TUGAS AKHIR – TL141584

SINTESIS DAN KARAKTERISASI *PHOTOPOLYMER* BERBASIS AKRILIK *POLY(METHYL METHACRYLATE-co-STYRENE)* SEBAGAI KANDIDAT BAHAN BASIS GIGI TIRUAN

GARUDA RAKA SATRIA DEWANGGA
NRP 2712100018

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT – TL141584

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ACRYLIC BASED PHOTOPOLYMER *POLY(METHYL METHACRYLATE-co-STYRENE)* AS MATERIAL CANDIDATE FOR DENTURE BASE

GARUDA RAKA SATRIA DEWANGGA
NRP 2712100018

Supervisor :
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

SINTESIS DAN KARAKTERISASI
***PHOTOPOLYMER* BERBASIS AKRILIK**
POLY(METHYL METHACRYLATE-co-STYRENE)
SEBAGAI KANDIDAT BAHAN BASIS GIGI TIRUAN

TUGAS AKHIR
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
GARUDA RAKA SATRIA DEWANGGA
NRP. 2712100018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. ..... (Pembimbing 1)
2. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. ..... (Pembimbing 2)

Surabaya
Juli 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SINTESIS DAN KARAKTERISASI *PHOTOPOLYMER* BERBASIS AKRILIK *POLY(METHYL METHACRYLATE-co-STYRENE)* SEBAGAI KANDIDAT BAHAN BASIS GIGI TIRUAN

Nama Mahasiswa : Garuda Raka Satria Dewangga
NRP : 2712100018
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing: Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Abstrak

Basis gigi tiruan merupakan bagian dari gigi tiruan yang bertumpu pada jaringan lunak yang menutupi tulang rahang dan menjadi jangkar gigi tiruan. Bahan yang biasa digunakan adalah *poly(methyl methacrylate)*, namun memiliki kekurangan pada sifat mekanik akibat daya serap air tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik *poly(methyl metahcrylate)* dengan cara membentuk kopolimer menggunakan *photopolymerization*. Variasi yang diberikan dalam penelitian adalah penambahan *styrene* pada komponen *liquid* resin akrilik sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Resin akrilik termodifikasi dipolimerisasi menggunakan *photoinitiator* Irgacure 784 sebesar 1,5 % berat. Hasil pengujian menunjukkan penambahan *styrene* 40 % berat pada kopolimer memiliki kinerja terbaik jika dibandingkan dengan penambahan *styrene* 10, 20, 30, dan 50 % berat. Pada pengujian didapatkan kopolimer dengan penambahan *styrene* 40 % berat memiliki *water absorption* sebesar 2,40 $\mu g/mm^3$, *solubility* sebesar 0,43 $\mu g/mm^3$, *flexural strength* sebesar 69,33 MPa, *flexural modulus* sebesar 1,23 GPa, dan kekerasan sebesar 82,58 HD. Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan penambahan 40 % berat *styrene* memiliki nilai yang mendekati persyaratan sebagai bahan basis gigi tiruan.

Kata kunci : basis gigi tiruan, *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*, *photopolymerization*, Irgacure 784

(halaman ini sengaja dikosongkan)

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ACRYLIC BASED PHOTOPOLYMER *POLY(METHYL METHACRYLATE-co-STYRENE)* AS MATERIAL CANDIDATE FOR DENTURE BASE

Name	**: Garuda Raka Satria Dewangga**
NRP	**: 2712100018**
Department	**: Material and Metallurgical Engineering**
Advisors	**: Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.**
	Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Abstract

Denture base is the part of denture rests on the soft tissue that covering the jawbone and becomes an anchor of a denture. Materials commonly used are poly(methyl methacrylate), but have deficiencies in mechanical properties due to high water absorption. The study aims to improve the physical and mechanical properties of poly(methyl methacrylate) with formed a copolymer using photopolymerization. Variations were given in this study was the addition of the styrene monomer at the liquid component in acrylic resin in an amount of 10, 20, 30, 40, and 50 %wt. The modified acrylic resin polymerized using Irgacure 784's photoinitiator in an amount of 1,5 %wt. The test results showed the addition of 40 % by weight of styrene copolymer had the best performance when compared with the addition of styrene 10 , 20 , 30 , and 50 %. In the test obtained by the addition of styrene had water absorption value of 2,405 μg/mm^3, the solubility of 0,434 μg/mm^3, the flexural strength of 69,336 MPa, the flexural modulus of 1,236 GPa, and hardness of 82,583 HD. Poly(methyl methacrylate-co-styrene) copolymer with the addition of 40 %wt styrene had a value close the requirements as a denture base material.

Key words : denture base, poly(methyl methacrylate-co-styrene), photopolymerization, Irgacure 784

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan penulis limpahan rahmat untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang ***"Sintesis dan Karakterisasi Photopolymer Berbasis Akrilik Poly(Methyl Methacrylate-co-Styrene) Sebagai Kandidat Bahan Basis Gigi Tiruan"***. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua penulis, serta adik penulis yang selalu mendoakan dan memberi dorongan motivasi selama ini,
3. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. dan Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis,
5. Dosen-dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, yang memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan S1,
6. Karyawan Laboratorium Inovasi Material dan Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS, yang telah memberi bantuan dalam hal teknis dan pengambilan data penelitian,
7. Fahriadi Pakaya, S.Si. selaku mentor selama pengerjaan Tugas Akhir penulis,
8. Rekan tim sekaligus keluarga Laboratorium Inovasi Material, Rico, Fabian, Dayu, Agus, dan Novi, yang telah saling membantu dan menguatkan dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis,

9. Seluruh kolega angkatan 2012 yang selalu saling menguatkan dalam bingkai keriangan,
10. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan di berbagai sudutnya. Namun, dengan tulus penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi semua orang.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 *Dental Material* 5
2.2 *Dental Restorative Material* 6
2.3 *Denture Base* 7
2.3.1 Bahan *Denture Base* 7
2.3.2 Fabrikasi *Denture Base* 8
2.3.3 Sifat *Denture Base* 12
2.3.4 Spesifikasi *Denture Base* 13
2.4 *Poly(methyl methacrylate)* 13
2.5 *Poly(styrene)* 14
2.6 Kopolimerisasi 15
2.7 *Photopolymer* 16
2.7.1 *Free Radical Photopolymerization* 17
2.7.2 Mekanisme *Photopolymerization* 18
2.7.3 *Photoinitiator* dan Mekanisme *Photoinitiation* 18
2.7.4 *Photoinitiator* Irgacure 784 20
2.7.5 *Light Curing Units* 22

2.7.6 Metode *Photoactivation* 25
2.8 Penelitian Sebelumnya 25
2.8.1 *Poly(methyl methacrylate-co-styrene*) Sebagai *Denture Base Material*.....26
2.8.2 Perbandingan Metode *Conventional* dengan *Photo-polymerization* Terhadap Sifat Mekanik *Denture Base*.....27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Bahan Penelitian 31
3.2 Peralatan Penelitian 31
3.3 Diagram Alir Penelitian 33
3.3.1 Sintesis Serbuk *Poly(methyl methacrylate)* 33
3.3.2 Sintesis *Poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 34
3.4 Prosedur Penelitian 35
3.4.1 Preparasi Serbuk *Poly(methyl methacrylate)* 35
3.4.2 Karakterisasi Serbuk *Poly(methyl methacrylate)* 35
3.4.3 Preparasi Resin Akrilik 36
3.4.4 Proses *Photopolymerization* 36
3.4.5 Pengujian 37
3.5 Rancangan Penelitian 38
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Karakterisasi Serbuk *Poly(methyl methacrylate)* 41
4.1.1 Analisis Pengujian FTIR 42
4.1.2 Analisis Pengujian Viskositas 43
4.2 Karakterisasi *Poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 44
4.2.1 Analisis Pengujian FTIR 45
4.2.2 Analisis Pengujian SEM 51
4.2.3 Analisis Pengujian Serap Air 55
4.2.4 Analisis Pengujian Fleksural 58
4.2.5 Analisis Pengujian Kekerasan 61
4.2.6 Kesimpulan Awal (*Premilinary Conclusion*) 63
4.3 Mekanisme Proses Kopolimerisasi *Poly(methyl methacrylate - co-styrene)* Menggunakan Metode *Photopolymerization*...65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 70

DAFTAR PUSTAKA xxi
LAMPIRAN xxvii
Lampiran 1 : Spesifikasi Bahan xxvii
Lampiran 2 : Prosedur Kerja *Photopolymerization* . xxviii
Lampiran 3 : Prosedur Pengujian xxxii
Lampiran 4 : Hasil Pengujian xxxvi
BIOGRAFI PENULIS xlix

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi bahan dasar pada aplikasi *dental material* 6
Gambar 2.2 *Denture base material* dengan *artificial teeth* .. 7
Gambar 2.3 Struktur kimia *poly(methyl methacrylate)* 14
Gambar 2.4 Struktur kimia *poly(styrene)* 15
Gambar 2.5 Skematis struktur kopolimer *random, alternating, block,* dan *graft* 16
Gambar 2.6 Mekanisme proses *photoinitiation* 19
Gambar 2.7 Struktur kimia Irgacure 784 20
Gambar 2.8 Ilustrasi proses dekomposisi Irgacure 784 karena cahaya dan polimerisasi senyawa akrilik oleh Irgacure 784 21
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis serbuk *poly*(*methyl methacrylate*) 33
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis dan karakterisasi *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 34
Gambar 4.1 Serbuk *poly(methyl methacrylate)* 41
Gambar 4.2 Spektrum infra merah *methyl methacrylate* dan *poly(methyl methacrylate)* 42
Gambar 4.3 Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan monomer *styrene* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% 45
Gambar 4.4 Spektrum infra merah *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan *styrene* 46
Gambar 4.5 Spektrum infra merah daerah indikasi *mono-substituted benzene* 47
Gambar 4.6 Spektrum infra merah daerah indikasi ikatan C-O pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 49
Gambar 4.7 Spektrum infra merah indikasi daerah gugus *carboxyl* dan *ring aromatic* 50
Gambar 4.8 Hasil SEM kopolimer dengan penambahan

styrene sebesar 0 %wt, 10 %wt, 20 %wt, 30 %wt, 40 %wt, dan 50 %wt dengan perbesaran 500 kali 53
Gambar 4.9 Hasil SEM kopolimer dengan penambahan *styrene* sebesar 0 %wt, 10 %wt, 20 %wt, 30 %wt, 40 %wt, dan 50 %wt dengan perbesaran 1000 kali 54
Gambar 4.10 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap water absorption kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 55
Gambar 4.11 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *solubility* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 57
Gambar 4.12 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 59
Gambar 4.13 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 62
Gambar 4.14 Proses pembentukan radikal bebas dari *photoinitiator* Irgacure 784 65
Gambar 4.15 Tahapan proses kopolimerisasi *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yaitu pengikatan monomer *methyl methacrylate* dan pengikatan monomer *styrene* 66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan metode fabrikasi *denture base material* terhadap sifat yang dihasilkan 10
Tabel 2.2 Sifat mekanik dari *denture base polymer* berdasarkan spesifikasi ANSI/ADA *Spesification* No. 12 12
Tabel 2.3 Klasifikasi basis gigi tiruan polimer berdasarkan ISO 1567 13
Tabel 2.4 Syarat basis gigi tiruan polimer yang diberikan pada ISO 1567 13
Tabel 2.5 Sifat fisik dan mekanik *poly(methyl methacrylate)* 14
Tabel 2.6 Sifat fisik dan mekanik *poly(styrene)* 15
Tabel 2.7 Perbandingan jenis *light curing units* pada *photopolymerization* 23
Tabel 2.8 Pengaruh komposisi terhadap sifat fisik dan mekanik *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* 26
Tabel 2.9 Perbandingan sifat fleksural material uji dengan variasi teknik polimerisasi 27
Tabel 2.10 Perbandingan sifat mekanik material uji dengan variasi teknik polimerisasi 28
Tabel 3.1 Komposisi bahan penelitian 39
Tabel 3.2 Rancangan penelitian 39
Tabel 4.1 Nilai berat molekul serbuk *poly(methyl methacrylate)* 44
Tabel 4.2 Sifat mekanik kopolimer dan spesifikasi bahan basis gigi tiruan 63

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Alamat penulis saat ini adalah Perumahan Leces Permai D 15A RT 004/RW 006 Desa Leces Kecamatan Leces Kabupaten Probolinggo Provinsi Jawa Timur. Kontak penulis yang dapat dihubungi adalah 089612666197 atau alamat *email* rdewangga2@gmail.com.

Sintesis dan Karakterisasi *Photopolymer* Berbasis Akrilik *Poly(methyl methacrylate-co-styrene)* Sebagai Kandidat Bahan Basis Gigi Tiruan

Garuda Raka Satria Dewangga, Sigit Tri Wicaksono, Amaliya Rasyida
Jurusan Teknik Material & Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: sigit@mat-eng.its.ac.id

***Abstrak*—Basis gigi tiruan merupakan bagian dari gigi tiruan yang bertumpu pada jaringan lunak yang menutupi tulang rahang dan menjadi jangkar gigi tiruan. Bahan yang biasa digunakan adalah *poly(methyl methacrylate)*, namun memiliki kekurangan pada sifat mekanik akibat daya serap air tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik *poly(methyl metahcrylate)* dengan cara membentuk kopolimer menggunakan *photopolymerization*. Variasi yang diberikan dalam penelitian adalah penambahan *styrene* pada komponen liquid resin akrilik sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Resin akrilik termodifikasi dipolimerisasi menggunakan *photoinitiator* Irgacure 784 sebesar 1,5 % berat. Hasil pengujian menunjukkan penambahan *styrene* 40 % berat pada kopolimer memiliki kinerja terbaik jika dibandingkan dengan penambahan *styrene* 10, 20, 30, dan 50 % berat. Pada pengujian didapatkan kopolimer dengan penambahan *styrene* 40 % berat memiliki *water absorption* sebesar 2,40 µg/mm^3, *solubility* sebesar 0,43 µg/mm^3, *flexural strength* sebesar 69,33 MPa, *flexural modulus* sebesar 1,23 GPa, dan kekerasan sebesar 82,58 HD. Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan penambahan 40 % berat *styrene* memiliki nilai yang mendekati persyaratan sebagai bahan basis gigi tiruan.**

***Kata Kunci :* basis gigi tiruan, *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*, *photopolymerization*, Irgacure 784**

I. PENDAHULUAN

Kasus kehilangan gigi cenderung meningkat seiring dengan tingkat pertumbuhan penduduk suatu negara. Hal tersebut mengindikasikan penggunaan gigi tiruan yang terus meningkat. Menurut Riset Kesehatan Dasar yang dilakukan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia pada tahun 2007 melaporkan bahwa persentase penggunaan protesa gigi tiruan di Indonesia mencapai 4,5% populasi dan dari persentase tersebut 14,5% gigi tiruan digunakan oleh lansia (lanjut usia) dengan usia di atas 65 tahun [1]. Peningkatan penggunaan protesa gigi tiruan juga meningkatkan permintaan akan basis protesa atau basis gigi tiruan [2].

Basis gigi tiruan digunakan sebagai jangkar atau penyokong gigi tiruan pada jaringan lunak. Basis gigi tiruan harus memiliki sifat *biocompatible* dengan lingkungan tubuh dan memiliki sifat mekanik yang baik sehingga dapat menahan gaya akibat proses mengunyah dan tahan aus terhadap kondisi mulut [3]. Dalam fabrikasi basis gigi tiruan, salah satu jenis material polimer yang sering digunakan adalah *poly(methyl methacrylate)* atau PMMA. PMMA memiliki sifat mekanik yang baik, tetapi memiliki beberapa kelemahan, seperti ketahanan terhadap air yang buruk dan berkurangnya kekuatan mekanik akibat penyerapan air [4].

Beberapa upaya dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dari PMMA, yaitu memodifikasi struktur kimia dan merubah teknik polimerisasinya. Teknik modifikasi struktur kimia yang biasa digunakan adalah membentuk kopolimer. Pada PMMA, penambahan kopolimer tidak hanya memodifikasi sifat fisik dari PMMA konvensional tetapi juga berfungsi untuk meningkatkan ketangguhan, meningkatkan ketahanan impak, dan mencegah penjalaran retak [5]. Hampir 95% bahan basis gigi tiruan menggunakan metode polimerisasi konvensional dengan panas atau *heat-polymerization* [6]. Metode ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan energi (panas) yang tinggi, resistansi terhadap retak rendah, dan membutuhkan desain cetakan (*mold*) yang rumit. Inovasi metode polimerisasi yang sering digunakan pada kedokteran gigi adalah polimerisasi menggunakan bantuan cahaya atau *photo-polymerization* [7]. Jika dibandingkan dengan polimerisasi menggunakan panas, proses polimerisasi menggunakan cahaya memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat dilakukan pada daerah yang sempit, membutuhkan sedikit energi, proses pada temperatur rendah, bebas limbah (tidak menggunakan pelarut), dan sistem kerja sederhana [8].

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik PMMA dengan membentuk kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* menggunakan *photo-polymerization* sebagai kandidat bahan basis tiruan. Variasi yang diberikan adalah penambahan monomer *styrene* pada proses *photopolymerization*. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik kopolimer yang dihasilkan sebagai respon terhadap variasi yang diberikan dan didapatkan komposisi penambahan *styrene* yang optimal pada kopolimer yang telah disintesis.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, terdapat dua proses kerja yang dilakukan, yaitu sintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)* sebagai komponen *powder* resin akrilik dan sintesis kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* sebagai kandidat bahan basis gigi tiruan.

A. Sintesis Serbuk Poly(methyl methacrylate)

Proses sintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)* dilakukan dengan tujuan sebagai material komponen powder pada resin akrilik dan meningkatkan viskositas bahan dasar

pada proses *photo-polymerization*. Pada tahapan ini digunakan monomer *methyl methacrylate* dan *heat-initiator benzoyl peroxide*. Proses sintesis diawali dengan pencampuran *monomer methyl methacrylate* dan *benzoyl peroxide* sebesar 0,5% berat selama 10 menit pada temperatur kamar. Selanjutnya campuran tersebut dipolimerisasi pada temperatur 85-90^{o}C selama 1 jam. Kemudian, padatan *poly(methyl methacrylate)* yang terbentuk dihancurkan hingga menjadi serbuk halus. *Poly*(*methyl methacrylate*) yang dihasilkan kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen pengujian FTIR dan pengujian viskositas (untuk mengetahui nilai berat molekul polimer yang dihasilkan).

B. Sintesis Kopolimer Poly(methyl methacrylate-co-styrene)

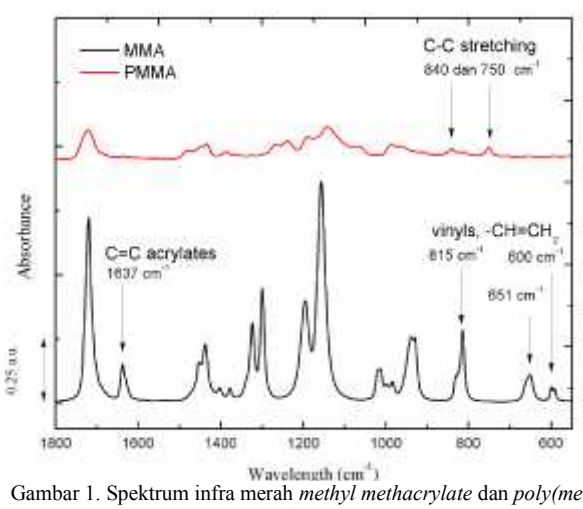
Resin akrilik yang digunakan merupakan campuran dari komponen *powder:liquid* dengan perbandingan 1:3. Komponen *powder* yang digunakan adalah serbuk *poly(methyl methacrylate)* yang telah disintesis. Sedangkan komponen *liquid* terdiri dari campuran monomer *methyl methacrylate* dan *styrene* dengan variasi penambahan *styrene* sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Resin akrilik yang telah terbentuk kemudian ditambahkan inisiator *Irgacure 784* sebanyak 1,5 % berat. Kemudian campuran tersebut dilakukan pengadukan selama 10 detik hingga homogen. Teknik yang digunakan adalah *fluid resin technique*. Selajutnya dilakukan proses *photo-polymerization* menggunakan bantuan LED *light curing units* (LED LCUs) dengan metode *continuous curing methods* (*power density* sebesar 900 mW/cm^2). Proses ini dilakukan secara bertahap (*layer by layer*). Proses *layer by layer* dilakukan dengan cara menuangkan resin akrilik ke dalam cetakan hingga mencapai ketebalan 1 – 1,5 mm dan kemudian diberikan cahaya biru hingga setengah terpolimerisasi (*half cured*). Ketebalan resin akrilik yang diperbolehkan sekitar 2-2,5 mm sehingga cahaya dapat masuk ke lapisan paling bawah. Intensitas cahaya perlu diperhatikan, untuk itu LCUs LED diletakkan sedekat mungkin dengan permukaan resin akrilik dalam cetakan (mold) ± 1 cm agar mengeraskan seluruh lapisan [9]. Selanjutnya di atas permukaan lapisan tersebut, dituang kembali resin akrilik dengan prosedur yang sama. Hal tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan polimer yang disintesis memenuhi tebal cetakan. Pada lapisan terakhir, proses pemaparan dengan cahaya dilakukan hingga resin akrilik terpolimerisasi secara sempurna. Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen pengujian FTIR, SEM, serap air, fleksural, dan kekerasan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Serbuk Poly(methyl methacrylate)

a. Analisis FTIR

Perbandingan spektrum infra merah monomer *methyl methacrylate* (MMA) menjadi *poly*(*methyl methacrylate*) (PMMA) hasil pengujian FTIR ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Spektrum infra merah *methyl methacrylate* dan *poly(methyl methacrylate)*

Berdasarkan spektrum infra merah pada gambar 1, terlihat adanya perubahan puncak penyerapan pada *methyl methacrylate* dalam bentuk monomer dan polimer. Perubahan tersebut adalah perubahan intensitas penyerapan pada *wavelength* ~1637 cm^{-1} (gugus C=C *acrylates*), ~600, 651, dan 815 cm^{-1} (gugus *vinyls* –CH=CH$_2$), serta ~750 dan 840 cm^{-1} (gugus C-C *stretching*) [10]. Pada *wavelength* ~1637 cm^{-1}, nilai intensitas penyerapan menurun ketika dalam bentuk polimer. Dalam bentuk monomer, muncul puncak penyerapan pada *wavelength* ~600, 651, dan 815 cm^{-1} dan kemudian menurun ketika dalam bentuk polimer. Selain itu pada bentuk polimer muncul puncak penyerapan gelombang pada *wavelength* ~750 dan 840 cm^{-1} yang tidak muncul pada spektrum infra merah monomer. Hal tersebut mengindikasikan adanya pemutusan ikatan C=C menjadi –C–C– pada proses polimerisasi. Pemutusan ikatan tersebut dapat diindikasikan sebagai proses polimerisasi adisi yang terjadi dari monomer *methyl methacrylate* menjadi *poly(methyl methacrylate)* [11].

b. Analisis Pengujian Viskositas

Hasil perhitungan berat molekul menggunakan pendekatan viskositas diberikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Nilai berat molekul serbuk *poly(methyl methacrylate)*

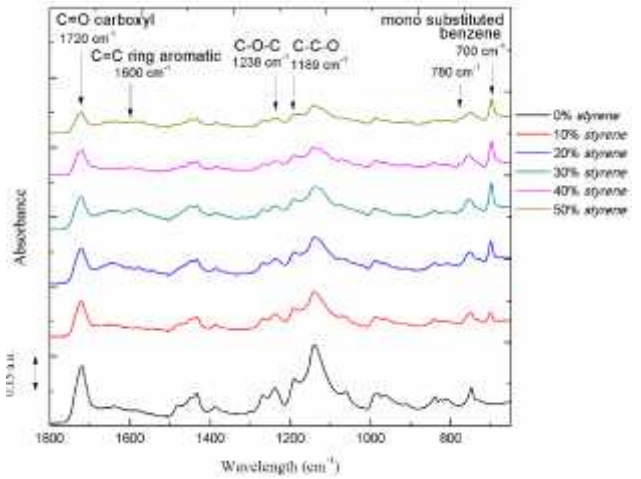
Viskositas Intrinsik	*Viscosity Parameter*		Berat Molekul (M_w)
	K (10^{-3} mL/g)	α	
36,76	7,7	0,70	180.115

Tabel tersebut menunjukkan nilai berat molekul serbuk *poly(methyl methacrylate)*, dimana K dan α merupakan konstanta *viscosity parameter poly(methyl methacrylate)* ketika dilarutkan dalam pelarut *acetone* menggunakan metode viskositas [12]. Berat molekul *poly(methyl methacrylate)* yang bertindak sebagai komponen *powder* dalam resin akrilik dapat mempengaruhi sifat mekanik dari *denture base*. Berat molekul *poly(methyl methacrylate)* hasil perhitungan yang disintesis dalam penelitian adalah 180.115 g/mol, dimana dengan berat molekul di atas 100.000, maka akan cenderung membentuk polimer rantai panjang dengan sifat fisik dan mekanik yang optimum [13].

B. Karakterisasi Kopolimer Poly(methyl methacrylate-co-styrene)

a. Analisis FTIR

Spektrum infra merah hasil pengujian FTIR dengan variasi penambahan monomer *styrene* pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* ditunjukkan pada gambar 2.



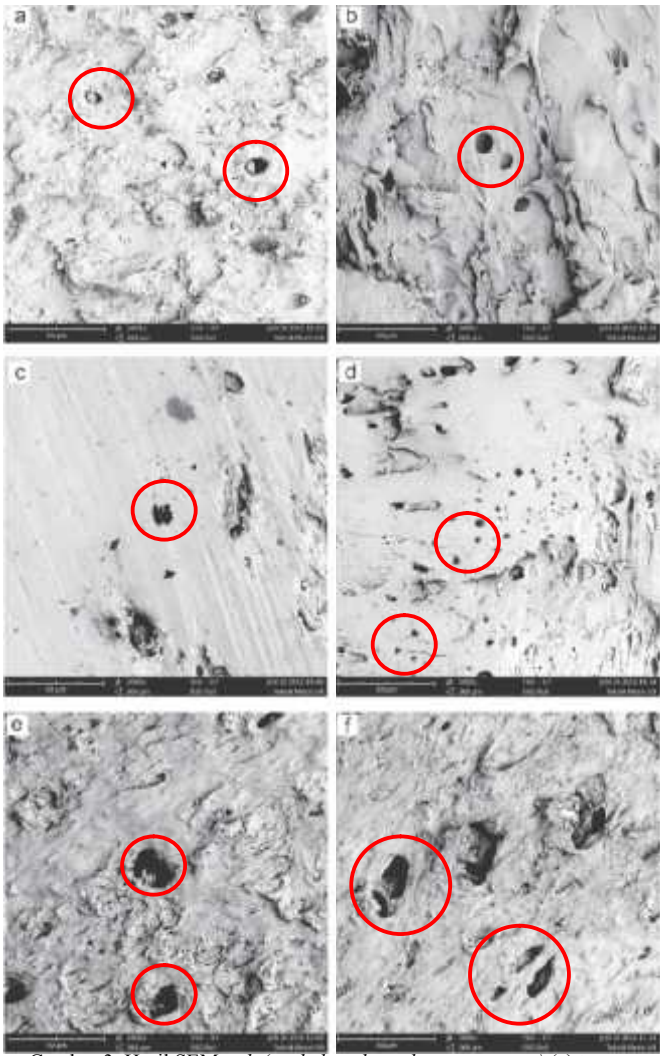
Gambar 2. Spektrum infra merah *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan *styrene*

Pada gambar tersebut terlihat bahwa perubahan spektrum FTIR yang mengindikasikan adanya gugus fungsi *styrene* dalam rantai polimer yang terbentuk. Pada spektrum, didapatkan beberapa perubahan intensitas penyerapan gelombang pada *wavelength* tertentu seiring dengan penambahan *styrene* [14]. Perubahan pada *wavelength* tertentu yang dimaksud adalah pada 700 dan 780 cm^{-1} yang merupakan indikasi gugus *mono-substituted benzene* pada *styrene*, 1000-1300 cm^{-1} yang merupakan daerah indikasi gugus C-O pada *methyl methacrylate*, 1600 cm^{-1} yang merupakan daerah indikasi C=C *aromatic ring benzene* pada *styrene*, dan 1720 cm^{-1} yang merupakan indikasi gugus C=O *carboxyl* pada *methyl methacrylate*.

Gugus *mono-substituted benzene* memiliki dua *wavelength* penyerapan gelombang yang kuat, yaitu pada *wavelength* 780 cm^{-1} dan 700 cm^{-1}. Namun, biasanya hanya salah satu *wavelength* saja yang memunculkan intensitas penyerapan yang kuat dalam satu spektrum [15]. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat penyerapan gelombang pada *wavelength* 700 cm^{-1} rendah dan baru dapat teridentifikasi dengan penambahan kadar monomer *styrene* yang tinggi (50%) pada kopolimer, sedangkan pada *wavelength* 780 cm^{-1}, dengan penambahan kadar monomer *styrene* yang rendah (10%) pada kopolimer sudah dapat memunculkan puncak pada spektrum hasil FTIR. Adanya *styrene* yang masuk dalam rantai *methyl methacrylate* juga menyebabkan pelebaran puncak-puncak indikasi ikatan C-O pada gugus *methyl methacrylate* [14]. Hal ini terlihat pada hasil FTIR pada gambar 2 dimana pada daerah 1100-1300 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan C-O, terjadi pelebaran puncak seiring dengan penambahan *styrene*. Pelebaran puncak yang dimaksud terutama terjadi pada *wavelength* 1189 cm^{-1}, yang mengindikasikan adanya ikatan C-C-O *stretching*, dan pada *wavelength* 1238 cm^{-1}, yang mengindikasikan adanya ikatan C-O-C *bending*. Pada *wavelength* ~1600 cm^{-1}, merupakan daerah yang diindikasikan adanya *ring aromatic* C=C *stretching vibration* yang muncul pada *styrene*, sedangkan *wavelength* ~1720 cm^{-1} mewakili daerah terindikasi gugus *carboxyl* C=O pada *methyl methacrylate*. Nilai intensitas penyerapan gelombang pada ~1720 cm^{-1} menurun dengan meningkatnya konsentrasi *styrene* yang ditambahkan. Pada *wavelength* ~1600 cm^{-1} didapatkan bahwa dengan adanya penambahan *styrene* maka muncul puncak pada *wavelength* ~1600 cm^{-1} yang menindikasikan gugus *ring aromatic benzene,* namun nilainya sangat kecil. Hal ini dikarenakan ikatan *phenyl* pada 1600 cm^{-1} lemah jika dibandingkan dengan ikatan *carbonyl* pada 1720 cm^{-1} dalam satu spektrum [14].

b. Analisis SEM

Gambar 3 menunjukkan posositas yang muncul pada bagian *cross-section* kopolimer dengan perbesaran 1000 kali.



Gambar 3. Hasil SEM *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* (a) tanpa penambahan *styrene,* (b) penambahan 10 % berat, (c) penambahan 20 % berat, (d) penambahan 30 % berat, (e) penambahan 40 % berat, dan (e) penambahan 50 % berat *styrene*

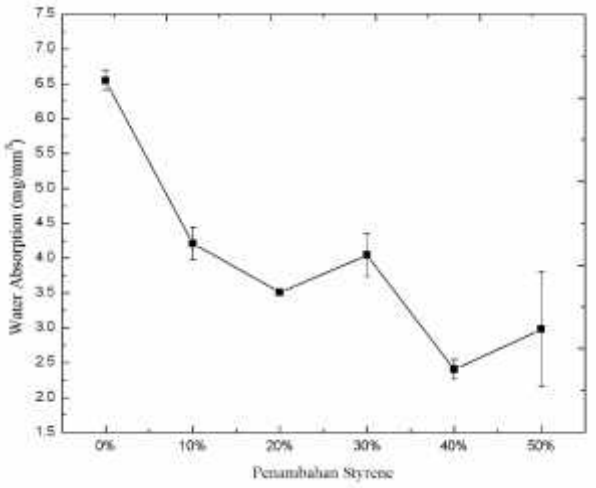
Pada gambar tersebut terlihat adanya porositas, yang ditunjukkan dengan lingkaran merah, baik pada polimer *poly(methyl methacrylate)* yang ditunjukkan pada gambar 3.a maupun kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang ditunjukkan pada gambar 3.b hingga 3.f. Penambahan monomer *styrene* sebesar 30 % berat (gambar 3.d)

menyebabkan rongga yang muncul dengan jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan variasi penambahan lainnya. Kemudian pada penambahan 50 % berat *styrene* (gambar 3.f) didapatkan bahwa rongga memiliki ukuran besar dengan jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan penambahan 40 % berat *styrene*, serta terdapat juga rongga yang berukuran kecil disekitar rongga yang berukuran besar.

Porositas muncul sebagai hasil dari proses pencampuran yang kurang baik antara komponen *powder* dan *liquid*. Hal ini menyebabkan pada beberapa daerah dari massa resin akan berisi lebih banyak monomer daripada yang lainnya. Selama proses polimerisasi, daerah ini menyusut lebih dari daerah yang lain, dan penyusutan tersebut cenderung menghasilkan rongga [6]. Penggunakan metode *fluid resin technique* dengan sistem *layer by layer* juga dapat menyebabkan rongga dari kopolimer yang disintesis. Hal ini dikarenakan porositas yang muncul dapat juga diakibatkan oleh udara yang terjebak selama proses penuangan resin yang bertahap. Adanya porositas atau rongga pada kopolimer yang disintesis dapat memengaruhi sifat-sifat mekanik dari kopolimer tersebut. Semakin banyaknya rongga yang muncul maka sifak mekanik polimer yang terbentuk cenderung menurun [11].

c. Analisis Pengujian Serap Air

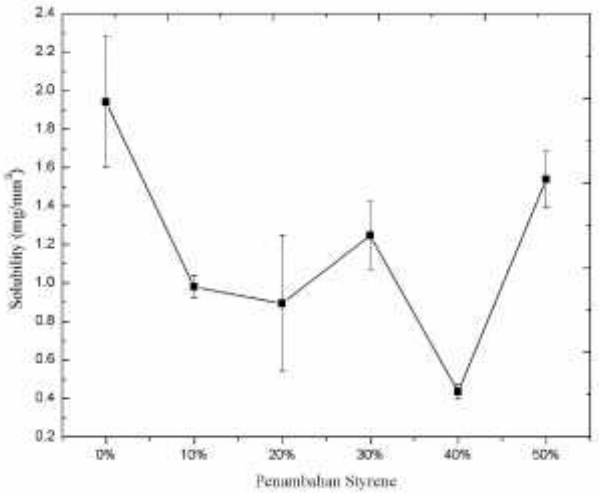
Gambar 4 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai *water absorption* dan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.



Gambar 4. Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *water absorption* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada gambar 4 didapatkan bahwa dengan penambahan gugus *styrene* dalam rantai utama kopolimer mampu menurunkan nilai *water absorption*-nya. Nilai *water absorption* pada basis gigi tiruan bergantung pada *degree of hydrophobicity* dan porositas [16]. *Methyl methacrylate* mengandung gugus *carboxyl* yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Dengan penambahan gugus *styrene* dalam kopolimer dapat memunculkan interaksi hirofobik dengan adanya cincin aromatik [17]. Nilai *water absorption* pada basis gigi tiruan tidak hanya bergantung terhadap polaritas material penyusunnya, mekanisme difusi juga berperan dalam proses masuknya molekul air ke dalam rantai polimer [11]. Pada hasil SEM kopolimer yang ditunjukkan pada gambar 3, peningkatan nilai *water absorption* pada kopolimer dengan penambahan kadar monomer *styrene* sebesar 30 % berat dan 50 % berat juga diakibatkan rongga-rongga yang muncul pada kedua penambahan tersebut. Dengan adanya rongga tersebut maka memudahkan molekul air untuk dapat masuk ke dalam bagian kopolimer yang telah disintesis sehingga meningkatkan nilai *water absorption*-nya.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai *solubility* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.



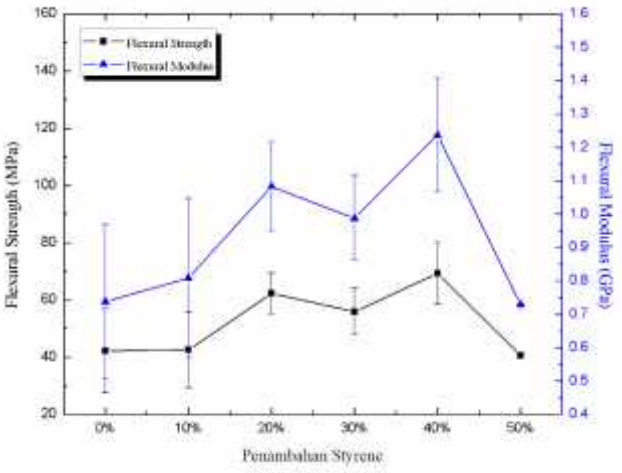
Gambar 5. Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *solubility* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada gambar 5 menunjukkan dengan penambahan *styrene* dalam rantai utama kopolimer mampu menurunkan nilai *solubility*-nya. Peningkatan nilai *solubility* pada penambahan 30 % berat dan 50 % berat *styrene* mengindikasikan adanya *residual monomer* dengan kadar yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kopolimer dengan penambahan 10 % berat, 20 % berat, dan 40 % berat. Nilai *solubility* pada *denture base* memiliki korelasi dengan kemungkinan munculnya *residual monomer*. Terdapat korelasi antara *residual monomer* dengan *water absorption* [16]. Dengan adanya *residual monomer*, akan meningkatkan nilai ab*sorption* dan *solubility*. Indikasi ini juga akan dikorelasikan dengan hasil pengujian mekanik. Didapat juga adanya hubungan antara *residual monomer* dengan sifat mekanik. Dengan adanya *residual monomer* yang bertindak sebagai *plasticizer*, maka cenderung akan menurunkan sifat mekanik bahan basis gigi tiruan [17].

d. Analisis Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural dilakukan karena dianggap yang paling cocok dalam membandingkan bahan basis gigi tiruan, dimana pengujian ini dapat mencerminkan tekanan kompleks yang terjadi selama proses mengunyah dan memberikan indikasi kekuatan bahan. Gambar 6 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.

Pada gambar 6 didapatkan nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* meningkat seiring dengan penambahan *styrene*. Namun terjadi penurunan nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* ketika diberikan penambahan *styrene* sebesar 30 % berat dan 50 % berat.

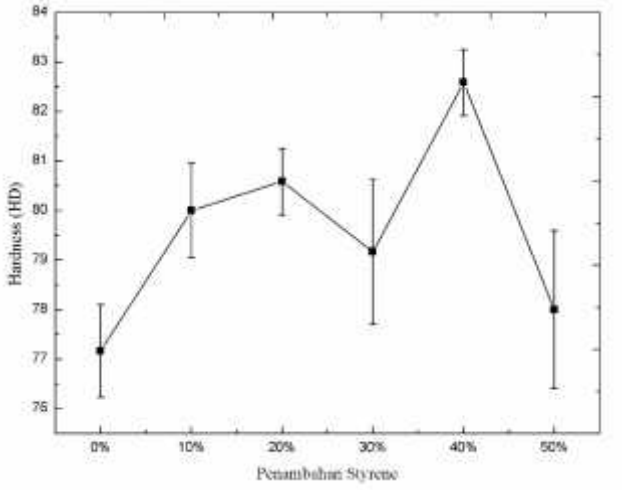


Gambar 6. Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene*

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi sifat fleksural pada resin akrilik, antara lain *residual monomer*, *water absorption*, dan porositas [18]. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian *water absorption* yang ditujukkan pada gambar 4 dan *solubility* yang ditunjukkan pada gambar 5. Jika dikaitkan terhadap *solubility*-nya, indikasi adanya *residual monomer* memengaruhi *flexural strength* dari basis gigi tiruan karena sifat *plasticizing*-nya [19]. Dengan adanya bagian yang bersifat *plasticizing* membuat sifat mekanik polimer menurun. Indikasi adanya *residual monomer* juga menyebabkan munculnya porositas yang dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik [20]. Hal ini sesuai dengan munculnya rongga yang terlihat pada hasil pengujian SEM yang ditunjukkan pada gambar 3.

e. Analisis Pengujian Kekerasan

Gambar 7 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.



Gambar 7. Pengaruh penambahan *styrene* terhadap kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Adanya gugus *rigid benzene* yang masuk ke dalam rantai utama polimer, seiring dengan penambahan monomer *styrene*, maka kekerasan senyawa akrlik yang termodifikasi akan menunjukkan tren peningkatan [21]. Nilai kekerasan juga berhubungan dengan *residual monomer* pada resin akrilik basis gigi tiruan. Nilai kekerasan juga menurun dengan meningkatnya nilai *water absorption*. Penurunan nilai kekerasan pada penambahan 30 % berat dan 50 % berat memiliki kesamaan tren dengan nilai *water absorption*, *solubility*, *flexural strength*, dan *flexural modulus*-nya.

Hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dibandingkan dengan standar *ANSI/ADA Spesification No. 12 (ISO 1567) for Denture Base Resin* untuk menentukan kopolimer yang disintesis memenuhi persyaratan menjadi bahan basis gigi tiruan. Pada tabel 2 diberikan perbandingan sifat fisik dan mekanik kopolimer yang telah disintesis dengan sifat fisik dan mekanik yang dibutuhkan untuk menjadi bahan basis gigi tiruan.

Tabel 2. Sifat mekanik kopolimer dan spesifikasi bahan basis gigi tiruan

Sifat	ISO 1567	Kopolimer dengan penambahan *styrene*					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Water Absorption (μg/mm^3) *maximum*	32	6.54	4.20	3.50	4.04	2.40	2.97
Solubility (μg/mm^3) *maximum*	1,6	1,94	0,97	0,89	1,24	0,43	1,53
Flexural Strength (MPa) *minimum*	65	42,22	42,61	62,29	55,88	69,33	40,73
Flexural Modulus (GPa) *Minimum*	2,0	0,73	0,80	1,08	0,98	1,23	0,72
Hardness (HD)	-	77,16	80	80,58	79,16	82,58	78

Pada tabel tersebut didapatkan bahwa kopolimer dengan komposisi penambahan *styrene* 40 % berat merupakan komposisi yang paling mendekati dengan persyaratan yang diminta standar *ANSI/ADA Spesification No. 12 (ISO 1567) for Denture Base Resin*.

IV. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa penambahan *styrene* dalam kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* menyebabkan penurunan nilai *water absorption* dan *solubility*, peningkatan nilai *flexural strength* dan *flexural modulus*, dan peningkatan nilai kekerasannya. Kopolimer dengan penambahan *styrene* 40 % berat memiliki sifat fisik dan mekanik yang mendekati persyaratan sebagai bahan basis gigi tiruan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Kesehatan RI. 2007. *Riset Kesehatan Dasar Nasional Tahun 2007*. Jakarta : Kementerian Kesehatan RI

[2] Ningsih, Agustini Ria, Noor Hafidah, dan Nanang Krisnawan. *Perbedaan Kekuatan Tekan Basis Gigi Tiruan Berbahan Termoplastik Nilon pada Beberapa Ketebalan*. Jurnal Ilmiah FKG (2015) Universitas Muhammadiyah Surakarta

[3] Karthick, R., P. Sirishiha, dan M. Ravi Sankar. *Mechanical and Tribological Properties of PMMA-Seashell Based Biocomposite for Dental Application*. **3rd International Conference on Material Processing and Charcterization 2014**; doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.234

[4] Kurata, Shigeaki, Kumiko Morishita, Kazuo Shimoyama, dan Kozo Uemoto. *Basic Study on the Application of Novel Functional Monomer to a Denture Resin*. Dental Materials Jurnal 27(2) : 273-277, 2008

[5] Hashem, Mohamed, Samah O. Alsaleem, Mansour K. Assery, Emad Braka Abdeslam, Sajit Vellappally, dan Sukumaran Anil. *A Comparative Study of the Mechanical Properties of the Light-cure and Conventional Denture Base Resins*. OHDM Vol 13 No 2. June 2014

[6] Manappallil, John J., 2003. *Basic Dental Material*. New Delhi : Jaypee Brothers Medical Publisher (P) Ltd.

[7] Aljosa, Ivanisevic, Lainovic Tijana, Blazic Larisa, dan Vilotic Marko. *Influence of Light-Curing Mode on the Mechanical Properties of Dental Resin Nanocomposites*. **24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013**; doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.071

[8] Dizman, Cemil, Sahin Ates, Lokman Torun, dan Yusuf Yagci. *Synthesis, Characterization, and Photoinduced Curing of Polysulfones with (meth)acrylate Functionalities*. Journal of Organic Chemistry 2010; doi:10.3762/bjoc.6.56

[9] Susanto, Annette Alexandra. 2005. *Pengaruh Ketebalan Bahan dan Lamanya Waktu Penyinaran terhadap Kekerasan Permukaan Resin Komposit Sinar*. Majalah Kedokteran Gigi Vol 38 No 1 (2005): 32-35

[10] Stuart, Barbara. 2004. *InfraRed Spectroscopy : Fundamental and Applications*. USA : John Wiley & Sons.

[11] Anusavice, Kenneth J., Chiayi Shen, dan H. Ralph Rawls. 2013. *Phillips' Science of Dental Materials*, 12th Ed. USA : Elsevier Science

[12] Wagner, Herman L. *The Mark-Houwink-Sakurada Relation for Poly(methyl methacrylate)*. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 16, No. 2, 1986

[13] Kawaguchi, Tomohiro, Lippo V.J. Lassila, Ai Tokue, Yukata Takahashi, dan Pekka K. Vallittu. *Influence of Molecular Weight of Poly(methyl methacrylate) Beads on the Properties and Structure of Cross-linked Denture Base Polymer*. Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical materials 4 (2011) 1846-1851

[14] Mori, Sadao. *Compositional Analysis and Infrared Spectra of Styrene - Methyl Methacrylate Random Copolymers*. Journal of Applied Polymer Science, Vol 38, 547-555 (1989).

[15] Socrates, George. 2002. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*. 3rd Ed. USA : John Wiley & Sons, Ltd.

[16] Shah, Jay, Nilesh Bulbule, Shilpa Kulkarni, Riddhi Shah, dan Dilip Kakade. *Comparative Evaluation of Sorption, Solubility and Microdardness of Heat Cure Polymethylmethacrylate Denture Base Resin & Flexible Denture Base Resin*. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2014 Aug, Vol-8(8); ZF01-ZF04; doi : 10.7860/JCDR/2014/8707.4770

[17] Pfeiffer, Peter dan Ernst-Ulrich Rosenbauer. *Residual Methyl Methacrylate Monomer, Water Sorption, and Water Solubility of Hypoallergenic Denture Base Materials*. Journal of Prosthetic Dentistry Vol 92 no 1; doi: 10.1016/j.prosdent.2004.04.003

[18] Saen-isara, Tassanaporn, Sirasa Yodmongkol, Surachai Dechkunakorn, Niwat Anuwongnukroh, Toemsak Srikhirin, Siriporn Tanodekaew, Theeralaksna Suddasthira, dan Wassana Wicha. *Comparative Study of the Flexural Strength and Flexural Modulus of Local Made Orthodontic Resin : A Pilot Study*. Journal of Advanced Materials Research Vol 746(2013) pp 303-307; doi : 10.4028/www.scientific.net/AMR.746.303

[19] Gharechahi, Jafar, Nafiseh Asadzadeh, Foad Shahabian, dan Maryam Gharechahi. *Flexural Strength of Acrylic Resin Denture Bases Processed by Two Different Methods*. Journal of Dental Research Dental Clinics Dental Properties 2014; 8(3): 148-152; doi: 10.5681/joddd.2014.027

[20] Dogan, A, B Bek, NN Cevik, dan A Usanmaz. *The Effect of Preparation Condition of Acrylic Denture Base Materials on the Level of Residual Monomer, Mechanical Properties and Water Absorption*. Journal of Dentistry 1995; 23(5); 313-318

[21] Zhang, Yanhong, Yan Wang, Xianchao Kong, dan Dongmei Zhao. *The Polarity of Poly(methyl methacrylate) Copolymers*. Journal of Applied Mechanics and Material Vols 687-691 (2014) pp 4411-4414; doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.687-691.4411

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Monomer *methyl methacrylate,* 99%, Sigma Aldrich

  Monomer ini digunakan sebagai bahan pada proses sintesis *poly*(*methyl methacrylate*) serbuk dan bahan komponen *liquid* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).

- Monomer *styrene,* ≥99%, Sigma Aldrich

  Monomer ini digunakan sebagai bahan komponen *liquid* pada proses kopolimerisasi *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).

- *Heat-Initiator Benzoyl Peroxide,* Merck KGaA

  Inisiator ini digunakan sebagai *heat-initiator* pada proses sintesis *poly*(*methyl methacrylate*) serbuk.

- *Photoinitiator* Irgacure 784, Ciba Specialty Chemicals

  Inisiator ini digunakan sebagai *photo-initiator* pada proses kopolimerisasi *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- *Analitical Balance NewClassic MF* model *MS204S/02 Mettler Toledo*

  Alat ini digunakan untuk mengukur massa monomer *methyl methacrylate, monomer styrene, benzoyl peroxide*, Irgacure 784, dan serbuk *poly*(*methyl methacrylate*).

- *Hot plate stirring Cimarec™ Digital Stirring Hot Plates Thermo Scientific*

Alat ini digunakan sebagai pemanas pada proses *heat-polymerization* dan sebagai media proses pembuatan resin akrilik.

- Lampu LED *Superbright Blue* 5mm 30-40 lm

Alat ini digunakan sebagai *light curing unit* (LCU) pada proses *photopolymerization*.

- *Vacuum Oven VO Memmert*

Alat ini digunakan sebagai media pemanas spesimen kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) pada pengujian serap air.

- Instrumen pengujian
  a. *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) *Thermo Scientic Nicolet iS 10*

     Instrumen ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada proses *heat-polymerization poly(methyl methacrylate)* dan proses *photo-polymerization* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).
  b. *Phenom G2 Pro Scanning Electron Microscopy* (SEM)

     Instrumen ini digunakan untuk mengetahui morfologi dan porositas yang muncul pada kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).
  c. *3-point bending* tipe *Nexygen Lloyd Instrument*

     Instrumen ini digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan fleksural dan modulus fleksural dari kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).
  d. *Durometer Shore D Krisbow KW0600689*

     Instrumen ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).

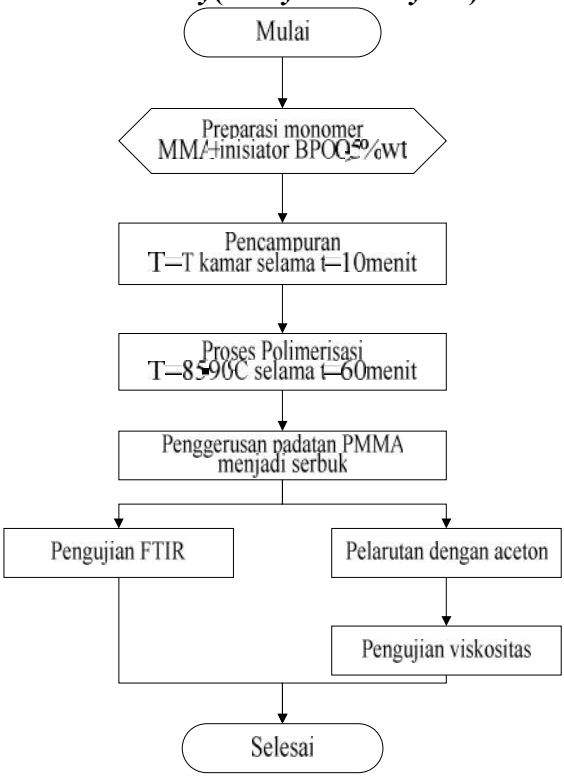
e. Oven dan Neraca Analitik

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai *water absorption* dan *solubility* dari kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*).

- Peralatan penunjang lainnya, seperti gelas ukur, gelas *beaker*, pipet tetes, pengaduk, spatula, viskometer kapiler, kaca arloji, *mortar* dan *pestle*, serta termometer

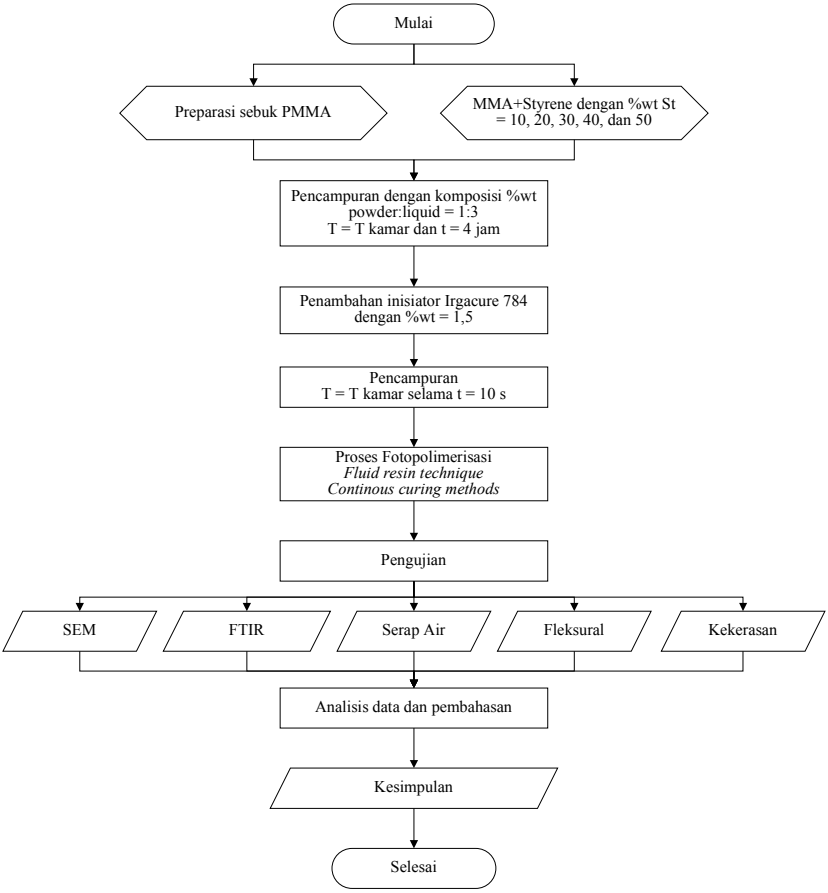
3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Sintesis Serbuk *Poly*(*methyl methacrylate*)



Gambar 3.1 Diagram alir sintesis serbuk *poly*(*methyl methacrylate*)

3.3.2 Sintesis *Poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*)



Gambar 3.2 Diagram alir sintesis dan karakterisasi *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*)

3.4 Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dan gambar 3.2, tahapan-tahapan dalam penelitian ini akan dijelaskan lebih detail sebagai berikut :

3.4.1 Preparasi Serbuk *Poly*(*methyl methacrylate*)

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada gambar 3.1, langkah awal penelitian yang dialkukan adalah sintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)*. Proses sintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)* dilakukan dengan tujuan meningkatkan viskositas bahan dasar pada proses *photopolymerization*. Pada tahapan ini digunakan monomer *methyl methacrylate* dan *heat-initiator benzoyl peroxide*. Proses sintesis diawali dengan pencampuran monomer *methyl methacrylate* dan inisiator *benzoyl peroxide* sebesar 0,5% wt selama 10 menit pada temperatur kamar menggunakan *hot plate stirring*. Selanjutnya campuran tersebut dipanaskan pada temperatur 85-90^{o}C selama 1 jam sebagai proses polimerisasi menjadi *poly(methyl methacrylate)*. Setelah 1 jam pemanasan, padatan *poly(methyl methacrylate)* dihancurkan menggunakan *mortar* dan *pestle* hingga menjadi serbuk halus.

3.4.2 Karakterisasi Serbuk *Poly(methyl methacrylate)*

Karakterisasi serbuk *poly(methyl methacrylate)* dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*. FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terbentuk dari hasil polimerisasi. Pengujian FTIR dilakukan di Divisi Karakterisasi Material Jurusan Teknik material dan Metalurgi FTI-ITS. Selain FTIR, juga dilakukan pengujian viskositas untuk menentukan berat molekul polimer yang terbentuk. Serbuk *poly(methyl methacrylate)* dilarutkan pada pelarut *acetone* menggunakan *hot plate stirring* pada temperatur kamar. Selanjutnya larutan tersebut dimasukkan kedalam viskometer kapiler untuk dihitung viskositas intrinsik larutan tersebut. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan Mark-Houwink-Sakurada, akan didapatkan nilai berat molekul *poly(methyl*

methacrylate) yang dihasilkan. Prosedur pengujian viskositas lebih jelas diberikan dalam *lampiran* 3.

3.4.3 Preparasi resin akrilik

Resin akrilik yang digunakan merupakan campuran dari komponen *powder:liquid* dengan perbandingan 1:3. Komponen *powder* yang digunakan adalah serbuk *poly(methyl methacrylate)* yang telah disintesis. Sedangkan komponen *liquid* terdiri dari campuran monomer *methyl methacrylate* dan *styrene* dengan variasi penambahan *styrene* sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50%*wt*. Kedua komponen tersebut dicampurkan menggunakan *hot plate stirring* dengan kecepatan 700 rpm pada temperatur kamar. Hasil tahap ini adalah resin akrilik dengan viskositas tertentu.

3.4.4 Proses *Photopolymerization*

Resin akrilik yang telah terbentuk kemudian ditambahkan inisiator Irgacure 784 sebanyak 1,5%wt. Kemudian campuran tersebut dilakukan pengadukan selama 10 detik hingga homogen. Teknik yang digunakan adalah *fluid resin technique*. Selajutnya dilakukan proses *photopolymerization* menggunakan bantuan *LED Superbright Blue* dengan metode *continuous curing methods* (*power density* sebesar 900 mW/cm^2 hingga terbentuk kopolimer). Proses ini dilakukan secara bertahap (*layer by layer*). Proses *layer by layer* dilakukan dengan cara menuangkan resin akrilik ke dalam cetakan hingga mencapai ketebalan 1 – 1,5 mm dan kemudian diberikan cahaya biru hingga setengah terpolimerisasi (*half cured*). Susanto (2005) melaporkan bahwa ketebalan resin akrilik yang diperbolehkan sekitar 2-2,5 mm sehingga cahaya dapat masuk ke lapisan paling bawah. Intensitas cahaya perlu diperhatikan, untuk itu LCUs LED diletakkan sedekat mungkin dengan permukaan resin akrilik dalam cetakan (*mold*) ± 1 cm agar mengeraskan seluruh lapisan. Selanjutnya di atas permukaan lapisan tersebut, dituang kembali resin akrilik dengan prosedur yang sama. Hal tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan polimer yang disintesis memenuhi tebal cetakan. Pada lapisan terakhir, proses pemaparan dengan cahaya

dilakukan hingga resin akrilik terpolimerisasi secara sempurna. Gambar LED LCUs yang digunakan serta prosedur *photopolymerization* dijelaskan lebih rinci pada *lampiran 2*.

3.4.5 Pengujian

a. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui porositas pada kopolimer yang terbentuk. Ukuran spesimen yang digunakan memliki ketebalan kurang dari 10 mm. Sebelum dilakukan pengujian SEM, spesimen lebih dahulu mendapat perlakuan *coating* Au/Pd menggunakan *sputter coater Quorum Technologie* dari *Emitech Inc*. Perlakuan ini dimaksudkan untuk membuat spesimen menjadi konduktif. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin FT-UB

b. *Fourier Transform InfraRed* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terbentuk dari proses *photopolymerization poly(methyl methacrylate-co-styrene)*. Ukuran spesimen yang digunakan memiliki ketebalan kurang dari 10 mm. Pengujian FTIR dilakukan di Divisi Karakteriasai Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS

c. *Hardness Test*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dimiliki kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*. Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan alat durometer shore D. Ukuran spesimen yang digunakan memiliki ketebalan minimal 6 mm. Nilai pembebanan yang diberikan adalah 5 kg. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar pengujian ASTM D2240-00. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Inovasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

d. *Flexural Test*

Pengujian fleksural dilakukan untuk mengetahui nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* yang dimiliki kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*. Pengujian fleksural yang dilakukan menggunakan alat *3-point bending* dengan pembebanan 100 kgf. Pengujian ini dilakukan dengan standar pengujian SNI 03-1027-2006 dan ASTM D790. Pengujian fleksural dilakukan di Laboratorium Fisika Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya. Prosedur pengujian fleksural lebih jelas diberikan dalam *lampiran* 3.

e. *Water Absorption Test*

Pengujian serap air dilakukan untuk mengetahui nilai *water absorption* dan *solubility* yang dimiliki kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*. Pengujian serap air dilakukan menggunakan oven dan neraca analitik. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar pengujian ASTM D570 menggunakan *24h immersion*. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Inovasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Prosedur pengujian serap air lebih jelas ditunjukkan pada *lampiran* 3.

3.5 Rancangan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, rancangan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3.1 Komposisi bahan penelitian

Komposisi (%wt)				Kode Spesimen
PMMA	*Styrene*	Irgacure 784	MMA	
24,625	0	1,5	Bal.	PM
24,625	7,3875	1,5	Bal.	PM-St10
24,625	14,775	1,5	Bal.	PM-St20
24,625	22,1625	1,5	Bal.	PM-St30
24,625	29,55	1,5	Bal.	PM-St40
24,625	36,9375	1,5	Bal.	PM-St50

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

Kode Spesimen	Pengujian			
	SEM	FTIR	*Flexural*	*Water Absorption*
PM	ν	ν	ν	ν
PM-St10	ν	ν	ν	ν
PM-St20	ν	ν	ν	ν
PM-St30	ν	ν	ν	ν
PM-St40	ν	ν	ν	ν
PM-St50	ν	ν	ν	ν

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan sintesis kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan *styrene* yang digunakan sebagai bahan basis gigi tiruan. Penelitian ini diawali dengan proses sintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)* menggunakan metode *heat-polymerization* sebagai komponen *powder* dalam pembuatan resin akrilik, yang nantinya digunakan sebagai bahan sintesis kopolimer menggunakan metode *photopolymerization*.

4.1 Karakterisasi Serbuk *Poly(methyl methacrylate)*

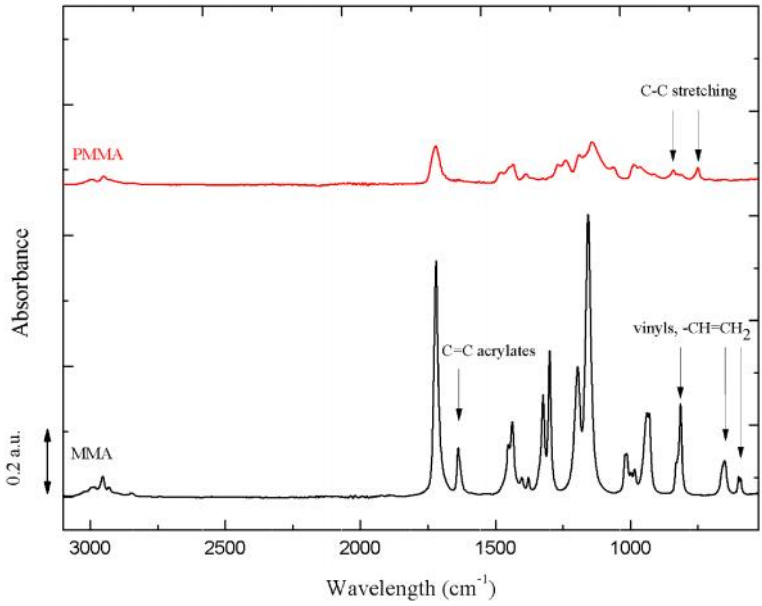
Proses polimerisasi *methyl methacrylate* menggunakan *heat-initiator benzoyl peroxide* bertujuan untuk membentuk polimer sebagai komponen *powder* dalam pembuatan resin akrilik. Jenis polimerisasi yang terjadi adalah polimerisasi adisi. Serbuk *poly*(*methyl methacrylate*) yang dihasilkan menggunakan metode *heat-polymerization* ditunjukkan pada gambar 4.1.

Gambar 4.1 Serbuk *poly*(*methyl methacrylate*)

Poly(*methyl methacrylate*) yang dihasilkan kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen pengujian FTIR (untuk mengetahui ikatan yang terbentuk) dan pengujian viskositas (untuk mengetahui nilai berat molekul polimer yang dihasilkan).

4.1.1 Analisis Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan atau pembentukan ikatan pada monomer *methyl methacrylate* (MMA) menjadi *poly*(*methyl methacrylate*) (PMMA). Perbandingan spektrum infra merah hasil pengujian FTIR ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Spektrum infra merah *methyl methacrylate* dan *poly(methyl methacrylate)*

Berdasarkan spektrum infra merah pada gambar 4.2, terlihat bahwa *methyl methacrylate* dalam bentuk monomer dan polimernya memiliki gugus fungsi yang mirip. Gugus fungsi yang dimaksud adalah gugus fungsi C-C (1328 dan 1337 cm^{-1}) dan C-H (2992 dan 2948 cm^{-1}) pada rantai utama (*backbone chain*), gugus fungsi C-C (1265 dan 1238 cm^{-1}), C=O (1720 cm^{-1}), dan C-O (1189 dan 1170 cm^{-1}) sebagai unit *ester*, dan gugus C-H (962 cm^{-1}) sebagai unit *methyl* (Stuart. 2004). Yang membedakannya adalah perubahan intensitas penyerapan pada panjang gelombang ~1637 cm^{-1}, yang mengindikasikan gugus fungsi C=C *acrylates*, menurun. Dalam bentuk monomer, didapatkan nilai intensitas penyerapan gelombang pada *wavelength* ~1637 cm^{-1} sebesar 0,15182 dan menurun menjadi 0,01252 ketika dalam bentuk polimer. Pada spektrum infra merah tersebut juga terdapat beberapa puncak penyerapan gelombang yang berbeda dan mengindikasikan perubahan struktur kimia dari *methyl methacrylate* menjadi *poly(methyl methacrylate)*. Pada spektrum *methyl methacrylate* terdapat tiga puncak yang mengindikasikan adanya gugus *vinyls* –CH=CH_2, yaitu pada *wavelength* ~600, 651, dan 815 cm^{-1}. Ketika terbentuk *poly(methyl methacrylate)*, ketiga puncak tersebut menurun intensitasnya hingga mendekati nol dan muncul puncak baru yang mengindikasikan adanya puncak C-C pada *wavelength* ~750 dan 840 cm^{-1}. Hal ini mengindikasikan adanya pemutusan ikatan C=C menjadi –C–C–. Pemutusan ikatan tersebut mengindikasikan sebagai proses polimerisasi adisi yang terjadi terhadap *methyl methacrylate* menjadi *poly(methyl methacrylate)* (Anusavice dkk. 2013).

4.1.2 Analisis Pengujian Viskositas

Poly(methyl methacrylate) yang dihasilkan kemudian dihitung berat molekulnya menggunakan pendekatan viskositas. Nilai viskositas polimer yang terlarut dalam pelarut kemudian dikorelasikan menggunakan persamaan (1) pada *lampiran 3* untuk mendapatkan nilai berat molekulnya. Hasil perhitungan berat molekul menggunakan pendekatan viskositas diberikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai berat molekul serbuk *poly(methyl methacrylate)*

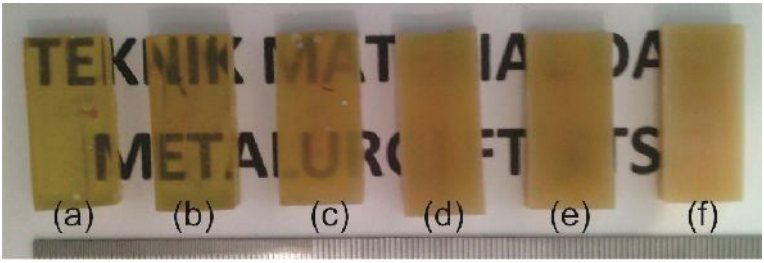
Viskositas Intrinsik	*Viscosity Parameter*		Berat Molekul (M_w)
	K (10^{-3} mL/g)	A	
36,76	7,7	0,70	180.115

Untuk milai K dan α merupakan konstanta *viscosity parameter poly(methyl methacrylate)* ketika dilarutkan dalam pelarut *acetone* menggunakan metode viskositas (Wagner. 1986). Berat molekul *poly(methyl methacrylate)* yang bertindak sebagai komponen *powder* dalam resin akrilik dapat mempengaruhi sifat mekanik dari *denture base*. Berat molekul *poly(methyl methacrylate)* hasil perhitungan yang disintesis dalam penelitian adalah 180.115 g/mol, dimana dengan berat molekul di atas 100.000, maka akan cenderung membentuk polimer rantai panjang dengan sifat fisik dan mekanik yang optimum (Kawaguchi. 2011).

Telah disintesis serbuk *poly(methyl methacrylate)* dengan berat molekul 180.115 g/mol sebagai komponen *powder* dalam pembuatan resin akrilik. Selanjutnya serbuk tersebut dicampurkan dengan komponen cair yang terdiri dari monomer *methyl methacrylate* dengan variasi penambahan monomer *styrene*. Resin akrilik tersebut kemudian ditambahkan *photoinitiator Irgacure* 784 dan dilakukan proses *photopolymerization* untuk membentuk kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*.

4.2 Karakterisasi *Poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Penambahan monomer *styrene* ke dalam *methyl methacrylate* sebagai komponen *liquid* dalam pembuatan resin akrilik bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik dari *denture base*. Proses polimerisasi menggunakan metode *photo-polymerization* menggunakan bantuan *photoinitiator Irgacure 784*. Pada gambar 4.3 menunjukkan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* hasil sintesis menggunakan *photo-polymerization* dengan variasi penambahan monomer *styrene*.



Gambar 4.3 Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan monomer *styrene* sebesar (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40%, dan (f) 50%

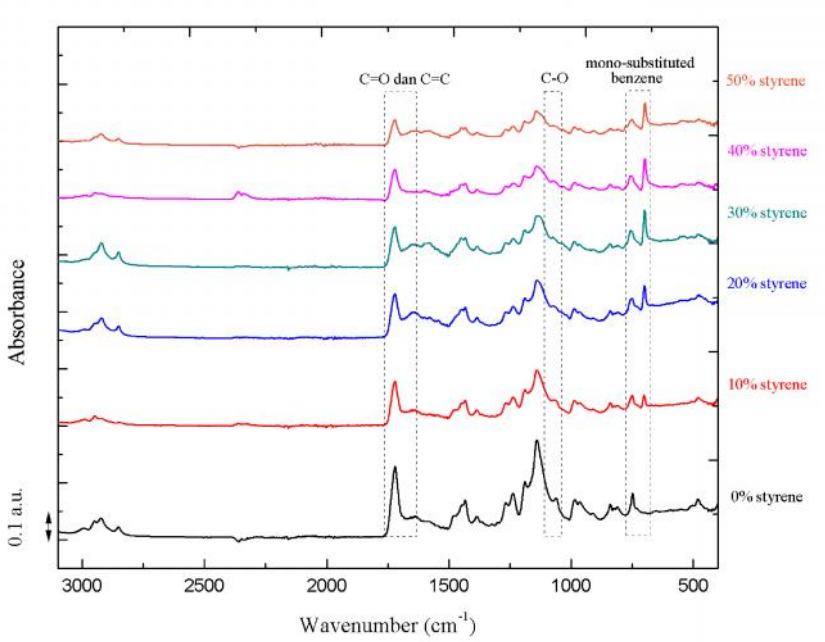
Pada kopolimer yang telah disintesis didapatkan bahwa dengan penambahan monomer *styrene* dalam resin akrilik termodifikasi dapat mengurangi transparansi dari kopolimer. Jika dibandingkan dengan spesimen tanpa penambahan *styrene* (gambar 4.3.a), spesimen dengan penambahan styrene secara visual terlihat lebih buram seiring dengan besarnya kadar yang ditambahkan. Kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen pengujian FTIR, SEM, serap air, fleksural, dan kekerasan.

4.2.1 Analisis Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan tujuan mengetahui perubahan atau pembentukan ikatan yang terjadi saat terjadi proses *photopolymerization*. Spektrum infra merah hasil pengujian FTIR dengan variasi penambahan *styrene* pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* ditunjukkan pada gambar 4.4.

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa dengan semakin tinggi kadar *styrene* yang ditambahkan maka akan menyebabkan perubahan puncak pada *wavelength* yang mengindikasikan adanya gugus fungsi *styrene* dalam rantai polimer yang terbentuk. Mori (1989) melaporkan bahwa pada spektrum hasil FTIR,

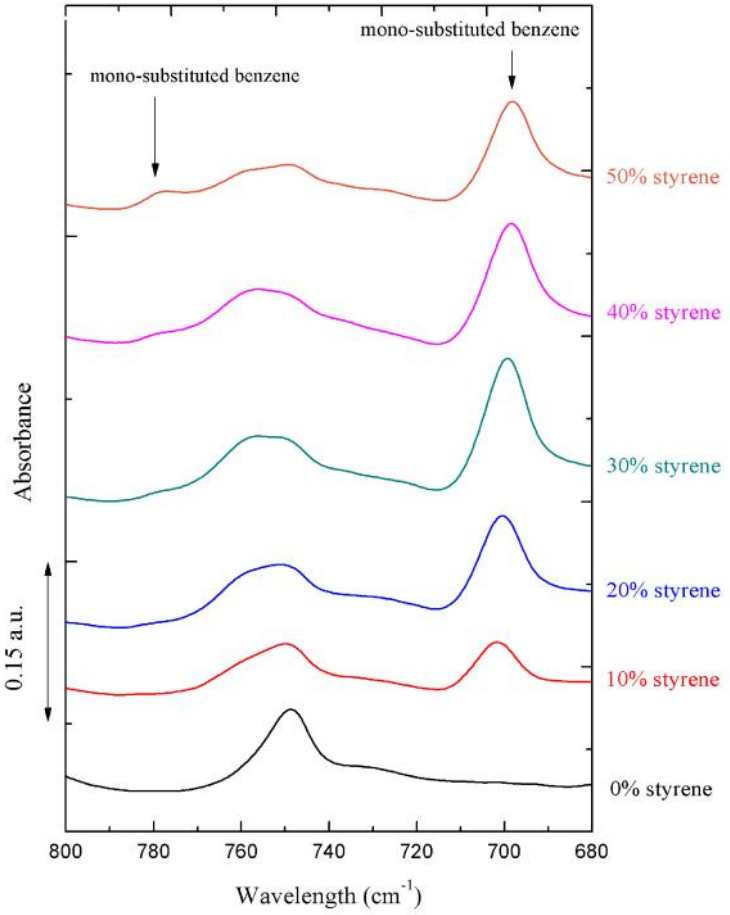
mengalami beberapa perubahan intensitas penyerapan gelombang pada *wavelength* tertentu seiring dengan penambahan *styrene*. Perubahan pada *wavelength* tertentu yang dimaksud adalah pada 700-780 cm^{-1} yang merupakan indikasi gugus *mono-substituted benzene* pada *styrene*, 1000-1300 cm^{-1} yang merupakan daerah indikasi gugus C-O *stretching* pada *methyl methacrylate*, 1600 cm^{-1} yang merupakan daerah indikasi C=C *aromatic ring benzene* pada *styrene*, dan 1720 cm^{-1} yang merupakan indikasi gugus C=O *carboxyl* pada *methyl methacrylate*.



Gambar 4.4 Spektrum infra merah *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* dengan variasi penambahan *styrene*

Pada kopolimer *poly(methyl-methacrylate-co-styrene)*, dengan adanya penambahan *styrene* maka kan memunculkan puncak pada *wavelength* 700 dan 780 cm^{-1} sebagai indikasi cincin

mono-substituted benzene seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.

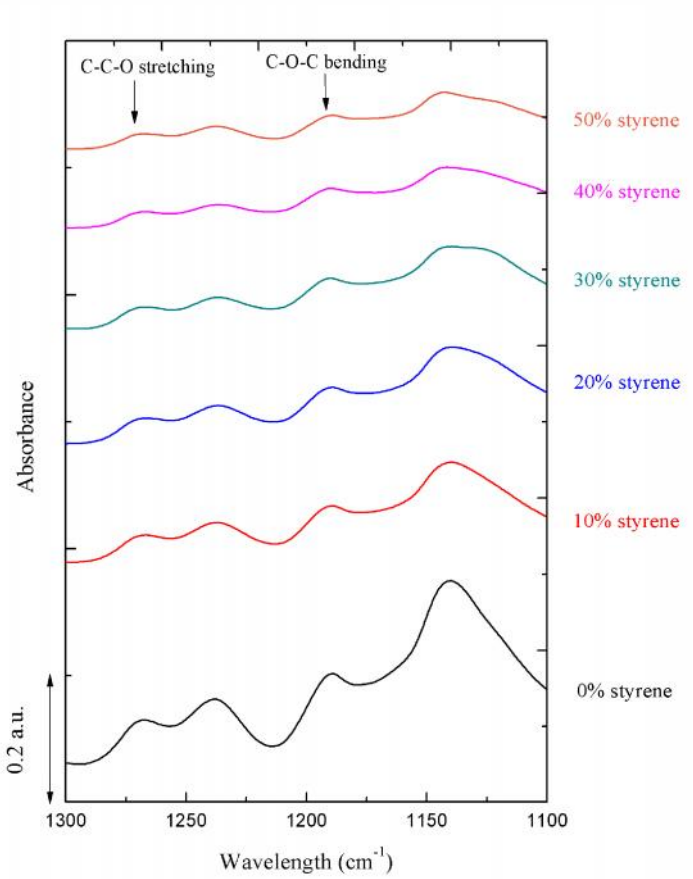


Gambar 4.5 Spektrum infra merah daerah indikasi *mono-substituted benzene*

Pada spesimen dengan penambahan 0% *styrene*, tidak terdapat puncak kedua *wavelength* tersebut, namun seiring dengan

penambahan monomer *styrene* maka muncul puncak pada *wavelength* 700 dan 780 cm^{-1}. Puncak pada *wavelength* 780 cm^{-1} baru muncul ketika penambahan 50% *styrene*. Socrates (2002) menyebutkan bahwa gugus *mono-substituted benzene* memiliki dua *wavelength* penyerapan gelombang yang kuat, yaitu pada *wavelength* 820-720 cm^{-1} dan 710-670 cm^{-1}. Namun, biasanya hanya salah satu *wavelength* saja yang memunculkan intensitas penyerapan yang kuat dalam satu spektrum. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat penyerapan gelombang pada *wavelength* 700 cm^{-1} rendah dan baru dapat teridentifikasi dengan penambahan kadar monomer *styrene* yang tinggi (50%), sedangkan pada *wavelength* 780 cm^{-1}, dengan penambahan kadar monomer *styrene* yang rendah (10%) sudah dapat memunculkan puncak pada spektrum hasil FTIR.

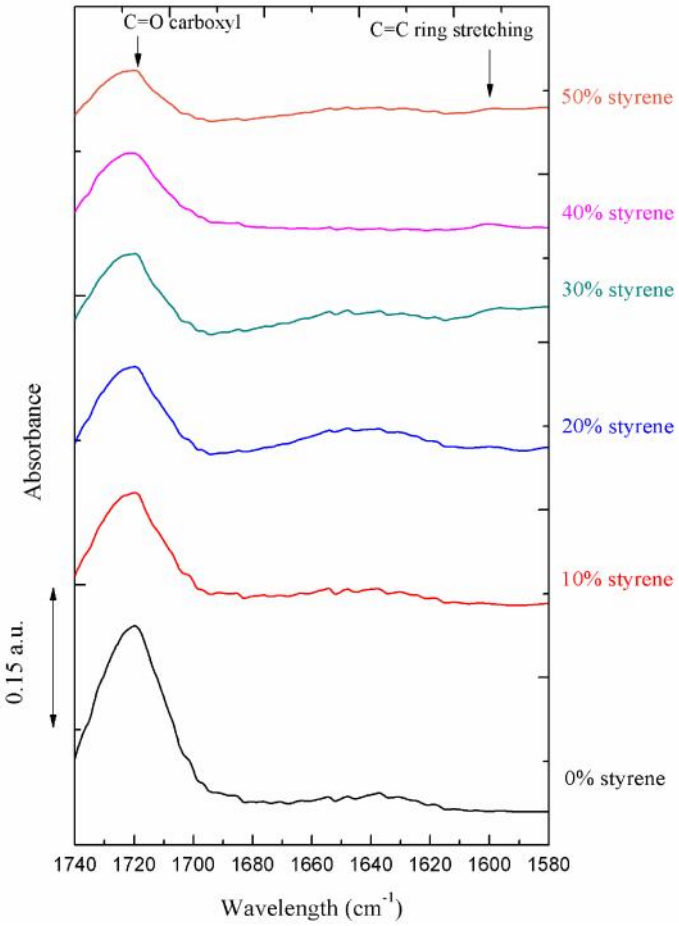
Mori (1989) mendapati bahwa dengan adanya *styrene* yang masuk dalam rantai *methyl methacrylate* menyebabkan pelebaran puncak-puncak indikasi ikatan C-O pada spektrum hasil FTIR *methyl methacrylate*. Hal ini terlihat pada hasil penelitian dimana pada daerah 1100-1300 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan C-O, terjadi pelebaran puncak seiring dengan penambahan *styrene*. Pelebaran puncak yang dimaksud terutama terjadi pada *wavelength* 1189 cm^{-1}, yang mengindikasikan adanya ikatan C-C-O *stretching*, dan pada *wavelength* 1238 cm^{-1}, yang mengindikasikan adanya ikatan C-O-C *bending*. Gambar 4.6 menunjukkan penurunan nilai penyerapan gelombang daerah indikasi ikatan C-O pada spektrum hasil FTIR kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*.



Gambar 4.6 Spektrum infra merah daerah indikasi ikatan C-O pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada hasil spektrum FTIR, *wavelength* ~1600 dan ~1720 cm^{-1} merupakan *wavelength* yang dapat mewakili indikasi adanya *styrene* dan *methyl methacrylate* dalam suatu polimer. Pada *wavelength* ~1600 cm^{-1}, merupakan daerah yang diindikasikan adanya *ring aromatic* C=C *stretching vibration* yang muncul pada *styrene*, sedangkan *wavelength* ~1720 cm^{-1} mewakili daerah

terindikasi gugus *carboxyl* C=O pada *methyl methacrylate*. Pada gambar 4.7 ditunjukkan spektrum daerah indikasi gugus *ring aromatic* dan *carboxyl* pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*.



Gambar 4.7 Spektrum infra merah indikasi daerah gugus *carboxyl* dan *ring aromatic*

Pada hasil penelitian yang ditunjukkan gambar 4.7, didapatkan nilai intensitas penyerapan gelombang pada ~1720 cm^{-1} menurun dengan meningkatnya konsentrasi *styrene* yang ditambahkan. Pada *wavelength* ~1600 cm^{-1} didapatkan bahwa dengan adanya penambahan *styrene* maka muncul puncak pada *wavelength* ~1600 cm^{-1} yang menindikasikan gugus *ring aromatic benzene,* namun nilainya sangat kecil. Hal ini dikarenakan ikatan *phenyl* pada 1600 cm^{-1} lemah jika dibandingkan dengan ikatan *carbonyl* pada 1720 cm^{-1} dalam satu spektrum (Mori. 1989).

4.2.2 Analisis Pengujian SEM

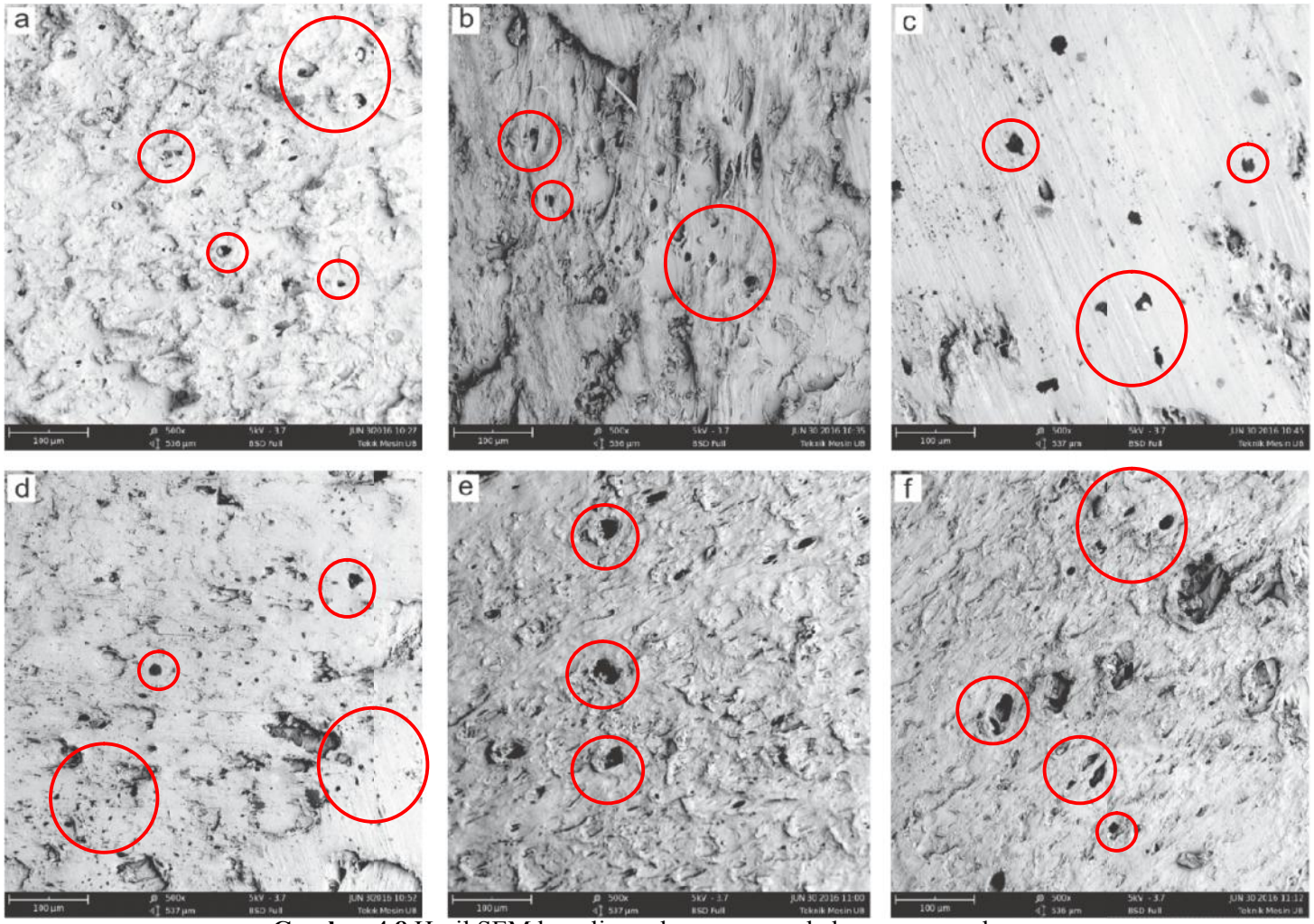
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui porositas yang muncul pada kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*. Gambar 4.8 menunjukkan posositas yang muncul pada bagian *cross-section* kopolimer dengan perbesaran 250 kali.

Pada gambar tersebut terlihat adanya porositas, yang ditunjukkan dengan lingkaran merah, pada polimer *poly(methyl methacrylate)* yang ditunjukkan pada gambar 4.8.a dan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang ditunjukkan pada gambar 4.8.b hingga 4.8.f. Anusavice (2013) melaporkan bahwa porositas dapat muncul sebagai hasil dari proses pencampuran yang kurang baik antara komponen *powder* dan *liquid*. Hal ini menyebabkan pada beberapa daerah dari massa resin akan berisi lebih banyak monomer daripada yang lainnya. Selama proses polimerisasi, daerah ini menyusut lebih dari daerah yang lain, dan penyusutan tersebut cenderung menghasilkan rongga. Manappallil (2003) juga menambahkan bahwa penggunaan monomer dengan komposisi yang terlalu banyak atau perbandingan komponen *powder/liquid* yang rendah juga dapat menyebabkan munculnya porositas. Resin akrilik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan perbandingan komponen *powder/liquid* sebesar 1:3. Pada penelitian ini juga menggunakan metode *fluid resin technique* dengan sistem *layer by layer*. Metode tersebut juga kemungkinan dapat menyebabkan rongga dari kopolimer yang disintesis. Anusavice (2013) juga mendapati bahwa porositas

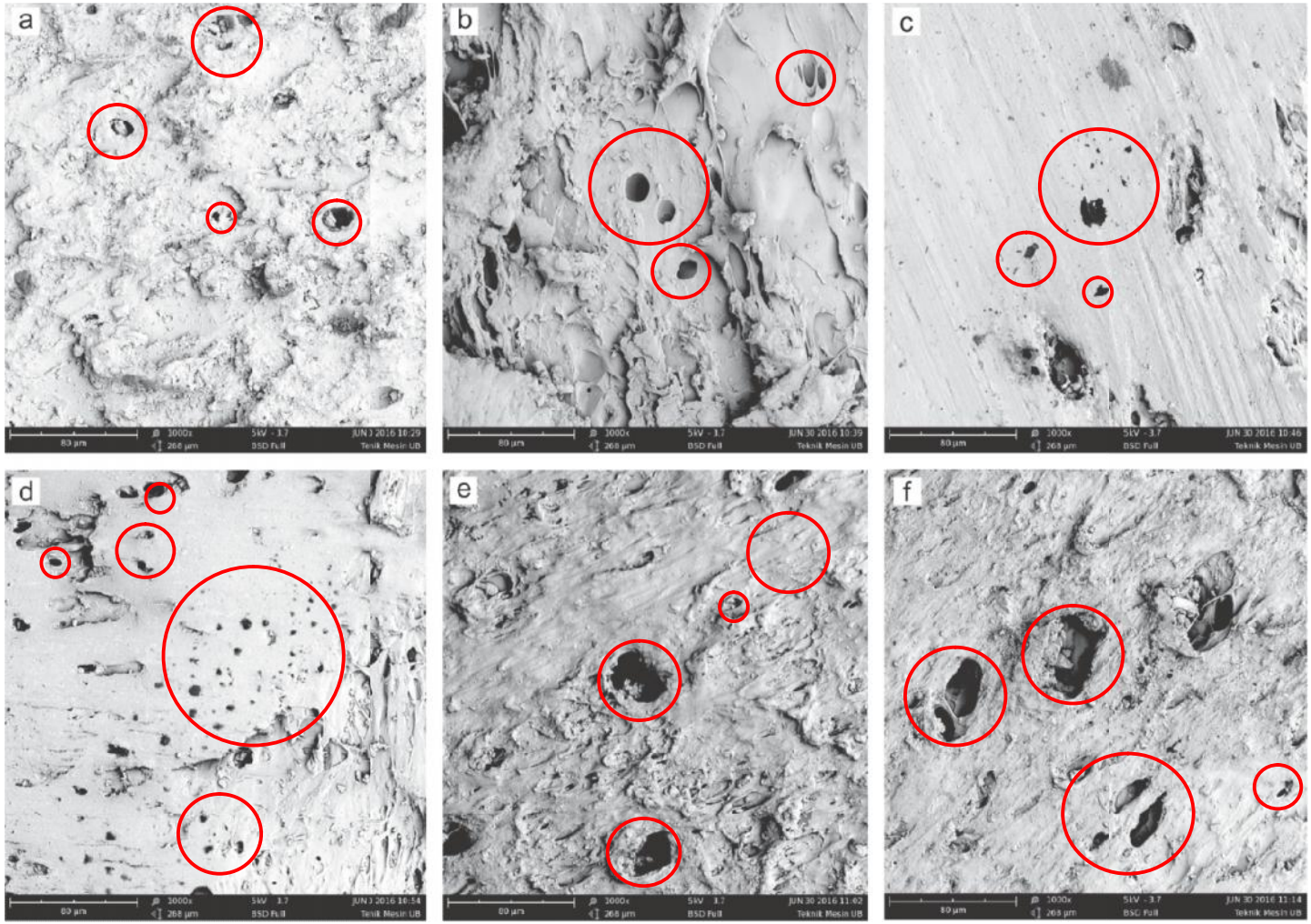
yang muncul dapat diakibatkan oleh udara yang terjebak selama proses penuangan resin yang bertahap.

Pada gambar 4.8 tersebut, terlihat perbedaan porositas yang muncul pada kopolimer dengan variasi penambahan monomer *styrene* yang berhasil disintesis. Perbedaan tersebut ditunjukkan lebih jelas pada gambar 4.9. Pada gambar 4.9 terlihat porositas yang muncul ditandai dengan lingkaran merah. Pada gambar 4.9.a terlihat rongga pada bagian *cross section*-nya. Penambahan monomer *styrene* sebesar 10 %wt (gambar 4.9.b) menyebabkan rongga yang muncul dengan jumlah lebih sedikit jika dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan *styrene* (gambar 4.9.a), tetapi dengan ukuran yang lebih besar. Pada penambahan 20 %wt *styrene* yang ditunjukkan pada gambar 4.9.c terlihat rongga yang muncul lebih sedikit jika dibandingkan dengan tanpa penambahan dan penambahan 10 %wt *styrene*. Namun, pada penambahan 30 %wt *styrene* yang ditunjukkan pada gambar 4.9.d didapatkan muncul rongga yang lebih banyak dan berukuran kecil. Pada gambar 4.9.e terlihat bahwa penambahan 40 %wt *styrene* menyebabkan rongga yang terbentuk berukuran lebih besar jika dibandingkan spesimen yang lain, namun jumlahnya lebih sedikit. Kemudian pada penambahan 50 %wt *styrene* (gambar 4.9.f) didapatkan bahwa rongga memiliki ukuran besar dengan jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan penambahan 40 %wt *styrene*, serta terdapat juga rongga yang berukuran kecil disekitar rongga yang berukuran besar.

Adanya porositas atau rongga pada kopolimer yang disintesis dapat memengaruhi sifat-sifat mekanik dari kopolimer tersebut. Anusavice (2013) mengungkapkan bahwa dengan semakin banyaknya rongga yang muncul maka sifak mekanik polimer yang terbentuk cenderung menurun.



Gambar 4.8 Hasil SEM kopolimer dengan penambahan *styrene* sebesar
(a) 0 %wt,(b) 10 %wt,(c) 20 %wt,(d) 30 %wt,(e) 40 %wt, dan (f) 50 %wt dengan perbesaran 500 kali

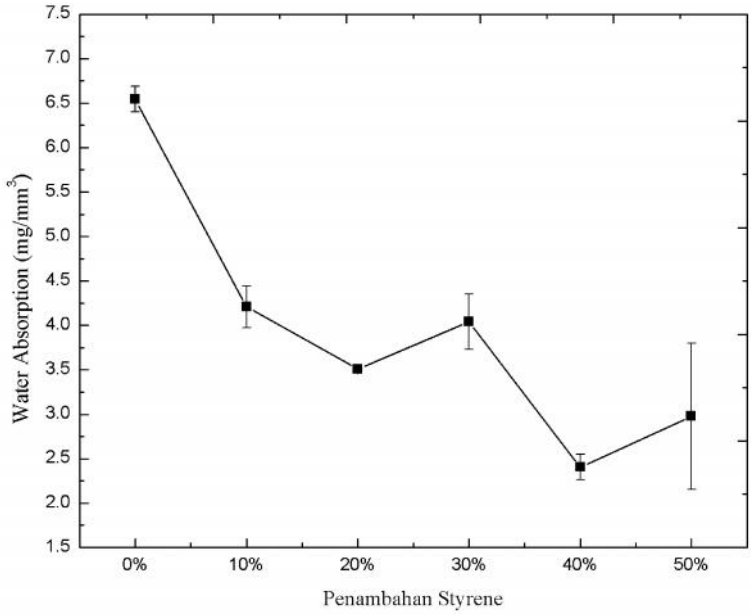


Gambar 4.9 Hasil SEM kopolimer dengan penambahan *styrene* sebesar
(a) 0 %wt,(b) 10 %wt,(c) 20 %wt,(d) 30 %wt,(e) 40 %wt, dan (f) 50 %wt dengan perbesaran 1000 kali

4.2.3 Analisis Pengujian Serap Air

Pengujian serap air dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrene* dalam *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* terhadap nilai *water absorption* dan *solubility* kopolimer yang telah berhasil disintesis. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D570. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (2) dan (3) pada *lampiran 3* untuk mendapatkan nilai *water absorption* dan *solubility*.

Molekul air dapat masuk ke dalam rantai polimer dalam suatu proses yang disebut *water absorption* (O,Brien. 2002). Gambar 4.10 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai *water absorption* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.



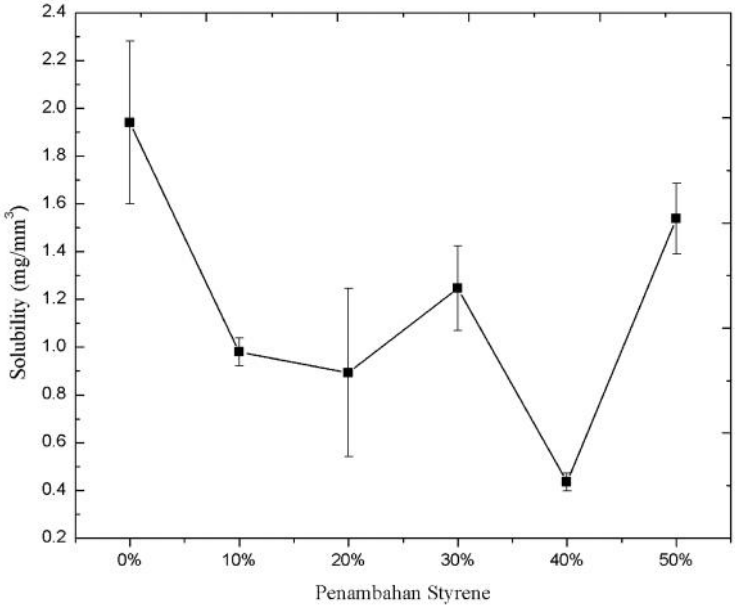
Gambar 4.10 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *water absorption* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa dengan penambahan *styrene* ke dalam rantai kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* akan mengurangi nilai *water absorption*-nya. *Poly(methyl methacrylate)* yang disintesis menggunakan metode *photopolymerization* memiliki nilai *water absorption* sebesar 6,544 μg/mm^3. Ketika diberikan penambahan 10 %wt dan 20 %wt *styrene*, nilai *water absorption* berkurang menjadi 4,20 dan 3,50 μg/mm^3. Pada penambahan 30 %wt *styrene*, terjadi peningkatan nilai *water absorption* menjadi 4,04 μg/mm^3. Selanjutnya ketika diberikan penambahan 40 %wt *styrene*, nilai *water absorption* menurun menjadi 2,40 μg/mm^3. Namun pada penambahan 50 %wt *styrene*, nilai *water absorption* kembali mengalami meningkat menjadi 2,97 μg/mm^3.

Nilai *water absorption* pada basis gigi tiruan bergantung pada *degree of hydrophobicity* dan *porositas* (Shah dkk. 2014). *Methyl methacrylate* mengandung gugus *carboxyl* yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Dengan penambahan gugus *styrene* dalam kopolimer dapat memunculkan interaksi hirofobik dengan adanya cincin aromatik (Chiu. 2006). *Methyl methacrylate* sendiri sebenarnya merupakan material yang bersifat *hydrophobic* dengan *contact angle* terhadap air sebesar 70,9^o. Ketika terdapat gugus *styrene* yang memiliki *contact angle* terhadap air sebesar 87,4^o dalam rantai polimer, maka akan meningkatkan *degree of hydrophobicity*-nya. Penelitian yang dilakukan Zhang dkk (2014) juga menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan kadar *styrene* dapat meningkatkan *contact angle* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene),* secara tidak langsung juga meningkatkan sifat *hydrophobic*-nya. Anusavice (2013) menambahkan bahwa nilai *water absorption* pada basis gigi tiruan tidak hanya bergantung terhadap polaritas material penyusunnya, mekanisme difusi juga berperan dalam proses masuknya molekul air ke dalam rantai polimer. Pada hasil SEM kopolimer yang ditunjukkan pada gambar 4.8, peningkatan nilai *water absorption* pada kopolimer dengan penambahan kadar monomer *styrene* sebesar 30 %wt dan 50 %wt juga diakibatkan

rongga-rongga yang muncul pada kedua penambahan tersebut. Pada penambahan 30 %wt memiliki rongga yang kecil dengan jumlah yang banyak dan pada penambahan 50 %wt memiliki rongga yang besar dengan beberapa rongga kecil di sekitarnya. Dengan adanya rongga tersebut maka memudahkan molekul air untuk dapat masuk ke dalam bagian kopolimer yang telah disintesis sehingga meningkatkan nilai *water absorption*-nya.

Solubility mengacu pada ketahanan terhadap disintegrasi dan pelarutan monomer sisa atau *residual monomer* ketika kopolimer terendam dalam air atau pelarut lainnya (Sakaguchi dan Powers. 2012). Nilai *solubility* yang didapatkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *solubility* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada gambar 4.11 terlihat bahwa dengan penambahan *styrene* ke dalam rantai kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* akan mengurangi nilai *solubility*-nya. *Poly(methyl methacrylate)* yang disintesis menggunakan metode *photo-polymerization* memiliki nilai *solubility* sebesar 1.94 μg/mm^3. Ketika diberikan penambahan 10 %wt dan 20 %wt *styrene*, nilai *solubility* berkurang menjadi 0,97 dan 0,89 μg/mm^3. Pada penambahan 30 %wt *styrene*, terjadi peningkatan nilai *solubility* menjadi 1,24 μg/mm^3. Selanjutnya ketika diberikan penambahan 40 %wt *styrene*, nilai *solubility* menurun menjadi 0,43 μg/mm^3. Namun pada penambahan 50 %wt *styrene*, nilai *solubility* kembali mengalami meningkat menjadi 1,53 μg/mm^3.

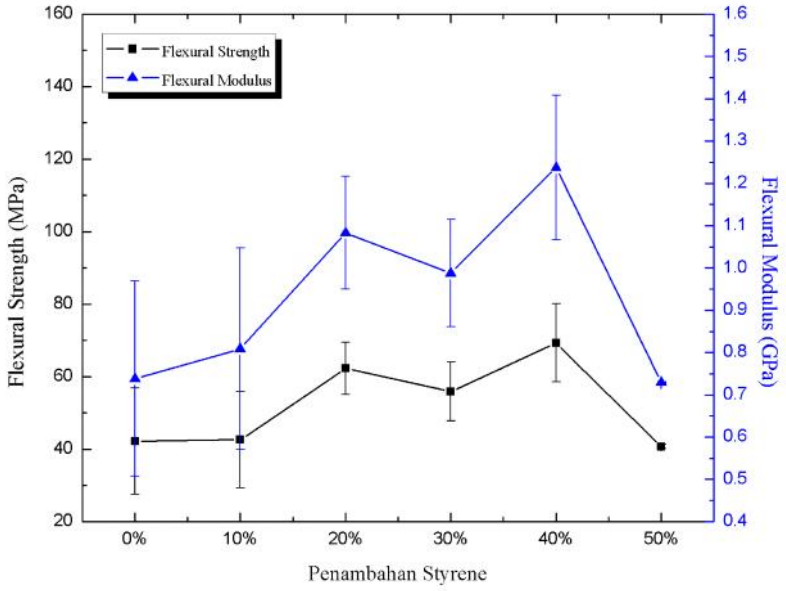
Nilai *solubility* pada *denture base* memiliki korelasi dengan kemungkinan munculnya *residual monomer* (Shah dkk. 2014). Pfeiffer dan Rosenbauer (2004) juga melaporkan bahwa adanya korelasi antara *residual monomer* dengan *water absorption*. Dengan adanya *residual monomer*, akan meningkatkan nilai ab*sorption* dan *solubility*. Dengan adanya gugus *styrene* dalam rantai kopolimer yang disintesis dapat menurunkan nilai *solubility*-nya. Peningkatan nilai *solubility* pada penambahan 30 %wt dan 50 %wt *styrene* mengindikasikan adanya *residual monomer* dengan kadar yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kopolimer dengan penambahan 10 %wt, 20 %wt, dan 40 %wt. Indikasi ini juga akan dikorelasikan dengan hasil pengujian mekanik. Terdapat korelasi antara *residual monomer* dengan sifat mekanik. Dengan adanya *residual monomer* yang bertindak sebagai *plasticizer*, maka cenderung akan menurunkan sifat mekanik bahan basis gigi tiruan (Pfeiffer dan Rosenbauer. 2004).

4.2.4 Analisis Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrene* dalam *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* terhadap nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer yang telah disintesis. Pengujian ini memakai standar ASTM D790 menggunakan metode *3-point bending*. Nilai yang

didapatkan dalam pengujian kemudian diolah dalam persamaan (4), (5), dan (6) pada *lampiran 3* untuk mendapatkan nilai *flexural strength* dan *modulus flexural*.

Flexural strength merupakan hasil perhitungan gaya per satuan luas pada daerah spesimen yang patah dalam pembebanan lentur (Anusavice dkk. 2013). Nilai *flexural strength* dianggap yang paling cocok dalam membandingkan bahan basis gigi tiruan karena mencerminkan tekanan kompleks yang terjadi selama proses mengunyah dan memberikan indikasi kekuatan bahan (Hashem dkk. 2014). Gambar 4.12 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai *flexural strength* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.



Gambar 4.12 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap *flexural strength* dan *flexural modulus* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Pada gambar 4.12 terlihat bahwa dengan penambahan *styrene* ke dalam rantai kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* akan meningkatkan nilai *flexural strength*-nya. *Poly(methyl methacrylate)* yang disintesis menggunakan metode *photo-polymerization* memiliki nilai *flexural strength* sebesar 42,22 MPa. Ketika diberikan penambahan 10 %wt dan 20 %wt *styrene*, nilai *flexural strength* meningkat menjadi 42,61 MPa dan 62,29 MPa. Pada penambahan 30 %wt *styrene*, terjadi penurunan nilai *flexural strength* menjadi 55,88 MPa. Selanjutnya ketika diberikan penambahan 40 %wt *styrene*, nilai *flexural strength* meningkat menjadi 69,33 MPa. Namun pada penambahan 50 %wt *styrene*, nilai *flexural strength* kembali mengalami penurunan menjadi 40,73 MPa.

Nilai *flexural modulus* yang didapatkan memiliki tren yang mirip dengan nilai *flexural strength* kopolimer yang telah disintesis. Pada gambar 4.12 juga terlihat bahwa dengan penambahan *styrene* ke dalam rantai kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* akan meningkatkan nilai *flexural modulus*-nya. *Poly(methyl methacrylate)* yang disintesis menggunakan metode *photo-polymerization* memiliki nilai *flexural modulus* sebesar 0,73 GPa. Ketika diberikan penambahan 10 %wt dan 20 %wt *styrene*, nilai *flexural modulus* meningkat menjadi 0,80 GPa dan 1,08 GPa. Pada penambahan 30 %wt *styrene*, terjadi penurunan nilai *flexural modulus* menjadi 0,98 GPa. Selanjutnya ketika diberikan penambahan 40 %wt *styrene*, nilai *flexural modulus* meningkat menjadi 1,23 GPa. Namun pada penambahan 50 %wt *styrene*, nilai *flexural modulus* kembali mengalami penurunan menjadi 0,72 GPa.

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi sifat fleksural pada resin akrilik, antara lain *residual monomer*, *water absorption*, dan porositas (Saen-isara dkk. 2013). Cunha (2009) menjelaskan bahwa nilai *water absorption* dan *solubility* yang tinggi pada resin akrilik basis gigi tiruan dapat menyebabkan penurunan *flexural strength* yang signifikan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian *water absorption* yang ditujukkan pada

gambar 4.10 dan *solubility* yang ditunjukkan pada gambar 4.11. Jika dikaitkan terhadap *solubility*-nya, indikasi adanya *residual monomer* memengaruhi *flexural strength* dari basis gigi tiruan karena sifat *plasticizing*-nya (Gharechahi dkk. 2014). Dikarenakan memiliki sifat sebagai *plasticizer* dalam matriks polimer *denture base*, indikasi adanya *residual monomer* juga menyebabkan munculnya porositas yang dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik (Dogan dkk. 1995). Hal ini sesuai dengan munculnya rongga yang terlihat pada hasil pengujian SEM yang ditunjukkan pada gambar 4.8.

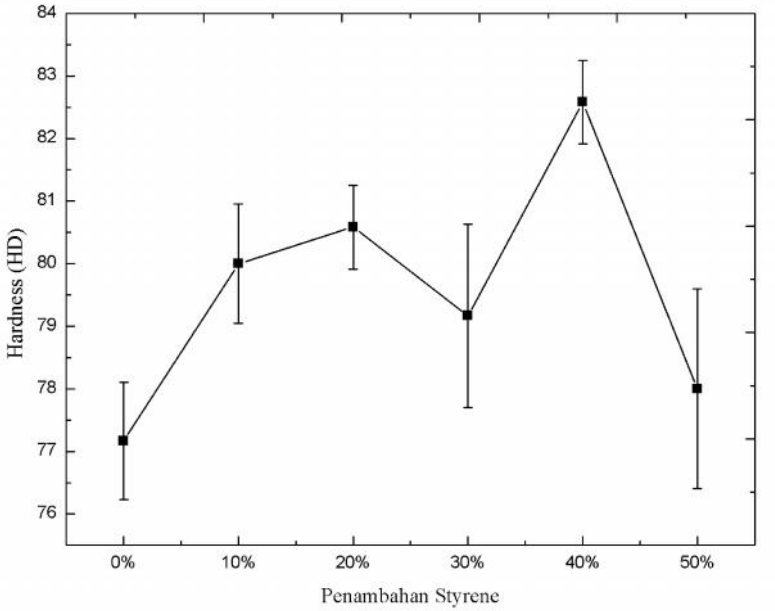
Selain faktor-faktor tersebut, Park dkk (2009) juga melihat adanya pengaruh strukur kimia pada rantai kopolimer *denture base*. Adanya gugus *styrene* juga meningkatkan sifat mekanik kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* (Chiu dkk, 2006). Penambahan kadar monomer *hydrophobic* dapat mengurangi nilai *water absorption* dan meningkatkan nilai *flexural strength* dan *modulus*-nya (Park dkk. 2009).

4.2.5 Analisis Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrene* dalam *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* terhadap nilai kekerasan kopolimer yang telah disintesis. Pengujian ini memakai standar ASTM D2240 menggunakan Durometer Shore D. Gambar 4.13 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis. Gambar 4.13 menunjukkan pengaruh penambahan monomer *styrene* terhadap nilai kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yang berhasil disintesis.

Pada gambar 4.13 terlihat bahwa dengan penambahan *styrene* ke dalam rantai kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* akan meningkatkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan kopolimer yang telah disintesis memiliki kesamaan tren dengan nilai sifat mekanik lainnya, yaitu *flexural strength* dan *flexural modulus*-nya. *Poly(methyl methacrylate)* yang disintesis menggunakan metode *photo-polymerization* memiliki nilai

kekerasan sebesar 77,16 HD. Ketika diberikan penambahan 10 %wt dan 20 %wt *styrene*, nilai kekerasan meningkat menjadi 80 HD dan 80,58 HD. Pada penambahan 30 %wt *styrene*, terjadi penurunan nilai kekerasan menjadi 79,16 HD. Selanjutnya ketika diberikan penambahan 40 %wt *styrene*, nilai kekerasan meningkat menjadi 82,58 HD. Namun pada penambahan 50 %wt *styrene*, nilai kekerasan kembali mengalami penurunan menjadi 78 HD.



Gambar 4.13 Pengaruh penambahan *styrene* terhadap kekerasan kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*

Hasil nilai kekerasan dalam penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Zhang (2014). Zhang melaporkan bahwa ketika gugus *rigid benzene* masuk ke dalam rantai utama polimer, dengan penambahan *styrene*, maka kekerasan senyawa akrlik yang termodifikasi akan menunjukkan tren peningkatan. Azevedo dkk (2005) menemukan bahwa nilai kekerasan berhubungan dengan kandungan residual

monomer dan resin akrilik basis gigi tiruan. Nilai kekerasan juga cenderung menurun dengan meningkatnya nilai *water absorption*. Penurunan nilai kekerasan pada penambahan 30 %wt dan 50 %wt memiliki kesamaan tren dengan nilai *water absorption*, *solubility*, *flexural strength*, dan *flexural modulus*-nya.

4.2.6 Kesimpulan Awal (*Premilinary Conclusion)*

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* menggunakan metode *photopolymerization*. Pada tabel 4.2 ditunjukkan nilai pengujian fisik dan mekanik dari kopolimer yang telah disintesis dan spesifikasi bahan basis gigi tiruan berdasarkan standar *ANSI/ADA Spesification No. 12 (ISO 1567) for Denture Base Resin*.

Tabel 4.2. Sifat mekanik kopolimer dan spesifikasi bahan basis gigi tiruan

Sifat	ISO 1567	Kopolimer dengan penambahan *styrene*					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Water Absorption ($\mu g/mm^3$) *maximum*	32	6.54	4.20	3.50	4.04	2.40	2.97
Solubility ($\mu g/mm^3$) *maximum*	1,6	1,94	0,97	0,89	1,24	0,43	1,53
Flexural Strength (MPa) *minimum*	65	42,22	42,61	62,29	55,88	69,33	40,73
Flexural Modulus (GPa) *Minimum*	2,0	0,73	0,80	1,08	0,98	1,23	0,72
Hardness (HD)	-	77,16	80	80,58	79,16	82,58	78

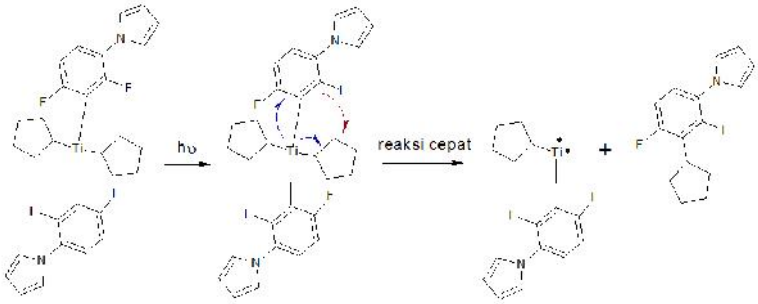
Pada tabel 4.2 menujukkan adanya pengaruh penambahan styrene terhadap sifat fisik dan mekanik kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styre)* yang telah disintesis. Pada ISO 1567 mensyaratkan bahwa nilai minimal *water absorption* suatu material berbasis polimer sebesar 32 μg/mm^3. Pada kopolimer yang telah disintesis didapatkan bahwa semua komposisi penambahan monomer *styrene*, termasuk juga tanpa penambahan, memenuhi persyaratan. Komposisi penambahan 40 %wt *styrene* memiliki nilai *water absorption* yang paling rendah, yaitu sebesar 2,40 μg/mm^3. ISO 1567 mensyaratkan bahwa nilai minimal *solubility* suatu material berbasis polimer sebesar 1,6 μg/mm^3. Pada kopolimer yang telah disintesis didapatkan bahwa semua komposisi penambahan monomer *styrene* memenuhi persyaratan. Komposisi penambahan 40 %wt *styrene* memiliki nilai *water absorption* yang paling rendah, yaitu sebesar 0,43 μg/mm^3. ISO 1567 mensyaratkan bahwa nilai minimal *flexural strength* suatu material berbasis polimer sebesar 65 MPa. Pada kopolimer yang telah disintesis didapatkan bahwa hanya kopolimer dengan komposisi penambahan 40 %wt *styrene* yang memenuhi persyaratan, dengan nilai *flexural strength* sebesar 69,33 MPa. ISO 1567 mensyaratkan bahwa nilai minimal *flexural modulus* suatu material berbasis polimer sebesar 2,0 GPa. Pada kopolimer yang telah disintesis didapatkan bahwa tidak ada kopolimer dengan komposisi penambahan monomer *styrene* yang memenuhi persyaratan. Kopolimer dengan komposisi penambahan styrene 40 %wt yang mendekat nilai yang disyaratkan, yaitu sebesar 1,23 GPa. Pada ISO 1567 tidak mensyaratkan nilai kekerasan material berbasis polimer sebagai bahan basis gigi tiruan. Pada penelitian yang dilakukan didapatkan pada komposisi penambahan 40 %wt *styrene* memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu sebesar 82,58 HD.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa kopolimer dengan komposisi penambahan *styrene* 40 %wt merupakan komposisi yang paling mendekati dengan persyaratan

yang diminta standar *ANSI/ADA Spesification No. 12 (ISO 1567) for Denture Base Resin*.

4.3 Mekanisme Proses Kopolimerisasi *Poly(methyl methacrylate-co-styrene)* Menggunakan Metode *Photo-polymerization*

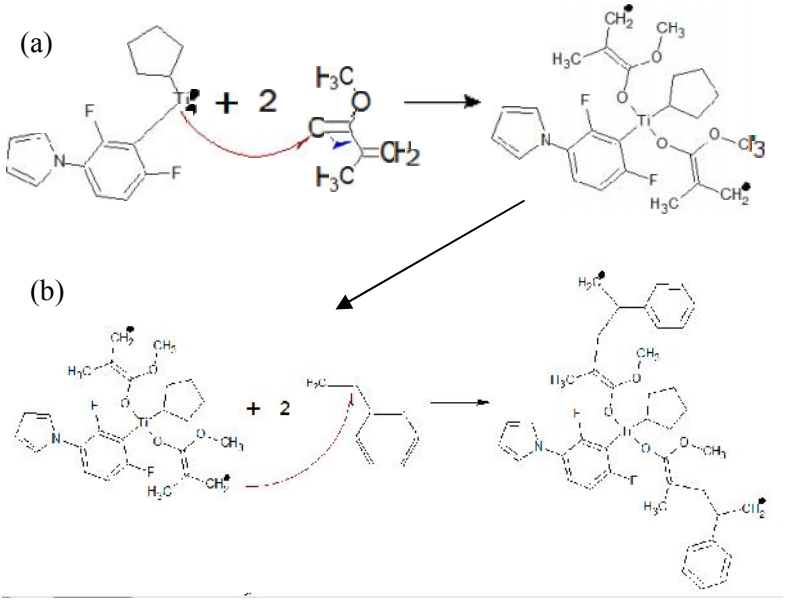
Mekanisme proses *photopolymerization* kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* diawali dari proses pembentukan radikal bebas dari *photoinitiator*. *Photoinitiator* yang digunakan adalah Irgacure 784 yang merupakan senyawa *organometallic titanocene* dengan gugus *pentafluorophenyl* dan *cyclopentenyl* (Kitano dkk. 2013). Proses pembentukan radikal bebas dari *photoinitiator* Irgacure 784 ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Proses pembentukan radikal bebas dari *photoinitiator* Irgacure 784

Proses pembentukan radikal bebas dari Irgacure 784 berkaitan dengan proses dekomposisi senyawa akibat cahaya pada *wavelength* hingga 550 nm. Pada gambar 4.14 didapatkan bahwa ketika *photoinitiator* terkena cahaya maka akan mengalami proses dekomposisi. Ketika terkena cahaya, terjadi pemutusan ikatan gugus *pentafluorophenyl* dan *cyclopentenyl* terhadap titanium. Green (2010) melaporkan bahwa gugus *pentafluorophenyl* dan *cyclopentenyl* yang terlepas kemudian membentuk senyawa baru, sehingga hasil dekomposisi Irgacure adalah senyawa titanium tidak jenuh yang memiliki dua radikal bebas dan senyawa

pentafluorophenyl-cyclopentenyl. Senyawa titanium tidak jenuh inilah yang akan berikatan monomer *methyl metharylate* dan *styrene*. Proses kopolimerisasi *methyl methacrylate* dan *styrene* menggunakan radikal Irgacure 784 diilustrasikan dalam gambar 4.15.



Gambar 4.15 Tahapan proses kopolimerisasi *poly(methyl methacrylate-co-styrene)* yaitu (a) pengikatan monomer *methyl methacrylate* dan (b) pengikatan monomer *styrene*

Pada gambar 4.15 didapatkan bahwa radikal bebas dalam senyawa titanium tak jenuh akan berikatan dengan *methyl methacrylate*. Pada gambar 4.15.a, radikal bebas pada senyawa titanium tak jenuh memutus ikatan C=O pada gugus *ester methyl mehacrylate* yang kemudian berikatan dengan titanium. Dengan berikatannya *methyl methacrylate* dan titanium tak jenuh akan memutuskan ikatan rangkap C=C pada rantai utama *methyl methacrylate* dan membentuk ujung aktif. Proses inilah yang

disebut dengan *photoinitiation*. Pada gambar 4.15.b ujung aktif pada senyawa *methyl methacrylate* kemudian menginisiasi pemutusan ikatan C=C pada rantai utama *styrene*. Pemutusan tersebut selanjutnya diikuti dengan pengikatan gugus *methyl methacrylate* dan *styrene*. Ujung aktif pada gugus *styrene* kemudian akan mengikat monomer lainnya selama proses *photopolymerization* berlangsung membentuk kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene).*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Spesifikasi Bahan

1. *Methyl methacrylate,* 99%, ≤30 ppm MEHQ *as inhibitor*
   Produsen : Sigma Aldrich Chemistry
   CAS *number* : 80-62-6
   Sifat
   Berat molekul : 100,12 g/mol
   Titik cair : -48^{o}C
   Titik didih : 100^{o}C
   Berat jenis : 0,936 g/mL *at* 25^{o}C

2. *Styrene*, ≥99%, *4-tert-butylcatechol as stabilizer*
   Produsen : Sigma Aldrich Chemistry
   CAS *number* : 100-42-5
   Sifat
   Berat molekul : 104,15 g/mol
   Titik cair : -31^{o}C
   Titik didih : 145-146^{o}C
   Berat jenis : 0,906 g/mL *at* 25^{o}C

3. *Benzoyl Peroxide,* H_2O 25%
   Produsen : Merck KGaA
   Index number : 617-008-00-0
   Sifat
   Berat molekul : 242.23 g/mol
   Titik cair : 102-105^{o}C

4. Irgacure 784
   Produsen : *Ciba Specialty Chemicals*
   Sifat
   Berat molekul : 534.4 g/mol
   Titik cair : 160-170^{o}C
   Pelarut (20 ^{o}C) : *acetone*, HDDA, *methylethylketone*, *toluene*, dan TMPTA

Lampiran 2 : Prosedur Kerja *Photopolymerization*

1. *Light Curing Units* (LCUs)

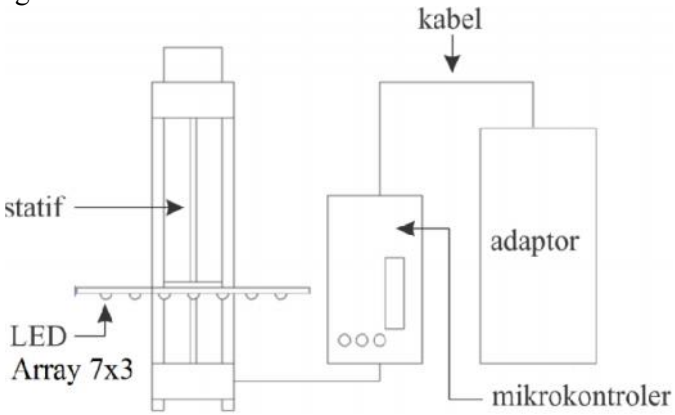
Penelitian ini menggunakan lampu *light-emitting diode* sebagai *light curing units* (LED LCUs). Pada gambar L2.1. ditunjukkan lampu LED yang digunakan dan spesifikasi LED LCUs yang digunakan dalam penelitian dijabarkan dalam tabel L2.1 berikut.

Gambar L2.1 Lampu LED yang digunakan sebagai LCUs

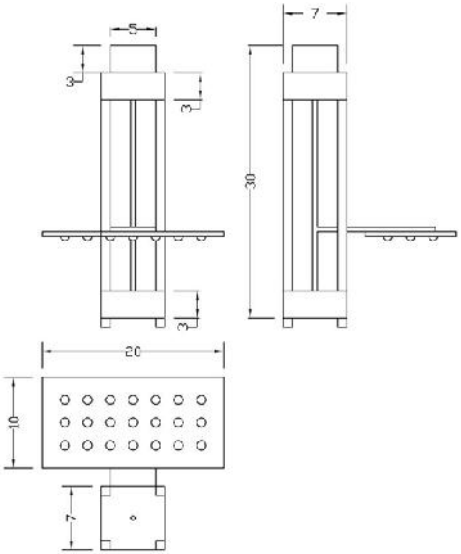
Tabel L2.1 Spesifikasi LED yang digunakan

Properties	Nilai
Nama	LED *Superbright Blue* 5 mm
Warna	Biru
Forward Current (mA)	750
Voltage (volt)	3,2 – 3,8
LuminousFlux (lm)	110- 180
Daya (watt)	3
Jumlah	21

LED kemudian dirangkai menjadi LCUs seperti yang ditunjukkan pada gambar L2.2 dengan dimensi yang ditunjukkan pada gambar L2.3 dan rangkaian LED LCUs yang digunakan dalam penelitian pada gambar L2.4.



Gambar L2.2 Skema rangkaian LED LCUs



Gambar L2.3 Dimensi LED LCUs dalam skala mm

Gambar L2.4 Rangkaian LED LCUs yang digunakan dalam penelitian

2. Prosedur Kerja
   Prosedur kerja dalam proses *photopolymerization* adalah sebagai berikut :
   a. Merangkai LED LCUs dengan mikrokontroler dan adaptor yang terhubung dengan sumber listrik
   b. Mempersiapkan cetakan dan meletakkannya di bawah LED LCUs
   c. Menunangkan resin akrilik termodifikasi yang telah ditambahkan *photoinitiator* Irgacure 784 ke dalam cetakan menggunakan *fluid resin technique* dengan ketebalan 1-1,5 mm. Proses ini dilakukan secara perlahan untuk menghindari adanya udara yang terperangkap dalam resin saat proses penuangan.
   d. Mengatur jarak antara LED pada LCUs dengan cetakan sebesar 1 cm menggunakan mikrokontroler
   e. Mengatur daya listrik luaran yang diberikan kepada LED sebesar 16 watt, setara dengan 900 mW/cm^2 pada mikrokontroler

f. Melakukan pemaparan spesimen akrilik dengan cahaya biru dari LED LCUs selama 10 menit hingga resin terpolimerisasi sebagian, permukaan polimer yang terbentuk mulai mengeras
g. Menggunakan prosedur yang sama, resin kembali dimasukkan ke dalam cetakan hingga cetakan penuh
h. Pada penuangan terakhir (*layer* terakhir), proses pemaparan cahaya dilakukan hingga resin terpolimerisasi secara sempurna (sampel mengeras).
i. Proses *photopolymerization* ditunjukkan pada gambar L2.5 berikut.

Gambar L2.5 Proses *photopolymerization* menggunakan LED LCUs

Lampiran 3 : Prosedur Pengujian

1. Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan untuk mendapatkan nilai berat molekul polimer menggunakan pendekatan viskositas larutan polimer. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

a. Pembuatan larutan *poly(methyl methacrylate)*
   Larutan *poly(methyl methacrylate)* dibuat dengan berbagai macam konsentrasi, mulai dari konsentrasi 0 % (hanya pelarut *acetone*), 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5 %wt. Setelah terukur massa *poly(methyl methacrylate)* dan volume *acetone* untuk masing-masing konsentrasi, maka *poly(methyl methacrylate)* dan pelarut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen.
b. Pengukuran waktu aliran larutan
   Pada masing-masing laruran *poly(methyl methacrylate)* dengan variasi konsentrasi yang telah dibuat, selanjutnya dilakukan pengukuran waktu alir larutan *poly(methyl methacrylate)* menggunakan viskometer kapiler sehingga diperoleh waktu alir dari semua konsentrasi Pengukuran waktu alir ini dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing konsentrasi kemudian diambil rata-ratanya.
c. Penentuan viskositas
   Selanjutnya dari data yang telah didapat kemudian diolah untuk mendapatkan nilai viskositas intrinsik. Persamaan yang digunakan yaitu :
   - Penentuan viskositas larutan

     $$\eta = \frac{t}{t^*}\,[\eta^*]$$

     Keterangan :
     t^* = waktu alir pelarut *aceton*
     η^* = viskositas pelarut *aceton* ($3{,}2 \times 10^{-4}$ kg/ms)
   - Penentuan viskositas spesifik

     $$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta^*}{\eta^*}$$

- Penentuan viskositas reduksi

$$\eta_{red} = \frac{\eta^*}{C}$$

Keterangan :

C = konsentrasi larutan

Penentuan viskositas intrinsik [η] melalui ekstrapolasi ke sumbu y pada grafik hubungan antara viskositas reduksi terhadap variasi konsentrasi

d. Penentuan berat molekul *poly(methyl methacrylate)*

Selanjutnya nilai viskositas intrinsik (*limiting viscosity number* atau LVN) setiap variasi temperatur dimasukkan ke dalam persamaan Mark-Houwink-Sakurada untuk mendapatkan nilai berat molekulnya. Berikut merupakan persamaan Mark-Houwink-Sakurada :

$$\text{LVN atau } [\eta] = K M^{\alpha} \quad \text{.....(1)}$$

dengan nilai K = 7,7 x 10-3 mL/g dan a = 0,70 , menyesuaikan dengan hasil penelitian yang dilakukan Cohn-Ginsberg yang menggunakan metode viskositas.

2. Pengujian Serap Air

Pengujian serap air menggunakan standar pengujian ASTM D570 dengan metode 24 *hour immersion*. Spesimen yang digunakan berbentuk *disc* dengan ukuran diameter 50,8 mm dan 3,2 ± 0,30 mm. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

a. Conditioning

Spesimen dipanaskan menggunakan oven dengan temperatur pemanasan 105-110^{o}C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam *desiccators* dan segera ditimbang masanya dengan akurasi 0,001 g. Massa yang terhitung merupakan massa awal atau M_0.

b. 24 *hour immersion*

Spesimen ditempatkan ke dalam wadah yang berisi air distilasi pada temperatur 23±1^{o}C dengan kondisi sepenuhnya permukaan tenggelam. Pada saat akan selesai 24 jam, setengah jam sebelum selesai, spesimen dikeluarkan dari air satu per satu, kemudian semua permukaan dibersihkan dengan kain bersih, dan langsung ditimbang dengan akurasi 0,001 g. Massa yang terhitung merupakan massa terendam atau M_1.

c. Reconditioning

Spesimen dipanaskan menggunakan oven dengan temperatur pemanasan 105-110^{o}C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam *desiccators* dan segera ditimbang masanya dengan akurasi 0,001 g. Massa yang terhitung merupakan massa akhir atau M_2.

d. Perhitungan

Setelah didapatkan data hasil pengujian, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai *water absorption* dan *solubility* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$water\ absorption\ \left(\frac{\mu g}{mm^3}\right) = \frac{M1-M0}{volume} \quad \text{..... (2)}$$

$$solubility\ \left(\frac{\mu g}{mm^3}\right) = \frac{M0-M2}{volume} \quad \text{..... (3)}$$

3. Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural yang dilakukan menggunakan alat *3-point bending* dengan pembebanan 100 kgf. Pengujian ini dilakukan dengan standar pengujian SNI 03-1027-2006 dan ASTM D790. Dimensi spesimen yang digunakan adalah 127x12,7x3,2 mm dengan *support span* sebesar 98 mm. Untuk mendapatkan nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* menggunakan 3 persamaan yaitu :

$$D = \frac{r\,L^2}{6d} \quad \text{..... (4)}$$

$$\sigma_f = \left(\frac{3PL}{2bd^2}\right)\left[1 + 6\left(\frac{D}{L}\right)^2 - 4\left(\frac{d}{L}\right)\left(\frac{D}{L}\right)\right] \quad \text{..... (5)}$$

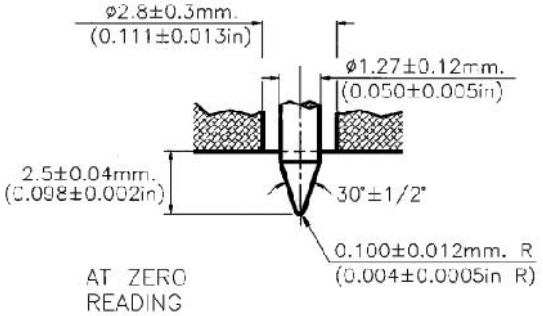
$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad \text{..... (6)}$$

Keterangan :

D	= *midspan deflection* (mm)	P	= *load* (N)
r	= *strain* (0,05 mm/mm)	b	= *width of beam* (mm)
L	= *support span* (mm)	E_B	= *flexural modulus* (MPa)
d	= *depth of beam* (mm)	m	= *load-deflection ratio* (N/mm)
σ_f	= *flexural strength* (MPa)		

4. Pengujian Kekerasan

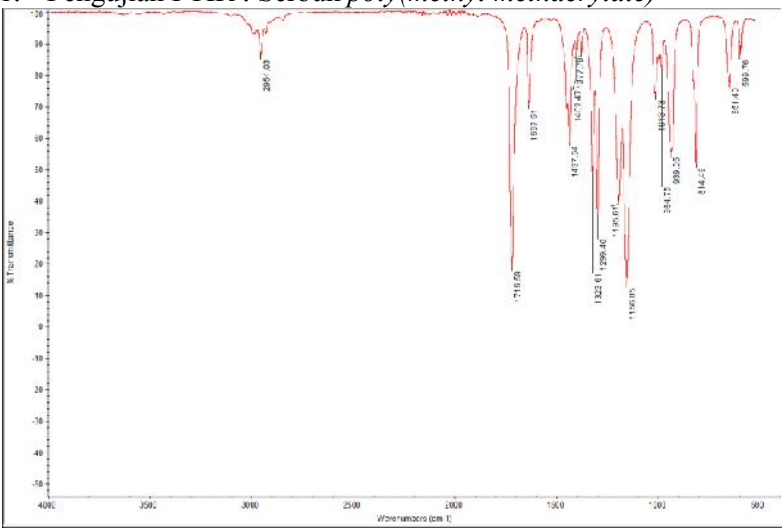
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dimiliki kopolimer *poly(methyl methacrylate-co-styrene).* Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan alat durometer shore D. Ukuran spesimen yang digunakan memiliki ketebalan minimal 6 mm. Nilai pembebanan yang diberikan adalah 5 kg. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar pengujian ASTM D2240-00. dengan ujung indentor type B dan D seperti pada gambar berikut



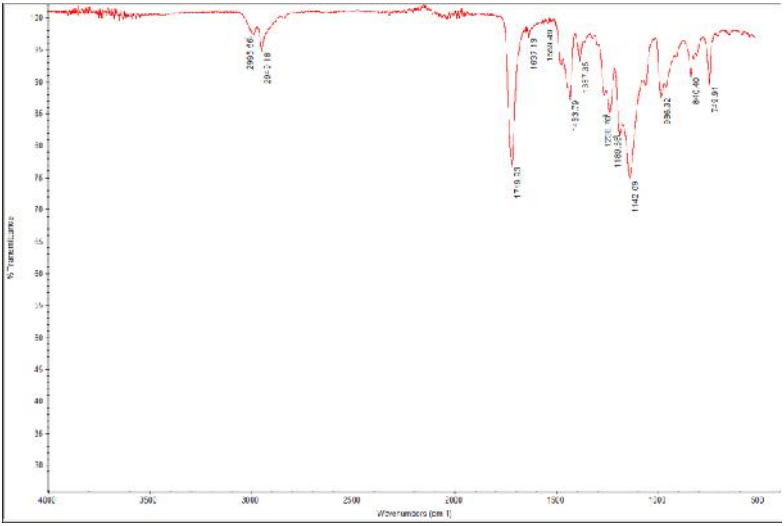
Gambar L3.1 Dimensi indentor *type* B dan D (ASTM D2240)

Lampiran 4 : Hasil Pengujian

1. Pengujian FTIR : Serbuk *poly(methyl methacrylate)*



Gambar L4.1 Spektrum infra merah *methyl methacrylate*

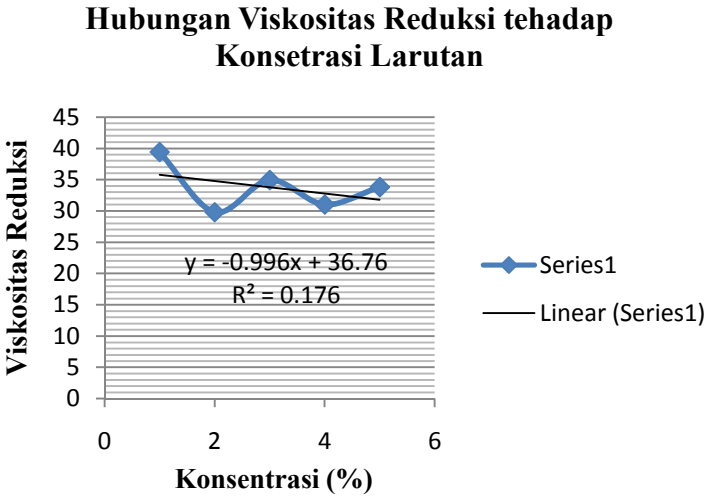


Gambar L4.2 Spektrum infra merah *poly(methyl methacrylate)*

2. Pengujian viskositas

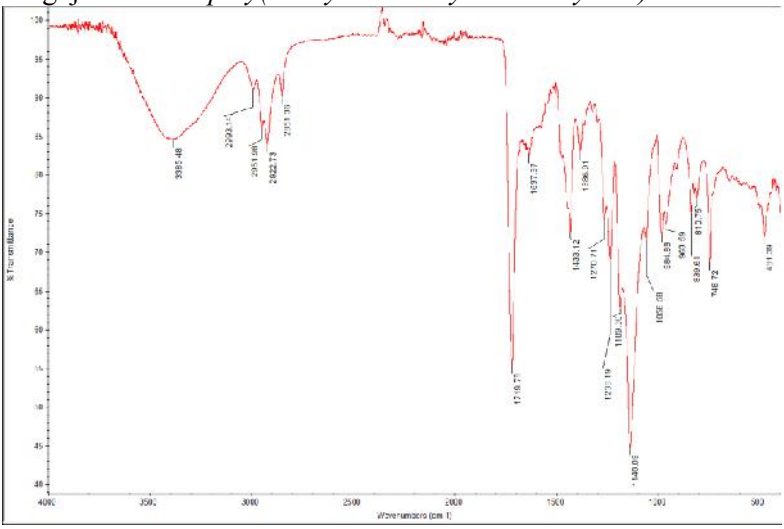
Tabel L4.1 Data hasil pengujian viskositas

No	Kadar (%)	Waktu (s)					Rerata Waktu (s)	Viskositas Larutan (kg/ms)	Viskositas Spesifik	Viskositas Reduksi
		t1	t2	t3	t4	t5				
1	0	2.14	2.14	2.16	2.16	2.14	2.148	0.00032	-	-
2	1	3.01	3.01	2.97	2.97	3.01	2.994	0.000446034	0.393854749	39.38547486
3	2	3.42	3.44	3.42	3.42	3.44	3.428	0.000510689	0.595903166	29.79515829
4	3	4.39	4.39	4.41	4.41	4.39	4.398	0.000655196	1.047486034	34.91620112
5	4	4.8	4.81	4.82	4.81	4.82	4.812	0.000716872	1.240223464	31.00558659
6	5	5.79	5.79	5.77	5.77	5.77	5.778	0.000860782	1.689944134	33.79888268
Berat Molekul										180114.917

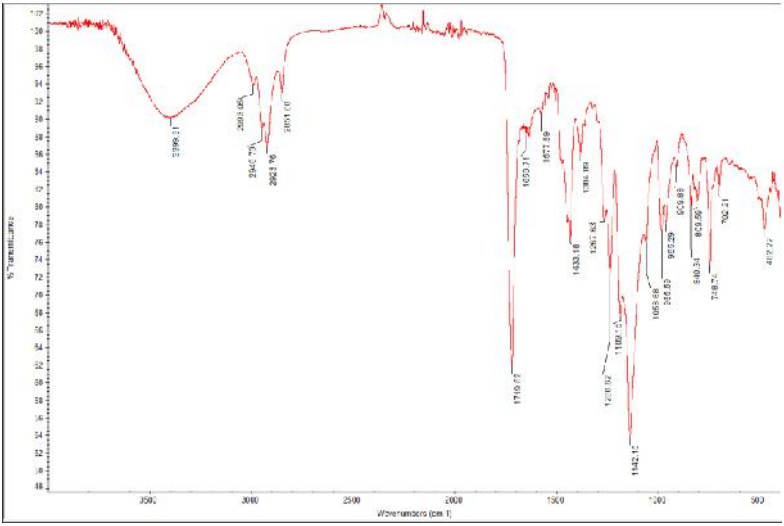


Gambar L4.3 Hubungan antara viskositas reduksi terhadap variasi konsentrasi larutan

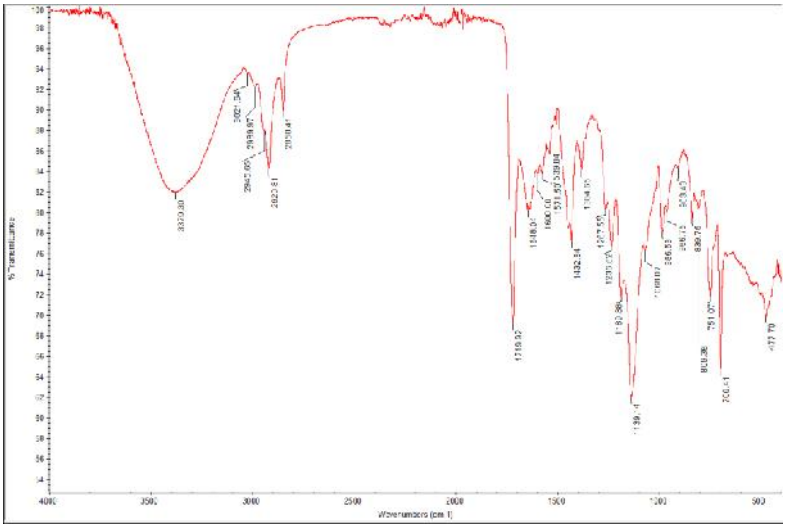
3. Pengujian FTIR : *poly(methyl methacrylate-co-styrene)*



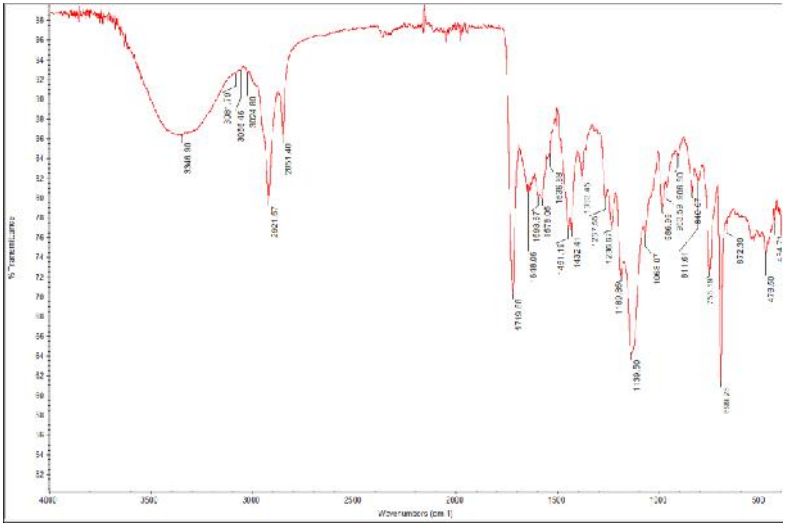
Gambar L4.4 Spektrum infra merah tanpa penambahan *styrene*



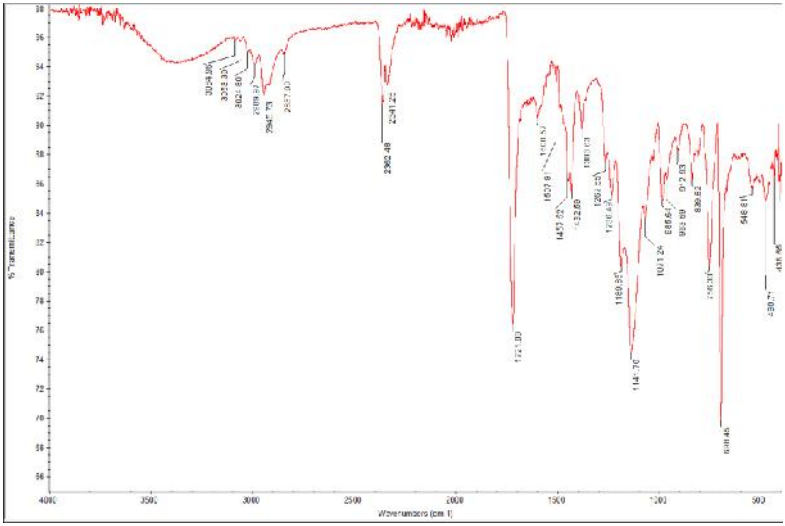
Gambar L4.5 Spektrum infra merah penambahan 10 %wt *styrene*



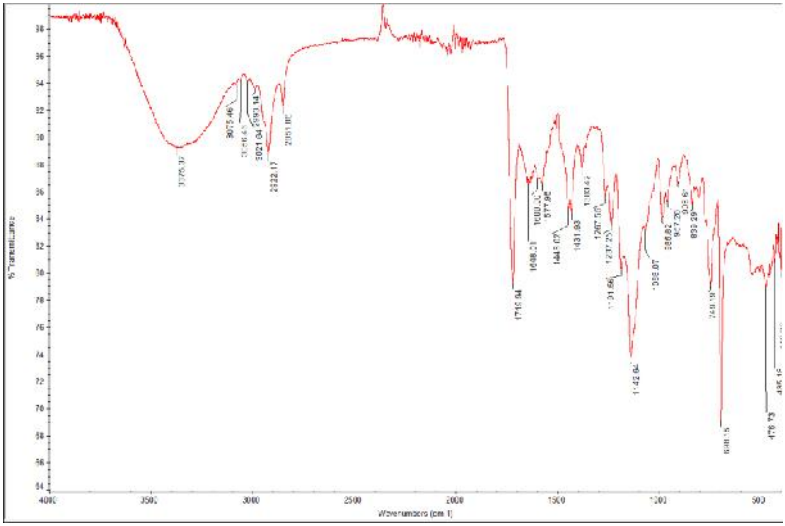
Gambar L4.6 Spektrum infra merah penambahan 20 %wt *styrene*



Gambar L4.7 Spektrum infra merah penambahan 30 %wt *styrene*



Gambar L4.8 Spektrum infra merah penambahan 40 %wt *styrene*



Gambar L4.8 Spektrum infra merah penambahan 50 %wt *styrene*

4. Pengujian Serap Air

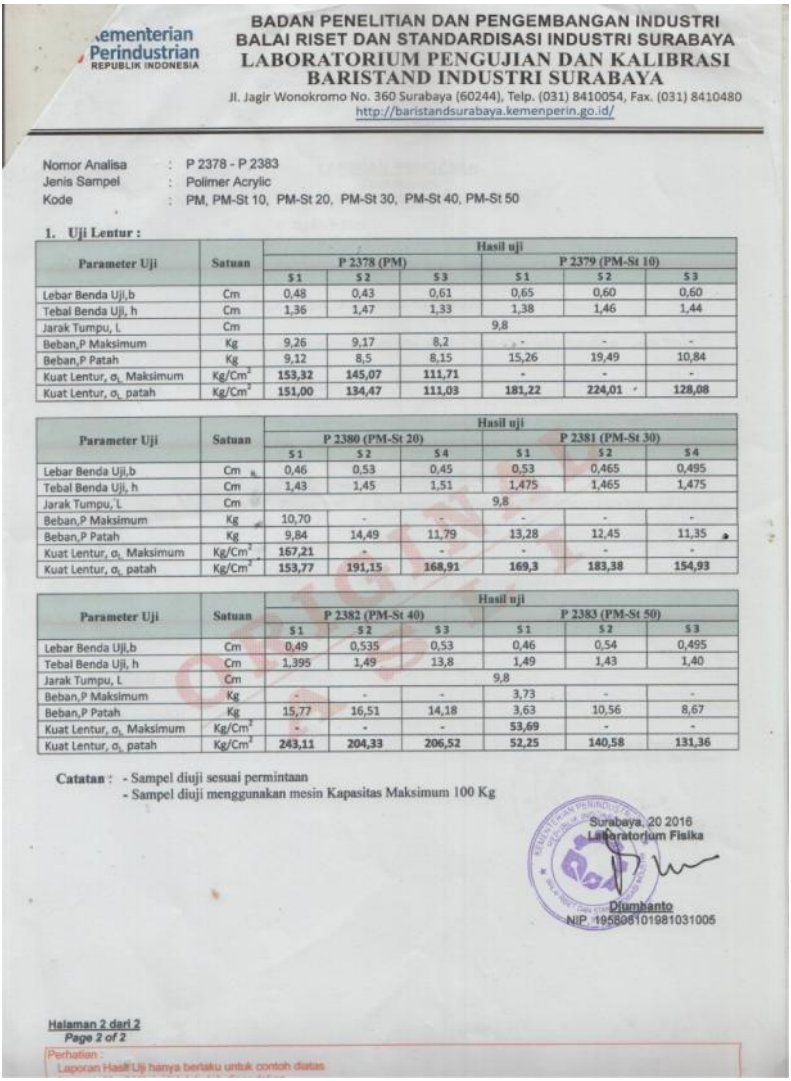
Tabel L4.2 Data hasil pengujian serap air

Kode Spesimen	Spesimen ke -	Berat (g)			Dimensi (mm)		Volume (mm3)	WA	S
		M0	M1	M2	d	t		μm/mm3	
PM	S1	10.8285	10.8895	10.8077	50	4.65	9133.929	6.68	2.27
	S2	10.8927	10.9522	10.875	49.1	4.8	9092.198	6.55	1.94
	S3	11.0969	11.1646	11.0968	49.3	5.55	10598.67	6.39	1.59
PM-St10	S1	8.1194	8.1554	8.1108	52	3.95	8392.057	4.3	1.02
	S2	8.3503	8.3825	8.3428	48.65	4.4	8182.444	3.94	0.91
	S3	8.9544	8.992	8.9458	50.45	4.3	8599.148	4.38	0.99
PM-St20	S1	8.6382	8.6658	8.6325	51	3.85	7868.025	3.52	0.72
	S2	8.9594	8.9877	8.9541	49.5	4.2	8085.825	3.5	0.65
	S3	8.5617	8.5872	8.5522	48.55	3.95	7315.436	3.49	1.29
PM-St30	S1	9.0162	9.0504	9.0073	48.25	4.5	8231.364	4.16	1.07
	S2	9.44	9.47	9.4283	48.85	4.35	8156.109	3.69	1.43
	S3	9.3433	9.3023	9.3314	48.25	5.25	9603.258	4.26	1.23

Tabel L4.2 *(lanjutan)*

Kode Spesimen	Spesimen ke -	Berat (g)			Dimensi (mm)		Volume (mm3)	WA	S
		M0	M1	M2	d	t		µm/mm3	
PM-St40	S1	9.222	9.2409	9.2184	51	4.15	8481.118	2.24	0.42
	S2	9.4685	9.4884	9.4653	48.3	4.35	7973.485	2.5	0.4
	S3	8.8902	8.9103	8.8863	48.65	4.4	8182.444	2.46	0.47
PM-St50	S1	9.6807	9.7014	9.6687	48.6	4.7	8722.381	2.38	1.37
	S2	9.3063	9.3273	9.2935	49.65	4.15	8038.06	2.62	1.59
	S3	9.298	9.3326	9.2833	49.5	4.6	8855.904	3.91	1.65

5. Pengujian Fleksural



Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/

Nomor Analisa : P 2378 - P 2383
Jenis Sampel : Polimer Acrylic
Kode : PM, PM-St 10, PM-St 20, PM-St 30, PM-St 40, PM-St 50

1. Uji Lentur :

Parameter Uji	Satuan	Hasil uji					
		P 2378 (PM)			P 2379 (PM-St 10)		
		S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
Lebar Benda Uji,b	Cm	0,48	0,43	0,61	0,65	0,60	0,60
Tebal Benda Uji, h	Cm	1,36	1,47	1,33	1,38	1,46	1,44
Jarak Tumpu, L	Cm	9,8					
Beban,P Maksimum	Kg	9,26	9,17	8,2	-	-	-
Beban,P Patah	Kg	9,12	8,5	8,15	15,26	19,49	10,84
Kuat Lentur, σ_1 Maksimum	Kg/Cm^2	**153,32**	**145,07**	**111,71**	-	-	-
Kuat Lentur, σ_1 patah	Kg/Cm^2	**151,00**	**134,47**	**111,03**	**181,22**	**224,01**	**128,08**

Parameter Uji	Satuan	Hasil uji					
		P 2380 (PM-St 20)			P 2381 (PM-St 30)		
		S 1	S 2	S 4	S 1	S 2	S 4
Lebar Benda Uji,b	Cm	0,46	0,53	0,45	0,53	0,465	0,495
Tebal Benda Uji, h	Cm	1,43	1,45	1,51	1,475	1,465	1,475
Jarak Tumpu, L	Cm	9,8					
Beban,P Maksimum	Kg	10,70	-	-	-	-	-
Beban,P Patah	Kg	9,84	14,49	11,79	13,28	12,45	11,35
Kuat Lentur, σ_1 Maksimum	Kg/Cm^2	**167,21**	-	-	-	-	-
Kuat Lentur, σ_1 patah	Kg/Cm^2	**153,77**	**191,15**	**168,91**	**169,3**	**183,38**	**154,93**

Parameter Uji	Satuan	Hasil uji					
		P 2382 (PM-St 40)			P 2383 (PM-St 50)		
		S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
Lebar Benda Uji,b	Cm	0,49	0,535	0,53	0,46	0,54	0,495
Tebal Benda Uji, h	Cm	1,395	1,49	13,8	1,49	1,43	1,40
Jarak Tumpu, L	Cm	9,8					
Beban,P Maksimum	Kg	-	-	-	3,73	-	-
Beban,P Patah	Kg	15,77	16,51	14,18	3,63	10,56	8,67
Kuat Lentur, σ_1 Maksimum	Kg/Cm^2	-	-	-	**53,69**	-	-
Kuat Lentur, σ_1 patah	Kg/Cm^2	**243,11**	**204,33**	**206,52**	**52,25**	**140,58**	**131,36**

Catatan : - Sampel diuji sesuai permintaan
- Sampel diuji menggunakan mesin Kapasitas Maksimum 100 Kg

Surabaya, 20 2016
Laboratorium Fisika

Diumhanto
NIP 195806101981031005

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Perhatian :
Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas

Tabel L4.3 Data hasil pengujian fleksural

Kode Spesimen	Spesimen ke -	Dimensi (mm)			Pembebanan		Deflection (mm)	Span-Depth ratio	Flexural Strength (Mpa)	Load-Deflection ratio	Flexural Modulus (GPa)
		Support Span	Width	Depth	kgf	N					
PM	1	98.00	13.60	4.80	9.12	89.44	16.67	20.42	47.85	5.36	0.84
	2	98.00	14.70	4.30	8.50	83.36	18.61	22.79	53.34	4.48	0.90
	3	98.00	13.30	6.10	8.15	79.92	13.12	16.07	25.50	6.09	0.47
PM-St10	1	98.00	13.80	6.50	15.26	149.65	12.31	15.08	37.73	12.15	0.75
	2	98.00	14.60	6.00	19.49	191.13	13.34	16.33	57.62	14.33	1.07
	3	98.00	14.40	6.00	10.84	106.30	13.34	16.33	32.49	7.97	0.60
PM-St20	1	98.00	14.30	4.60	9.84	96.50	17.40	21.30	54.18	5.55	0.94
	2	98.00	14.50	4.90	14.49	142.10	16.33	20.00	68.00	8.70	1.20
	3	98.00	15.10	4.50	11.79	115.62	17.79	21.78	64.72	6.50	1.11
PM-St30	1	98.00	14.75	5.30	13.28	130.23	15.10	18.49	51.25	8.62	0.92
	2	98.00	14.65	4.65	12.45	122.09	17.21	21.08	65.26	7.09	1.13
	3	98.00	14.75	4.95	11.35	111.31	16.17	19.80	51.16	6.88	0.91
PM-St40	1	98.00	13.95	4.90	15.77	154.65	16.33	20.00	76.92	9.47	1.36
	2	98.00	14.90	5.35	16.51	161.91	14.96	18.32	61.75	10.82	1.12
	3	98.00	13.80	5.30	12.18	119.44	15.10	18.49	50.24	7.91	0.91

Tabel L4.3 *(lanjutan)*

Kode Spesimen	Spesimen ke -	Dimensi (mm)			Pembebanan		Deflection (mm)	Span-Depth ratio	Flexural Strength (Mpa)	Load-Deflection ratio	Flexural Modulus (GPa)
		Support Span	Width	Depth	kgf	N					
PM-St50	1	98.00	14.90	4.60	3.63	35.60	17.40	21.30	19.18	2.05	0.33
	2	98.00	14.30	5.40	10.56	103.56	14.82	18.15	40.30	6.99	0.73
	3	98.00	14.00	4.95	8.67	85.02	16.17	19.80	41.17	5.26	0.73

6. Pengujian Kekerasan

Tabel L4.4 Data hasil pengujian kekerasan

Kode Spesimen	Pengambilan Data ke-												Nilai Hardness (Shore D)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PM	76	76	77	77	77	78	76	77	78	79	77	78	77.16
PM-St10	81	81	80	81	80	80	81	79	79	80	80	78	80
PM-St20	80	80	81	80	81	80	81	80	82	80	81	81	80.58
PM-St30	80	80	80	80	80	80	78	77	77	77	80	81	79.16
PM-St40	82	83	83	83	83	82	83	83	82	81	83	83	82.58
PM-St50	80	80	78	77	77	76	76	76	79	79	78	80	78

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan antara lain :

1. Penambahan monomer *styrene* menyebabkan :
   - penurunan nilai *water absrorption* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) yang diindikasikan akibat perubahan struktur kimia dan porositas yang muncul pada kopolimer,
   - penurunan nilai *solubility* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) yang diindikasikan akibat berkurangnya *residual monomer* pada kopolimer,
   - peningkatkan nilai *flexural strength* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) yang diindikasikan akibat penurunan nilai *water absorption* dan *solubility* pada kopolimer,
   - peningkatkan nilai *flexural modulus* kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) yang diindikasikan akibat perubahan struktur kimia dan berkurangnya *residual monomer* pada kopolimer,
   - peningkatkan nilai kekerasan kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) yang diindikasikan akibat perubahan struktur kimia pada kopolimer

Kopolimer *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) dengan penambahan monomer *styrene* 40 %wt memiliki sifat fisik dan mekanik yang mendekati persyaratan menjadi bahan basis gigi tiruan.

2. Mekanisme proses kopolimerisasi *poly*(*methyl methacrylate-co-styrene*) menggunakan metode *photo-polymerization* diawali dengan proses dekomposisi *photoinitiator* untuk membentuk radikal bebas. Hasil dekomposisi *photoinitiator* dengan radikal bebas kemudian akan mengikat monomer *methyl methacrylate*

dan membentuk ujung aktif pada *methyl methacrylate*. Ujung aktif ini yang kemudian mengikat monomer *styrene* dan membentuk kopolimer.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, diberikan saran yang diharapkan mampu meningkatkan hasil penelitian kedepannya, antara lain :

- Pada proses *photopolymerization* menggunakan kondisi kerja vakum dan gelap,
- Menggunakan cetakan dengan material yang memiliki permukaan halus dan tidak rekat dengan resin,
- Menambahkan *crosslink agent* atau pembentukan komposit untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya,
- Melakukan pengujian *residual monomer.*

DAFTAR PUSTAKA

_____. 1998. *ASTM D 570 - 98 : Standard Test Method for Water Absorption of Plastic*. ASTM International

_____. 2000. *ASTM D 790 - 00 : Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM International

_____. 2000. *ASTM D 2240 - 00 : Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*. ASTM International

_____ . 2009. *Handbook Polymers : a Property Database*, 2nd Ed. Florida : CRC Press

Aljosa, Ivanisevic, Lainovic Tijana, Blazic Larisa, dan Vilotic Marko. *Influence of Light-Curing Mode on the Mechanical Properties of Dental Resin Nanocomposites*. **24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013**; doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.071

Alonso, Roberta Caroline Bruschi, William Cunha Brandt, Eduardo Jose Carvalho Souza-Junior, Regina Maria Puppin-Rontani, dan Mario Alexandre Coelho Sinhoreti. *Photoinitiator Concentration and Modulated Photoactivation : Influence on Polymerization Characteristics of Experimental Composites*. Applied Adhesion Science 2014, 2:10 Springer Open Journal.

Anusavice, Kenneth J., Chiayi Shen, dan H. Ralph Rawls. 2013. *Phillips' Science of Dental Materials*, 12th Ed. USA : Elsevier Science

Azevedo, Dureza, Ana Lucia Machado, Carlos Eduardo Vergani, Eunice Teresinha Giampaolo, dan Ana Claudia Pavarina. *Hardness of Denture Base and Hard Chair-Side Reline Acrylic Resin*. J Appl Oral Sci 2005; 13(3): 291-5

Callister, William D. dan David G. Rethwisch. 2010. *Materials Science and Engineering. An Introduction*. 8th Ed. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Chiu, Hsin-Chiu, Jun-Jie Huang, Chia-Hung Liu, dan Shing-Yi Suen. *Batch Adsorption Performance of Methyl Methacrylate/Styrene Copolymer Membranes*. Journal of Reactive & Functional Polymers 66 (2006) 1515-1524; doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2006.04.011

Craig, Robert G., dan John M. Powers. 2002. *Restorative Dental Material*, 11th Ed. St Louis Missouri : Mosby, Inc

Cunha, Tatiana Ramirez, Romulo Rocha Regis, Marilia Rodrigues Bonatti, dan Raphael Freitas de Souza. *Influence of Incorporation of Fluoroalkyl Methacrylates on Roughness and Flexural Strength of a Denture Base Acrylic Resin*. J Appl Oral Sci. 2009;17(2):103-7

Dewaele, Magali, Erik Asmussen, Anne Peutzfeldt, E. Christian Munksgaard, Anna R. Benetti, Gauthier Finne, Gaetane Leloup, dan Jacques Devaux. *Influence of Curing Protocol on Selected Properties of Light-curing Polymers : Degree of Conversion, Volume Contraction, Elastic Modulus, and Glass Transition Temperature*. Dental Material 25 (2009) 1576-1584

Dizman, Cemil, Sahin Ates, Lokman Torun, dan Yusuf Yagci. *Synthesis, Characterization, and Photoinduced Curing of Polysulfones with (meth)acrylate Functionalities*. Journal of Organic Chemistry 2010; doi:10.3762/bjoc.6.56

Dogan, A, B Bek, NN Cevik, dan A Usanmaz. *The Effect of Preparation Condition of Acrylic Denture Base Materials on the Level of Residual Monomer, Mechanical Properties and Water Absorption*. Journal of Dentistry 1995; 23(5); 313-318

Gharechahi, Jafar, Nafiseh Asadzadeh, Foad Shahabian, dan Maryam Gharechahi. *Flexural Strength of Acrylic Resin Denture Bases Processed by Two Different Methods*. Journal of Dental Research Dental Clinics Dental Properties 2014; 8(3): 148-152; doi: 10.5681/joddd.2014.027

Grabowski, Matthew W., Kristen M. Vogelhuber, Dusan Sabol, John H. Chem, Robert R. McLeod, dan John T. Sheridan. *Absorption and Bleaching Dynamics of Initiator in Thick Photopolymerization Exposed to Gaussian Illumination*. **Proceedings of SPIE vol. 7053, 70530D, 2008**; doi: 10.1117/12.796975

Green, W. Arthur . 2010. *Industrial Photoinitiators : A Technical Guide*. Florida : CRC Press

Gruber, H.F. *Photoinitiators for Free Radical Polymerization*. Prog. Polym Sci., Vol 17, 953-1044, 1992

Guo, Jinxin, Michael R Gleeson, dan John T. Sheridan. *A Review of the Optimation of Photopolymer Material for Holographic Data Storage*. Physics Research International Volume 2012 Hindawi Publishing Corp; doi: 10.1155/2012/803439

Hashem, Mohamed, Samah O. Alsaleem, Mansour K. Assery, Emad Braka Abdeslam, Sajit Vellappally, dan Sukumaran Anil. *A Comparative Study of the Mechanical Properties of the Light-cure and Conventional Denture Base Resins*. OHDM Vol 13 No 2. June 2014

Karthick, R., P. Sirishiha, dan M. Ravi Sankar. *Mechanical and Tribological Properties of PMMA-Seashell Based Biocomposite for Dental Application*. **3rd International Conference on Material Processing and Charcterization 2014**; doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.234

Kawaguchi, Tomohiro, Lippo V.J. Lassila, Ai Tokue, Yukata Takahashi, dan Pekka K. Vallittu. *Influence of Molecular Weight of Poly(methyl methacrylate) Beads on the Properties and Structure of Cross-linked Denture Base Polymer*. Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical materials 4 (2011) 1846-1851

Kementerian Kesehatan RI. 2007. *Riset Kesehatan Dasar Nasional Tahun 2007*. Jakarta : Kementerian Kesehatan RI

Kitano, Hajime, Karthik Ramachandran, Ned B. Bowden, dan Alec B. Scranton. *Unexpected Visible-Light-Induced Free Radical Photopolymerization at Low Light Intensity and High Viscosity Using a Titanocene Photoinitiator*. Journal of Applied Polymer Science 2013; doi : 10.1002/app.38259

Kurata, Shigeaki, Kumiko Morishita, Kazuo Shimoyama, dan Kozo Uemoto. *Basic Study on the Application of Novel Functional Monomer to a Denture Resin*. Dental Materials Jurnal 27(2) : 273-277, 2008

Manappallil, John J., 2003. *Basic Dental Material*. New Delhi : Jaypee Brothers Medical Publisher (P) Ltd.

Massoudi, Abdoulhossien, Azam Louie, dan Omid Louie. *Denture Base Polymers, Poly(methyl methacrylate) Improved Using Free Radical Copolymerization*. Iran Chemmical Communication, 3 (2015) 276-282

McCabe, John F., dan Angus W.G. Walls. 2008. *Applied Dental Materials*. 9th Ed. Singapore : Blackwell Publishing

Mori, Sadao. *Compositional Analysis and Infrared Spectra of Styrene - Methyl Methacrylate Random Copolymers*. Journal of Applied Polymer Science, Vol 38, 547-555 (1989).

Mumcu, Emre, Altug Cilingir, Burc Gencel. dan Tongue Sulun. *Flexural Properties of a Light-cure and a Self-cure Denture Base Materials Compared to Conventional Alternatives*. J. Adv. Prosthodont. 2011;3:136-9; doi:10.4047/jap.2011.3.3.136

Ningsih, Agustini Ria, Noor Hafidah, dan Nanang Krisnawan. *Perbedaan Kekuatan Tekan Basis Gigi Tiruan Berbahan Termoplastik Nilon pada Beberapa Ketebalan*. Jurnal Ilmiah FKG (2015) Universitas Muhammadiyah Surakarta

O'Brien, William J., 2002. *Dental Materials and Their Selection*. 3rd Ed. Hanover Park : Quintessence Publishing Co, Inc.

Park, Sang E, Maggie Chao, dan PA Raj. *Mechanical Properties of Surface-Charged Poly(Methyl Methacrylate) as Denture Base*. International Journal of Dentistry, 2009(6); doi : 10.1155/2009/841431

Pfeiffer, Peter dan Ernst-Ulrich Rosenbauer. *Residual Methyl Methacrylate Monomer, Water Sorption, and Water Solubility of Hypoallergenic Denture Base Materials*. Journal of Prosthetic Dentistry Vol 92 no 1; doi: 10.1016/j.prosdent.2004.04.003

Ravve, A. 2006. *Light-Associated Reactions of Synthetic Polymers*. Niles : Springer Sciences+Bussines Media

Rueggeberg, Frederick A. *State-of-the-art : Dental Photocuring - A Review*. Dental Materials 27 (2011) 39-52; doi : 10.1016/j.dental.2010.10.021

Saen-isara, Tassanaporn, Sirasa Yodmongkol, Surachai Dechkunakorn, Niwat Anuwongnukroh, Toemsak Srikhirin, Siriporn Tanodekaew, Theeralaksna Suddasthira, dan Wassana Wicha. *Comparative Study of the Flexural Strength and Flexural Modulus of Local Made Orthodontic Resin : A Pilot Study*. Journal of Advanced Materials Research Vol 746(2013) pp 303-307; doi : 10.4028/www.scientific.net/AMR.746.303

Schnabel, Wolfram. 2007. *Polymers and Light : Fundamentals dan Technical Applications*. Berlin : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Shah, Jay, Nilesh Bulbule, Shilpa Kulkarni, Riddhi Shah, dan Dilip Kakade. *Comparative Evaluation of Sorption, Solubility and Microdardness of Heat Cure Polymethylmethacrylate Denture Base Resin & Flexible Denture Base Resin*. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2014 Aug, Vol-8(8); ZF01-ZF04; doi : 10.7860/JCDR/2014/8707.4770

Socrates, George. 2002. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*. 3rd Ed. USA : John Wiley & Sons, Ltd.

Stuart, Barbara. 2004. *InfraRed Spectroscopy : Fundamental and Applications*. USA : John Wiley & Sons.

Susanto, Annette Alexandra. 2005. *Pengaruh Ketebalan Bahan dan Lamanya Waktu Penyinaran terhadap Kekerasan Permukaan Resin Komposit Sinar*. Majalah Kedokteran Gigi Vol 38 No 1 (2005): 32-35

Von Fraunhofer, J. Anthony. 2013. *Dental Materials at a Glance*. 2nd Ed. Oxford : John Wiley & Sons, Inc

Wagner, Herman L. *The Mark-Houwink-Sakurada Relation for Poly(methyl methacrylate)*. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 16, No. 2, 1986

Zhang, Yanhong, Yan Wang, Xianchao Kong, dan Dongmei Zhao. *The Polarity of Poly(methyl methacrylate) Copolymers*. Journal of Applied Mechanics and Material Vols 687-691 (2014) pp 4411-4414; doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.687-691.4411

BIOGRAFI PENULIS

Penulis bernama lengkap Garuda Raka Satria Dewangga, dilahirkan di Probolinggo pada tanggal 24 Mei 1994, merupakan putra pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Sudiman dan Ibu Siti Nur Hasanah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Taruna Dra Zulaeha, SMP Taruna Dra Zulaeha, dan SMA Taruna Dra Zulaeha. Setelah lulus, penulis mendaftar dan diterima sebagai mahasiswa program studi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS tahun 2012 dan terdaftar secara administrasi dengan NRP 2712100018.

Selama menjalankan pendidikan di ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai staf Departemen Keilmiahan HMMT FTI-ITS pada tahun 2013-2014 dan wakil kepala Departemen Keilmiahan HMMT FTI-ITS pada tahun 2014-2015. Selain itu, penulis juga aktif dalam aktifitas akademik sebagai asisten praktikum Kimia Analitik, Korosi dan Pengendalian, Material Polimer, dan Material Komposit. Penulis juga aktif dalam kegiatan karya tulis ilmiah, antara lain program PKM DIKTI pada Bidang Penelitian, Bidang Kewirausahaan, dan Bidang Gagasan Tertulis. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT YTL Jawa Timur, *O&M* PLTU Paiton, dengan topik kerja perancangan ulang desain sistem proteksi ICCP pada *underground pipe* unit 50 dan 60 PLTU Paiton. Penulis mengakhiri kegiatan perkuliahan di ITS dengan mengambil judul Tugas Akhir "*Sintesis dan Karakterisasi Photopolymer Berbasis Akrilik Poly(methyl methacrylate-co-styrene) Sebagai Kandidat Bahan Basis Gigi Tiruan*".