

## Ikatan Polimer Pmma Dengan Titanium Dioksida

Amalia Syahida\*, Teguh Tri Widodo\*\*, Eko Hadiano\*\*\*

\*Mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung

\*\*Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung

\*\*\* Departemen Dental Material Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung

Correspondence: [amaliasyahida@std.unissula.ac.id](mailto:amaliasyahida@std.unissula.ac.id)

Received 21 September 2023; Accepted 30 September 2024; Published online 30 September 2024

### Keywords:

polimer; PMMA; titanium dioksida; silane coupling agent; ikatan

### ABSTRAK

**Background:** Basis gigi tiruan umumnya dibuat menggunakan polimer PMMA dikarenakan sifat-sifat dan kelebihan yang dimiliki, namun ada beberapa kekurangan sehingga dilakukan berbagai upaya untuk menegakkan sifat-sifat tersebut, salah satunya dengan penambahan metal oxide titanium dioksida nanopartikel. PMMA-TiO<sub>2</sub> memiliki beberapa kelemahan diantaranya adanya pembentukan aglomerasi akibat kurangnya dispersi yang kurang baik dan menyebabkan ikatan atau adhesi yang kurang diantara mereka sehingga perlunya dilakukan grafting atau memodifikasi permukaan dari TiO<sub>2</sub> dan dilakukannya silanisasi. Silanisasi merupakan metode pengaktifan dari silane coupling agent agar dapat berperan sebagai jembatan molekuler antara bahan organik dan anorganik melalui reaksi hidrolisis yang menghasilkan gugus silanol (Si-OH) dan berikatan dengan gugus hidroksil (OH) pada substrat membentuk ikatan hidrogen, kemudian reaksi kondensasi yaitu pelepasan molekul air (H<sub>2</sub>O) sehingga membentuk ikatan Si-O-Ti. Tujuan literatur ini adalah mengulas jenis ikatan polimer PMMA-TiO<sub>2</sub> dengan penambahan silane coupling agent.

**Method:** Pengumpulan literatur yaitu dengan menggunakan metode PICO (Problem, Intervention, Comparison, Outcome) dengan menelusuri basis data elektronik PubMed, Science Direct, dan Google Scholar.

**Result:** Ikatan polimer PMMA-TiO<sub>2</sub> yaitu ikatan van der Waals yang merupakan ikatan lemah. SCA ditambahkan agar terbentuk ikatan yang kuat yaitu ikatan kovalen

**Conclusion:** Ikatan PMMA-TiO<sub>2</sub> akan lebih baik menggunakan silane coupling agent sebagai jembatan molekuler sehingga menciptakan adhesi yang baik dengan terbentuknya ikatan kovalen

Copyright ©2022 National Research and Innovation Agency. This is an open access article under the CC BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

DOI: <http://dx.doi.org/10.30659/medali.6.2.103-112>

2460-4119 / 2354-5992 ©2024 National Research and Innovation Agency

This is an open access article under the CC BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

How to Cite: Syahida et al. Ikatan Polimer Pmma Dengan Titanium Dioksida. MEDALI Jurnal: Media Dental Intelektual, v.6, n.2, p.103-112, September 2024.

## PENDAHULUAN

Polimer adalah makromolekul yang tersusun dari molekul-molekul kecil atau dikenal dengan monomer yang terikat secara kimia dan reaksi yang terjadi disebut reaksi polimerisasi.<sup>1</sup> Monomer memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan molekul lain dari jenis yang sama atau jenis lain dalam kondisi yang sesuai untuk membentuk rantai polimer. Molekul polimer biasanya diikat bersama oleh ikatan kovalen. Proses ini di alam telah menghasilkan pembentukan polimer alami, sedangkan polimer sintesis adalah buatan manusia.<sup>2</sup>

Pada prostodontik polimer biasa digunakan sebagai basis gigi tiruan, gigi anasir, liner halus, pelat khusus, bahan impresi, bahan penumpukan inti, restoratif sementara, *luting agent* dan prosthesis maksilofasial.<sup>3</sup> Basis gigi tiruan digunakan sebagai jangkar gigi atau penopang pada jaringan lunak. Basis prosthesis harus biokompatibel dengan lingkungan tubuh dan memiliki sifat mekanik yang baik untuk menahan gaya pengunyahan dan kondisi mulut.<sup>4</sup>

Polimer resin akrilik telah diperkenalkan sebagai bahan dasar gigi palsu dan sebagian besar basis gigi palsu dibuat menggunakan *polymethylmethacrylate* (PMMA).<sup>3</sup> Kepopuleran PMMA sebagai bahan dasar gigi palsu adalah dikaitkan dengan kemudahan pemrosesan, biokompatibel, biaya rendah, ringan, sifat estetika yang sangat baik, penyerapan air dan kelarutan yang rendah dan kemampuan untuk diperbaiki dengan mudah.<sup>5</sup>

Polimer *heat cured* adalah resin termoseting yang terdiri dari inisiator benzoil peroksida (BPO), yang diaktifkan oleh energi panas. Inisiator BPO terurai menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan radikal bebas terbentuk ketika suhu naik menjadi sekitar

60°C.<sup>6</sup> Radikal bebas ini bekerja pada gugus vinil metil metakrilat (C=C) untuk membuka ikatan rangkap sehingga terjadi pembentukan ikatan tunggal karbon-karbon baru (C-C).<sup>5</sup> Reaksi polimerisasi dimulai di situs aktif di mana molekul MMA ditambahkan terus menerus sampai akhir rantai pertumbuhan.<sup>6</sup>

Ada beberapa sifat polimer yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh ikatan yang lemah antara rantai polimer. Dalam upaya mengatasi masalah ini akrilik dapat diperlakukan oleh bahan berbeda untuk meningkatkan sifat-sifatnya, bahan ini termasuk penguat logam, serat karbon-grafit, serat aramid dan serat kaca.<sup>7</sup> Salah satu logam nanopartikel yang digunakan adalah titanium dioksida nanopartikel yang memiliki dimensi kecil, luas permukaan yang besar, dan kontak antarmuka yang kuat dengan matriks polimer, dengan demikian mereka dapat meningkatkan sifat fisik, termal dan optik dari basis gigi matriks polimer.<sup>1</sup>

Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dapat langsung ditambahkan ke matriks organik, tetapi karena luas permukaan yang tinggi dan polaritas yang tinggi, ada kecenderungan kuat bagi mereka untuk bergabung. Nanopartikel TiO<sub>2</sub> membentuk aglomerat pada konsentrasi yang lebih tinggi karena energi permukaannya yang tinggi. Kompatibilitas nanopartikel TiO<sub>2</sub> hidrofilik yang buruk dengan matriks polimer hidrofobik dapat menyebabkan agregat partikel atau penggumpalan. Agregat membuat situs cacat dalam polimer.<sup>7</sup> Nanopartikel dioksida memiliki sifat hidrofilik dan resin akrilik memiliki sifat hidrofobik kedua bahan ini tidak dapat menyatu karena memiliki perbedaan energi permukaan, oleh sebab itu diperlukannya *silane coupling agent* untuk menyatukan kedua bahan tersebut.<sup>8</sup>

Interaksi antara matriks polimer dan pengisi anorganik ini merupakan ikatan yang lemah dari sudut pandang kimia, dengan demikian adhesi dapat ditingkatkan dengan merawat permukaan partikel terdispersi dengan *coupling agent*.<sup>7</sup> *Silane coupling agent* secara singkat berfungsi sebagai jembatan untuk mempromosikan adhesi antara substrat anorganik dan polimer. *Silane* bereaksi dengan permukaan anorganik untuk membentuk ikatan kovalen *metasiloxane* untuk adhesi yang kuat antara silan dan substrat anorganik, sementara mereka bereaksi dengan polimer untuk membentuk ikatan kimia dan jaringan interpenetrasi untuk adhesi silan-polimer yang baik.<sup>9</sup> Penambahan *silane coupling agent* diyakini dapat berperan sebagai jembatan molekuler antarmuka antara PMMA-TiO<sub>2</sub> dengan membentuk ikatan yang kuat.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan menggunakan metode *literature review*. Penelusuran diambil dari berbagai sumber baik jurnal, buku dan terbitan-terbitan lain yang berkaitan dengan topik penelitian dari pangkalan data elektronik yang terakreditasi/terindeks sinta seperti *Google Scholar*, *Science Direct* dan *PubMed* yang dilengkapi dengan DOI pada setiap artikel untuk menjawab isu atau permasalahan yang ada.

Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini ditelusuri dengan menggunakan metode PICO (*Problem, Intervention, Comparison and Outcome*) dengan menggunakan kata kunci PMMA, *titanium dioxide* dan *silane coupling agent*.

## HASIL PENELITIAN

Hasil penelusuran literatur didapatkan 180 artikel dari *PubMed*, *Science Direct* dan *Google scholar*. Sebanyak 11 artikel masuk kedalam kriteria inklusi dan sebanyak 169 artikel masuk kedalam kriteria eksklusi.

**Tabel 1.** Hasil temuan literatur

No	Judul	Tujuan	Metode	Hasil dan pembahasan
1	<i>A review on enhancements of PMMA Denture Base Material with Different Nano-Fillers</i> <sup>10</sup>  <a href="https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1875968">https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1875968</a>	Artikel ini bertujuan untuk meninjau kemajuan yang terkait dengan pengembangan sifat mekanik bahan dasar gigi tiruan di samping kemajuan terbaru dan perkembangan prospektif untuk penguatan resin akrilik PMMA menggunakan nanofiller	<i>Literature review</i>	Perbaikan karakteristik akrilik gigi palsu dapat diperoleh dengan <i>nanofiller</i> . <i>Grafting nanofiller</i> pada PMMA, salah satunya titanium dioksida nanopartikel dengan <i>titanate coupling agent</i> (TCA) maupun <i>silane coupling agent</i> (SCA). Artikel ini juga membahas mengenai efek penguatan dengan partikel titanium dioksida (TiO <sub>2</sub> ) yang dapat meningkatkan karakteristik PMMA seperti kekerasan, ketangguhan patah, dan kekuatan lentur akrilik.
2	<i>Developing of PMMA Bone Cement Performance by Modified TiO<sub>2</sub>NPs</i> <sup>11</sup>	Penelitian saat ini bertujuan untuk memperkuat dan meningkatkan sifat PMMA dengan menambahkan nanopartikel TiO <sub>2</sub> yang	SCA memodifikasi NP TiO <sub>2</sub> dengan menambahkan rasio yang berbeda (0,5, 1, 1,5, dan 2w.t% ke	Hasil penelitian membuktikan keberhasilan modifikasi TiO <sub>2</sub> NPs oleh <i>silane coupling agent</i> dan adanya ikatan kimia antara

	doi:10.1088/1757-899X/1094/1/012150	dimodifikasi (m-TiO <sub>2</sub> NPs).	PMMA. Teknik spektroskopi inframerah transformasi <i>Fourier</i> (FTIR) digunakan untuk menyelidiki proses modifikasi dan menentukan jenis ikatan antara m-TiO <sub>2</sub> NPs dan matriks semen tulang PMMA. Teknik SEM digunakan untuk mempelajari morfologi sampel yang disiapkan. Properti seperti kekuatan tarik, kekuatan kompresi, modulus elastisitas, dan kekuatan benturan juga diukur.	<i>filler</i> modifikasi ini dengan bahan PMMA.
3	<i>Properties Improvement of PMMA Using Nano TiO<sub>2</sub></i> <sup>12</sup>  DOI 10.1002/app.32567	Literatur ini mengulas mengenai peningkatan sifat PMMA menggunakan titanium dioksida nanopartikel seperti peningkatan termal, mekanik dan sifat penyerapan UV pada PMMA.	Spektroskopi menggunakan FTIR dan SEM. Uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi sehingga dapat menganalisis interaksi kimia. Adapun uji SEM untuk mengamati morfologinya.	Sifat-sifat PMMA-TiO <sub>2</sub> bergantung pada dispersi TiO <sub>2</sub> pada matriks PMMA, sehingga dilakukan uji FTIR untuk mengkonfirmasi interaksi kimia PMMA dengan TiO <sub>2</sub> .
4	<i>Preparation and Study of PMMA/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites</i> <sup>13</sup>  doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.233-235.1830	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan TiO <sub>2</sub> yang dimodifikasi dengan SCA terhadap PMMA.	Dilakukan penambahan modifikasi TiO <sub>2</sub> dengan SCA pada PMMA. Kemudian dilakukan uji FTIR untuk memverifikasi ikatan interfascenya dan dilakukan uji sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekuatan lentur.	Hasilnya menunjukkan bahwa nano-TiO <sub>2</sub> mungkin titik ikatan silang dalam matriks dan stabilitas termal nanokomposit menjadi lebih tinggi. Ketika kandungan nano-TiO <sub>2</sub> meningkat, sifat mekanik nanokomposit mengalami perubahan besar.
5	<i>Effect of TiO<sub>2</sub> Nanofiller on Nanocomposited PMMA/TiO<sub>2</sub> Thin Film</i> <sup>14</sup>  doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.576.417	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ikatan PMMA/TiO <sub>2</sub> dengan konsentrasi berbeda	Serbuk PMMA dan TiO <sub>2</sub> <i>nanopowder</i> dilarutkan ke dalam larutan toluena dan disonikasi. Film-film tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan mikroskop elektron pemindaian emisi lapangan (FESEM), Spektroskopi sinar-X energidispersif (EDX), Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) dan Spektroskopi Raman untuk mempelajari morfologi permukaan, sifat ikatan dan kandungan fasa PMMA-TiO <sub>2</sub>	Mikrograf FESEM mengungkapkan bahwa 15w.t% TiO <sub>2</sub> nanopartikel dalam matriks PMMA dapat menghasilkan campuran homogen dengan susunan partikel yang padat. Hasil penelitian ini mengungkapkan adanya interaksi antara PMMA-TiO <sub>2</sub> yaitu diverifikasi dengan uji FTIR dimana puncaknya pada 2920 cm <sup>-1</sup> memverifikasi interaksi antara PMMA dan TiO <sub>2</sub> . Hasil EDX mengungkap keberadaan TiO <sub>2</sub> elemen dalam sampel nanokomposit.
6	<i>Bonding and</i>	Penelitian ini bertujuan	Nanokomposit polimer	FTIR mengungkapkan

	<i>Mechanical Properties of PMMA/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites</i> <sup>15</sup>	untuk menyelidiki sifat mekanik dan interaksi kimiawi antara PMMA dengan TiO <sub>2</sub> .	dibuat dengan mencampurkan titanium dioksida (TiO <sub>2</sub> ) <i>nanofiller</i> ke dalam matriks polimer polimetil metakrilat (PMMA) menggunakan teknik sonikasi dan pengecoran larutan. Selanjutnya dilakukan uji EDX untuk mengetahui komposisi atom pada material dan uji FTIR untuk menganalisis ikatan antara PMMA dengan TiO <sub>2</sub> .	adanya ikatan antara TiO <sub>2</sub> dan PMMA. Sifat mekanik dari PMMA-TiO <sub>2</sub> yang diendapkan nanokomposit dipengaruhi oleh jumlah <i>filler</i> TiO <sub>2</sub> pada PMMA.
	doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.832.700			
7	<i>Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites—A review</i> <sup>16</sup>	Pengembangan matriks polimer dengan menggunakan bahan anorganik nanopartikel untuk mempengaruhi sifat-sifat matriks polimer	<i>Literature review</i>	Modifikasi permukaan partikel anorganik meningkatkan interaksi antarmuka antara partikel anorganik dan matriks polimer. Ada dua cara untuk memodifikasi permukaan partikel anorganik, yang pertama dicapai melalui penyerapan permukaan atau reaksi dengan molekul kecil, seperti agen kopling silan, dan metode kedua didasarkan pada pencangkakan molekul polimer melalui ikatan kovalen dengan gugus hidroksil yang ada pada partikel. Keuntungan dari prosedur kedua dibandingkan yang pertama yaitu bahwa partikel yang dicangkakkan polimer dapat dirancang dengan sifat yang diinginkan melalui pemilihan spesies monomer okulasi yang tepat dan pilihan kondisi okulasi. Literatur ini juga mengulas bagaimana mekanisme modifikasi nanopartikel dengan SCA dan reaksi kimianya.
	http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.02.003			
8	<i>Preparation of TiO<sub>2</sub> nanotubes coated on polyurethane and study of their photocatalytic activity</i> <sup>17</sup>	Artikel ini bertujuan mempelajari aktifitas fotokatalitik pada TiO <sub>2</sub> nanotube silanis yang dilapisi poliuretan	Dilakukan silanisasi TiO <sub>2</sub> nanotube dan perlakuan pretreatment membran PU dan aktivasi permukaan. Kemudian TiO <sub>2</sub> <i>dicoating</i> dengan PU	Hasilnya menunjukkan bahwa TiO <sub>2</sub> nano yang diolah dengan alkilasi silikon dapat secara efisien bergabung dengan pembawa padat (PU) dan bahwa struktur multilayer permukaan sangat stabil dan kompak. Selain itu,
	http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2012			

.05.154				komposit baru menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang sangat baik dan dapat didaur ulang, yang ditunjukkan dengan degradasi fotokatalitik Rhodamine B. Literatur ini juga mengulas mengenai mekanisme ikatan TiO <sub>2</sub> <i>silanized</i> dengan polimer polyurethane dan memverifikasi ikatan dengan uji FTIR.
9	<i>Behavior of PMMA Denture Base Materials Containing Titanium Dioxide Nanoparticles: A Literature Review</i> <sup>18</sup>  <a href="https://doi.org/10.1155/2019/6190610">https://doi.org/10.1155/2019/6190610</a>	Literatur ini bertujuan untuk menyaring literatur untuk data yang terkait dengan nanokomposit PMMA / TiO <sub>2</sub> untuk mengetahui sifat-sifat nanopartikel TiO <sub>2</sub> , metode penambahan, interaksi dengan matriks resin PMMA, dan akhirnya efek penambahan pada sifat-sifat nanokomposit yang diperkenalkan dan bukti pada kinerja klinisnya.	<i>Literature review</i>	Literatur ini membahas perilaku PMMA yang ditambahkan dengan TiO <sub>2</sub> nanopartikel. Sifat-sifat yang dihasilkan merupakan pengaruh dari penambahan TiO <sub>2</sub> yang dibuktikan dengan adanya ikatan atau interaksi kimia yang diverifikasi dengan uji FTIR
10	<i>Synergic effect of TiO<sub>2</sub> filler on the mechanical properties of polymer nanocomposites</i> <sup>7</sup>  <a href="https://doi.org/10.3390/polym13122017">https://doi.org/10.3390/polym13122017</a>	Literatur ini bertujuan untuk memberikan panduan khusus tentang korelasi antara struktur nanokomposit TiO <sub>2</sub> dengan matriks polimer dan sifat mekaniknya. Korelasi akan ditetapkan dan dijelaskan berdasarkan antarmuka yang direalisasikan antara matriks polimer dan pengisi anorganik.	<i>Literature review</i>	Mengulas mengenai matriks polimer dengan <i>filler</i> titanium dioksida yang dihubungkan dengan <i>silane coupling agent</i> dan pengaruhnya terhadap perilaku polimer serta pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari. Literatur ini mengulas mekanisme modifikasi permukaan nanopartikel dengan <i>silane coupling agent</i> dan interaksi kimianya.
11	<i>A review of current coupling agents for modification of metal oxide nanoparticles</i> <sup>19</sup>  <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.05.023">http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.05.023</a>	Artikel ini mengulas pemanfaatan beragam <i>coupling agent</i> terkini ini untuk modifikasi NP oksida logam, merangkum mekanisme interaksi antara NP oksida logam dan agen kopling.	<i>Literature review</i>	Ukuran nanopartikel yang kecil membuat proporsi atom permukaan meningkat, yang meningkatkan reaktivitas namun kurang stabil sehingga memiliki kecenderungan kuat untuk mengalami aglomerasi. Perlu dilakukannya modifikasi permukaan agar stabil, terdispersi dengan baik dan meminimalisir terjadinya agregasi. Modifikasi nanopartikel dapat dilakukan secara fisik dan kimiawi. Modifikasi

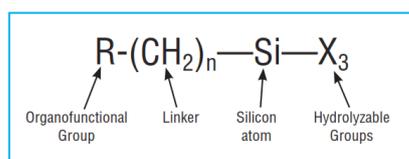
nanopartikel logam oksida paling banyak menggunakan *silane coupling agent* karena dinilai lebih efektif dan fleksibel.

## DISKUSI

Penambahan  $\text{TiO}_2$  pada polimer mengalami kesulitan dispersi nanopartikel dalam resin PMMA karena gaya van der Waal antara partikel nano  $\text{TiO}_2$  dengan polimer. Interaksi PMMA- $\text{TiO}_2$  secara fisik dan kimia mempengaruhi peningkatan modulus dan stabilitas dimensi.  $\text{TiO}_2$  dapat bereaksi dengan gugus  $-\text{COOR}$  polimer PMMA dalam dua cara berbeda. Salah satu caranya adalah dalam bentuk ikatan-H antara gugus karbonil dan gugus hidroksil permukaan  $\text{TiO}_2$ . Cara lain adalah  $\text{TiO}_2$  terikat dengan dua atom oksigen  $-\text{COOR}$  oleh koordinasi bidentat ke kation  $\text{Ti}^{4+}$ . Akibatnya, ketika  $\text{TiO}_2$  datang ke permukaan polimer PMMA akan membentuk struktur *crosslinking* dan terikat pada PMMA. Ikatan ini meningkat dengan meningkatnya pemuatan  $\text{TiO}_2$  karena jumlah partikel meningkat dengan pemuatan.<sup>12</sup>

Ukuran nanopartikel yang kecil di bawah 100 nm membuat proporsi atom permukaan meningkat yang dapat meningkatkan reaktivitasnya. Ketika persentase atom pada permukaan NP meningkat, mereka menjadi lebih reaktif namun kurang stabil, sehingga NP memiliki kecenderungan kuat untuk mengalami aglomerasi.<sup>7</sup>

Ikatan PMMA- $\text{TiO}_2$  membentuk ikatan yang lemah yaitu ikatan van der Waals, sehingga dilakukan upaya untuk memperkuat ikatan dengan cara penambahan *silane coupling agent* agar dapat berikatan dengan kuat.<sup>13</sup>



Gambar 1. Struktur *silane coupling agent*<sup>7</sup>

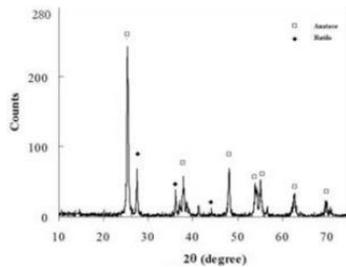
*Silane* bertindak sebagai agen koping dalam jembatan antarmuka antara zat organik-anorganik harus terlebih dahulu dihidrolisis dan selanjutnya dikondensasi. Formulasi umum molekul agen koping adalah sebagai X-R, di mana X berinteraksi dengan pengisi dan R kompatibel dengan polimer. *Organosilane* berbentuk  $\text{R}-\text{Si}-(\text{OR}')_3$ , di mana  $\text{OR}'$  dapat berupa metoksi, etoksi, asetoksi dan R dapat berupa gugus alkil, aril atau organofungsional.<sup>7</sup>

Metode hidrolisis dapat dilakukan dalam pelarut berair seperti air atau larutan air dan pelarut polar (etanol, propanol, atau aseton).<sup>13</sup> Secara umum, gugus alkoksi ( $-\text{OR}$ ;  $-\text{OCH}_3$ ,  $-\text{OC}_2\text{H}_5$ ) dari *silane coupling agent* dihidrolisis menjadi gugus silanol ( $\text{Si}-\text{OH}$ ) oleh air dalam larutan.<sup>16</sup> Pada tahap reaksi hidrolisis, dalam larutan air, gugus alkoksi mereka bereaksi dengan air untuk membentuk gugus silanol reaktif, hidrofilik, asam,  $\text{Si}-\text{OH}$ , dan melepaskan alkohol bebas sebagai produk samping.<sup>20</sup>

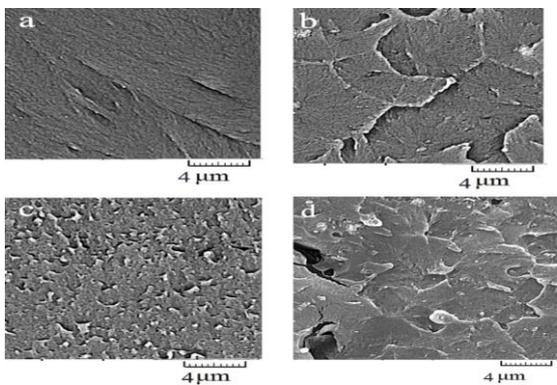
Reaksi selanjutnya yaitu terjadi reaksi kondensasi yang dapat dilakukan dalam kondisi kering sepenuhnya dari pelarut organik non-polar seperti sikloheksana, toluena, dan xilena. Pada proses ini, gugus alkoksi ( $-\text{OR}$ ;  $-\text{OCH}_3$ ,  $-\text{C}_2\text{H}_5$ ) dari *silane coupling agent* langsung mengembun dengan gugus hidroksil pada permukaan NP untuk melepaskan molekul alkohol ( $\text{ROH}$ ).<sup>21</sup> *Silane* bekerja pada gugus hidroksil ( $\text{OH}-$ ) dari berbagai substrat melalui mekanisme pembentukan siloksan terkait kondensasi air larutan.<sup>16</sup>

Interaksi *silane coupling agent* dengan  $\text{TiO}_2$  dibuktikan dengan uji SEM, XRD, EDX dan FTIR. Uji SEM dilakukan untuk melihat morfologi dan X-

Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu bahan padat.<sup>22</sup>



Gambar 2. Diagram XRD dari TiO<sub>2</sub><sup>22</sup>

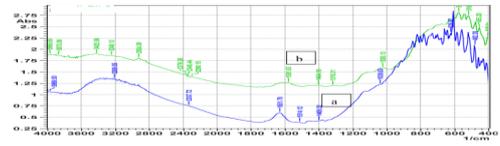


Gambar3. SEM diambil dari penampang nanokomposit yang mengandung nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan (a) sampel kontrol (0 wt%), (b) 0,5 wt%, (c) 1 wt%, dan (d) 2 wt%.<sup>22</sup>

Uji SEM pada gambar diatas menunjukkan polimer nanokomposit dengan 1 wt% TiO<sub>2</sub> NPs menunjukkan lebih sedikit mikropori dan mikroretak pada penampang SEM. Peningkatan yang tidak signifikan juga diamati pada kekuatan tumbukan dengan NP TiO<sub>2</sub> sebesar 1 wt%. Peningkatan lebih lanjut pada NP TiO<sub>2</sub> menurunkan dampak dan kekuatan lentur.<sup>22</sup>

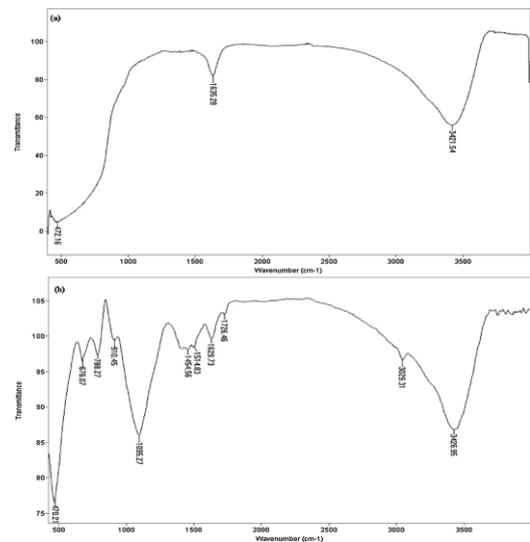
FTIR digunakan untuk mengkarakterisasi nanopartikel TiO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah modifikasi permukaan. Pada gambar (a) dibawah ini, spektrum NP TiO<sub>2</sub> yang rapi dan dimodifikasi, puncak di bawah 700 cm<sup>-1</sup> ditugaskan untuk ikatan Ti-O dan Ti-O-Ti titania. Pada titania ditunjukkan oleh puncak antara 3400 dan 3200 cm<sup>-1</sup> dan puncak intensitas

rendah pada 1640 cm<sup>-1</sup> mengacu pada getaran peregangan air yang diserap dan gugus hidroksil permukaan (OH).<sup>11</sup>



Gambar 4. spektrum FTIR (a) TiO<sub>2</sub> (b) TiO<sub>2</sub> termodifikasi<sup>11</sup>

Modifikasi permukaan titania oleh *organosilane* ditunjukkan pada gambar b, getaran perpanjangan asimetris dan simetris dari ikatan C-H dalam tandan metilen terlihat pada 2928 dan 2870 cm<sup>-1</sup> secara individual. Puncak yang berkaitan dengan ikatan Si-O-Si terlihat sekitar 1040 cm<sup>-1</sup> menunjukkan respons penumpukan antara pertemuan silanol.<sup>11</sup>



Gambar 5. Spektrum FTIR (a) nanotube TiO<sub>2</sub> dan (b) nanotube TiO<sub>2</sub> silanized<sup>17</sup>

Ikatan antara TiO<sub>2</sub> dengan polimer dibuktikan dengan spektrum FTIR yang menunjukkan pita pada 910 cm<sup>-1</sup> menunjukkan bahwa agen koping silan terhidrolisis bereaksi dengan gugus hidroksil pada permukaan TiO<sub>2</sub> nanotube melalui kondensasi antarmolekul, menghasilkan ikatan Ti-O-Si. *Band* di 1095 cm<sup>-1</sup> adalah Si-O-Si yang dihasilkan dari kondensasi molekul agen koping

silan terhidrolisis. *Crossover* ikatan bersama membantu membangun perlindungan jaringan multilayer TiO<sub>2</sub> dari oksidasi.<sup>17</sup>

## KESIMPULAN

Ikatan PMMA dengan TiO<sub>2</sub> membentuk ikatan van der Waals yang merupakan ikatan yang lemah sehingga memerlukan agen kopling sebagai jembatan molekuler antarmuka seperti *silane coupling agent*. SCA terhidrolisis membentuk gugus silanol (Si-OH) bereaksi dengan gugus hidroksil pada permukaan TiO<sub>2</sub>. Ikatan Ti-O-Si dihasilkan melalui kondensasi dengan melepaskan molekul air H<sub>2</sub>O pada tahap hidrolisis. Begitu pula ikatan Ti-O-Ti ataupun Si-O-Si juga dihasilkan pada reaksi ini. SCA membentuk ikatan secara kovalen dengan gugus fungsi polimer seperti karbonil, karboksil ataupun ester. Penambahan TiO<sub>2</sub> pada polimer terbukti meningkatkan kepadatan *crosslinking* yang pada akhirnya meningkatkan modulus, mengurangi penyerapan dan kelarutan pada polimer serta meningkatkan sifat fisik dan mekanik. Interaksi ini telah terkonfirmasi melalui uji SEM, EDX dan FTIR.

## DAFTAR PUSTAKA

1. M Hamouda I, Makki A. History and Development of Polymeric Denture Base Reinforcement. *Acta Sci Dent Sciencs*. 2022;(October):111–21.
2. Namazi H. Polymers in our daily life. *BiolImpacts* [Internet]. 2017;7(2):73–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.15171/bi.2017.09>
3. Samantaray R, Mohapatra A, Das SS, Nanda K, Bharadwaj S. Polymers used in dentistry: An overview of literature. *Indian J Forensic Med Toxicol*. 2020;14(4):8883–7.
4. Gharechahi J, Asadzadeh N, Shahabian F, Gharechahi M. Flexural strength of acrylic resin denture bases processed by two different methods. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* [Internet]. 2014;8(3):148–52. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25346833>  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4206756>
5. Alla RK, KN RS, Vyas R, Konakanchi A. Conventional and Contemporary polymers for the fabrication of denture prosthesis: part I-Overview, composition and properties. ~ 82 ~ *Int J Appl Dent Sci* [Internet]. 2015;1(4):82–9. Available from: [www.oraljournal.com](http://www.oraljournal.com)
6. Zafar MS. Prosthodontic applications of polymethyl methacrylate (PMMA): An update. *Polymers (Basel)*. 2020;12(10):1–35.
7. Cazan C, Enesca A, Andronic L. Synergic effect of tio2 filler on the mechanical properties of polymer nanocomposites. *Polymers (Basel)*. 2021;13(12):1–24.
8. Elshereksi NW, Ghazali MJ, Muchtar A, Azhari CH. Perspectives for titanium-derived fillers usage on denture base composite construction: A review article. *Adv Mater Sci Eng*. 2014;2014(July).
9. Zhu D, Hu N, Schaefer DW. Water-based sol-gel coatings for military coating applications. *Handbook of Waterborne Coatings*. Elsevier Inc.; 2020. 1–27 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814201-1.00001-9>
10. Ali Sabri B, Satgunam M, Abreeza NM, N. Abed A. A review on enhancements of PMMA Denture Base Material with Different Nano-Fillers. *Cogent Eng* [Internet]. 2021;8(1). Available from: <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1875968>
11. Al-Janabi SK, Al-Maamori MH, Braihi AJ. Developing of PMMA Bone Cement Performance by Modified TiO<sub>2</sub> NPs . *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2021;1094(1):012150.
12. Chatterjee A. Properties Improvement of PMMA Using Nano TiO<sub>2</sub>. *J Appl Polym Sci*. 2010;116(5):2658–67.
13. Chen Y, Xu H, Sun T. Preparation and study of PMMA/TiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Adv Mater Res*. 2011;233–235:1830–3.
14. Hafizah NN, Ismail LN, Musa MZ, Rusop M. Effect of TiO<sub>2</sub> nanofiller on nanocomposited PMMA/TiO<sub>2</sub> thin film. *Adv Mater Res*. 2012;576:417–20.
15. Hafizah NN, Mamat MH, Abidin MH, Said CMS, Rusop M. Bonding and mechanical properties of PMMA/TiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Adv Mater Res*. 2014;832:700–5.
16. Kango S, Kalia S, Celli A, Njuguna J, Habibi Y, Kumar R. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic – inorganic nanocomposites — A review. *Prog Polym Sci* [Internet]. 2013;38(8):1232–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.02.003>
17. Liu P, Liu H, Liu G, Yao K, Lv W. Applied

- Surface Science Preparation of TiO<sub>2</sub> nanotubes coated on polyurethane and study of their photocatalytic activity. *Appl Surf Sci* [Internet]. 2012;258(24):9593–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.154>
18. Gad MM, Abualsaud R. Behavior of PMMA Denture Base Materials Containing Titanium Dioxide Nanoparticles : A Literature Review. 2019;2019.
19. Mallakpour S, Madani M. A review of current coupling agents for modification of metal oxide nanoparticles. *Prog Org Coatings* [Internet]. 2015;86:194–207. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.05.023>
20. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* [Internet]. 2004;17(2):155–64. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15119865>
21. Ahangaran F, Navarchian AH. Recent advances in chemical surface modification of metal oxide nanoparticles with silane coupling agents: A review. *Adv Colloid Interface Sci* [Internet]. 2020;286:102298. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102298>
22. Moslehifard, E., Robati Anaraki, M. and Shirkavand, S. (2019) 'Effect of adding TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the SEM morphology and mechanical properties of conventional heat-cured acrylic resin', *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 13(3), pp. 234–240. doi:10.15171/joddd.2019.036.