (Mulder, 1996). Winston & Sirkar (1992), Ismail (1997) Membran adalah selaput tipis yang memisahkan 2 phase yang berbeda, biasanya lapisan tipis yang padat. Proses membran didorong oleh perbedaan tenaga penggerak (*driving force*) seperti tekanan atau konsentrasi dari komponen di membran. Membran ditandai oleh sifat fluks dan selektivitas. Menurut Sumardjo (2006) membran merupakan lapisan semipermeabel yang mampu melewatkan spesi tertentu dan menahan spesi yang lain berdasarkan ukuran spesi yang akan dipisahkan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan dan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dapat melewati membran. Dengan kata lain membran memiliki transport yang selektif.

Komposit membran adalah membran asimetri yang terdiri dari dua lapisan, lapis pendukung yang berpori dan lapis aktif yang rapat dari material yang berbeda. Keuntungan penggunaan komposit membran ini adalah bahwa setiap lapisan dapat dioptimalkan untuk menghasilkan kinerja membran yang lebih baik (Soebardi, 1997). Membran yang terdiri dari dua densitas material yang berbeda disebut komposit membran (Lopes dkk., 2006).

Banyak polimer dengan selektivitas dan permeabilitas baik untuk berbagai komponen dalam campuran gas atau larutan cair tidak sesuai untuk pembuatan membran asimetris dengan proses inversi fasa. Hal ini mengakibatkan terjadi pengembangan pada komposit membran (Strathmann, 1990). Sebuah membran komposit secara skematis diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema diagram komposit membran asimetris yang menunjukkan struktur substart mikroporous dan lapisan atas selektif (Strathmann, 1990)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa suatu membran komposit terdiri dari lapisan penghalang polimer padat tipis dengan ketebalan antara 20 sampai 100 nm dibentuk melalui lapisan tipis mikro berpori dengan ketebalan sekitar 100 mikrometer.

2.5 Teknik Pembuatan Komposit Membran

Polimer film padat homogen dapat memisahkan berbagai campuran gas atau cairan dengan sangat efektif. Namun, ketebalan normal (20-200 μm) menghasilkan tingkat permeasi sangat rendah. Membran tersebut tidak dapat dibuat cukup tipis (dari 0,1-1 μm) untuk meningkatkan permeasi karena membran

ini sangat sulit untuk ditangani (tidak ada kekuatan mekanik), dan juga karena lapisan tipis tersebut perlu substart.

Sebuah terobosan besar dalam sejarah teknologi membran adalah pengembangan membran asimetris. Terobosan lain adalah pengembangan membran komposit dengan struktur asimetris. Keuntungan dari membran komposit adalah bahwa setiap lapisan dapat dioptimalkan secara independen untuk memperoleh kinerja membran yang optimal sehubungan dengan selektivitas, laju permeasi, dan stabilitas kimia dan termal.

Menurut Strathmann (1990) komposit membran berbeda dari membran reverse osmosis asimetris pada cara pembuatan. Pembuatan membran terdiri dari dua langkah : (1) casting dari substart mikroporous, dan (2) endapan lapisan penghalang pada permukaan lapisan substart mikroporous. Adanya dua tahapan tersebut menyebabkan keuntungan yang signifikan dari komposit membran dibandingkan dengan membran asimetris integral. Dalam membran asimetris integral, lapisan penghalang selektif dan substart mikro berpori selalu terdiri dari polimer yang sama sedangkan dalam komposit membran, polimer yang berbeda mungkin dan umumnya digunakan untuk substart mikroporous dan lapisan penghalang selektif. Ini berarti polimer menunjukkan selektivitas yang diinginkan untuk masalah pemisahan tertentu, tetapi memiliki kekuatan mekanik yang tidak baik atau membentuk sifat lapisan tipis yang tidak baik, sehingga tidak sesuai untuk pembuatan membran asimetris integral, serta dapat digunakan sebagai penghalang selektif dalam komposit membran. Ini tentu saja, memperluas berbagai material yang tersedia untuk pembuatan membran semipermeabel.

Pembuatan komposit membran dapat dilakukan dengan beberapa metode (Mulder, 1996) yaitu :

- ✚ dipcoating
- ✚ spray coating
- ✚ spin coating
- ✚ Inversi fasa

- ✚ polimerisasi antar permukaan
- ✚ polimerisasi in-situ
- ✚ polimerisasi plasma
- ✚ transplantasi

Semua metode ini melibatkan reaksi polimerisasi yang menghasilkan polimer baru sebagai lapisan yang sangat tipis, kecuali untuk larutan *coating* (*dip-coating*, *spin coating* dan *spray coating*).

2.5.1 Inversi Fasa

Tahap inversi adalah proses dimana suatu polimer berubah secara terkendali dari cair ke padat. Proses pepadatan sering kali dimulai oleh transisi dari satu keadaan cair menjadi dua cairan (pemisahan cair-cair). Pada tahap tertentu selama proses pemisahan, salah satu dari fase cair (fase polimer konsentrasi tinggi) akan mengeras sehingga terbentuk susunan yang padat. Dengan mengendalikan tahap awal transisi fasa, morfologi membran dapat diatur yaitu membran berpori maupun tidak berpori.

Konsep inversi fasa mencakup berbagai teknik yang berbeda seperti pengendapan dengan penguapan pelarut, pengendapan dengan penguapan terkendali, pengendapan thermal, pengendapan dari fase uap dan pengendapan dengan perendaman. Mayoritas membran inversi fasa dibuat dengan teknik perendaman.

Pengendapan dengan penguapan pelarut

Teknik yang paling sederhana untuk membuat membran dengan cara inversi fasa adalah pengendapan dengan penguapan pelarut. Dalam metode ini adalah suatu polimer dilarutkan dalam pelarut dan larutan polimer dituang pada tempat yang sesuai, misalnya plat kaca atau jenis yang lain, yang mungkin berpori (misalnya bukan polyester *nonwoven*) atau tidak berpori (logam, kaca atau polimer seperti polymethylmethacrylate atau teflon). Pelarut dibiarkan menguap pada keadaan inert untuk mengeluarkan uap air, yang memungkinkan sebuah membran padat

homogeny yang tebal akan diperoleh. Metode casting larutan polimer pada substrat dapat juga dilakukan dengan dip coating/pelapisan terendam atau dengan penyemprotan, diikuti oleh penguapan.

Pengendapan dari fase uap

Metode ini digunakan sejak 1918 oleh Zsigmondy. *Cast film*, yang terdiri dari polimer dan pelarut, ditempatkan dalam keadaan uap dimana fasa uap terdiri dari nonsolvent jenuh dengan pelarut yang sama. Konsentrasi pelarut tinggi pada fase uap mencegah penguapan pelarut dari *cast film*. Pembentukan membran terjadi karena perembesan (difusi) dari nonsolvent ke dalam *cast film*. Hal ini menyebabkan membran berpori tanpa lapisan atas. Dengan teknik pencelupan endapan pada langkah penguapan di udara kadang-kadang digunakan dan jika pelarut larut dengan endapan air dari uap yang akan mulai pada tahap ini. Tahap penguapan sering digunakan dalam hal pembuatan hollow fiber dengan teknik presipitasi terendam (pemintalan basah-kering) pertukaran antara solven dan nonsolven dari fase uap menyebabkan terjadinya pengendapan.

Pengendapan dengan penguapan terkendali

Pengendapan dengan penguapan terkendali sudah digunakan pada tahun-tahun awal abad ini. Dalam hal ini polimer dilarutkan dalam campuran solven dan nonsolven (campuran bertindak sebagai pelarut untuk polimer). Karena solven lebih mudah menguap daripada nonsolven, pergeseran komposisi selama penguapan ke nonsolven yang lebih tinggi dan konten polimer. Akhirnya mengarah ke presipitasi polimer pada pembentukan lapisan atas dari membran.

Pengendapan thermal

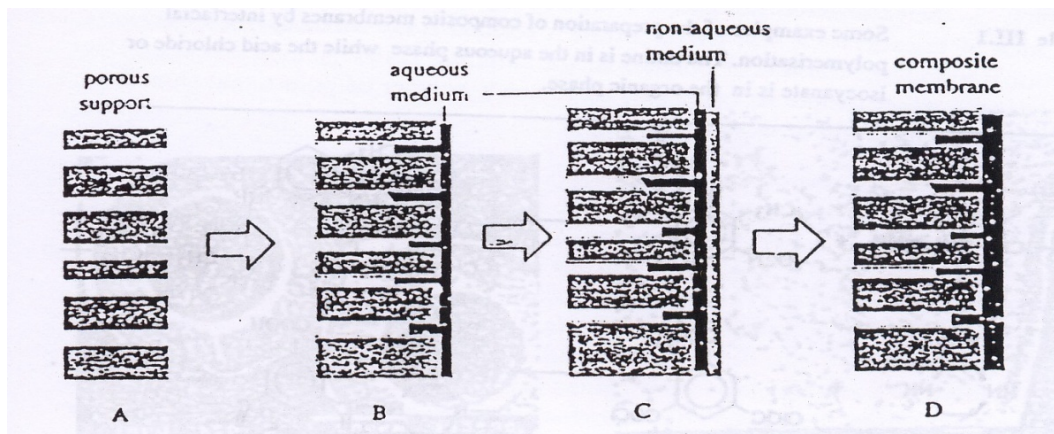
Suatu larutan polimer dalam pelarut campuran atau tunggal didinginkan agar terjadi pemisahan fasa. Penguapan pelarut sering memungkinkan pembentukan lapisan atas dari membran. Metode ini sering digunakan untuk membuat membran mikrofiltrasi.

Pengendapan dengan perendaman

Kebanyakan membran yang tersedia secara komersial dibuat dengan pengendapan terendam : larutan polimer (polimer ditambah pelarut) ditempatkan pada tempat yang sesuai dan direndam dalam bak koagulasi berisi nonsolvent. Pengendapan terjadi karena pertukaran solven dan nonsolven. Akhirnya struktur membran dihasilkan dari kombinasi transfer massa dan pemisahan fasa.

2.5.2 Polimerisasi Antar Permukaan

Polimerisasi antar permukaan memberikan metode lain untuk menempatkan lapisan tipis atas substart berpori. Dalam hal ini, reaksi polimerisasi terjadi antara dua monomer yang sangat reaktif (atau satu pra-polimer) pada antar permukaan dua pelarut saling larut. Hal ini ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.6.



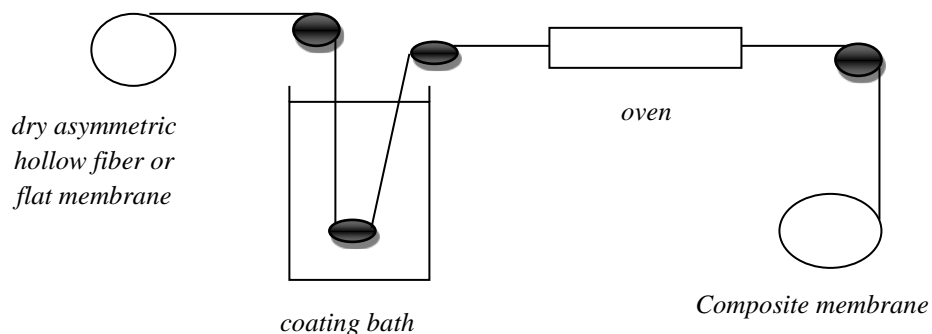
Gambar 2.6. Gambar skematis pembentukan komposit membran melalui polimerisasi antar permukaan (Mulder, 1996)

Lapisan substart, yang umumnya merupakan membran ultrafiltrasi atau mikrofiltrasi (Gambar 2.6A), yang direndam dalam larutan air (Gambar 2.6B) mengandung monomer reaktif atau prapolimer, sering dari jenis amina. Film (atau fiber) kemudian direndam dalam kedua bak berisi pelarut bercampur air (Gambar 2.6c) di mana monomer lain reaktif, seringkali asam klorida, telah larut. Kedua

monomer reaktif (yaitu amina dan asam klorida) bereaksi satu sama lain untuk membentuk toplayer polimer padat (Gambar 2.6D). Penggunaan panas untuk melengkapi reaksi antar permukaan dan crosslink monomer yang larut dalam air atau pra-polimer. Keuntungan dari polimerisasi antar permukaan adalah bahwa reaksi ini dengan reaktan terbatas sudah terbentuk lapisan, menghasilkan film yang sangat tipis dengan ketebalan dalam rentang 50 nm.

2.5.3 Dip-Coating

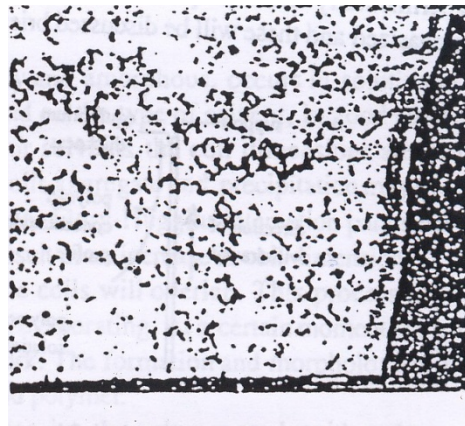
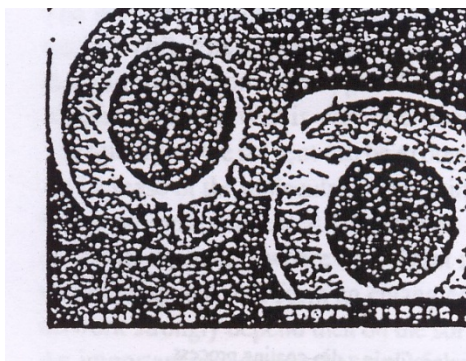
Dip-coating adalah teknik yang sangat sederhana dan berguna untuk membuat membran komposit dengan toplayer sangat tipis tapi padat. Membran yang diperoleh dengan metoda ini digunakan pada reverse osmosis, pemisahan gas dan pervaporasi. Prinsip dari teknik ini secara skematis diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Ilustrasi skematik dip-coating (Mulder, 1996)

Dalam hal ini, suatu membran asimetrik (hallow fiber atau flat sheet), sering dari tipe yang digunakan di ultrafiltrasi, direndam dalam larutan coating berisi polimer, prapolimer atau monomer, konsentrasi zat terlarut dalam larutan rendah (sering kurang dari 1%). Ketika membran asimetrik akan dilepas dari bak yang mengandung bahan pelapis dan pelarut, lapisan tipis mengikuti larutan itu. Film ini kemudian dimasukkan ke dalam oven di mana pelarut menguap dan di mana crosslinking juga terjadi. Crosslinking tersebut mengarah ke lapisan tipis menjadi tetap ke sublapisan berpori. Crosslinking sering juga diperlukan karena lapisan pelapis tidak memiliki stabilitas mekanik atau kimia itu sendiri atau

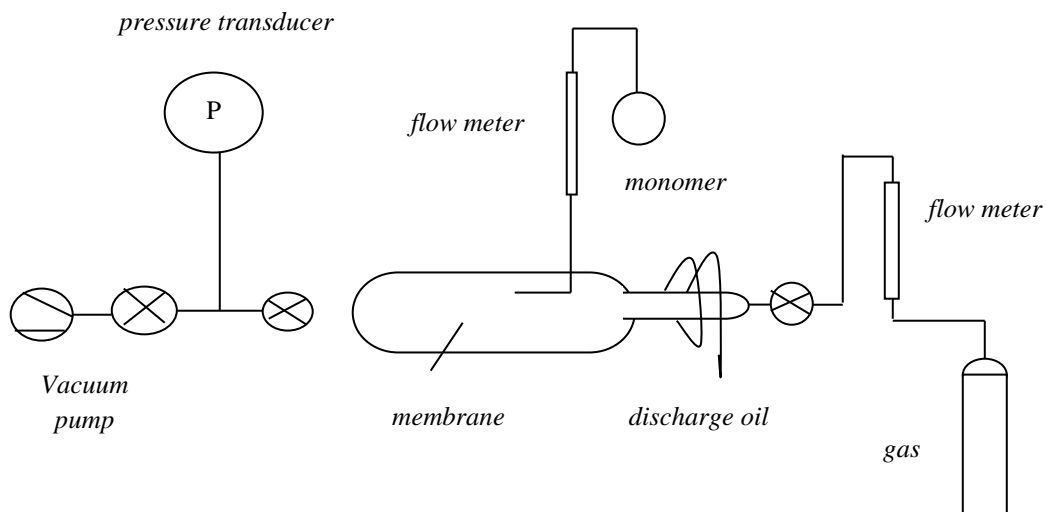
kinerja pemisahan adalah tidak cukup tinggi pada keadaan uncrosslinked. Gambar 2.8 menggambarkan komposit serat berongga dengan toplayer di luar serat. Sublapisan di sini adalah hollow fiber poli (ether imide) yang diperoleh dengan teknik perendaman di mana suatu lapisan tipis polydimethylsiloxane diendapkan dengan cara dip-coating. Crosslinking dimethylsiloxane dicapai dengan pemanasan. Hal ini dapat dilihat bahwa toplayer sangat tipis sekitar 1 μm dapat diterapkan melalui teknik ini.



Gambar 2.8. SEM komposit hollow fiber dengan sublapisan poli (eter imida) dan toplayer polydimethylsiloxane. Gambar di sebelah kiri memberikan pandangan keseluruhan penampang (pembesaran 500 x): gambar di sebelah kanan memberikan penampang luar serat dengan toplayer karet silikon (pembesaran 10.000 x) (Mulder, 1996)

2.5.4 Polimerisasi Plasma

Metode lain untuk menerapkan lapisan padat yang sangat tipis di atas (porous) sublapisan adalah melalui polimerisasi plasma, plasma menjadi rusak oleh ionisasi gas dengan debit listrik pada frekuensi tinggi sampai 10 MHz. Dua jenis reaktor plasma digunakan : i) elektroda terletak di dalam reaktor dan ii) koil terletak di luar reaktor. Dalam Gambar 2.9 adalah suatu alat di mana digambarkan polimerisasi plasma dapat terjadi dengan debit koil luar reaktor, debit cahaya disebut sebagai elektroda. Tekanan dalam reaktor dipertahankan antara 10^{-4} Pascal (10^{-4} sampai 10^{-1} mbar).



Gambar 2.9. Peralatan polimerisasi plasma (Mulder, 1996)

Pada saat memasuki reaktor gas terionisasi dan dengan memastikan bahwa reaktan yang disediakan secara terpisah ke reaktor semua jenis radikal akan terbentuk melalui tumbukan dengan gas terionisasi yang mampu bereaksi satu sama lain. Produk yang dihasilkan akan mengendap (misalnya pada membran) ketika berat molekul mereka menjadi terlalu tinggi. Kontrol aliran gas serta monomer yang sangat penting dalam peralatan polimerisasi plasma diberikan pada Gambar 2.9. Sebuah lapisan sangat tipis dari ketebalan pada kisaran 50 nm dapat rusak diperoleh bahwa konsentrasi monomer dalam reaktor (tekanan parsial) adalah dimonitor dengan hati – hati untuk mengontrol ketebalan. Faktor penting lainnya dalam mengontrol ketebalan lapisan adalah waktu polimerisasi, tekanan vakum, aliran gas, tekanan gas, dan frekuensi. Struktur polimer yang dihasilkan umumnya sulit untuk dikontrol dan sering sangat crosslinking.

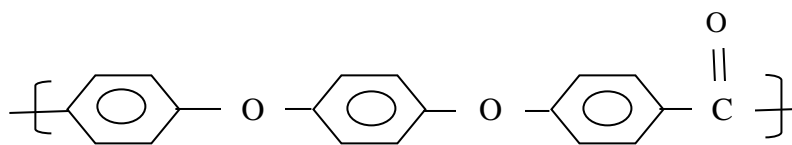
2.6 Polimer Polyether ether keton (PEEK)

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit – unit berulang sederhana. Nama ini diturunkan dari bahasa Yunani *poly*, yang berarti “banyak”, dan *mer*, yang berarti “bagian” (Stevens dan Sopyan, 2001). Polimer merupakan komponen berat molekul tinggi yang dibangun dari sejumlah unit dasar monomer. Jumlah unit struktural dihubungkan bersama untuk membentuk rantai molekul

panjang didefinisikan sebagai tingkat polimerisasi. Akibatnya berat molekul rantai panjang ini tergantung pada derajat polimerisasi dan pada berat molekul unit dasar monomer.

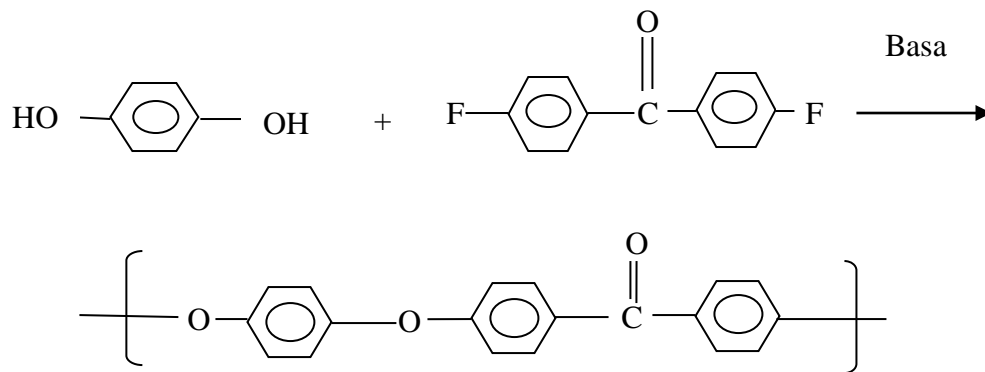
Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai penghalang atau material membran, tetapi sifat fisik dan kimia yang berbeda sehingga hanya dengan jumlah terbatas yang digunakan dalam praktek. Suatu klasifikasi dibuat antara membran berpori (porous) terbuka, yang diaplikasikan dalam mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dan membran nonporous padat yang diaplikasikan untuk gas separasi dan pervaporasi. Alasan klasifikasi ini adalah kebutuhan yang berbeda ketika bahan polimer digunakan sebagai membran.

Polietheretherketon adalah polimer organik thermoplastic hidrofobik yang tidak berwarna, digunakan dalam aplikasi teknik. Density PEEK 1320 kg/m³, modulus young (E) 3,6 GPa, kekuatan tarik ((σ_t)) 90 – 100 MPa, perpanjangan @ break 50%, notch test 55kJ/m², glass temperature 143 °C, melting point ~343 °C, thermal conductivity 0.25W/m.K. Water absorption, 24 hours (ASTM D 570) - 0.1%. PEEK hanya larut pada suhu kamar dalam konsentrasi asam anorganik seperti asam sulfat atau asam klorosulfonat (Wikipedia.org). Kegunaan khusus dari PEEK ini adalah sebagai isolasi kawat dan kabel, bagian – bagian tahan radiasi untuk reaktor nuklir, bagian mesin (Stevens dan Sopyan, 2001). Rumus struktur kimia dari PEEK seperti dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Struktur kimia PEEK (Mulder, 1996)

Polimer PEEK adalah polimerisasi *step-growth* (wikipedia.org) atau polimerisasi reaksi tahap yaitu reaksi bisfenol yang melibatkan substitusi gugus – gugus fluoro yang diaktivasi oleh keton di bawah kondisi basa (Stevens dan Sopyan, 2001). Reaksi ini dilakukan sekitar 300 °C (wikipedia.org). Gambar 2.11 menunjukkan reaksi polimerisasi *step-growth* PEEK.



Gambar 2.11. Polimerisasi *step-growth* PEEK (Stevens dan Sopyan, 2001)

2.7 Silika

Silika, dalam ilmu kimia, adalah suatu senyawa yang mengandung satu anion dengan satu atau lebih atom silikon pusat yang dikelilingi oleh ligan elektronegatif. Jenis silikat yang sering ditemukan umumnya terdiri dari silikon dengan oksigen sebagai ligannya. Anion silikat, dengan muatan listrik negatif, harus mendapatkan pasangan kation lain untuk membentuk senyawa bermuatan netral. Silika, atau silikon dioksida, SiO_2 , sering dianggap sebagai silikat, walaupun senyawa ini tidak bermuatan negatif dan tidak memerlukan ion pasangan.

Silika gel adalah butiran seperti kaca dengan bentuk yang sangat berpori, silika dibuat secara sintesis dari natrium silikat. Walaupun namanya, silika gel padat, silika gel adalah mineral alami yang dimurnikan dan diolah menjadi salah satu bentuk butiran atau manik-manik. Sebagai pengering, ia memiliki ukuran pori rata – rata 2,4 nanometer dan memiliki afinitas yang kuat untuk molekul air. Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2). Sol mirip agar – agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis. Garam – garam kobalt dapat diabsorpsi oleh gel ini.

Silika gel mencegah terbentuknya kelembaban yang berlebihan sebelum terjadi. Para pabrikan mengetahui hal ini, karena itu mereka selalu memakai silika gel dalam setiap pengiriman barang-barang mereka yang disimpan dalam kotak. Silika gel merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik dan film sekalipun. Produk anti lembab ini menyerap lembab tanpa merubah kondisi zatnya. Walaupun dipegang, butiran-butiran silika gel ini tetap kering. Silika gel penyerap kandungan air bisa diaktifkan sesuai kebutuhan. Unit ini mempunyai indikator khusus yang akan berubah dari warna biru ke merah muda kalau produk mulai mengalami kejenuhan kelembaban. Saat itulah alat ini aktif. Setelah udara mengalami kejenuhan/kelembaban, dia bisa diaktifkan kembali lewat oven. Sejak Perang Dunia II, silika gel sudah menjadi pilihan yang terpercaya oleh pemerintah dan pelaku industri. Silika gel sering ditemukan dalam kotak paket dan pengiriman film, kamera, teropong, alat-alat komputer, sepatu kulit, pakaian, makanan, obat-obatan, dan peralatan peralatan lainnya. Silika gel adalah substansi-substansi yang digunakan untuk menyerap kelembaban dan cairan partikel dari ruang yang berudara/bersuhu. Silika gel juga membantu menahan kerusakan pada barang-barang yang mau disimpan. Silika gel yang siap untuk digunakan berwarna biru. Ketika silika gel telah menyerap banyak kelembaban, ia akan berubah warnanya menjadi pink(merah muda). Ketika ia berubah menjadi warna pink (merah muda), ia tidak bisa lagi menyerap kelembaban. Ia harus meregenerasi. Hal ini dapat dilakukan dengan menghangatkannya di dalam mesin oven. Panasnya mengeluarkan kelembaban, lalu ia akan berubah warnanya menjadi biru dan kembali bisa digunakan (Wikipedia.org). Gambar 2.12 silika gel.



Gambar 2.12. Silika gel (dokumentasi pribadi)

Silika ditemukan di alam dalam bentuk mineral kuarsa. Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya. Silika biasa diperoleh melalui proses penambangan yang dimulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Pasir kuarsa tersebut kemudian dilakukan proses pencucian untuk membuang pengotor yang kemudian dipisahkan dan dikeringkan kembali sehingga diperoleh pasir dengan kadar silika yang lebih besar bergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat penambangan. Pasir inilah yang kemudian dikenal dengan pasir silika atau silika dengan kadar tertentu.

Silika biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dengan berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain. Untuk proses penghalusan atau memperkecil ukuran dari pasir silika umumnya digunakan metode *milling* dengan *ball mill* untuk menghancurkan

ukuran pasir silika yang besar-besar menjadi ukuran yang lebih kecil dan halus, silika dengan ukuran yang halus inilah yang biasanya banyak digunakan dalam industri.

Saat ini aplikasi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Salah satu contoh silika dengan ukuran mikron banyak diaplikasikan dalam material *building*, yaitu sebagai bahan campuran pada beton. Rongga yang kosong di antara partikel semen akan diisi oleh mikrosilika sehingga berfungsi sebagai bahan penguat beton (mechanical property) dan meningkatkan daya tahan (durability). Selama ini kebutuhan mikrosilika dalam negeri dipenuhi oleh produk impor. Ukuran lainnya yang lebih kecil adalah nanosilika banyak digunakan pada aplikasi di industri ban, karet, cat, kosmetik, elektronik, dan keramik. Sebagai salah satu contoh adalah pada produk ban dan karet secara umum. Manfaat dari penambahan nanosilika pada ban akan membuat ban memiliki daya lekat yang lebih baik terlebih pada jalan salju, mereduksi kebisingan yang ditimbulkan dan usia ban lebih panjang daripada produk ban tanpa penambahan nanosilika.

Untuk memperoleh ukuran silika sampai pada ukuran nano/mikrosilika perlu perlakuan khusus pada prosesnya. Untuk mikrosilika biasanya dapat diperoleh dengan metode *special milling*, yaitu metode milling biasa yang sudah dimodifikasi khusus sehingga kemampuan untuk menghancurkannya jauh lebih efektif, dengan metode ini bahkan dimungkinkan juga memperoleh silika sampai pada skala nano. Sedangkan untuk nanosilika bisa diperoleh dengan metode-metode tertentu yang sekarang telah banyak diteliti diantaranya adalah sol-gel process, gas phase process, chemical precipitation, emulsion techniques, dan plasma spraying & fogging proses (Polimerisasi silika terlarut menjadi organo silika).

2.8 Clay

Tanah liat (*clay*) merupakan bahan plastis yang dapat berubah menjadi keras dan tahan terhadap air setelah mengalami proses pengeringan dan pembakaran. Hampir semua tanah liat yang ada di Indonesia disebut “lempung”. Lempung merupakan produk alam, yaitu hasil pelapukan kulit bumi yang sebagian besar terdiri dari batuan *feldspatik*, berupa batuan granit dan batuan beku. Gambar 2.13 beberapa contoh *clay*.



Gambar 2.13. *Clay* (PPPPTK Seni dan Budaya Jogjakarta, studiokeramik.org)

Tanah liat dalam ilmu kimia termasuk *Hidrosilikat Alumina*, yang dalam keadaan murni mempunyai rumus $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Satu partikel tanah liat dibuat dari satu molekul *aluminium* (2 atom *Alumina* dan 3 atom *Oksigen*), dua molekul *Silikat* (2 atom *Silika* dan 2 atom *Oksigen*), dan dua molekul Air (2 atom *Hidrogen* dan 1 atom *Oksigen*).

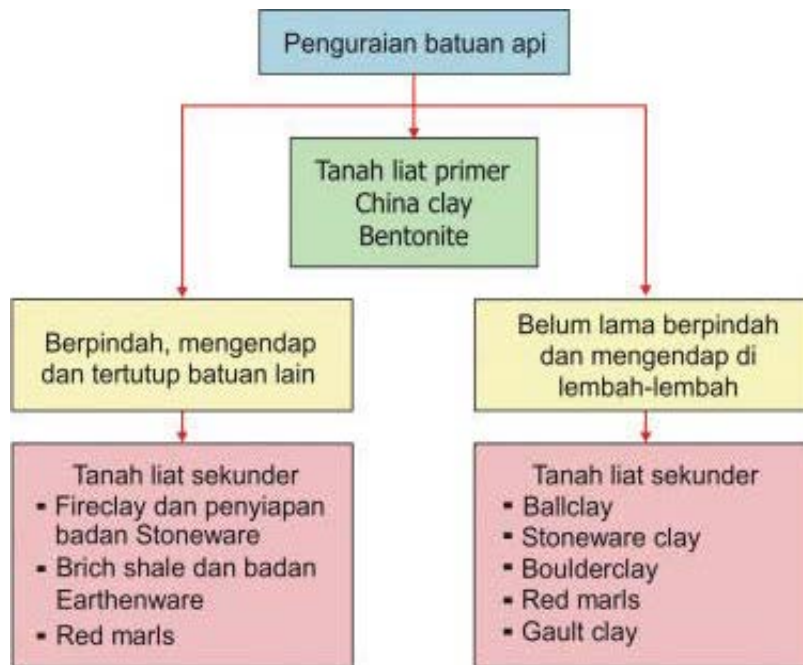
Formula tersebut terdiri dari:

39% Oksida *Alumina*

47% Oksida *Silika*

14% Air

Perubahan secara alamiah yang berlangsung terus menerus menyebabkan terbentuknya tanah liat primer dan sekunder, yang juga menyebabkan perbedaan tempat ditemukan (pengendapan) tanah liat tersebut, secara sederhana asal-usul tanah liat dapat digambarkan seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.14. Asal usul tanah liat secara sederhana (Budiyanto dkk., 2008).

Berdasarkan tempat pengendapannya, tanah liat dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu (Budiyanto dkk., 2008) :

a. Tanah Liat Primer

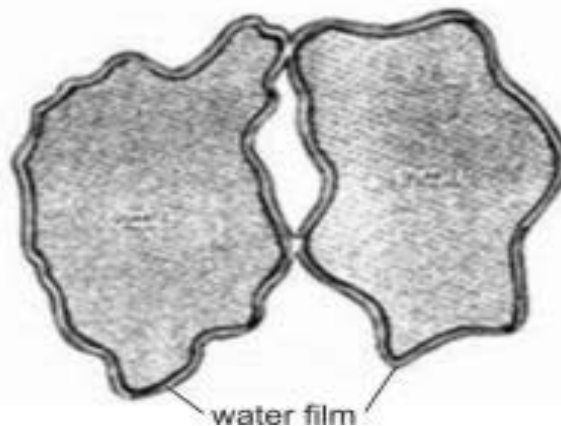
Yang disebut tanah liat primer (residu) adalah jenis tanah liat yang dihasilkan dari pelapukan batuan *feldspatik* oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk (batuan asalnya), karena tanah liat tidak berpindah tempat sehingga sifatnya lebih murni dibandingkan dengan tanah liat sekunder. Selain tenaga air, tenaga uap panas yang keluar dari dalam bumi mempunyai andil dalam pembentukan tanah liat primer. Karena tidak terbawa arus air dan tidak tercampur dengan bahan organik seperti humus, ranting, atau daun busuk dan sebagainya, maka tanah liat berwarna putih atau putih kusam. Suhu matang berkisar antara 1300 °C–1400 °C, bahkan ada yang mencapai 1750 °C. Yang termasuk tanah liat primer antara lain:

kaolin, bentonite, feldspatik, kwarsa dan dolomite, biasanya terdapat di tempat-tempat yang lebih tinggi daripada letak tanah sekunder. Pada umumnya batuan keras basalt dan andesit akan memberikan lempung merah sedangkan granit akan memberikan lempung putih. Mineral *kwarsa* dan *alumina* dapat digolongkan sebagai jenis tanah liat primer karena merupakan hasil samping pelapukan batuan *feldspatik* yang menghasilkan tanah liat *kaolinit*.

Tanah liat primer memiliki ciri-ciri:

- warna putih sampai putih kusam
- cenderung berbutir kasar,
- tidak plastis,
- daya lebur tinggi,
- daya susut kecil
- bersifat tahan api

Dalam keadaan kering, tanah liat primer sangat rapuh sehingga mudah ditumbuk menjadi tepung. Hal ini disebabkan partikelnya yang terbentuk tidak simetris dan bersudut-sudut tidak seperti partikel tanah liat sekunder yang berupa lempengan sejajar. Secara sederhana dapat dijelaskan melalui gambar penampang irisan partikel *kwarsa* yang telah dibesarkan beberapa ribu kali. Dalam gambar di bawah ini tampak kedua partikel dilapisi lapisan air (*water film*), tetapi karena bentuknya tidak datar/asimetris, lapisan air tidak saling bersambungan, akibatnya partikel-partikel tidak saling menggelincir.



Gambar 2.15. Dua partikel *kwarsa* dengan lapisan air (Budyanto dkk., 2008)

b. Tanah Liat Sekunder

Tanah liat sekunder atau sedimen (endapan) adalah jenis tanah liat hasil pelapukan batuan *feldspatik* yang berpindah jauh dari batuan induknya karena tenaga eksogen yang menyebabkan butiran-butiran tanah liat lepas dan mengendap pada daerah rendah seperti lembah sungai, tanah rawa, tanah marine, tanah danau. Dalam perjalanan karena air dan angin, tanah liat bercampur dengan bahan-bahan organik maupun anorganik sehingga merubah sifat-sifat kimia maupun fisika tanah liat menjadi partikel-partikel yang menghasilkan tanah liat sekunder yang lebih halus dan lebih plastis. Jumlah tanah liat sekunder lebih banyak dari tanah liat primer. Transportasi air mempunyai pengaruh khusus pada tanah liat, salah satunya ialah gerakan arus air cenderung menggerus mineral tanah liat menjadi partikel-partikel yang semakin mengecil. Pada saat kecepatan arus melambat, partikel yang lebih berat akan mengendap dan meninggalkan partikel yang halus dalam larutan. Pada saat arus tenang, seperti di danau atau di laut, partikel-partikel yang halus akan mengendap di dasarnya. Tanah liat yang dipindahkan bisaanya terbentuk dari beberapa macam jenis tanah liat dan berasal dari beberapa sumber. Dalam setiap sungai, endapan tanah liat dari beberapa situs cenderung bercampur bersama. Kehadiran berbagai oksida logam seperti besi, nikel, titan, mangan dan sebagainya, dari sudut ilmu keramik dianggap sebagai bahan pengotor. Bahan organik seperti humus dan daun busuk juga merupakan bahan pengotor tanah liat. Karena pembentukannya melalui proses panjang dan bercampur dengan bahan pengotor, maka tanah liat mempunyai sifat: berbutir halus, berwarna krem/abu-abu/coklat/merah jambu/kuning, suhu matang antara 900°C - 1400°C . Pada umumnya tanah liat sekunder lebih plastis dan mempunyai daya susut yang lebih besar daripada tanah liat primer. Semakin tinggi suhu bakarnya semakin keras dan semakin kecil porositasnya, sehingga benda keramik menjadi kedap air. Dibanding dengan tanah liat primer, tanah liat sekunder mempunyai ciri tidak murni, warna lebih gelap, berbutir lebih halus dan mempunyai titik lebur yang relatif lebih rendah. Setelah dibakar tanah liat sekunder biasanya berwarna krem, abu-abu muda sampai coklat muda ke tua. Tanah lit sekunder memiliki ciri-ciri:

- Kurang murni
- cenderung berbutir halus,
- plastis,
- warna krem/abu-abu/coklat/merah jambu/kuning, kuning muda, kuning kecoklatan, kemerahan, kehitaman
- daya susut tinggi,
- suhu bakar 1200 °C–1300 °C, ada yang sampai 1400 °C (*fireclay, stoneware, ballclay*),
- suhu bakar rendah 900 °C–1180 °C, ada yang sampai 1200 °C (*earthenware*).

Warna tanah alami terjadi karena adanya unsur oksida besi dan unsur organik, yang biasanya akan berwarna bakar kuning kecoklatan, coklat, merah, warna karat, atau coklat tua, tergantung dari jumlah oksida besi dan kotoran-kotoran yang terkandung. Biasanya kandungan oksida besi sekitar 2%-5%, dengan adanya unsur tersebut tanah cenderung berwarna lebih gelap, biasanya matang pada suhu yang lebih rendah, kebalikannya adalah tanah berwarna lebih terang ataupun putih akan matang pada suhu yang lebih tinggi. Menurut titik leburnya, tanah liat sekunder dapat dibagi menjadi lima kelompok besar, yaitu: Tanah liat tahan api (*fire clay*), tanah liat *stoneware, ball clay*, tanah liat merah (*earthenware clay*), dan tanah liat jenis *monmorilinit*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dilakukan di laboratorium. Adapun tahap - tahap dalam penelitian ini terdiri dari :

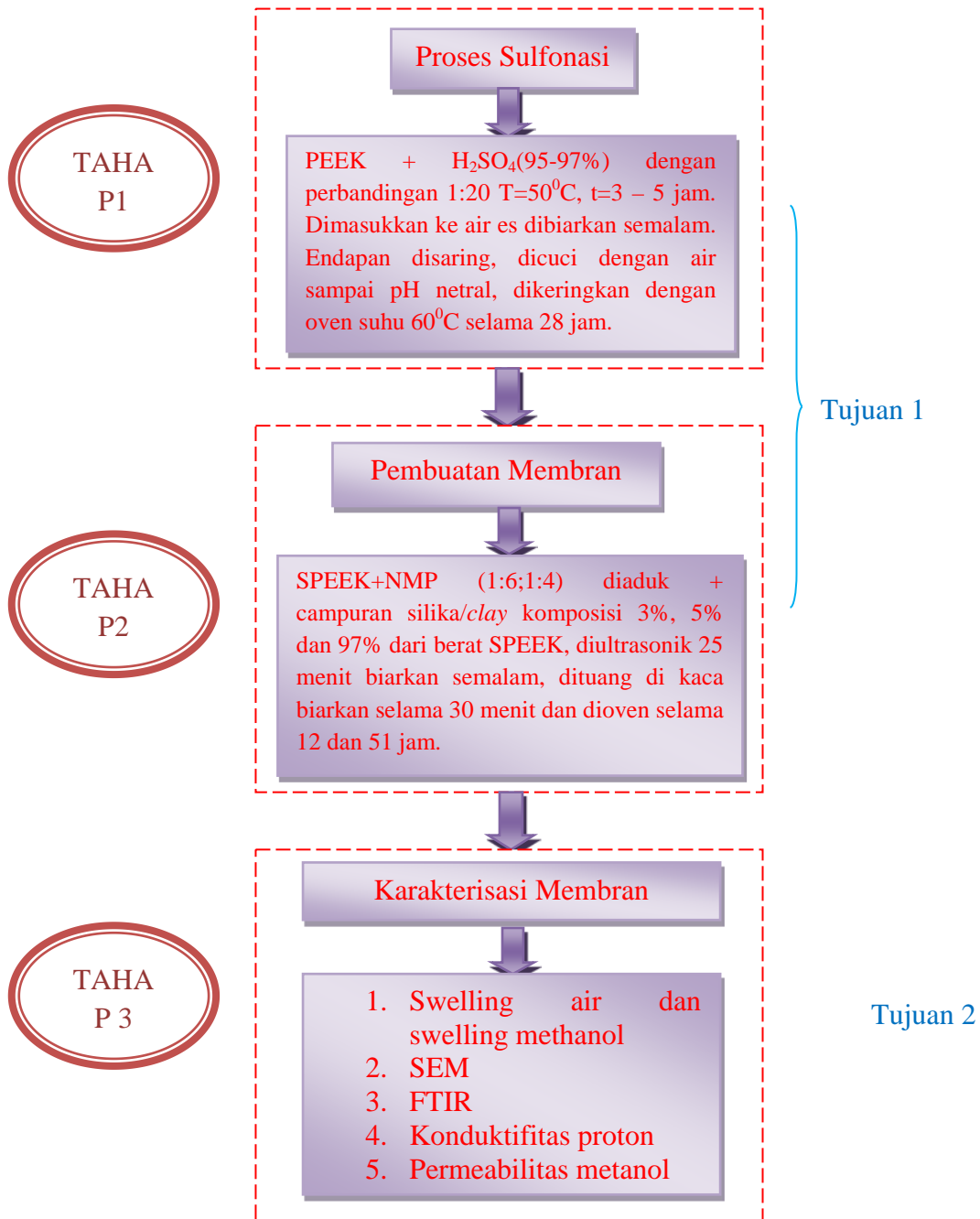
Tahap 1 : Proses sulfonasi

Tahap 2 : Pembuatan membran

Tahap 3 : Karakterisasi membran

Penelitian tahap 1, 2 dan 3 (swelling air dan swelling methanol, serta permeabilitas methanol) dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia (ITI) Serpong. Tahap 3 khususnya untuk analisa sampel dengan SEM dilakukan di Laboratorium Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong, sedangkan untuk analisa sampel dengan FTIR dilakukan di Laboratorium Analisis Kimia Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Puspiptek Serpong. Serta untuk tahap 1 dan tahap 3 khususnya konduktifitas proton dilakukan di Laboratorium Teknologi Material dan *Fuel Cell* Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong.

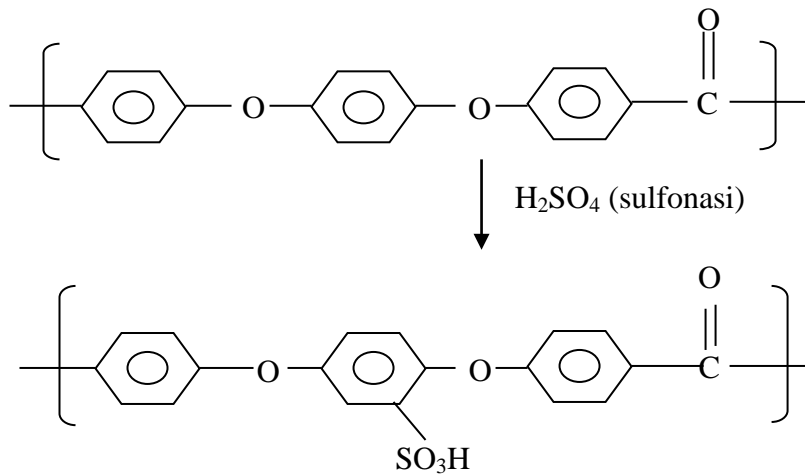
Blok diagram penelitian sebagaimana tertera pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok diagram penelitian

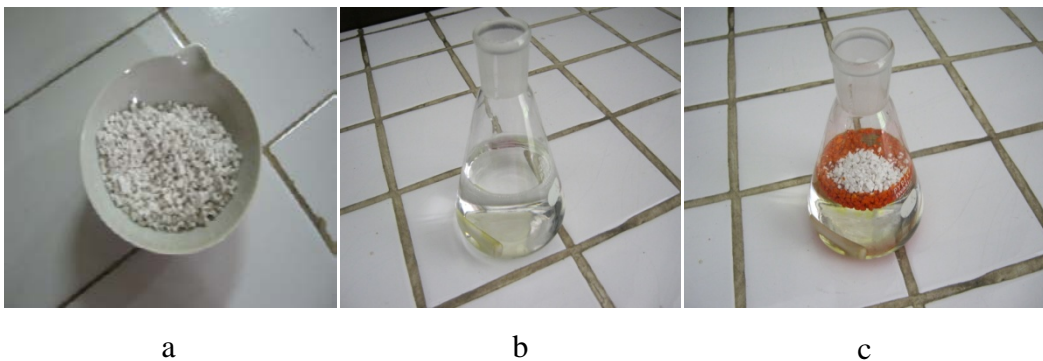
3.1.1 Proses Sulfonasi

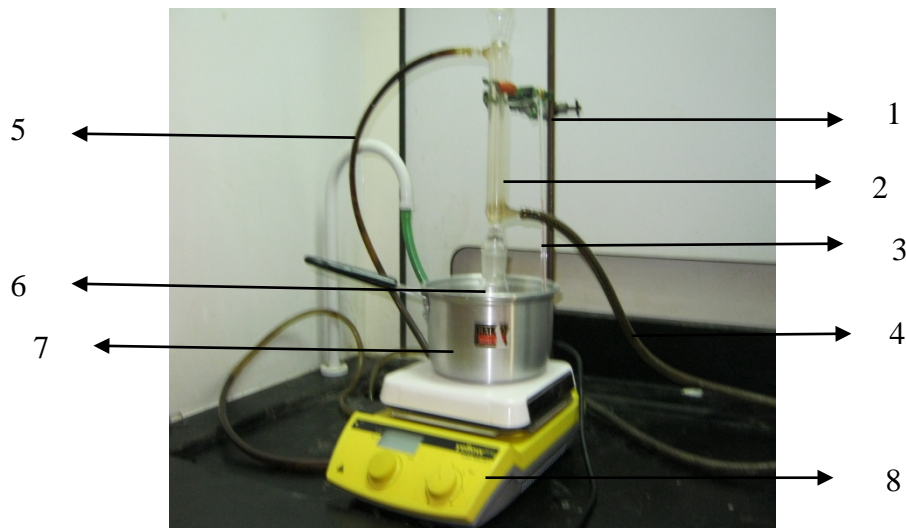
Proses sulfonasi PEEK dilakukan dengan melarutkan PEEK dalam asam sulfat pekat H_2SO_4 (95-97%) dengan perbandingan (1 : 20, w/v) pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ dengan pengadukan selama 3 – 5 jam. Reaksi sulfonasi dihentikan dengan proses presipitasi (pengendapan larutan polimer) yaitu dengan cara memasukkan larutan polimer kedalam air es agar terbentuk polimer padat dan dibiarkan semalam. Endapan polimer disaring dan dicuci beberapa kali dengan air sampai pH netral (6-7). Polimer PEEK tersulfonasi dikeringkan pada oven suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 28 jam (Hartanto dkk, 2007, Handayani dan Dewi, 2009, Roelfs, 2010, Kusworo, 2010, Eksperimen laboratorium, 2011). Reaksi kimia PEEK tersulfonasi seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Polyether ether keton tersulfonasi (Kusworo, 2010)

Proses sulfonasi seperti terlihat dalam gambar 3.3





d



e



f



g



h



i



j



k

Gambar 3.3. Proses sulfonasi PEEK (dokumentasi pribadi)

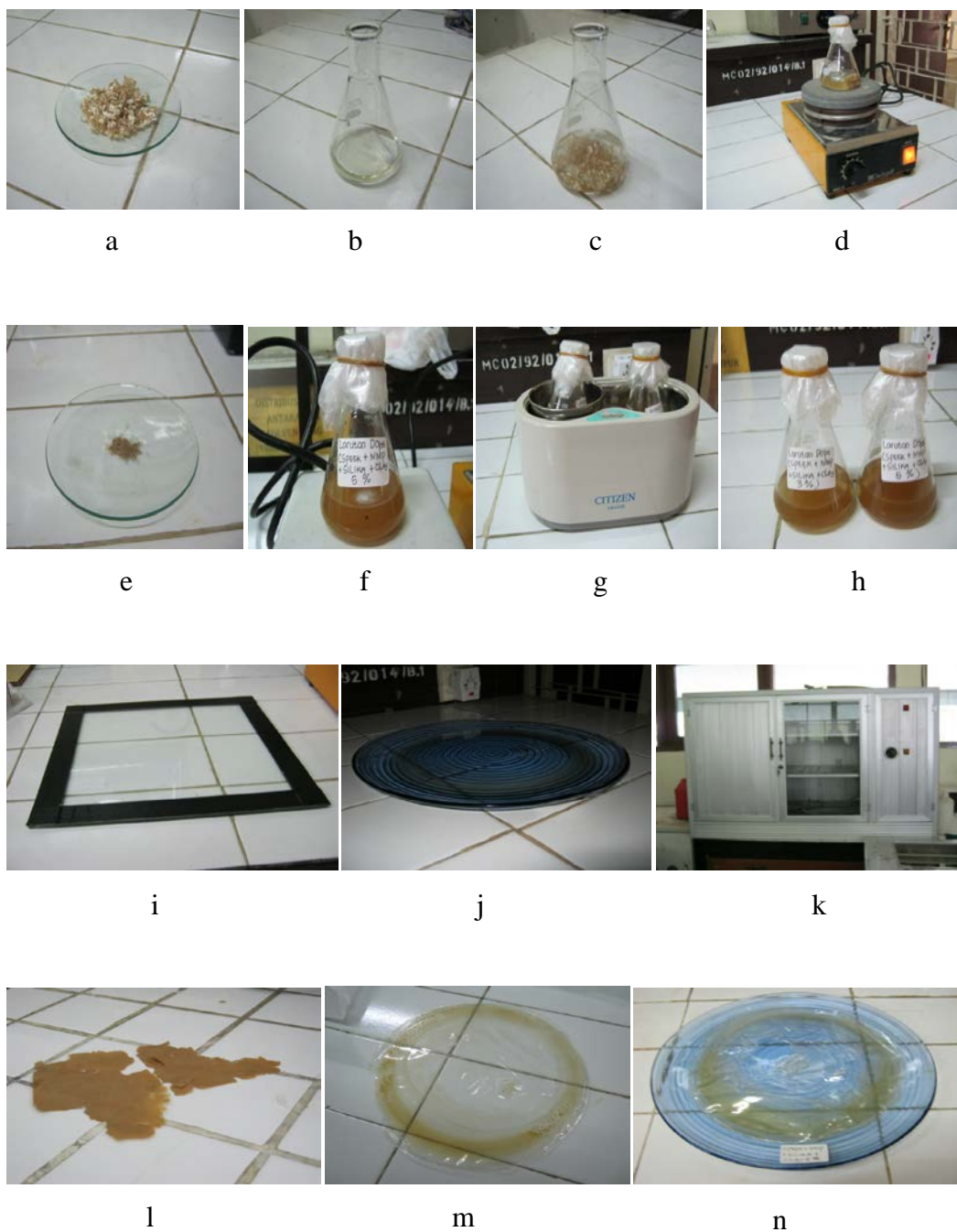
Keterangan Gambar :

- a. PEEK
- b. Asam sulfat
- c. PEEK dalam asam sulfat
- d. Rangkaian alat proses sulfonasi (BPPT)
 1. Statif + klem
 2. Pendingin liebig
 3. Thermometer
 4. Air masuk
 5. Air keluar
 6. Erlenmeyer berisi PEEK dan asam sulfat
 7. Waterbath
 8. Pemanas + motor
- e. Sulfonasi PEEK
- f. Setelah sulfonasi
- g. SPEEK dimasukkan ke air es dengan menggunakan corong pisah
- h. SPEEK direndam semalam
- i. SPEEK disaring dan dicuci dengan air
- j. SPEEK basah
- k. SPEEK dioven suhu 60⁰C selama 28 jam

3.1.2 Pembuatan Membran

Pembuatan membran dilakukan dengan metode inversi fasa (Mulder, 1996) yaitu PEEK yang telah tersulfonasi dilarutkan dalam *n-methyl-2-pyrrolidone* dengan perbandingan 1 : 6 dan 1 : 4 (w/v), sambil diaduk hingga larut sekitar 3 jam kemudian tambahkan campuran silika dan *clay* 3%, 5% dan 97% dari berat SPEEK, pengadukan diteruskan selama 3 jam, diultrasonik selama 25 menit dibiarkan semalam. Setelah itu pencetakan membran pada plat kaca untuk SPEEK dan NMP 1 : 4 dengan komposisi campuran silika dan *clay* 97% sedangkan untuk perbandingan 1 : 6 dengan komposisi campuran silika dan *clay*

3% dan 5% dari berat SPEEK dicetak dalam piring kaca plat dengan cara dituang ke dalam piring dan dioven. Oven pada suhu 60°C selama 12 jam dan 51 jam (Hartanto dkk, 2007, Handayani dan Dewi, 2009, Eksperimen Laboratorium, 2011). Gambar pembuatan membran seperti dalam gambar 3.4.



Gambar 3.4. Proses pembuatan membran (dokumentasi pribadi)

Keterangan Gambar :

- a. SPEEK
- b. NMP (1 methyl 2 pyrrolidone)
- c. SPEEK dalam NMP
- d. Proses pelarutan SPEEK dalam NMP
- e. Campuran silika/*clay*
- f. Pengadukan SPEEK, NMP dan silika/*clay*
- g. Proses ultrasonik
- h. Larutan dope dibiarkan semalam
- i. Plat kaca
- j. Dituang di piring kaca
- k. Membran yang dioven
- l. Membran dengan komposisi campuran silika *clay* 97%
- m. Membran dengan komposisi campuran silika *clay* 3%
- n. Membran dengan komposisi campuran silika *clay* 5%

3.1.3 Karakterisasi membran

Swelling air dan swelling metanol pada membran

Sampel membran dikeringkan dalam oven sehingga didapat berat kering membran (W_{kering}). Sampel membran kering direndam dalam air (untuk swelling air) atau dalam metanol 1 M (untuk swelling metanol) selama 24 jam pada suhu kamar. Setelah air dihilangkan (diseka dengan tissue) kemudian ditimbang dan didapatkan berat basah membran (W_{basah}) (Hartanto dkk., 2007, Handayani dan Dewi, 2009).

Swelling air atau metanol pada membran dihitung menggunakan persamaan (3.1) (Hartanto dkk., 2007, Handayani dan Dewi, 2009, Mat dan Liang, 2009) :

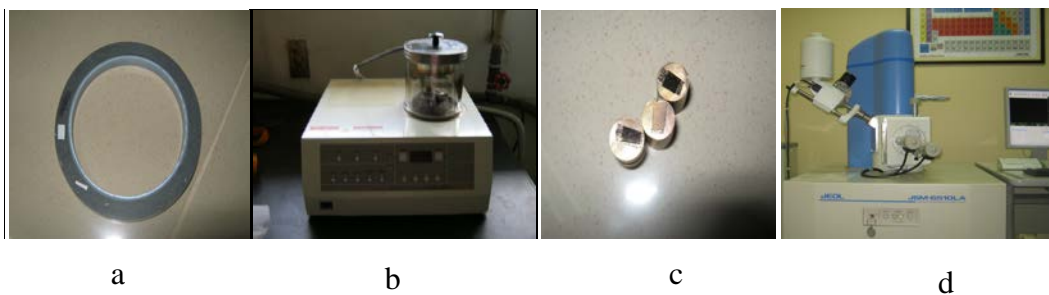
Swelling =

Analisis morfologi

Untuk mengamati morfologi permukaan (Yang dkk., 2007, Liu dkk., 2010, Roelfs, 2010, Zulfikar dkk., 2010) dengan pemetaan (*mapping*) dan EDS (*energy dispersive spectroscopy*) digunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) JEOL JSM-6510 LA *Analytical Scanning Electron Microscope* dengan perbesaran 500x, 5000x, dan 10000x menggunakan perbedaan tegangan 20 kV. Tahapan preparasi sampel adalah :

1. sampel dipotong dengan gunting biasa dengan ukuran 2 mm x 5 mm
2. sampel ditempel di stube dengan menggunakan double carbon tape
3. sampel kemudian dilapisi emas (Au) agar sampel lebih konduktif dengan menggunakan sputering (auto fine coater) dengan 40 mA selama 10 detik.
4. sampel kemudian dimasukkan ke dalam chamber SEM untuk divakum dan siap ditembak.

Gambar preparasi sampel dengan menggunakan SEM dapat dilihat dalam gambar 3.5.



Gambar 3.5. Tahap preparasi sampel dengan SEM (dokumentasi pribadi)

Keterangan Gambar : a. *Carbon Tape*

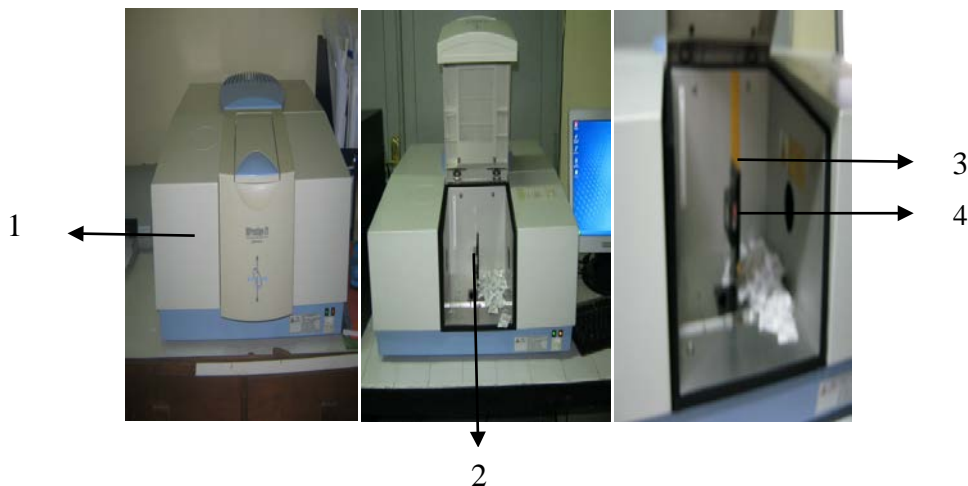
b. Sputering (*Auto Fine Coater*)

c. Sampel di stube yang telah dilapisi emas (Au)

d. SEM

Analisis struktur

Perkembangan struktur membran komposit ditentukan dengan menggunakan spektrometer FTIR (Zulfikar dkk., 2009, Liu dkk., 2010). Spektrum FTIR komposit membran dicatat antara 4000 dan 400 cm^{-1} pada spektrometer infra merah IR Prestige 21 holder Shimadzu. Sampel diletakkan dalam sampel holder dan diselotip kemudian dimasukkan ke holder (pemegang sampel) serta dialirkan sinar infra merah dan akan terekam dalam frekuensi dan intensitasnya. Gambar spektrometer FTIR seperti dalam gambar 3.6.

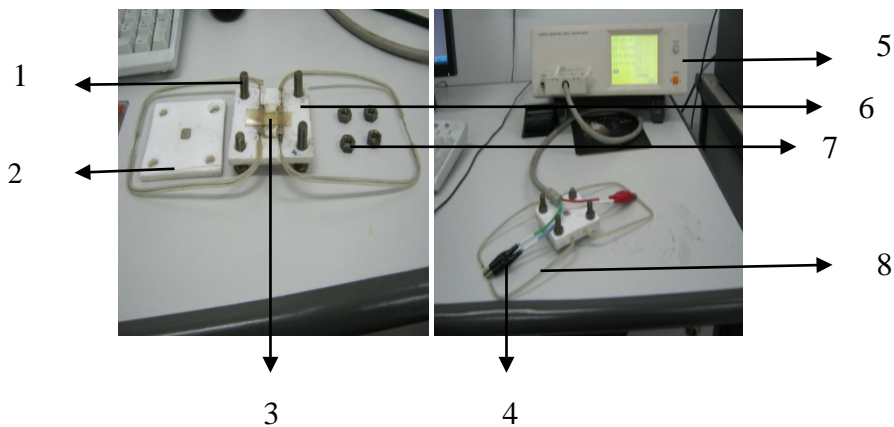


Gambar 3.6. Spektrometer FTIR (dokumentasi pribadi)

Keterangan Gambar :

1. Spektrometer FTIR
2. Holder (pemegang sampel)
3. Sampel di sampel holder yang telah diselotip
4. Sinar inframerah

• **Konduktivitas proton** : Pengujian ini untuk memberikan estimasi konduktivitas H^+ , yang merupakan fungsi utama dari membran pertukaran proton (Kuswara, 2010). Sifat ini biasanya dievaluasi dengan elektrolit asam atau air (membran terhidrasi). Konduktivitas proton ditentukan menggunakan LCR-meter (impedance, capacitance, resistance) (HIOKI 3522-50 LCR HiTESTER). Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 kHz sampai 1 MHz dengan tegangan 20 mV. Pengukuran konduktivitas dilakukan pada kondisi terhidrasi (basah) pada suhu 25 °C. Sampel membran direndam selama tiga hari kemudian diukur dengan LCR meter (Hartanto dkk., 2007, Handayani dan Dewi, 2009). Sel konduktivitas dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Sel Konduktivitas (dokumentasi pribadi)

Keterangan Gambar :

1. Baut
2. Penutup Teflon
3. Tempat meletakkan membran
4. Kawat untuk suplai arus ke LCR meter
5. LCR meter
6. Blok Teflon
7. Mur
8. Kawat penghubung ke LCR meter

Nilai konduktivitas proton dapat dihitung melalui persamaan (3.2)

$$\sigma = G x$$

DK adalah permeabilitas metanol, cm^2/s . CB adalah konsentrasi metanol pada kolom B pada $t=6$ jam (mol/cm^3). VB adalah volume larutan pada kolom B (cm^3). l adalah tebal membran (cm). t adalah waktu operasi (detik). A adalah luas membran (cm^2). CA adalah konsentrasi metanol pada kolom A pada $t=0$ (mol/cm^3).



Gambar 3.8. Dua wadah sel difusi (dokumentasi pribadi)

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan kimia *Polyether ether keton* (PEEK) (450-P, Victrex), silika $250 \mu\text{m}$ dan *clay* (Earthenware 60 mesh, warna coklat, Godean Yogyakarta) sebagai bahan komposit membran. Selain itu juga digunakan asam sulfat pekat (95-98%) (Merck), *n-methyl-2-pyrrolidone* (Merck), metanol, air es, aquadest dan carbon tape. Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan elektrik (percisa) , thermometer 110°C , magnetic stirrer, erlenmeyer (pyrex), pemanas + motor (yellow line, yellow MAG HS7), pendingin/kondensor, lumpang porselen, ayakan $250 \mu\text{m}$, oven, stir pengaduk (fisher + gerhardt), ultrasonic cleaner (citizen, SW 1500), plat kaca, piring kaca plat, alat ukur digital, spektrometer FTIR (IR Prestige 21 Shimadzu), auto fine coater (Jeol JFC-1600), SEM (Jeol JSM-6510), LCR-meter (HIOKI 3552-50 LCR HiTESTER), dua wadah sel difusi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit membran PEEK silika/*clay* dibuat dengan metode inversi fasa. PEEK terlebih dahulu disulfonasi dalam asam sulfat pekat (H_2SO_4 95-97%) suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ dengan tujuan agar mudah larut dalam NMP dan terbentuknya membran yang polielektrolit. Setelah PEEK disulfonasi, diendapkan dalam air es dengan menggunakan corong pisah sehingga terbentuk produk SPEEK berbentuk pellet berwarna putih krem. Kemudian dibuat membran dengan melarutkan SPEEK dalam NMP ditambah campuran silika/*clay* dengan komposisi 3%, 5% dan 97%, bentuk membran mengikuti wadah yang digunakan saat pencetakan.

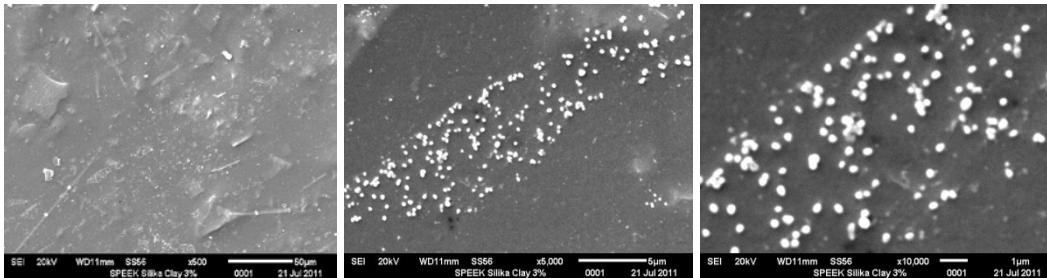
Penggunaan silika gel sebagai material komposit membran PEEK berfungsi sebagai zat penyerap. Sedangkan *clay* digunakan dalam komposit membran PEEK berfungsi untuk mengadsorpsi, karena komponen utama yang terkandung dalam *clay* adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Perbandingan kadar SiO_2 dan Al_2O_3 akan mempengaruhi daya aktif tanah. Tanah yang mempunyai perbandingan SiO_2 dan Al_2O_3 yang besar adalah tanah yang paling baik untuk mengadsorpsi, sedangkan tanah yang mempunyai perbandingan SiO_2 dan Al_2O_3 kecil mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi yang kecil pula (Davis dan Masser dalam Supeno, 2007).

Produk komposit membran SPEEK silika/*clay* yang dihasilkan dilakukan karakterisasi meliputi swelling air dan swelling metanol, SEM dan FTIR. Selanjutnya komposit membran SPEEK silika/*clay* dilakukan uji kinerja dengan konduktifitas proton dan permeabilitas metanol.

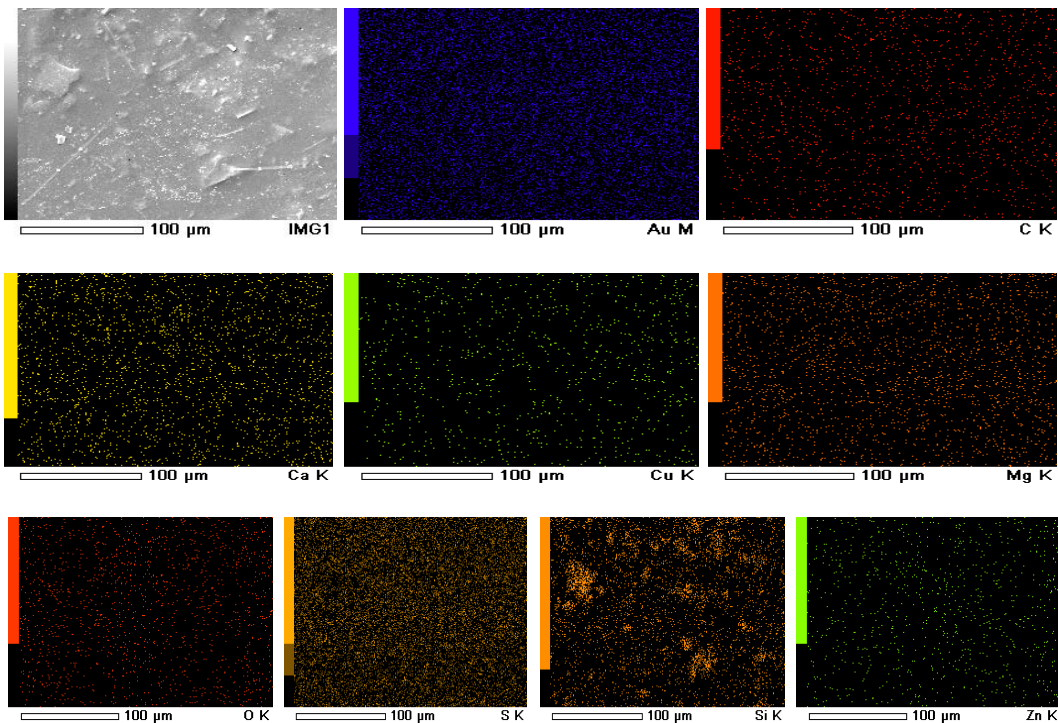
4.1 Karakterisasi Membran

Scanning Electron Microscopy (SEM)

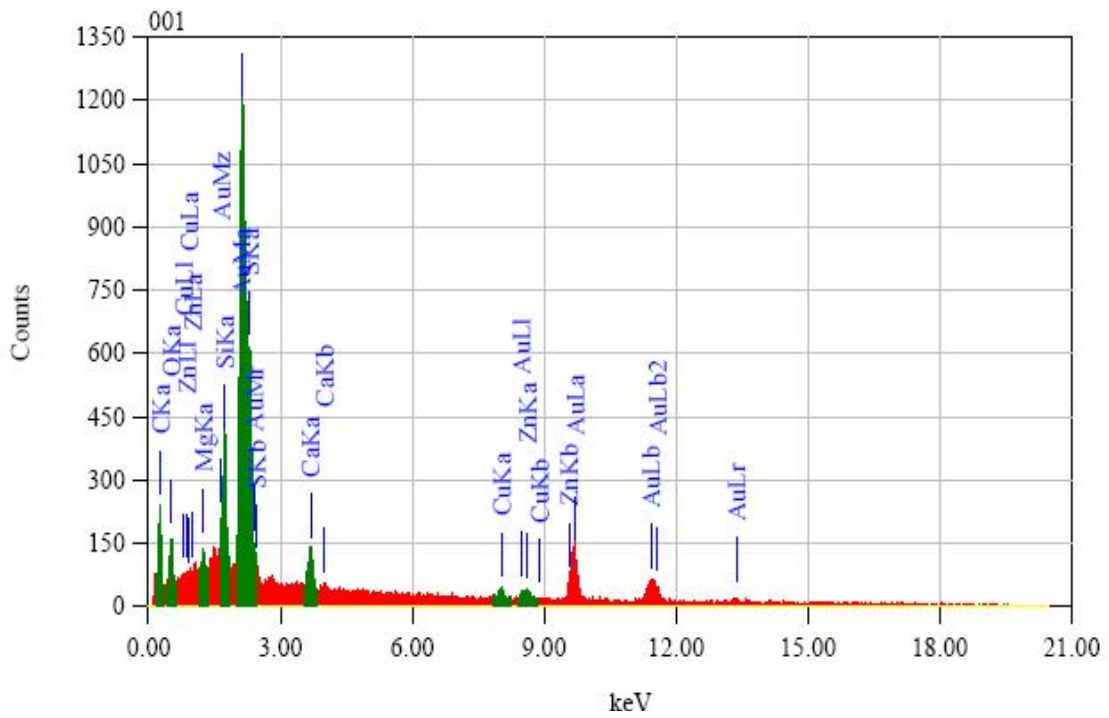
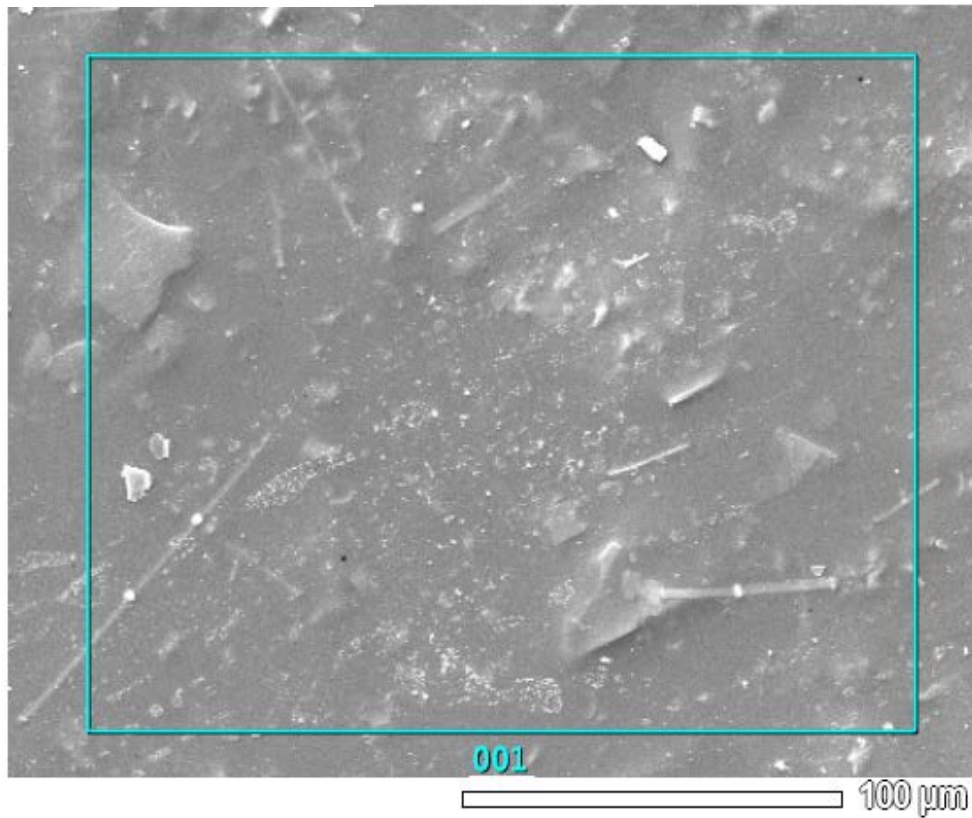
Untuk mengetahui morfologi, *mapping* dan *electron dispersive spectroscopy* (EDS) komposit membran dilakukan *scanning electron microscopy* (SEM) dengan perbesaran 500x, 5000 x dan 10000 x. Hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 4.1.(a,b,c), 4.2.(a,b,c) dan 4.3.(a,b,c), serta Tabel 4.1.(a,b,c).



Gambar 4.1.a.Morfologi komposit membran SPEEK silika/*clay* 3%



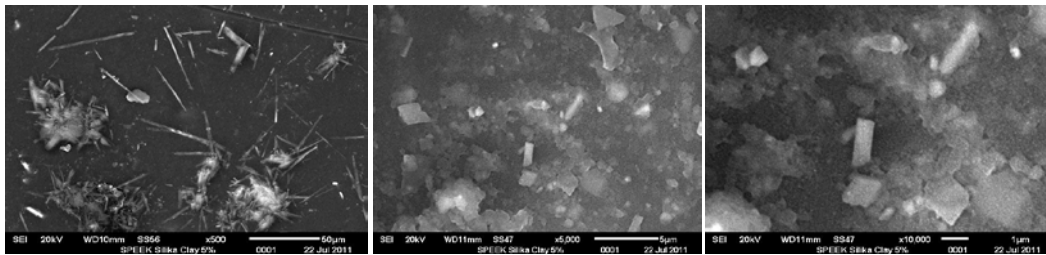
Gambar 4.1.b. *Mapping* komposit membran SPEEK silika/*clay* 3%



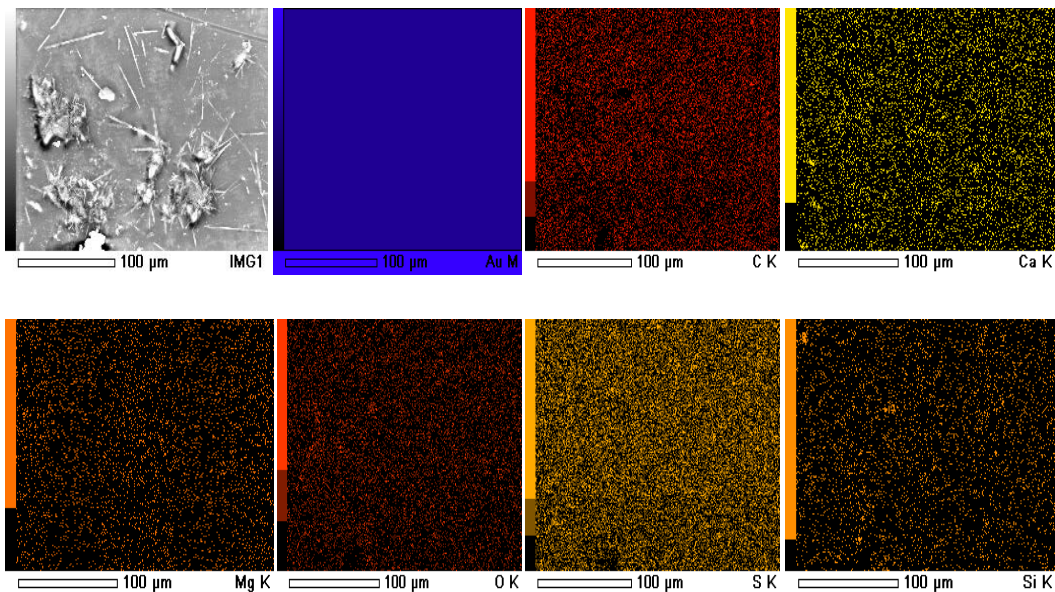
Gambar 4.1.c. EDS komposit membran SPEEK silika/clay 3%

Tabel 4.1.a. EDS komposit membran SPEEK silika/clay 3% (*Fitting Coefficient* : 0,3607)

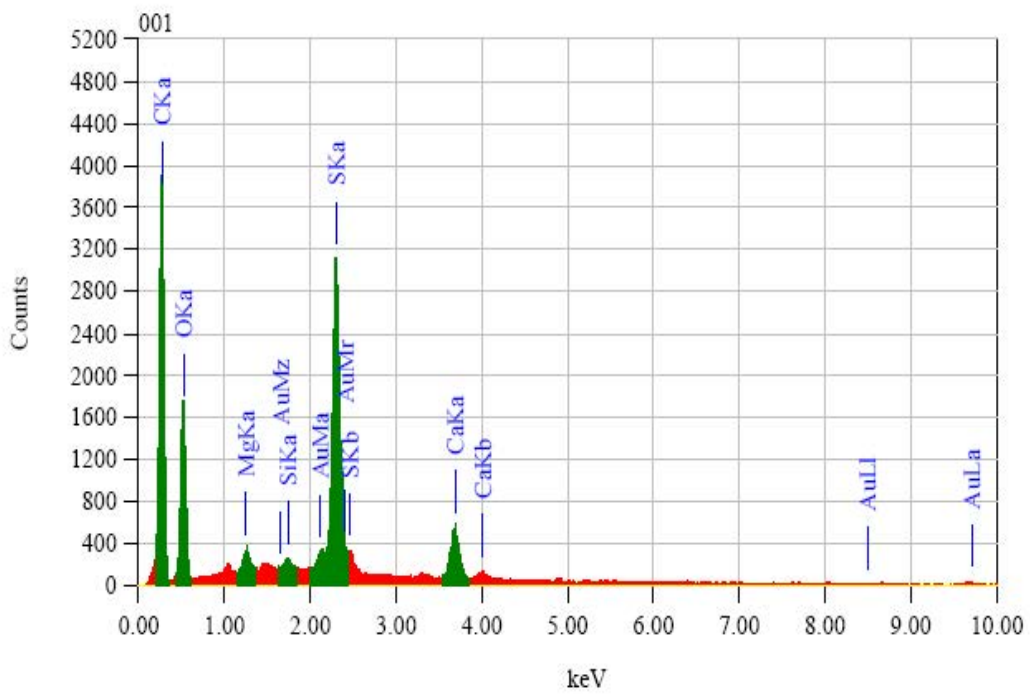
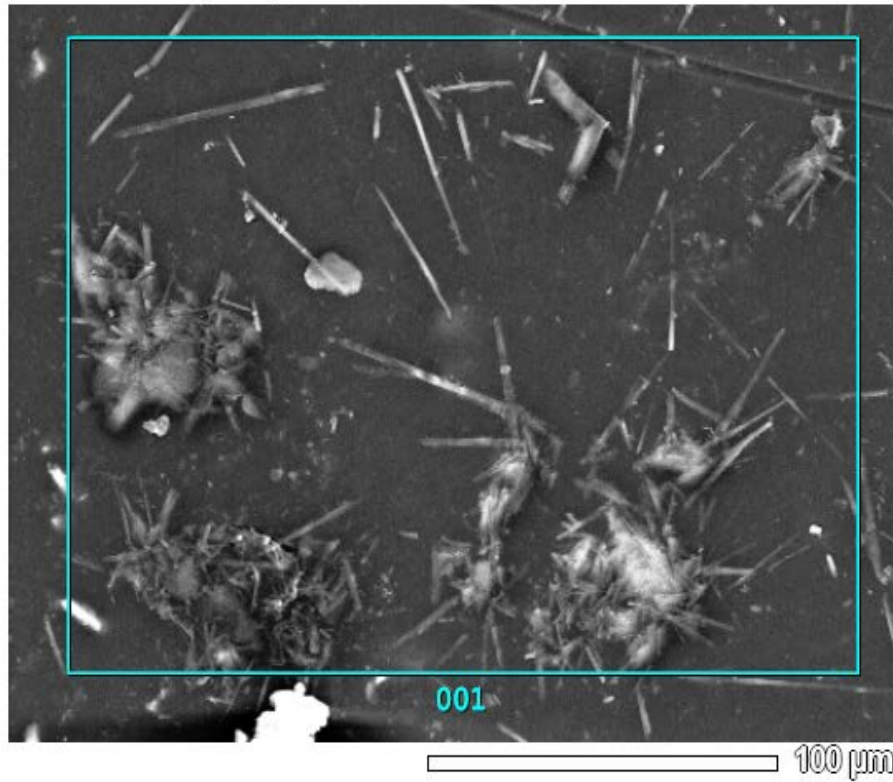
Unsur	keV	Massa (%)	Error (%)	Atom (%)	K
C K	0,277	22,30	0,12	57,93	5,1533
O K	0,525	7,82	0,23	15,26	5,2695
Mg K	1,253	0,78	0,08	1,00	0,7095
Si K	1,739	3,68	0,07	4,09	4,8446
S K	2,307	10,68	0,09	10,40	11,8437
Ca K	3,690	2,12	0,11	1,65	3,0527
Cu K	8,040	2,24	0,40	1,10	3,4500
Zn K	8,630	1,84	0,51	0,88	2,8544
Au M	2,121	48,54	0,25	7,69	62,8223
Total		100,00		100,00	



Gambar 4.2.a. Morfologi komposit membran SPEEK silika/clay 5%



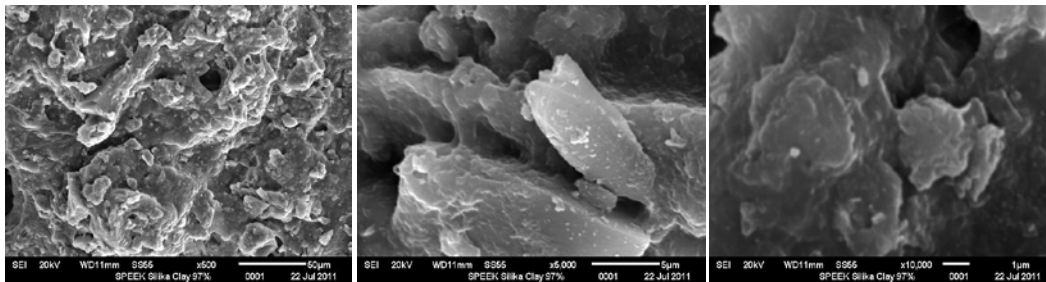
Gambar 4.2.b. *Mapping* komposit membran SPEEK silika/clay 5%



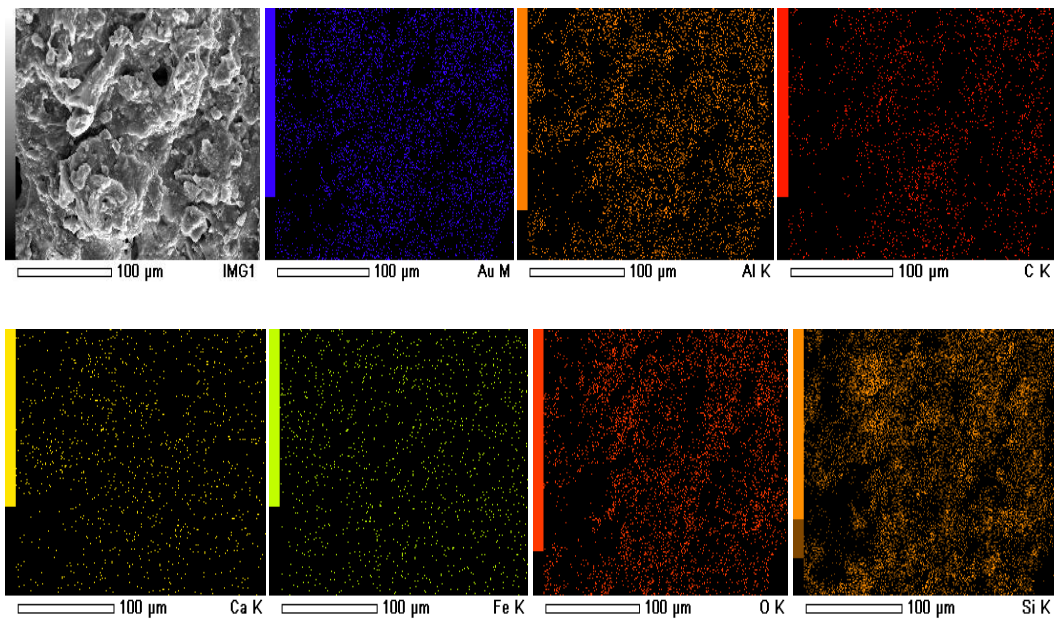
Gambar 4.2.c. EDS komposit membran SPEEK silika/clay 5%

Tabel 4.1.b. EDS komposit membran SPEEK silika/clay 5% (*Fitting Coefficient : 0,3050*)

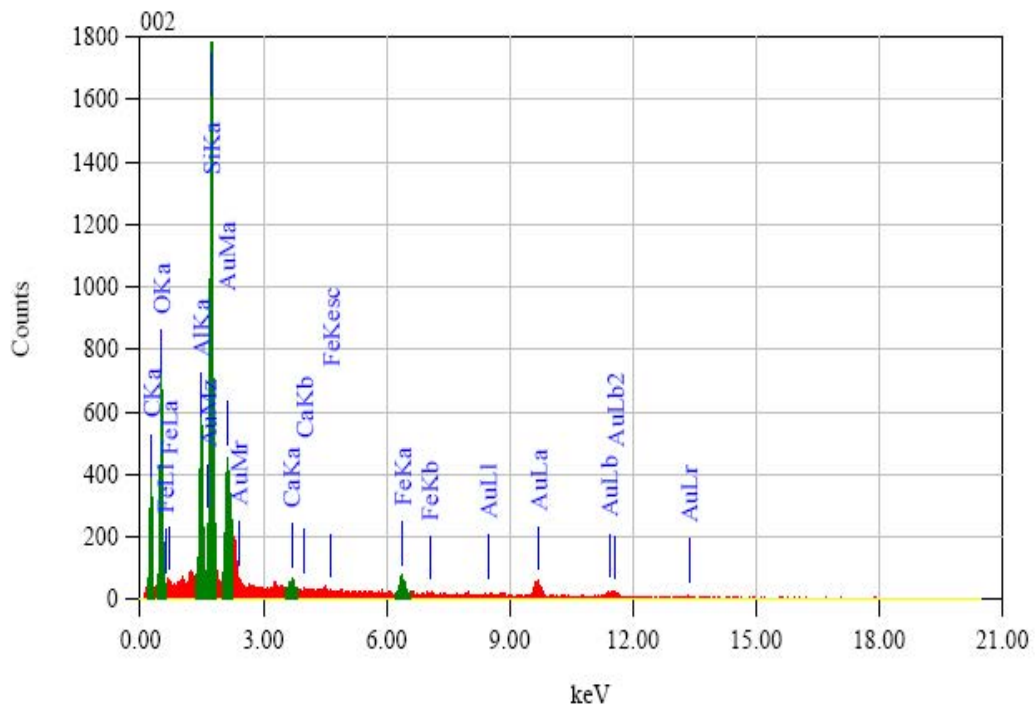
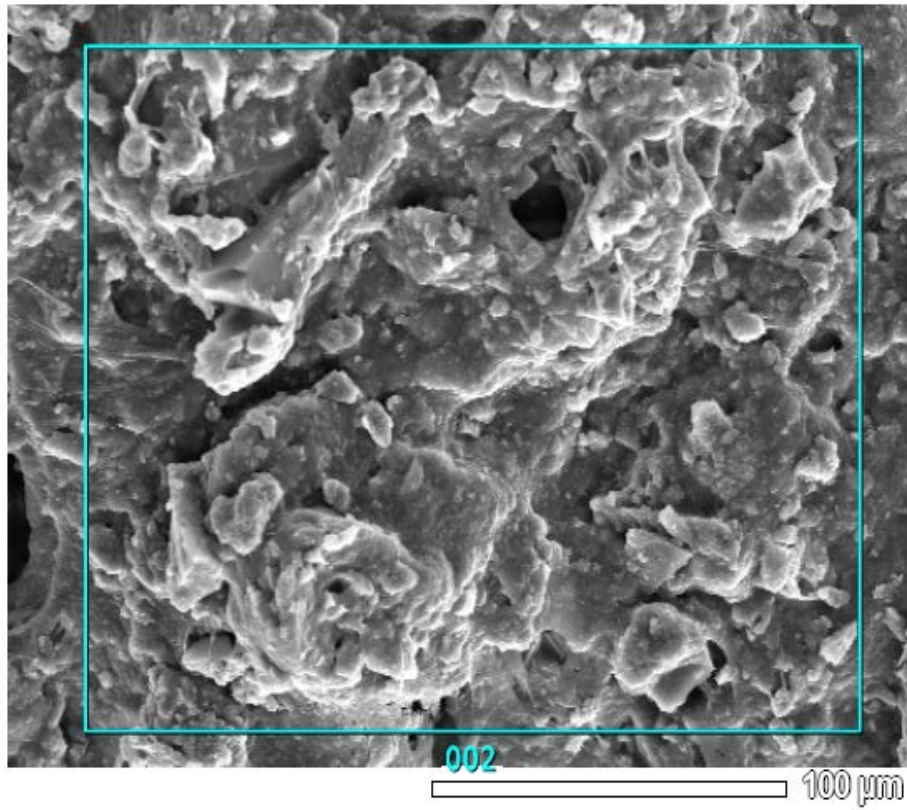
Unsur	keV	Massa (%)	Error (%)	Atom (%)	K
C K	0.277	54.12	0.11	64.18	36.9204
O K	0.525	34.76	0.46	30.95	33.4064
Mg K	1.253	0.74	0.13	0.43	1.1092
Si K*	1.739	0.18	0.11	0.09	0.3893
S K	2.307	8.07	0.09	3.59	22.4793
Ca K	3.690	2.12	0.17	0.76	5.6955
Au M					
Total		100.00		100.00	



Gambar 4.3.a. Morfologi komposit membran SPEEK silika/clay 97%



Gambar 4.3.b. *Mapping* komposit membran SPEEK silika/clay 97%



Gambar 4.3.c. EDS komposit membran SPEEK silika/clay 97%

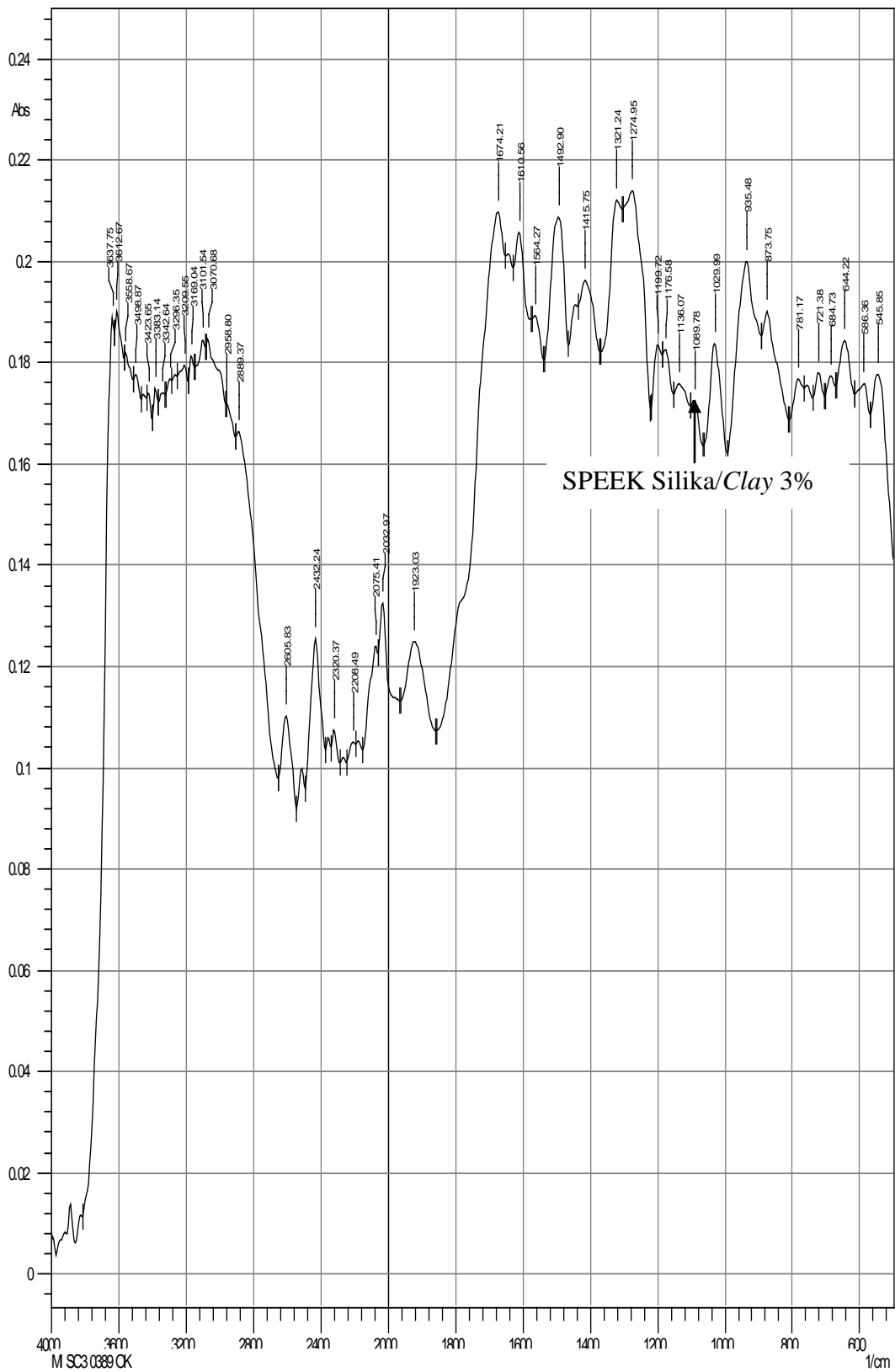
Tabel 4.1.c. EDS komposit membran SPEEK silika/*clay* 97% (*Fitting Coefficient* : 0,3041)

Unsur	keV	Massa (%)	Error (%)	Atom (%)	K
C K	0.277	28.39	0.13	43.97	9.1736
O K	0.525	33.94	0.24	39.47	35.6373
Al K	1.486	5.07	0.09	3.50	7.0478
Si K	1.739	16.23	0.09	10.75	25.1210
Ca K	3.690	0.54	0.13	0.25	1.0423
Fe K	6.398	2.34	0.28	0.78	4.1192
Au M	2.121	13.50	0.36	1.27	17.8587
Total		100.00		100.00	

Gambar 4.1.a dan 4.2.a menunjukkan bahwa komposit membran SPEEK silika/*clay* 3% dan 5% memiliki morfologi permukaan membran yang rapat dan asimetris. Sedangkan untuk komposit membran SPEEK silika/*clay* 97% seperti dalam Gambar 4.3.a terlihat morfologi permukaan membran berpori dan asimetris, karena komposisi silika/*clay* telah bercampur ke dalam SPEEK akibatnya membran sangat rapuh dan mudah patah. Gambar 4.1.(b,c) sampai Gambar 4.3.(b,c) dan Tabel 4.1.(a,b,c) menunjukkan komponen unsur – unsur penyusun membran, termasuk impuritas yang terdapat pada komposit membran SPEEK silika/*clay* yang berasal dari *clay* yaitu Mg, Ca, Cu, Zn dan Fe serta unsur pelapis pada membran yaitu Au yang digunakan pada saat *coating* sampel untuk analisa karakterisasi. Dari hasil SEM ini dapat diketahui tentang daya serap membran terhadap air dan metanol yang berhubungan dengan swelling air dan swelling metanol, konduktifitas proton dan permeabilitas metanol.

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Hasil karakterisasi FTIR komposit membran SPEEK silika/*clay* 3%, 5% dan 97% dapat dilihat pada Gambar 4.4.(a,b,c) dan Tabel 4.2.(a,b,c).



Gambar 4.4.a. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/clay 3%

Tabel 4.2.a. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/clay 3%

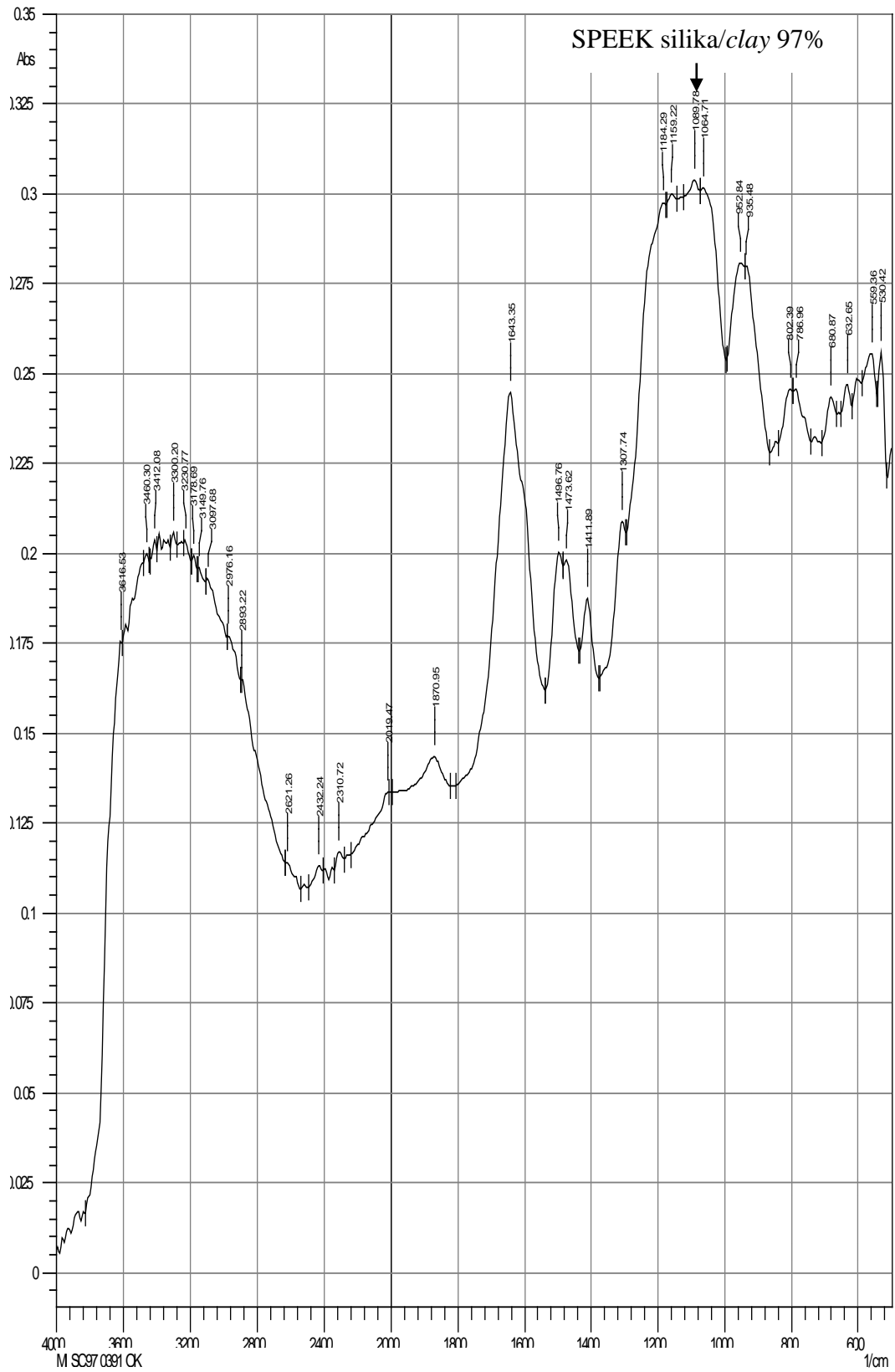
No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Intensity
1	545.85	0.178
2	586.36	0.176
3	644.22	0.184
4	684.73	0.177
5	721.38	0.178
6	781.17	0.177
7	873.75	0.19
8	935.48	0.2
9	1029.99	0.184
10	1089.78	0.173
11	1136.07	0.176
12	1176.58	0.182
13	1199.72	0.184
14	1274.95	0.214
15	1321.24	0.212
16	1415.75	0.196
17	1492.90	0.209
18	1564.27	0.189
19	1610.56	0.206
20	1674.21	0.210
21	1923.03	0.125
22	2032.97	0.132
23	2075.41	0.124
24	2208.49	0.105
25	2320.37	0.107
26	2432.24	0.125
27	2605.83	0.110
28	2889.37	0.166
29	2958.80	0.172
30	3070.68	0.185
31	3101.54	0.185
32	3169.04	0.181
33	3209.55	0.179
34	3296.35	0.177
35	3342.64	0.174
36	3383.14	0.175
37	3423.65	0.174
38	3498.87	0.178
39	3558.67	0.182
40	3612.67	0.190
41	3637.75	0.189



Gambar 4.4.b. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/clay 5%

Tabel 4.2.b. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/clay 5%

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Intensity
1	574.79	0.175
2	646.15	0.177
3	684.73	0.177
4	721.38	0.175
5	785.03	0.174
6	879.54	0.191
7	939.33	0.197
8	1035.77	0.177
9	1089.78	0.16
10	1178.51	0.156
11	1197.79	0.159
12	1274.95	0.213
13	1325.1	0.211
14	1421.54	0.186
15	1489.05	0.203
16	1510.26	0.205
17	1612.49	0.194
18	1674.21	0.205
19	1730.15	0.196
20	1905.67	0.174
21	2042.62	0.169
22	2312.65	0.157
23	2430.31	0.157
24	2511.32	0.149
25	2601.97	0.148
26	2779.42	0.143
27	2835.36	0.14
28	2949.16	0.132
29	2989.66	0.133
30	3066.82	0.127
31	3211.48	0.116
32	3292.49	0.109
33	3350.35	0.103
34	3479.58	0.1
35	3585.67	0.109
36	3655.11	0.107



Gambar 4.4.c. Grafik Spektrum FTIR komposit membran SPEEK silika/clay 97%

Tabel 4.2.c. Bilangan gelombang dan intensitas komposit membran SPEEK silika/clay 97%

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Intensity
1	530.42	0.256
2	559.36	0.256
3	632.65	0.247
4	680.87	0.244
5	786.96	0.246
6	802.39	0.246
7	935.48	0.28
8	952.84	0.281
9	1064.71	0.302
10	1089.78	0.304
11	1159.22	0.300
12	1184.29	0.298
13	1307.74	0.209
14	1411.89	0.188
15	1473.62	0.198
16	1496.76	0.200
17	1643.35	0.245
18	1870.95	0.143
19	2019.47	0.134
20	2310.72	0.117
21	2432.24	0.113
22	2621.26	0.114
23	2893.22	0.165
24	2976.16	0.177
25	3097.68	0.193
26	3149.76	0.196
27	3178.69	0.199
28	3230.77	0.204
29	3300.20	0.206
30	3412.08	0.204
31	3460.30	0.200
32	3616.53	0.176

Berdasarkan Gambar 4.4.a dan Tabel 4.2.a menunjukkan bahwa puncak bilangan gelombang komposit membran SPEEK silika/clay 3% adalah 1089,78 cm⁻¹ berada pada urutan ke-10 dengan intensitas 0,173. Gambar 4.4.b dan Tabel 4.2.b puncak bilangan gelombang komposit membran SPEEK silika/clay 5% adalah 1089,78 cm⁻¹ berada pada urutan ke-9 dengan intensitas 0,16. Gambar

4.4.c dan Tabel 4.2.c puncak bilangan gelombang komposit membran SPEEK silika/clay 97% adalah 1089,78 cm^{-1} berada pada urutan ke-10 dengan intensitas yaitu 0,304. Dari data literatur puncak bilangan gelombang SPEEK adalah 1222,7 cm^{-1} , 1081 cm^{-1} dan 1024 cm^{-1} dengan absorbansi 0,0566, 0,0164 dan 0,0259 (Norddin dkk., 2008). Penambahan silika/clay ke dalam SPEEK maka puncak bilangan gelombang berada pada 1089,78 cm^{-1} . Dari hasil analisa FTIR ini menunjukkan bahwa silika/clay telah masuk dalam komposit membran sebagaimana terdapat dalam SEM. Dengan adanya FTIR ini dapat diketahui tentang daya serap membran terhadap air dan metanol yang berkaitan dengan swelling air dan swelling metanol, konduktifitas proton dan permeabilitas metanol.

Swelling Air dan Swelling Metanol

Swelling air dan swelling metanol SPEEK dan modifikasi SPEEK dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

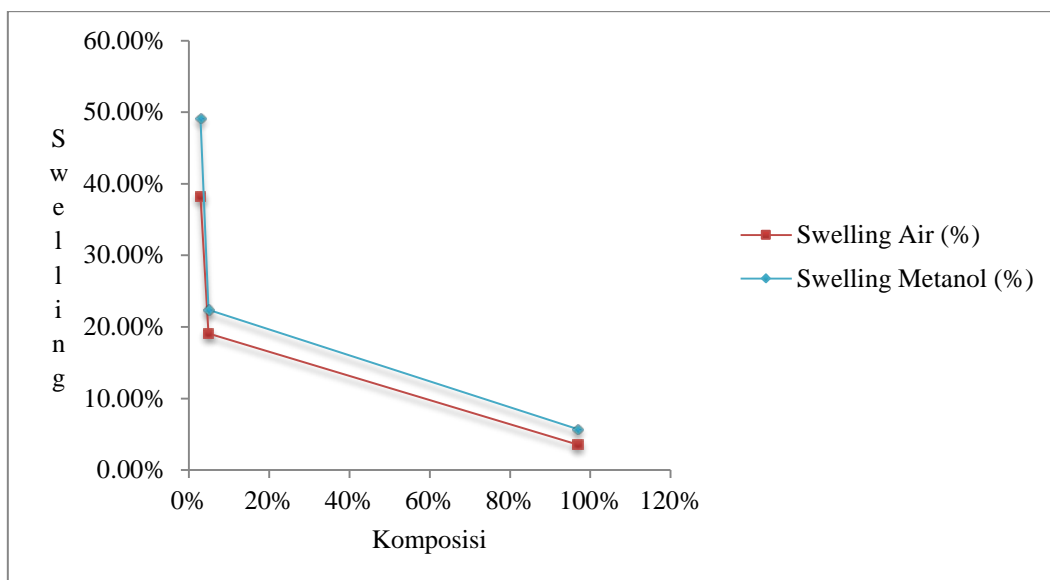
Tabel 4.3. Swelling air dan swelling metanol SPEEK dan modifikasi SPEEK

No	Sampel Membran (Silika/Clay)	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Swelling Air (%)	Swelling Metanol (%)
1	0%*			12	14,3
2	3%	0,0327 0,0778	0,0452 0,1160	38,23	49,10
3	5%	0,0152 0,0537	0,0181 0,0657	19,08	22,35
4	97%	0,0625 0,0440	0,0647 0,0465	3,52	5,68

* Hartanto dkk., 2007

Swelling air dimaksudkan sebagai seberapa besar membran dapat menyerap air, karena air pada membran berfungsi sebagai media transport proton H^+ yang erat kaitannya dengan konduktifitas proton. Sedangkan swelling metanol adalah sebagai daya serap membran terhadap metanol yang berkaitan dengan permeabilitas metanol. Permeabilitas metanol berhubungan dengan *methanol*

cross-over dalam aplikasi *direct methanol fuel cell* (DMFC). *Methanol cross-over* menyebabkan hilangnya sebagian kecil bahan bakar yang digunakan dan menyebabkan laju reaksi di katoda menjadi lambat sehingga akan menurunkan kinerja voltase sel secara keseluruhan. Ketika membran SPEEK dimodifikasi dengan penambahan additif silika/*clay* pada komposisi 3% terjadi kenaikan rasio swelling tetapi jika lebih besar dari 3% terjadi penurunan rasio swelling seperti terdapat dalam Tabel 4.3. Terjadinya penurunan rasio swelling dengan penambahan additif silika/*clay* lebih dari 3% disebabkan karena silika/*clay* telah menyerap air ataupun metanol sehingga hanya sebagian kecil saja air atau metanol yang berdifusi melalui membran seperti terdapat pada hasil SEM Gambar 4.1. (a,b,c) sampai Gambar 4.3.(a,b,c) dan Tabel 4.1.(a,b,c) serta hasil FTIR seperti terdapat dalam Gambar 4.4.(a,b,c) dan Tabel 4.2.(a,b,c). Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dibuat grafik pengaruh komposisi silika/*clay* membran modifikasi SPEEK terhadap swelling air dan swelling metanol sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik pengaruh komposisi silika/*clay* membran modifikasi SPEEK terhadap swelling air dan swelling metanol

Swelling air dan swelling metanol Nafion murni adalah 25,6% dan 25,9% dan ketika Nafion dimodifikasi dengan aditif PWA/Silika sebagai bahan pengisi pada komposisi tertentu maka terjadi peningkatan untuk swelling air dan swelling metanol tetapi pada komposisi 10% untuk swelling metanol menjadi turun seperti terdapat dalam Tabel 4.4 (Shang dkk., 2009). Menurut Shang dkk bahwa PWA/silika cenderung berasosiasi dengan molekul air, sehingga molekul – molekul air cenderung untuk mengambil ruang lebih banyak maka terjadi peningkatan swelling air. Sedangkan swelling metanol pada komposisi PWA/silika 0 – 7,5% berat terjadi peningkatan rasio swelling tetapi jika lebih dari 7,5% terjadi penurunan swelling metanol, karena terbentuk *crosslinked* struktur jaringan.

Tabel 4.4. Swelling air dan swelling metanol Nafion dan modifikasi Nafion (Shang dkk., 2009)

No	Additif (%)	Swelling Air (%)	Swelling Metanol (%)
1	0	25,6	25,9
2	1	37,1	33,8
3	2,5	48,6	40,9
4	5	55,2	53,9
5	7,5	57,7	55,0
6	10	60,1	52,1

Dari Tabel 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa swelling air dan swelling metanol SPEEK dan modifikasi SPEEK lebih kecil dari Nafion dan Nafion modifikasi.

Konduktifitas Proton

Konduktifitas proton membran Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK dapat dilihat dalam Tabel 4.5.

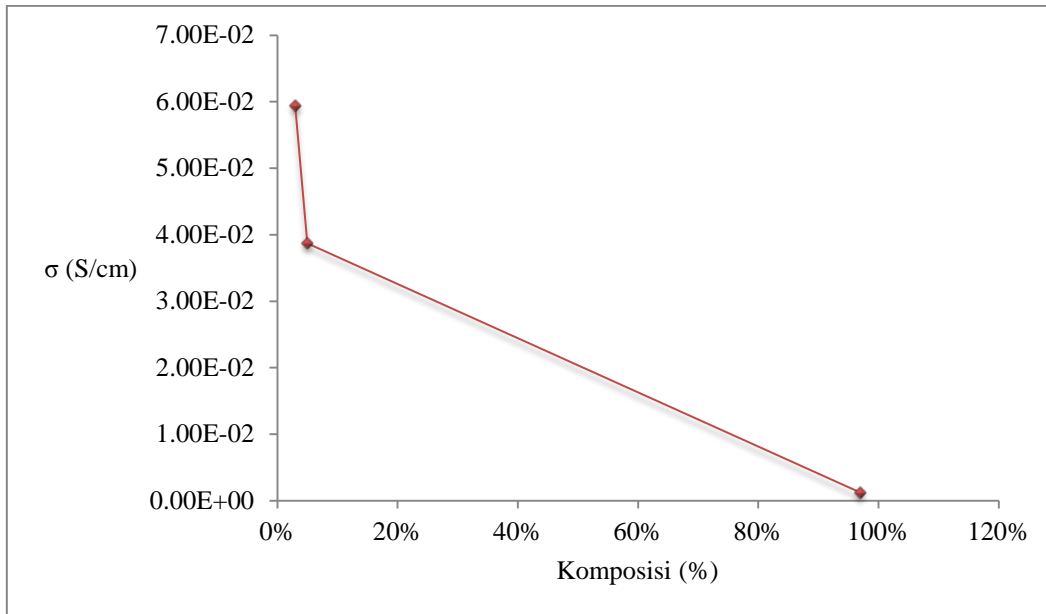
Tabel 4.5. Konduktifitas proton membran Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK.

No	Membran	Komposisi silika/ <i>clay</i> (%)	Konduktifitas Proton σ (S/cm)
1	Nafion*		8,2E-02
2	SPEEK*	0	2,0E-02
3	SPEEK	3	5,94E-02
4	SPEEK	5	3,87E-02
5	SPEEK	97	1,22E-03

* Handayani dan Dewi, 2009

Dari Tabel 4.5. terlihat bahwa penambahan campuran silika/*clay* 3% akan menaikkan konduktifitas proton karena silika/*clay* dapat menyerap air sebagai media transport proton H^+ pada sulfonat tetapi jika lebih dari 3% maka terjadi penurunan konduktifitas proton. Hal ini terjadi karena silika/*clay* telah menyerap air sehingga hanya sebagian kecil saja air yang berdifusi melalui membran, yang dapat dijelaskan dengan persamaan turunan Maxwell (Li dkk., 2005, Roelofs, 2010) : $\varepsilon = 2 + \gamma - 2\phi (1 - \gamma) / 2 + \gamma + \phi (1 - \gamma)$ (4.1)

Dimana ε adalah difusi efektif H^+ dalam komposit membran berbanding difusi efektif H^+ dalam SPEEK, γ adalah difusi efektif H^+ terhadap silika/*clay* dalam SPEEK dan ϕ adalah prosentase campuran komposit membran sehingga jika prosentase campuran komposit membran yaitu silika/*clay* semakin banyak maka ε semakin kecil sehingga konduktifitas protonpun menjadi turun. Namun demikian membran ini masih dapat digunakan untuk operasi sel bahan bakar karena mempunyai hantaran ionik/proton lebih besar dari 1×10^{-5} S/cm (Smitha dkk., 2006 dalam Zulfikar dkk., 2009). Grafik pengaruh komposisi silika/*clay* membran modifikasi SPEEK terhadap konduktifitas proton dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik pengaruh komposisi silika/*clay* membran modifikasi SPEEK terhadap konduktifitas proton

Permeabilitas Metanol

Tabel 4.6 menunjukkan permeabilitas metanol Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK.

Tabel 4.6. Permeabilitas metanol Nafion, SPEEK dan modifikasi SPEEK

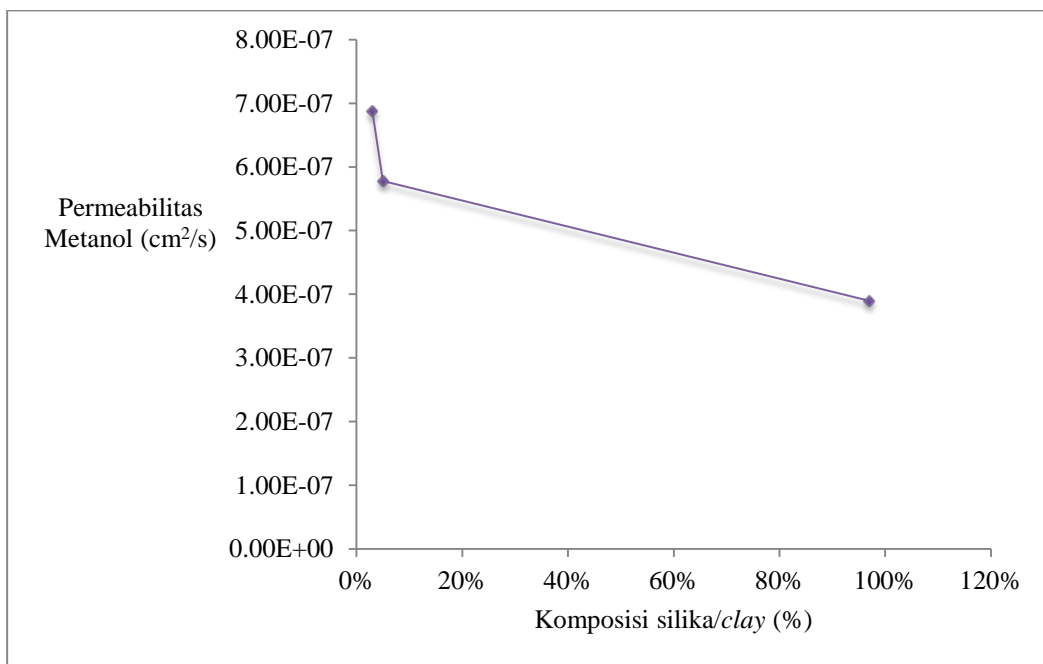
No	Membran	Komposisi Silika/ <i>Clay</i> (%)	Permeabilitas Metanol (cm ² /s)
1	Nafion*		2,86E-06
2	SPEEK**		1,9E-06
3	SPEEK	3	6,88E-07
4	SPEEK	5	5,78E-07
5	SPEEK	97	3,90E-07

* Handayani dkk., 2007

** Handayani dan Dewi, 2007

Permeabilitas metanol merupakan suatu proses pengukuran mekanisme perpindahan larutan metanol dan air melalui suatu membran. Permeabilitas metanol berhubungan dengan *methanol crossover* dalam aplikasi *direct methanol fuel cell* (DMFC). *Methanol cross-over* menyebabkan menurunnya kinerja voltase

sel secara keseluruhan. Penambahan silika/*clay* lebih dari 3% sebagai material komposit membran SPEEK menyebabkan terjadi penurunan permeabilitas metanol. Penurunan permeabilitas methanol ini karena silika/*clay* telah menyerap metanol sehingga hanya sebagian kecil saja metanol berdifusi melalui membran. Dari Tabel 4.6 ini terlihat bahwa komposit membran SPEEK silika/*clay* memiliki permeabilitas metanol yang lebih kecil dari membran SPEEK murni dan membran Nafion. Dari hasil penelitian komposit membran SPEEK silika/*clay* terhadap permeabilitas metanol dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik pengaruh komposisi silika/*clay* membran modifikasi SPEEK terhadap permeabilitas metanol

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pembuatan komposit membran PEEK silika/*clay* telah dilakukan dengan menggunakan metode inversi fasa. Hasil karakterisasi membran SPEEK silika/*clay* dengan SEM menunjukkan bahwa pada komposisi 3% dan 5% terbentuk morfologi komposit membran asimetris dan rapat. Tetapi pada komposisi yang lebih besar yaitu 97% terbentuk komposit membran yang asimetris dan berpori. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan komposisi silika/*clay* 3%, 5% dan 97% berada pada bilangan gelombang $1089,78\text{ cm}^{-1}$. Swelling air dan swelling metanol menurun seiring dengan bertambahnya komposisi silika/*clay*. Sedangkan konduktifitas proton dan permeabilitas metanol menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi silika/*clay* maka terjadi penurunan konduktifitas proton dan permeabilitas metanol.

5.2 Saran

Penelitian ini masih perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk skala laboratorium yaitu :

- untuk berbagai bahan dan komposisi additif yang berbeda
- pencetakan yang lebih efektif dan efisien
- permeabilitas metanol manual dengan metode lain

BAB VI

RINGKASAN

Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin hari semakin menipis dan berkurangnya suplai minyak mentah dunia menimbulkan perhatian yang mendalam untuk mencari sumber – sumber energi alternatif yang lebih bersih, lebih hijau dan ramah terhadap lingkungan. Diantara sumber – sumber energi alternatif yang lebih populer selama dua dekade terakhir yang memiliki efisiensi tinggi, portable, dioperasikan pada temperatur yang relatif rendah adalah *direct methanol fuel cell* (DMFC). Komponen utama dari jenis *direct methanol fuel cell* adalah membran. Membran berfungsi sebagai sarana transportasi ion hidrogen (H^+) yang dihasilkan dari reaksi oksidasi di anoda, dan juga sebagai pembatas antara kedua elektroda tersebut. Saat ini membran yang banyak digunakan adalah membran elektrolit komersial Nafion. Pemakaian Nafion untuk aplikasi PEMFC sudah sangat baik, tetapi jika diaplikasikan pada DMFC akan mengalami penurunan kinerja *fuel cell* (FC) karena terjadinya *methanol cross-over*. Ada dua pendekatan yang digunakan untuk membran dalam sistem *direct methanol fuel cell* yaitu modifikasi struktur membran konvensional yaitu membran Nafion serta pengembangan membran elektrolit alternatif dengan modifikasi. Bab I dan bab II secara rinci membahas tentang permasalahan membran dalam sistem *direct methanol fuel cell* (DMFC), solusi pemecahan dari permasalahan ini yang didukung oleh landasan teori yang akurat dan akuntabel

Secara rinci solusi permasalahan ini lebih lanjut dijelaskan dalam bab III tentang metodologi penelitian. Di dalam metodologi penelitian ini dijelaskan tentang pengembangan membran elektrolit dengan modifikasi yaitu memodifikasi membran PEEK dengan menggunakan bahan aditif/bahan pengisi yaitu silika/*clay* dengan menggunakan empat tahap penelitian. Bab III ini juga mencakup tentang bahan dan alat yang digunakan pada saat pembuatan dan karakterisasi komposit membran PEEK silika/*clay* untuk aplikasi *direct methanol fuel cell* (DMFC).

Hasil penelitian dari pembuatan dan karakterisasi komposit membran PEEK silika/*clay* dibahas secara rinci dalam bab IV. Dalam bab IV ini memuat tentang pengaruh komposisi bahan pengisi terhadap komposit membran PEEK silika/*clay* yang dilakukan dengan cara karakterisasi membran dalam sistem *direct methanol fuel cell* (DMFC).

Bab V memuat tentang kesimpulan dan saran dari pembuatan dan karakterisasi komposit membran PEEK silika/*clay* untuk aplikasi *direct methanol fuel cell* (DMFC).

DAFTAR PUSTAKA

Akhadi M, 2009, Ekologi Energi Mengenali Dampak Lingkungan dalam Pemanfaatan Sumber – sumber Energi, Penerbit Graha Ilmu Yogyakarta.

Arico A.S, Baglio V dan Antonucci V diedit oleh Liu H dan Zhang J, 2009, *Direct Methanol Fuel Cells : History, Status and Perspectives* dalam *Electrocatalysis of Direct Methanol Fuel Cells*, Willey-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Budiyanto W.G, Sugihartono, Sulistya R, Prasudi F dan Yanto T.E, 2008, Kriya Keramik untuk Sekolah Menengah Kejuruan Jilid 1, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar & Menengah Departemen Pendidikan Nasional.

Davis dan Masser dalam Supeno M, 2007, Bentonit Alam Terpilar Sebagai Material Katalis Co-Katalis Pembuatan Gas Hidrogen Dan Oksigen Dari Air, Disertasi S3 Ilmu Kimia Universitas Sumatera Utara Medan.

Dewi E.L dan Handayani S, 2007, Karakterisasi Komposit Hidrokarbon Polimer Tersulfonasi (sABS-Z) sebagai Alternatif Polielektrolit untuk *Fuel Cell*, Jurnal Sains Materi Indonesia.

Handayani S, Purwanto W.W, Dewi E.L dan Soemanto R.W, 2007, Sintesis dan Karakterisasi Membran Elektrolit Polieter – Eter Keton Tersulfonasi, Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol.8, No.2, ISSN : 1411 – 1098.

Handayani S dan Dewi E.L, 2009, Blending Akrilonitril Butadien Stiren dengan Polietereketon Tersulfonasi untuk Sel Bahan Bakar Metanol Langsung, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI, ISBN 978-979-98300-1-2.

Haolin T, Mu P, Shichun M dan Runzhang Y, 2005, *Electrostatic Self-Assembly Pd Particles on NafionTM Membrane Surface to Reduce Methanol Crossover*, Chinese Science Bulletin, Vol. 50 No. 4 hal 377 – 379.

Hartanto S, Handayani S, Marlina L dan Latifah, 2007, Pengaruh Silika pada Membran Elektrolit berbasis PEEK, Jurnal Sains Materi Indonesia.

<http://axzx.blogspot.com/2008/12/proses-pembentukan-tanah-liat>, diunduh tanggal 20 Desember 2010.

<http://www.daejoo.co.kr>, diunduh tanggal 30 Juli 2011

<http://www.fctec.com>, diunduh tanggal 15 September 2010.

<http://www.google.com>, diunduh tanggal 15 September 2010.

<http://www.mticrofuelcells.com>, diunduh tanggal 30 Juli 2011.

<http://www.studiokeramik.org/11/tanahliat-primer-dan-sekunder>, diunduh tanggal 15 September 2010.

<http://en.wikipedia.org/wiki/DMFC>, diunduh tanggal 15 September 2010.

<http://en.wikipedia.org/wiki/PEEK>, diunduh tanggal 15 September 2010.

http://id.wikipedia.org/wiki/Gel_silika, diunduh tanggal 8 Oktober 2011.

Kuswara T.D, 2011, Preparation Of Mixed Matrix Membrane For Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) : A Preliminary Study, tidak diterbitkan.

Ladelta V, 2007, *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) : Baterai Laptop Tanpa Charger*, <http://www.chem-is-try.org>, diunduh tanggal 1 Oktober 2011.

Legowo E.H, 2007, Pengembangan Bioenergi di Indonesia, dalam Hambali E, Mujdalipah S, Tambunan A.H, Pattiwiri A.W dan Hendroko R, 2008, Teknologi Bioenergi, Cetakan III Penerbit Agromedia Pustaka Jakarta.

Li C, Sun G, Ren S, Liu J, Wang Q, Wu Z, Sun H dan Jin W, 2005, *Casting Nafion – Sulfonated Organosilica Nano-Composite Membranes Used In Direct Methanol Fuel Cells*, Elsevier B.V. All rights reserved.

Liu Q, Zhousong L, Zhang Z dan Liu X, 2010, *Preparation and Characterization of the PVDF – Based Composite Membrane for Direct Methanol Fuel Cell*, International Journal Energy and Environment.

Lopes A, Howes R.E dan Shepherd C, 2006, Composite Membrane.

Lue S.J, Shih T.S dan Wei T.C, 2006, *Plasma Modification on a Nafion Membrane for Direct Methanol Fuel Cell Applications*, Korean J. Chem. Eng. 23(3) 441-446.

Lynn M. Savage, <http://www.Photonics.com>, diunduh tanggal 30 Juli 2011

Markun dan Sulistiyani A, 2008, *CFC Cool and Fun With Chemistry Cara Jitu Jadi Kimiawan Muslim*, Penerbit Yayasan Nuansa Cendekia Bandung.

Mat N.C dan Liong A, 2009, *Chitosan – Poly(Vinyl Alcohol) and Calcium Oxide Composite Membrane for Direct Methanol Fuel Cell Applications*, Engineering Letters, Advance Online Publication.

Mulder M, 1996, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers Netherlands.

Norddin M.N.A.M, Ismail A.F, Matsuura T dan Rana D, 2008, *Charged Surface Modifying Macromolecules In Polymer Electrolyte Membrane*, Jurnal Teknologi 49(F) Dis.91-102, Universiti Teknologi Malaysia.

Nuh A.S, 2006, Sulfonasi Polyetheretherketone (PEEK) untuk Membran Elektrolit, Skripsi Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia Serpong.

Roelofs K.S, 2010, *Sulfonated Poly(Ether Ether Ketone) Based Membranes For Direct Ethanol Fuel Cells*, Disertasi S3 Fakultas Energi dan Bioteknik, Stuttgart Universitat.

Schwartz, Kruschwitz dan rekan, Rusato dan Matitia D, Agarwal dan Broutman dalam Ginting M.H.S, 2002, Pengendalian Bahan Komposit, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara Medan.

Shang F, Li L, Zhang Y dan Li H, 2009, *PWA/Silica/PFSA Composite Membrane for Direct Methanol Fuel Cells*, J.Mater Sci. 44:4383-4388.

Smitha dkk, 2006 dalam Zulfikar M. Ali, Wahyuningrum D dan Berghuis N.T, 2009, Pengaruh Konsentrasi Kitosan terhadap Sifat Membran Komposit Kitosan-Silika untuk Sel Bahan Bakar, Prosiding Seminar Kimia Bersama UKM-ITB VIII Bandung.

Soebardi H.A, 1997, Penggunaan Membran Komposit untuk Proses Osmosa Balik Limbah Zat Warna Dispersi, Abstrak Thesis S2 Material Science and Engineering ITB Bandung.

Stevens M.P dan Sopyan I, 2001, Kimia Polimer, Penerbit Pradnya Paramita Jakarta.

Strathmann H, edited by Mark C.P, 1990, *Handbook of Industrial Membrane Technology*, by Noyes Publications Mill Road Park Ridge, New Jersey USA.

Suhada A, 2001, *Fuel Cell sebagai Penghasil Energi Abad 21*, Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Surabaya.

Vaivars G, Maxakato N.W, Mokrani T, Petrik L, Klavins J, Gericke G dan Linkov V, 2004, *Zirconium Phosphate Based Inorganic Direct Methanol Fuel Cell*, Journal Material Science (Medziagotyra).

Winston dan Kirkar (1992), Ismail A.F (1997) dalam Kusworo T.D, 2009, Bahan Kuliah Teknologi Membran, Magister Teknik Kimia Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Yang C.C, Lin C.T dan Chiu S.J, 2007, *Preparation of the PVA/HAP Composite Polymer Membrane for Alkaline Direct Methanol Fuel Cell Applications*, Journal Elsevier.

Zulfikar M. Ali, Wahyuningrum D dan Berghuis N.T, 2009, Pengaruh Konsentrasi Kitosan terhadap Sifat Membran Komposit Kitosan-Silika untuk Sel Bahan Bakar, Prosiding Seminar Kimia Bersama UKM-ITB VIII Bandung.

-----, 2011, Rangkaian Alat Proses Sulfonasi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong.

Lampiran I. Perhitungan Reagen Kimia

Penggunaan silika dan *clay*

Silika/*clay* 3% dan 5% dari berat sPEEK

- Berat silika/*clay* = 3% x 7 gram = 0,21 gram
Berat silika = 0,105 gram dan berat *clay* = 0,105 gram
- Berat silika/*clay* = 5% x 7 gram = 0,35 gram
Berat silika = 0,175 gram dan *clay* = 0,175 gram
- Berat silika/*clay* = 97% x 3 gram = 2,91 gram
Berat silika = 1,455 gram dan *clay* = 1,455 gram

Pembuatan metanol

- Membuat metanol 2M, 1M, 0,5M, 0,1M
M metanol dari botol = 32,04
Vol metanol yang diperlukan = Vol yang akan dibuat x M yang akan dibuat / M dari botol
Vol = 250 x 2 / 32,04 = 7,8 ml, sehingga volume aquadest adalah 242,2 ml. Dan seterusnya pembuatan metanol dilakukan dengan cara pengenceran.

Lampiran II. Perhitungan Swelling Air dan Swelling Metanol

Swelling Air

No	Sampel Membran (campuran silika/clay)	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Swelling Air = (berat basah-berat kering)/berat kering x 100%
1	3%	0,0327	0,0452	38,23 %
2	5%	0,0152	0,0181	19,08 %
3	97%	0,0625	0,0647	3,52 %

Swelling Metanol

No	Sampel Membran (campuran silika/clay)	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Swelling metanol = (berat basah-berat kering)/berat kering x 100%
1	3%	0,0778	0,116	49,10 %
2	5%	0,0537	0,0657	22,35 %
3	97%	0,0440	0,0465	5,68 %

Lampiran III. Pengukuran Konduktifitas Proton dengan LCR Meter

Hasil Pengukuran Konduktifitas Proton dengan menggunakan LCR Meter, Current Voltage (CV) 0,05 V, pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali kemudian hasil yang didapat adalah nilai rata – rata.

No	Komposisi (%)	Konduktifitas Proton σ (S/cm)
1	3%	6,11E-02 5,90E-02 5,82E-02 5,94E-02
2	5%	3,91E-02 3,86E-02 3,83E-02 3,87E-02
3	97%	1,33E-03 1,19E-03 1,14E-03 1,22E-03

Komposisi Silika/Clay 3%

Pengukuran konduktifitas proton pertama dengan CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	1,35E+03	7,39E-04	-9,75E+01	5,60E+00
2	11090	1,27E+03	7,85E-04	-3,25E+01	5,93E+00
3	21180	1,27E+03	7,90E-04	-2,36E+01	5,97E+00
4	31270	1,26E+03	7,93E-04	-2,42E+01	5,99E+00
5	41360	1,26E+03	7,94E-04	-1,71E+01	6,00E+00
6	51450	1,26E+03	7,94E-04	-1,55E+01	6,00E+00
7	61550	1,26E+03	7,96E-04	-1,40E+01	6,01E+00
8	71640	1,26E+03	7,96E-04	-1,69E+01	6,02E+00
9	81730	1,26E+03	7,97E-04	-1,26E+01	6,02E+00
10	91820	1,25E+03	7,97E-04	-1,23E+01	6,02E+00
11	101900	1,28E+03	7,78E-04	-4,68E+00	5,88E+00
12	112000	1,25E+03	8,01E-04	-2,04E+01	6,06E+00
13	122100	1,25E+03	8,00E-04	-2,47E+01	6,05E+00
14	132200	1,25E+03	7,98E-04	-2,90E+01	6,04E+00
15	142300	1,25E+03	7,97E-04	-4,91E+00	6,03E+00
16	152400	1,25E+03	8,01E-04	-1,97E+01	6,06E+00
17	162500	1,25E+03	7,98E-04	-2,02E+01	6,03E+00
18	172500	1,25E+03	7,98E-04	-3,97E+00	6,03E+00
19	182600	1,27E+03	7,90E-04	-2,18E+01	5,97E+00
20	192700	1,26E+03	7,96E-04	-6,57E+00	6,02E+00
21	202800	1,24E+03	8,08E-04	-2,98E+01	6,11E+00
22	212900	1,24E+03	8,04E-04	-7,00E+00	6,08E+00
23	223000	1,24E+03	8,05E-04	-2,11E+01	6,08E+00
24	233100	1,26E+03	7,94E-04	-1,39E+01	6,00E+00
25	243200	1,26E+03	7,96E-04	-1,16E+01	6,02E+00
26	253300	1,24E+03	8,05E-04	-4,92E+00	6,08E+00
27	263400	1,25E+03	8,02E-04	-1,05E+01	6,06E+00
28	273500	1,25E+03	8,01E-04	-2,35E+01	6,06E+00
29	283500	1,25E+03	8,00E-04	-1,53E+01	6,05E+00
30	293600	1,25E+03	7,99E-04	-1,28E+01	6,04E+00
31	303700	1,25E+03	7,99E-04	-1,40E+01	6,04E+00
32	313800	1,24E+03	8,05E-04	-1,07E+01	6,08E+00
33	323900	1,25E+03	8,00E-04	-8,80E+00	6,05E+00
34	334000	1,24E+03	8,09E-04	-1,84E+01	6,12E+00
35	344100	1,25E+03	7,98E-04	-1,77E+01	6,03E+00
36	354200	1,25E+03	8,02E-04	-1,19E+01	6,06E+00
37	364300	1,25E+03	8,02E-04	-9,28E+00	6,06E+00
38	374400	1,24E+03	8,05E-04	-5,83E+00	6,08E+00
39	384500	1,25E+03	8,02E-04	-5,54E+00	6,06E+00
40	394500	1,24E+03	8,04E-04	-8,76E+00	6,07E+00

41	404600	1,24E+03	8,07E-04	-1,42E+01	6,10E+00
42	414700	1,25E+03	8,00E-04	-1,37E+01	6,05E+00
43	424800	1,25E+03	8,03E-04	-6,97E+00	6,07E+00
44	434900	1,24E+03	8,05E-04	-1,63E+01	6,09E+00
45	445000	1,25E+03	8,03E-04	-1,33E+00	6,07E+00
46	455100	1,24E+03	8,10E-04	-1,26E+01	6,12E+00
47	465200	1,24E+03	8,05E-04	-1,85E+01	6,09E+00
48	475300	1,24E+03	8,05E-04	-7,71E+00	6,09E+00
49	485400	1,24E+03	8,06E-04	-1,05E+01	6,09E+00
50	495500	1,25E+03	8,03E-04	-1,24E+01	6,07E+00
51	505500	1,24E+03	8,09E-04	-1,02E+01	6,12E+00
52	515600	1,24E+03	8,07E-04	-1,02E+01	6,10E+00
53	525700	1,24E+03	8,07E-04	-1,12E+01	6,10E+00
54	535800	1,24E+03	8,05E-04	-3,99E+00	6,09E+00
55	545900	1,23E+03	8,11E-04	-8,73E+00	6,13E+00
56	556000	1,24E+03	8,07E-04	-1,25E+01	6,10E+00
57	566100	1,24E+03	8,08E-04	-1,49E+01	6,11E+00
58	576200	1,23E+03	8,12E-04	-1,05E+01	6,14E+00
59	586300	1,23E+03	8,13E-04	-1,32E+01	6,14E+00
60	596400	1,23E+03	8,10E-04	-1,09E+01	6,12E+00
61	606500	1,23E+03	8,14E-04	-1,00E+01	6,15E+00
62	616500	1,23E+03	8,10E-04	-8,49E+00	6,12E+00
63	626600	1,23E+03	8,11E-04	-1,40E+01	6,13E+00
64	636700	1,23E+03	8,14E-04	-1,48E+01	6,16E+00
65	646800	1,23E+03	8,14E-04	-9,81E+00	6,15E+00
66	656900	1,24E+03	8,08E-04	-1,10E+01	6,10E+00
67	667000	1,22E+03	8,17E-04	-1,43E+01	6,18E+00
68	677100	1,23E+03	8,15E-04	-1,42E+01	6,16E+00
69	687200	1,23E+03	8,16E-04	-1,18E+01	6,17E+00
70	697300	1,23E+03	8,14E-04	-1,29E+01	6,15E+00
71	707400	1,22E+03	8,18E-04	-1,53E+01	6,18E+00
72	717500	1,22E+03	8,20E-04	-1,86E+01	6,20E+00
73	727500	1,23E+03	8,15E-04	-1,11E+01	6,16E+00
74	737600	1,22E+03	8,17E-04	-8,33E+00	6,18E+00
75	747700	1,23E+03	8,14E-04	-1,29E+01	6,15E+00
76	757800	1,22E+03	8,20E-04	-1,46E+01	6,20E+00
77	767900	1,22E+03	8,20E-04	-1,77E+00	6,19E+00
78	778000	1,22E+03	8,18E-04	-1,42E+01	6,18E+00
79	788100	1,22E+03	8,18E-04	-8,79E+00	6,18E+00
80	798200	1,22E+03	8,20E-04	-1,11E+01	6,20E+00
81	808300	1,22E+03	8,18E-04	-1,03E+01	6,18E+00
82	818400	1,21E+03	8,23E-04	-1,60E+01	6,22E+00
83	828500	1,22E+03	8,21E-04	-1,94E+01	6,21E+00
84	838500	1,22E+03	8,21E-04	-1,21E+01	6,20E+00

85	848600	1,22E+03	8,21E-04	-6,31E+00	6,20E+00
86	858700	1,21E+03	8,24E-04	-1,69E+01	6,23E+00
87	868800	1,21E+03	8,26E-04	-1,59E+01	6,24E+00
88	878900	1,21E+03	8,26E-04	-1,75E+01	6,25E+00
89	889000	1,21E+03	8,27E-04	-1,35E+01	6,25E+00
90	899100	1,21E+03	8,25E-04	-1,35E+01	6,23E+00
91	909200	1,21E+03	8,26E-04	-1,32E+01	6,24E+00
92	919300	1,21E+03	8,25E-04	-5,25E+00	6,23E+00
93	929400	1,22E+03	8,17E-04	-1,80E+01	6,17E+00
94	939500	1,21E+03	8,25E-04	-1,30E+01	6,24E+00
95	949500	1,21E+03	8,27E-04	-1,61E+01	6,25E+00
96	959600	1,21E+03	8,28E-04	-1,56E+01	6,26E+00
97	969700	1,20E+03	8,30E-04	-1,12E+01	6,27E+00
98	979800	1,20E+03	8,32E-04	-1,27E+01	6,29E+00
99	989900	1,20E+03	8,32E-04	-1,65E+01	6,29E+00
100	1000000	1,20E+03	8,33E-04	-1,64E+01	6,30E+00
					6,11E+00
					6,11E-02 S/cm

Pengukuran konduktifitas proton kedua dengan CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	1,39E+03	7,15E-04	-9,68E+01	5,42E+00
2	11090	1,32E+03	7,56E-04	-3,19E+01	5,72E+00
3	21180	1,31E+03	7,62E-04	-2,43E+01	5,76E+00
4	31270	1,31E+03	7,61E-04	-1,96E+01	5,75E+00
5	41360	1,31E+03	7,65E-04	-1,65E+01	5,78E+00
6	51450	1,30E+03	7,66E-04	-1,56E+01	5,79E+00
7	61550	1,30E+03	7,67E-04	-1,48E+01	5,80E+00
8	71640	1,30E+03	7,67E-04	-1,53E+01	5,80E+00
9	81730	1,30E+03	7,68E-04	-1,28E+01	5,80E+00
10	91820	1,30E+03	7,68E-04	-1,25E+01	5,81E+00
11	101900	1,30E+03	7,70E-04	-1,04E+01	5,82E+00
12	112000	1,31E+03	7,65E-04	-6,84E+00	5,78E+00
13	122100	1,30E+03	7,68E-04	-1,10E+01	5,81E+00
14	132200	1,30E+03	7,70E-04	4,56E+00	5,82E+00
15	142300	1,30E+03	7,68E-04	-1,83E+01	5,81E+00
16	152400	1,31E+03	7,66E-04	-2,29E+00	5,79E+00
17	162500	1,29E+03	7,77E-04	-1,21E+01	5,87E+00
18	172500	1,30E+03	7,70E-04	-7,81E+00	5,82E+00
19	182600	1,30E+03	7,71E-04	-1,11E+00	5,83E+00
20	192700	1,30E+03	7,72E-04	3,17E+00	5,83E+00
21	202800	1,30E+03	7,68E-04	-1,47E+01	5,81E+00
22	212900	1,29E+03	7,74E-04	-3,06E+00	5,85E+00
23	223000	1,30E+03	7,71E-04	-2,55E+00	5,83E+00
24	233100	1,32E+03	7,60E-04	-2,27E+01	5,74E+00
25	243200	1,31E+03	7,64E-04	-1,02E+01	5,78E+00
26	253300	1,29E+03	7,75E-04	-7,44E+00	5,86E+00
27	263400	1,30E+03	7,70E-04	-1,24E+01	5,82E+00
28	273500	1,30E+03	7,71E-04	-8,73E+00	5,82E+00
29	283500	1,29E+03	7,75E-04	-9,24E+00	5,86E+00
30	293600	1,30E+03	7,71E-04	-8,28E+00	5,83E+00
31	303700	1,29E+03	7,77E-04	-1,30E+01	5,87E+00
32	313800	1,30E+03	7,70E-04	-2,80E+00	5,82E+00
33	323900	1,29E+03	7,73E-04	-1,77E+01	5,85E+00
34	334000	1,29E+03	7,75E-04	-1,70E+01	5,86E+00
35	344100	1,30E+03	7,71E-04	-1,18E+01	5,83E+00
36	354200	1,28E+03	7,81E-04	-1,59E+01	5,90E+00
37	364300	1,29E+03	7,72E-04	-1,09E+01	5,84E+00
38	374400	1,28E+03	7,79E-04	-9,90E+00	5,89E+00
39	384500	1,29E+03	7,73E-04	-7,93E+00	5,84E+00
40	394500	1,29E+03	7,73E-04	-5,48E+00	5,84E+00
41	404600	1,29E+03	7,76E-04	-1,43E+01	5,86E+00
42	414700	1,29E+03	7,77E-04	-1,41E+01	5,87E+00

43	424800	1,29E+03	7,76E-04	-5,30E+00	5,87E+00
44	434900	1,29E+03	7,78E-04	-1,63E+01	5,88E+00
45	445000	1,29E+03	7,77E-04	-1,24E+01	5,88E+00
46	455100	1,29E+03	7,76E-04	-9,49E+00	5,86E+00
47	465200	1,28E+03	7,80E-04	-2,03E+01	5,89E+00
48	475300	1,28E+03	7,79E-04	-1,53E+01	5,89E+00
49	485400	1,29E+03	7,77E-04	-3,00E+00	5,87E+00
50	495500	1,28E+03	7,81E-04	-1,71E+01	5,90E+00
51	505500	1,27E+03	7,85E-04	-1,28E+01	5,94E+00
52	515600	1,28E+03	7,79E-04	-1,26E+01	5,89E+00
53	525700	1,28E+03	7,82E-04	-1,15E+01	5,91E+00
54	535800	1,28E+03	7,82E-04	-1,35E+01	5,91E+00
55	545900	1,28E+03	7,82E-04	-1,01E+01	5,91E+00
56	556000	1,28E+03	7,83E-04	-1,35E+01	5,92E+00
57	566100	1,27E+03	7,86E-04	-7,78E+00	5,94E+00
58	576200	1,28E+03	7,81E-04	-1,68E+01	5,91E+00
59	586300	1,27E+03	7,89E-04	-1,08E+01	5,96E+00
60	596400	1,27E+03	7,85E-04	-1,50E+01	5,93E+00
61	606500	1,28E+03	7,81E-04	-1,18E+01	5,90E+00
62	616500	1,27E+03	7,86E-04	-1,21E+01	5,94E+00
63	626600	1,27E+03	7,85E-04	-1,09E+01	5,93E+00
64	636700	1,28E+03	7,83E-04	-1,33E+01	5,92E+00
65	646800	1,28E+03	7,84E-04	-1,57E+01	5,93E+00
66	656900	1,27E+03	7,85E-04	-1,19E+01	5,94E+00
67	667000	1,27E+03	7,88E-04	-1,38E+01	5,96E+00
68	677100	1,27E+03	7,88E-04	-8,99E+00	5,96E+00
69	687200	1,27E+03	7,86E-04	-1,40E+01	5,94E+00
70	697300	1,27E+03	7,90E-04	-1,32E+01	5,97E+00
71	707400	1,26E+03	7,91E-04	-1,42E+01	5,98E+00
72	717500	1,27E+03	7,86E-04	-1,11E+01	5,94E+00
73	727500	1,26E+03	7,91E-04	-1,46E+01	5,98E+00
74	737600	1,26E+03	7,91E-04	-1,53E+01	5,98E+00
75	747700	1,27E+03	7,88E-04	-1,43E+01	5,96E+00
76	757800	1,27E+03	7,90E-04	-1,22E+01	5,97E+00
77	767900	1,27E+03	7,90E-04	-1,37E+01	5,97E+00
78	778000	1,27E+03	7,90E-04	-1,32E+01	5,97E+00
79	788100	1,26E+03	7,95E-04	-9,39E+00	6,01E+00
80	798200	1,26E+03	7,93E-04	-1,74E+01	6,00E+00
81	808300	1,26E+03	7,96E-04	-1,39E+01	6,02E+00
82	818400	1,27E+03	7,90E-04	-1,30E+01	5,97E+00
83	828500	1,26E+03	7,95E-04	-1,46E+01	6,01E+00
84	838500	1,26E+03	7,94E-04	-1,36E+01	6,00E+00
85	848600	1,25E+03	7,97E-04	-1,31E+01	6,02E+00
86	858700	1,26E+03	7,96E-04	-1,45E+01	6,01E+00

87	868800	1,25E+03	8,00E-04	-1,47E+01	6,04E+00
88	878900	1,25E+03	7,97E-04	-1,53E+01	6,02E+00
89	889000	1,25E+03	7,99E-04	-1,22E+01	6,04E+00
90	899100	1,25E+03	7,97E-04	-1,37E+01	6,02E+00
91	909200	1,25E+03	8,01E-04	-1,11E+01	6,06E+00
92	919300	1,25E+03	8,02E-04	-1,41E+01	6,06E+00
93	929400	1,23E+03	8,11E-04	-1,26E+00	6,13E+00
94	939500	1,25E+03	8,03E-04	-1,46E+01	6,07E+00
95	949500	1,24E+03	8,05E-04	-1,39E+01	6,08E+00
96	959600	1,24E+03	8,05E-04	-1,58E+01	6,08E+00
97	969700	1,24E+03	8,04E-04	-1,86E+01	6,08E+00
98	979800	1,24E+03	8,06E-04	-1,80E+01	6,10E+00
99	989900	1,24E+03	8,04E-04	-1,84E+01	6,08E+00
100	1000000	1,24E+03	8,06E-04	-1,54E+01	6,09E+00
					5,90E+00
					5,90E-02 S/cm

Pengukuran konduktifitas proton ketiga dengan CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	1,41E+03	7,05E-04	-9,72E+01	5,34E+00
2	11090	1,34E+03	7,46E-04	-3,19E+01	5,64E+00
3	21180	1,33E+03	7,50E-04	-2,36E+01	5,67E+00
4	31270	1,33E+03	7,52E-04	-1,97E+01	5,68E+00
5	41360	1,33E+03	7,54E-04	-1,78E+01	5,70E+00
6	51450	1,33E+03	7,55E-04	-1,45E+01	5,70E+00
7	61550	1,32E+03	7,56E-04	-1,43E+01	5,71E+00
8	71640	1,32E+03	7,57E-04	-1,56E+01	5,72E+00
9	81730	1,32E+03	7,56E-04	-1,31E+01	5,72E+00
10	91820	1,32E+03	7,57E-04	-1,28E+01	5,72E+00
11	101900	1,32E+03	7,56E-04	-1,71E+01	5,72E+00
12	112000	1,32E+03	7,56E-04	-1,16E+01	5,71E+00
13	122100	1,30E+03	7,67E-04	-1,53E+01	5,80E+00
14	132200	1,32E+03	7,57E-04	-7,24E+00	5,72E+00
15	142300	1,32E+03	7,56E-04	4,98E+00	5,71E+00
16	152400	1,33E+03	7,55E-04	-1,27E+00	5,70E+00
17	162500	1,31E+03	7,61E-04	-2,45E+01	5,75E+00
18	172500	1,30E+03	7,69E-04	-1,73E+01	5,81E+00
19	182600	1,32E+03	7,57E-04	-6,00E+00	5,72E+00
20	192700	1,32E+03	7,58E-04	-9,70E+00	5,73E+00
21	202800	1,32E+03	7,59E-04	-1,18E+01	5,74E+00
22	212900	1,34E+03	7,48E-04	-6,26E+00	5,65E+00
23	223000	1,31E+03	7,61E-04	-1,76E+01	5,75E+00
24	233100	1,31E+03	7,66E-04	-6,67E-01	5,79E+00
25	243200	1,30E+03	7,67E-04	-1,31E+01	5,80E+00
26	253300	1,31E+03	7,64E-04	-6,33E+00	5,78E+00
27	263400	1,30E+03	7,67E-04	-8,03E+00	5,79E+00
28	273500	1,31E+03	7,62E-04	-6,44E+00	5,76E+00
29	283500	1,31E+03	7,64E-04	-1,65E+01	5,77E+00
30	293600	1,31E+03	7,62E-04	-1,51E+01	5,76E+00
31	303700	1,32E+03	7,60E-04	-1,19E+01	5,75E+00
32	313800	1,31E+03	7,62E-04	-1,32E+01	5,76E+00
33	323900	1,31E+03	7,65E-04	-1,77E+01	5,78E+00
34	334000	1,32E+03	7,56E-04	-9,79E+00	5,72E+00
35	344100	1,30E+03	7,67E-04	-1,53E+01	5,80E+00
36	354200	1,31E+03	7,62E-04	1,63E+00	5,76E+00
37	364300	1,30E+03	7,67E-04	-1,05E+01	5,80E+00
38	374400	1,31E+03	7,63E-04	-1,62E+01	5,77E+00
39	384500	1,31E+03	7,64E-04	-1,39E+01	5,78E+00
40	394500	1,31E+03	7,65E-04	-5,33E+00	5,78E+00
41	404600	1,31E+03	7,65E-04	-1,23E+01	5,78E+00
42	414700	1,31E+03	7,63E-04	-1,40E+01	5,76E+00

43	424800	1,31E+03	7,63E-04	-1,38E+01	5,77E+00
44	434900	1,31E+03	7,64E-04	-1,30E+01	5,78E+00
45	445000	1,30E+03	7,68E-04	-2,36E+01	5,81E+00
46	455100	1,31E+03	7,66E-04	-1,24E+01	5,79E+00
47	465200	1,31E+03	7,62E-04	-4,23E+00	5,76E+00
48	475300	1,31E+03	7,66E-04	-1,03E+01	5,79E+00
49	485400	1,30E+03	7,71E-04	-8,57E+00	5,83E+00
50	495500	1,32E+03	7,59E-04	-2,04E+01	5,74E+00
51	505500	1,30E+03	7,67E-04	-1,71E+01	5,80E+00
52	515600	1,31E+03	7,65E-04	-1,11E+01	5,78E+00
53	525700	1,30E+03	7,68E-04	-1,08E+01	5,81E+00
54	535800	1,31E+03	7,62E-04	-1,78E+01	5,76E+00
55	545900	1,30E+03	7,72E-04	-1,09E+01	5,83E+00
56	556000	1,30E+03	7,72E-04	-3,23E+00	5,83E+00
57	566100	1,30E+03	7,67E-04	-9,39E+00	5,80E+00
58	576200	1,29E+03	7,73E-04	-1,32E+01	5,84E+00
59	586300	1,31E+03	7,66E-04	-1,18E+01	5,79E+00
60	596400	1,30E+03	7,70E-04	-1,20E+01	5,82E+00
61	606500	1,29E+03	7,75E-04	-1,50E+01	5,86E+00
62	616500	1,30E+03	7,71E-04	-1,10E+01	5,83E+00
63	626600	1,30E+03	7,71E-04	-1,46E+01	5,82E+00
64	636700	1,29E+03	7,75E-04	-1,19E+01	5,86E+00
65	646800	1,28E+03	7,80E-04	-1,44E+01	5,90E+00
66	656900	1,29E+03	7,76E-04	-1,06E+01	5,86E+00
67	667000	1,29E+03	7,77E-04	-2,30E+01	5,87E+00
68	677100	1,28E+03	7,82E-04	-8,54E+00	5,91E+00
69	687200	1,29E+03	7,75E-04	-1,79E+01	5,86E+00
70	697300	1,29E+03	7,77E-04	-1,12E+01	5,87E+00
71	707400	1,28E+03	7,84E-04	-2,11E+01	5,93E+00
72	717500	1,29E+03	7,75E-04	-3,79E+00	5,86E+00
73	727500	1,28E+03	7,82E-04	-8,70E+00	5,91E+00
74	737600	1,29E+03	7,76E-04	-1,59E+01	5,86E+00
75	747700	1,28E+03	7,80E-04	-1,59E+01	5,89E+00
76	757800	1,29E+03	7,78E-04	-1,22E+01	5,88E+00
77	767900	1,28E+03	7,84E-04	-1,55E+01	5,92E+00
78	778000	1,28E+03	7,83E-04	-1,01E+01	5,92E+00
79	788100	1,28E+03	7,83E-04	-1,10E+01	5,92E+00
80	798200	1,28E+03	7,82E-04	-1,40E+01	5,91E+00
81	808300	1,28E+03	7,83E-04	-1,23E+01	5,92E+00
82	818400	1,28E+03	7,79E-04	-1,69E+01	5,88E+00
83	828500	1,28E+03	7,84E-04	-9,89E+00	5,93E+00
84	838500	1,28E+03	7,83E-04	-1,20E+01	5,91E+00
85	848600	1,28E+03	7,82E-04	-2,61E+01	5,91E+00
86	858700	1,27E+03	7,87E-04	-1,28E+01	5,95E+00

87	868800	1,27E+03	7,87E-04	-1,47E+01	5,95E+00
88	878900	1,27E+03	7,88E-04	-1,32E+01	5,95E+00
89	889000	1,27E+03	7,85E-04	-1,05E+01	5,94E+00
90	899100	1,27E+03	7,88E-04	-1,35E+01	5,96E+00
91	909200	1,27E+03	7,90E-04	-1,85E+01	5,97E+00
92	919300	1,27E+03	7,86E-04	-1,31E+01	5,94E+00
93	929400	1,26E+03	7,92E-04	-1,41E+01	5,98E+00
94	939500	1,27E+03	7,90E-04	-1,67E+01	5,97E+00
95	949500	1,26E+03	7,91E-04	-1,67E+01	5,98E+00
96	959600	1,26E+03	7,91E-04	-1,79E+01	5,98E+00
97	969700	1,26E+03	7,95E-04	-1,43E+01	6,01E+00
98	979800	1,26E+03	7,92E-04	-1,67E+01	5,99E+00
99	989900	1,26E+03	7,93E-04	-1,89E+01	5,99E+00
100	1000000	1,26E+03	7,97E-04	-1,72E+01	6,02E+00
					5,82E+00
					5,82E-02 S/cm

Komposisi Silika/Clay 5%

Pengukuran 1 konduktifitas proton dengan CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	2,42E+03	4,10E-04	-1,90E+02	3,61E+00
2	11090	2,32E+03	4,30E-04	-5,74E+01	3,78E+00
3	21180	2,31E+03	4,33E-04	-4,20E+01	3,81E+00
4	31270	2,30E+03	4,35E-04	-2,53E+01	3,82E+00
5	41360	2,30E+03	4,35E-04	-3,11E+01	3,82E+00
6	51450	2,30E+03	4,36E-04	-3,08E+01	3,83E+00
7	61550	2,29E+03	4,36E-04	-3,27E+01	3,83E+00
8	71640	2,30E+03	4,36E-04	-2,83E+01	3,83E+00
9	81730	2,29E+03	4,37E-04	-2,58E+01	3,84E+00
10	91820	2,29E+03	4,37E-04	-2,59E+01	3,84E+00
11	101900	2,26E+03	4,42E-04	-3,07E+01	3,88E+00
12	112000	2,28E+03	4,38E-04	9,92E+00	3,85E+00
13	122100	2,28E+03	4,39E-04	-5,14E+01	3,86E+00
14	132200	2,31E+03	4,32E-04	-2,26E+01	3,80E+00
15	142300	2,31E+03	4,32E-04	-1,52E+02	3,80E+00
16	152400	2,25E+03	4,44E-04	-3,53E+01	3,90E+00
17	162500	2,27E+03	4,41E-04	-1,59E+01	3,88E+00
18	172500	2,32E+03	4,30E-04	-2,46E+01	3,78E+00
19	182600	2,25E+03	4,43E-04	-4,72E+01	3,90E+00
20	192700	2,28E+03	4,39E-04	-4,08E+01	3,86E+00
21	202800	2,31E+03	4,34E-04	-6,60E+00	3,81E+00
22	212900	2,26E+03	4,43E-04	-5,25E+01	3,89E+00
23	223000	2,30E+03	4,34E-04	1,27E+01	3,81E+00
24	233100	2,36E+03	4,23E-04	-9,93E+01	3,72E+00
25	243200	2,26E+03	4,43E-04	-1,38E+01	3,89E+00
26	253300	2,29E+03	4,37E-04	-1,55E+01	3,84E+00
27	263400	2,26E+03	4,42E-04	-3,33E+01	3,88E+00
28	273500	2,24E+03	4,47E-04	-3,45E+01	3,92E+00
29	283500	2,29E+03	4,37E-04	-3,45E+01	3,84E+00
30	293600	2,27E+03	4,40E-04	-1,64E+00	3,86E+00
31	303700	2,27E+03	4,41E-04	-2,23E+01	3,87E+00
32	313800	2,25E+03	4,44E-04	-3,80E+01	3,90E+00
33	323900	2,25E+03	4,44E-04	-4,33E+01	3,90E+00
34	334000	2,28E+03	4,39E-04	-3,70E+00	3,86E+00
35	344100	2,28E+03	4,38E-04	-4,47E+00	3,85E+00
36	354200	2,28E+03	4,38E-04	8,55E+00	3,85E+00
37	364300	2,27E+03	4,40E-04	-2,72E+01	3,87E+00
38	374400	2,26E+03	4,42E-04	-8,42E+00	3,89E+00
39	384500	2,24E+03	4,46E-04	3,19E+00	3,91E+00
40	394500	2,27E+03	4,41E-04	3,86E+00	3,87E+00

41	404600	2,25E+03	4,45E-04	-5,42E+01	3,91E+00
42	414700	2,22E+03	4,50E-04	6,12E+01	3,95E+00
43	424800	2,21E+03	4,53E-04	2,29E+01	3,98E+00
44	434900	2,26E+03	4,43E-04	-1,10E+01	3,89E+00
45	445000	2,28E+03	4,38E-04	-3,61E+01	3,85E+00
46	455100	2,25E+03	4,44E-04	-2,28E+01	3,90E+00
47	465200	2,27E+03	4,40E-04	-2,70E+01	3,87E+00
48	475300	2,26E+03	4,43E-04	2,29E+00	3,89E+00
49	485400	2,25E+03	4,44E-04	-6,26E+01	3,90E+00
50	495500	2,22E+03	4,50E-04	-6,47E+01	3,96E+00
51	505500	2,27E+03	4,41E-04	-3,74E+01	3,87E+00
52	515600	2,23E+03	4,48E-04	-1,48E+01	3,93E+00
53	525700	2,24E+03	4,47E-04	-3,49E+01	3,93E+00
54	535800	2,28E+03	4,38E-04	-5,35E+01	3,85E+00
55	545900	2,24E+03	4,47E-04	-5,80E+00	3,93E+00
56	556000	2,25E+03	4,45E-04	-2,15E+01	3,91E+00
57	566100	2,22E+03	4,51E-04	-4,51E+01	3,96E+00
58	576200	2,26E+03	4,42E-04	-2,12E+01	3,88E+00
59	586300	2,27E+03	4,41E-04	-3,14E+01	3,87E+00
60	596400	2,24E+03	4,47E-04	2,73E+00	3,92E+00
61	606500	2,24E+03	4,46E-04	-3,06E+01	3,92E+00
62	616500	2,24E+03	4,47E-04	-1,26E+01	3,93E+00
63	626600	2,24E+03	4,46E-04	-5,05E+01	3,92E+00
64	636700	2,25E+03	4,45E-04	-3,89E+01	3,91E+00
65	646800	2,22E+03	4,50E-04	-2,49E+01	3,96E+00
66	656900	2,24E+03	4,47E-04	-4,90E+00	3,93E+00
67	667000	2,22E+03	4,50E-04	-5,21E+01	3,95E+00
68	677100	2,24E+03	4,46E-04	-4,53E+01	3,92E+00
69	687200	2,23E+03	4,49E-04	-3,00E+01	3,95E+00
70	697300	2,21E+03	4,52E-04	-2,12E+01	3,97E+00
71	707400	2,21E+03	4,53E-04	-6,40E+00	3,98E+00
72	717500	2,23E+03	4,49E-04	-2,40E+01	3,94E+00
73	727500	2,23E+03	4,49E-04	-3,76E+01	3,95E+00
74	737600	2,22E+03	4,50E-04	-2,54E+01	3,95E+00
75	747700	2,23E+03	4,49E-04	-4,95E+01	3,94E+00
76	757800	2,21E+03	4,52E-04	-3,75E+01	3,97E+00
77	767900	2,23E+03	4,48E-04	-4,12E+01	3,94E+00
78	778000	2,23E+03	4,48E-04	7,55E+00	3,93E+00
79	788100	2,21E+03	4,53E-04	-2,92E+01	3,98E+00
80	798200	2,21E+03	4,53E-04	-2,74E+01	3,98E+00
81	808300	2,20E+03	4,54E-04	-5,76E+01	3,98E+00
82	818400	2,22E+03	4,51E-04	-3,05E+01	3,96E+00
83	828500	2,22E+03	4,50E-04	-2,48E+01	3,96E+00
84	838500	2,21E+03	4,53E-04	-4,15E+01	3,98E+00

85	848600	2,23E+03	4,49E-04	-5,33E+01	3,95E+00
86	858700	2,22E+03	4,51E-04	-2,58E+01	3,96E+00
87	868800	2,21E+03	4,53E-04	-3,86E+01	3,98E+00
88	878900	2,19E+03	4,57E-04	-3,33E+01	4,01E+00
89	889000	2,19E+03	4,56E-04	-5,12E+01	4,01E+00
90	899100	2,21E+03	4,53E-04	-4,59E+01	3,98E+00
91	909200	2,20E+03	4,54E-04	-4,66E+01	3,99E+00
92	919300	2,19E+03	4,55E-04	-7,29E+01	4,00E+00
93	929400	2,18E+03	4,58E-04	-4,65E+01	4,02E+00
94	939500	2,19E+03	4,57E-04	-4,31E+01	4,01E+00
95	949500	2,18E+03	4,58E-04	-4,35E+01	4,02E+00
96	959600	2,19E+03	4,57E-04	-4,80E+01	4,02E+00
97	969700	2,19E+03	4,57E-04	-4,31E+01	4,01E+00
98	979800	2,18E+03	4,59E-04	-4,34E+01	4,03E+00
99	989900	2,17E+03	4,62E-04	-3,81E+01	4,05E+00
100	1000000	2,17E+03	4,60E-04	-5,13E+01	4,04E+00
					3,91E+00
					3,91E-02 S/cm

Pengukuran 2 konduktifitas proton dengan CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	2,45E+03	4,05E-04	-1,90E+02	3,57E+00
2	11090	2,35E+03	4,25E-04	-5,54E+01	3,73E+00
3	21180	2,34E+03	4,27E-04	-4,24E+01	3,75E+00
4	31270	2,34E+03	4,27E-04	-2,55E+01	3,75E+00
5	41360	2,33E+03	4,30E-04	-3,11E+01	3,77E+00
6	51450	2,33E+03	4,30E-04	-3,32E+01	3,78E+00
7	61550	2,33E+03	4,29E-04	-3,11E+01	3,77E+00
8	71640	2,32E+03	4,31E-04	-3,81E+01	3,79E+00
9	81730	2,32E+03	4,32E-04	-2,42E+01	3,79E+00
10	91820	2,32E+03	4,32E-04	-2,33E+01	3,79E+00
11	101900	2,36E+03	4,23E-04	3,57E+00	3,72E+00
12	112000	2,32E+03	4,31E-04	8,99E+01	3,79E+00
13	122100	2,33E+03	4,29E-04	-3,50E+01	3,77E+00
14	132200	2,28E+03	4,39E-04	-7,37E+01	3,86E+00
15	142300	2,31E+03	4,33E-04	-4,61E+01	3,80E+00
16	152400	2,32E+03	4,31E-04	-4,07E+01	3,78E+00
17	162500	2,32E+03	4,31E-04	3,15E+01	3,79E+00
18	172500	2,30E+03	4,35E-04	-4,13E+01	3,82E+00
19	182600	2,29E+03	4,37E-04	1,04E+00	3,84E+00
20	192700	2,30E+03	4,34E-04	-4,15E+01	3,81E+00
21	202800	2,32E+03	4,31E-04	-2,18E+01	3,79E+00
22	212900	2,32E+03	4,30E-04	-6,17E+01	3,78E+00
23	223000	2,31E+03	4,33E-04	2,60E+01	3,81E+00
24	233100	2,27E+03	4,40E-04	3,67E+00	3,87E+00
25	243200	2,34E+03	4,28E-04	-1,83E+01	3,76E+00
26	253300	2,31E+03	4,33E-04	-2,33E+01	3,80E+00
27	263400	2,30E+03	4,36E-04	-8,18E+00	3,83E+00
28	273500	2,33E+03	4,28E-04	-2,62E+01	3,76E+00
29	283500	2,32E+03	4,31E-04	4,67E+01	3,78E+00
30	293600	2,31E+03	4,34E-04	-1,73E+01	3,81E+00
31	303700	2,29E+03	4,37E-04	-3,42E+01	3,84E+00
32	313800	2,31E+03	4,32E-04	-9,67E+00	3,80E+00
33	323900	2,30E+03	4,35E-04	-2,65E+01	3,82E+00
34	334000	2,32E+03	4,32E-04	5,02E+01	3,79E+00
35	344100	2,30E+03	4,35E-04	-1,25E+01	3,82E+00
36	354200	2,35E+03	4,26E-04	2,57E+00	3,74E+00
37	364300	2,31E+03	4,32E-04	-3,98E+01	3,80E+00
38	374400	2,31E+03	4,33E-04	-2,38E+01	3,81E+00
39	384500	2,33E+03	4,29E-04	-3,47E+01	3,77E+00
40	394500	2,29E+03	4,37E-04	-3,25E+01	3,84E+00

41	404600	2,33E+03	4,28E-04	-2,03E+01	3,76E+00
42	414700	2,25E+03	4,43E-04	2,17E+01	3,90E+00
43	424800	2,32E+03	4,29E-04	-1,01E+02	3,78E+00
44	434900	2,28E+03	4,38E-04	-2,71E+01	3,85E+00
45	445000	2,24E+03	4,46E-04	-5,29E+01	3,92E+00
46	455100	2,29E+03	4,37E-04	-5,11E+01	3,84E+00
47	465200	2,28E+03	4,38E-04	-6,76E+01	3,85E+00
48	475300	2,30E+03	4,35E-04	-1,04E+01	3,82E+00
49	485400	2,28E+03	4,38E-04	-2,22E+01	3,85E+00
50	495500	2,31E+03	4,33E-04	-4,50E+01	3,80E+00
51	505500	2,28E+03	4,39E-04	-3,01E+01	3,86E+00
52	515600	2,30E+03	4,34E-04	-5,23E+01	3,81E+00
53	525700	2,27E+03	4,40E-04	-2,58E+01	3,87E+00
54	535800	2,24E+03	4,47E-04	-4,66E+01	3,93E+00
55	545900	2,28E+03	4,39E-04	-3,59E+01	3,86E+00
56	556000	2,33E+03	4,29E-04	-7,49E+01	3,77E+00
57	566100	2,24E+03	4,45E-04	-5,27E+01	3,91E+00
58	576200	2,27E+03	4,40E-04	-8,49E+00	3,87E+00
59	586300	2,27E+03	4,41E-04	-5,13E+01	3,88E+00
60	596400	2,28E+03	4,39E-04	-4,04E+01	3,85E+00
61	606500	2,27E+03	4,41E-04	-3,06E+01	3,87E+00
62	616500	2,25E+03	4,44E-04	-3,87E+01	3,90E+00
63	626600	2,29E+03	4,36E-04	-3,67E+01	3,83E+00
64	636700	2,28E+03	4,39E-04	-1,11E+01	3,86E+00
65	646800	2,28E+03	4,39E-04	-2,75E+01	3,86E+00
66	656900	2,26E+03	4,42E-04	-5,01E+01	3,88E+00
67	667000	2,27E+03	4,40E-04	-2,77E+01	3,87E+00
68	677100	2,25E+03	4,44E-04	-4,49E+01	3,90E+00
69	687200	2,27E+03	4,40E-04	-3,72E+01	3,86E+00
70	697300	2,26E+03	4,43E-04	-4,30E+01	3,89E+00
71	707400	2,24E+03	4,45E-04	-9,81E+01	3,92E+00
72	717500	2,25E+03	4,44E-04	-4,75E+01	3,90E+00
73	727500	2,24E+03	4,46E-04	-2,30E+01	3,92E+00
74	737600	2,24E+03	4,46E-04	-3,55E+01	3,91E+00
75	747700	2,25E+03	4,44E-04	-3,20E+01	3,90E+00
76	757800	2,19E+03	4,56E-04	-6,52E+01	4,01E+00
77	767900	2,24E+03	4,46E-04	-3,17E+01	3,91E+00
78	778000	2,25E+03	4,44E-04	-1,75E+01	3,90E+00
79	788100	2,24E+03	4,47E-04	-3,58E+01	3,93E+00
80	798200	2,21E+03	4,52E-04	-3,53E+01	3,97E+00
81	808300	2,23E+03	4,47E-04	-4,20E+01	3,93E+00
82	818400	2,22E+03	4,50E-04	-3,72E+01	3,95E+00
83	828500	2,23E+03	4,48E-04	-3,03E+01	3,94E+00
84	838500	2,23E+03	4,48E-04	-2,24E+01	3,93E+00

85	848600	2,24E+03	4,46E-04	-5,31E+01	3,92E+00
86	858700	2,24E+03	4,46E-04	-3,65E+01	3,92E+00
87	868800	2,23E+03	4,48E-04	-3,10E+01	3,94E+00
88	878900	2,23E+03	4,49E-04	-2,27E+01	3,94E+00
89	889000	2,23E+03	4,48E-04	-4,79E+01	3,94E+00
90	899100	2,23E+03	4,48E-04	-5,26E+01	3,94E+00
91	909200	2,22E+03	4,50E-04	-4,94E+01	3,96E+00
92	919300	2,25E+03	4,44E-04	-3,94E+01	3,90E+00
93	929400	2,19E+03	4,57E-04	-7,60E+01	4,01E+00
94	939500	2,22E+03	4,51E-04	-5,17E+01	3,96E+00
95	949500	2,21E+03	4,53E-04	-3,73E+01	3,98E+00
96	959600	2,21E+03	4,53E-04	-5,63E+01	3,98E+00
97	969700	2,19E+03	4,57E-04	-4,65E+01	4,01E+00
98	979800	2,21E+03	4,52E-04	-4,60E+01	3,97E+00
99	989900	2,21E+03	4,53E-04	-6,41E+01	3,98E+00
100	1000000	2,20E+03	4,54E-04	-3,59E+01	3,99E+00
					3,86E+00
					3,86E-02 S/cm

Pengukuran 3 konduktifitas proton, CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	2,47E+03	4,03E-04	-1,90E+02	3,55E+00
2	11090	2,37E+03	4,22E-04	-5,50E+01	3,71E+00
3	21180	2,35E+03	4,25E-04	-4,27E+01	3,73E+00
4	31270	2,34E+03	4,27E-04	-2,93E+01	3,75E+00
5	41360	2,34E+03	4,27E-04	-3,24E+01	3,75E+00
6	51450	2,33E+03	4,28E-04	-2,96E+01	3,76E+00
7	61550	2,34E+03	4,28E-04	-2,77E+01	3,76E+00
8	71640	2,34E+03	4,28E-04	-1,71E+01	3,76E+00
9	81730	2,33E+03	4,29E-04	-2,41E+01	3,77E+00
10	91820	2,33E+03	4,29E-04	-2,64E+01	3,77E+00
11	101900	2,40E+03	4,17E-04	3,27E+01	3,67E+00
12	112000	2,35E+03	4,25E-04	-9,85E+00	3,74E+00
13	122100	2,30E+03	4,35E-04	-2,37E+01	3,82E+00
14	132200	2,36E+03	4,24E-04	3,78E+00	3,72E+00
15	142300	2,34E+03	4,28E-04	-1,22E+01	3,76E+00
16	152400	2,30E+03	4,34E-04	-5,31E+00	3,81E+00
17	162500	2,31E+03	4,32E-04	-1,05E+01	3,80E+00
18	182600	2,36E+03	4,24E-04	-4,04E+01	3,73E+00
19	192700	2,33E+03	4,30E-04	1,24E+00	3,77E+00
20	202800	2,32E+03	4,31E-04	-7,12E+00	3,79E+00
21	212900	2,30E+03	4,34E-04	-3,23E+01	3,81E+00
22	223000	2,33E+03	4,29E-04	6,89E+00	3,76E+00
23	233100	2,30E+03	4,35E-04	3,92E+00	3,82E+00
24	243200	2,33E+03	4,30E-04	-1,27E+01	3,78E+00
25	253300	2,34E+03	4,27E-04	-3,37E+01	3,75E+00
26	263400	2,29E+03	4,36E-04	5,03E+00	3,83E+00
27	283500	2,36E+03	4,24E-04	7,34E-01	3,73E+00
28	293600	2,32E+03	4,31E-04	1,14E+01	3,79E+00
29	303700	2,30E+03	4,35E-04	-2,71E+01	3,82E+00
30	313800	2,33E+03	4,29E-04	-9,87E+00	3,77E+00
31	323900	2,33E+03	4,28E-04	-3,83E+01	3,76E+00
32	334000	2,30E+03	4,35E-04	-3,65E+01	3,82E+00
33	344100	2,30E+03	4,35E-04	-1,49E+01	3,82E+00
34	354200	2,31E+03	4,33E-04	-2,04E+01	3,80E+00
35	364300	2,31E+03	4,33E-04	-4,08E+01	3,80E+00
36	374400	2,29E+03	4,36E-04	-2,13E+01	3,83E+00
37	384500	2,31E+03	4,33E-04	-4,39E+01	3,80E+00
38	394500	2,28E+03	4,38E-04	-4,53E+01	3,85E+00
39	404600	2,31E+03	4,33E-04	-2,66E+01	3,80E+00
40	414700	2,30E+03	4,35E-04	-1,07E+01	3,82E+00

41	424800	2,37E+03	4,22E-04	-5,04E+01	3,71E+00
42	434900	2,29E+03	4,37E-04	-5,30E+01	3,84E+00
43	445000	2,29E+03	4,37E-04	-1,17E+01	3,84E+00
44	455100	2,28E+03	4,39E-04	-2,58E+01	3,86E+00
45	465200	2,31E+03	4,33E-04	-3,31E+01	3,80E+00
46	485400	2,32E+03	4,31E-04	1,92E+00	3,78E+00
47	495500	2,33E+03	4,29E-04	-1,82E+01	3,77E+00
48	505500	2,29E+03	4,36E-04	-3,65E+01	3,83E+00
49	515600	2,30E+03	4,36E-04	-2,11E+01	3,83E+00
50	525700	2,29E+03	4,36E-04	-1,10E+01	3,83E+00
51	535800	2,33E+03	4,30E-04	-1,55E+01	3,78E+00
52	545900	2,30E+03	4,36E-04	-3,82E+01	3,83E+00
53	556000	2,30E+03	4,35E-04	-1,98E+01	3,83E+00
54	566100	2,28E+03	4,39E-04	-1,73E+01	3,86E+00
55	576200	2,31E+03	4,32E-04	-3,78E+01	3,80E+00
56	586300	2,27E+03	4,39E-04	-3,25E+01	3,86E+00
57	596400	2,31E+03	4,33E-04	-3,76E+01	3,81E+00
58	606500	2,27E+03	4,40E-04	-4,99E+01	3,87E+00
59	616500	2,28E+03	4,38E-04	-6,03E+01	3,85E+00
60	626600	2,30E+03	4,35E-04	-4,56E+01	3,83E+00
61	636700	2,28E+03	4,38E-04	-3,44E+01	3,84E+00
62	646800	2,28E+03	4,38E-04	-3,38E+01	3,85E+00
63	656900	2,27E+03	4,40E-04	-4,45E+01	3,87E+00
64	667000	2,28E+03	4,38E-04	4,05E+00	3,85E+00
65	677100	2,29E+03	4,37E-04	-3,29E+01	3,84E+00
66	687200	2,28E+03	4,38E-04	-4,60E+01	3,85E+00
67	697300	2,27E+03	4,41E-04	-2,85E+01	3,87E+00
68	707400	2,25E+03	4,45E-04	-6,64E+01	3,91E+00
69	717500	2,30E+03	4,35E-04	-3,10E+01	3,82E+00
70	727500	2,28E+03	4,39E-04	-4,00E+01	3,86E+00
71	737600	2,29E+03	4,37E-04	-1,43E+01	3,84E+00
72	747700	2,27E+03	4,40E-04	-3,90E+01	3,86E+00
73	757800	2,25E+03	4,45E-04	-2,80E+01	3,91E+00
74	767900	2,26E+03	4,42E-04	-3,45E+01	3,88E+00
75	778000	2,27E+03	4,41E-04	-2,34E+01	3,88E+00
76	788100	2,26E+03	4,42E-04	-4,19E+01	3,88E+00
77	798200	2,25E+03	4,44E-04	-4,91E+01	3,90E+00
78	808300	2,25E+03	4,44E-04	-4,10E+01	3,90E+00
79	818400	2,23E+03	4,48E-04	-4,44E+01	3,93E+00
80	828500	2,25E+03	4,45E-04	-3,42E+01	3,91E+00
81	838500	2,23E+03	4,48E-04	-3,78E+01	3,93E+00
82	848600	2,24E+03	4,47E-04	-4,79E+01	3,93E+00
83	858700	2,23E+03	4,48E-04	-4,14E+01	3,93E+00
84	868800	2,24E+03	4,46E-04	-2,84E+01	3,92E+00

85	878900	2,24E+03	4,47E-04	-4,91E+01	3,92E+00
86	889000	2,21E+03	4,52E-04	-4,81E+01	3,97E+00
87	899100	2,23E+03	4,48E-04	-5,26E+01	3,94E+00
88	909200	2,23E+03	4,48E-04	-4,03E+01	3,93E+00
89	919300	2,23E+03	4,49E-04	-3,50E+01	3,95E+00
90	929400	2,22E+03	4,50E-04	-2,47E+01	3,96E+00
91	939500	2,24E+03	4,47E-04	-4,37E+01	3,93E+00
92	949500	2,23E+03	4,49E-04	-3,80E+01	3,94E+00
93	959600	2,21E+03	4,52E-04	-4,87E+01	3,97E+00
94	969700	2,24E+03	4,46E-04	-5,82E+01	3,92E+00
95	979800	2,22E+03	4,50E-04	-3,68E+01	3,96E+00
96	989900	2,22E+03	4,51E-04	-3,62E+01	3,96E+00
97	1000000	2,20E+03	4,53E-04	-4,10E+01	3,98E+00
					3,83E+00
					3,83E-02 S/cm

Komposisi Silika/Clay 97%

Pengukuran I konduktifitas proton, CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	3,42E+04	2,92E-05	-3,60E+02	1,22E-01
2	11090	3,32E+04	3,01E-05	2,46E+02	1,26E-01
3	21180	3,40E+04	2,94E-05	-8,67E+02	1,23E-01
4	31270	3,22E+04	3,10E-05	-1,53E+03	1,30E-01
5	41360	3,37E+04	2,96E-05	-1,15E+03	1,24E-01
6	51450	3,24E+04	3,07E-05	-2,20E+03	1,29E-01
7	61550	3,24E+04	3,08E-05	-5,16E+02	1,29E-01
8	71640	3,52E+04	2,80E-05	-4,34E+03	1,18E-01
9	81730	3,30E+04	3,02E-05	-1,69E+03	1,26E-01
10	91820	3,30E+04	3,03E-05	-1,61E+03	1,27E-01
11	101900	3,25E+04	3,07E-05	1,91E+03	1,28E-01
12	112000	2,58E+04	3,85E-05	2,01E+03	1,61E-01
13	122100	3,38E+04	2,96E-05	1,29E+03	1,24E-01
14	132200	3,41E+04	2,70E-05	-9,89E+03	1,18E-01
15	142300	3,56E+04	2,81E-05	-3,75E+02	1,17E-01
16	152400	2,86E+04	3,43E-05	-3,71E+03	1,45E-01
17	162500	3,30E+04	2,97E-05	-4,57E+03	1,25E-01
18	172500	2,75E+04	3,64E-05	-6,79E+02	1,52E-01
19	182600	2,88E+04	3,46E-05	1,46E+03	1,45E-01
20	192700	3,41E+04	2,93E-05	8,51E+02	1,23E-01
21	202800	3,03E+04	3,30E-05	1,46E+03	1,38E-01
22	212900	3,28E+04	2,98E-05	4,67E+03	1,26E-01
23	223000	2,85E+04	3,51E-05	-9,75E+02	1,47E-01
24	233100	3,21E+04	3,10E-05	-2,20E+03	1,30E-01
25	243200	3,06E+04	3,26E-05	-8,51E+00	1,36E-01
26	253300	2,88E+04	3,01E-05	-1,13E+04	1,35E-01
27	263400	2,73E+04	3,29E-05	-9,20E+03	1,45E-01
28	273500	3,20E+04	3,12E-05	-2,69E+02	1,31E-01
29	283500	3,31E+04	2,98E-05	-3,90E+03	1,25E-01
30	293600	3,19E+04	3,02E-05	-6,20E+03	1,29E-01
31	303700	2,95E+04	3,24E-05	-6,37E+03	1,39E-01
32	313800	2,89E+04	3,46E-05	-9,24E+02	1,45E-01
33	323900	3,53E+04	2,76E-05	-5,76E+03	1,17E-01
34	334000	3,11E+04	3,12E-05	-5,25E+03	1,32E-01
35	344100	3,16E+04	3,11E-05	-4,17E+03	1,31E-01
36	354200	3,23E+04	3,00E-05	-5,89E+03	1,27E-01
37	364300	3,27E+04	2,96E-05	-6,03E+03	1,26E-01
38	374400	3,23E+04	3,08E-05	-2,41E+03	1,29E-01
39	384500	3,34E+04	2,94E-05	-4,40E+03	1,24E-01
40	394500	3,59E+04	2,78E-05	8,32E+02	1,16E-01

41	404600	3,21E+04	3,11E-05	-5,90E+02	1,30E-01
42	414700	2,94E+04	3,39E-05	-1,73E+03	1,42E-01
43	424800	3,19E+04	3,06E-05	-5,05E+03	1,30E-01
44	434900	3,32E+04	3,00E-05	-2,22E+03	1,26E-01
45	445000	4,31E+04	2,27E-05	-6,72E+03	9,59E-02
46	455100	3,48E+04	2,73E-05	-8,16E+03	1,17E-01
47	465200	2,55E+04	3,52E-05	-8,60E+03	1,55E-01
48	475300	3,02E+04	3,24E-05	-4,51E+03	1,37E-01
49	485400	3,24E+04	3,05E-05	-3,75E+03	1,28E-01
50	495500	3,07E+04	3,20E-05	-4,11E+03	1,35E-01
51	505500	3,39E+04	2,90E-05	-4,71E+03	1,22E-01
52	515600	2,92E+04	3,39E-05	-2,75E+03	1,42E-01
53	525700	3,28E+04	2,94E-05	-6,15E+03	1,25E-01
54	535800	3,37E+04	2,72E-05	-1,00E+04	1,19E-01
55	545900	3,25E+04	3,02E-05	-4,61E+03	1,27E-01
56	556000	3,12E+04	3,17E-05	-3,39E+03	1,33E-01
57	566100	2,55E+04	3,52E-05	-8,63E+03	1,55E-01
58	576200	3,09E+04	3,01E-05	-8,52E+03	1,30E-01
59	586300	2,70E+04	3,43E-05	-7,68E+03	1,49E-01
60	596400	3,01E+04	3,20E-05	-5,90E+03	1,36E-01
61	606500	2,85E+04	3,31E-05	-6,99E+03	1,43E-01
62	616500	2,80E+04	3,48E-05	-4,57E+03	1,47E-01
63	626600	3,29E+04	2,87E-05	-7,86E+03	1,24E-01
64	636700	3,10E+04	3,20E-05	-2,81E+03	1,34E-01
65	646800	3,24E+04	3,02E-05	-4,91E+03	1,27E-01
66	656900	3,00E+04	3,28E-05	-3,91E+03	1,38E-01
67	667000	2,73E+04	3,56E-05	-4,49E+03	1,51E-01
68	677100	2,90E+04	3,30E-05	-6,15E+03	1,41E-01
69	687200	3,18E+04	3,05E-05	-5,62E+03	1,29E-01
70	697300	3,34E+04	2,90E-05	-6,00E+03	1,23E-01
71	707400	3,30E+04	2,73E-05	-1,10E+04	1,20E-01
72	717500	2,88E+04	3,34E-05	-5,72E+03	1,43E-01
73	727500	3,17E+04	2,99E-05	-7,46E+03	1,28E-01
74	737600	3,14E+04	2,81E-05	-1,15E+04	1,25E-01
75	747700	3,25E+04	2,87E-05	-8,78E+03	1,24E-01
76	757800	2,98E+04	3,09E-05	-8,86E+03	1,35E-01
77	767900	2,73E+04	3,33E-05	-8,65E+03	1,46E-01
78	778000	2,91E+04	3,19E-05	-8,04E+03	1,38E-01
79	788100	2,99E+04	3,16E-05	-7,23E+03	1,36E-01
80	798200	2,94E+04	3,24E-05	-6,53E+03	1,39E-01
81	808300	2,77E+04	3,34E-05	-7,82E+03	1,45E-01
82	818400	2,90E+04	3,28E-05	-6,65E+03	1,40E-01
83	828500	3,23E+04	2,90E-05	-8,38E+03	1,25E-01
84	838500	2,86E+04	3,36E-05	-5,79E+03	1,43E-01

85	848600	3,02E+04	3,11E-05	-7,71E+03	1,34E-01
86	858700	3,13E+04	3,05E-05	-6,95E+03	1,30E-01
87	868800	3,23E+04	2,93E-05	-7,78E+03	1,26E-01
88	878900	3,08E+04	3,08E-05	-7,27E+03	1,32E-01
89	889000	2,58E+04	3,47E-05	-8,87E+03	1,53E-01
90	899100	2,79E+04	3,27E-05	-8,72E+03	1,43E-01
91	909200	3,01E+04	3,08E-05	-8,42E+03	1,34E-01
92	919300	3,02E+04	2,93E-05	-1,08E+04	1,30E-01
93	929400	2,92E+04	3,11E-05	-9,26E+03	1,37E-01
94	939500	3,08E+04	3,08E-05	-7,20E+03	1,32E-01
95	949500	2,90E+04	3,15E-05	-8,85E+03	1,38E-01
96	959600	2,78E+04	3,25E-05	-9,10E+03	1,43E-01
97	969700	2,86E+04	2,97E-05	-1,21E+04	1,35E-01
98	979800	2,77E+04	3,03E-05	-1,21E+04	1,38E-01
99	989900	2,97E+04	3,02E-05	-1,01E+04	1,33E-01
100	1000000	2,95E+04	3,27E-05	-5,65E+03	1,39E-01
					1,33E-01
					1,33E-03 S/cm

Pengukuran II konduktifitas proton, CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	3,77E+04	2,65E-05	-5,28E+02	1,11E-01
2	11090	3,72E+04	2,69E-05	-4,65E+02	1,12E-01
3	21180	3,70E+04	2,70E-05	-5,74E+02	1,13E-01
4	31270	3,80E+04	2,62E-05	-2,71E+03	1,10E-01
5	41360	3,69E+04	2,70E-05	-1,80E+03	1,13E-01
6	51450	3,73E+04	2,68E-05	-1,74E+02	1,12E-01
7	61550	3,65E+04	2,73E-05	-1,47E+03	1,14E-01
8	71640	3,72E+04	2,69E-05	4,99E+02	1,12E-01
9	81730	3,67E+04	2,72E-05	-1,10E+03	1,14E-01
10	91820	3,64E+04	2,74E-05	-1,76E+03	1,15E-01
11	101900	3,26E+04	2,85E-05	-8,98E+03	1,24E-01
12	112000	5,20E+04	1,92E-05	1,94E+03	8,04E-02
13	122100	3,57E+04	2,80E-05	-1,90E+02	1,17E-01
14	132200	3,67E+04	2,68E-05	-4,69E+03	1,13E-01
15	142300	3,96E+04	2,52E-05	2,44E+03	1,05E-01
16	152400	3,72E+04	2,68E-05	-1,72E+03	1,12E-01
17	162500	2,77E+04	3,41E-05	-6,71E+03	1,47E-01
18	172500	3,39E+04	2,86E-05	-6,19E+03	1,21E-01
19	182600	3,35E+04	2,92E-05	-5,22E+03	1,23E-01
20	192700	2,87E+04	3,33E-05	-6,22E+03	1,43E-01
21	202800	4,34E+04	2,31E-05	-1,25E+02	9,64E-02
22	212900	3,89E+04	2,55E-05	-3,52E+03	1,07E-01
23	223000	3,93E+04	2,35E-05	-1,12E+04	1,02E-01
24	233100	4,20E+04	2,34E-05	-5,84E+03	9,87E-02
25	243200	3,69E+04	2,71E-05	-7,88E+02	1,13E-01
26	253300	2,98E+04	3,30E-05	-3,91E+03	1,39E-01
27	263400	3,52E+04	2,59E-05	-1,10E+04	1,13E-01
28	273500	2,57E+04	3,75E-05	-5,09E+03	1,60E-01
29	283500	3,71E+04	2,61E-05	-6,58E+03	1,11E-01
30	293600	3,58E+04	2,80E-05	-5,25E+02	1,17E-01
31	303700	3,90E+04	2,46E-05	-7,80E+03	1,05E-01
32	313800	3,47E+04	2,82E-05	-5,31E+03	1,19E-01
33	323900	4,29E+04	2,33E-05	-2,91E+02	9,74E-02
34	334000	3,22E+04	3,02E-05	-5,39E+03	1,28E-01
35	344100	3,82E+04	2,50E-05	-8,33E+03	1,07E-01
36	354200	3,30E+04	2,91E-05	-6,73E+03	1,24E-01
37	364300	3,79E+04	2,60E-05	-4,68E+03	1,09E-01
38	374400	3,45E+04	2,78E-05	-7,24E+03	1,19E-01
39	384500	3,24E+04	2,91E-05	-7,98E+03	1,25E-01
40	394500	3,53E+04	2,81E-05	-2,91E+03	1,18E-01

41	404600	3,73E+04	2,68E-05	1,72E+02	1,12E-01
42	414700	3,85E+04	2,59E-05	-1,68E+03	1,09E-01
43	424800	3,51E+04	2,84E-05	-1,85E+03	1,19E-01
44	434900	3,72E+04	2,59E-05	-7,08E+03	1,10E-01
45	445000	3,91E+04	2,55E-05	-2,10E+03	1,07E-01
46	455100	3,69E+04	2,66E-05	-5,16E+03	1,12E-01
47	465200	3,79E+04	2,59E-05	-5,44E+03	1,09E-01
48	475300	3,89E+04	2,42E-05	-9,73E+03	1,04E-01
49	485400	3,87E+04	2,30E-05	-1,37E+04	1,02E-01
50	495500	3,56E+04	2,63E-05	-9,22E+03	1,14E-01
51	505500	3,51E+04	2,79E-05	-5,23E+03	1,18E-01
52	515600	3,99E+04	2,45E-05	-5,83E+03	1,04E-01
53	525700	3,45E+04	2,86E-05	-4,26E+03	1,20E-01
54	535800	4,28E+04	2,28E-05	-6,70E+03	9,66E-02
55	545900	3,28E+04	2,99E-05	-4,69E+03	1,26E-01
56	556000	3,23E+04	2,82E-05	-1,02E+04	1,23E-01
57	566100	3,13E+04	2,95E-05	-9,11E+03	1,28E-01
58	576200	3,60E+04	2,75E-05	-3,31E+03	1,16E-01
59	586300	3,41E+04	2,79E-05	-7,73E+03	1,19E-01
60	596400	3,41E+04	2,84E-05	-6,18E+03	1,20E-01
61	606500	3,37E+04	2,78E-05	-8,62E+03	1,20E-01
62	616500	2,97E+04	3,14E-05	-8,01E+03	1,36E-01
63	626600	3,43E+04	2,84E-05	-5,56E+03	1,20E-01
64	636700	3,41E+04	2,81E-05	-7,03E+03	1,20E-01
65	646800	3,25E+04	3,00E-05	-5,42E+03	1,27E-01
66	656900	3,67E+04	2,66E-05	-5,66E+03	1,13E-01
67	667000	3,55E+04	2,58E-05	-1,07E+04	1,13E-01
68	677100	3,72E+04	2,54E-05	-8,99E+03	1,09E-01
69	687200	3,35E+04	2,86E-05	-6,97E+03	1,22E-01
70	697300	3,17E+04	3,01E-05	-6,96E+03	1,29E-01
71	707400	3,11E+04	3,10E-05	-6,00E+03	1,32E-01
72	717500	3,22E+04	2,98E-05	-6,79E+03	1,27E-01
73	727500	3,08E+04	3,06E-05	-7,62E+03	1,32E-01
74	737600	3,20E+04	2,97E-05	-7,15E+03	1,27E-01
75	747700	3,12E+04	2,87E-05	-1,06E+04	1,27E-01
76	757800	3,90E+04	2,48E-05	-6,97E+03	1,05E-01
77	767900	3,03E+04	3,03E-05	-8,97E+03	1,32E-01
78	778000	3,35E+04	2,80E-05	-8,50E+03	1,21E-01
79	788100	3,37E+04	2,69E-05	-1,08E+04	1,18E-01
80	798200	3,21E+04	2,85E-05	-9,67E+03	1,25E-01
81	808300	3,27E+04	2,81E-05	-9,73E+03	1,23E-01
82	818400	3,34E+04	2,72E-05	-1,05E+04	1,19E-01
83	828500	3,26E+04	2,85E-05	-8,94E+03	1,24E-01
84	838500	3,00E+04	3,02E-05	-9,73E+03	1,33E-01

85	848600	2,92E+04	3,15E-05	-8,69E+03	1,37E-01
86	858700	3,07E+04	2,87E-05	-1,13E+04	1,28E-01
87	868800	3,11E+04	2,96E-05	-9,19E+03	1,29E-01
88	878900	3,24E+04	2,92E-05	-7,65E+03	1,26E-01
89	889000	3,20E+04	2,91E-05	-8,81E+03	1,26E-01
90	899100	2,94E+04	2,94E-05	-1,17E+04	1,32E-01
91	909200	3,00E+04	3,01E-05	-9,83E+03	1,32E-01
92	919300	3,04E+04	2,93E-05	-1,07E+04	1,30E-01
93	929400	3,06E+04	2,91E-05	-1,09E+04	1,29E-01
94	939500	3,19E+04	2,93E-05	-8,58E+03	1,27E-01
95	949500	3,16E+04	2,84E-05	-1,06E+04	1,25E-01
96	959600	3,02E+04	2,79E-05	-1,30E+04	1,27E-01
97	969700	3,07E+04	2,87E-05	-1,13E+04	1,28E-01
98	979800	3,29E+04	2,82E-05	-9,11E+03	1,22E-01
99	989900	3,07E+04	2,90E-05	-1,09E+04	1,28E-01
100	1000000	3,19E+04	2,73E-05	-1,22E+04	1,22E-01
					1,19E-01
					1,19E-03 S/cm

Pengukuran III konduktifitas proton, CV = 0,05 Volt

No	Frequency	Rs(ohm)	G(S)	X(ohm)	σ (S/m)
1	1000	4,00E+04	2,50E-05	-5,07E+02	1,05E-01
2	11090	3,98E+04	2,51E-05	-5,76E+02	1,05E-01
3	21180	3,94E+04	2,54E-05	-7,28E+02	1,06E-01
4	31270	4,04E+04	2,47E-05	6,30E+02	1,03E-01
5	41360	3,88E+04	2,57E-05	-1,75E+03	1,08E-01
6	51450	3,87E+04	2,58E-05	-1,99E+03	1,08E-01
7	61550	3,77E+04	2,65E-05	-1,44E+03	1,11E-01
8	71640	4,22E+04	2,36E-05	-2,10E+03	9,89E-02
9	81730	3,84E+04	2,60E-05	-1,79E+03	1,09E-01
10	91820	3,97E+04	2,51E-05	-2,03E+03	1,05E-01
11	101900	3,01E+04	3,00E-05	9,85E+03	1,32E-01
12	112000	3,53E+04	2,51E-05	-1,27E+04	1,12E-01
13	122100	4,32E+04	2,32E-05	-4,93E+02	9,69E-02
14	132200	7,85E+04	1,26E-05	-7,94E+03	5,30E-02
15	142300	2,86E+04	3,35E-05	6,04E+03	1,43E-01
16	152400	3,89E+04	2,56E-05	-2,11E+03	1,07E-01
17	162500	4,86E+04	2,03E-05	5,86E+03	8,54E-02
18	172500	3,07E+04	3,24E-05	1,66E+03	1,36E-01
19	182600	4,36E+04	2,26E-05	-5,62E+03	9,51E-02
20	192700	3,32E+04	2,98E-05	-3,20E+03	1,25E-01
21	202800	3,04E+04	3,29E-05	4,90E+02	1,37E-01
22	212900	3,88E+04	2,54E-05	-5,01E+03	1,07E-01
23	223000	4,85E+04	2,05E-05	-3,37E+03	8,60E-02
24	233100	4,43E+04	2,07E-05	-1,34E+04	9,04E-02
25	243200	3,50E+04	2,85E-05	-1,39E+03	1,19E-01
26	253300	5,07E+04	1,96E-05	-3,13E+03	8,22E-02
27	263400	3,68E+04	2,53E-05	-9,96E+03	1,10E-01
28	273500	3,83E+04	2,57E-05	4,97E+03	1,08E-01
29	283500	3,72E+04	2,69E-05	1,25E+03	1,12E-01
30	293600	3,94E+04	2,53E-05	-2,55E+03	1,06E-01
31	303700	3,50E+04	2,55E-05	-1,21E+04	1,13E-01
32	313800	3,78E+04	2,63E-05	3,03E+03	1,10E-01
33	323900	3,26E+04	2,97E-05	-5,92E+03	1,26E-01
34	334000	3,28E+04	3,05E-05	-1,53E+02	1,27E-01
35	344100	3,81E+04	2,61E-05	-2,92E+03	1,09E-01
36	354200	3,81E+04	2,60E-05	-3,29E+03	1,09E-01
37	364300	3,64E+04	2,64E-05	-7,43E+03	1,13E-01
38	374400	3,56E+04	2,75E-05	-5,01E+03	1,16E-01
39	384500	3,64E+04	2,63E-05	-7,67E+03	1,12E-01
40	394500	3,61E+04	2,76E-05	-1,58E+03	1,16E-01

41	404600	4,23E+04	2,31E-05	-6,52E+03	9,76E-02
42	414700	3,12E+04	3,05E-05	-6,97E+03	1,31E-01
43	424800	3,61E+04	2,53E-05	-1,12E+04	1,11E-01
44	434900	3,65E+04	2,61E-05	-8,34E+03	1,12E-01
45	445000	3,46E+04	2,68E-05	-9,85E+03	1,16E-01
46	455100	3,82E+04	2,59E-05	-3,97E+03	1,09E-01
47	465200	3,11E+04	3,03E-05	-7,70E+03	1,30E-01
48	475300	3,97E+04	2,40E-05	-8,96E+03	1,03E-01
49	485400	3,40E+04	2,81E-05	-7,32E+03	1,20E-01
50	495500	3,65E+04	2,57E-05	-9,47E+03	1,11E-01
51	505500	3,91E+04	2,46E-05	-7,92E+03	1,05E-01
52	515600	3,68E+04	2,62E-05	-7,28E+03	1,11E-01
53	525700	3,37E+04	2,65E-05	-1,17E+04	1,17E-01
54	535800	3,08E+04	3,12E-05	-6,20E+03	1,33E-01
55	545900	3,70E+04	2,67E-05	-3,98E+03	1,12E-01
56	556000	3,62E+04	2,64E-05	-7,90E+03	1,13E-01
57	566100	3,37E+04	2,89E-05	-5,62E+03	1,23E-01
58	576200	3,42E+04	2,76E-05	-8,27E+03	1,19E-01
59	586300	3,35E+04	2,63E-05	-1,22E+04	1,17E-01
60	596400	3,66E+04	2,61E-05	-7,98E+03	1,12E-01
61	606500	4,25E+04	2,34E-05	-3,91E+03	9,81E-02
62	616500	3,60E+04	2,58E-05	-9,93E+03	1,12E-01
63	626600	3,22E+04	2,77E-05	-1,12E+04	1,23E-01
64	636700	3,51E+04	2,69E-05	-8,49E+03	1,16E-01
65	646800	3,72E+04	2,52E-05	-9,74E+03	1,09E-01
66	656900	3,81E+04	2,58E-05	-4,73E+03	1,09E-01
67	667000	3,30E+04	2,74E-05	-1,08E+04	1,20E-01
68	677100	3,41E+04	2,67E-05	-1,05E+04	1,17E-01
69	687200	3,91E+04	2,46E-05	-7,97E+03	1,05E-01
70	697300	3,51E+04	2,71E-05	-7,81E+03	1,16E-01
71	707400	3,34E+04	2,81E-05	-8,68E+03	1,21E-01
72	717500	4,13E+04	2,24E-05	-1,18E+04	9,74E-02
73	727500	3,37E+04	2,68E-05	-1,12E+04	1,18E-01
74	737600	3,34E+04	2,76E-05	-9,64E+03	1,20E-01
75	747700	3,66E+04	2,65E-05	-6,42E+03	1,13E-01
76	757800	3,56E+04	2,51E-05	-1,22E+04	1,11E-01
77	767900	3,29E+04	2,61E-05	-1,34E+04	1,18E-01
78	778000	3,39E+04	2,70E-05	-1,04E+04	1,18E-01
79	788100	3,39E+04	2,66E-05	-1,12E+04	1,17E-01
80	798200	3,36E+04	2,71E-05	-1,06E+04	1,19E-01
81	808300	3,17E+04	2,89E-05	-9,63E+03	1,26E-01
82	818400	3,41E+04	2,74E-05	-8,93E+03	1,19E-01
83	828500	4,24E+04	2,26E-05	-8,97E+03	9,65E-02
84	838500	3,20E+04	2,76E-05	-1,16E+04	1,23E-01

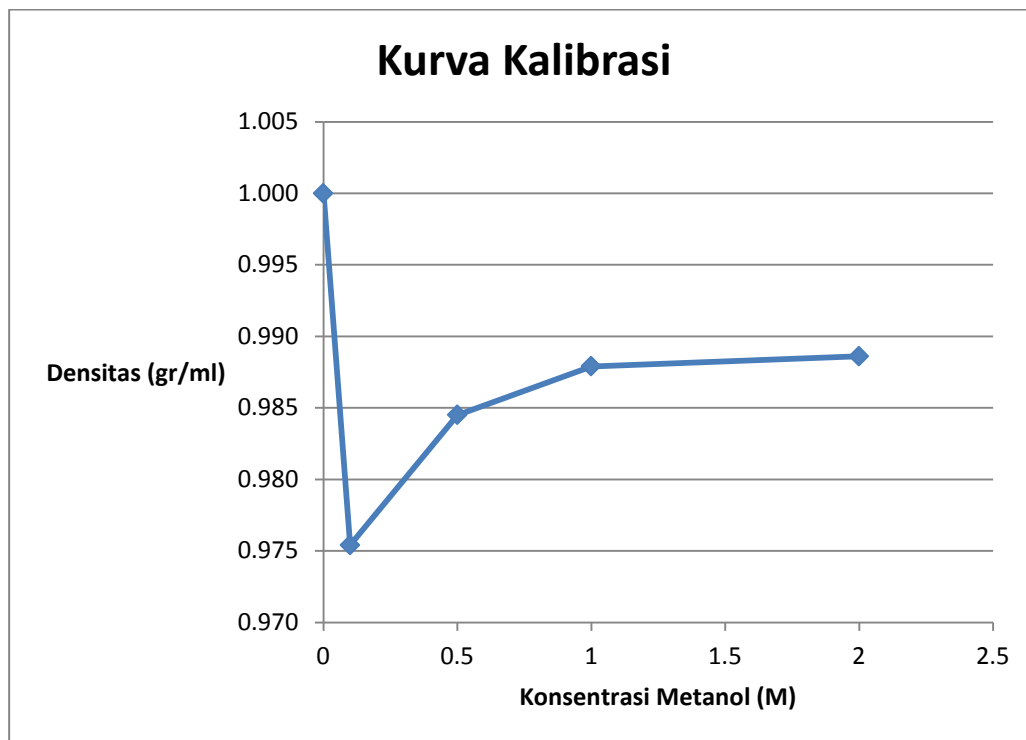
85	848600	3,26E+04	2,82E-05	-9,77E+03	1,23E-01
86	858700	3,87E+04	2,40E-05	-1,08E+04	1,04E-01
87	868800	3,24E+04	2,78E-05	-1,08E+04	1,23E-01
88	878900	3,54E+04	2,57E-05	-1,10E+04	1,13E-01
89	889000	3,26E+04	2,80E-05	-9,96E+03	1,22E-01
90	899100	3,29E+04	2,72E-05	-1,13E+04	1,20E-01
91	909200	3,38E+04	2,78E-05	-8,62E+03	1,20E-01
92	919300	3,18E+04	2,79E-05	-1,14E+04	1,24E-01
93	929400	3,05E+04	3,02E-05	-8,99E+03	1,31E-01
94	939500	3,18E+04	2,93E-05	-8,61E+03	1,27E-01
95	949500	3,37E+04	2,72E-05	-1,03E+04	1,19E-01
96	959600	3,13E+04	3,03E-05	-7,27E+03	1,30E-01
97	969700	3,03E+04	2,92E-05	-1,08E+04	1,30E-01
98	979800	3,25E+04	2,81E-05	-9,92E+03	1,23E-01
99	989900	3,09E+04	2,83E-05	-1,16E+04	1,27E-01
100	1000000	3,22E+04	2,68E-05	-1,28E+04	1,21E-01
					1,14E-01
					1,14E-03 S/cm

Lampiran IV. Perhitungan Permeabilitas Metanol

Larutan Kalibrasi

Larutan kalibrasi didapat dari pembuatan metanol 2M, 1M, 0,5M dan 0,1M

Densitas (



Larutan Sampel

Larutan sampel diambil pada saat 6 jam dengan dimasukkan ke dalam piknometer, ditimbang beratnya kemudian dihitung densitas. Kemudian hasil densitas diplot dengan kurva kalibrasi untuk mendapatkan konsentrasi metanol yang melewati membran (CB).

Komposit membran SPEEK silika/clay 3%

Berat piknometer + larutan di kolom B = 45,6203 gr

Berat piknometer kosong = 20,8894 gr

Volume piknometer = 25 ml

Densitas = $(45,6203 - 20,8894) \text{ gr} / 25 \text{ ml} = 0,989 \text{ gr/ml}$, diinterpolasi terhadap kurva kalibrasi didapat :

$$\text{CB} = 0,02 \text{ M} = 20 \text{ mol/cm}^3$$

$$\text{CA} = 2 \text{ M} = 2000 \text{ mol/cm}^3$$

Luas membran = luas lingkaran membran yang digunakan

$$= 1/4\pi D^2$$

$$D = 2,4 \text{ cm}$$

$$= 1/4\pi(2,4)^2$$

$$= 4,5216 \text{ cm}^2$$

Tebal membran = 0,224 mm = 0,0224 cm

$$\text{VB} = 300 \text{ ml} = 300 \text{ cm}^3$$

$$t_0 = 0 \text{ jam} = 0 \text{ detik}$$

$$t = 6 \text{ jam}$$

$$1 \text{ jam} = 60 \text{ menit}$$

$$1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

$$15 \times 300 \times 0,0251$$

$$DK = \text{-----}$$

$$2000 \times (21600 - 0) \times 4,5216$$

$$DK = 5,78E-07 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Komposit membran SPEEK silika/clay 97%

$$\text{Berat piknometer + larutan} = 45,7128 \text{ gr}$$

Densitas = $(45,7128 - 20,8894) \text{ gr} / 25 \text{ ml} = 0,993$, diinterpolasi terhadap kurva kalibrasi didapat :

$$CB = 0,01 \text{ M} = 10 \text{ mol/ml}$$

$$\text{Tebal membran} = 0,254 \text{ mm} = 0,0254 \text{ cm}$$

Permeabilitas metanol adalah :

$$10 \text{ mol/ml} \times 300 \text{ cm}^3 \times 0,0254 \text{ cm}$$

$$DK = \text{-----}$$

$$2000 \text{ mol/cm}^3 \times (21600 - 0) \text{ s} \times 4,5216 \text{ cm}^2$$

$$= 3,90E-07 \text{ cm}^2/\text{s}$$