

**ADSORPSI SURFAKTAN KATIONIK (HDTMA - Br) DAN ANIONIK (SDS)
PADA *POLYELECTROLYTE BILAYER - MODIFIED ZEOLITE* (PEB - MZ)
SERTA UJI KESTABILAN INTERAKSI POLIELEKTROLIT – SURFAKTAN**

BERNAT HIE

0304030103



UNIVERSITAS INDONESIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN KIMIA

DEPOK

2008

**ADSORPSI SURFAKTAN KATIONIK (HDTMA - Br) DAN ANIONIK (SDS)
PADA *POLYELECTROLYTE BILAYER - MODIFIED ZEOLITE* (PEB - MZ)
SERTA UJI KESTABILAN INTERAKSI POLIELEKTROLIT - SURFAKTAN**

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

Oleh:

BERNAT HIE

0304030103



DEPOK

2008

SKRIPSI : ADSORPSI SURFAKTAN KATIONIK (HDTMA - Br) DAN ANIONIK (SDS) PADA *POLYELECTROLYTE BILAYER – MODIFIED ZEOLITE* (PEB - MZ) SERTA UJI KESTABILAN INTERAKSI POLIELEKTROLIT - SURFAKTAN.

NAMA : BERNAT HIE

NPM : 0304030103

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2008

Dr. Yoki Yulizar, M.Sc

PEMBIMBING I

Dra. Tresye Utari, M.Si

PEMBIMBING II

Tanggal lulus Ujian Sidang Sarjana :

Penguji I : Dr. Ridla Bakri, M.Phil.....

Penguji II : Dr. Ivandini Tribidasari A.....

Penguji III : Dr. Jarnuzi Gunlazuardi.....



*"A little knowledge that acts is worth infinitely
more than much knowledge that is idle."*

-Khalid Gibran-

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, hanya karena kasih dan anugerahNya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis secara khusus ingin mengucapkan terima kasih kepada Mama dan Papa untuk cinta, kasih sayang dan ketulusan yang mereka berikan. Dalam setiap langkah di hidupku, mereka mengajarkan hal-hal berharga yang menguatkan dan membentukkan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kakak-kakakku “lovely sisters” yang selalu mentoleransi gangguan dari adiknya ini, untuk Intan “en en” yang selalu ada mendengarkan, memberi motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Program Hibah Penelitian A3 Departemen Kimia FMIPA, Universitas Indonesia atas dukungan dana penelitian, sehingga penelitian ini dapat berjalan.

Semua yang tertulis dalam skripsi ini merupakan buah dari kerja sama berbagai pihak yang terlibat dalam penelitian. Baik secara langsung maupun tidak langsung, baik yang mereka ketahui atau tidak ketahui semuanya terjalin menjadi suatu kerja sama yang harmonis. Saya merasa sangat beruntung akan bantuan yang saya terima dari berbagai sumber dan saya menghaturkan terima kasih terutama kepada :

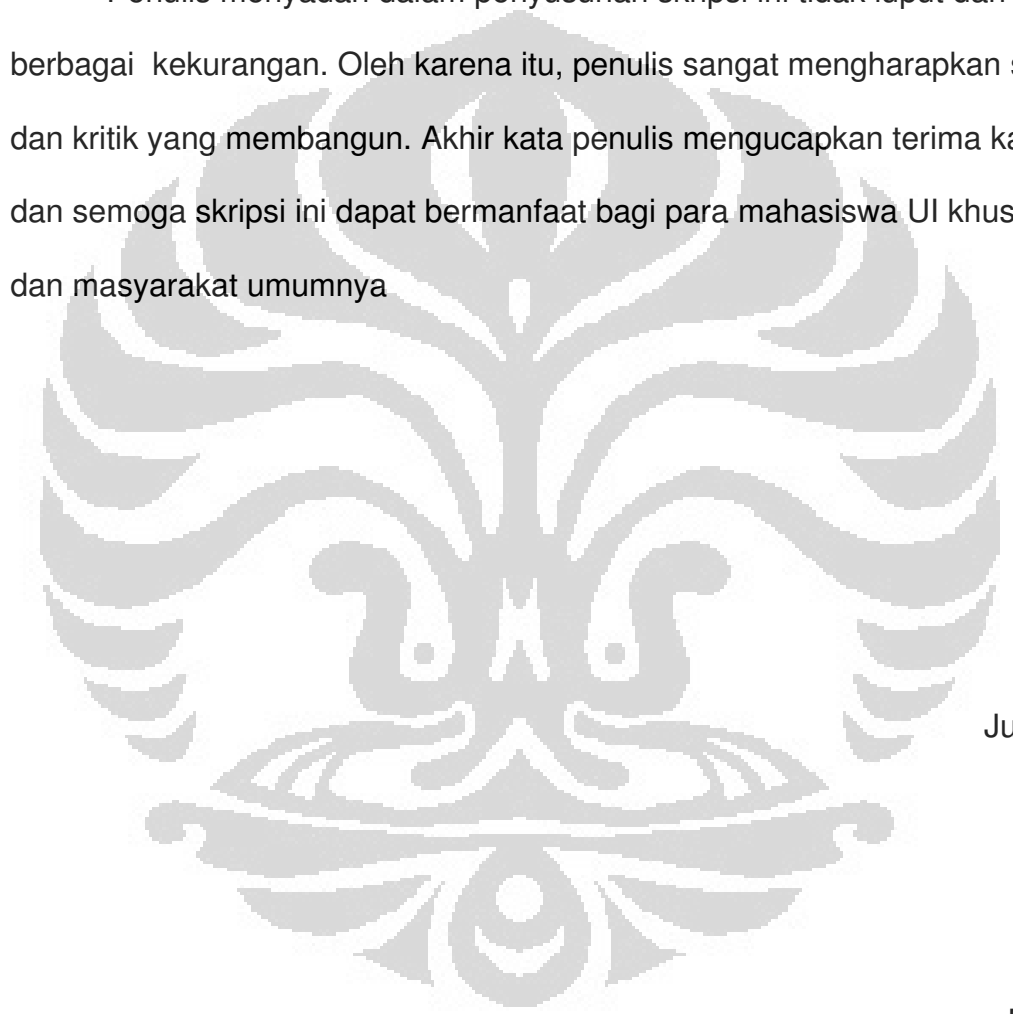
1. Bapak Dr. Yoki Yulizar, M.Sc selaku pembimbing pertama dan pembimbing akademis dan juga Ibu Dra. Tresye Utari, M.Si selaku

pembimbing kedua dan Koordinator Bidang Penelitian Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia. Melalui bimbingan, masukan, ide, dan banyak diskusi-diskusi berharga dengan mereka penelitian, hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

2. Bapak Dr. Ridla Bakri, M.Phil selaku Ketua Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia.
3. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia untuk ilmu yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Hedi Surahman, M.Si , Pak Trisno “Babe” perpus, Pak Marji, Pak Hadi, Mbak Cucu, Mbak Ina, Mbak Ati, Mbak Tri, Mbak Emma, Pak Kiri, Pak Amin dan seluruh staf Departemen Kimia.
5. Sahabat-sahabatku: Calvin Hura, Alex Iskandar, Kurnia SP, Yanti Octavia, Teena, Veronika Y, Adine, Ruth F, Natalia Gunadi dan Lany.
6. Rekan seperjuangan penelitian: Opick, Nur “hehey”, Ratna, Hamim & Hanum, Atul, Basyit, Ari, Ami, Eka, Niezha, Citra, Isal, Tya, ella, Mbak Isti, Santi, Dina A dan Novena.
7. Sahabatku disana yang selalu mensupport: Franky “Fasilkom”, Efrat “Mbandung Institute of Technology”, Poetu (yang terus memotivasi ”kapan selesai skripsi?”), de’ David, Angel, Toni, Junaldo dan Suyanto.
8. Kakak-kakaku: Hendra (PKK ku yang senantiasa sabar), Suminto atas bimbingan dan nasehatnya pada semester-semester awal, Yosephine atas ‘turunan’ buku-bukunya.

9. Teman-teman Angkatan 07 Vero, Jojo, Dante, Chandra, Savitri dan Kurniyasari.
10. Serta seluruh rekan-rekan Kimia 2007, 2006, 2005, 2004, 2003 yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para mahasiswa UI khususnya dan masyarakat umumnya



Juli 2008

Penulis

ABSTRAK

Fabrikasi *Polyelectrolyte Bilayer - Modified Zeolite* (PEB - MZ)

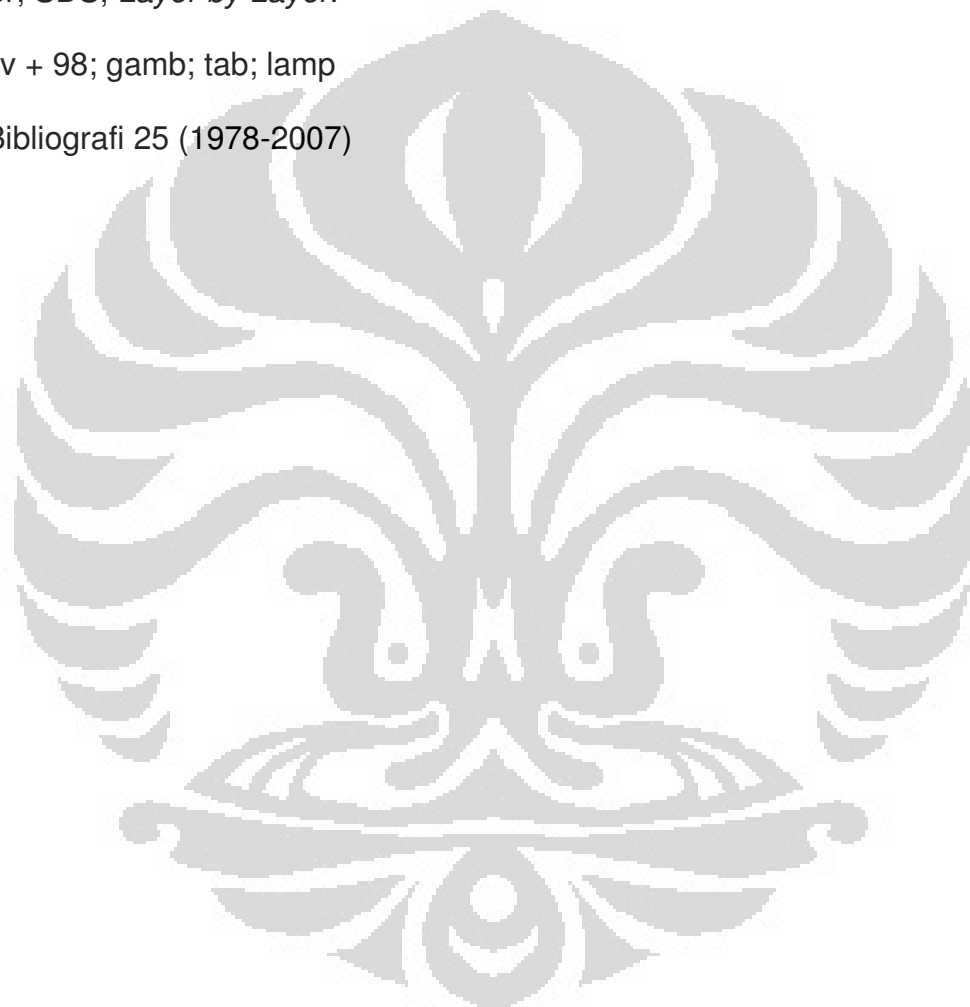
dilakukan dengan mengadsorpsikan zeolit aktif *Clinoptilolite* dengan polikation *Polyallylamine Hydrochloride* (PAH) dan polianion *Polystyrene Sulfonate* (PSS) menggunakan teknik *Layer by Layer* (LbL). PEB - MZ ini dimanfaatkan untuk mengadsorpsi surfaktan kationik *Hexadecyltrimethyl ammonium Bromide* (HDTMA-Br) dan anionik *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS). Proses adsorpsi antara *polyelectrolyte bilayer* dengan surfaktan kationik dan anionik diamati menggunakan Spektrofotometer UV - Vis dan FT - IR. Penelitian ini untuk memfabrikasi PEB – MZ dengan teknik LbL , mencari kondisi optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ, menentukan metode urutan adsorpsi surfaktan dan mempelajari kestabilan interaksi polielektrolit – surfaktan. PEB – MZ telah berhasil dibuat ditandai dengan spektrum FTIR yang menunjukkan gugus - gugus fungsi dari PAH dan PSS. Didapatkan kondisi optimum adsorpsi surfaktan kationik pada PEB - MZ pada konsentrasi HDTMA-Br 0,04 M (93,92% teradsorpsi), waktu pengadukan 60 menit, pH 8,0. Jika dibandingkan, daya adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ 5,35 kali lebih besar daripada nilai ECEC zeolit aktif saja. Interaksi surfaktan dengan polielektrolit sangat kuat, dibuktikan dengan % desorpsi hanya mencapai 6,59% dengan pencucian menggunakan HCl 0,01 N sebanyak 3 kali pada

temperatur ruang, dan 4,82% dengan HCl 0,01 N sebanyak 1 kali pada temperatur 60°C.

Kata kunci: *Polyelectrolyte Bilayer - Modified Zeolite, PAH, PSS, HDTMA - Br, SDS, Layer by Layer.*

xv + 98; gamb; tab; lamp

Bibliografi 25 (1978-2007)



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Zeolit	4
2.1.1 Struktur Zeolit.....	4
2.1.2 Jenis - Jenis Zeolit	5
2.1.3 <i>Clinoptilolite</i>	8
2.2 Polielektrolit.....	8
2.2.1 Jenis Polielektrolit	9
2.2.2 Muatan Polielektrolit	11
2.2.3 <i>Polyallylamine Hydrochloride</i> (PAH).....	12
2.2.4 <i>Polystyrene Sulfonate</i> (PSS)	13
2.2.5 Konformasi Polielektrolit	13
2.2.6 <i>Polyelectrolyte Bilayer</i> (PEB)	15
2.2.7 Tata Nama PEB.....	15

2.2.8 Interaksi Polielektrolit - Surfaktan	16
2.3 Teknik Layer by Layer (LbL).....	17
2.3.1 Keuntungan Teknik LbL.....	18
2.4 Surfaktan.....	19
2.4.1 Klasifikasi Surfaktan	19
2.4.2 Surfaktan kationik HDTMA – Br.....	21
2.4.3 Surfaktan anionik <i>SDS</i>	22
2.4.4 Metode <i>Bromophenol Blue</i> (BPB)	23
2.4.5 Metode <i>Methylene Blue</i> (MB).....	24
2.5 Adsorpsi.....	25
2.5.1 Jenis-jenis Adsorpsi.....	26
2.5.2 Adsorpsi Surfaktan pada Antarmuka Padat - Cair.....	27
2.5.2.1 Mekanisme Adsorpsi Surfaktan.....	27
2.5.2.2 Isoterm Adsorpsi.....	29
2.5.2.3 Isoterm Adsorpsi <i>Langmuir</i>	30
2.5.2.4 Isoterm Adsorpsi <i>Freundlich</i>	32
2.6 Spektrofotometer UV - Vis	33
2.7 Spektrofotometer IR	35
BAB III PERCOBAAN.....	38
3.1 Lokasi.....	38
3.2 Bahan.....	38
3.2.1 Bahan Kimia Kualitas Proanalisis	38
3.2.2 Bahan Kimia Kualitas Teknis	38

3.3 Peralatan	39
3.4 Cara Kerja.....	39
3.4.1 Aktivasi Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	39
3.4.2 Pembuatan Larutan Induk	39
3.4.2.1 Pembuatan Larutan Induk Asam Klorida 1 N.....	39
3.4.2.2 Pembuatan Larutan Induk NaOH 0,1 N.....	40
3.4.2.3 Pembuatan Larutan Induk PAH 1×10^{-4} M.....	40
3.4.2.4 Pembuatan Larutan PAH 1×10^{-7} M; 0,06 M NaCl; pH 2,0.....	40
3.4.2.5 Pembuatan Larutan PSS 1×10^{-4} M; 0,04 M NaCl; pH 3,0.....	40
3.4.2.6 Pembuatan Larutan Induk HDTMA-Br 0,1 M.....	41
3.4.2.7 Pembuatan Larutan Induk SDS 0,1 M.....	41
3.4.2.8 Pembuatan Larutan Induk BPB 5×10^{-4} M.....	41
3.4.2.9 Pembuatan Larutan Induk MB 1×10^{-4} M.....	41
3.4.2.10 Pembuatan Larutan Buffer Phosphat 0,1 M pH 8,0	42
3.4.3 Metode <i>Bromophenol Blue</i> (BPB).....	42
3.4.3.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi HDTMA ⁺	42
3.4.4 Metode <i>Methylene Blue</i> (MB).....	43
3.4.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi DS ⁻	43
3.4.5 Fabrikasi PEB – MZ (Teknik LbL).....	44
3.4.6 Adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB - MZ.....	45
3.4.6.1 Variasi Konsentrasi HDTMA - Br.....	45

3.4.6.2 Variasi Waktu Pengadukan.....	45
3.4.6.3 Variasi pH Larutan HDTMA - Br.....	46
3.4.7 Metode Urutan Adsorpsi Surfaktan pada PEB - MZ.....	46
3.4.7.1 Metode A.....	46
3.4.7.2 Metode B.....	47
3.4.7.3 Metode C.....	47
3.4.8 Interaksi HDTMA ⁺ dengan PEB - MZ.....	48
3.4.8.1 Variasi pH Larutan HCl.....	48
3.4.8.2 Variasi Jumlah Pencucian dengan HCl 0,01 N.....	48
3.4.8.3 Variasi Temperatur.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Aktivasi Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	50
4.2 Fabrikasi PEB – MZ dengan Teknik <i>LbL</i>	50
4.3 Analisis Zeolit dan Zeolit - PAH dengan Spektrofotometer FT - IR.....	52
4.4 Kurva Kalibrasi HDTMA ⁺	54
4.5 Kurva Kalibrasi DS ⁻	57
4.6 Adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB - MZ.....	59
4.6.1 Variasi Konsentrasi HDTMA - Br.....	59
4.6.2 Isoterm Adsorpsi.....	61
4.6.2.1 Isoterm Adsorpsi <i>Langmuir</i> HDTMA ⁺ pada PEB – MZ.....	61
4.6.2.2 Isoterm Adsorpsi <i>Freundlich</i>	62

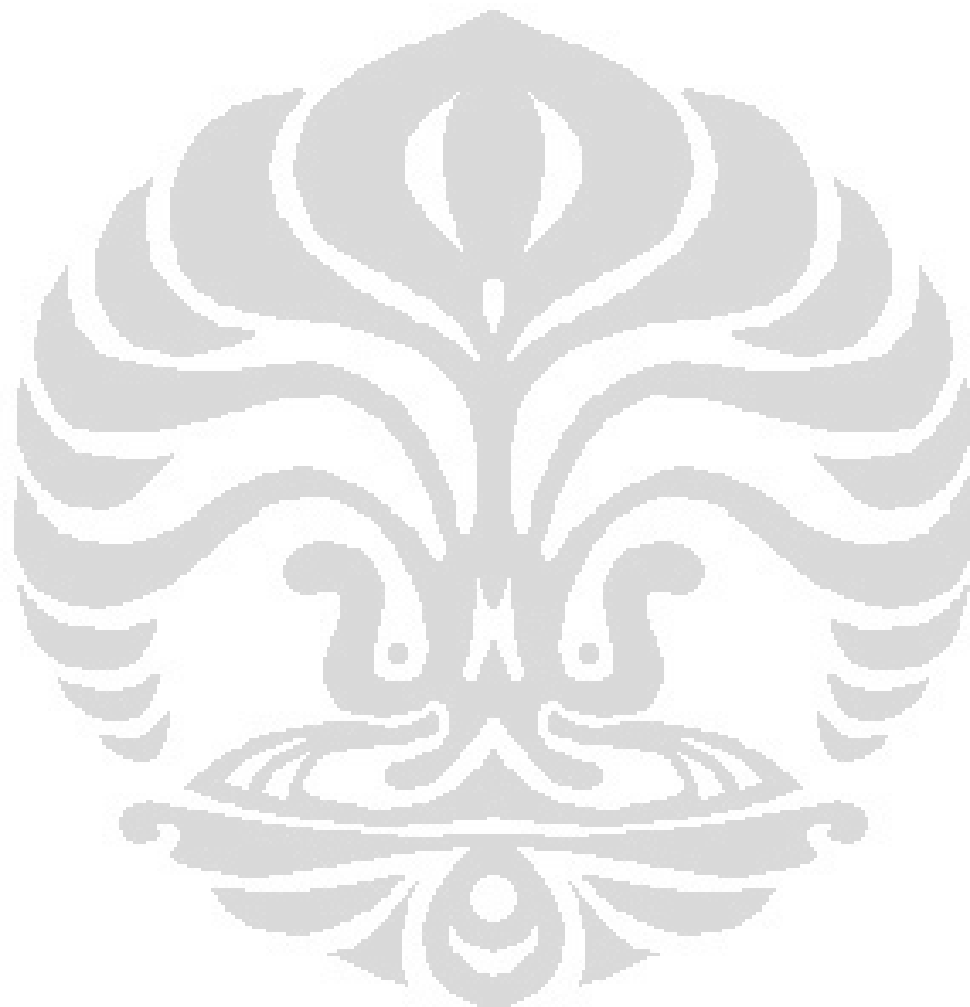
4.6.3 Pengaruh Waktu Pengadukan.....	64
4.6.4 Pengaruh pH Larutan HDTMA - Br.....	65
4.7 Metode Urutan Adsorpsi Surfaktan pada PEB - MZ.....	67
4.7.1 Metode A dan B.....	68
4.7.2 Metode C.....	71
4.8 Uji Kestabilan Interaksi Polielektrolit - Surfaktan.....	72
4.8.1 Pengaruh pH Larutan HCl pada Desorpsi HDTMA ⁺	73
4.8.2 Pengaruh Jumlah Pencucian pada Desorpsi HDTMA ⁺	74
4.8.3 Pengaruh Temperatur pada Desorpsi HDTMA ⁺	75
4.9 Analisis Spektrum FTIR PEB - MZ yang telah Jenuh oleh HDTMA ⁺	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

2.1	Struktur kristal <i>Clinoptilolite</i>	5
2.2	Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	8
2.3	Struktur PAH dan PDADMA.....	10
2.4	Struktur PSS dan PAA	10
2.5	Struktur PSS.....	11
2.6	Struktur PAH dan PAA.....	12
2.7	<i>Polyallylamine Hydrochloride</i>	12
2.8	<i>Polystyrene Sulfonate</i>	13
2.9	<i>Electrostatic blob model</i>	14
2.10	Konformasi polielektrolit	14
2.11	<i>Polyelectrolyte bilayer (PEB)</i>	15
2.12	<i>Pearl necklace model</i>	16
2.13	Teknik <i>Layer by Layer</i>	17
2.14	Struktur molekul surfaktan.....	19
2.15	Struktur surfaktan dan misel HDTMA-Br	22
2.16	Struktur surfaktan dan misel <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>	23
2.17	Struktur <i>Bromophenol blue</i>	24
2.18	Reaksi antara alkil sulfat dengan <i>methylene blue</i>	25
2.19	Pertukaran ion.....	28
2.20	Pasangan ion.....	28

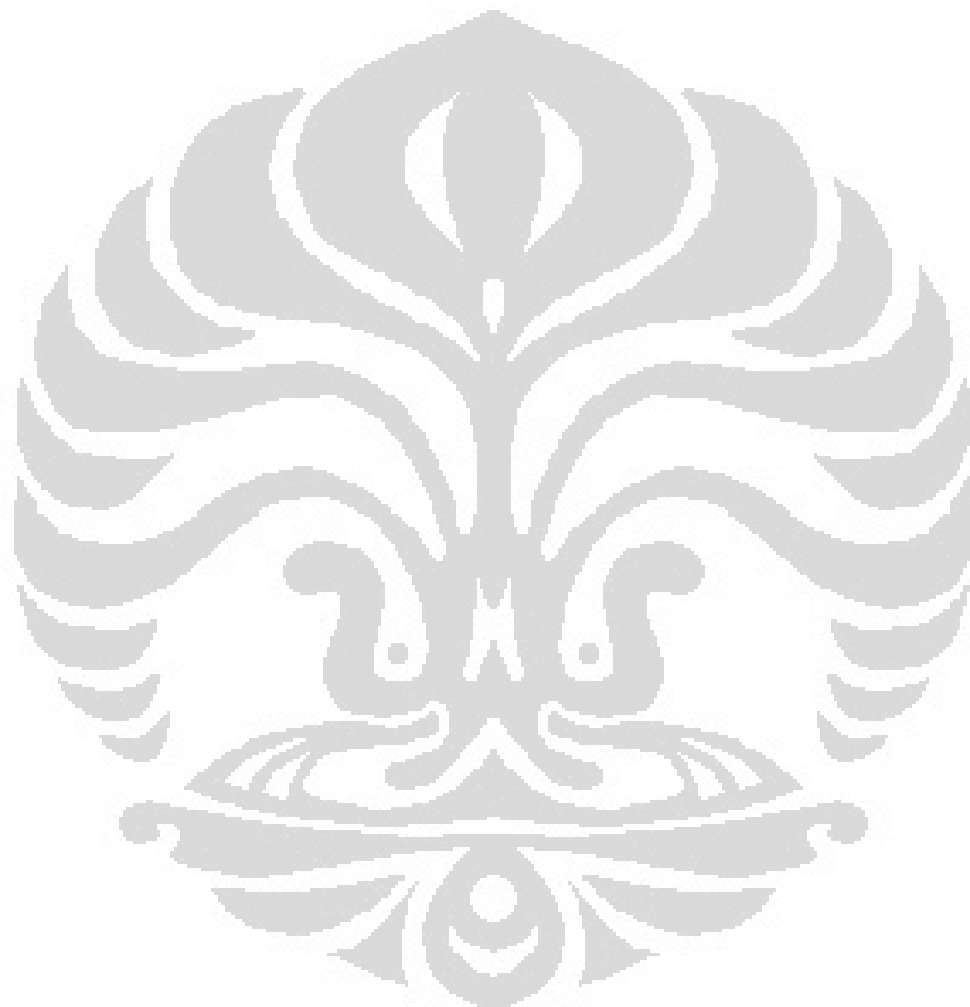
2.21	Ikatan hidrogen.....	28
2.22	Skema alat UV - Vis.....	35
4.1	Skema teknik <i>Layer by Layer</i>	51
4.2	Spektrum FTIR zeolit dan zeolit – PAH.....	53
4.3	Spektrum FTIR zeolit, zeolit – PAH dan PEB – MZ.....	54
4.4	Skema kesetimbangan pembentukan kompleks [HDTMA] ₂ BPB...	55
4.5	Kurva kalibrasi HDTMA ⁺	56
4.6	Deret larutan standar [HDTMA] ₂ BPB	56
4.7	Skema kesetimbangan pembentukan kompleks DS – MB.....	57
4.8	Kurva kalibrasi DS ⁻	58
4.9	Deret larutan standar DS – MB.....	58
4.10	Kurva adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB – MZ.....	60
4.11	Kurva isoterm <i>Langmuir</i> adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB – MZ..	62
4.12	Kurva isoterm <i>Freundlich</i> adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB – MZ..	63
4.13	Kurva variasi waktu pengadukan.....	65
4.14	Kurva variasi pH HDTMA – Br.....	66
4.15	Skema adsorpsi metode A.....	69
4.16	Skema adsorpsi metode B.....	69
4.17	Diagram perbandingan adsorpsi metode A dan B.....	71
4.18	Campuran DS ⁻ & HDTMA ⁺	72
4.19	Skema kesetimbangan sistem kationik / anionik.....	72
4.20	Kurva pengaruh pH pada % desorpsi.....	74
4.21	Diagram pengaruh jumlah pencucian pada % desorpsi.....	75

4.22	Diagram pengaruh temperatur HCl terhadap % desorpsi.....	76
4.23	Interaksi polielektrolit – surfaktan (<i>pearl necklace model</i>).....	77
4.24	Spektrum FTIR keseluruhan.....	78



DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Perbandingan metode urutan adsorpsi A dan B.....	70



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Bagan kerja penelitian.....	86
2. Penentuan surfaktan kationik HDTMA ⁺ (Metode BPB)	87
3. Penentuan surfaktan anionik DS ⁻ (Metode MB).....	88
4. Penentuan adsorpsi HDTMA ⁺ pada PEB – MZ.....	89
5. Penentuan adsorpsi DS ⁻ pada PEB – MZ.....	90
6. Variasi konsentrasi HDTMA ⁺	91
7. Isoterm adsorpsi dan variasi waktu pengadukan HDTMA ⁺	92
8. Variasi pH dan metode urutan adsorpsi surfaktan.....	93
9. Pengaruh pH dan jumlah pencucian terhadap % desorpsi.....	94
10. Pengaruh temperatur terhadap % desorpsi.....	95
11. Spektrum FTIR zeolit, zeolit – PAH... ..	96
12. Spektrum FTIR zeolit, zeolit – PAH dan PEB – MZ.....	97
13. Spektrum FTIR zeolit, zeolit – PAH, PEB – MZ dan PEB – MZ yang telah jenuh oleh HDTMA ⁺	98

BAB I

PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade terakhir, perkembangan dan konsumsi detergen meningkat dengan pesat. Data *Indonesian Commercial Newsletter* mengumumkan total konsumsi detergen untuk wilayah Indonesia pada tahun 2002 mencapai 499,100 ton¹. Masalah muncul ketika detergen sintetik yang mengandung surfaktan sulit didegradasi menjadi molekul-molekul kecil oleh organisme hidup, akibatnya akumulasi molekul surfaktan pada suatu area perairan selain dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, meningkatkan jumlah *foam*, serta mencemari air bersih lingkungan yang nantinya akan menimbulkan banyak kerugian bagi masyarakat. Harus dicari suatu metode adsorpsi limbah detergen sintetik yang efisien, daya adsorpsi besar, murah dan dapat diaplikasikan.

Fabrikasi film polielektrolit dengan metode adsorpsi *Layer by Layer* (LbL) polielektrolit anionik dan kationik adalah teknik yang menjanjikan untuk memodifikasi permukaan dengan cara yang terkendali². Modifikasi permukaan padatan inorganik dengan molekul organik adalah sangat menarik disebabkan karena perubahan sifat-sifat permukaan, seperti daya adsorpsi, sifat pembasahan, respon elektrokimia dan kemampuan transport pada permukaan. Salah satu sifat terpenting dari polielektrolit bilayer tersebut adalah bahwa polielektrolit bilayer tersebut memiliki kelebihan muatan positif

dan negatif, yang memungkinkan bilayer tersebut untuk mengadsorpsi berbagai macam senyawa, seperti surfaktan, zat pewarna (*dyes*), partikel, protein dan lain sebagainya dengan interaksi elektrostatik.

Berbagai penelitian telah dilakukan di bidang kimia permukaan, termasuk adsorpsi menggunakan zeolit aktif sebagai medium adsorbennya ternyata memberikan hasil adsorpsi yang kurang maksimal terhadap daya serap kontaminan yang ingin dihilangkan dari suatu sampel.

Perkembangan selanjutnya mengarah pada fabrikasi elektrostatik *layer by layer* dari polimer bermuatan. Bidang polielektrolit multilayer ini mengalami ledakan peningkatan aktivitas penelitian sejak tahun 1991 dan 1992 ketika Gero Decher menunjukkan bahwa mungkin untuk membangun layer dari polimer yang muatannya berlawanan pada substrat dengan level kontrol molekular dalam struktur multilayer.

Penelitian yang dilakukan Guy Ladam, Gero Decher³ dkk menemukan adanya interaksi kuat (interaksi elektrostatik) antara protein dengan film polielektrolit (PAH/PSS). Ketika muatan multilayer dan protein sama, terbentuk struktur monolayer protein dan ketika muatannya berbeda, jumlah protein yang teradsorpsi menjadi besar dan ketebalan lapisan protein meningkat hingga beberapa kali lipat. Penelitian ini juga mengkonfirmasi bahwa yang mendominasi interaksi multilayer polielektrolit / protein adalah interaksi elektrostatik. Sukhorukov, Decher¹² dkk menemukan adanya penetrasi Acridine Orange (AO^+) zat pewarna spesifik DNA ke dalam film

multilayer ($\text{DNA}^-/\text{PAH}^+$). Didapatkan hubungan yang linear antara ketebalan lapisan film dengan jumlah siklus adsorpsi polielektrolit.

Polyelectrolyte Bilayer – Modified Zeolite (PEB - MZ) adalah substrat zeolit aktif *Clinoptilolite* yang sudah dimodifikasi permukaannya dengan polikation *Polyallylamine Hydrochloride* (PAH) dan polianion *Polystyrene Sulfonate* (PSS), sehingga memiliki kelebihan muatan positif, sekaligus muatan negatif. Kelebihan muatan positif, sekaligus negatif ini dimanfaatkan untuk mengadsorpsi surfaktan kationik dan anionik dengan interaksi elektrostatik.

Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi PEB - MZ (PAH/PSS)₁ dengan teknik *Layer by Layer*, mencari kondisi optimum adsorpsi surfaktan kationik *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) pada PEB-MZ, mengetahui efek tolakan *Coulomb* dan efek hambatan sterik dalam *polyelectrolyte bilayer*, serta mempelajari kestabilan interaksi polielektrolit - surfaktan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminasilikat terhidrat dari unsur-unsur golongan 1 dan 2, seperti natrium, kalium, magnesium, kalsium, stronsium dan barium. Secara struktur, zeolit merupakan kerangka dasar dari aluminasilikat dibentuk dari satuan-satuan tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 secara tiga dimensi membentuk rongga-rongga dan saluran-saluran berdimensi molekular yang saling berhubungan satu sama lain melalui penggunaan bersama atom oksigen ujung.

Zeolit diklasifikasikan sebagai golongan mineral tersendiri, yang dikenal sebagai *molecular sieve material*, untuk menggambarkan kelompok mineral yang memiliki sifat selektif yaitu mampu memisahkan komponen dalam campuran berdasarkan bentuk dan ukuran molekul. Struktur berongga zeolit mampu menyerap atau menyaring sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan rongganya.

2.1.1 Struktur Zeolit

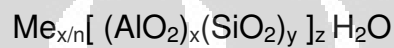
Unit-unit pembentuk struktur zeolit secara garis besar dapat dibagi dua, yaitu:

a) Unit bangun primer

Unit bangun primer merupakan tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 .

b) Unit bangun sekunder

Unit bangun sekunder zeolit merupakan gabungan unit-unit bangun primer yang dapat membentuk berbagai cincin. Secara umum, unit sel zeolit ditulis sebagai berikut:



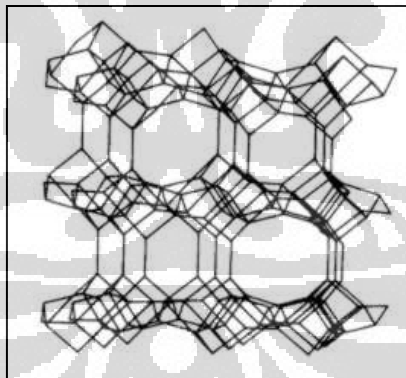
Dimana: Me = kation alkali atau alkali tanah

n = valensi dari kation

x = bilangan tertentu (2 s.d. 10)

y = bilangan tertentu (2 s.d. 7)

z = bilangan tertentu



Gambar 2.1 Struktur kristal *Clinoptilolite*

2.1.2 Jenis-jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dibedakan menjadi dua, yaitu

a) Zeolit alam

Secara alami zeolit dapat terjadi di dalam batuan karang vulkanik sebagai endapan karang vulkanik, yang terdiri atas silikon dioksida dan sejumlah kecil alumina. Daerah yang mempunyai kegiatan vulkanik yang telah berlangsung lama dan terus-menerus, merupakan daerah yang biasanya mengandung zeolit.

Komposisi kimia zeolit bergantung pada komposisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat, dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal ini menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama, mungkin berbeda komposisi kimianya jika diambil dari daerah yang berbeda, karena adanya kombinasi dengan mineral yang berupa partikel halus dan pengotor lainnya. Contoh zeolit alam adalah *Clinoptilolite*, *Mordenit*.

b) Zeolit Sintetis

Karena sifat zeolit yang unik yaitu susunan atom, maupun komposisinya dapat dimodifikasi, maka banyak dilakukan pembuatan zeolit sintetis yang memiliki sifat khusus sesuai kebutuhan, menggunakan proses kimia tertentu. Zeolit sintetis memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan zeolit alam, dan memiliki rasio Si/Al yang dapat disusun sesuai kebutuhan. Bila dilihat dari rasio Si/Al, maka zeolit sintetis dapat dikelompokkan sebagai berikut, yaitu:

a. Zeolit Si rendah

Zeolit ini digunakan untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar karena mempunyai volume pori yang optimum

mencapai $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ volume zeolit. Daya penukar ion dari zeolit maksimum bila perbandingan Si/Al mendekati 1. Contohnya zeolit A dan zeolit X.

b. Zeolit Si sedang

Zeolit jenis ini memiliki perbandingan kadar Si/Al antara 5-10. permukaannya memiliki selektivitas yang tinggi terhadap air dan molekul polar yang lain. Contoh zeolit Si sedang adalah zeolit Omega, zeolit Erionit.

c. Zeolit Si tinggi

Zeolit jenis ini memiliki perbandingan kadar Si/Al antara 10-100 bahkan lebih. Sifatnya sangat hidrofobik, menyerap molekul yang tidak polar atau berinteraksi lemah dalam air dan molekul yang sangat polar, serta baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh zeolit Si tinggi adalah zeolit ZSM-5.

d. Zeolit Si (tanpa Al)

Zeolit jenis ini tidak mengandung Al sama sekali, atau dapat dikatakan tidak mengandung Al sama sekali atau tidak mempunyai sisi kation sama sekali. Sifat zeolit jenis ini sangat hidrofilik-hidrofobik sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air. Contoh zeolit Si adalah Silikalit.

2.1.3 Clinoptilolite³

Zeolit *Clinoptilolite* termasuk ke dalam zeolit kelompok struktur 7. Tipe unit sel $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$ dapat mengandung kation lain, seperti kalsium, kalium atau magnesium. Rasio Si/Al bervariasi dari 4,25 sampai 5,25. Zeolit *Clinoptilolite* memiliki densitas 2,16 g/cc, volume unit sel 2100 \AA^3 dan kestabilan termal di udara hingga temperatur 700°C . Zeolite *Clinoptilolite* sangat stabil terhadap dehidrasi dan dapat mengadsorpsi kembali H_2O dan CO_2 .



Gambar 2.2 Zeolit Clinoptilolite

2.2 Polielektrolit

Polielektrolit adalah spesi makromolekul atau polimer dengan unit berulang yang mengandung gugus-gugus bermuatan di sepanjang 'tulang punggung' polimer yang akan terionisasi atau terdisosiasi dalam larutan aqueous (air) atau pelarut lain menciptakan molekul polimer yang bermuatan.

Sifat-sifat polielektrolit sama seperti elektrolit (garam) dan polimer (senyawa dengan berat molekul tinggi) dan kadang-kadang disebut *polysalts*.

Seperti garam, larutannya bersifat konduktif (menghantarkan listrik). Seperti polimer, larutannya seringkali kental (viscous). Polielektrolit yang dapat ditemukan di alam, termasuk polipeptida (hampir semua protein), DNA dan polisakarida adalah polielektrolit.

Kehadiran gugus bermuatan pada unit berulang (monomer) memiliki efek yang besar pada sifat polielektrolit. Gugus-gugus bermuatan ini meningkatkan kelarutan polimer dalam air, memperbesar dimensi hidrasi dan meningkatkan sensitivitas terhadap kekuatan ion dan pH dibandingkan polimer tidak bermuatan.

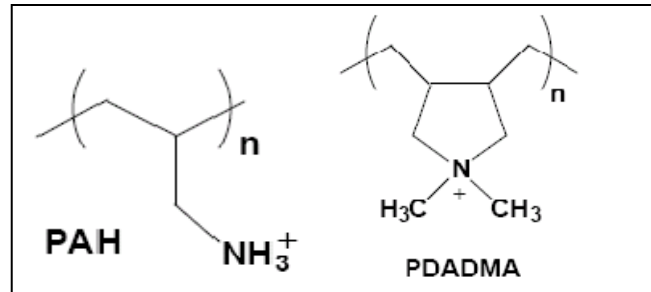
2.2.1 Jenis Polielektrolit

Berdasarkan muatan pada tulang punggung polielektrolit dapat bersifat kationik, anionik atau amphophilik (mengandung gugus kationik dan anionik yang ada pada unit monomer yang sama atau berbeda).

a) Polikation

Polikation adalah spesi polielektrolit yang terdisosiasi di dalam larutan menciptakan molekul polielektrolit bermuatan positif. Contohnya:

Polyallylamine Hydrochloride (PAH) dan *Polydiallyldimethyl Ammonium Chloride (PDADMA)*.

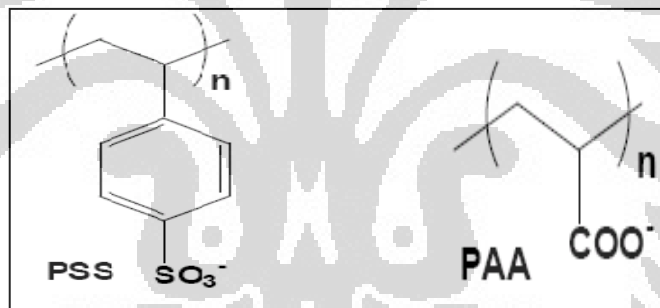


Gambar 2.3 Struktur PAH dan PDADMA

b) Polianion

Polianion adalah spesi polielektrolit yang terdisosiasi di dalam larutan menciptakan molekul polielektrolit bermuatan negatif. Contohnya:

Polystyrene Sulfonate (PSS) dan Polyacrylic Acid (PAA).



Gambar 2.4 Struktur PSS dan PAA

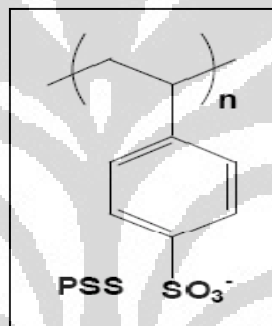
c) Polyampholyte

Polyampholyte adalah spesi polielektrolit yang mengandung gugus kationik dan anionik yang ada pada unit monomer yang sama, maupun berbeda menciptakan molekul polielektrolit bermuatan positif dan negatif. Contohnya: asam amino pada protein.

2.2.2 Muatan Polielektrolit

Asam diklasifikasikan sebagai kuat atau lemah (dan basa juga diklasifikasikan sebagai kuat atau lemah). Sama juga seperti asam basa, polielektrolit juga dapat dibagi menjadi tipe yang kuat dan lemah.

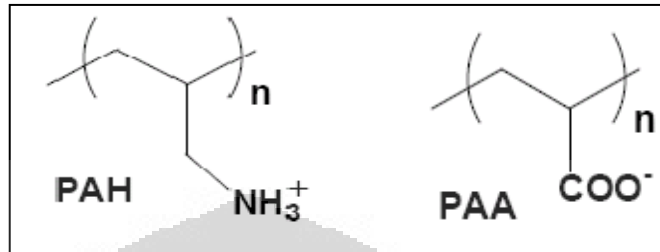
- a) Polielektrolit kuat adalah polielektrolit yang terionisasi sempurna dalam larutan untuk hampir semua nilai pH, contohnya *Polystyrene Sulfonate* (PSS).



Gambar 2.5 Struktur PSS

- b) Polielektrolit lemah adalah polielektrolit yang terdisosiasi secara parsial pada rentang pH memiliki konstanta disosiasi (pK_a atau pK_b) dalam range 2 sampai 10, oleh karena itu polielektrolit lemah tidak sepenuhnya bermuatan dalam larutan dan lebih lagi muatannya dapat dimodifikasi dengan mengganti pH larutan, konsentrasi *counterion* atau kuat ion. Tingkat ionisasi dari polielektrolit lemah biasanya dijelaskan dengan pK_a atau pK_b ; parameter ini menunjukkan nilai pH, dimana tepat setengah dari gugus-gugus bermuatan pada polielektrolit

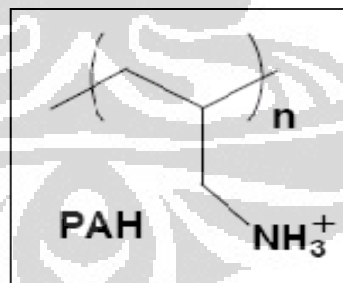
terdisosiasi. Sebagai contoh: pKa *Polyallylamine Hydrochloride* (PAH) = 8,8 dan pKa *Polyacrylic Acid* (PAA) = 6,5.



Gambar 2.6 Struktur PAH dan PAA

2.2.3 *Polyallylamine Hydrochloride*

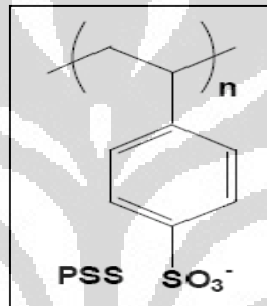
Polikation *polyallylamine Hydrochloride* ini merupakan jenis polimer elektrolit lemah yang bermuatan positif atau bersifat kationik. Polimer ini biasa disebut dengan PAH. Memiliki berat molekul yang bervariasi berkisar antara 15.000-70.000 gram/mol dan nilai pKa = 8,8. Struktur PAH ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 2.7. *Polyallylamine Hydrochloride*

2.2.4 *Polystyrene Sulfonate* (PSS)

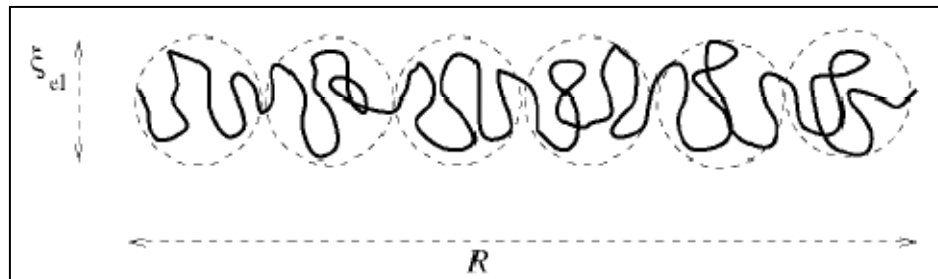
Polianion *Polystyrene Sulfonate* ini merupakan jenis polimer elektrolit yang bermuatan negatif atau bersifat anionik. Polimer ini biasa disebut dengan PSS. *Polystyrene Sulfonate* (PSS) merupakan polielektrolit kuat. Memiliki berat molekul yang bervariasi berkisar antara 15.000-70.000 gram/mol. Struktur PSS ditunjukkan oleh gambar berikut:



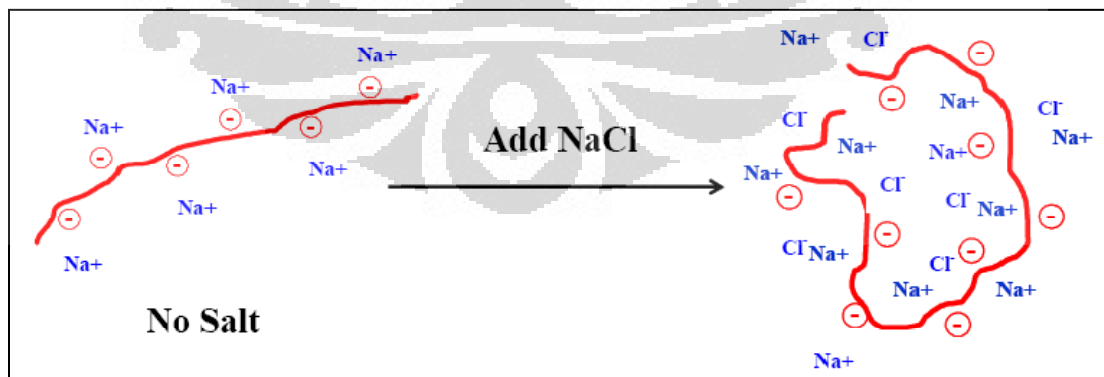
Gambar 2.8 *Polystyrene Sulfonate*

2.2.5 Konformasi Polielektrolit

Konformasi polielektrolit dalam larutan diterangkan dengan *electrostatic blob model*. Suatu polielektrolit tidak bermuatan atau muatannya sangat kecil, maka interaksi elektrostatis tidak muncul dan rantai polielektrolit bersifat *Gaussian* (random). Jika muatan polielektrolit tinggi, maka rantai polielektrolitnya meregang karena tolakan elektrostatis antara unit monomernya.

Gambar 2.9 *Electrostatic blob model*

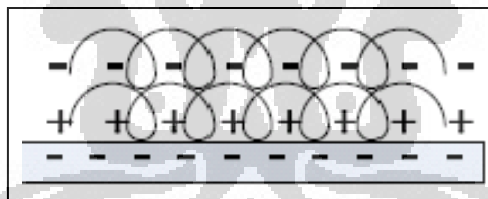
Konformasi polimer dipengaruhi oleh beberapa faktor: arsitektur polimer dan afinitas pelarut, untuk polielektrolit juga dipengaruhi efek muatan. Polielektrolit dalam larutan yang mengandung konsentrasi garam rendah, cenderung dalam bentuk linear dan tidak melingkar (*uncoil*) disebabkan karena tolakan intramolekular dari gugus-gugus bermuatan pada unit monomer polielektrolit menyebabkan rantai polielektrolit lebih lurus (*flat*). Sedangkan dalam larutan yang mengandung konsentrasi garam tinggi, polielektrolit cenderung dalam bentuk yang lebih tebal dan melingkar (*coil*), disebabkan karena efek penetralan muatan polielektrolit oleh kehadiran *counterion* dari garam yang berlebihan dalam larutan.



Gambar 2.10 Konformasi polielektrolit

2.2.6 *Polyelectrolyte Bilayer (PEB)*

Polielektrolit telah difungsikan pada pembentukan tipe material baru dikenal sebagai *Polyelectrolyte Bilayer (PEB)*. Lapisan film tipis ini dikonstruksi menggunakan teknik deposisi layer-by-layer (LbL). Selama proses adsorpsi (*dipped*) sejumlah polielektrolit teradsorpsi dan muatan permukaannya menjadi berlawanan, memungkinkan pembangunan gradual dan terkontrol dari lapisan film polikation dan polianion. *Bilayer* didefinisikan sebagai deposisi satu lapisan polikation diikuti dengan deposisi satu lapisan polianion. *Polyelectrolyte bilayer (PEB)* dibentuk dengan satu siklus pada teknik *Layer by Layer*. Film LbL juga dapat dikonstruksi memanfaatkan ikatan hidrogen selain interaksi elektrostatik.



Gambar 2.11 Polyelectrolyte bilayer (PEB)

2.2.7 Tata Nama *Polyelectrolyte Bilayer*

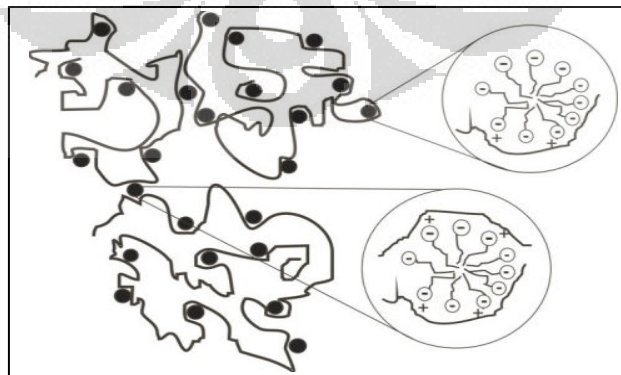
Untuk menjelaskan design molekular dari film *Polyelectrolyte Bilayer*, maka digunakan tata nama dibawah ini:



Dimana *Polimer 1* dan *polimer 2* adalah singkatan dari kedua polielektrolit pembentuk film. *Polimer 1* adalah polikation, polielektrolit pertama yang dideposisikan pada substrat, sedangkan *Polimer 2* adalah polianion, polielektrolit kedua yang dideposisikan pada polikation. Variabel x dan y menunjukkan nilai pH dari larutan yang mengandung *Polimer 1* dan *Polimer 2* secara berurutan. Terakhir, z merepresentasikan jumlah *bilayer* yang dideposisikan membentuk film dan c adalah molaritas dari garam NaCl.

2.2.8 Interaksi Polielektrolit Surfaktan

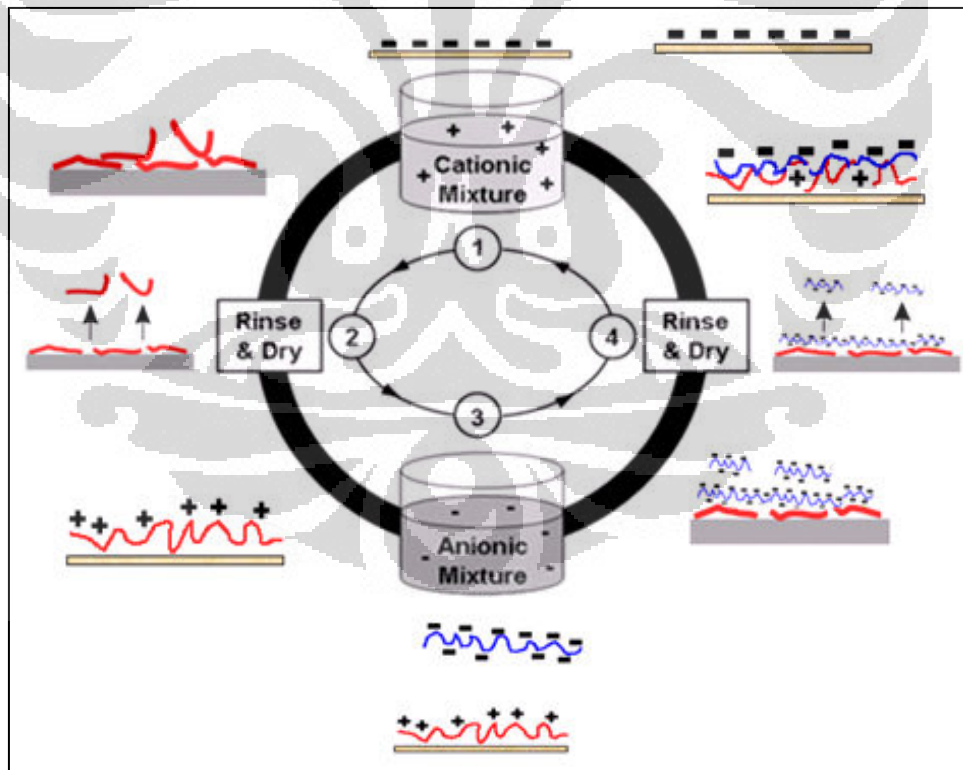
Interaksi antara polielektrolit dengan surfaktan dijelaskan oleh V. Haramus dengan *pearl necklace model*. Percobaan *small-angle neutron scattering* pada campuran polielektrolit dan surfaktan yang berlawanan muatan menunjukkan model yang cukup dikenal *pearl necklace model*. Kerangka polielektrolit berperan sebagai *shell* atau *template* bagi misel surfaktan (inti dari agregat). Formasi seperti ini menciptakan interaksi sangat kuat antara polielektrolit dengan surfaktan.



Gambar 2.12 *Pearl necklace model*

2.3 Teknik Layer by Layer

Teknik *Layer by Layer* pertama kali dicetuskan oleh Iler pada tahun 1966, akan tetapi pada tahun 1991 Hong dan Decher memperluas teknik tersebut dan membawanya pada sains material. Teknik ini melibatkan pencucian substrat atau support padat ke dalam larutan polielektrolit yang berlawanan muatan diikuti dengan langkah pencucian dan pengeringan diantara kedua larutan polielektrolit tersebut. Langkah pencucian ini dimaksudkan untuk menyingkirkan polielektrolit yang tidak terikat kuat pada permukaan. *Polyelectrolyte bilayer* (PEB) dibentuk dengan satu siklus pada teknik *Layer by Layer*.



Gambar 2.13 Teknik *Layer by Layer*

2.3.1 Keuntungan Teknik Layer by Layer

Teknik *Layer by Layer* ini sangat menjanjikan, dibandingkan dengan banyak teknik deposisi dalam literatur, seperti deposisi vakum, penguangan pelarut, pelapisan berputar atau deposisi Langmuir-Blodgett.

Deposisi vakum memerlukan instrumentasi spesial yang mahal dan jenis substrat yang spesifik. Penguangan pelarut menciptakan film yang tebal dan tidak seragam. Teknik paling akhir deposisi Langmuir-Blodgett (LB) mengharuskan substrat yang licin, homogen dan memiliki bentuk yang regular. Deposisi LB ini juga membutuhkan instrumentasi yang mahal dan teknik yang lambat. Sedangkan teknik *Layer by Layer* sangat cepat, *reproducible*, murah dan ramah lingkungan, serta tidak membutuhkan instrumentasi vakum atau special lainnya. Teknik ini dapat digunakan untuk membuat film dari berbagai material, seperti polimer, komposit, *clay*, protein, pewarna, carbon nanotube atau nanopartikel. Diatas semuanya itu, teknik LbL ini menawarkan kontrol ketebalan yang sangat presisi dan keseragaman dari lapisan hingga skala nanometer.

Interaksi elektrostatik antara polielektrolit kationik dan anionik memiliki keuntungan:

- a) Konstruksi lapisan demi lapisan yang disebabkan pembalikan muatan permukaan pada tiap lapisan.
- b) Pembatasan hanya pada satu lapisan yang disebabkan tolakan antara lapisan terakhir dengan material yang berlebih.

- c) Deposisi pada hampir setiap pelarut yang sesuai dengan permukaan.
- d) Efek sterik yang kecil untuk interaksi antara polielektrolit kationik dan anionik.

2.4 SURFAKTAN

Surfaktan (*surface active agent*) adalah suatu zat yang mempunyai sifat adsorpsi pada antarmuka atau permukaan dan dapat merubah sifat antarmuka, misalnya tegangan permukaan, sifat pembasahan, daya bersih, daya dispersi dan lain-lain. Molekul surfaktan memiliki gugus hidrofobik (tidak suka akan pelarut polar) dan gugus hidrofilik (suka akan pelarut polar). Gugus hidrofobik pada umumnya hidrokarbon yang terdiri dari 8 sampai dengan 22 atom C, sedangkan gugus hidrofiliknya terdiri atas gugus karboksilat, sulfonat, sulfat, garam ammonium kuarterner dan polioksietilen.



Gambar 2. 14 Struktur molekul surfaktan

2.4.1 Klasifikasi Surfaktan

Berdasarkan gugus hidrofiliknya, surfaktan digolongkan sebagai berikut :

- a) Surfaktan anionik, yaitu surfaktan dengan bagian aktif permukaannya membawa muatan negatif. Surfaktan yang termasuk golongan ini adalah garam-garam alkali dari asam karboksilat organik dengan panjang rantai biasanya antara C₁₂ hingga C₁₈, alkil sulfat atau alkil aril sulfonat.

Contohnya : *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3^- \text{Na}^+$

Natrium stearat, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}^- \text{Na}^+$

- b) Surfaktan kationik, yaitu surfaktan dengan bagian permukaannya membawa muatan positif. Surfaktan yang termasuk golongan ini adalah garam-garam amina atau diamin, garam ammonium kuarterner dan garam-garam amina siklik.

Contohnya : Dodesilamin Hidroklorida, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$

Hexadecyltrimethylammonium bromide,

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Br}^-$

- c) Surfaktan amfoter, yaitu surfaktan yang mengandung muatan positif maupun negatif pada bagian permukaannya, tergantung pada pH larutan. Pada pH dibawah 7, surfaktan ini bersifat kationik, sedangkan pada pH diatas 7, surfaktan ini bersifat anionik.

Contohnya : Dodesil Betain, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$

- d) Surfaktan non ionik, yaitu surfaktan dengan bagian aktif permukaannya tidak membawa muatan (tidak terionisasi di dalam larutan). Molekul surfaktan ini dapat larut karena mempunyai rantai hidrokarbon yang berikatan dengan gugus polar non ionik. Surfaktan yang termasuk dalam golongan ini adalah ester dari polialkohol, kondensat etilen oksida dari

alkohol rantai panjang seperti oleil atau asetil alkohol maupun kondensat etilen oksida dari asam lemak.

Contohnya : *Tergitol*, $C_{15}POE_{40}$, $C_9H_{19}C_6H_4O(CH_2-CH_2O)_{40}H$

Poliostilen lauril eter, $C_{12}H_{25}O(C_2H_4O)_8H$

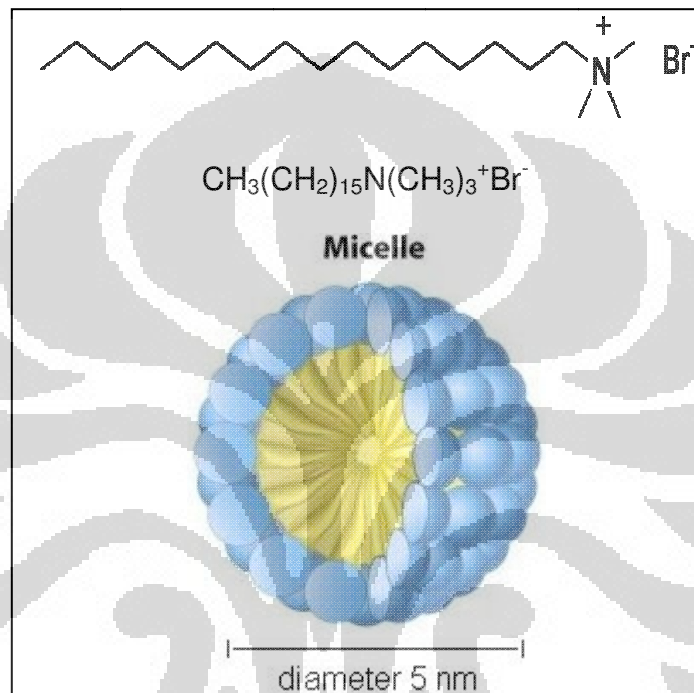
Surfaktan yang digunakan pada penelitian ini adalah surfaktan kationik *Hexadecyltrimethylammonium bromide* (HDTMA - Br) dan anionik *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS).

Surfaktan berada bebas dalam larutan bila konsentrasi surfaktan dalam larutan rendah. Tetapi jika konsentrasi surfaktan dalam larutan tinggi hingga mencapai keadaan dimana gugus-gugus hidrofob surfaktan saling bertemu membentuk agregat, maka surfaktan tersebut berada dalam bentuk misel. Konsentrasi surfaktan ketika mulai membentuk misel disebut *Critical Micelle Concentration* (CMC).

2.4.2 Surfaktan kationik HDTMA - Br

HDTMA - Br adalah surfaktan kationik yang dapat membentuk misel dalam larutan aqueous. Pada temperatur 303 K (30°C) membentuk misel dengan bilangan agregasi 75-120 (tergantung metode penentuan bilangan agregasi, tetapi biasanya rata-rata 95) dan diameter misel ≈ 5 nm. CMC HDTMA-Br berada pada konsentrasi 9×10^{-4} M dan berat molekul relatif 364,45 gram/mol.

Kation *Hexadecyltrimethylammonium* adalah agen antiseptik yang efektif melawan bakteri dan jamur. Kation *Hexadecyltrimethylammonium* banyak digunakan pada produk-produk kondisioner rambut, shampoo dan kosmetik.

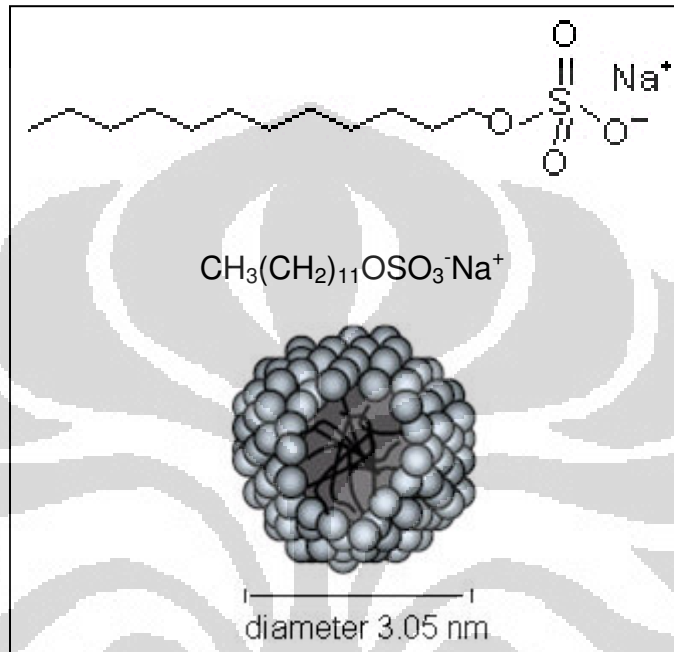


Gambar 2.15 Struktur surfaktan dan misel HDTMA - Br.

2.4.3 Surfaktan anionik SDS

Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) adalah surfaktan anionik dapat membentuk misel dalam larutan aqueous. Pada temperatur 303 K (30⁰C) membentuk misel dengan bilangan agregasi rata-rata 70 dan diameter misel $\approx 3,05$ nm. CMC SDS berada pada konsentrasi 8×10^{-3} M dan berat molekul relatif 288,38 gram/mol.

Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* dapat dijumpai di banyak produk sabun, detergen, pembersih karpet dan pasta gigi. Surfaktan anionik ini tergolong murah dan efektif sebagai *foamer*.



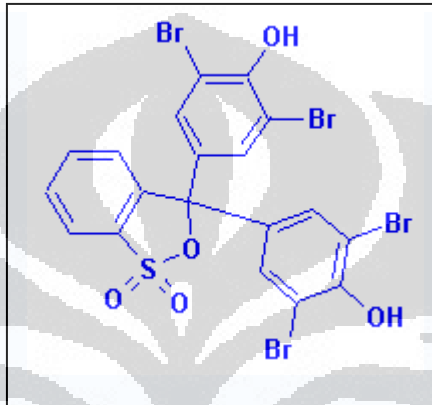
Gambar 2. 16 Struktur surfaktan dan misel *Sodium Dodecyl Sulfate*

2.4.4 Metode *Bromophenol Blue* (BPB)

Metode *Bromophenol blue* (BPB) digunakan untuk penentuan surfaktan kationik dalam larutan dan diukur menggunakan Spektrofotometer *Visible* pada panjang gelombang 605 nm.

Tetrabromophenolsulfonephthalein adalah indikator asam basa dimana trayek indikatornya antara pH 3,0 (kuning) dan 4,6 (ungu), reaksinya reversibel. Pada pH sedang *Bromophenol blue* memiliki muatan negatif. *Bromophenol blue* juga digunakan sebagai zat pewarna. Pada pH netral,

BPB mengabsorpsi sinar merah dan mentransmisikan sinar biru, larutan mengandung BPB menjadi berwarna biru. Pada pH rendah, BPB mengabsorb sinar ultraviolet dan biru dan muncul warna kuning di larutan. Berat molekul relatif *Bromophenol blue* adalah 672 gram/mol.



Gambar 2.17 Struktur *Bromophenol blue*

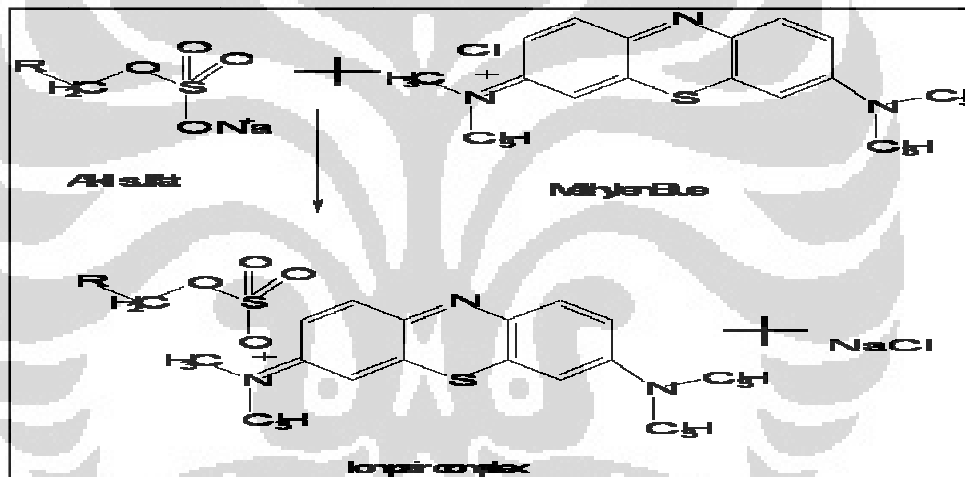
2.4.5 Metode *Methylene Blue Alkyl Substance* (MBAS)

Penentuan kadar surfaktan anionik dalam larutan, digunakan metode *Methylene Blue Alkyl Substance* (MBAS) dan diukur menggunakan Spektrofotometer *Visible* pada panjang gelombang 652 nm.

Methylene blue adalah suatu zat pewarna kationik. Berat molekul relatif MB adalah 350 gram/mol. MBAS adalah suatu cara pemindahan / transfer *methylene blue* dari larutan kedalam cairan organik yang tidak saling bercampur. Pemindahan ini dapat terjadi bila terbentuk pasangan ion antara surfaktan anionik dan kation *methylene blue*. Intensitas pembentukan warna biru dalam fasa organik merupakan ukuran MBAS. Surfaktan anionik baik

yang alamiah maupun sintetik menunjukkan aktivitas *methylene blue* yang paling baik.

Zat yang dapat diukur dengan metode ini adalah surfaktan anionik bukan sabun (e.g., garam asam lemak, $\text{RCO}_2^-\text{Na}^+$). Sebagai surfaktan, MBAS dapat berupa garam tipe sulfonat ($\text{RSO}_3^-\text{Na}^+$, ester sulfat ($\text{ROSO}_3^-\text{Na}^+$ dan surfaktan non ionik sulfat ($\text{RE}_n\text{OSO}_3^-\text{Na}^+$, yang semuanya dapat diekstraksi secara sempurna oleh kloroform. Reaksi yang terjadi (Gambar 2.18).



Gambar 2. 18 Reaksi antara alkil sulfat dengan *methylene blue*

2.5 ADSORPSI¹⁵

Pada bidang batas suatu fasa dengan fasa lain terjadi ketidakseimbangan antara gaya kohesi partikel sefasa dengan gaya adhesi partikel antarfasa. Ketidakseimbangan ini menyebabkan sejumlah partikel

bergerak ke bidang batas antar fasa dan terakumulasi di sana, sehingga terjadi peristiwa adsorpsi.

Adsorpsi merupakan penyerapan suatu zat terhadap permukaan zat lain. Dalam proses adsorpsi terjadi ikatan yang kuat antara permukaan adsorben dengan molekul-molekul adsorbat.

2.5.1 Jenis-jenis Adsorpsi

Berdasarkan jenis ikatan, proses adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 golongan, yaitu:

a) Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan molekul-molekul adsorben. Jenis adsorpsi ini tidak reversible dan hanya membentuk lapisan tunggal. Adsorpsi kimia umumnya terjadi pada temperatur tinggi, dimana kalor adsorpsinya juga tinggi.

b) Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi bila molekul-molekul adsorbat bergabung / terikat karena adanya gaya tarik-menarik yang relatif lemah dengan permukaan adsorben, gaya yang terjadi adalah gaya Van der Waals. Adsorpsi berlangsung cepat, reversible, dan panas adsorpsinya rendah. Adsorbat pada adsorpsi fisika tidak terikat secara kuat pada

permukaan adsorben, sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain.

2.5.2 Adsorpsi Surfaktan pada Antarmuka Padat - Cair

Adsorpsi surfaktan pada permukaan antarmuka padat - cair sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

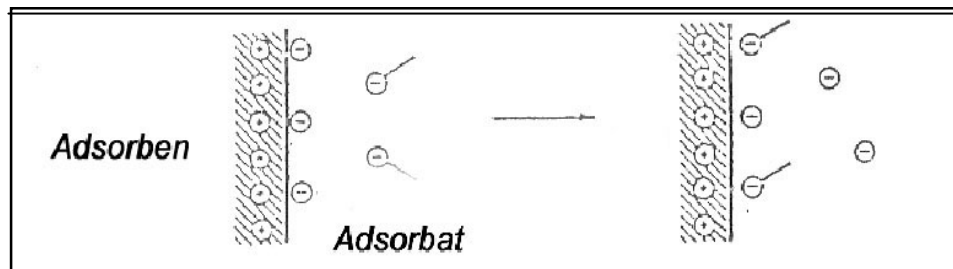
- a) Sifat dari gugus struktur surfaktan pada permukaan padatan; apakah permukaan memiliki sisi muatan yang kuat atau gugus nonpolar.
- b) Struktur molekul surfaktan ketika diadsorpsi; apakah ionik atau non ionik, dan apakah gugus hidrofobiknya panjang atau pendek, memiliki rantai lurus atau bercabang, alifatik atau aromatik.
- c) Lingkungan pada larutan; seperti pH, elektrolit, kehadiran aditif, dan suhu.

Dari faktor-faktor tersebut kita dapat memperkirakan sampai sejauh mana mekanisme adsorpsi terjadi, efisiensi dan keefektifan adsorpsi.

2.5.2.1 Mekanisme Adsorpsi Surfaktan

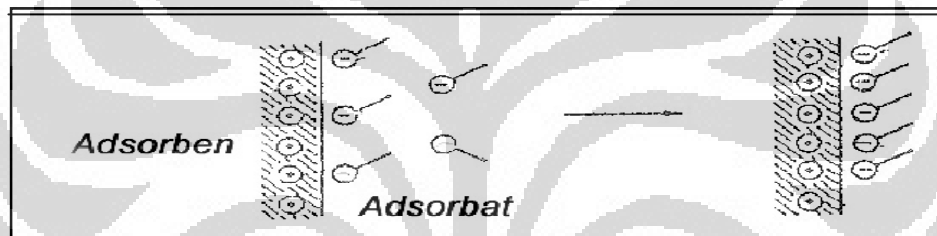
Ada beberapa jenis mekanisme zat aktif permukaan (seperti surfaktan) yang teradsorpsi pada substrat padat dari larutan, yakni :

1. Pertukaran ion (Gambar 2.19); penggantian *counter ion* yang diadsorpsi pada substrat dari larutan dengan ion surfaktan bermuatan serupa.



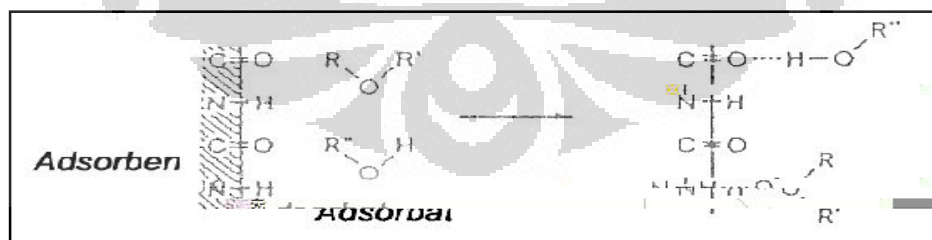
Gambar 2.19 Pertukaran ion

2. Pasangan ion (Gambar 2.20); Adsorpsi ion surfaktan dari larutan pada sisi muatan lawan yang kosong oleh *counter ion*.



Gambar 2.20 Pasangan ion

3. Ikatan hidrogen (Gambar 2.21); Adsorpsi dengan pembentukan ikatan hidrogen antara substrat-adsorbat.



Gambar 2.21 Ikatan hidrogen

4. Adsorpsi dengan polarisasi elektron π ; terjadi ketika adsorbat yang mengandung inti aromatik yang kaya elektron dan adsorben padat yang bermuatan positif kuat. Gaya tarik menarik keduanya menghasilkan adsorpsi.
5. Adsorpsi dengan gaya dispersi; terjadi melalui gaya dispersi london-van der Waals diantara molekul adsorben-adsorbat. Mekanisme adsorpsi ini umumnya meningkat dengan peningkatan dalam berat molekul adsorbat. Mekanisme ini penting juga sebagai mekanisme tambahan dalam keseluruhan tipe mekanisme lainnya.
6. Ikatan hidrofobik; terjadi ketika kombinasi saling tarik menarik antara gugus hidrofobik molekul surfaktan dan kecenderungannya untuk terlepas dari lingkungan *aqua* menjadi besar, sehingga memungkinkan mereka teradsorpsi pada permukaan padat dengan rantai agregatnya. Adsorpsi molekul surfaktan dari fasa cair atau molekul surfaktan yang sesuai telah diadsorpsi pada adsorben padat juga dapat terjadi dengan mekanisme ini.

2.5.2.2 Isoterm Adsorpsi

Eksperimen adsorpsi pada antar muka padat - cair biasanya melibatkan penentuan perubahan konsentrasi adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi terjadi. Metoda yang sering digunakan untuk mengevaluasi mekanisme adsorpsi adalah berdasarkan pada isoterm adsorpsi.

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk menentukan isoterm pada antar muka padat - cair, yaitu :

- a) Jumlah surfaktan yang diadsorpsi per satuan masa atau satuan luas dari adsorben padat yakni konsentrasi permukaan surfaktan (adsorbat) pada suhu tertentu. Hubungannya adalah dengan ukuran seberapa luas permukaan adsorben telah tertutupi atau dirubah dengan proses adsorpsi.
- b) Konsentrasi kesetimbangan dari surfaktan dalam fasa cair yang diperlukan untuk menghasilkan konsentrasi surfaktan pada suhu tertentu. Hal ini digunakan untuk mengukur efisiensi dari surfaktan yang diadsorpsi.
- c) Konsentrasi surfaktan pada saat permukaan jenuh dan suhu tertentu. Hal ini digunakan untuk mengukur efektifitas dimana surfaktan diadsorpsi.
- d) Orientasi surfaktan teradsorpsi dan parameter lain untuk menentukan mekanisme reaksi adsorpsi. Pengetahuan mekanisme adalah untuk memprediksikan bagaimana surfaktan dengan struktur molekul tertentu akan mengadsorpsi pada permukaan.
- e) Pengaruh adsorpsi pada sifat lain dari adsorben.

2.5.2.3 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Jenis isoterm adsorpsi yang umum diamati dalam adsorpsi dari larutan surfaktan adalah isoterm adsorpsi *Langmuir* , dijelaskan dalam persamaan

$$\frac{C_2}{C_2^s} = \frac{1}{C_m^s} \cdot C_2 + \frac{a}{C_m^s} \text{ dimana :}$$

C_2^s = konsentrasi adsorbat terserap (mol/L)

C_m^s = konsentrasi adsorbat terserap pada adsorpsi monolayer (mol/Kg)

C_2 = konsentrasi pada saat kesetimbangan dalam fasa cair (mol/L)

a = tetapan $\left[= 55,5 \exp\left(\frac{\Delta G}{RT}\right) \right]$ (mol/L), pada suhu tertentu, ΔG adalah energi bebas

adsorpsi.

Jenis adsorpsi ini valid secara teori jika sesuai dengan kondisi berikut :

- a) Adsorben bersifat homogen.
- b) Zat terlarut dan pelarut mempunyai luas permukaan yang sama.
- c) Permukaan adsorben dan fasa bulk memperlihatkan perilaku ideal (tidak ada interaksi antara zat terlarut dengan zat terlarut ataupun zat terlarut dengan pelarut dalam fasa bulk maupun permukaan).
- d) Film adsorpsi adalah monomolekuler.

Banyak surfaktan memperlihatkan jenis adsorpsi Langmuir dari larutan karena saling kompensasi beberapa faktor yang mempengaruhi bentuk isoterm *Langmuir*. Beberapa faktor tersebut dan perubahan bentuk isoterm adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan misel surfaktan; hal ini menyebabkan kurva menjadi datar, mungkin dibawah tingkat untuk *close packing*, karena kenaikan aktifitas surfaktan terhadap kenaikan konsentrasi dalam fasa air hampir tidak berarti.

2. Potensial permukaan; apabila ion surfaktan mempunyai tanda yang sama, maka akan menurunkan slope dari isotherm; apabila tandanya berlawanan, maka akan menaikkan adsorpsi dan slope isothermnya.
3. Heterogenitas adsorben padat; adsorpsi pada sisi substrat dengan energi tinggi akan menyebabkan slope isotherm lebih tinggi daripada adsorpsi pada sisi substrat dengan energi yang lebih rendah.
4. Interaksi lateral; dimana interaksi lateral adalah atraktif dengan surfaktan, slope isotherm menjadi lebih tajam dan menjadi bentuk-S.

2.5.2.4 Isotherm Adsorpsi Freundlich

Isotherm adsorpsi *Freundlich* mengasumsikan pusat-pusat aktif permukaan adsorben bersifat heterogen dan adsorbat membentuk lapisan multimolekuler pada permukaan adsorben. Persamaan *Freundlich* dinyatakan

dalam bentuk $\frac{x}{m} = KC^{1/n}$; dimana

x adalah berat zat teradsorpsi (g)

m adalah berat zat adsorben (Kg)

C adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan adsorpsi (mol/L)

K dan $\frac{1}{n}$ adalah suatu tetapan yang menyatakan keheterogenan pusat-pusat aktif permukaannya.

Suatu permukaan dapat dikatakan homogen, apabila memenuhi $\frac{1}{n} \leq 1$.

2.6 SPEKTROFOTOMETER UV - Vis

Spektrofotometer UV - Vis mempunyai rentang pengukuran pada panjang gelombang 190-1100 nm. Gugusan atom yang mengabsorpsi radiasi UV - Vis adalah gugus kromofor. Ketika suatu molekul dikenakan radiasi elektromagnetik, molekul tersebut akan mengabsorpsi radiasi elektromagnetik yang energinya sesuai. Pada molekul terjadi transisi elektronik dan absorpsi tersebut menghasilkan garis spektrum.

Eksitasi elektron senyawa berikatan tunggal dan rangkap berbeda bila dikenai sinar. Elektron dalam ikatan tunggal tereksitasi dari δ ke δ^* , sedangkan elektron dalam ikatan rangkap dua maupun tiga mempunyai eksitasi elektron dari π ke π^* . Jika suatu molekul memiliki elektron bebas (*non bonding*) maka elektron tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi karena terikat lebih lemah daripada ikatan bonding. Untuk molekul terkonjugasi, yaitu molekul yang memiliki ikatan rangkap berselang-seling dengan ikatan tunggal, absorpsi bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang (pergeseran batokromik). Ketika pergeseran panjang gelombang semakin besar, maka energi yang diperlukan untuk mengeksitasikan lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa panjang gelombang berbanding terbalik dengan energi.

Spektrum UV - Vis biasanya diambil dari larutan encer. Apabila radiasi atau cahaya putih dilewatkan melalui larutan berwarna maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diserap (absorpsi) secara selektif

sedangkan yang lainnya akan diteruskan (transmisi). Absorbansi suatu larutan dapat diukur dengan UV - Vis spektrofotometer. Alat ini mengukur intensitas dari cahaya yang melewati sebuah sampel (I), dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melalui sampel (I_0). Rasio I/I_0 disebut dengan transmittan, dan biasanya diekspresikan sebagai persentase. Pengukuran dengan spektrofotometer UV - Vis dapat menghasilkan informasi berupa absorbansi larutan. Absorbansi (A) dari suatu larutan merupakan logaritma dari $1/T$, dengan T adalah transmittan, yaitu perbandingan antara intensitas sinar yang diteruskan dengan intensitas sinar datang. Secara matematis, $T = I/I_0$, dengan I_0 adalah intensitas sinar datang dan I adalah intensitas sinar yang diteruskan. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi dapat diukur sesuai dengan Hukum Lambert - Beer. Salah satu syarat hukum Lambert - Beer yaitu sinar yang dipakai harus monokromatik. Aliran hukum Lambert - Beer dapat diplot antara absorbansi (A) terhadap konsentrasi (C). Absorbansi yang diukur sesuai dengan hukum Lambert - Beer:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C$$

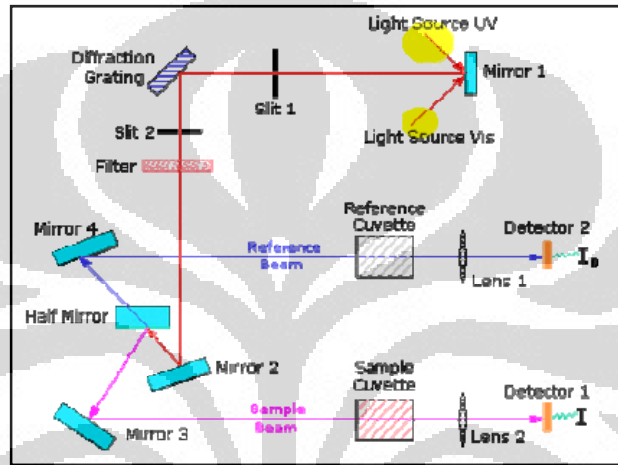
Keterangan : A = Absorbansi

ϵ = Absorptivitas Molar ($M^{-1}cm^{-1}$)

b = Tebal Kuvet (cm)

C = Konsentrasi Larutan (M)

Spektrofotometer UV - Vis terdiri dari beberapa komponen pokok yaitu sumber radiasi (lampu hydrogen, deuterium, atau wolfram), kuvet (dari kuarsa, kaca, atau plastik), monokromator, detektor, dan recorder (Gambar 2.22).



Gambar 2.22 Skema alat UV - Vis

2.7 SPEKTROFOTOMETER IR

Spektrofotometer IR sangat penting dalam kimia modern, terutama dalam bidang organik. Spektrofotometer ini dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsional, mengidentifikasi senyawaan dan menganalisis campuran.

Spektrofotometer IR didasarkan pada gugus-gugus atom dalam suatu molekul dapat bergerak secara kontinu terhadap yang lain bolak-balik di

sekitar posisi keseimbangannya dengan memberikan vibrasi pada molekul tersebut.

Jumlah pita serapan dalam spektra IR berhubungan dengan derajat kebebasan suatu molekul. Molekul non linier dengan jumlah atom n , mempunyai mode vibrasi sebanyak derajat kebebasannya yaitu $3n-6$, sementara untuk molekul linier derajat kebebasannya adalah $3n-5$.

Secara umum vibrasi atom dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. vibrasi yang menyebabkan perubahan panjang ikatan atau jarak antar atom. Vibrasi ini disebut vibrasi ulur atau *stretching* dan terbagi lagi menjadi uluran simetris dan tak simetris.
2. vibrasi yang menyebabkan perubahan sudut ikatan. Vibrasi ini disebut vibrasi tekuk atau bending dan terdiri dari beberapa tipe yaitu: vibrasi tekuk menggantung (*scissoring*, *d*), vibrasi tekuk menggoyang (*rocking*, *p*), vibrasi tekuk ke dalam bidang (*twisting*, *r*), dan vibrasi tekuk ke luar bidang (*wagging*, *w*).

Daerah radiasi spektroskopi infra merah berkisar pada bilangan $12800-10\text{ cm}^{-1}$ atau panjang gelombang $0,78-1000\ \mu\text{m}$. Umumnya kisaran daerah infra merah yang sering digunakan adalah daerah infra merah tengah yaitu $4000-690\text{ cm}^{-1}$ ($12-2 \times 10^{13}\text{ Hz}$; $2,5-15\ \mu\text{m}$). Molekul hanya menyerap frekuensi tertentu dari radiasi infra merah. Untuk dapat mengabsorpsi, molekul harus memiliki perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi.

Perbedaan radiasi medan listrik berinteraksi dengan molekul menimbulkan perubahan amplitudo sebagian gerakan molekul.

Setiap tipe ikatan yang berbeda, mempunyai frekuensi vibrasi yang berbeda, maka tidak ada dua molekul yang berbeda strukturnya memiliki spektrum infra merah yang tepat sama. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) memakai sebuah metoda matematik yaitu transform *Fourier* yang dipakai untuk konversi spektrum waktu ke spektrum frekuensi. Adapun informasi yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi spesies-spesies yang diadsorpsi oleh adsorben.
2. Tipe dan keadaan terjadinya interaksi adsorben dengan adsorbat.
3. Identifikasi tempat terjadinya adsorpsi pada permukaan.

Suatu sumber akan mengemisikan energi infra merah melalui bagian optik dari spektrometer. Sinar yang melewati interferometer dipisahkan lalu bergabung kembali menghasilkan suatu pola interferensi, kemudian ditransmisikan lalu diukur oleh detektor. Produk dari detektor adalah interferogram. Pengukuran ini diubah menjadi format digital yang dapat dibaca komputer oleh *Analog Digital Converter* (ADC). Kemudian interferogram diubah mejadi suatu pita spektrum tunggal oleh *Fast Fourier Transform* (FFT)⁸.

BAB III

BAHAN DAN CARA KERJA

3.1 Lokasi

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia, Kampus UI Depok.

3.2 Bahan

3.2.1 Bahan Kimia Kualitas Proanalisis

Akuabides, asam klorida pekat, asam sulfat pekat, natrium hidroksida, natrium klorida, kloroform, potasium dihidrogen fosfat, dipotasium hidrogen phosphate, *methylene blue*, *bromophenol blue*, *sodium dodecyl sulfate*, *hexadecyltrimethylammonium bromide*, indikator PP yang keseluruhannya berasal dari *Merck*. *Polyallylamine Hydrochloride* dan *Polystyrene Sulfonate* berasal dari *Sigma Aldrich*.

3.2.2 Bahan Kimia Kualitas Teknis

Akuademin, Zeolit *Clinoptilolite*.

3.3 Peralatan

Peralatan gelas yang biasa digunakan di laboratorium, neraca timbang analitis, tanur atau oven, *stop watch*, termometer, mortar, magnetik stirer, hot plate, pH - meter, Perkin - Elmer FTIR Spektrofotometer dan UV 2450 Shimadzu UV - Vis Spektrofotometer.

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Aktivasi Zeolit *Clinoptilolite*

Aktivasi zeolit *Clinoptilolite* dilakukan dengan mencuci zeolit dengan akuabides, kemudian didekantasi dan disaring. Zeolit yang sudah dicuci di keringkan pada 105°C, selanjutnya di kalsinasi dalam tanur pada suhu 350°C selama dua jam, dan ditempatkan dalam desikator. Zeolit yang sudah diaktivasi, kemudian dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer FTIR.

3.4.2 Pembuatan Larutan Induk

3.4.2.1 Pembuatan Larutan Induk Asam Klorida 1 N

Larutan induk HCl 1 N diperoleh dengan cara ke dalam labu ukur 0,1 L yang sudah berisi akuabides ditambahkan 8,29 mL HCl pekat, diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.2 Pembuatan Larutan Induk Natrium Hidroksida 0,1 N

Sebanyak 0,1999 gram NaOH dilarutkan kedalam labu ukur 0,05 L dan diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.3 Pembuatan Larutan Induk PAH 1×10^{-4} M

Sebanyak 0,7000 gram PAH dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,1 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat batas.

3.4.2.4 Pembuatan Larutan PAH 1×10^{-7} M; 0,06 M NaCl; pH 2,0

Sebanyak 0,1 mL larutan induk PAH dan 0,3510 gram Natrium Klorida dilarutkan ke dalam labu ukur 0,1 L. Pada saat mendekati tanda batas, pH larutan diatur menggunakan asam klorida 0,01 N. Selanjutnya diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.5 Pembuatan Larutan PSS 1×10^{-4} M; 0,04 M NaCl; pH 3,0

Sebanyak 0,7000 gram PSS dan 0,2340 gram Natrium Klorida dilarutkan ke dalam labu ukur 0,1 L. Pada saat mendekati tanda batas, pH larutan diatur menggunakan asam klorida 0,01 N, kemudian diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.6 Pembuatan Larutan Induk HDTMA - Br 0,1 M

Sebanyak 3,6445 gram HDTMA - Br dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,1 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat batas.

3.4.2.7 Pembuatan Larutan Induk SDS 0,1 M

Sebanyak 2,8838 gram SDS dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,1 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat batas.

3.4.2.8 Pembuatan Larutan Induk BPB 5×10^{-4} M

Sebanyak 0,0168 gram *Bromophenol Blue* dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,05 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.9 Pembuatan Larutan Induk MB 1×10^{-4} M

Sebanyak 0,0035 gram *Methylene Blue* dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,1 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat tanda batas.

3.4.2.10 Pembuatan Larutan Buffer Fosfat 0,1 M pH 8,0

Sebanyak 0,1861 gram KH_2PO_4 dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,05 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat tanda batas. $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 1,9699 gram dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 0,05 L, selanjutnya diencerkan hingga tepat tanda batas. Kedua larutan tersebut dicampur untuk menghasilkan buffer fosfat 0,1 M pH 8,0 yang diukur dengan pH - meter.

3.4.3 Metode *Bromophenol Blue*

Sebanyak 4 mL HDTMA - Br ditambahkan kedalam 4 mL BPB 5×10^{-4} M. Campuran diatur menjadi pH 8,0 menggunakan buffer fosfat 0,1 M. Selanjutnya campuran diatur menjadi 10 mL dengan menambahkan akuabides dalam labu ukur 10 mL. Sebanyak 5 mL campuran ditambahkan 5 mL kloroform, dan diekstraksi selama 20 menit. Fasa kloroform yang mengandung kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ ditentukan panjang gelombang maksimum, lalu diukur absorbansi setiap konsentrasi pada panjang gelombang maksimum.

3.4.3.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi HDTMA⁺

Sebanyak 4 mL HDTMA - Br ditambahkan kedalam 4 mL BPB 5×10^{-4} M. Konsentrasi HDTMA - Br yang digunakan adalah $2,0 \times 10^{-5}$; $6,0 \times 10^{-5}$;

$1,0 \times 10^{-4}$; $1,4 \times 10^{-4}$; $1,8 \times 10^{-4}$ M. Campuran diatur menjadi pH 8,0 menggunakan buffer fosfat 0,1 M. Masing-masing campuran diatur menjadi 10 mL dengan menambahkan akuabides dalam labu ukur 10 mL. Sebanyak 5 mL campuran ditambahkan 5 mL kloroform, dan diekstraksi selama 20 menit. Fasa kloroform yang mengandung kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ ditentukan panjang gelombang maksimum, lalu diukur absorbansi setiap konsentrasi pada panjang gelombang maksimum. Dibuat kurva standar absorbansi terhadap konsentrasi HDTMA - Br.

3.4.4 Metode *Methylene Blue*

Sebanyak 5 mL SDS ditambahkan kedalam 5 mL MB 1×10^{-4} M. Selanjutnya pH campuran diatur dengan menambahkan beberapa tetes 0,02 N NaOH dengan bantuan indikator PP hingga timbul warna lembayung. Beberapa tetes H_2SO_4 0,02 N ditambahkan hingga warna tersebut hilang. Sebanyak 5 mL campuran ditambahkan 5 mL kloroform, dan diekstraksi selama 20 menit. Fasa kloroform yang mengandung kompleks $[\text{DS} - \text{MB}]$ ditentukan panjang gelombang maksimum, lalu diukur absorbansi setiap konsentrasi pada panjang gelombang maksimum.

3.4.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi DS^-

Sebanyak 5 mL SDS ditambahkan dalam 5 mL MB 1×10^{-4} M. Konsentrasi SDS yang digunakan adalah $5,0 \times 10^{-6}$; $1,0 \times 10^{-5}$; $2,0 \times 10^{-5}$; $4,0 \times 10^{-5}$

⁵; $6,0 \times 10^{-5}$ M. Selanjutnya pH campuran diatur dengan menambahkan beberapa tetes 0,02 N NaOH dengan bantuan indikator PP hingga timbul warna lembayung. Beberapa tetes H_2SO_4 0,02 N ditambahkan hingga warna tersebut hilang. Sebanyak 5 mL campuran ditambahkan 5 mL kloroform, dan diekstraksi selama 20 menit. Fasa kloroform yang mengandung kompleks [DS - MB] ditentukan panjang gelombang maksimum, lalu diukur absorbansi setiap konsentrasi pada panjang gelombang maksimum. Dibuat kurva standar absorbansi terhadap konsentrasi SDS.

3.4.5 Fabrikasi PEB - MZ dengan Teknik LbL

Sebanyak 2,5 gram zeolit *Clinoptilolite* aktif dicampur dengan 10 mL larutan PAH 1×10^{-7} M; 0,06 M NaCl; pH 2,0 dalam *beaker* 0,1 L, di stirer selama 30 menit, diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar, dicuci menggunakan 10 mL akuabides dan residu dikeringkan pada suhu ruang. Residu yang telah kering ditimbang hingga bobotnya tetap. Residu dikarakterisasi dengan FTIR. Setelah adsorben kering, 2,5 gram adsorben dicampur dengan 10 mL larutan PSS 1×10^{-4} M; 0,04 M NaCl; pH 3,0 ke dalam *beaker* 0,1 L, distirer selama 30 menit dan diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar, dicuci menggunakan 10 mL akuabides dan residu dikeringkan pada suhu ruang. Residu yang telah kering ditimbang hingga bobotnya tetap. Residu ini disebut PEB – MZ, yang kemudian dikarakterisasi dengan FTIR.

3.4.6 Adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ

3.4.6.1 Variasi Konsentrasi HDTMA - Br

Larutan HDTMA - Br divariasikan pada berbagai konsentrasi. Range konsentrasi yang digunakan antara $5,0 \times 10^{-3}$ - $1,0 \times 10^{-1}$ M. Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ dicampur dengan 10 mL larutan HDTMA - Br, stirer selama 60 menit, diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.

3.4.6.2 Variasi Waktu Pengadukan

Adsorpsi dengan menggunakan konsentrasi optimum HDTMA - Br yang didapat dari percobaan di atas divariasikan pada berbagai waktu pengadukan. Range waktu pengadukan yang digunakan antara 15 - 75 menit. Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ dicampur dengan 10 mL larutan HDTMA - Br pada konsentrasi optimum, distirer pada variasi waktu pengadukan, dan diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.

3.4.6.3 Variasi pH HDTMA - Br

Adsorpsi dengan menggunakan konsentrasi dan waktu pengadukan optimum HDTMA - Br yang didapat dari percobaan di atas divariasikan pada berbagai pH larutan HDTMA - Br. Range pH larutan HDTMA - Br yang digunakan antara pH 3,0 – 10,0. Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ dicampur dengan 10 mL larutan HDTMA - Br pada konsentrasi optimum yang sudah divariasikan pH, distirer pada waktu pengadukan optimum, diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.

3.4.7 Metode Urutan Adsorpsi Surfaktan pada PEB - MZ

3.4.7.1 Metode A

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ dicampur dengan 10 mL larutan SDS pada konsentrasi optimum $0,035 \text{ mol/L}^{22}$, distirer selama 60 menit, dan diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi SDS dalam filtrat ditentukan dengan metode MBAS. Selanjutnya, residu dicuci menggunakan 10 mL akuabides, residu dikeringkan pada suhu ruang. Residu yang telah kering ditimbang hingga bobotnya tetap. Residu yang telah kering dicampur dengan 10 mL larutan HDTMA - Br pada konsentrasi optimum $0,04 \text{ mol/L}$ (hasil 3.4.4.1), distirer selama 60 menit, diendapkan semalam. Setelah itu, difiltrasi menggunakan

kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.

3.4.7.2 Metode B

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ dicampur dengan 10 mL larutan HDTMA - Br pada konsentrasi optimum 0,04 mol/L (hasil 3.4.4.1), distirer selama 60 menit, diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB. Selanjutnya, residu dicuci menggunakan 10 mL akuabides, residu dikeringkan pada suhu ruang. Residu yang telah kering ditimbang hingga bobotnya tetap. Residu yang telah kering dicampur dengan 10 mL larutan SDS pada konsentrasi optimum 0,035 mol/L²², distirer selama 60 menit, diendapkan semalam. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi SDS dalam filtrat ditentukan dengan metode MBAS.

3.4.7.3 Metode C

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ ditambahkan dengan 10 mL campuran larutan HDTMA - SDS pada konsentrasi optimum SDS (0,035 mol/L) dan HDTMA - Br (0,04 mol/L), kemudian stirrer selama 60 menit, diendapkan semalaman. Selanjutnya, difiltrasi menggunakan kertas saring

kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB, sedangkan konsentrasi SDS dalam filtrat ditentukan dengan metode MB.

3.4.8 Interaksi HDTMA⁺ dengan PEB - MZ

3.4.8.1 Variasi pH HCl

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ yang telah jenuh oleh surfaktan HDTMA⁺ diuji kestabilan interaksi surfaktan – polielektrolit dengan mencampurkan 10 mL HCl (variasi pH). Range pH HCl yang divariasikan antara pH 2,0 – 6,0. Selanjutnya campuran distirer selama 60 menit, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar dan konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.

3.4.8.2 Variasi Jumlah Pencucian dengan HCl 0,01 N

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ yang telah jenuh oleh surfaktan HDTMA⁺ dicampur dengan 10 mL HCl pada variasi jumlah pencucian. Selanjutnya campuran distirer selama 60 menit, difiltrasi menggunakan kertas saring kasar dan konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB. Pencucian menggunakan HCl ini dilakukan sebanyak 3 kali.

3.4.8.3 Variasi Temperatur

Sebanyak 1,25 gram PEB - MZ yang telah jenuh oleh surfaktan HDTMA⁺ dicampur dengan 10 mL HCl pada variasi temperatur. Range temperatur sistem yang divariasikan antara 40 - 60°C. Selanjutnya campuran distirer dan dipanaskan pada temperatur konstan selama 60 menit, dan difiltrasi menggunakan kertas saring kasar. Konsentrasi HDTMA - Br dalam filtrat ditentukan dengan metode BPB.



BAB IV

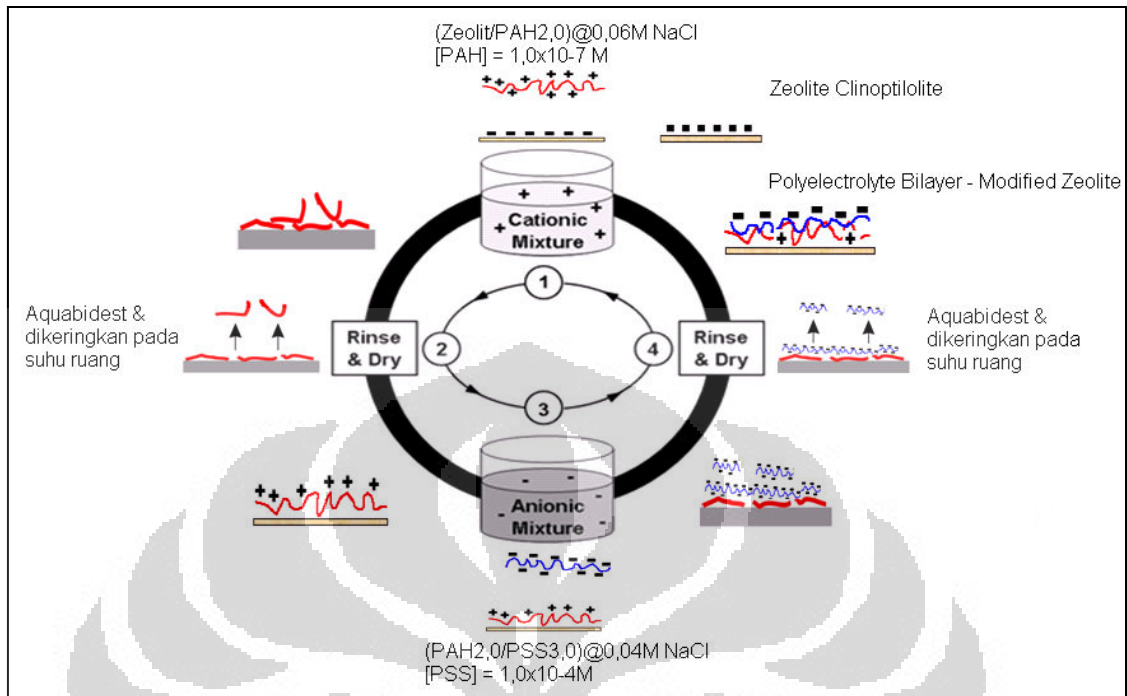
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aktivasi Zeolit *Clinoptilolite*

Zeolit *Clinoptilolite* dicuci terlebih dahulu dengan akuades, disaring dan dikeringkan pada temperatur 105°C. Selanjutnya diaktivasi dengan cara dikalsinasi pada temperatur 350°C selama 2 jam. Selama proses kalsinasi tidak ada perubahan yang berarti pada topologi kerangka dasar struktur zeolit *Clinoptilolite*. Karena perubahan kerangka dasar struktur zeolit *Clinoptilolite* terjadi pada temperatur sekitar 750°C³. Ketika dikalsinasi pengotor-pengotor dan molekul air yang berada didalam saluran-saluran molekular, menguap sehingga pori-pori zeolit *Clinoptilolite* akan lebih terbuka.

4.2 Fabrikasi PEB – MZ dengan Teknik *Layer by Layer*.

Fabrikasi *Polyelectrolyte Bilayer – Modified Zeolite* dilakukan menggunakan teknik *Layer by Layer*. Skema teknik *Layer by Layer* dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Skema Teknik *Layer by Layer*

Teknik *Layer by Layer* ini dimulai dengan mengadsorpsikan “polimer 1” polikation *Polyallylamine Hydrochloride* [PAH] = $1,0 \times 10^{-7}$ M; 0,06 M NaCl; pH 2,0²¹ pada substrat. Substratnya adalah zeolit *Clinoptilolite* yang sudah diaktivasi. Kerangka dasar aluminasilikat yang dibentuk dari unit dasar tetrahedral SiO₄ dan AlO₄ melalui penggunaan bersama atom oksigen menghasilkan muatan total negatif yang dinetralkan oleh kation-kation yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cation*), seperti Na⁺. Muatan permukaan zeolit yang negatif dimanfaatkan untuk mengadsorpsi polikation PAH melalui interaksi elektrostatik. Penggunaan garam NaCl dalam larutan polielektrolit adalah untuk menciptakan konformasi polielektrolit yang lebih melingkar (*random coil*), sehingga memperbanyak pusat-pusat aktif polielektrolit.

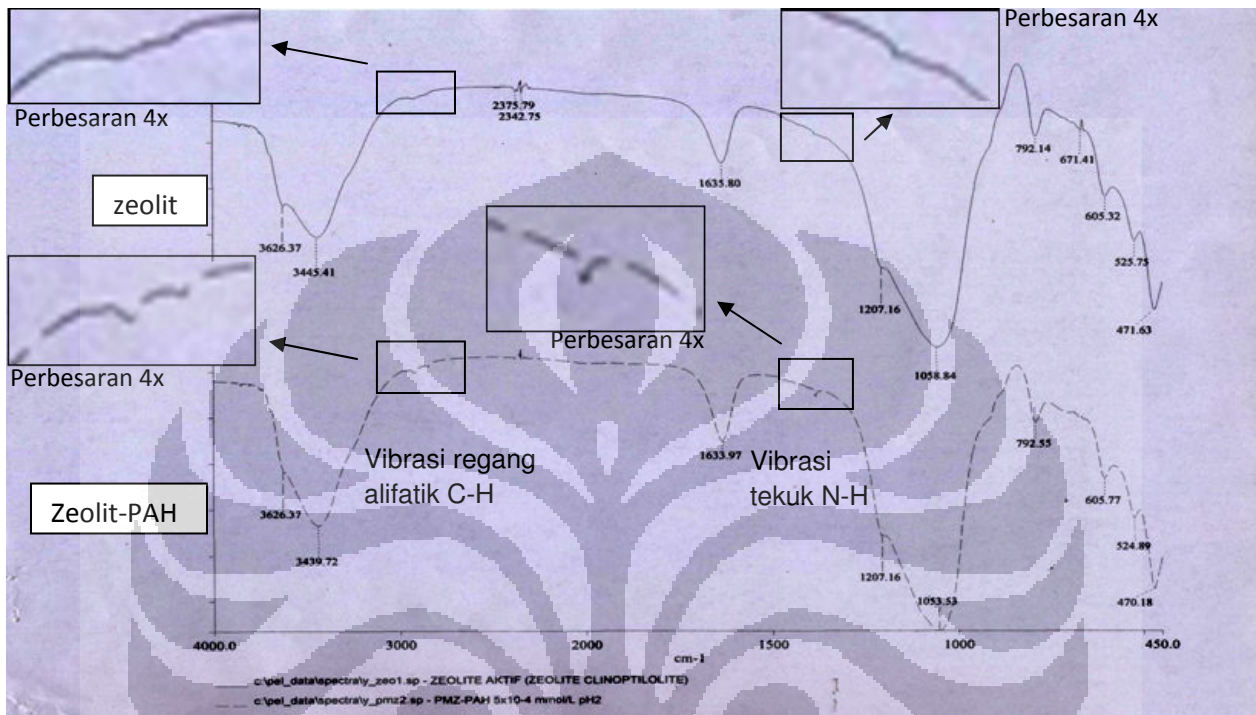
Pengaturan pH larutan polielektrolit bertujuan untuk memperbesar disosiasi gugus bermuatan polielektrolit. Langkah kedua, pencucian zeolit – PAH dengan akuabides untuk menyingkirkan polikation yang tidak terikat kuat pada substrat, kemudian dikeringkan pada temperatur ruang. Zeolit – PAH kering yang memiliki muatan total positif (*over compensate*) diadsorpsi dengan “*polimer 2*” polianion *Polystyrene Sulfonate* konsentrasi PSS $1,0 \times 10^{-4}$ M; 0,04 M NaCl; pH 3,0. Kemudian diikuti langkah pencucian dengan akuabides untuk menyingkirkan polianion yang tidak terikat kuat pada polikation dan pengeringan pada temperatur ruang. Satu siklus LbL ini dilakukan untuk mensintesis *Polyelectrolyte Bilayer – Modified Zeolite* yang selanjutnya disingkat PEB – MZ.

4.3 Analisis Zeolit dan Zeolit - PAH dengan Spektrofotometer FT - IR

Hasil fabrikasi PEB – MZ dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer FT - IR untuk mengetahui adanya gugus polikation *Polyallylamine Hydrochloride* (PAH) dan polianion *Polystyrene Sulfonate* (PSS) yang teradsorpsi pada permukaan zeolit *Clinoptilolite*.

Spektrum FT – IR dari zeolit dan zeolit – PAH dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari spektrum zeolit dan zeolit - PAH, dapat dilihat puncak serapan di daerah bilangan gelombang $\nu = 2960 - 2850 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi regang alifatik sp^3 gugus C-H dari PAH. Selain itu, ditemukan puncak serapan vibrasi tekuk N-H pada bilangan gelombang 1350

cm^{-1} . Berdasarkan literatur puncak serapan vibrasi regang alifatik sp^3 berada pada bilangan gelombang $\nu = 2950 - 2850 \text{ cm}^{-1}$ dan tekuk N-H pada bilangan

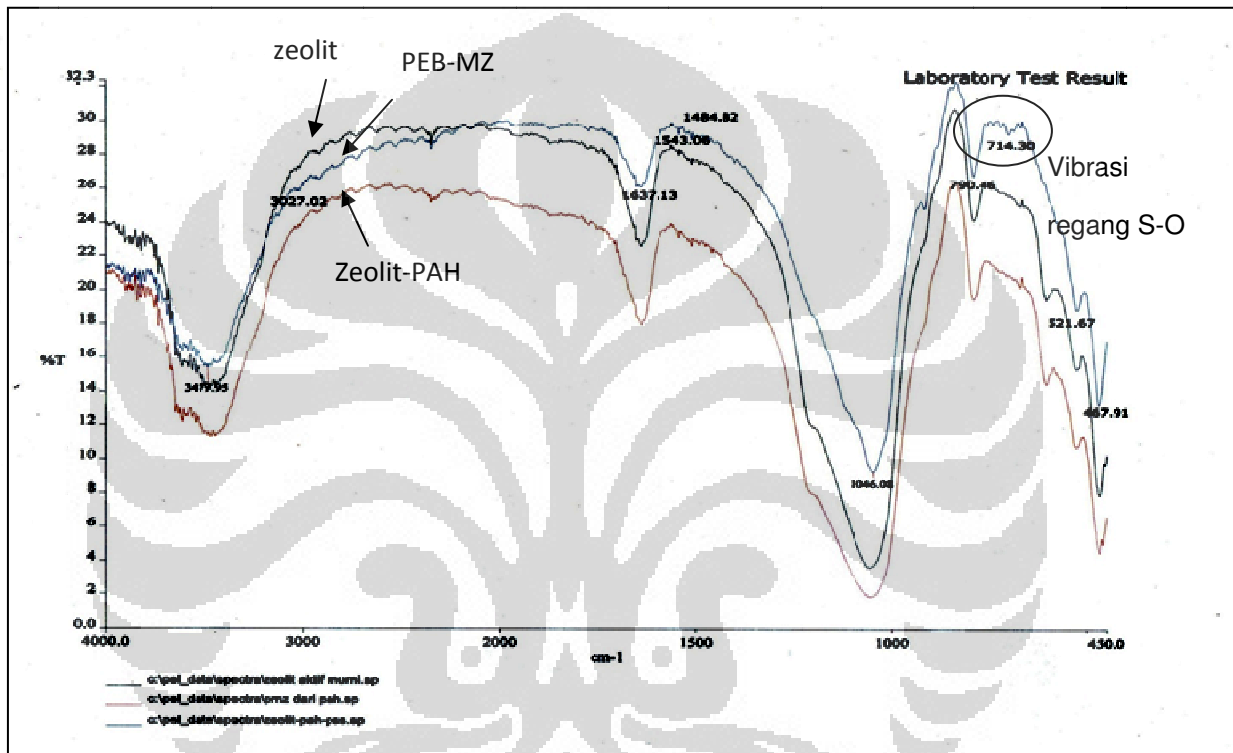


Gambar 4.2 Spektrum FTIR zeolit dan zeolit – PAH

gelombang $\nu \sim 1400 \text{ cm}^{-1}$. Puncak-puncak serapan tersebut sesuai dan membuktikan bahwa terdapat PAH yang teradsorpsi pada permukaan zeolit *Clinoptilolite*. Puncak serapan yang kecil, karena PAH teradsorpsi secara monolayer pada permukaan zeolit *Clinoptilolite* dan konsentrasi PAH yang digunakan $1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$.

Analisa spektrum *Polyelectrolyte Bilayer – Modified Zeolite* (PEB - MZ) (pada Gambar 4.3) dapat dilihat adanya puncak serapan lain pada bilangan gelombang $714,30 \text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan literatur vibrasi regang S-O berada

pada bilangan gelombang $\nu = 1000 - 700 \text{ cm}^{-1}$. Menandakan bahwa *Polystyrene Sulfonate* (PSS) yang mengandung gugus sulfonat R-SO_3 telah teradsorpsi pada zeolit - PAH. Dari spektrum FT - IR ini terbukti secara kualitatif bahwa *Polyelectrolyte Bilayer - Modified Zeolite* telah terbentuk.



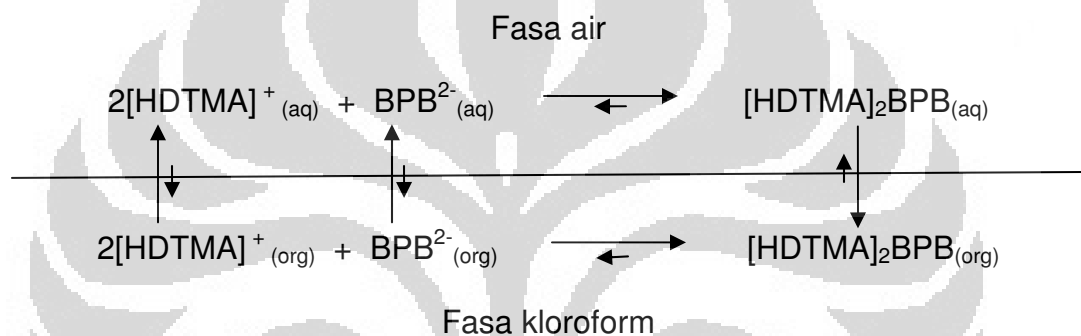
Gambar 4.3 Spektrum FTIR Zeolit, Zeolit – PAH dan PEB – MZ

4.4 Kurva Kalibrasi HDTMA⁺

Penentuan konsentrasi surfaktan kationik *Hexadecyltrimethyl ammonium Bromide* (HDTMA - Br) dilakukan menggunakan metode *Bromophenol blue* (BPB). Metode BPB dilakukan berdasarkan pembentukan kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ yang lebih larut dalam pelarut organik (kloroform)

daripada pelarut air. Kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ yang terekstraksi kedalam pelarut kloroform diukur dengan Spektrofotometer UV - Vis.

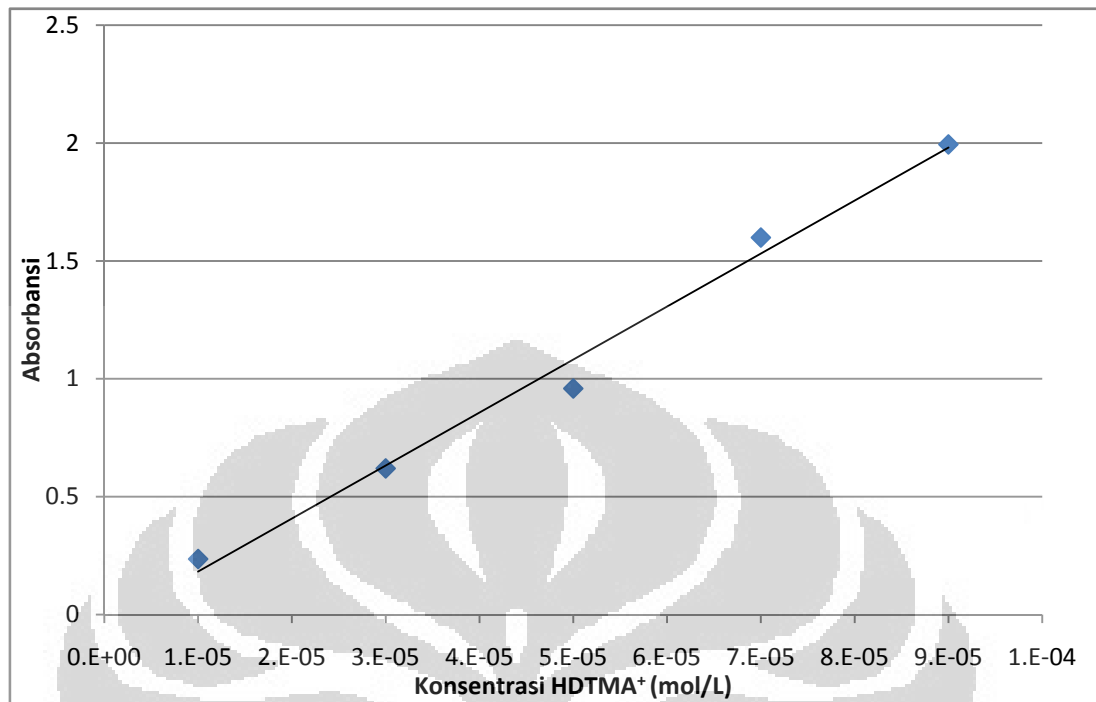
Bromophenol blue (BPB) merupakan asam lemah diprotik pada pH 8,0, H_2BPB menghasilkan proton membentuk spesi anion BPB^{2-} . Anion BPB^{2-} dapat membentuk kompleks dengan surfaktan kationik HDTMA^+ . Skema kesetimbangan pembentukan kompleks adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Skema kesetimbangan pembentukan kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$

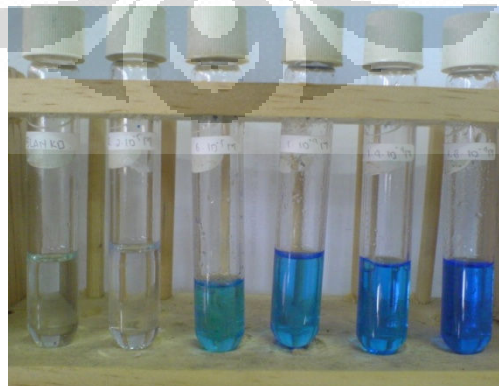
Kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ lebih larut dalam pelarut kloroform. Oleh karena itu, kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ diekstraksi dari pelarut air ke pelarut kloroform, kemudian absorbansi diukur menggunakan Spektrofotometer UV - Vis. Panjang gelombang maksimum untuk kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ dalam kloroform didapat pada 605 nm.

Absorbansi kompleks $[\text{HDTMA}]_2\text{BPB}$ pada variasi konsentrasi $[\text{HDTMA}]^+$ (Gambar 4.6) ditentukan pada panjang gelombang maksimum, dan dibuat kurva kalibrasi HDTMA^+ seperti dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva Kalibrasi HDTMA⁺

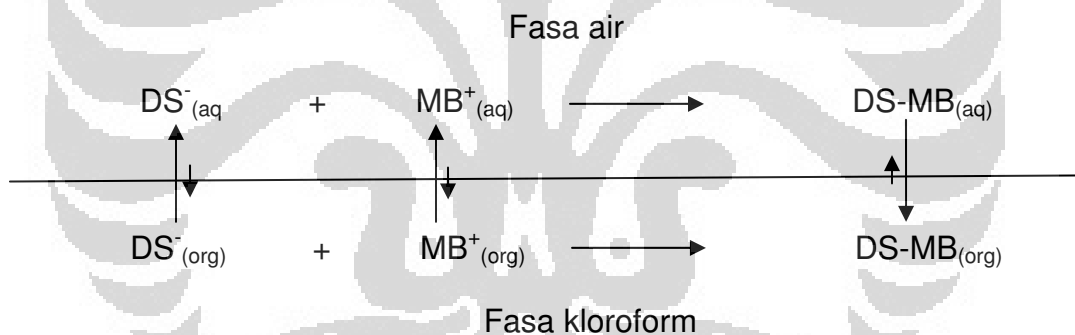
Pada penelitian ini didapatkan kurva kalibrasi HDTMA⁺ dengan persamaan $y = 11237,5 [x] - 0,04215$ dengan absorptivitas molar sebesar $11237,5 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ dan tingkat kelinearan 0,9888. Data absorbansi kalibrasi HDTMA⁺ dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.6 Deret larutan standar [HDTMA]₂BPB

4.5 Kurva Kalibrasi DS^-

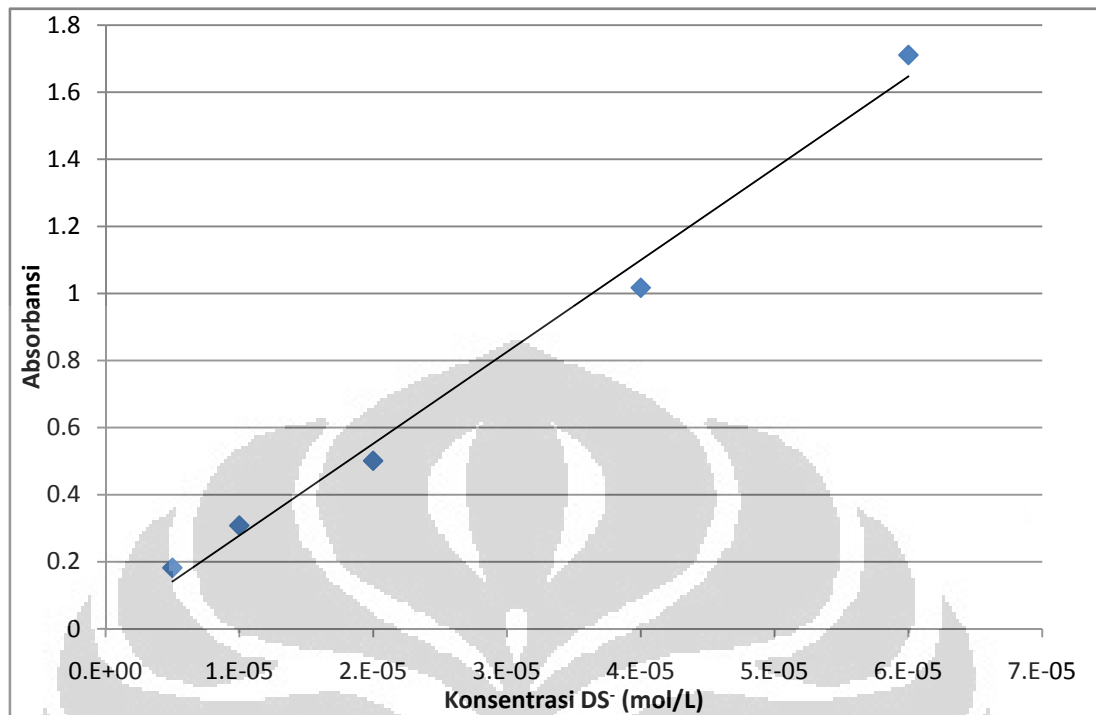
Penentuan konsentrasi surfaktan anionik *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) dilakukan menggunakan metode *Methylene blue* (MB). Metode MB dilakukan berdasarkan pemindahan atau transfer *methylene blue* dari pelarut air kedalam pelarut organik (kloroform). Pemindahan ini dapat terjadi bila terbentuk pasangan ion antara surfaktan anionik DS^- dan kation *methylene blue* yang lebih larut dalam pelarut kloroform. Kompleks DS - MB yang terbentuk diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer UV - Vis. Skema kesetimbangan pembentukan kompleks adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Skema kesetimbangan pembentukan kompleks DS-MB

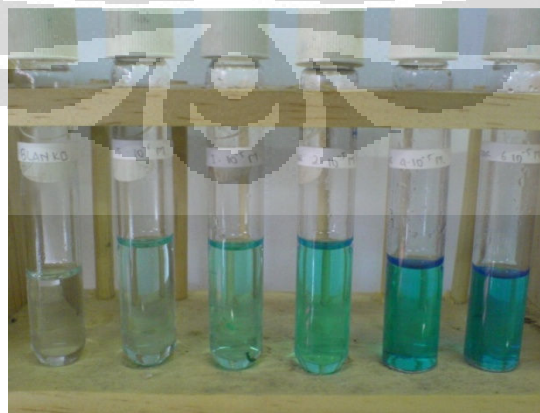
Panjang gelombang maksimum untuk kompleks DS - MB dalam kloroform diamati pada 652 nm.

Absorbansi kompleks DS - MB pada variasi konsentrasi DS^- (Gambar 4.9) ditentukan pada panjang gelombang maksimum, dan dibuat kurva kalibrasi DS^- seperti dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva Kalibrasi DS⁻

Pada penelitian ini didapatkan kurva kalibrasi DS⁻ dengan persamaan $y = 27373,5 [x] + 0,0047$ dengan absorptivitas molar sebesar $27373,5 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$ dan tingkat kelinearan 0,9898. Data absorbansi kalibrasi DS⁻ dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4.9 Deret larutan standar DS – MB

4.6 Adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB-MZ

Beberapa parameter kontrol yang penting dalam adsorpsi HDTMA⁺ pada *Polyelectrolyte Bilayer – Modified Zeolite* (PEB - MZ) adalah konsentrasi HDTMA⁺, waktu pengadukan (lama kontak HDTMA⁺ dengan PEB - MZ) dan pH larutan HDTMA⁺. Penelitian ini mencari kondisi optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ.

4.6.1 Variasi Konsentrasi HDTMA - Br

Konsentrasi HDTMA⁺ divariasikan dari 0,005 sampai 0,1 M untuk mengetahui jumlah optimum HDTMA⁺ yang teradsorpsi pada PEB – MZ. Jumlah HDTMA⁺ yang teradsorpsi diketahui dari konsentrasi HDTMA⁺ filtrat atau sisa yang tidak teradsorpsi. Jumlah HDTMA⁺ yang teradsorpsi ditentukan dengan menggunakan persamaan :

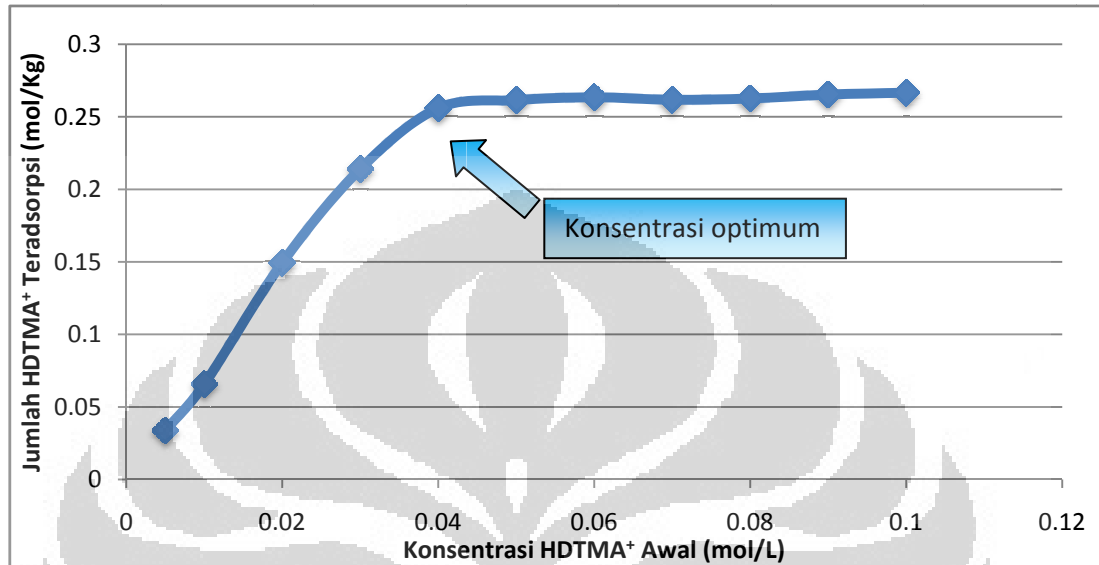
$$\text{HDTMA}^+ \text{ teradsorpsi (mol/Kg)} = \{[\text{HDTMA}^+]_{\text{awal}} - [\text{HDTMA}^+]_{\text{sisa}}\} \text{mol/L} \times \frac{10 \text{ mL}}{1.25 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

Data HDTMA⁺ yang teradsorpsi dapat dilihat pada Lampiran 6.

Dari jumlah HDTMA⁺ yang teradsorpsi pada PEB – MZ terhadap variasi konsentrasi HDTMA⁺, dapat dibuat kurva adsorpsi seperti pada Gambar 4.10

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ menunjukkan jumlah adsorpsi yang terus naik dari selang 0,005 hingga

0,04 M. Selanjutnya cenderung mendatar pada selang 0,04 hingga 0,1 M yang menandakan PEB – MZ mulai jenuh terhadap adsorpsi HDTMA⁺.



Gambar 4.10 Kurva adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ

Pada selang konsentrasi HDTMA⁺ ini sudah tidak terdapat pusat-pusat pengikatan dari gugus bermuatan negatif PSS yang dapat mengadsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺, sehingga jumlah HDTMA⁺ teradsorpsi akan cenderung konstan. Pada saat kurva adsorpsi tepat mulai mendatar disebut konsentrasi optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ yaitu pada konsentrasi HDTMA⁺ sebesar 0,04 M. Dari kurva adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ dapat dibuat kurva isoterm adsorpsinya untuk mengetahui jenis adsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺ pada PEB – MZ.

4.6.2 Isoterm Adsorpsi

Penentuan jenis isoterm yang terjadi pada adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ dapat diuji dengan dua cara, yaitu menurut *Langmuir* dan *Freundlich*, kemudian dibandingkan kelinearannya.

4.6.2.1 Isoterm Adsorpsi *Langmuir* HDTMA⁺ Pada PEB – MZ

Isoterm adsorpsi *Langmuir* mengasumsikan bahwa tempat-tempat adsorpsi pada permukaan bersifat homogen, dan adsorbat (dalam hal ini surfaktan kationik HDTMA⁺) teradsorpsi dengan membentuk lapisan tunggal (*monolayer*). Isoterm adsorpsi *Langmuir* dijelaskan dengan persamaan:

$$\frac{C_2}{C_2^s} = \frac{1}{C_m^s} \cdot C_2 + \frac{a}{C_m^s}$$

dimana:

C_2^s = jumlah adsorbat terserap (g/Kg)

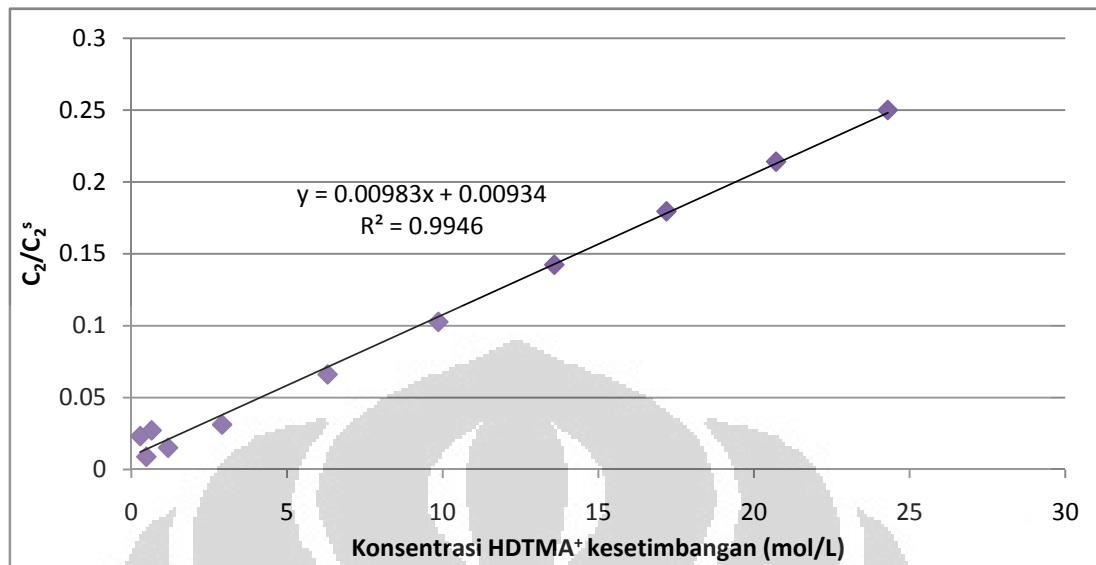
C_m^s = konsentrasi adsorbat terserap pada adsorpsi monolayer (g/Kg)

C_2 = konsentrasi pada saat kesetimbangan dalam fasa cair (mol/L)

a = tetapan

Plot dari C_2/C_2^s terhadap C_2 akan didapatkan harga C_m^s dan a/C_m^s .

Data penentuan isoterm adsorpsi *Langmuir* dari percobaan dapat dilihat pada Lampiran 7. Kurva hasil plotnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.11 Kurva isoterm Langmuir adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ

Dari hasil perhitungan isoterm *Langmuir* adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ dengan cara 1/slope didapat harga C_m^s atau jumlah HDTMA⁺ teradsorpsi pada *monolayer* sebesar 101,73 g/Kg dan intersep dikali C_m^s , didapat $a = 0,95016$ dengan kelinearan 0,9946.

4.6.2.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi *Freundlich* mengasumsikan pusat-pusat aktif permukaan adsorben bersifat heterogen, dan adsorbat membentuk lapisan multimolekuler pada permukaan adsorben. Persamaan isoterm adsorpsi *Freundlich* dalam bentuk linear dinyatakan sebagai:

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \text{Log}K + \frac{1}{n} \text{Log}C$$

dimana:

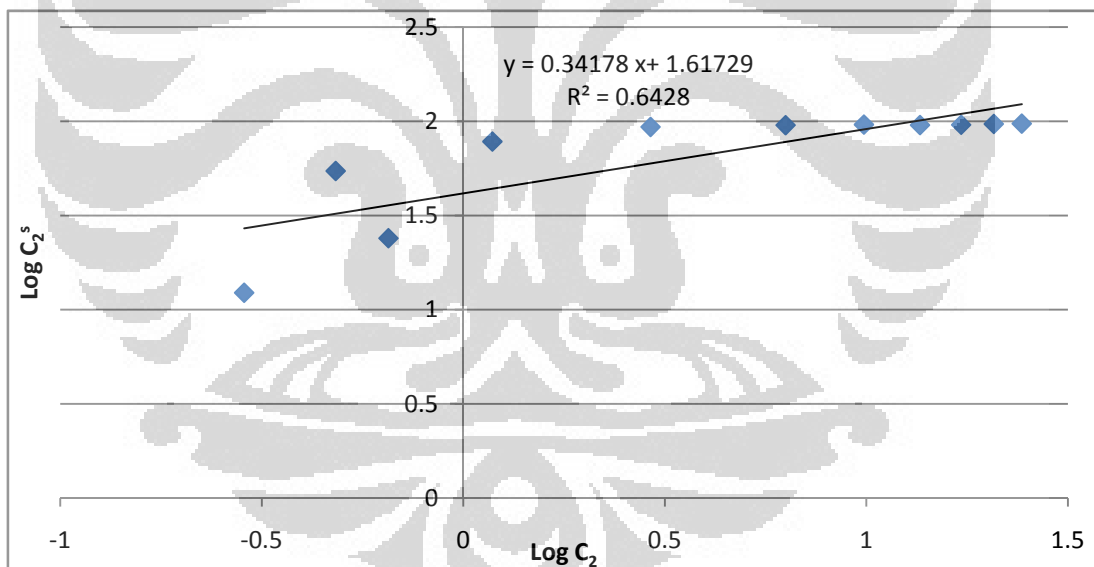
x adalah berat zat teradsorpsi (g)

m adalah berat zat adsorben (Kg)

C adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan adsorpsi (mol/L)

K dan $\frac{1}{n}$ adalah suatu tetapan.

Isoterm *Freundlich* didapatkan dengan mengalurkan $\ln C$ terhadap $\ln x/m$, sehingga menghasilkan harga K dan $1/n$. Data penentuan isoterm *Freundlich* dapat dilihat pada Lampiran 7. Kurva isotherm *Freundlich* adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ ditunjukkan Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Kurva isoterm *Freundlich* adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ

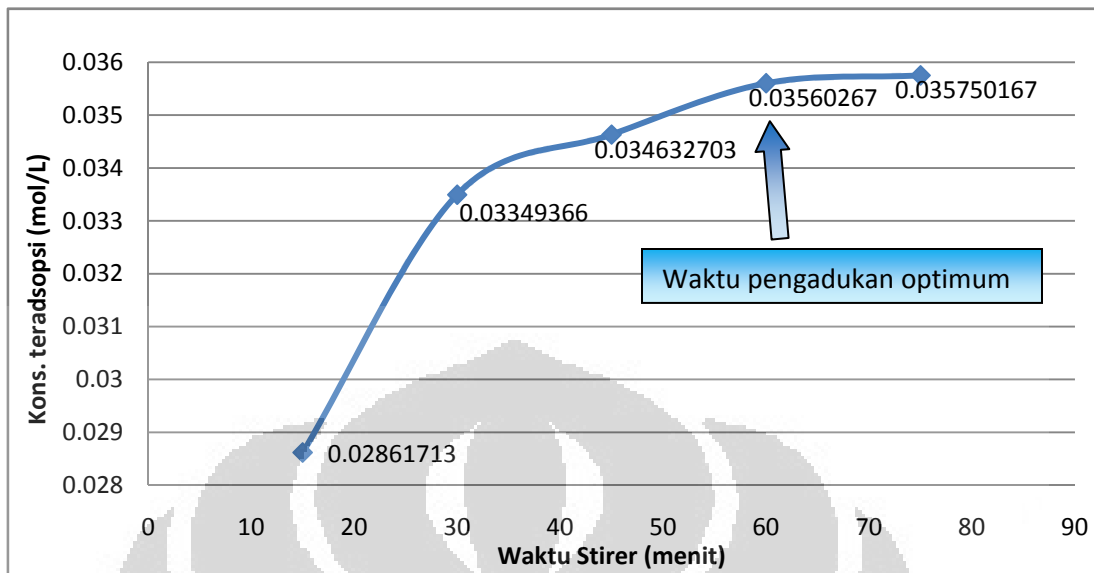
Dari hasil perhitungan isoterm *Freundlich* adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ dengan cara 10^{intersep} , didapat harga $K = 41,428$ dan slope atau $1/n =$

0,34178 dengan kelinearan 0,6428. Nilai $1/n \leq 1$ menyatakan bahwa permukaan bersifat homogen.

Dari perhitungan isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* didapatkan nilai kelinearan isoterm *Langmuir* yang lebih besar dibandingkan isoterm *Freundlich*. Disimpulkan bahwa adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ mengikuti isoterm *Langmuir* yang menunjukkan bahwa tempat-tempat adsorpsi pada permukaan bersifat homogen dan HDTMA⁺ teradsorpsi secara *monolayer*.

4.6.3 Pengaruh Waktu Pengadukan

Salah satu faktor penting yang berperan dalam adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ adalah waktu pengadukan (lama kontak HDTMA⁺ dengan PEB - MZ). Selang waktu pengadukan yang divariasikan antara 15 hingga 75 menit. Konsentrasi HDTMA⁺ teradsorpsi pada PEB – MZ didapat dengan perhitungan: $\text{HDTMA}^+ \text{ teradsorpsi (mol/L)} = \{[\text{HDTMA}^+]_{\text{awal}} - [\text{HDTMA}^+]_{\text{sisa}}\} \text{ mol/L}$. Konsentrasi HDTMA⁺ sisa ditentukan dengan metode BPB. Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui jumlah HDTMA⁺ yang teradsorpsi dan dapat dibuat kurva konsentrasi HDTMA⁺ teradsorpsi terhadap waktu pengadukan. Data dan kurva variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Lampiran 7 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kurva variasi waktu pengadukan

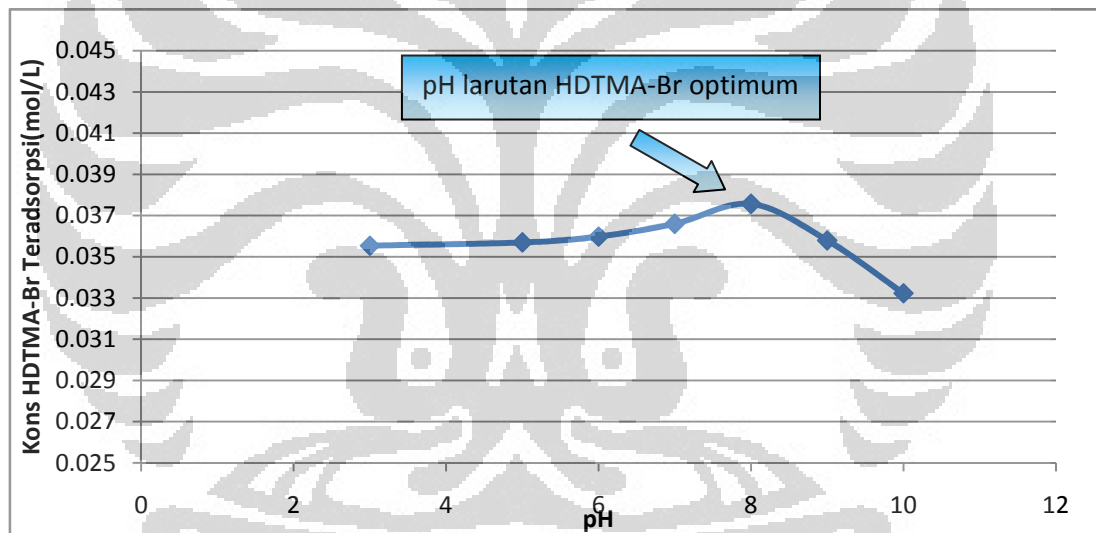
Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pada waktu pengadukan antara 15 hingga 45 menit terjadi peningkatan yang tajam dari konsentrasi HDTMA⁺ teradsorpsi. Hal ini menandakan PEB – MZ masih membutuhkan waktu kontak dengan larutan HDTMA⁺. Pada daerah 60 hingga 75 menit kurva mulai cenderung mendatar (titik 60 menit kurva tepat mendatar), yang berarti waktu optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ adalah pada 60 menit.

4.6.4 Pengaruh pH Larutan HDTMA - Br

Variasi pH larutan HDTMA⁺ dilakukan untuk mendapatkan kondisi pH optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ. Daerah pH yang digunakan antara pH 3,0 – 10,0. Konsentrasi HDTMA⁺ teradsorpsi pada PEB – MZ

didapat dengan perhitungan: HDTMA^+ teradsorpsi (mol/L) = $\{[\text{HDTMA}^+]_{\text{awal}} - [\text{HDTMA}^+]_{\text{sisa}}\}$ mol/L. Konsentrasi HDTMA^+ sisa ditentukan dengan metode BPB. Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui jumlah HDTMA^+ yang teradsorpsi dan dapat dibuat kurva konsentrasi HDTMA^+ teradsorpsi terhadap pH larutan HDTMA^+ . Data dan kurva konsentrasi HDTMA^+ - Br teradsorpsi pada PEB – MZ terhadap pH HDTMA^+ dapat dilihat pada Lampiran 8 dan Gambar 4.14.

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pH optimum untuk proses



Gambar 4.14 Kurva variasi pH HDTMA^+ -Br

adsorpsi HDTMA^+ maksimum pada PEB – MZ adalah pada pH 8,0.

Konsentrasi HDTMA^+ teradsorpsi sebesar 0,0377 M, dan jumlah HDTMA^+ teradsorpsi sebesar 0,3006 mol/Kg pada pH 8,0 merupakan kondisi optimum ketiga faktor (konsentrasi HDTMA^+ 0,04M; waktu pengadukan 60 menit; pH

larutan HDTMA⁺ 8,0), sehingga nilai ini digunakan sebagai nilai adsorpsi HDTMA⁺ optimum.

Jumlah HDTMA⁺ teradsorpsi optimum (konsentrasi HDTMA⁺ 0,04 M; waktu pengadukan 60 menit; pH 8,0) adalah sebesar 0,3006 mol/ Kg PEB – MZ. Sedangkan Nilai ECEC (*External Cation Exchange Capacity*) atau CAC (*Critical Admicelle Concentration*) HDTMA⁺ pada zeolit *Clinoptilolite* diketahui sebesar 0,0562 mol/Kg (Tri Yunarti, Rika *et al unpublished data*, 2005)¹⁷. Dapat disimpulkan, daya adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB – MZ 5,35 kali lebih besar dibandingkan dengan zeolit *Clinoptilolite* yang belum dimodifikasi. Hal ini dapat dijelaskan dari struktur polielektrolit (*random coil*) yang menyediakan lebih banyak gugus-gugus bermuatan (pusat-pusat pengikatan) per satuan massa zeolit.

4.7 Metode Urutan Adsorpsi Surfaktan pada PEB - MZ

Pada penelitian ini juga diusulkan metode urutan adsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺ dan anionik DS⁻ pada PEB – MZ. Metode urutan adsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺ dan anionik DS⁻ pada PEB – MZ terdiri dari : Metode A, metode B dan metode C.

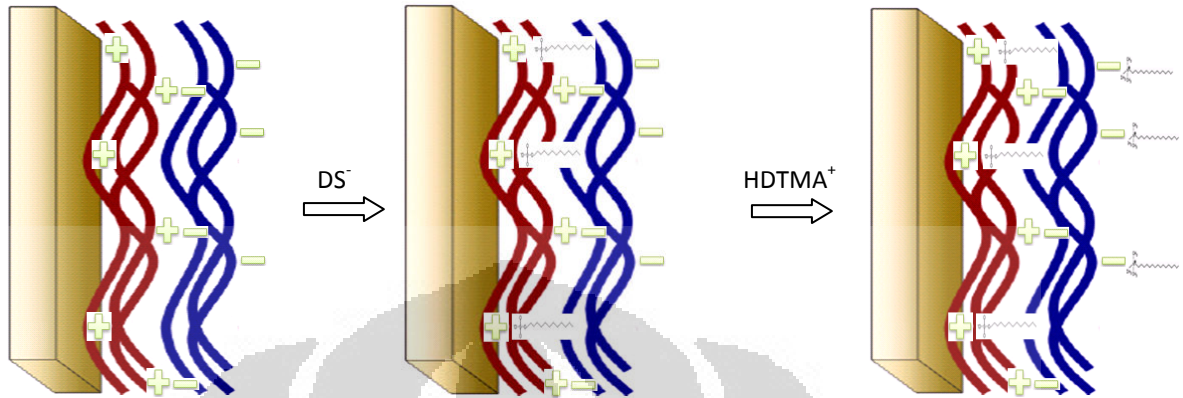
Metode A adalah adsorpsi DS⁻ terlebih dahulu pada PEB – MZ, dicuci dan dikeringkan. Selanjutnya proses adsorpsi dilanjutkan terhadap HDTMA⁺. Metode B adalah sebaliknya, pertama dilakukan adsorpsi HDTMA⁺, dicuci dan dikeringkan. Selanjutnya proses adsorpsi dilakukan terhadap DS⁻.

Metode C dilakukan proses adsorpsi terhadap campuran surfaktan HDTMA⁺ dan DS⁻. Konsentrasi yang digunakan adalah konsentrasi optimum DS⁻ pada 0,035 mol/L²² dan konsentrasi optimum HDTMA⁺ pada 0,04 mol/L (hasil 4.6.1).

4.7.1 Metode A dan B

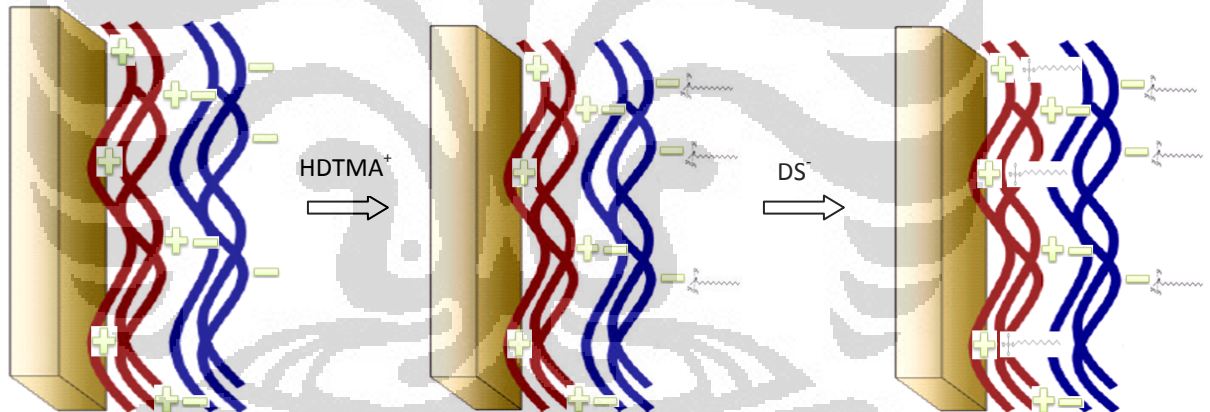
Pada setiap metode adsorpsi, filtrat atau surfaktan yang tidak teradsorpsi ditentukan dengan metode BPB untuk penentuan konsentrasi surfaktan kationik HDTMA⁺, dan metode MB untuk penentuan konsentrasi surfaktan anionik DS⁻. Kemudian konsentrasi surfaktan yang teradsorpsi pada PEB – MZ dapat ditentukan dengan perhitungan: HDTMA⁺ teradsorpsi (mol/L) = {[HDTMA⁺]_{awal} – [HDTMA⁺]_{sisia}} mol/L. Setelah itu akan dibandingkan konsentrasi teradsorpsi, baik surfaktan kationik HDTMA⁺ maupun surfaktan anionik DS⁻ metode A dengan B. Skema sederhana proses adsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺ dan anionik DS⁻ pada PEB – MZ diilustrasikan pada Gambar 4.15 untuk proses adsorpsi metode A dan Gambar 4.16 untuk proses adsorpsi metode B. Skema sederhana ini dibuat untuk memudahkan dalam memahami metode urutan adsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺ dan anionik DS⁻.

Skema sederhana Metode A sebagai berikut:



Gambar 4.15 Skema adsorpsi Metode A

Skema sederhana Metode B sebagai berikut :



Gambar 4.16 Skema adsorpsi Metode B

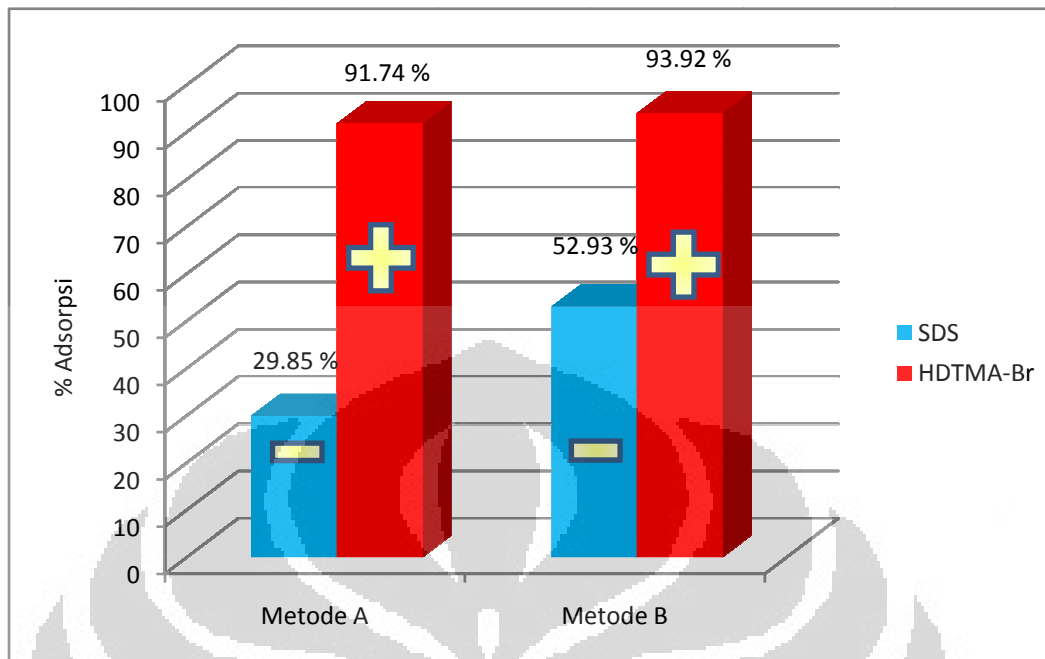
Data dan perhitungan adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 1. Berikut adalah tabel dan diagram hasil perbandingan adsorpsi surfaktan pada Metode A dan B (Gambar 4.17).

Formula	Penentuan	Metode	Absorbansi	Konsentrasi awal (mol/L)	Konsentrasi filtrat (mol/L)	Konsentrasi teradsorpsi (mol/L)	Jumlah teradsorpsi (mol/L)
A	DS ⁻	MB	1,685	0,035	0,02455	0,01045	0,08357
	HDTMA ⁺	BPB	0,329	0,04	0,0033	0,0367	0,29357
B	DS ⁻	MB	1,132	0,035	0,01647	0,01853	0,1482
	HDTMA ⁺	BPB	0,231	0,04	0,0024	0,0376	0,3055

Tabel 1. Perbandingan Metode urutan adsorpsi A dan B

Dari tabel 1 dibuat diagram perbandingan metode urutan adsorpsi surfaktan pada PEB – MZ antara % adsorpsi HDTMA⁺ terhadap metode urutan adsorpsi.

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa Metode B mampu mengadsorpsi surfaktan kationik HDTMA⁺, maupun anionik DS⁻ lebih baik dibandingkan Metode A. Hal ini dapat dijelaskan dengan efek tolakan Coulomb dan hambatan sterik. Pada Metode A, surfaktan anionik DS⁻ diadsorpsikan terlebih dahulu yang mengalami tolakan Coulomb (tolakan akibat muatan yang sejenis) dengan lapisan PSS (polianion). Sedangkan pada Metode B, surfaktan kationik HDTMA⁺ yang diadsorpsi terlebih dahulu mampu menetralkan lapisan polianion PSS, sehingga mengurangi efek tolakan Coulomb antara surfaktan anionik DS⁻ dengan lapisan polianion PSS. Ketika surfaktan anionik DS⁻ berdifusi efek hambatan steriknya kecil (hambatan yang ditimbulkan bila molekul saling berdekatan atau hambatan karena faktor ruang, molekul menempati ruang).

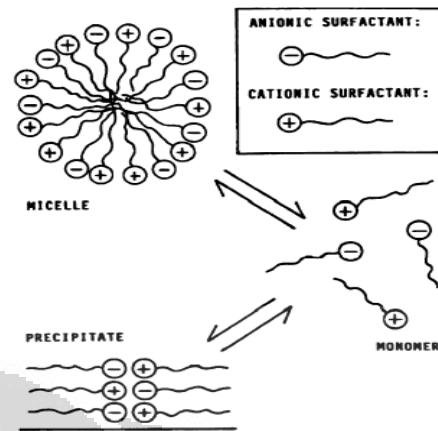


Gambar 4.17 Diagram perbandingan Metode urutan adsorpsi A dan B

Hal ini didukung oleh fakta bahwa ukuran diameter misel DS^- sebesar 3,05 nm, sedangkan ukuran selektif diameter pori-pori polielektrolit dapat mencapai 450 nm^{23} . Oleh karena itu, efek tolakan Coulomb lebih dominan daripada efek hambatan sterik dalam PEB – MZ.

4.7.2 Metode C

Pada Metode C, campuran surfaktan anionik DS^- 0,035 M dan kationik $HDTMA^+$ 0,04 M menghasilkan endapan keruh berwarna putih susu seperti terlihat pada Gambar 4.18.

Gbr 4.18 Campuran DS⁻ & HDTMA⁺

Gbr 4.19 Skema kesetimbangan sistem kationik / anionik

Dari penelitian sebelumnya, Kume, Gallotti dan Nunes pada tahun 2007²⁵ menyatakan bahwa surfaktan anionik dan kationik bila dilarutkan dalam jumlah kecil dibawah nilai CMC DS - HDTMA dan Ksp DS - HDTMA, akan berada dalam bentuk monomernya, karena energi sistem belum cukup untuk berinteraksi. Ketika konsentrasi mencapai CMC DS - HDTMA, maka misel DS - HDTMA mulai terbentuk. Jika konsentrasi monomer surfaktan anionik dan kationik melebihi Ksp DS - HDTMA, terbentuk endapan. Pada temperatur ruang 30°C, Ksp DS - HDTMA = $3,96 \times 10^{-6}$ dan CMC ekuimolar DS - HDTMA = $4,55 \times 10^{-3}$ mol/L²⁴.

4.8 Uji Kestabilan Interaksi Polielektrolit – Surfaktan

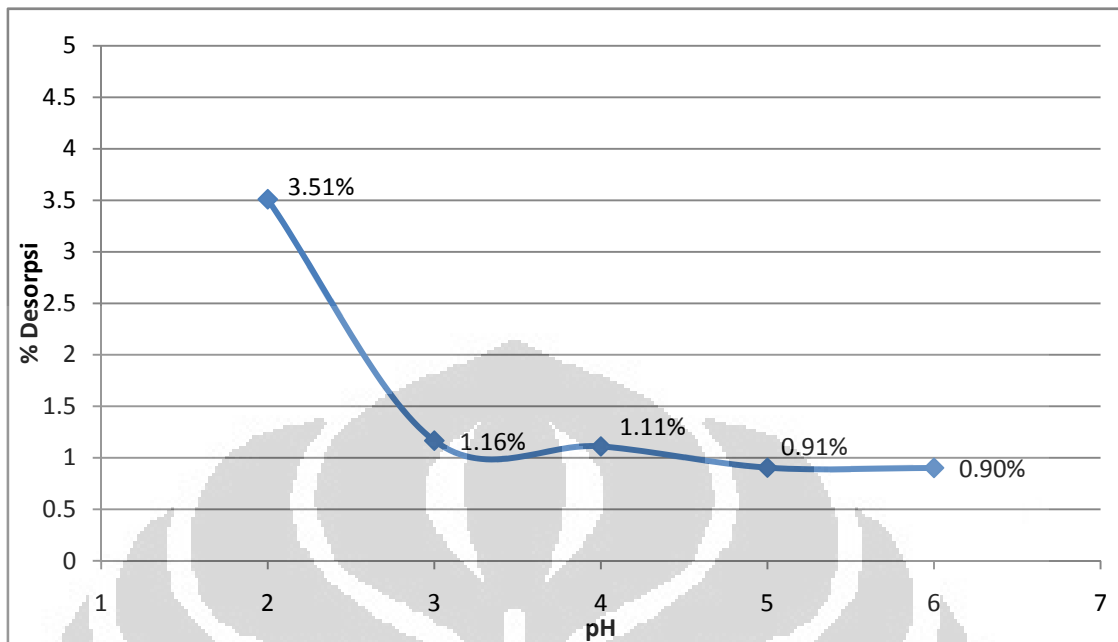
Uji kestabilan interaksi polielektrolit – surfaktan, dalam hal ini polianion PSS dengan surfaktan HDTMA⁺ dilakukan untuk mengetahui kekuatan ikatan

antara polielektrolit dengan surfaktan. Parameter penting yang menentukan tingkat desorpsi HDTMA⁺, seperti pH larutan pencuci (HCl), jumlah pencucian dan temperatur larutan pencuci (HCl) divariasikan untuk melihat pengaruhnya pada desorpsi HDTMA⁺ dari PEB – MZ.

4.8.1 Pengaruh pH Larutan HCl pada Desorpsi HDTMA⁺ dari PEB -- MZ

Proses desorpsi HDTMA⁺ dari PEB – MZ dilakukan melalui pencucian menggunakan HCl (asam kuat). Dasar pemikirannya adalah supaya surfaktan dapat terdesorpsi, tanpa merusak struktur PEB – MZ oleh perlakuan pH. Dari penelitian sebelumnya²¹ didapat bahwa pH optimum adsorpsi polikation PAH pada zeolit adalah pada pH 2,0 dan polianion PSS pada PAH – MZ adalah pada pH 3,0, sehingga pada pH asam, polielektrolit cenderung terikat kuat, karena densitas muatan rantai polielektrolit yang lebih besar.

% desorpsi HDTMA⁺ didapat dengan menentukan konsentrasi HDTMA⁺ sisa dengan metode BPB. Data pengaruh pH HCl pada % desorpsi HDTMA⁺ dapat dilihat pada lampiran 9.



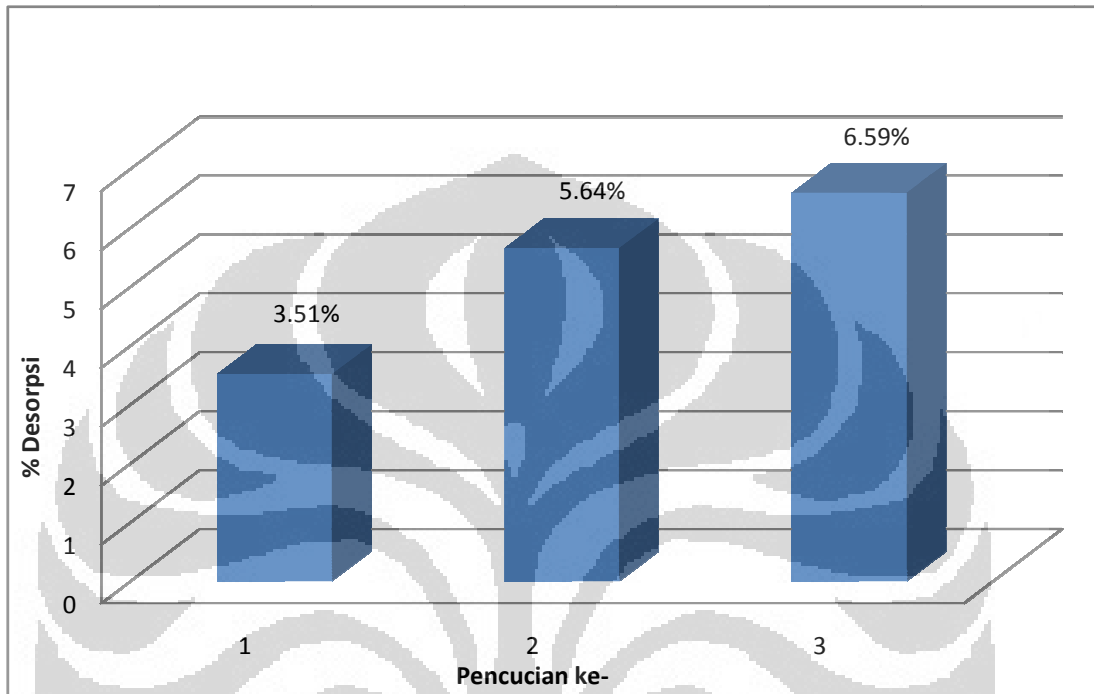
Gambar 4.20 Kurva pengaruh pH pada % desorpsi

Dari Gambar 4.20 dapat dilihat kurva pengaruh pH terhadap % desorpsi HDTMA⁺. Nilai pH optimum berada pada pH 2,0 dengan % desorpsi sebesar 3,51% dan % desorpsi semakin menurun dengan bertambahnya nilai pH menuju netral.

4.8.2 Pengaruh Jumlah Pencucian pada Desorpsi HDTMA⁺

Dari hasil diatas, pH optimum pencucian PEB – MZ menggunakan HCl adalah pH 2,0, akan tetapi persentase HDTMA⁺ terdesorpsi masih cukup kecil (3,51%), sehingga perlu dilakukan jumlah (banyaknya) proses pencucian untuk menaikkan % desorpsi HDTMA⁺. Untuk melihat tingkat desorpsinya pencucian dilakukan hingga 3 kali.

Data dan diagram pengaruh jumlah pencucian terhadap % desorpsi dapat dilihat pada Lampiran 9 dan Gambar 4.21.



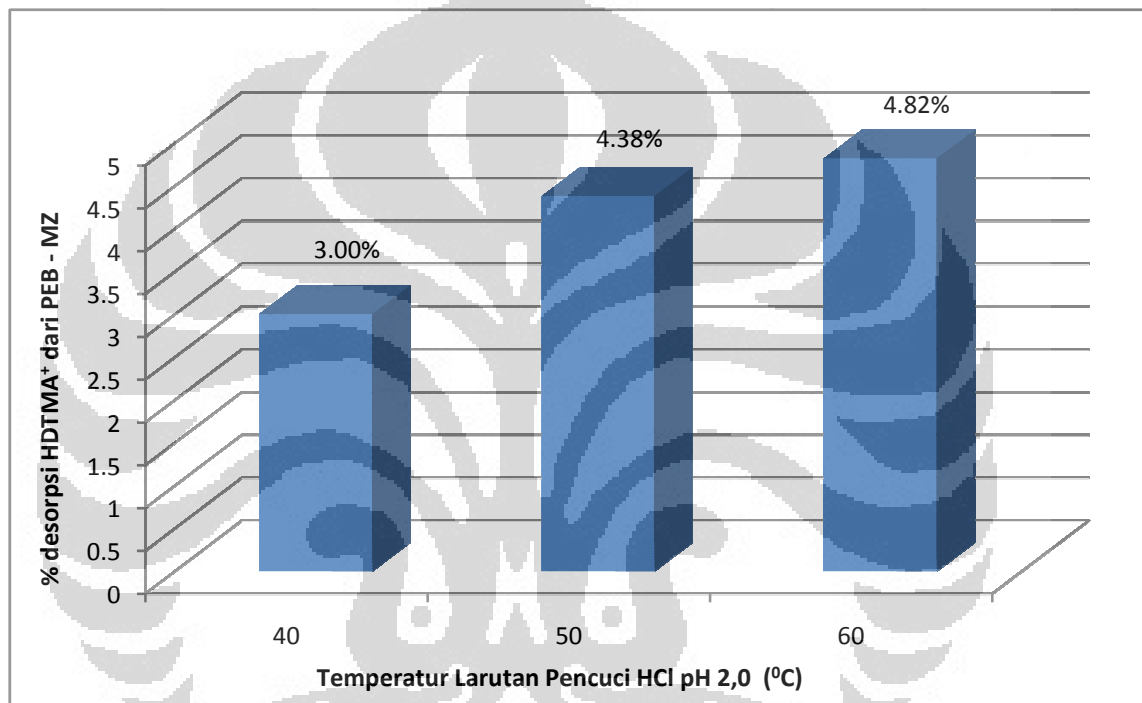
Gambar 4.21 Diagram pengaruh jumlah pencucian pada % desorpsi

Dari Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa pencucian menggunakan HCl pH 2,0 sebanyak 3 kali hanya mampu mendesorpsi HDTMA⁺ sebesar 6,59%. Hal ini memperlihatkan adanya interaksi yang kuat antara HDTMA⁺ dan PEB – MZ.

4.8.3 Pengaruh Temperatur pada Desorpsi HDTMA⁺

Untuk mengoptimalkan proses desorpsi HDTMA⁺ dari PEB – MZ dilakukan dengan memvariasikan temperatur larutan HCl pH 2,0. Range

temperatur dilakukan dari 40 - 60°C. Dengan temperatur, diharapkan dapat memberikan energi ke dalam larutan untuk digunakan molekul memutuskan ikatan yang ada antara polielektrolit dengan surfaktan. Data dan diagram pengaruh temperatur larutan pencuci HCl pH 2,0 terhadap % desorpsi dapat dilihat pada Lampiran 10 dan Gambar 4.20.

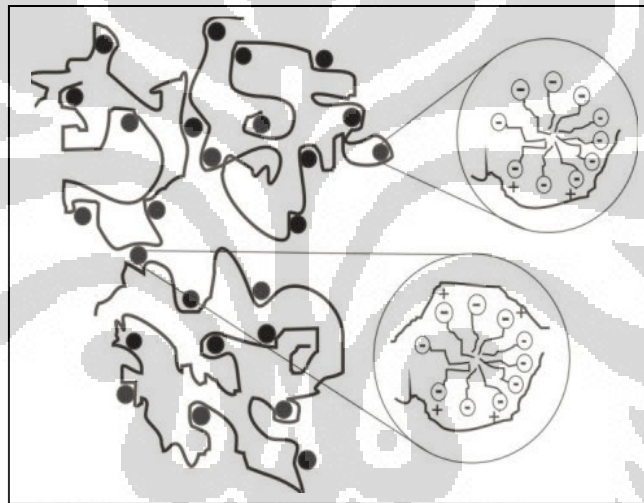


Gambar 4.22 Diagram pengaruh temperatur HCl terhadap % desorpsi

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa perlakuan temperatur yang tinggi pada 60°C larutan pencuci HCl pH 2,0 ,% desorpsi hanya mencapai 4,82%. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan temperatur tidak cukup untuk mengganggu kestabilan interaksi polielektrolit – surfaktan.

Dari keseluruhan hasil yang didapat pada uji kestabilan interaksi polielektrolit – surfaktan, perlakuan yang diberikan tidak mampu

mendestabilisasikan interaksi elektrostatik antara polianion PSS dengan surfaktan kationik HDTMA⁺. Hal ini dapat dijelaskan sebagai: model interaksi polielektrolit dengan surfaktan yang diterangkan oleh V. Haramus sebagai *pearl necklace model* yang menyebabkan interaksi polielektrolit dengan surfaktan sangat kuat. Misel seakan-akan terjebak dalam struktur melingkar (*coil*) polielektrolit. Polielektrolit berperan sebagai *shell* atau *template* dan misel terjebak di dalamnya sebagai inti (*core*).



Gambar 4.23 Interaksi polielektrolit – surfaktan (*pearl necklace model*)

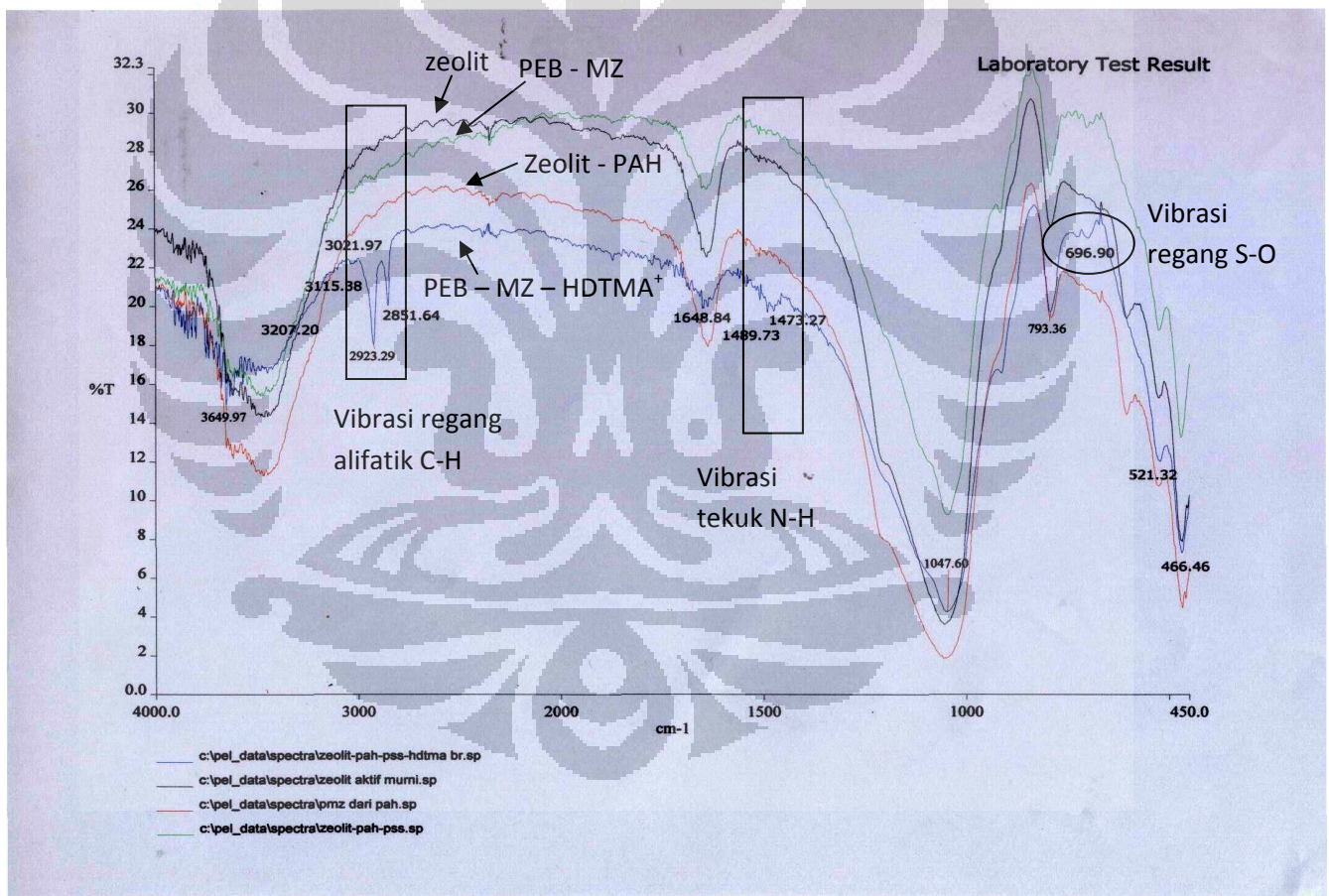
Gugus hidrofilik surfaktan dalam misel berinteraksi elektrostatik dengan gugus bermuatan pada rantai polielektrolit, sedangkan gugus hidrofobik HDTMA⁺ berinteraksi dengan gaya hidrofobik antara sesama monomer surfaktan yang menciptakan interaksi sangat kuat.

Polystyrene Sulfonate (PSS) merupakan polielektrolit kuat yang terionisasi sempurna pada hampir setiap range pH, sehingga pada perlakuan

pH 2,0 pun tidak menurunkan densitas muatan pada polianion PSS, sehingga PSS tetap berinteraksi kuat dengan misel HDTMA⁺.

4.9 Analisis Spektra FTIR PEB - MZ yang telah Jenuh oleh HDTMA⁺

Spektrum FT – IR PEB – MZ yang telah jenuh oleh HDTMA⁺, dibandingkan terhadap spektrum FT – IR zeolit, zeolit – PAH dan PEB – MZ dapat dilihat seperti pada Gambar 4.24



Gambar 4.24 Spektrum FTIR zeolit, zeolit – PAH, PEB – MZ dan PEB – MZ yang telah jenuh oleh HDTMA⁺.

Analisis spektrum PEB – MZ yang telah jenuh oleh HDTMA⁺ dapat dilihat adanya puncak serapan yang sangat signifikan pada bilangan gelombang $\nu = 2923,29 \text{ cm}^{-1}$ dan $2851,64 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi regang alifatik sp^3 gugus C-H dari HDTMA⁺ dan polielektrolit. Berdasarkan literatur vibrasi regang alifatik sp^3 C-H berada pada bilangan gelombang $\nu = 2950\text{-}2850 \text{ cm}^{-1}$. Adanya puncak serapan pada $1473,27 \text{ cm}^{-1}$ menandakan vibrasi tekuk (*bending*) N-H dari HDTMA⁺ dan PAH. Puncak serapan pada bilangan gelombang $\nu = 696,90 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi regang S-O. Berdasarkan literatur²⁶ puncak serapan vibrasi tekuk (*bending*) N-H berada pada bilangan gelombang $\nu = \sim 1400 \text{ cm}^{-1}$ dan puncak serapan vibrasi regang S-O berada pada bilangan gelombang $1000\text{-}700 \text{ cm}^{-1}$. Puncak-puncak tersebut membuktikan secara kualitatif bahwa PEB – MZ yang terdiri dari polikation PAH dan polianion PSS telah mengadsorpsi HDTMA⁺.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- i. Fabrikasi *Polyelectrolyte Bilayer - Modified Zeolite* dengan teknik *Layer by Layer* telah berhasil dibuat, ditandai dengan spektrum FTIR yang menunjukkan gugus-gugus fungsi dari *Polyallylamine Hydrochloride* (PAH) dan *Polystyrene Sulfonate* (PSS).
- ii. Kondisi optimum adsorpsi HDTMA⁺ pada PEB - MZ
 - a. Konsentrasi optimum HDTMA - Br pada 0,04 mol/L.
 - b. Waktu pengadukan optimum pada 60 menit.
 - c. pH optimum pada pH 8,0.
 - d. Jumlah HDTMA⁺ teradsorpsi 0,3006 mol/Kg PEB – MZ.
- iii. Daya adsorpsi HDTMA⁺ pada *Polyelectrolyte Bilayer - Modified Zeolite* (PEB - MZ) 5,35 kali lebih besar, dibandingkan harga ECEC Zeolit *Clinoptilolite*.
- iv. Efek tolakan *Coulomb* lebih dominan dibandingkan efek hambatan sterik.

- v. Interaksi surfaktan sangat kuat dengan polielektrolit (*pearl necklace model*) dibuktikan dengan pencucian menggunakan HCl 0,01 N sebanyak 3 kali pada temperatur ruang hanya mampu mendesorpsi HDTMA⁺ sebesar 6,59% dan pencucian menggunakan HCl 0,01 N sebanyak 1 kali pada temperatur 60°C hanya mampu mendesorpsi HDTMA⁺ sebesar 4,82%.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan persentase desorpsi surfaktan HDTMA⁺ yang lebih signifikan, sebaiknya digunakan polianion lemah yang bersifat *pH tunable polyelectrolyte* atau polianion yang dapat dimainkan densitas muatannya dengan perlakuan pH, contohnya *Polyacrylic Acid (PAA⁻)*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Consumption of Detergent Increasing up to 499,100 tons in 2002.
<http://highbeam-research.com>, 12 Februari 2008, pukul 14.30 WIB.
2. Ladam, Guy; Schaaf, P; Decher, G; Voegel, J.C dan Cuisinier, F.J.G. 2005. Protein Adsorption onto Auto-Assembled Polyelectrolite Films, *Biomolecular (19)*, 273-280.
3. Breck, Donald W. 1974. *Zeolite Molecular Sieve*. John Wiley & Sons: New York.
4. Rmaile, Hasan. 2004. *Polyelectrolytes: Definition, properties and Applications*. Interscience Publisher, inc : Singapore.
5. Joanny, Jean Francois dan Castelnovo, Martin. 2002. Polyelectrolytes Adsorption and Multilayers Formation. *Mutilayer Thin Films Journal*.
6. Nolte, Adam John. 2007. Fundamentals Studies of Polyelectrolytes Multilayers Film: Optical, Mechanic and Lithographic Properties Control. *Thesis Massachusetts Institute of Technology*: Massachusetts.
7. Haramus, V. 2004. Polymers(polyelectrolyte) / surfactants Interactions in Aqueous Solution. *Macromolecular Structure Research*.
8. Linden, C.J & Franter, F.G. 2000. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, vol 2 & 3*. Academic press : London

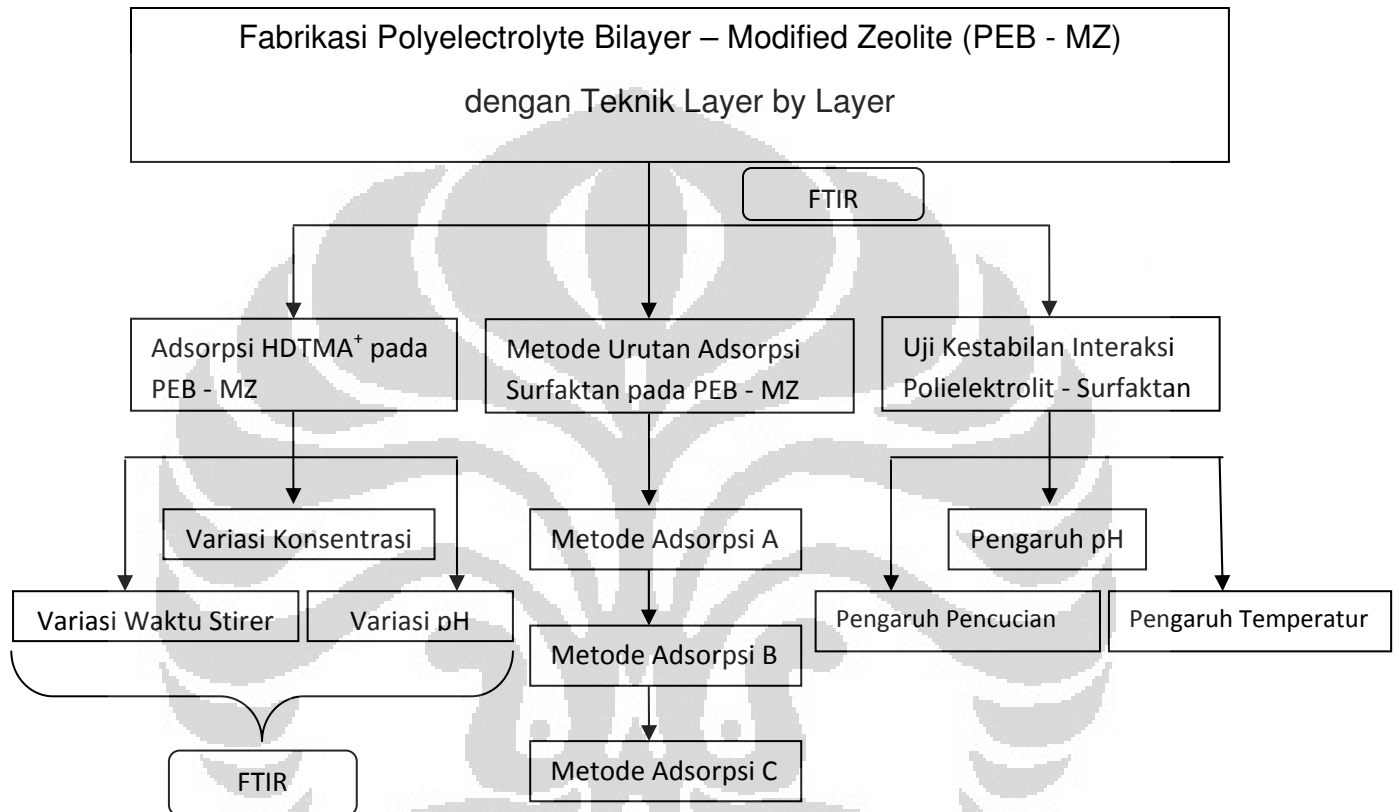
9. Struth, B; Decher, G; Schmitt, J; Hofmeister, W; Neißendorfer, F; Brezesinski, Pietsch dan Mohwald, H. 1999. Chemical Modification of Topaz Surfaces. *Materials Science and Engineering C* 10 97-101.
10. Korneev, D; Lvov, Y; Decher, G; Schmitt, J dan Yaradaikin, S. 1995. Neutron Reflectivity Analysis of Self-Assembled Film Superlattices with Alternate Layers of Deuterated and Hydrogenated Polystyrenesulfonate and Polyallylamine. *Physica B* 213 & 214 954-956.
11. Lehr, B; Seufert, M; Wenz, G dan Decher, G. 1995. Fabrication of Poly(p-phenylene vinylene) (PPV) Nanoheterocomposite Films via Layer-by-Layer Adsorption, *Supramolecular Science*, (2), 199-207.
12. Sukhorukov, G.B; Mohwald, H; Decher, G dan Lvov, Y.M. 1996. Assembly of Polyelectrolyte Multilayer Films by Consecutively Alternating Adsorption of Polynucleotides and Polycations. *Thin Solid Films* 284-285 220-223.
13. Decher, G; Lehr, B; Lowack, K; Lvov, Y dan Schmitt, J. 1994. New Nanocomposite Films for Biosensors: Layer-by-Layer Adsorbed Films of Polyelectrolytes, Protein or DNA, *Biosensors & Bioelectronic*, (9), 677-684.

14. Cassier, T; Lowack, K dan Decher, G. 1998. Layer-by-Layer Assembled Protein/Polymer Hybrid Films: Nanoconstruction via Specific Recognition, *Supramolecular Science*, (5), 309-315.
15. Rosen, M.J. 1978. *Surfactants and interfacial phenomena*. John Wiley & Sons, Inc., New York: 304 hlm.
16. Fitriani, Ria. 2005. *Penentuan kemampuan tukar anion sulfat pada zeolit Clinoptilolite dan zeolit A yang dimodifikasi dengan Hexadecyl trimethyl ammonium Bromide*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.
17. Tri Yunarti, Rika. 2005. *Modifikasi Zeolit Clinoptilolite dengan Hexadecyltrimethylammonium Bromide dan Regenerasinya setelah Penjenuhan oleh Anion Kromat*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.
18. Pramitasari, Nuriana. 2005. *Studi Interaksi Metilen Biru dengan Sodium Dodesil Sulfat dalam Sistem Misel dan pada Permukaan Cair/Gas*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.
19. Muliawan, Pity. 2005. *Studi Pembentukan Ion Kompleks Fe(III) dengan Ligan 2-(5-Bromo-2-piridilazo)-5-dietilaminofenol dan Asosiasi Ion dengan Sodium Dodesil Sulfat pada Antarmuka Heksana-air*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.

20. www.wikipedia.org/wiki/encyclopedia. 18 Februari 2008. pukul 09.30 WIB
21. Aristiyani, Rina. 2007. *Studi Pendahuluan Modifikasi Zeolit Clinoptilolite dengan Polikation Polyallylamine Hydrochloride sebagai Adsorben Sodium Dodecyl Sulfate*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.
22. Budiawan, Demmy. 2007. *Aplikasi Polimer Modified Zeolit sebagai Adsorben Limbah Cair Detergen Sodium Dodecyl Sulfate dan Regenerasi*. Karya Utama Sarjana Kimia, Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.
23. Smuleac; Butterfield dan Bhattacharyya. 2006. Layer by Layer Assembled Microfiltration Membrane for Biomolecule Immobilization and Enzymatic Catalysis. *Langmuir* (22), 10118-10124.
24. Yu Tang, Bi Yingdu, Jun Yang dan Zhang, Yuan Ming. 2006. Temperatur Effect on Surface Activity and Application of Toluene Derivatives of CTAB – SDS with KMNO₄. *J. Chem. Sci* vol 118 pp 281-285.
25. Kume, Gustavo; Galloti, Manlio dan Nunes, George. 2008. Review on Anionic / Cationic Surfactant Mixtures. *J Surfact Deterg* 11:1 – 11.

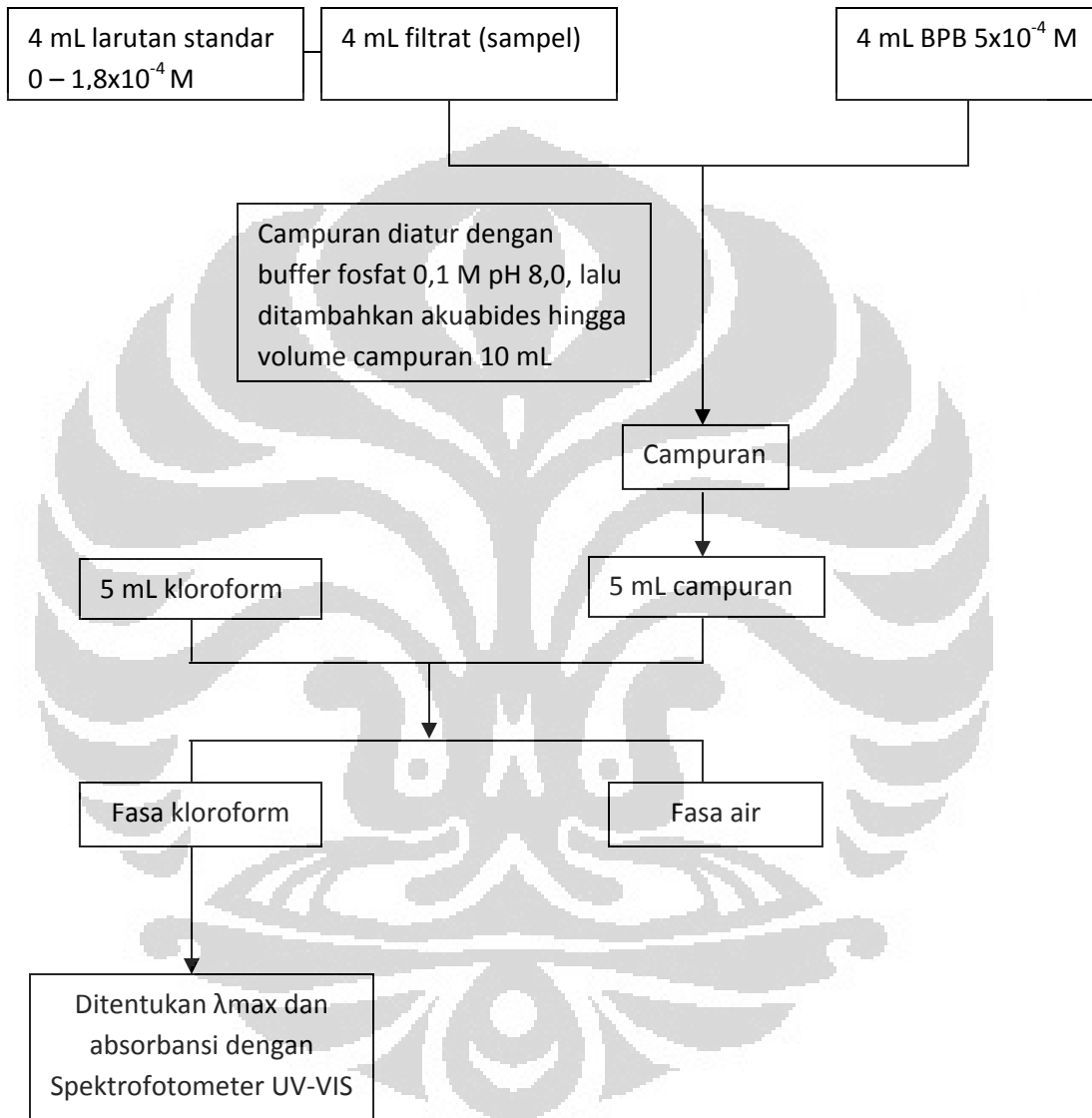
LAMPIRAN 1

BAGAN KERJA PENELITIAN



LAMPIRAN 2

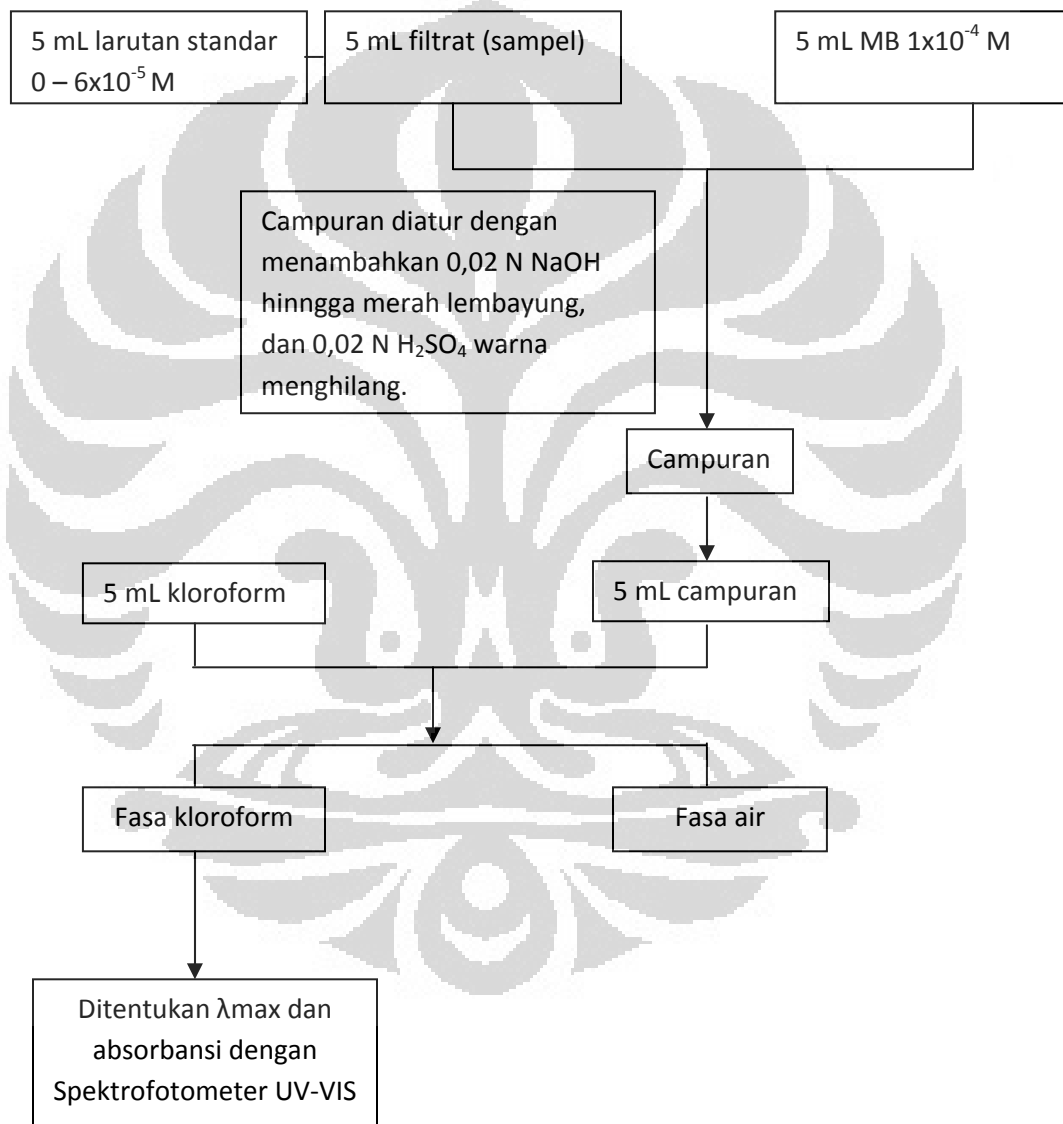
PENENTUAN SURFAKTAN KATIONIK HDTMA-Br (METODE BPB)



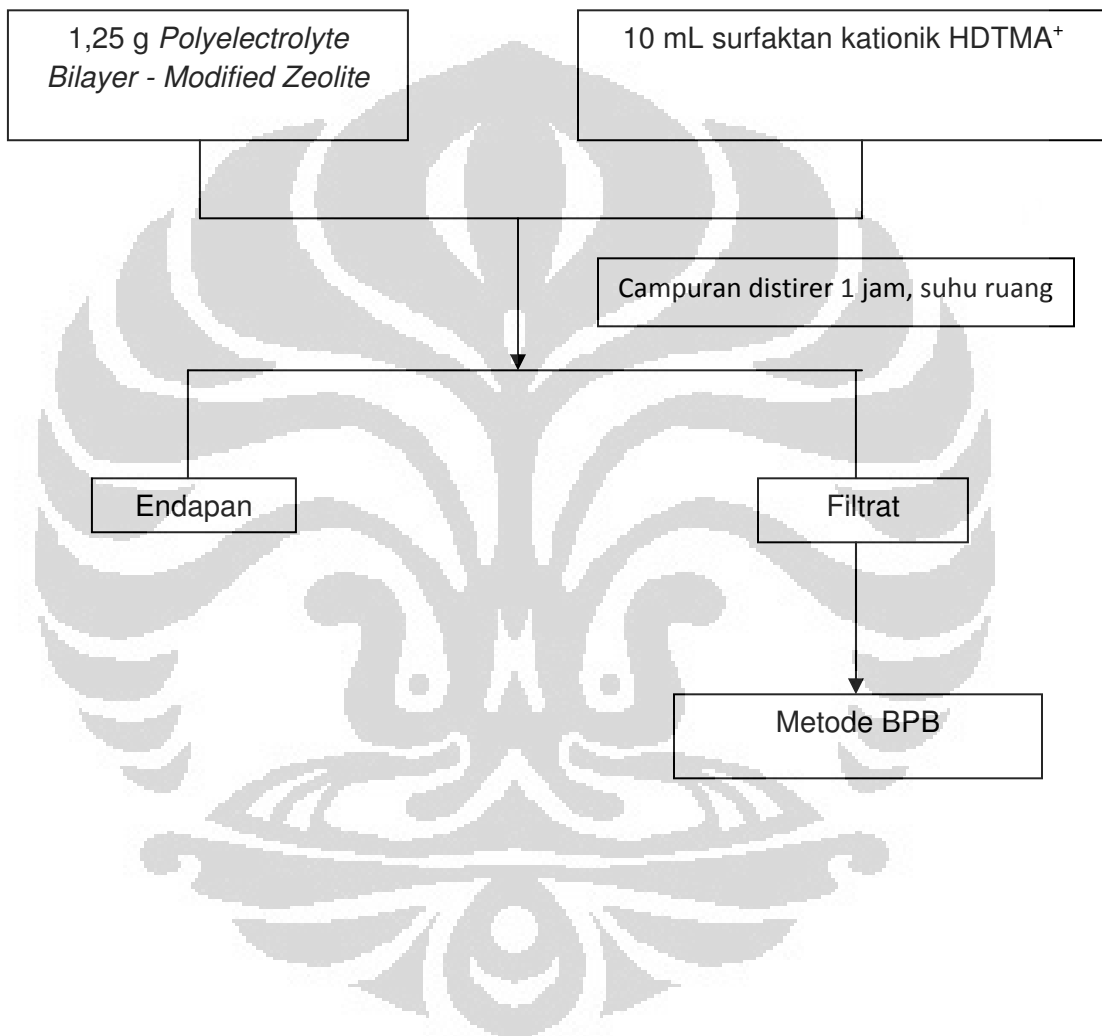
Konsentrasi HDTMA-Br (mol/L)	$1,00 \times 10^{-5}$	$3,00 \times 10^{-5}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$7,00 \times 10^{-5}$	$9,00 \times 10^{-5}$
Absorbansi	0,236	0,620	0,959	1,599	1,994

LAMPIRAN 3

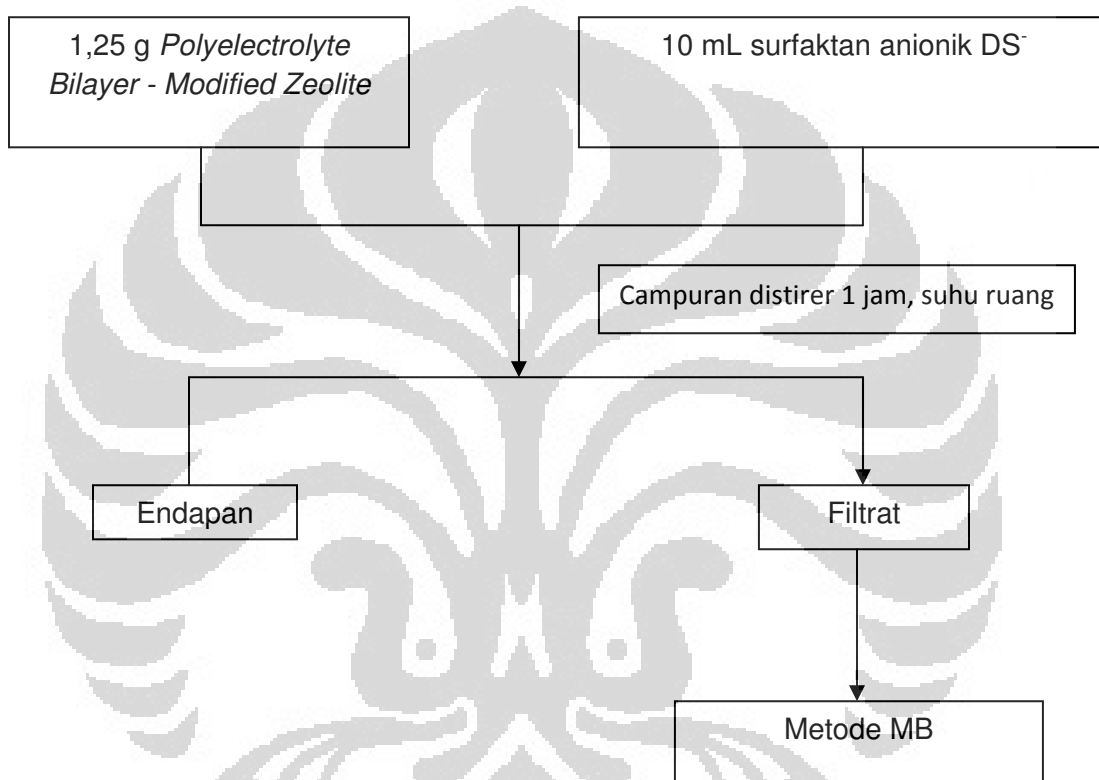
PENENTUAN SURFAKTAN ANIONIK SDS (METODE MB)



Konsentrasi SDS (mol/L)	$5,00 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-5}$	$4,00 \times 10^{-5}$	$6,00 \times 10^{-5}$
Absorbansi	0,182	0,308	0,501	1,107	1,711

LAMPIRAN 4**PENENTUAN ADSORPSI SURFAKTAN HDTMA⁺ PADA PEB – MZ**

LAMPIRAN 5

PENENTUAN ADSORPSI SURFAKTAN DS^- PADA PEB – MZ

LAMPIRAN 6

TABEL 1. VARIASI KONSENTRASI HDTMA⁺

Konsentrasi HDTMA ⁺ awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi HDTMA ⁺ sisa (mol/L)	Konsentrasi HDTMA ⁺ teradsorpsi (mol/L)	Jumlah HDTMA ⁺ teradsorpsi (mol/Kg)
0,005	0,046	0,00078	0,00422	0,03372
0,01	0,36	0,00179	0,00821	0,06568
0,02	0,057	0,00132	0,01868	0,14941
0,03	0,322	0,00324	0,02676	0,21407
0,04	0,707	0,00800	0,03200	0,25510
0,05	1,254	0,01730	0,03270	0,26158
0,06	1,34	0,02706	0,03294	0,26352
0,07	1,569	0,03728	0,03272	0,26178
0,08	1,43	0,04716	0,032834	0,26270
0,09	0,718	0,05682	0,03318	0,26540
0,1	0,707	0,06667	0,03333	0,26664

LAMPIRAN 7

TABEL 2. DATA ISOTERM ADSORPSI HDTMA⁺ PADA PEB – MZ

C_2 (g/L)	C_2^s (g/Kg)	C_2/C_2^s	Log C_2	Log C_2^s
0,28605	12,28974	0,02328	-0,54356	1,08954
0,65221	23,93862	0,02724	-0,18562	1,3791
0,48259	54,45182	0,00886	-0,31642	1,73601
1,18117	78,01942	0,01514	0,07231	1,8922
2,91576	93,29899	0,03125	0,46475	1,96988
6,30573	95,33545	0,06614	0,79974	1,97925
9,86202	96,04143	0,10269	0,99397	1,98246
13,58610	95,40498	0,1424	1,13310	1,97957
17,18864	95,74098	0,17953	1,23524	1,9811
20,70996	96,72665	0,21411	1,31618	1,98555
24,29800	97,17888	0,25003	1,38557	1,98757

TABEL 3. VARIASI WAKTU PENGADUKAN HDTMA⁺

Waktu Pengadukan (menit)	Konsentrasi awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi filtrat (mol/L)	Konsentrasi teradsorpsi (mol/L)
15	0,04	1,237	0,01138	0,02862
30	0,04	0,689	0,00651	0,03349
45	0,04	0,561	0,00537	0,03463
60	0,04	0,452	0,00440	0,03560
75	0,04	0,913	0,00425	0,03575

LAMPIRAN 8

TABEL 4. VARIASI pH HDTMA⁺

pH larutan HDTMA ⁺	Konsentrasi awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi filtrat (mol/L)	Konsentrasi teradsorpsi (mol/L)
3	0,04	0,459	0,00446	0,03554
5	0,04	0,303	0,00430	0,03570
6	0,04	0,368	0,00402	0,03599
7	0,04	0,382	0,00340	0,03660
8	0,04	0,231	0,00243	0,03757
9	0,04	0,43	0,00420	0,03580
10	0,04	0,718	0,00676	0,03323

TABEL 5. TABEL METODE URUTAN ADSORPSI SURFAKTAN

Formula	Penentuan	Metode	Absorbansi	Konsentrasi awal (mol/L)	Konsentrasi filtrat (mol/L)	Konsentrasi teradsorpsi (mol/L)	Jumlah teradsorpsi (mol/L)
A	DS ⁻	MB	1,685	0,035	0,02455	0,01045	0,08357
	HDTMA ⁺	BPB	0,329	0,04	0,0033	0,0367	0,29357
B	DS ⁻	MB	1,132	0,035	0,01647	0,01853	0,1482
	HDTMA ⁺	BPB	0,231	0,04	0,0024	0,0376	0,3055

LAMPIRAN 9

TABEL 6. TABEL PENGARUH pH TERHADAP % DESORPSI

pH larutan HCl	Konsentrasi awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi terdesorpsi (mol/L)
2	0,03575	1,368	0,00125
3	0,03463	0,866	0,00040
4	0,03560	0,847	0,00039
5	0,03349	0,639	0,00030
6	0,02862	0,538	0,00026

TABEL 7. TABEL PENGARUH JUMLAH PENCUCIAN TERHADAP
%DESORPSI

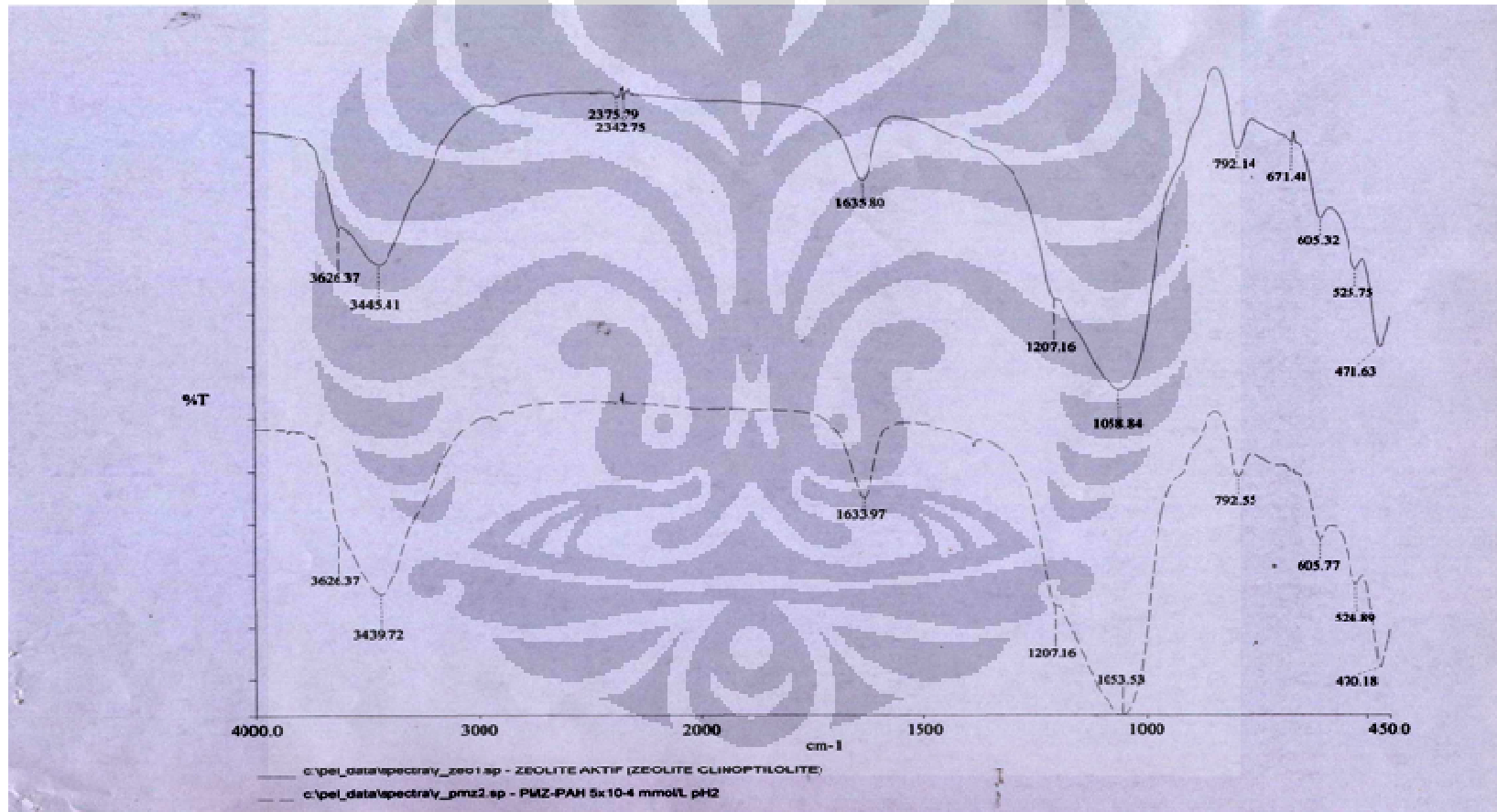
Pencucian ke-n	Konsentrasi awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi terdesorpsi (mol/L)
1	0,03575	1,368	0,00125
2	0,0345	1,675	0,000764
3	0,02686	0,716	0,00034

LAMPIRAN 10**TABEL 7. TABEL PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP % DESORPSI**

Temperatur (°C)	Konsentrasi awal (mol/L)	Absorbansi	Konsentrasi terdesorpsi (mol/L)
40	0,02862	0,281	0,00086
50	0,03463	0,813	0,00152
60	0,03560	1,893	0,00172

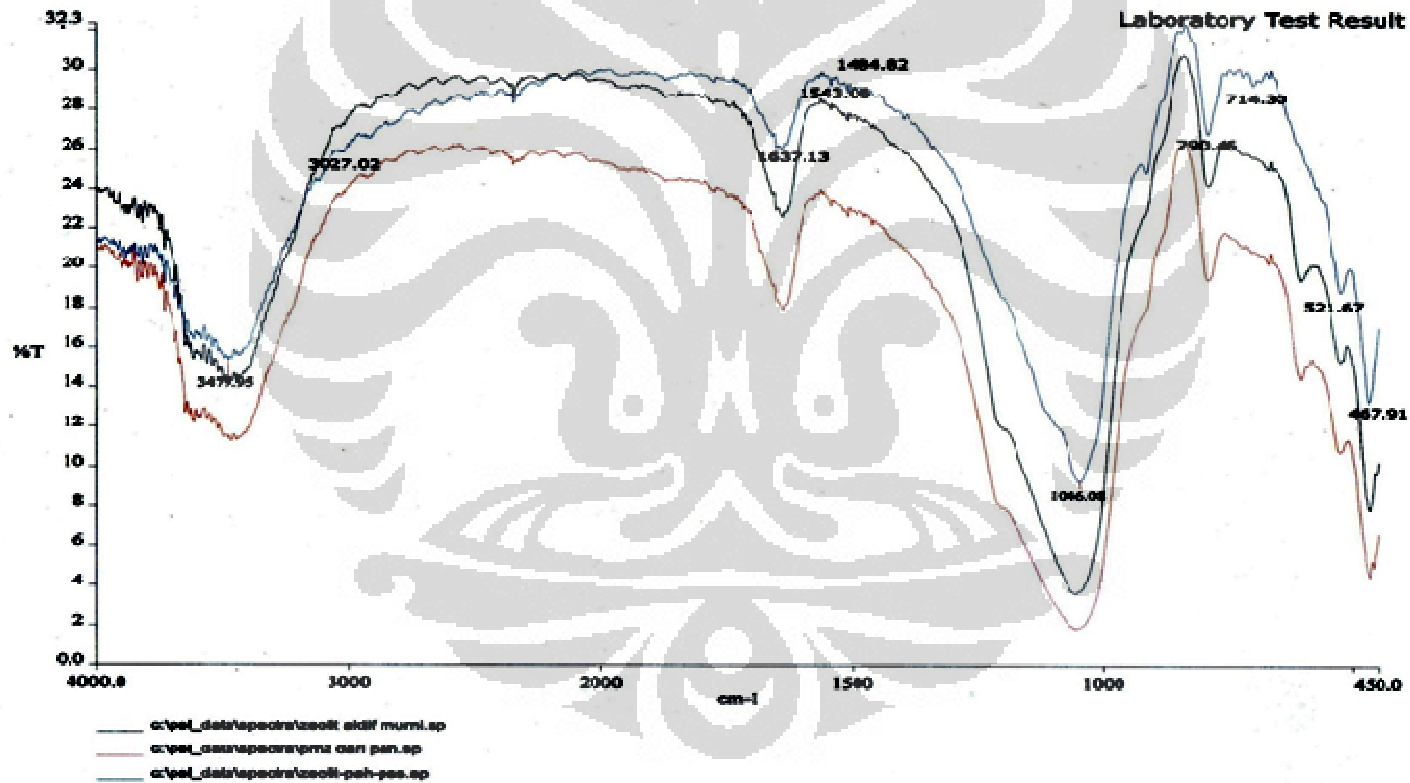
LAMPIRAN 11

SPEKTRUM FTIR ZEOLIT DAN ZEOLIT – PAH



LAMPIRAN 12

SPEKTRUM FTIR ZEOLIT, ZEOLIT – PAH DAN PEB - MZ



LAMPIRAN 13

SPEKTRUM FTIR ZEOLIT, ZEOLIT – PAH, PEB – MZ DAN PEB – MZ JENUH HDTMA⁺

