



TUGAS AKHIR – TL141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SiO_2
TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT FISIK DAN
SIFAT MEKANIK KOMPOSIT FOTOPOLIMER
PMMA/ SiO_2 SEBAGAI KANDIDAT BAHAN *DENTAL
FILLER***

RICO ADRIANTO ROJIMBA
NRP. 2712100110

Dosen Pembimbing
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si
Dr. Hosta Ardhyanta, 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

**EFFECT OF SiO₂ ON MORPHOLOGY, PHYSICAL
AND MECHANICAL PROPERTIES OF PMMA/SiO₂
PHOTOPOLYMER COMPOSITE AS A CANDIDATE
FOR DENTAL FILLER MATERIAL**

RICO ADRIANTO ROJIMBA
NRP. 2712100110

Advisor

Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si

Dr. Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(this page left intentionally blank)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PARTIKEL SiO₂
TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT FISIK DAN SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT FOTOPOLIMER PMMA/SiO₂
SEBAGAI KANDIDAT BAHAN *DENTAL FILLER***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
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:

RICO ADRIANTO ROJIMBA
NRP. 2712100110

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si(Pembimbing 1)
2. Dr. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc(Pembimbing 2)



**Surabaya,
Agustus 2016**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SiO₂ TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT FOTOPOLIMER PMMA/SiO₂ SEBAGAI KANDIDAT BAHAN *DENTAL FILLER*

Nama : Rico Adrianto Rojimba
NRP : 2712100110
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si
Dr. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc

ABSTRAK

Polimetil metakrilat (PMMA) merupakan material yang banyak digunakan untuk aplikasi bahan tambal gigi, namun memiliki beberapa kekurangan yaitu daya serap air yang tinggi dan tingkat kekerasan yang rendah. SiO₂ biasa digunakan sebagai partikel pengisi suatu komposit. SiO₂ memiliki sifat hidrofobik, jika dikompositkan mampu meningkatkan sifat mekanik polimer. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik PMMA dengan cara membentuk komposit PMMA/SiO₂ menggunakan metode fotopolimerisasi. variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah penambahan SiO₂ sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% berat. Metode fotopolimerisasi menggunakan fotoinisiator Irgacure 784. Cahaya tampak berwarna biru dengan range panjang gelombang 440-480 nm digunakan untuk mensintesis komposit PMMA/SiO₂. Pengujian kekerasan dan daya serap air dilakukan untuk mengetahui respon terhadap penambahan SiO₂. Hasil penelitian menunjukkan bentuk morfologi awal dari PMMA adalah flake berpori setelah adanya penambahan SiO₂ terdapat partikel putih diantara pori tersebut. nilai kekerasan komposit PMMA/SiO₂ paling besar didapat pada komposisi SiO₂ 25% dengan nilai 84,8 HD. Kemampuan serap pada komposisi adalah yang paling kecil, sebesar 0,65%.

Kata kunci : Komposit PMMA/SiO₂, Fotopolimerisasi, Irgacure 784

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**EFFECT OF SiO₂ ON MORPHOLOGY, PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF PMMA/SiO₂
PHOTOPOLYMER COMPOSITE AS A CANDIDATE
DENTAL FILLER MATERIAL**

Name : Rico Adrianto Rojimba
NRP : 2712100110
Department : Materials and Metallurgical Engineering ITS
Advisor : Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si
Dr. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc

ABSTRACT

Polymethyl methacrylate (PMMA), a material that is widely used for the application of dental filling material, but has some limitations, such as a high water absorption and low levels of hardness. SiO₂ is used as filler particles of a composite. SiO₂ has hydrophobic properties, if the composite is able to improve the mechanical properties of the polymer. This study aims to improve the physical and mechanical properties of PMMA by forming a PMMA / SiO₂ composite using photopolymerization method. variations used in this study is the addition of SiO₂ by 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% by weight. Photopolymerization method using the photoinitiator Irgacure 784. Visible light blue with a wavelength range 440-480 nm is used to synthesize the composite PMMA / SiO₂. Testing of hardness and water absorption was conducted to determine a response to the addition of SiO₂. The results showed the initial morphology of PMMA is a porous flake after the addition of SiO₂ contained white particles among the pores. Hardness value of PMMA/SiO₂ composites most obtained on the composition SiO₂ 25% by value of 84.8 HD. Absorptive capability in the composition is the smallest, at 0.65%

Keywords: PMMA / SiO₂ composite, Photopolymerization, Irgacure 784

(this page intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Besar Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir ini berjudul “Studi Pengaruh Penambahan SiO₂ Terhadap Morfologi, Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Komposit Fotopolimer PMMA/SiO₂ Sebagai Kandidat Bahan *Dental Filler*”. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini pula, penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya atas bantuan, motivasi, didikan, dan bimbingan yang diberikan kepada penulis selama ini, antara lain kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si dan Dr. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc. selaku pembimbing penulis selama mengerjakan tugas akhir.
4. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan.

Surabaya, Agustus 2016

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tambal Gigi (<i>Dental Filler</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Resin Komposit	Error! Bookmark not defined.
2.3 PMMA.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 SiO ₂	Error! Bookmark not defined.
2.5 Irgacure 784.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 Polimerisasi	Error! Bookmark not defined.
2.7 Sifat Mekanik	Error! Bookmark not defined.
2.8 Penelitian Sebelumnya	Error! Bookmark not defined.

2.8.1 Rheologi dan teknik karakterisasi komposit PMMA/SiO ₂	Error! Bookmark not defined.
2.8.2 Preparasi komposit partikel PMMA/SiO ₂ via emulsi polimerisasi konvensional ...	Error! Bookmark not defined.
2.8.3 Hubungan antara <i>degree of conversion</i> dan transmisi cahaya melalui sampel resin komposit	Error! Bookmark not defined.
2.8.4 Kinetika fotopolimerisasi resin tambal gigi berbasis metakrilat.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI	Error! Bookmark not defined.
3.1 Bahan dan Alat Penelitian .	Error! Bookmark not defined.
3.1.1 Bahan penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2 Diagram Alir	Error! Bookmark not defined.
3.3 Prosedur Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1 Preparasi MMA	Error! Bookmark not defined.
3.3.2 Preparasi SiO ₂	Error! Bookmark not defined.
3.3.3 Pencampuran MMA, SiO ₂ , dan Irgacure 784.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.4 Proses fotopolimerisasi.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.5 Pengujian	Error! Bookmark not defined.
3.4 Rancangan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Komposit PMMA/SiO ₂	Error! Bookmark not defined.

4.2 Pengamatan Hasil FTIR	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pengamatan Hasil Uji Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
4.4 Pengamatan Hasil Uji Kekuatan Tarik ...	Error! Bookmark not defined.
4.5 Pengamatan Hasil Uji Daya Serap Air ...	Error! Bookmark not defined.
4.6 Pengamatan Hasil Uji SEM	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	21
5.1 Kesimpulan.....	21
5.2 Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	xix

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Material Tambal Gigi Berjenis (A) Dental Amalgam, (B) Resin Komposit (Manappallil, 2003)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 2 Struktur Kimia PMMA (Roziafanto, 2010) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 3 Pengelompokan Silika Berdasarkan Bentuknya (a) Silika Gel, (b) Silika Powder (google.com/images)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 4 Struktur Molekul Irgacure 784 (Ravve, 2006) . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 5 Reaksi Awal Inisiasi Cahaya (Rave, 2006) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 6 Proses Inisiasi Atom Radikal Bebas Pada Gugus Karbonil (Rave, 2006)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 7 Metode Indentasi Uji Kekerasan (Manappallil,2003) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 8 Karakterisasi Ukuran Partikel Silika (Santos, 2014) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 9 Hasil SEM Komposit PMMA/SiO₂ dengan Perbesaran (a) 1000x dan (b) 1500X. (Santos, 2014) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 10 Hasil SEM Komposit PMMA/SiO₂ dengan Metode Emulsi Polimerisasi Konvensional. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 11 Diagram Pengaruh Kedalaman Curing Terhadap *Degree of Conversion* (Tarle, 1995)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 12 Hubungan Fraksi Mol Monomer dengan Kemampuan Serap Air (Dickens,2003) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan ASTM D638 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 Hasil Fotopolimerisasi Komposit PMMA/SiO₂ dengan Variasi Kadar SiO₂ Sebesar (dari kiri ke kanan)0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 2 Pola FTIR Monomer MMA dan PMMA..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 3 Pola FTIR PMMA dan Komposit PMMA/SiO₂..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 4 Grafik Nilai Kekerasan Komposit PMMA/SiO₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Grafik Kekuatan Tarik Komposit PMMA/SiO₂..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Grafik Kemampuan Serap Air Komposit PMMA/SiO₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Hasil Pengamatan Uji SEM Material PMMA dengan Perbesaran 2500x **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 8 Gambar SEM Material PMMA dengan Perbesaran 1000x dan Region EDX **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 9 Hasil Uji SEM Material Komposit PMMA/SiO₂ dengan Komposisi SiO₂ (A) 5%, (B) 10%, (C) 15%, (D) 20%, (E) 25%. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 10 Gambar Spot EDX Komposit PMMA/SiO₂ ... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

- Tabel 2. 1 Sifat-Sifat Material PMMA (Bryan,2009) **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 2 Nilai Kekuatan Tarik komposit PMMA/SiO₂ (Santos, 2014)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 3 Nilai Kekerasan Komposit PMMA/SiO₂ (Santos, 2014) **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 1 Ukuran Spesimen Uji Tarik Type I dan II Berdasarkan ASTM D638..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 2 Tabel Konversi Kekerasan Durometer terhadap Gaya Dalam Satuan Newton..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 3 Rancangan Penelitian **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 1 Jenis Gugus Fungsi Pada Senyawa MMA **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 2 Jenis Gugus Fungsi Pada Polimer PMMA **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 3 Jenis Gugus Fungsi Pada Komposit PMMA/SiO₂ **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 4 Nilai Kekerasan Komposit PMMA/SiO₂..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 5 Nilai Kekuatan Tarik komposit PMMA/SiO₂ **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 6 Nilai Daya Serap Air Komposit PMMA/SiO₂..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 7 Data Kandungan Unsur pada Region EDX..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 8 Data Kandungan Unsur pada EDX Spot 1 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 9 Data Kandungan Unsur pada EDX Spot 2 **Error!**
Bookmark not defined.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia kedokteran gigi pemilihan material untuk aplikasi bahan tambal gigi menjadi masalah yang terus berkembang hingga saat ini. Di Indonesia khususnya pemahaman tentang bahaya penggunaan amalgam sebagai material tambal gigi di kalangan masyarakat masih rendah dan belum populer. Bahan tambal gigi amalgam terdiri dari 50% merkuri, sisanya terdiri dari logam-logam lain seperti perak, timah, dan tembaga. Setiap kapsul amalgam mengandung sedikitnya 6 mg merkuri dan 6 mg campuran logam lainnya (Buftheim, 2016)

Dari berbagai studi yang telah dilakukan, diungkapkan bahwa akibat paparan penggunaan amalgam di klinik-klinik gigi terhadap para perawat, pekerja gigi dan dokter-dokter gigi dalam jangka panjang berpengaruh buruk terhadap kesehatan reproduksi, sistem syaraf, motorik, kesehatan mental dan daya ingat praktisi gigi.

Dengan dilaksanakannya perjanjian Minamata pada tahun 2013 di Jepang, dimana telah disepakati oleh 128 negara termasuk Indonesia untuk mengurangi dan menghentikan penggunaan merkuri pada beberapa produk dan proses pada tahun 2020 serta mengurangi pasokan dan mengendalikan perdagangan merkuri di seluruh dunia. Maka penggunaan dental amalgam mulai beralih kepada resin berbasis akrilat untuk aplikasi bahan tambal gigi.

Resin berbasis akrilat terbentuk melalui proses polimerisasi adisi radikal bebas yang membentuk polimetil metakrilat (PMMA). Polimerisasi metil metakrilat menjadi akrilik terjadi apabila radikal bebas terbentuk dari inisiator dan menyerang ikatan ganda karbon pada monomer metil metakrilat. Sifat-sifat resin berbasis akrilat yang tipikal (kekuatan yang rendah, modulus dan kekerasan) menghalangi pemakaian bahan ini untuk tambalan yang digunakan menahan tekanan kunyah. Selain sifat –sifat



mekanis yang rendah ini, penyusutan setelah mengeras (5-8%) dan koefisien pemuaian panas yang tinggi (7-8 kali dibanding gigi) menimbulkan masalah pada bahan ini (Baum, 1997).

Untuk memperbaiki kekurangan yang terdapat pada resin berbasis akrilat ditambahkan suatu material tertentu sehingga nama resin berbasis akrilat berubah menjadi resin komposit. Resin komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matriks resin dan partikel pengisi anorganik. Disamping kedua bahan tersebut, beberapa komponen lain diperlukan untuk meningkatkan efektivitas dan ketahanan bahan. Aktivator atau inisiator diperlukan untuk proses polimerisasi resin. (Baum, 1997)

Teknik polimerisasi resin yang digunakan pada awalnya menggunakan reaksi kimia yang diinisiasi oleh panas. Akan tetapi teknik ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya karena reaksi bersifat eksotermik maka akan terjadi kenaikan temperatur yang drastis di lingkungan reaksi selama proses berlangsung, kontraksi termal juga akan terjadi akibat panas tersebut, karena monomer MMA bersifat mudah menguap maka dengan bantuan panas akan diperlukan lebih banyak monomer dalam proses penambalan gigi.

Saat ini telah berkembang teknik polimerisasi yang lebih efisien yaitu dengan menggunakan bantuan cahaya. Sehingga kekurangan kekurangan tersebut dapat diminimalisir. Polimerisasi yang dilakukan dengan bantuan cahaya memerlukan suatu material tambahan yang bersifat sebagai inisiator reaksi polimerisasi.

Berdasarkan data tersebut, dilakukan penelitian dengan variasi penambahan partikel pengisi anorganik untuk memperoleh sifat mekanik dan sifat fisik yang lebih baik dengan menggunakan metode polimerisasi dengan bantuan cahaya dan inisiator berupa Irgacure 784.



1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sintesis dan karakterisasi PMMA (morfologi, sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan), kemampuan serap air) ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan SiO_2 terhadap morfologi, sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan), kemampuan serap air komposit PMMA/ SiO_2 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan agar penelitian tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau dan memberikan hasil yang terbaik. Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Ukuran partikel SiO_2 dianggap terdistribusi homogen.
2. Intensitas Cahaya pada proses fotopolimerisasi dianggap konstan.
3. Kondisi lingkungan dianggap tidak berpengaruh.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis dan karakterisasi PMMA (morfologi, sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan), kemampuan serap air).
 2. Menganalisis pengaruh penambahan SiO_2 terhadap morfologi, sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan), kemampuan serap air komposit PMMA/ SiO_2
-



1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan dasar keilmuan tentang komposisi penambahan SiO_2 yang efektif pada material komposit PMMA/ SiO_2 serta mengetahui hubungan antara variasi komposisi SiO_2 dengan sifat mekanik komposit tersebut sebagai salah satu kandidat bahan *dental filler*. Penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai literatur untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tambal Gigi (*Dental Filler*)

Tambal gigi adalah suatu prosedur medis yang dilakukan oleh dokter gigi untuk mengembalikan fungsi gigi akibat kerusakan gigi, seperti fraktur gigi, pembusukan gigi (karies), atau akibat trauma lain pada permukaan gigi (kebiasaan menggigit kuku, kebiasaan menggertakan gigi) (Kosasih, 2015).

Secara umum tambalan gigi dapat digolongkan menjadi dua yaitu *direct restoration* dan *indirect restoration*. *Direct restorations* adalah tambalan yang secara langsung dikerjakan oleh dokter gigi pada gigi pasien di dental unit, tanpa membutuhkan proses pengerjaan di laboratorium. *Indirect restorations* adalah tambalan yang dibuat di laboratorium, dimana sebelumnya gigi dan rahang pasien sudah dicetak oleh dokter gigi kemudian hasil cetakan tersebut dikirim ke laboratorium. Umumnya *indirect restorations* berupa logam tuang yang akan disemenkan pada gigi yang telah di preparasi, dan pengerjaannya membutuhkan lebih dari satu kali kunjungan. Material yang lazim digunakan adalah porcelain, logam paduan emas, atau logam paduan dasar. *Indirect restorations* umumnya diindikasikan pada gigi belakang. Jenis dari *indirect restorations* diantaranya adalah *inlay*, *onlay*, *Crown* atau mahkota tiruan (Mozartha, 2014).

Terdapat cukup banyak jenis material yang dapat digunakan untuk menambal gigi, namun yang umum digunakan di Indonesia adalah amalgam, resin komposit, dan GIC (*Glass Ionomer Cement*). Masing-masing bahan memiliki indikasi, kelebihan dan kekurangan, jadi tidak semua kasus dapat ditambal dengan bahan manapun. Pada gambar 2.1 terlihat perbedaan secara visual antara bahan tambal gigi yang terbuat dari amalgam dan bahan tambal gigi yang terbuat dari resin komposit (Mozartha, 2014).



Gambar 2. 1 Material Tambal Gigi Berjenis (A) Dental Amalgam, (B) Resin Komposit (Manappallil, 2003)

2.2 Resin Komposit

Material restorasi resin komposit secara umum telah menjadi pilihan bagi para dokter gigi untuk merestorasi lesi karies pada gigi dengan kualitas estetik dan kemampuan bahan tersebut untuk berikatan dengan struktur gigi. Menurut definisi, komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua atau lebih komponen-komponen. Resin komposit merupakan bahan kompleks yang pada umumnya terdiri atas komponen organik (resin) yang membentuk matriks, bahan pengisi (*filler*) inorganik, serta beberapa komponen tambahan seperti bahan interfasiyal untuk menyatukan resin dan filler, sistem inisiator untuk mengaktifkan mekanisme pengerasan atau polimerisasi, stabilisator (inhibitor) dan pigmen. Sistem komposit modern mengandung filler seperti *quartz*, *coloidal silica*, *silica glass*, *strontium*, dan bahan lainnya. Komponen organik (resin) dan komponen inorganik (*filler*) disatukan dalam suatu sistem yang akan mempengaruhi polimerisasi. Kebanyakan matriks resin mengandung gugus akrilat dengan viskositas tinggi (Yana, 2011).

Resin komposit merupakan monomer dimetakrilat, oleh karena itu bahan ini mengeras melalui mekanisme tambahan yang diawali oleh radikal bebas yang dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu:

a. Diaktivasi kimiawi

Resin yang diaktifkan secara kimiawi terdiri dari dua pasta yang mengandung inisiator benzoil peroksida dan aktivator amin tersier. Bila kedua pasta diaduk, amin



tersier bereaksi dengan benzoil peroksida membentuk radikal bebas dan polimerisasi adisi dimulai.

b. Diaktivasi sinar

Resin yang diaktifkan dengan sinar tampak terdiri dari satu pasta saja. Sistem pembentuk radikal bebas yang terdiri atas molekul-molekul fotoinisiator *champorquinone* dan aktivator amin terdapat dalam pasta tersebut. Bila kedua komponen ini tidak disinari, maka keduanya tidak akan bereaksi. Sebaliknya, bila disinari dengan panjang gelombang yang tepat akan merangsang fotoinisiator bereaksi dengan aktivator amin tersier membentuk radikal bebas.

Lutz dan Philips (1983) mengklasifikasikan resin komposit berdasarkan ukuran partikel *filler* dan distribusinya, yaitu:

1. Resin komposit makrofil

Resin komposit makrofil mempunyai ukuran *filler* 1-5 μm . Resin komposit tipe ini mempunyai daya tahan yang baik terhadap fraktur, dapat dipolish tetapi hasilnya tidak begitu baik dan warnanya lebih stabil. Bahan ini diindikasikan untuk restorasi kavitas klas IV, untuk gigi posterior dan pembuatan *core*

2. Resin komposit mikrofil

Resin komposit mikrofil mempunyai ukuran *filler* 0,04 μm . Resin komposit tipe ini mempunyai daya tahan yang redah terhadap fraktur, dapat dipolish dengan sangat baik serta mengkilat dan warnanya stabil. Bahan ini diindikasikan untuk restorasi kavitas klas III, kavitas klas V, kavitas klas IV yang kecil dan untuk labial *veneers*.

3. Resin komposit hybrid

Resin komposit *hybrid* mempunyai ukuran *filler* 0,04-5 μm . Resin komposit tipe ini mempunyai daya tahan yang lebih baik terhadap fraktur, dapat di polish dengan baik dan warnanya stabil. Resin komposit *hybrid* mengandung dua macam *filler* yaitu partikel makrofil dengan

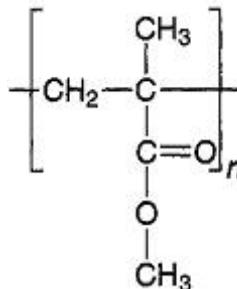


penambahan partikel mikrofil. Resin komposit *hybrid* kurang baik pada pemolesan dibanding dengan resin komposit mikrofil, tetapi tipe ini lebih tahan terhadap abrasi sehingga dapat digunakan sebagai bahan restorasi klas IV.

2.3 PMMA

Poli(metil metakrilat) (PMMA) adalah material termoplastik transparan yang disintesis dari monomer metil metakrilat. PMMA sering digunakan sebagai bahan dasar resin komposit pada bidang kedokteran gigi. PMMA mempunyai beberapa sifat yaitu ketahanan terhadap lingkungan, cukup kuat, tahan *impact*, isolator yang baik, mudah diberi warna, harganya relatif murah, tahan terhadap bahan kimia. PMMA dihasilkan melalui proses polimerisasi emulsi, polimerisasi larutan dan polimerisasi bulk. Secara umum menggunakan inisiasi radikal, namun dapat juga menggunakan polimerisasi anionik. Temperatur transisi gelas (T_g) PMMA sekitar 85-106°C (Nese dkk,2006)

Berikut merupakan struktur kimia dari senyawa PMMA.



Gambar 2. 2 Struktur Kimia PMMA (Roziafanto, 2010)

Berdasarkan gambar 2.2 dapat dilihat bahwa struktur kimia PMMA adalah linear, yang merupakan hasil reaksi adisi dari monomer MMA dimana telah terjadi pemutusan ikatan rangkap karbon antara gugus CH_2 dengan gugus C. Polimer



berbasis akrilat ini sangat sering digunakan sebagai matriks pada aplikasi resin komposit tambal gigi. Polimer berbasis akrilat untuk berpolimerisasi dapat melalui dua cara yaitu dengan aktivasi kimia dan aktivasi sinar. Bila menggunakan metode dengan aktivasi sinar maka gugus karbonil pada gambar tersebut ($C=O$) merupakan tempat terjadinya proses inisiasi dimana ion radikal bebas yang ada pada agen inisiator menyerang gugus karbonil untuk kemudian mengalami proses inisiasi polimerisasi.

PMMA merupakan polimer termoplastik linear yang dihasilkan dari suatu proses polimerisasi adisi. PMMA memiliki beberapa sifat yang umum berikut merupakan sifat umum dari PMMA

Tabel 2. 1 Sifat-Sifat Material PMMA (Bryan,2009)

Sifat	Nilai
Densitas	1,15-1,19 g/cm ³
Daya Serap Air	0,3-2%
Penyusutan	0,003-0,0065 cm/s
Kemampuan Alir	0,9-27 g/10 menit
Koefisien Ekspansi Termal	$2,25 \times 10^{-3} K^{-1}$
Konduktivitas Termal	0,17-0,19 W/mK
Kapasitas Panas Spesifik	1,38 kJ/kg.C
Modulus Young	2413-3102 MPa
Kekuatan Tarik	35 MPa
Kekuatan Lentur	105 MPa
Kekuatan Tekan	82,7-96,5 MPa
Kekerasan (Shore D)	77
Rumus Molekul	$(C_5H_8O_2)_n$
Nomor Molekul (Mn)	300000-6000000
Berat Molekul (Mw)	481000

Berdasarkan penjelasan pada tabel 2.1 dapat dilihat bahwa PMMA merupakan material yang memiliki sifat mekanik seperti kekuatan tarik yang rendah hanya sebesar 35 MPa. Nilai kekerasannya juga hanya 77 Shore D. Selain itu sifat fisik seperti



kemampuan serap air pada material PMMA memiliki nilai yang tinggi dengan range antara 0,3-2% (Bryan, 2009).

2.4 SiO₂

Silika merupakan senyawa solid yang unik. Karena memiliki sifat yang mirip dengan air. Baik air maupun silika juga memiliki temperatur dari volume minimum. Molekul silika tersusun dalam struktur yang agak terbuka begitu juga dengan air. Perbedaan fasa pada silika mempengaruhi kemampuan kelarutannya. Selama ini bentuk kristal dari silika yang paling umum adalah kuarsa, konstituen utama pasir. Namun dalam kondisi tertentu memungkinkan untuk terbentuk bentuk lainnya. Jenis-jenis bentuk kristal pada silika antara lain:

1. *Anhydrous Crystalline* SiO₂.
2. *Hydrated Crystalline* SiO₂.xH₂O.
3. *Anhydrous amorphous* silika dalam bentuk mikropori yang anisotropik. Seperti serat atau lembaran.
4. *Anhydrous* dan *hydrous amorphous* silika dalam bentuk koloid atau mikropori yang isotropik seperti sol, gel, dan butiran partikel halus.
5. Serat kaca silika amorf bermassa jenis besar.

Secara fisik silika bisa dibedakan menjadi dua jenis yaitu: silika gel dan silika *powder*. Silika gel bisa di deskripsikan sebagai partikel kontinu dari koloid silika yang membentuk suatu jaringan tiga dimensi yang koheren. Proses pembentukan silika gel dapat melalui dua cara yaitu dengan polimerisasi asam silikat dan dengan cara agregasi partikel koloid silika. Sedangkan silika powder adalah gabungan dari butir-butir kecil silika gel atau agregasi koheren dari partikel ukuran submikron yang membentuk jaringan yang sangat lemah. Berikut merupakan gambar dari silika gel dan silika powder (Ralph, 1979).



Gambar 2. 3 Pengelompokan Silika Berdasarkan Bentuknya (a) Silika Gel, (b) Silika Powder (google.com/images)

Gambar 2.3 memperlihatkan bahwa secara fisik bentuk dari silika gel dan silika powder berbeda. Diantara silika gel dan silika powder terdapat perbedaan yang sangat mendasar. Ketika ikatan antara partikel-partikel koloid sangat lemah, dan bisa sangat mudah diputus secara mekanik maka silika tersebut merupakan silika powder bukan silika gel. Begitupula sebaliknya ketika koloid partikel membentuk ikatan yang kuat, struktur yang koheren, maka silika tersebut merupakan silika gel. Walaupun secara ukuran partikel besarnya hanya satuan mikron (Ralph, 1979)

Silika gel terbentuk dalam media cair, biasanya *aqueous*. Istilah *alcogel* dan *aquagel* adalah gel dimana pori-pori diisi dengan cairan yang sesuai, yaitu alkohol atau air. *Xerogel* adalah jenis gel yang terbentuk saat media liquid telah di hilangkan. *Xerogel* memiliki kelebihan jika dibandingkan *alcogel* dan *aquagel* yaitu derajat porositasnya yang lebih kecil, hal tersebut dikarenakan proses pembuatannya yang terjadi setelah liquid dihilangkan. Gambar 2.3 (a) merupakan contoh gambar dari silika gel yang berjenis xerogel/

Silika powder bisa dikelompokan berdasarkan cara pembentukannya seperti sebagai berikut:

1. *Pulverized gels* dibuat dengan cara menghancurkan *xerogel* hingga ukuran mikron. Akan tetapi struktur



-
- kimianya tidak berubah. Bentuk dari *Pulverized gels* dapat dilihat pada gambar 2.3 (b).
2. *Spheroidal gels* dibuat dengan cara pengelompokan prekursor asam silikat atau sol koloid menjadi tetesan kecil sebelum pembentukan gel. Struktur gel sama dengan gel-gel secara umum yang dibuat pada kondisi yang sama. Tetesan tadi dapat di diamkan di udara dan dikeringkan atau mungkin di didiamkan pada larutan dan membiarkannya bercampur hingga memadat. Butiran juga bisa terbentuk dalam fasa *aqueous* dengan koaservasi silika koloid dengan agen organik untuk membentuk butiran yang kemudian tersolidifikasi (memadat).
 3. *Precipitated silica* dibentuk ketika partikel silika digumpalkan seperti agregat dalam media *aqueous*, kemudian dilakukan proses *recovery*, di cuci, dan dikeringkan. Gumpalan mungkin dipengaruhi oleh konsentrasi garam yang tinggi atau koagulan lainnya seperti ammonia, pelarut, atau beberapa jenis bahan organik. Ketika ukuran partikel lebih besar dari 5-10nm maka mungkin partikel hanya bergabung dan terikat secara lemah. Partikel akan sangat mudah lepas dan terdispersi. Misalnya dalam minyak.
 4. *Pyrogenic silica* adalah powder yang dibentuk dengan cara kondensasi silika dari fase uap pada temperatur elevasi. Uap silika dihasilkan dari berbagai proses. Diantaranya (a) penguapan langsung SiO_2 , (b) reduksi SiO_2 menjadi SiO yang mudah menguap, (c) oksidasi dari senyawa silikon seperti klorida atau ester. (d) hidrolisis fase uap dari SiF_4 .
 5. *Lepidoidal silicas* secara umum terdiri dari partikel dengan bentuk laminar.
 6. *Organophilic silica* terbuat dari semua jenis partikel yang telah disebutkan diatas dengan permukaannya diselimuti lapisan monomolekular penyerab bahan kimia dari
-

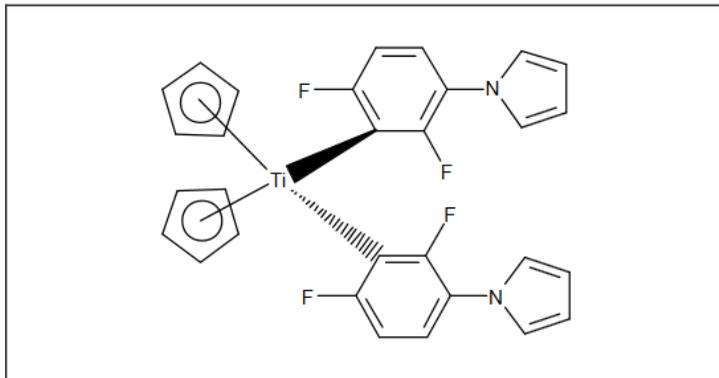


kelompok organik yang melekat pada permukaan melalui jenis-jenis ikatan seperti Si-C, Si-O-C, Si-O-N, Si-O-M-O-C.

Aluminosilicate anions mungkin ditambahkan pada permukaan silika untuk menghasilkan permukaan yang bersifat anionik secara kuat dan memiliki kapasitas menukar kation yang baik. Serta sebagai katalis asam (Ralph K, 1979).

2.5 Irgacure 784

Irgacure 784 merupakan salah satu produk perusahaan ciba yang berperan sebagai fotoinisiator dalam proses polimerisasi dengan menggunakan aktivasi cahaya tampak. Berikut merupakan gambar struktur molekul dari Irgacure 784



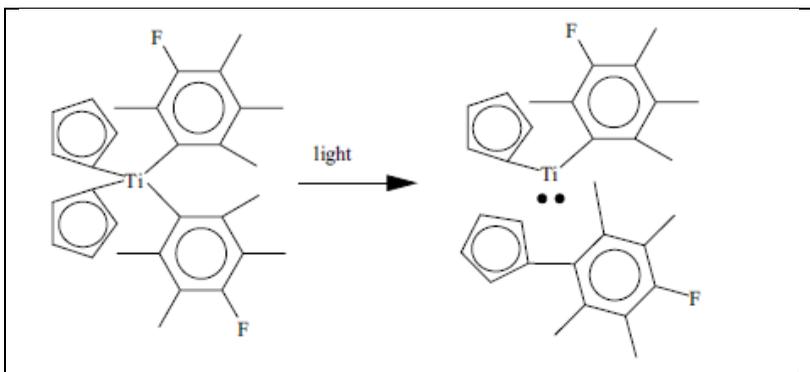
Gambar 2. 4 Struktur Molekul Irgacure 784 (Ravve, 2006)

Pada gambar 2.4 dapat dijelaskan bahwa atom Ti mengikat dua buah gugus siklopentadiena dan dua buah gugus aril. Dua buah gugus siklopentadiena dan dua buah gugus aril memiliki ikatan yang lemah pada atom pusat Ti tersebut.

Mekanisme awal fotoinisiasi dari irgacure 784 terjadi ketika foton dari radiasi cahaya tampak berinteraksi dengan molekul pada Irgacure 784 dan membuat molekul pada Irgacure

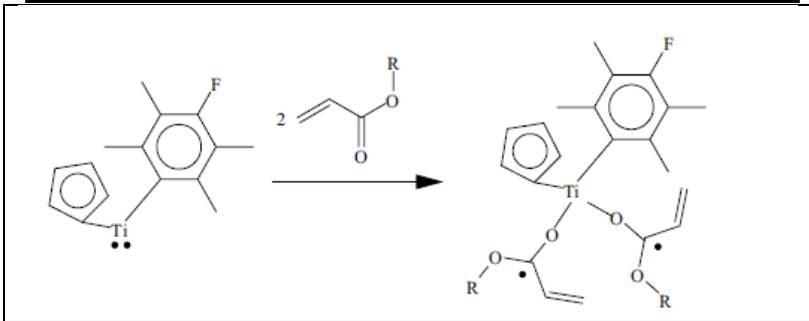


784 berada pada keadaan aktif (radikal). Molekul yang aktif tadi dapat kembali ke keadaan semula ketika telah bereaksi dengan suatu *quencher* Z baik dengan cara emisi foton atau melalui tumbukan antar molekul. Kemudian *quencher* tadi menjadi bersifat inert setelah bereaksi dengan fotoinisiator yang telah aktif dan tidak ikut dalam reaksi selanjutnya. Proses pemutusan rantai Irgacure 784 yang berhasil akan memutus rantai Irgacure 784 menjadi 2 spesies reaktif. Untuk skema lebih jelas di perlihatkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Reaksi Awal Inisiasi Cahaya (Rave, 2006)

Setelah memiliki dua atom radikal bebas senyawa irgacure 784 ini siap bereaksi dengan gugus metakrilat. Dalam hal ini atom radikal akan menyerang dan memutus ikatan C=O dan memulai proses propagasi. Berikut merupakan ilustrasi dari reaksi tersebut yang akan di jelaskan pada gambar 2.6



Gambar 2. 6 Proses Inisiasi Atom Radikal Bebas Pada Gugus Karbonil (Rave, 2006)

Dua atom C radikal yang dihasilkan dari proses inisiasi tersebut siap untuk melakukan proses propagasi dengan monomer monomer MMA yang lainnya.(Ravve, 2006)

2.6 Polimerisasi

Pada dunia kedokteran gigi sistem polimerisasi monomer dari matriks resin komposit tambal gigi dibagi menjadi dua jenis, yaitu berdasarkan inisiasi secara kimia dengan bantuan panas dan inisiasi dengan aktivator bantuan cahaya tampak. Pada sistem yang menggunakan inisiasi kimia digunakan dua jenis pasta, biasanya pada komponen bahan telah mengandung inisiator dengan komposisi 1-2%. Inisiator yang umum digunakan adalah benzoyl peroksida. Inisiator ini biasanya ditambahkan pada pasta monomer. Sedangkan pasta yang lainnya mengandung aktivator, senyawa yang biasa digunakan sebagai aktivator adalah tertiary amin (Asmussen, 1980).

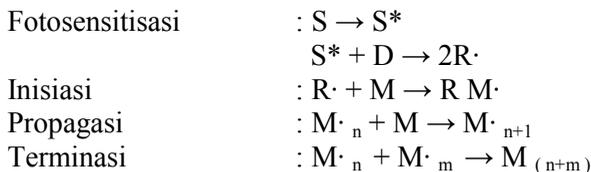
Komposit yang menggunakan cahaya tampak (VLC) untuk proses curing, biasanya menggunakan jenis inisiator lain. Yaitu inisiator radikal bebas. Bahan yang sering digunakan sebagai inisiator radikal bebas adalah benzil atau champorquinone. Dan juga menggunakan agen pereduksi amin (Taira et al, 1988).



Intensitas cahaya tampak (biru) memiliki panjang gelombang sekitar 470nm adalah intensitas yang digunakan untuk polimerisasi komposit pasta tunggal. Gugus ketone pada penyerapan energi cahaya dalam range 440-480nm membentuk keadaan yang tereksitasi. Ketone yang telah menjadi radikal akan memulai inisiasi fotopolimerisasi. Gugus fungsi keton ini biar bagaimanapun mampu dapat mengekstrak elektron dari agen pereduksi yang berada di sekitarnya selama radiasi cahaya tampak untuk menghasilkan minimal dua radikal bebas, yang satu dari keton dan yang lainnya dari agen pereduksi. Banyaknya atom radikal dapat secara signifikan meningkatkan *degree of cure*. Konsentrasi *photosensitiser* dalam resin komposit memiliki range antara 0.17-1.03% dari masa resin (Taira et al, 1988)

Karakteristik utama dari komposit VLC adalah variabel kedalaman curing yang muncul dari pelemahan transmisi cahaya pada bahan tersebut. Variasi kedalaman curing pada bahan komposite telah diteliti melalui berbagai teknik termasuk pengaruh pada profile hardnes (Lange et al, 1980)

Mekanisme secara umum proses polimerisasi yang aktivasi monomernya menggunakan cahaya adalah sebagai berikut



S dan S* melambangkan kondisi awal dan kondisi setelah fotosensitizer tereksitasi. D melambangkan agen pereduksi. M melambangkan monomer. Sedangkan R adalah initiator dan $M\cdot_n$ adalah polimer radikal (William, 2006).



2.7 Sifat Mekanik

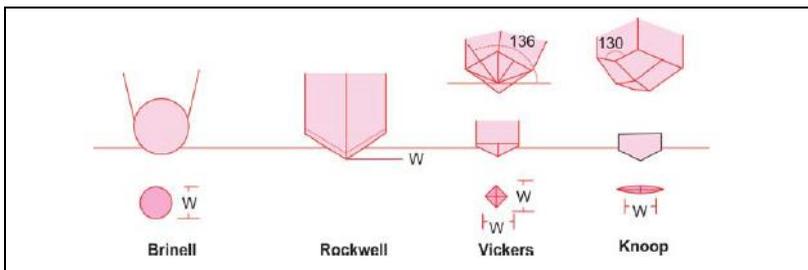
Sifat mekanik merupakan salah satu sifat yang penting untuk diketahui dalam dunia komposit. Khususnya aplikasi pada bidang resin komposit tambal gigi (*dental filler*). Jenis-jenis sifat mekanik yang perlu diketahui diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan merupakan sifat mekanik yang berhubungan dengan aplikasi resin komposit tambal gigi. Untuk mengetahui sifat ini terdapat beberapa jenis pengujian diantaranya: uji tarik, uji tekan, uji tekuk (*flexural*), uji beban kejut (*impact*).

b. Kekerasan (*hardnes*)

Sama seperti kekuatan kekerasan juga merupakan sifat yang penting yang perlu diketahui dalam dunia resin komposit tambal gigi. Terdapat beberapa jenis metode uji kekerasan untuk material komposit diantaranya: metode brinell, metode rockwell, metode vickers, metode knoop, metode shore, dan metode barcol. Berikut ilustrasi indentasi dari beberapa jenis metode uji kekerasan pada gambar 2.7



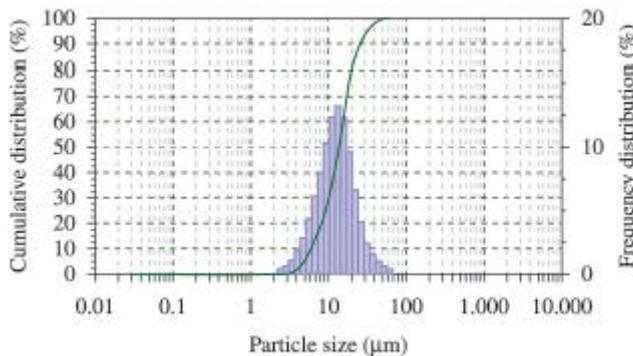
Gambar 2.7 Metode Indentasi Uji Kekerasan
(Manappallil,2003)



2.8 Penelitian Sebelumnya

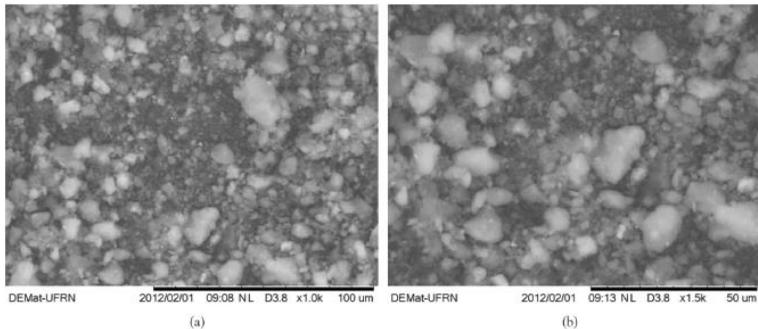
2.8.1 Rheologi dan teknik karakterisasi komposit PMMA/SiO₂

Berdasarkan jurnal yang ditulis Eric Dos Santos (2014) menyatakan bahwa penambahan partikel silika pada matriks PMMA mendorong terjadinya peningkatan pada torsi, penurunan pada indek laju alir lelehan komposit, dan meningkatkan kekerasannya jika dibandingkan polimer murni. Komposit juga memperlihatkan penurunan kekuatan tensile. Rata-rata lebar *scratch* juga menurun, hal ini dikarenakan oleh peningkatan nilai kekerasan pada komposit itu sendiri. Berikut merupakan data data yang didapat oleh eric dos santos.



Gambar 2. 8 Karakterisasi Ukuran Partikel Silika (Santos, 2014)

Gambar 2.8 merupakan hasil karakterisasi distribusi ukuran partikel SiO₂. Dari gambar tersebut diketahui bahwa distribusi ukuran partikel SiO₂ yang dilakukan oleh Eric Dos Santos adalah antara 5-100 µm. Dengan sebaran ukuran partikel terbanyak pada ukuran filler 20 µm.



Gambar 2. 9 Hasil SEM Komposit PMMA/SiO₂ dengan Perbesaran (a) 1000x dan (b) 1500X. (Santos, 2014)

Pada gambar 2.9 merupakan gambar hasil uji SEM yang dilakukan Eric Dos Santos. Dalam penelitiannya Eric menjelaskan bahwa partikel SiO₂ pada gambar tersebut adalah granula yang berwarna putih. Sedangkan PMMA nya adalah yang berbentuk flake dan sedikit berwarna gelap.

Tabel 2. 2 Nilai Kekuatan Tarik komposit PMMA/SiO₂ (Santos, 2014)

Komposisi (% berat)	Kekuatan Tarik (MPa)
PMMAc (100)	64.2
PMMAc/SiO ₂ (99.5/0.5)	57.7
PMMAc/SiO ₂ (99/1)	55.2
PMMAc/SiO ₂ (95/5)	37.9
PMMAel (100)	32.9
PMMAel/SiO ₂ (99.5/0.5)	34.2
PMMAel/SiO ₂ (99/1)	34.2
PMMAel/SiO ₂ (95/5)	34.6

Pada penelitian yang dilakukan eric dos santos terdapat pengamatan pada pengaruh penambahan SiO₂ terhadap sifat mekanik komposit PMMA/SiO₂ seperti dapat dilihat pada tabel



2.2 terlihat bahwa nilai kekuatan tarik dari komposit PMMA/SiO₂ jika menggunakan metode konvensional akan didapat tren menurun. Sedangkan pada saat menggunakan metode sol-gel diperoleh nilai yang cenderung konstan. PMMA dari hasil sintesis dengan menggunakan metode konvensional memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 64.2 MPa.

Tabel 2. 3 Nilai Kekerasan Komposit PMMA/SiO₂ (Santos, 2014)

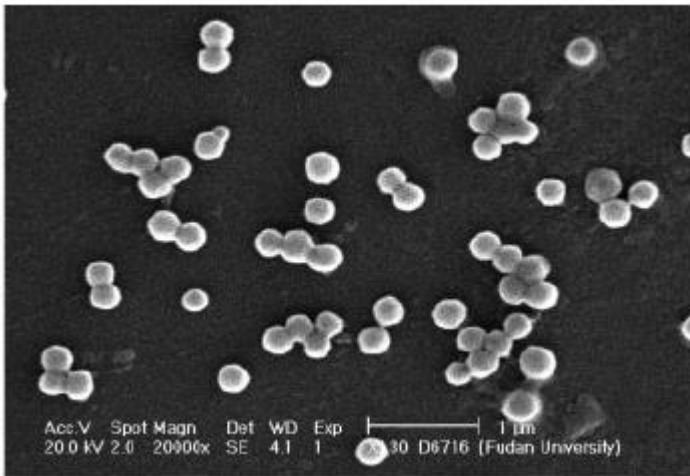
Komposisi (% berat)	Kekerasan (Rockwell M)
PMMAc (100)	68.0
PMMAc/SiO ₂ (99.5/0.5)	71.0
PMMAc/SiO ₂ (99/1)	76.2
PMMAc/SiO ₂ (95/5)	80.2
PMMAel (100)	40.4
PMMAel/SiO ₂ (99.5/0.5)	41.6
PMMAel/SiO ₂ (99/1)	44.6
PMMAel/SiO ₂ (95/5)	45.2

Berdasarkan penjelasan pada tabel 2.3 dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan SiO₂ pada komposit PMMA/SiO₂ berpengaruh meningkatkan nilai kekerasannya baik melalui metode konvensional maupun metode sol-gel. Untuk metode konvensional hasil sintesis PMMA memiliki nilai kekerasan sebesar 68 Rockwell M. Sementara kekerasan dari metode sol-gel nilainya sebesar 40.4 Rockwell M. Dan pada penambahan 5% SiO₂ pada metode konvensional didapat nilai kekerasan yang naik menjadi 80.2 Rockwell M. Pada metode sol-gel nilai kekerasan juga mengalami peningkatan menjadi 45.2 Rockwell M.



2.8.2 Preparasi komposit partikel PMMA/SiO₂ via emulsi polimerisasi konvensional

Cheng (2006) melakukan percobaan membuat komposit partikel PMMA/SiO₂ dengan metode emulsi polimerisasi konvensional dengan menggunakan 4-vinylpyridine sebagai monomer tambahan. Hasilnya partikel silika tidak memerlukan modifikasi permukaan, interaksi asam-basa antara kelompok-kelompok silanol pada partikel silika dan kelompok-kelompok amino pada 4-vinylpyridine adalah *driving force* untuk pembentukan komposit partikel PMMA/SiO₂ yang stabil. Morfologi komposit partikel tersebut dapat berbentuk *multicore-shell*, *raspberry-like*, atau konvensional *core-shell*, tergantung pada kandungan emulsifier, rasio monomer/silika, ukuran partikel silika, cara mencampur monomer, dll. Seperti dijelaskan pada gambar 2.10 berikut.

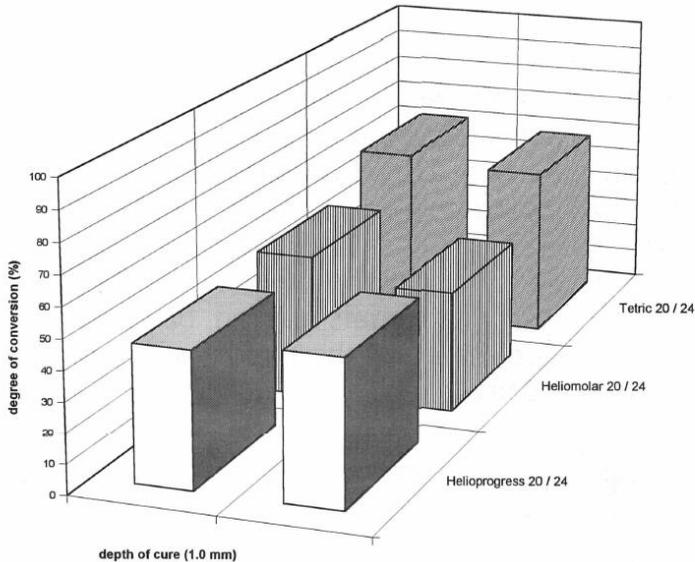


Gambar 2. 10 Hasil SEM Komposit PMMA/SiO₂ dengan Metode Emulsi Polimerisasi Konvensional



2.8.3 Hubungan antara *degree of conversion* dan transmisi cahaya melalui sampel resin komposit

Tarle (1995) melakukan percobaan untuk meneliti hubungan *degree of conversion* dan transmisi cahaya pada sampel resin komposit. Analisis kuantitatif ikatan rangkap atau radikal bebas pada jaringan polimer adalah metode yang paling terpercaya untuk menentukan *degree of conversion*. Pada penelitian ini diukur *degree of conversion* dan transmisi cahaya pada tiga jenis bahan resin komposit yang berbeda dan dua kondisi pencahayaan yang berbeda. Hubungan antara pengukuran *degree of conversion* dan transmisi cahaya telah di observasi. Absorpsi dan hamburan cahaya oleh partikel pengisi akan melanjutkan reduksi cahaya melalui spesimen resin komposit dan akibatnya mengurangi *degree of conversion*. Terdapat hubungan antara jumlah partikel pengisi dan kondisi pencahayaan. Didapat hasil bahwa material hibrida dan warna yang lebih cerah memiliki *degree of conversion* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan material resin komposit mikrofil dan yang berwarna gelap. Berikut merupakan gambar diagram dari percobaan yang dilakukan Tarle.



Gambar 2. 11 Diagram Pengaruh Kedalaman Curing Terhadap *Degree of Conversion* (Tarle, 1995)

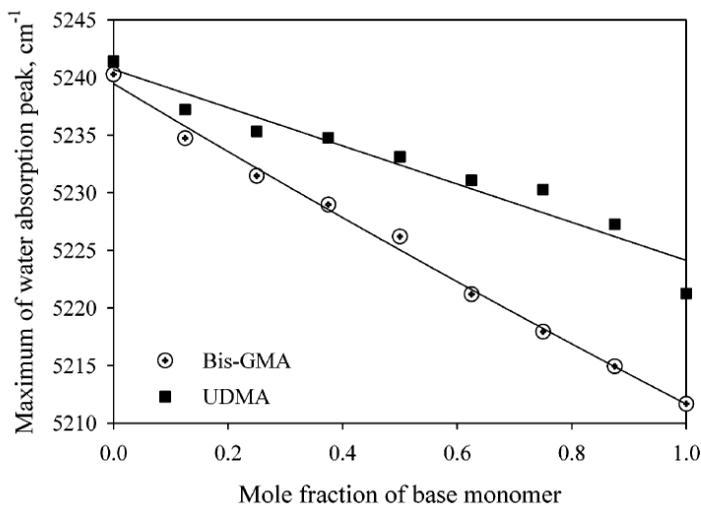
Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa dengan kemampuan kedalaman curing yang sama benda yang berwarna lebih terang memiliki *degree of conversion* lebih tinggi daripada yang berwarna gelap. Terutama yang paling signifikan terdapat pada bahan dengan merk Heliomolar.

2.8.4 Kinetika fotopolimerisasi resin tambal gigi berbasis metakrilat

Dickens pada tahun 2003 melakukan penelitian tentang kinetika fotopolimerisasi monomer dimetakrilat gigi dengan fotokalorimeter yang berbeda. Pada penelitian ini dibuat perbedaan komposisi monomer pengencer untuk membuat tiga resin dasar yang berbeda potensi ikatan hidrogen. Bila dibandingkan pada konsentrasi pengencer yang sama resin UDMA secara signifikan lebih reaktif dari Bis-GMA dan



EBADMA. Pada konsentrasi pengencer yang lebih tinggi, resin EBADMA memiliki reaktivitas fotopolimerisasi terendah. Reaktivitas optimal dalam resin UDMA dan EBADMA diperoleh dengan penambahan TEGDMA dalam jumlah yang relatif kecil, sedangkan sistem resin Bis-GMA/TEGDMA diperlukan rasio mol yang setara untuk reaktivitas tertinggi. Interaksi ikatan hidrogen yang mempengaruhi resin Bis-GMA dan UDMA di uji dengan menggunakan FTIR dan viskositas resin. Hasilnya viskositas dari campuran komonomer secara kuat mempengaruhi kecepatan dan tingkat konversi pada proses polimerisasi. Berikut merupakan gambar penjelasan dari hubungan fraksi mol monomer dengan daya serap air.



Gambar 2. 12 Hubungan Fraksi Mol Monomer dengan Kemampuan Serap Air (Dickens,2003)

Gambar 2.12 menunjukkan hubungan fraksi mol monomer dengan kemampuan serap air, dari gambar tersebut dapat kita lihat bahwa semakin banyak kandungan monomer pelarut dalam resin maka semakin buruk kemampuan serap airnya. Sehingga



semakin viskous suatu resin maka kemampuan serap airnya akan semakin rendah. Dimana ditunjukkan pada gambar 2.12 base resin yang memiliki daya serap air lebih rendah dan lebih bagus adalah resin dengan base Bis-GMA. Pada penelitiannya dickens menyimpulkan bahwa faktor utama untuk mendapatkan reaktivitas yang optimum adalah dengan mengontrol viskositas awal resin dengan terkontrolnya viskositas awal suatu resin maka dapat terjadi pergerakan molekul yang lebih baik. Biar bagaimanapun pemilihan material dengan sifat viskositas yang rendah akan mempengaruhi sifat-sifat yang lain pada material tersebut.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi PMMA dengan metode fotopolimerisasi. Pada proses fotopolimerisasi digunakan fotoinisiator Irgacure 784. PMMA dikompositkan dengan SiO_2 pada berbagai %berat agar didapatkan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Bahan penelitian

Adapun bahan-bahan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Monomer Metil Metakrilat
2. SiO₂ gel
3. Fotoinisiator Irgacure 784
4. Katalis Benzoyl Peroksida

3.1.2 Alat penelitian

Berikut merupakan peralatan yang digunakan selama proses penelitian

1. Wadah alumunium
Wadah alumunium digunakan sebagai tempat saat monomer MMA diberikan perlakuan pemanasan. Dan sebagai tempat saat dilakukan pencampuran antara MMA, SiO₂, dan Irgacure 784.
2. Timbangan digital
Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa bahan-bahan agar sesuai dengan perhitungan kesetimbangan massa. Selain itu juga digunakan untuk menimbang massa sebelum dan sesudah perlakuan *water sorbtion*.
3. Oven
Oven digunakan untuk proses pemanasan spesimen yang akan dilakukan pengujian *water sorbtion*.
4. Pengaduk
Pengaduk digunakan untuk mengaduk pada saat proses pencampuran antara partikel SiO₂, Monomer MMA yang telah diberi perlakuan pemanasan, dan fotoinisiator Irgacure 784 agar tercapai distribusi partikel yang homogen.



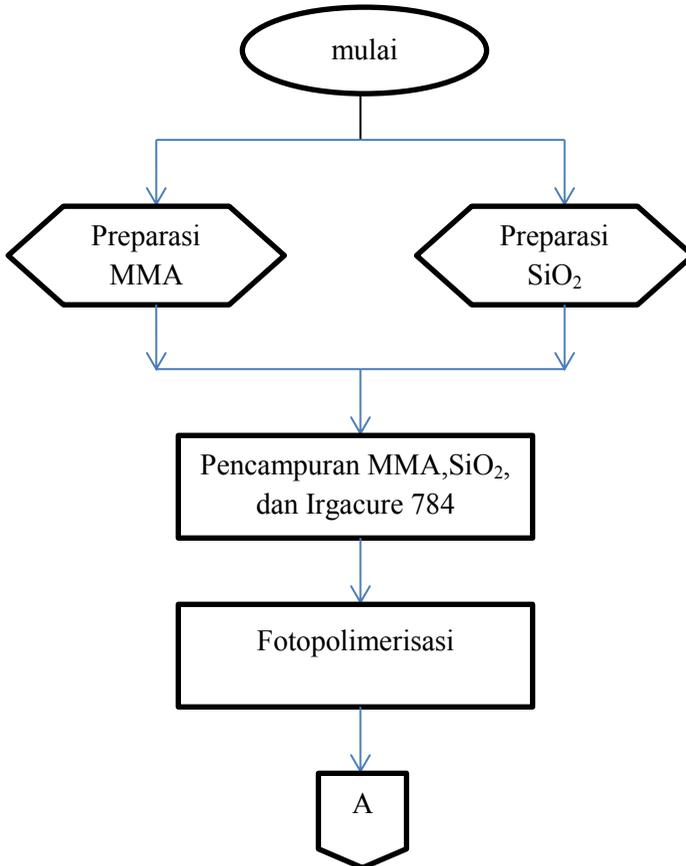
-
5. Ball mill
Mesin ball mill digunakan untuk mengecilkan ukuran partikel SiO_2 untuk memperluas interface antara matriks dan penguat.
 6. Shieving membran analyser
Alat untuk menyaring ukuran partikel agar lebih homogen ukurannya. Ukuran shieving yang digunakan adalah $40\mu\text{m}$
 7. Hot plate
Hot plate digunakan untuk memanaskan wadah aluminium berisi MMA monomer pada saat preparasi awal.
 8. Termometer
Termometer digunakan untuk mengukur tempaeratur pada saat proses pemanasan
 9. Media penyinaran
Alat yang dibuat untuk proses penyinaran campuran MMA, SiO_2 , dan Irgacure 784 hingga curing. Alat ini menggunakan lampu LED.
 10. Gerinda mesin
Gerinda mesin digunakan untuk proses finishing agar spesimen uji sesuai dengan dimensi standard.
 11. Cetakan spesimen uji tarik
Cetakan spesimen uji tarik yang digunakan sesuai dengan standard ASTM D 638 Tipe 1
 12. Alat uji tarik komposit
Digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik komposit PMMA/ SiO_2 .
 13. Shore D
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan komposit PMMA/ SiO_2 .
 14. Alat uji FTIR
Digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada saat sebelum dan setelah proses sintesis.
 15. Alat uji SEM
-

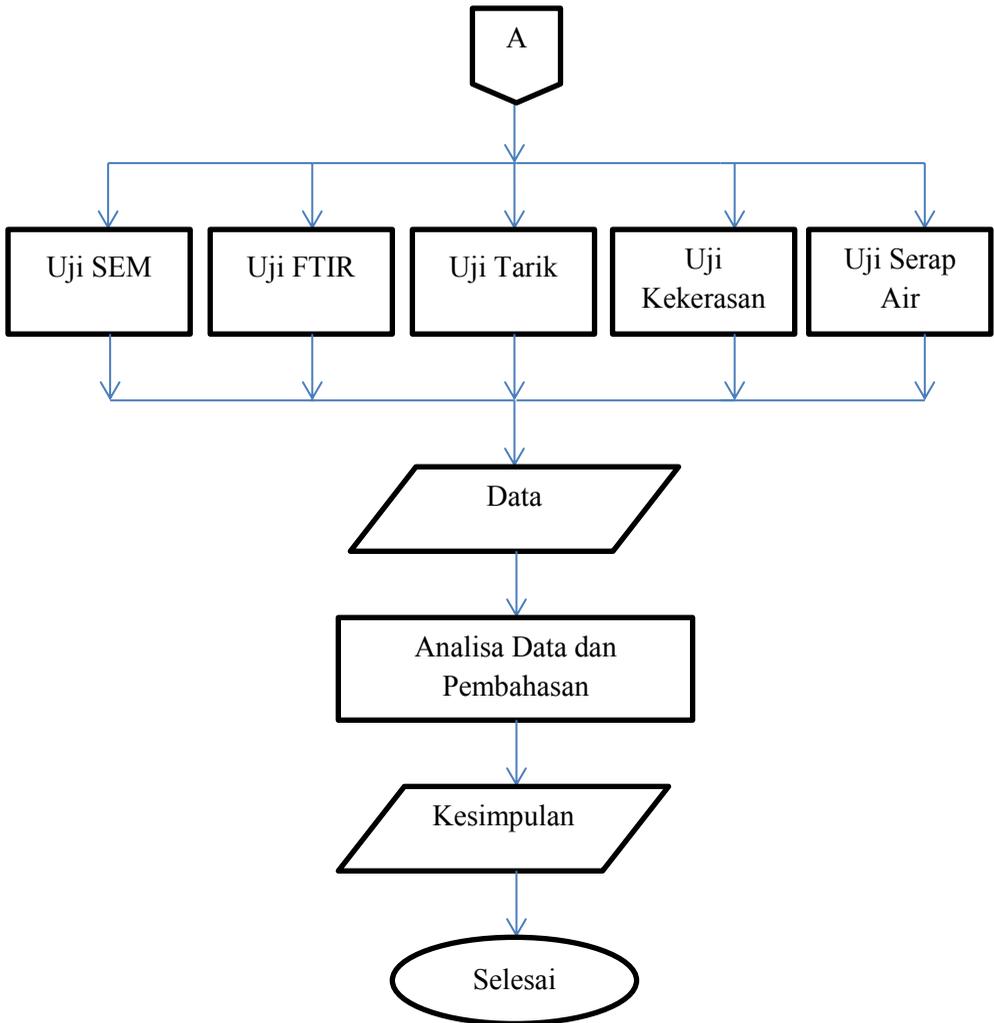


Digunakan untuk mengetahui morfologi secara mikro dari spesimen komposit PMMA/SiO₂.

3.2 Diagram Alir

Diagram alir penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi MMA

Preparasi MMA dilakukan untuk meningkatkan nilai viskositas dari monomer MMA. Preparasi ini dimulai dengan mencampurkan monomer MMA dengan katalis benzoyl peroksida dengan rasio 95 : 5 , setelah dilakukan pencampuran dilanjutkan dengan mengaduk hingga larut katalis tersebut dalam liquid monomer MMA. Setelah itu campuran tersebut dipanaskan pada temperatur 70°C dan di tahan selama 15 menit. Kemudian campuran setelah di panaskan tadi di timbang untuk mengetahui masa campuran setelah melalui proses preparasi.

3.3.2 Preparasi SiO₂

Preparasi SiO₂ dilakukan untuk mengurangi ukuran partikel dari silika itu sendiri. Preparasi ini dimulai dengan mengecilkan ukuran partikel secara bertahap. Pertama silika gel yang dibeli dari PT SIP di kecilkan ukurannya dengan menggunakan blender, kemudian setelah didapat silika dalam bentuk powder dilakukan pengurangan ukuran partikel silika kembali menggunakan mesin *ball mill* , setelah melalui dua tahap pengurangan ukuran dilakukan penyaringan terhadap powder tersebut dengan menggunakan alat *shieving membran analyser*, dan ukuran membran yang digunakan bertahap mulai dari 100 mikrometer, 80 mikrometer, 50 mikrometer, dan paling kecil 40 mikrometer. Setelah didapat partikel silika dengan ukuran lebih kecil dari 40 mikrometer maka preparasi dianggap selesai.

3.3.3 Pencampuran MMA, SiO₂, dan Irgacure 784

Proses pencampuran ini dilakukan pada suatu wadah aluminium dengan mengikuti ketentuan keseimbangan massa yang telah dibuat. Kemudian setelah semua bahan bercampur diaduk menggunakan *mixer* dengan kecepatan 100 rpm. Selama 10 menit. Pengadukan ini bertujuan agar partikel silika benar-benar menyatu dengan matriks monomer MMA.



3.3.4 Proses fotopolimerisasi

Setelah melalui proses pencampuran. Bahan tersebut dituangkan kedalam cetakan spesimen uji tarik secara bertahap. Kemudian cetakan tersebut diletakkan dibawah media penyinaran yang menggunakan lampu LED berwarna biru dengan range panjang gelombang 440-480 nm Proses ini dihentikan ketika cetakan spesimen uji tarik sudah terisi penuh oleh bahan campuran komposit. Dan bahan komposit tersebut pada bagian teratas sudah mengalami curing sempurna.

3.3.5 Pengujian

a. Pengujian SEM

pengujian menggunakan SEM dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe .. dengan tujuan untuk mengetahui morfologi dari komposit PMMA/SiO₂ dengan memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola *raster scan*. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lens* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sample akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian di terjemahkan dalam bentuk gambar pada display.

b. Pengujian FTIR

FTIR merupakan salah satu instrumen spektroskopi. Pada spektroskopi infra merah, radiasi infra merah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel sebagian lain ditransmisikan. Hasil spektrum inframerah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan sepktum inframerah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi

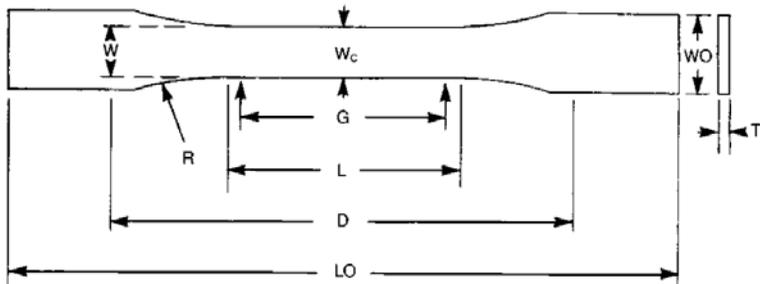


inframerah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberikan informasi mengenai material yang belum diketahui, mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran.

Prinsip kerja FTIR adalah berdasarkan penyerapan radiasi inframerah. Inframerah dipancarkan melalui interferometer kemudian dipancarkan melalui sampel, sebagian radiasi inframerah diserap sampel dan sebagian lain dipancarkan kembali dan tertangkap oleh detektor. Besarnya radiasi inframerah yang tertangkap detektor kemudian diubah menjadi spektrum oleh interferogram.

c. Pengujian tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui sifat mekanik komposit PMMA/SiO₂. Sifat mekanik yang akan ditinjau adalah kekuatan maksimum dan elongasi. Pengujian tarik berdasarkan ASTM D638 *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. berikut merupakan gambar spesimen uji tarik berdasarkan ASTM D638



TYPES I, II, III & V

Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan ASTM D638

Gambar 3.2 merupakan bentuk dari spesimen uji tarik berdasarkan ASTM D638, ukuran lebih detail dari gambar tersebut dijelaskan pada tabel berikut



Tabel 3. 1 Ukuran Spesimen Uji Tarik Type I dan II Berdasarkan ASTM D638

Dimensions (see drawings)	7 [0.28] or under	
	Type I	Type II
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 [0.50]	6 [0.25]
L —Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]
WO —Width overall, min ^G	19 [0.75]	19 [0.75]
WO —Width overall, min ^G
LO —Length overall, min ^H	165 [6.5]	183 [7.2]
G —Gage length ^I	50 [2.00]	50 [2.00]
G —Gage length ^I
D —Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]
R —Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]
RO —Outer radius (Type IV)

* semua ukuran dinyatakan dalam satuan mm [inch]

Setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak empat kali sehingga dihasilkan empat nilai kekuatan tarik untuk setiap spesimen. Perhitungan nilai kekuatan tarik diperoleh dari rata-rata nilai kekuatan tarik dari setiap spesimen uji.

d. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan digunakan untuk menentukan kekerasan komposit PMMA/SiO₂. Pengujian kekerasan yang digunakan menggunakan metode shore D dengan menggunakan standar ASTM D2240 *Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness*. Berikut merupakan data konversi gaya dari tiap tiap jenis durometer berdasarkan ASTM D2240.



Tabel 3. 2 Tabel Konversi Kekerasan Durometer terhadap Gaya Dalam Satuan Newton

Indicated Value	Type M	Type A, B, O	Type C, D, DO
0	0.324	0.55	
10	0.368	1.3	4.445
20	0.412	2.05	8.89
30	0.456	2.8	13.335
40	0.5	3.55	17.78
50	0.544	4.3	22.225
60	0.589	5.05	26.67
70	0.633	5.8	31.115
80	0.677	6.55	35.56
90	0.721	7.3	40.005
100	0.765	8.05	44.45
N/durometer unit	0.0044	0.075	0.4445
Spring Calibration Tolerance	± 0.0176 N	± 0.075 N	± 0.4445 N

Setiap spesimen diuji kekerasan sebanyak lima titik yang berbeda. Sehingga dihasilkan 5 nilai kekerasan Shore D untuk setiap spesimen. Perhitungan nilai kekerasan skala Shore D diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan dan standar deviasi setiap spesimen uji.

e. Pengujian serap air

Pengujian serap air digunakan untuk mengetahui sifat kemampuan komposit PMMA/SiO₂ untuk menyerap air. Standar yang digunakan untuk pengujian ini adalah ASTM D570 *Standard Test Method for Water Absorption Plastics*.

Dengan prosedur spesimen dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada temperatur 105^oC, kemudian di immerse selama 24 jam pada air dengan temperatur ruangan, kemudian spesimen ditimbang untuk mengetahui massa akhirnya. Setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak 3 kali. Sehingga didapat 3 nilai daya serap air pada setiap spesimennya. Perhitungan nilai



daya serap air diperoleh dari rata-rata nilai daya serap air dari setiap spesimen uji.

3.4 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 3 Rancangan Penelitian

Variabel	pengujian					
	% SiO ₂	FTIR	SEM	Tarik	Kekerasan	Serap Air
0	√	√	√	√	√	√
5	√	√	√	√	√	√
10	√	√	√	√	√	√
15	√	√	√	√	√	√
20	√	√	√	√	√	√
25	√	√	√	√	√	√

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposit PMMA/SiO₂

Material hasil Fotopolimerisasi Komposit PMMA/SiO₂ berbentuk sesuai dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ketentuan ASTM D638 type 1. Gambar 4.1 merepresentasikan spesimen komposit PMMA/SiO₂ dengan variasi kadar SiO₂ sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari massa total.



Gambar 4. 1 Hasil Fotopolimerisasi Komposit PMMA/SiO₂ dengan Variasi Kadar SiO₂ Sebesar (dari kiri ke kanan)0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.

Perubahan warna pada resin komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi perubahan warna resin komposit dapat dibedakan menjadi faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik merupakan perubahan warna yang dikarenakan oleh material resin komposit itu sendiri, misalnya perubahan pada matriks resin komposit. Pada kondisi ini perubahan warna yang terjadi sering dikaitkan dengan adanya

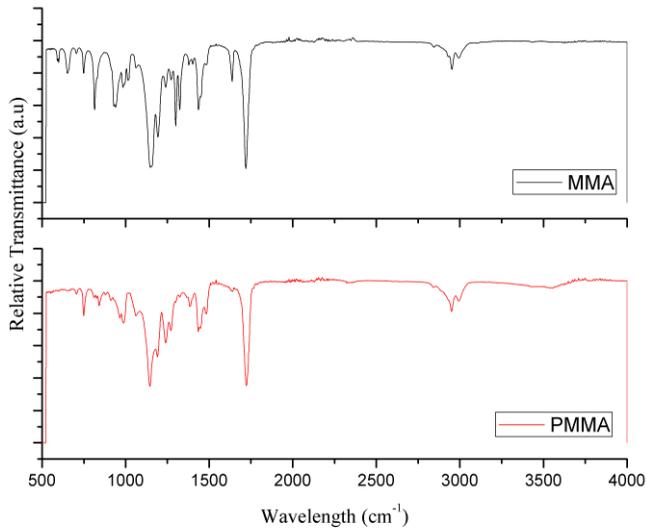


oksidasi pada struktur polimer matriks, dan gugus metakrilat yang tidak terpolimerisasi, atau polimerisasi yang tidak sempurna.

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa spesimen hasil fotopolimerisasi komposit PMMA/SiO₂ berwarna kuning bening dan berubah menjadi coklat seiring dengan penambahan kadar SiO₂. Pengamatan secara visual juga menunjukkan tidak terjadi makro segregasi pada spesimen hasil fotopolimerisasi komposit PMMA/SiO₂. Hal ini membuktikan bahwa SiO₂ dapat bercampur dengan matriks dan terdistribusi secara merata (homogen). Secara makro, porositas (*void*) juga tidak terlihat pada keenam permukaan spesimen komposit PMMA/SiO₂. Sedangkan faktor ekstrinsik merupakan perubahan warna yang disebabkan oleh lingkungan di luar restorasi resin komposit tersebut, seperti perwarnaan yang disebabkan oleh adsorpsi dari material lain yang berada di sekitar resin komposit (Sean, 2013). Pada penelitian ini perubahan warna yang terjadi merupakan akibat dari oksidasi pada struktur polimer matriks, gugus metakrilat yang tidak terpolimerisasi, atau terpolimerisasi tidak sempurna.

4.2 Pengamatan Hasil FTIR

Pengujian FTIR dilakukan terhadap monomer MMA, polimer PMMA, dan komposit PMMA/SiO₂ untuk mengetahui perubahan gugus fungsi yang terjadi setelah proses fotopolimerisasi dan setelah proses pembuatan material komposit. Hal yang paling mendasar yang membedakan MMA dengan PMMA adalah gugus C=C yang sangat besar pada MMA. Gambar 4.2 menunjukkan hasil FTIR MMA dan PMMA.



Gambar 4. 2 Pola FTIR Monomer MMA dan PMMA

Pada gambar 4.2 terdapat banyak *peak* yang muncul, *peak-peak* tersebut mengindikasikan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada rantai monomer MMA. *Peak-peak* yang muncul pada gambar tersebut dijelaskan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

Tabel 4. 1 Jenis Gugus Fungsi Pada Senyawa MMA

No	Posisi peak (cm ⁻¹)	Gugus fungsi
1	2952.30	-CH ₃
2	1719.44	-C=O
3	1637.38	-C=C
4	1436.00	-CH ₂
5	1378.21	H-C-H
6	940.26	C-H



Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa MMA mempunyai peak pada gugus $\text{C}=\text{C}$ yang tinggi di daerah panjang gelombang 1637.38 gugus ini lah yang menjadi pembanding dengan hasil FTIR dari polimer PMMA. Sedangkan gambar peak-peak yang muncul pada PMMA dijelaskan pada tabel 4.2

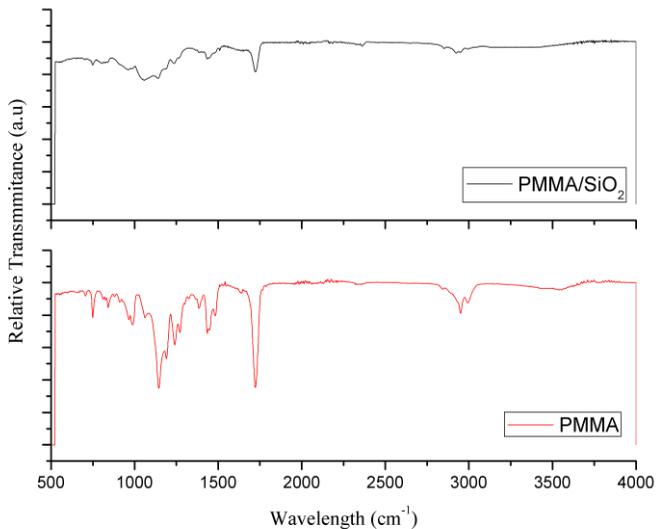
Tabel 4. 2 Jenis Gugus Fungsi Pada Polimer PMMA

No	Posisi peak (cm^{-1})	Gugus Fungsi
1	3540.12	-OH
2	2950.03	$-\text{CH}_3$
3	1722.49	$\text{C}=\text{O}$
4	1634.83	$\text{C}=\text{C}$
5	1434.89	$-\text{CH}_2$
6	1385.55	H-C-H
7	1062.27	C-O-C
8	965.69	C=C-H
9	841.51	C-H
10	706.02	C-C

Dari hasil FTIR PMMA terlihat beberapa *peak* baru yaitu *peak* pada panjang gelombang 3540.12 yang merupakan indikasi gugus O-H. Hal ini menandakan bahwa reaksi polimerisasi tidak berlangsung sempurna sehingga masih menyisakan gugus O-H bebas pada senyawa polimer PMMA. Selain itu *peak* pada panjang gelombang 1634.89 mengalami penurunan. Hal ini menandakan bahwa ikatan rangkap $\text{C}=\text{C}$ terpolimerisasi menjadi C-C (Socrates, 2001). Pada panjang gelombang 1062.27 menandakan adanya gugus fungsi baru yaitu C-O-C. Hal ini menandakan bahwa terjadi proses inisiasi dimana atom radikal dari irgacure 784 menyerang gugus $\text{C}=\text{O}$ menghasilkan ikatan baru C-O. Pada panjang gelombang 706.2 juga menunjukkan bahwa terbentuk gugus C-C ini merupakan bukti bahwa ikatan $\text{C}=\text{C}$ yang *peak*nya menurun terganti oleh munculnya *peak* gugus C-C, hal ini juga merupakan indikasi bahwa telah terjadi reaksi polimerisasi.



Pada material komposit PMMA/SiO₂ juga dilakukan uji FTIR untuk mengetahui apakah terjadi reaksi antara matriks polimer PMMA dengan *filler* SiO₂ setelah melalui proses pencampuran dan penyinaran. Berikut merupakan gambar perbandingan hasil uji FTIR antar PMMA dan material komposit PMMA/SiO₂



Gambar 4. 3 Pola FTIR PMMA dan Komposit PMMA/SiO₂

Berdasarkan data pada gambar 4.4 diketahui bahwa terdapat banyak peak yang muncul. Peak- peak baru yang muncul pada komposit menjelaskan gugus fungsi tersendiri. Peak-peak tersebut dijelaskan dalam tabel 4.3 berikut



Tabel 4. 3 Jenis Gugus Fungsi Pada Komposit PMMA/SiO₂

No	Panjang gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi
1	2923.76	-CH ₃
2	2850.66	-O-CH ₃
3	1722.44	-C=O
4	1435.20	=CH ₂
5	1237.63	-COOR
6	1057.61	-Si-O-Si
7	962.30	-C=C-H
8	749.40	C-C

Dari data yang terdapat pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa gugus fungsi yang muncul merupakan gambaran dari rantai polimer PMMA dan merupakan ikatan pada partikel *filler* SiO₂. Pada data tersebut juga terlihat tidak terdapat gugus fungsi antara Si-C dan Si-H. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi reaksi kimia antara *filler* partikel SiO₂ dengan matriks polimer PMMA.

4.3 Pengamatan Hasil Uji Kekerasan

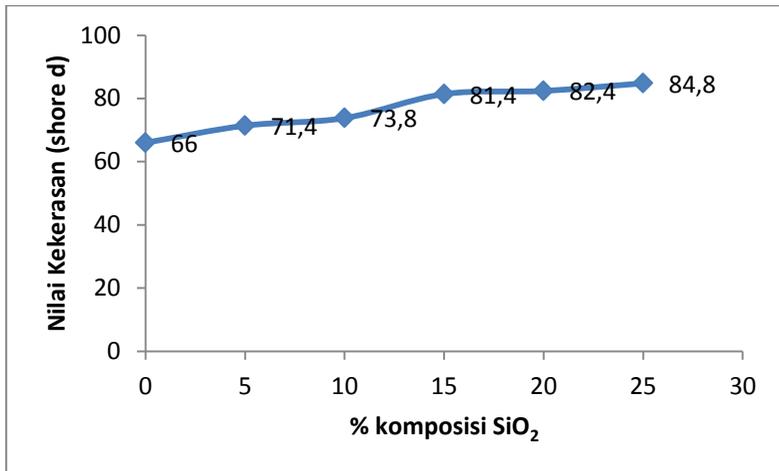
Pengujian kekerasan spesimen hasil fotopolimerisasi komposit PMMA/SiO₂ dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan shore D standar ASTM D2240. Gambar 4.6 merupakan hasil uji kekerasan pada keenam spesimen material komposit PMMA/SiO₂ dengan kadar SiO₂ yang berbeda dengan nilai kekerasan masing-masing spesimen terlihat pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Nilai Kekerasan Komposit PMMA/SiO₂

No	Komposisi SiO ₂ (%)	Kekerasan (Shore D)
1	0	66
2	5	71,4
3	10	73,8
4	15	81,4
5	20	82,4
6	25	84,8



Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan nilai kekerasan Shore D meningkat seiring dengan bertambahnya presentasi SiO_2 dalam komposit PMMA/ SiO_2 . Nilai kekerasan ini sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Thomas dkk 2015 PMMA murni memiliki nilai kekerasan sebesar 61 HD.



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Kekerasan Komposit PMMA/ SiO_2

Perubahan nilai kekerasan terlihat meningkat berhubungan dengan meningkatnya kadar SiO_2 pada material komposit PMMA/ SiO_2 . kenaikan nilai kekerasan ini terjadi karena bertambahnya kadar SiO_2 dalam material komposit. Secara teoritis material murni SiO_2 memang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan PMMA (Ralph, 1979). Oleh karena itu ketika material ini ditambahkan dengan SiO_2 pada berbagai % berat nilai kekerasannya menjadi lebih tinggi.

4.4 Pengamatan Hasil Uji Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638. Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan nilai kekuatan tarik pada

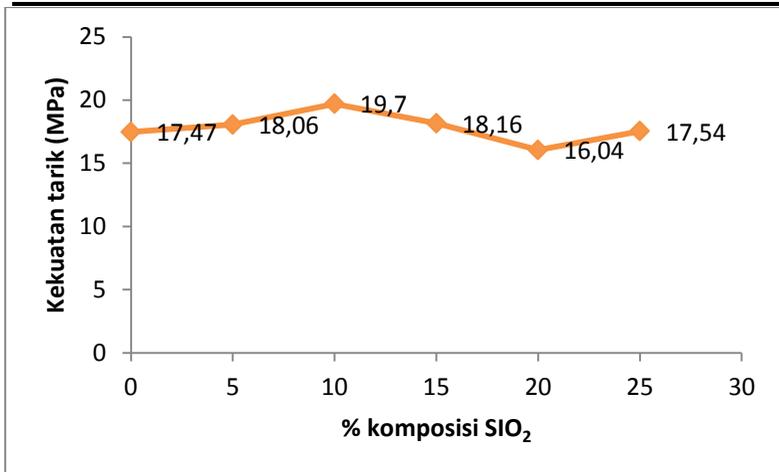


keenam spesimen komposit PMMA/SiO₂ dengan kadar SiO₂ yang berbeda.

Tabel 4. 5 Nilai Kekuatan Tarik komposit PMMA/SiO₂

%SiO ₂	Kekuatan Tarik (MPa)
0	17,47
5	18,06
10	19,7
15	18,16
20	16,04
25	17,54

Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan dari komposisi SiO₂ 0% hingga komposisi SiO₂ 10% kemudian mengalami penurunan pada komposisi SiO₂ 15% dan 20% kemudian mengalami peningkatan kembali pada komposisi SiO₂ 25% seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Spesimen dengan kadar SiO₂ 10% memiliki nilai kekuatan tarik yang paling besar yaitu 19,7 MPa. Hal ini terjadi karena pada komposisi 10% terdapat aglomerasi dan distribusi partikel yang homogen sesuai dengan data pengujian SEM yang dilakukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syoufyan dkk, diketahui bahwa nilai kekuatan tarik antara resin komposit dengan dentin sebesar 10,081 MPa (Syoufyan, 2008).



Gambar 4. 5 Grafik Kekuatan Tarik Komposit PMMA/SiO₂

Perubahan nilai kekuatan tarik pada komposit PMMA/SiO₂ yang terlihat pada grafik tersebut menunjukkan terjadi kenaikan nilai kekuatan tarik dari komposisi SiO₂ 0% hingga komposisi SiO₂ 10%. Kemudian terjadi penurunan nilai kekuatan tarik pada komposisi SiO₂ 15% dan 20%. Penurunan nilai kekuatan tarik ini disebabkan karena adanya porositas (Manappallil,2003) yang terdapat pada spesimen uji tarik dengan dua komposisi tersebut. Dengan adanya porositas dalam spesimen uji tarik, maka akan membuat kekuatan tarik material tersebut menurun. Porositas akan menjadi titik awal dari terjadinya fracture pada material tersebut. Adanya gelembung permukaan dan dibawah permukaan dapat mempengaruhi sifat mekanis dari komposit tersebut. Porositas disebabkan oleh penguapan monomer yang tidak bereaksi dan berat molekul primer yang rendah (Jung, 2015) morfologi porositas akan dibahas pada subbab berikutnya.



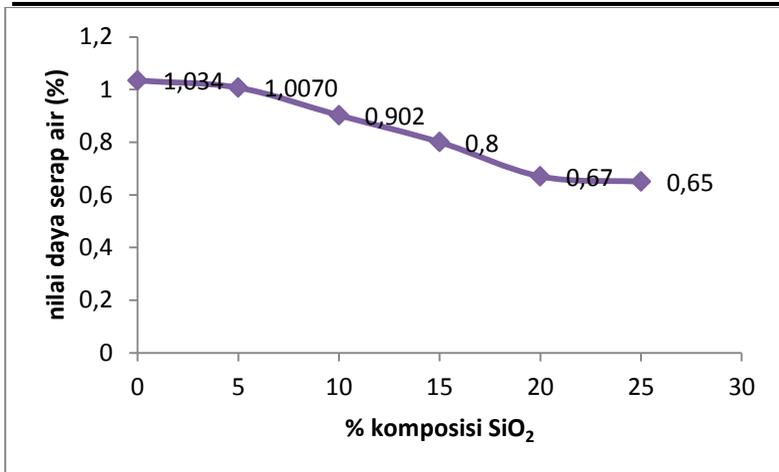
4.5 Pengamatan Hasil Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan dengan menggunakan metode yang sesuai dengan standard ASTM D570. Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan nilai daya serap air pada keenam spesimen komposit PMMA/SiO₂ dengan komposisi SiO₂ yang berbeda.

Tabel 4. 6 Nilai Daya Serap Air Komposit PMMA/SiO₂

% komposisi SiO ₂	Daya Serap Air (%)
0	1,034
5	1,007
10	0,902
15	0,8
20	0,67
25	0,65

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 menunjukkan kecenderungan nilai daya serap air yang menurun seiring bertambahnya presentase SiO₂ dalam komposit PMMA/SiO₂.



Gambar 4. 6 Grafik Kemampuan Serap Air Komposit PMMA/SiO₂

Dari Gambar tersebut terlihat bahwa tren daya serap air menurun dengan bertambahnya presentase SiO₂ dalam komposit PMMA/SiO₂. SiO₂ dalam bentuk powder memiliki sifat hidrofobik karena banyak mengandung gugus siloxane yang bersifat inert secara kimiawi dan kereaktifannya menghasilkan silika presipitasi dengan permukaan yang beragam. Sehingga reaksinya dengan silikon membuatnya bersifat hidrofobik (Welveni, 2009).

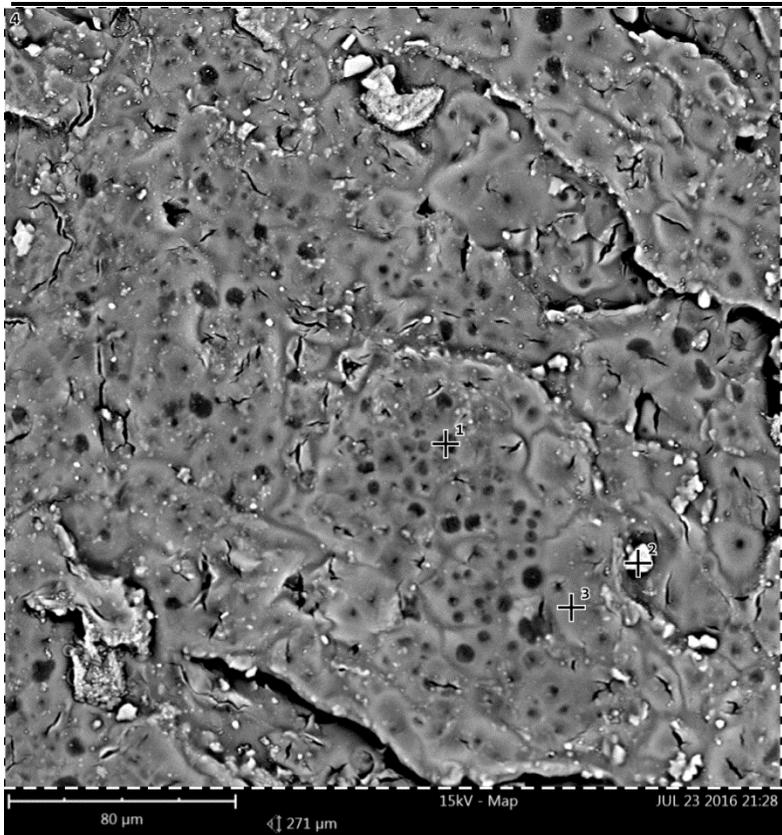
4.6 Pengamatan Hasil Uji SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi antara matriks dan *filler* pada komposit PMMA/SiO₂. Pengamatan morfologi dilakukan pada bagian yang mengalami patahan saat dilakukan uji tarik. Pengamatan dilakukan sebanyak 2 kali perbesaran pada setiap spesimennya yaitu pada perbesaran 500 kali dan 2500 kali. Gambar 4.9 menunjukkan bentuk morfologi dari PMMA murni.



Gambar 4. 7 Hasil Pengamatan Uji SEM Material PMMA dengan Perbesaran 2500x .

Pada gambar 4.9 perbesaran 2500x terlihat bahwa material PMMA merupakan jenis material berpori dan bagian yang bukan merupakan pori akan terlihat seperti flake. Untuk memperjelas keterangan tersebut pada perbesaran 1000x dilakukan uji SEM-EDX dengan daerah scanning yang ditunjukkan pada gambar 4.10



Gambar 4. 8 Gambar SEM Material PMMA dengan Perbesaran 1000x dan Region EDX

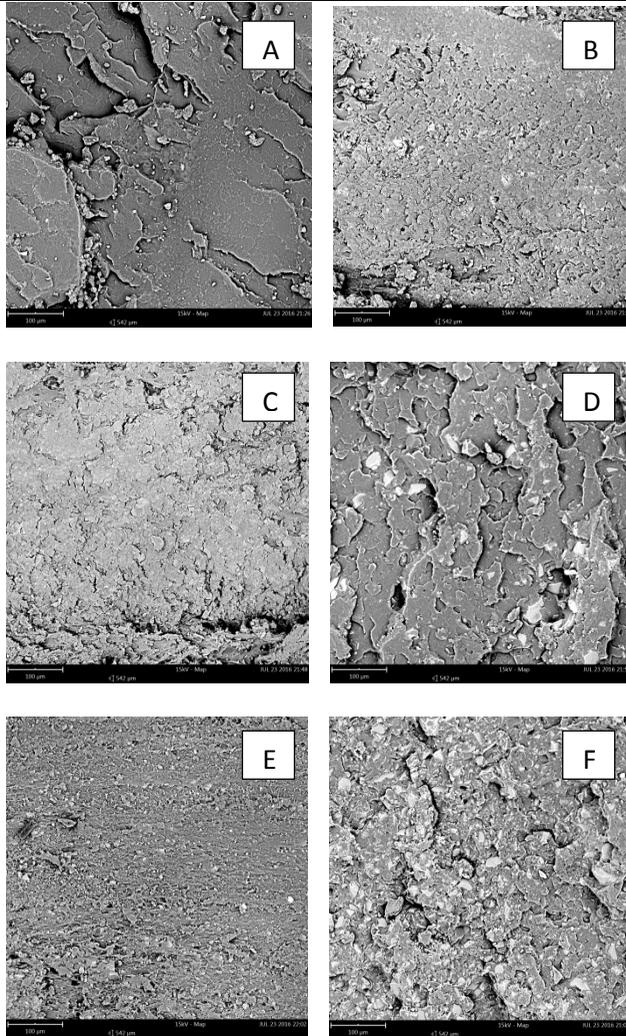


Tabel 4. 7 Data Kandungan Unsur pada Region EDX

Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
6	C	Carbon	29.3	0.0
8	O	Oxygen	58.5	0.2
41	Nb	Niobium	7.0	0.1
40	Zr	Zirconium	1.6	0.3
14	Si	Silicon	0.7	0.1
7	N	Nitrogen	2.9	0.2

Berdasarkan data pada tabel tersebut diketahui bahwa region EDX material PMMA dengan perbesaran 1000x mengandung komposisi unsur C 29.3%, O 58.5%, Nb 7%, Zr 1.6%, Si 0.7%, dan N 2.9%. Hasil tersebut sesuai dengan hipotesa karena polimer PMMA merupakan senyawa organik yang unsur penyusunnya adalah C, H, dan O. Unsur lain yang keluar selain C dan O diidentifikasi sebagai pengotor dari hasil samping reaksi polimerisasi dengan inisiator Irgacure 784 (Ravve, 2006).

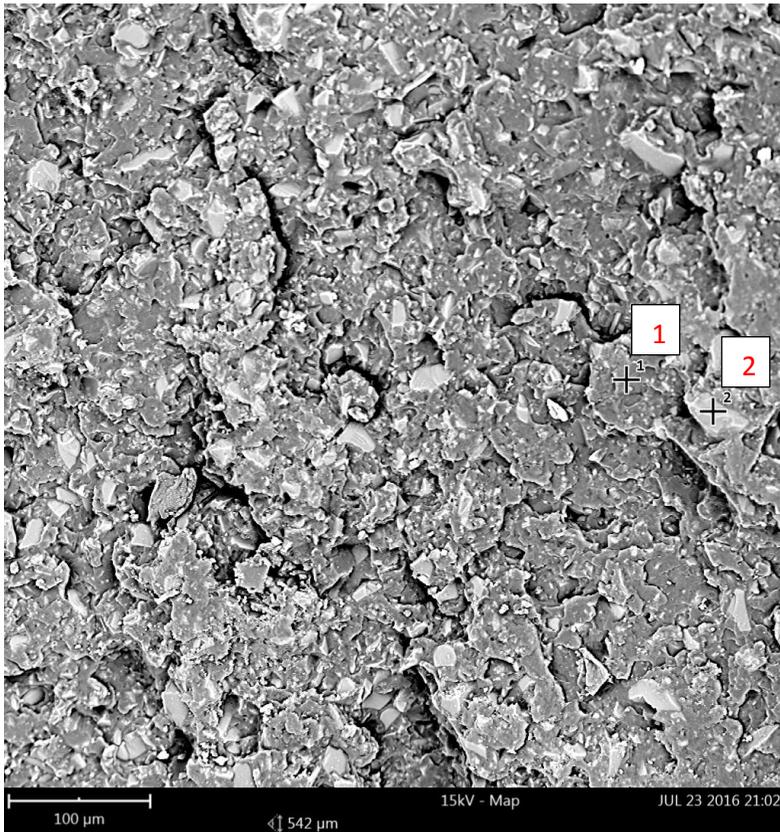
Untuk mengamati morfologi yang terjadi setelah PMMA dicampur dengan SiO₂, maka dilakukan uji SEM pada material komposit PMMA/SiO₂ pada setiap variabel. Dan dilakukan uji EDX pada material komposit PMMA/SiO₂ dengan komposisi SiO₂ 25%. Berikut merupakan gambar hasil uji SEM tersebut.



Gambar 4. 9 Hasil Uji SEM Material Komposit PMMA/SiO₂ dengan Komposisi SiO₂ (A) 5%, (B) 10%, (C) 15%, (D) 20%, (E) 25%.



Gambar 4.12 merupakan morfologi PMMA ketika setelah ditambahkan SiO_2 dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa distribusi dari partikel *filler* SiO_2 pada matriks PMMA tampak homogen. Pada gambar 4.12 bagian (C) dan (E) terlihat sebagian dari partikel *filler* SiO_2 tersebut mengalami aglomerasi atau penggumpalan. Untuk memperjelas analisa tersebut dilakukan uji EDX pada gambar (E) dengan spot EDX seperti pada gambar berikut



Gambar 4. 10 Gambar Spot EDX Komposit PMMA/ SiO_2



Gambar 4.13 dengan region yang terlihat pada spot gelap (spot 1) dan terang (spot 2) Hasil kandungan unsur pada spot 1 dan 2 terlihat pada tabel 4.8 dan 4.9 secara berurutan

Tabel 4. 8 Data Kandungan Unsur pada EDX Spot 1

Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
6	C	Carbon	47.0	0.0
8	O	Oxygen	43.6	0.3
14	Si	Silicon	4.0	0.0
41	Nb	Niobium	5.4	0.3

Berdasarkan data pada tabel 4.8 didapat bahwa kandungan unsur C 47%, O 43.6%, Si 4%, dan Nb 5.4%. Hasil tersebut menguatkan bagian yang gelap merupakan matriks PMMA dengan kandungan unsur terbesar adalah unsur C dan O dimana kedua unsur tersebut adalah unsur penyusun utama senyawa organik.

Tabel 4. 9 Data Kandungan Unsur pada EDX Spot 2

Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
14	Si	Silicon	38.5	0.0
8	O	Oxygen	54.3	0.2
6	C	Carbon	2.3	0.1
41	Nb	Niobium	4.9	0.5

Dari data yang terlihat pada tabel 4.9 dapat diindikasikan bahwa bagian yang berwarna terang adalah partikel *filler* SiO₂ karena berdasarkan data EDX unsur Si dan O merupakan komposisi tertingginya.

Berdasarkan data uji SEM-EDX yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi reaksi kimia antara matriks dan filler sehingga hubungan interface antar keduanya hanya secara mekanik saja (Manappallil, 2003).



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Material komposit PMMA/SiO₂ telah berhasil disintesis dengan modifikasi metode *Visible Light Curing* dan diaplikasikan sebagai bahan *dental filler* dengan karakterisasi morfologi berbentuk flake, sifat mekanik kekuatan tarik sebesar 17.47 MPa, kekerasan sebesar 66 HD, dan sifat fisik daya serap air sebesar 1,034%
2. Pengaruh penambahan SiO₂ adalah semakin banyak presentase SiO₂ maka semakin tinggi nilai kekerasan dari komposit PMMA/SiO₂ dan semakin rendah nilai daya serap air material komposit PMMA/SiO₂. Dan didapat komposisi optimum pada penambahan SiO₂ 15% dengan nilai kekerasan sebesar 81,4 HD, nilai kekuatan tarik 18.16 MPa, dan kemampuan serap air 0.8%

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan intensitas *Light Curing Unit* yang konstan.
2. Selama proses fotopolimerisasi menggunakan media vakum untuk meminimalisir kontak dengan oksigen yang menghambat reaksi inisiasi.
3. Meminimalisir ukuran partikel filler hingga ukuran dibawah 10 mikron. Agar lebih banyak interface antara matriks dan filler.
4. Memperhatikan kemampuan kedalaman curing dari alat *Light Curing Unit* yang digunakan.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ravve, A. 2006. *Light Associated Reactions of Synthetic Polymers*. USA : Springer.
- Angela, Baum, L. 1997. **Buku Ajar Ilmu Konservasi Gigi**. Jakarta : EDC
- Buftheim Sonia, Yuyun Ismawati. 2016. **Survey Awal Pemahaman Kelompok Profesi Terhadap Dampak Penggunaan Dental Amalgam di Indonesia**.
- Cheng, Xinjian et.al. 2005. *Preparation of SiO₂/PMMA Composite Particles Via Conventional Emulsion Polymerization*. Shanghai : Wiley InterScience
- Daniel, Isaac M., dan Ori Ishai. 2006. *ENGINEERING MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS*. New York : Oxford University Press.
- Dickens, S.H. 2002. *Photopolymerization Kinetics of Methacrylates Dental Resin*. Maryland : ADA
- Ellis, Bryan, dan Ray Smith. 2009. *POLYMERS : A PROPERTY DATABASE*. New York : CRC Press.
- Glenn J.F. 1982. *Composition and Properties of Unfilled and Filled Composite Resin Restorative Materials*.
- Iler, Ralph K., 1979. *THE CHEMISTRY OF SILICA : Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*. New York : John Willey & Sons Inc.
- Kosasih, Raphael. 2015. **Material Tambal Gigi**
- Lutz, F. Dan Phillips, W. 1983. *A Classification and Evaluation of Composite Resin Systems*,
- Manappallil, John J., dan V. Surendra Shetty. 2003. *Basic Dental Material : Second Edition*. New Delhi : Jaypee Brothers.
- Mazumdar, Sanjay K. 2002. *Composites Manufacturing : Materials, Product, and Process Engineering*. New York : CRC Press.
- Mozartha, Martha. 2014. *Dental Restoration Material*



-
- Rozifianto A,N. 2010. **Studi Pemanfaatan PMMA Regrind yang diblending dengan ABS ditinjau dari perubahan sifat mekanik**. Jakarta
- Sakaguchi, Ronald L., dan John M. Powers. 2003. *CRAIGS'S Restorative Dental Materials*. Missouri : Elsevier.
- Silva,Erik dos Santos. 2014. *Rheological and Mechanical Characterization of PMMA/SiO₂ Composites*. Brazil :
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya : ITS Press.
- Vanherle G, dan Smith D.C, 1985. *Posterior Composite Resin Dental Restorative Materials*.
- Vlack L.H.V. 1985. *Materials Science and Engineering*. English : Addison-Wesley.
- Williams,D.F. dan Cunningham, J. 1979. *Materials in Clinical Dentistry*. Oxford, England : Oxford University press.
- Yana,P.R. 2011. **Perbedaan Kebocoran Mikro Resin Komposit Flowable dan Packable dengan Menggunakan Sistem Adhesif Total-Etch Two-Step dan Self-Etch One-Step pada Restorasi Klas V (PENELITIAN IN VITRO)**
-



BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Rico Adrianto Rojimba yang dilahirkan di Bandung pada 15 Desember 1993. Penulis pernah menjalankan pendidikan formal di SD ISLAM AL-FALAAH, SMP Negeri 177 Jakarta, SMA Negeri 47 Jakarta, Universitas Gadjah Mada. Penulis merupakan mahasiswa aktif Jurusan Teknik Material dan

Metalurgi FTI-ITS tahun masuk 2012.

Selama masa kuliah penulis turut serta berpartisipasi aktif dalam organisasi kampus. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Pengabdian Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS tahun kepengurusan 2013/2014, Sekretaris Jendral Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Ash-haabul Kahfi tahun kepengurusan 2013/2014, dan Kepala Departemen Hubungan Masyarakat Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Ash-haabul Kahfi tahun kepengurusan 2014/2015. Selain itu penulis juga aktif sebagai asisten Laboratorium Fisika Material, asisten Laboratorium Korosi, dan asisten Laboratorium Material Inovatif.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Pertamina RU IV Cilacap pada periode Juli-Agustus 2015. Selama kerja praktek penulis mempelajari strategi maintenance storage tank untuk beberapa jenis tangki yang terdapat di PT Pertamina RU IV Cilacap.

Alamat penulis saat ini adalah Jl Sulawesi VIII Villa Bintaro Indah Blok E IX No. 4, Kelurahan Jombang, Kecamatan Ciputat, Kota Tangerang Selatan. Nomor telepon yang dapat dihubungi adalah 082125227770 atau alamat email rico_are@yahoo.com
