

KEKUATAN MEKANIS ANTIBACTERIAL RESIN CAMPURAN TITANIUM DIOKSIDA

Azamataufiq Budiprasojo

Dosen
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik
Program Studi Mesin Otomotif
Email:
azamataufiq@polije.ac.id

Feby Erawantini

Dosen
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Kesehatan
Program Studi Rekam Medis
Email:
feby_erawantini@polije.ac.id

The aim of this research is to analyze the effect of Titanium Dioxide (TiO₂) nanoparticles as resin concentrate on mechanical strength. The tested mechanical strength is bending strength, Impact Strength, and Microhardness Strength. The types of resin used in this study were acrylic resin without conventional modification and acrylic resin with an additional 0.01 gr and 0.06 gr of TiO₂. Specimen dimensions are made referred to ISO 20795-1 (2008) standard specifications. Mechanical strength was determined by using the universal testing machine, Izod pendulum impact testing machine, and also Vickers microhardness tester. From the analysis, the researcher found that the bending strength of resin acrylic was greatly decreased by increasing the TiO₂ concentration. It happens in both TiO₂ 0.01gr and 0.06gr of acrylic resin compared to the non TiO₂ resin. The impact strength of 0.01gr TiO₂ acrylic resin was significantly increased compared to non TiO₂ acrylic resin. But on the other hand for 0.06gr acrylic resin, impact strength was decreased and recorded the lowest impact strength. The highest Micro hardness strength was found in 0.06gr TiO₂, It is significantly increased compared to 0.01gr TiO₂ and 0gr TiO₂. The general conclusion is, adding 0.01gr TiO₂ nanoparticles as concentrated into acrylic resin can significantly increase the bending strength, bending strength, and microhardness strength. Meanwhile, adding 0.06gr TiO₂ nanoparticles as concentrated into acrylic resin can only increase the bending strength and the microhardness strength, but not for its impact strength.

Keywords : Titanium Dioxide, Resin, Flexural Strength, Impact Strength, Microhardness.

1. PENDAHULUAN

Popularitas resin akrilik meningkat terutama terkait dengan, kemudahan dalam pengaplikasiannya, kemudahan dalam pemolesan, kemudahan pada proses finishing, serta tidak membutuhkan peralatan yang mahal untuk pabrikasi [2]. Sayangnya, hingga saat ini bahan dasar resin akrilik tidak memenuhi semua persyaratan sifat mekanik yang dapat diterima khususnya pada pengaplikasian di bidang rekayasa [3]. Sifat mekanik yang rendah terhadap benturan, tekukan, dan kelelahan merupakan masalah penting yang harus ditangani untuk meningkatkan sifat polimer akrilik [3] [5].

Banyak metode telah digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti mengkoreksi kimiawi struktur polimerik dengan zat aditif seperti polietilen glikol dimetakrilat. Metode lain yang berguna adalah memperkuat komposit dasar akrilik dengan bahan seperti serat dan partikel [6] [7].

Komposit terdiri lebih dari satu jenis material yang didesain untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari masing-masing komponen penyusunnya [1]. Salah satu jenis komposit adalah resin dengan campuran logam dari jenis nano. Meskipun ada banyak jenis logam yang dikategorikan sebagai nanomaterial, TiO₂ merupakan yang paling dikenal Nanopartikel ini semakin banyak digunakan karena fitur yang mengesankan seperti sifat non toksisitas, non aktif secara kimiawi, harga relatif murah, memiliki indeks bias tinggi, mempunyai efek antibakteri, tahan korosi dan memiliki kekerasan mikro yang tinggi.

Lebih lanjut literatur juga menunjukkan bahwa TiO₂ skala nano menjadi agen penguat yang membawa sifat optik, listrik dan fisiokimia baru yang dicapai bahkan pada kandungan TiO₂ yang rendah.

Hal ini membuat polimer TiO₂ nanokomposit menjadi kelas material baru yang menjanjikan. Salah satunya adalah digunakan disektor medis seperti pembuatan organ tiruan. Hal diprediksi akan menguntungkan secara komersial untuk pengaplikasian di bidang yang lebih luas [8] [9].

TiO₂ nanopartikel telah digunakan sebagai aditif untuk biomaterial, untuk menginduksi sifat antimikroba [10]. Aktivitas anti mikroba pada material TiO₂ telah diujikan terhadap *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus acidophilus*, dll. Hasilnya adalah TiO₂ memiliki kemampuan antibakteri khususnya pada bakteri aerob. Hal terkait pada bakteri anaerob masih merupakan bahan kajian pada beberapa penelitian terbaru [11].

Selain kemampuan antibakterinya, sifat mekanik resin akrilik yang menggunakan TiO₂ sebagai campurannya, sama pentingnya untuk dianalisa, Terutama pada kekuatan lentur (Qs) yang menjadi perhatian khusus. Batas minimal standar untuk kekuatan lentur telah ditetapkan untuk semua jenis resin akrilik dengan standar internasional ISO 20795-1 (2008) untuk polimer dasar [12] [13].

Dari standar itu telah dinyatakan bahwa kekuatan lentur ultimate dari setiap bahan terpolimerisasi tidak boleh kurang dari 50 MPa. Oleh karena itu sangat disarankan untuk mengevaluasi efek aditif atau pengubah pada sifat mekanik bahan akrilik untuk menghindari efek merusak yang dapat mengurangi kekuatannya di bawah tingkat standar [10] [14].

Bagaimanapun studi TiO₂ berbasis nanokomposit masih dalam tahap awal, dan banyak penelitian masih harus dilakukan untuk mengeksplorasi metode mensintesis yang lebih baik, untuk menghasilkan struktur nanokomposit yang berbeda dan sepenuhnya dapat dipahami hubungan struktur / properti yang sebenarnya.

Pada penelitian ini, peneliti bertujuan mengetahui pengaruh penambahan TiO₂ nanopartikel terhadap sifat mekanis resin akrilik yang dicampurkan dengan TiO₂, meliputi kekuatan lentur, kekuatan impact, dan kekerasan mikro.

2. METODE DAN BAHAN

Jenis resin akrilik digunakan dalam penelitian ini adalah resin akrilik bening terpolimerisasi. TiO₂ Nanopartikel yang digunakan adalah dengan ukuran diameter rata-rata 46 nm. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah kuat lentur, kekuatan impact, kekerasan mikro. Jenis resin akrilik dengan tambahan titanium dioksida tersebut dimodifikasi dengan menggunakan 0.01gr dan 0.06gr TiO₂ serbuk Np. Dimensi spesimen dibuat sesuai dengan spesifikasi sebagai berikut : 1) spesimen kekuatan lentur 50 mm × 10 (± 0,2) mm × 3 (± 0,2) mm, 2) spesimen uji kekuatan benturan 60 mm × 6,0 mm × 4,0 mm, 3) spesimen kekerasan mikro 25 mm × 10 mm × 3 (± 0,2) mm.

Untuk setiap tes disiapkan 6 kelompok (masing-masing kelompok berisi 5 sampel). Tiga puluh spesimen disiapkan di masing-masing dari tiga pengujian, dengan jumlah total 90 spesimen. Sifat mekanik seperti kekuatan lentur (FS), kekuatan benturan dan kekerasan mikro dari spesimen yang disebutkan di atas ditentukan menggunakan mesin uji universal, mesin uji impact pendulum Izod dan tester kekerasan mikro Vickers.

Spesifikasi ISO No. 1567 diikuti dalam uji kekerasan mikro. Data dikumpulkan dan dianalisis secara statistik. Dari analisis didapatkan data, kekuatan lentur sangat menurun dengan meningkatkan konsentrasi TiO₂ pada kedua jenis resin akrilik bila dibandingkan dengan akrilik yang tidak dicampur TiO₂.

2.1. Persiapan

Sampel Dimensi sampel dipilih sesuai dengan ISO 20795-1 (2008) untuk membandingkan sampel dengan standar (Dimensi spesimen ditunjukkan pada Tabel 1). Untuk mendapatkan permukaan yang halus tanpa porositas, digunakan cetakan stainless steel dengan dimensi tertentu untuk membentuk sampel akrilik. Dua konsentrasi yang berbeda untuk TiO₂ dengan berat 0.01gr dan 0.05gr ditambahkan ke dalam kedua jenis spesimen resin akrilik.

Pembuatan akrilik dilakukan dengan metode cetak pada molding yang telah di sediakan. Resin polyester yang digunakan sebanyak 50 ml untuk satu spesimen, Titanium dioksida dengan jumlah 0,06 gram dan 0.01 gram ditambahkan pada spesimen dengan tentu pula dibuat spesimen resin yang tidak dicampur dengan titanium dioksida.

Spesimen yang diambil diperiksa apakah ada ketidak teraturan. Spesimen yang rusak dibuang dan spesimen akhir dipilih untuk setiap kelompok. Spesimen resin kemudian disimpan dalam air selama 2 minggu sebelum dilakukan pengujian. Tiga puluh spesimen digunakan untuk setiap pengujian kuat lentur, kekuatan impact, dan kekerasan mikro dengan jumlah total 15 spesimen.

Tabel 1: Dimensi spesimen yang digunakan pada penelitian

Jenis Test	Dimensi Spesimen
<i>Bending</i>	50 mm × 10 (±0.2) mm × 3.0 (±0.2) mm
<i>Impact</i>	60 mm × 6.0 mm × 4.0 mm
<i>Micro hardness</i>	25 mm × 10 mm × 3 (±0.2) mm

2.2. Pengelompokan Sampel

Tiga tes dilakukan pada penelitian ini, dengan setiap tes berisi 3 kelompok. Dalam setiap kelompok dibuat 5 spesimen. Tabel 2 menunjukkan klasifikasi kelompok.

Tabel 2: Klasifikasi grup untuk tiap tes

Grup	Deskripsi
C	Acrylic resin Konvensional tanpa aditif sebagai pembanding awal
NC001	Acrylic resin Non Konvensional 0.01gr TiO ₂ sebagai bubuk filler.
NC006	Acrylic resin Non Konvensional 0.06gr TiO ₂ sebagai bubuk filler.

2.3. Kekuatan Lentur / *Bending Strength (BS)*

Spesimen diuji dengan uji bending 3 titik pada mesin uji pada kecepatan cross head 5 mm / menit. Untuk uji bending 3 titik, sebuah perlengkapan dibuat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Gaya maksimum (F) yang diperlukan untuk menghasilkan fraktur spesimen dicatat dalam Newton (N). Kekuatan lentur Q dihitung dalam (MPa) untuk semua spesimen menggunakan Persamaan (1).

$$Q = \frac{3FI}{2BH^2} \quad (1)$$

dimana "F" adalah gaya maksimum / fraktur dalam Newton (N), "I" adalah jarak antara dua titik pendukung dalam (mm); "B" adalah lebar spesimen dalam (mm) dan "H" adalah tinggi spesimen yang dikenakan pembengkokan (mm).

2.4. Kekuatan Impact / *Impact Strength (IS)*

Setelah semua spesimen disimpan dalam cairan aquades dengan kamar suhu 27°C selama 24 jam, dibuatlah takik di tengah masing-masing spesimen pada satu sisi dengan panjang 1,2 mm dengan menggunakan gerinda dan kikir baja lancip. Sampel kemudian diuji dengan pendulum impact tester menggunakan metode IZOD. Spesimen dijepit pada salah satu ujungnya secara vertikal, dan permukaan yang memiliki takik atau lekuk dari spesimen diarahkan menghadap pendulum yang digunakan untuk mematahkan spesimen.

Pengujian dilakukan dengan mesin uji impak pendulum 0,85 J. Energi yang diserap oleh spesimen hingga fraktur terdeteksi dan nilai yang diperoleh ditabulasi untuk analisis statistik. Kekuatan yang dibutuhkan untuk memecahkan sampel dihitung menggunakan Persamaan (2) [15].

$$IS = \frac{EC(\text{Kg} \cdot \text{mm})}{h \cdot bA} \quad (2)$$

dimana "IS" adalah Impact Strength atau kekuatan tumbukan dalam (kJ / mm²), "EC" adalah Energy Correction (EC) energi yang dikoreksi yang diserap dengan mematahkan benda uji, "bA" adalah sisa ketebalan di ujung takik, dan "h" adalah lebar benda uji.

2.5. kekerasan mikro / *Vickers Hardenest Number (VHN)*

Digital display Vickers microhardness tester digunakan untuk menentukan kekerasan permukaan spesimen. Spesimen dipoles dengan berbagai jenis kertas pasir pada permukaan. Penguji kekerasan mikro dilakukan dengan beban 50-gram selama 10 detik. Empat lekukan ditempatkan secara merata di atas permukaan spesimen agar tidak lebih dari 1 mm dari tepi spesimen. Nilai kekerasan permukaan diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3).

$$VHN = 1.854 L/d^2 \quad (3)$$

dimana VHN adalah bilangan kekerasan mikro Vickers dalam Kg / m², L adalah beban dalam Kg dan d adalah panjang diagonal dalam mm. Nilai yang dihitung untuk kekuatan lentur, kekuatan benturan, dan kekerasan mikro kemudian dianalisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan lentur, kekuatan benturan dan kekerasan mikro diukur untuk semua kelompok spesimen dan nilai-nilainya tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 3: Rangkuman kekuatan mekanis specimen

No.	Material	Campuran	Kekuatan Lentur	Kekuatan Impact	Kekerasan Mikro
1	C	Pembanding awal	127,00	2,40	17,71
2			112,00	2,40	17,49
3			105,00	2,70	17,06
4			113,50	2,55	17,03
5			125,00	2,48	17,13
6	NC001	0,01gr	106,00	2,60	18,00
7			101,00	3,20	18,75
8			96,00	3,70	18,03
9			103,00	3,15	17,60
10			101,00	3,45	17,72
11	NC006	0,06gr	92,00	2,50	21,91
12			97,00	2,20	18,68
13			84,00	2,50	20,71
14			88,00	2,35	19,80
15			94,50	2,35	19,20

3.1. Kekuatan Lentur

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik antara kelompok jenis resin akrilik. Kelompok NC006 menunjukkan kekuatan lentur rata-rata tertinggi secara signifikan diikuti oleh NC001 yang mengandung TiO₂ nanopartikel dan kemudian C yang tidak dicampur dengan TiO₂.

3.2. Kekuatan Impact

Analisis dari data kekuatan dampak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kelompok yang diuji. Terdapat penurunan kekuatan impact yang signifikan pada kelompok yang diperkuat dengan 0.06gr (NC006) dibandingkan dengan 0.01gr TiO₂ (NC001).

Namun NC001 mencatatkan hasil yang relative lebih tinggi jika dibandingkan dengan kelompok pembanding awal. Hal ini mengindikasikan bahwa ada kekuatan impact akan meningkat bila diberi campuran titanium dioksida namun pada kondisi campuran yang relatif banyak maka kekuatannya akan menurun.

3.3. Microhardness

Tabel 3 menunjukkan kekerasan mikro rata-rata dari kelompok yang diuji. Pada kedua jenis resin akrilik terdapat perbedaan kekerasan mikro yang signifikan antara semua kelompok.

Perbandingan menunjukkan secara statistik tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelompok pembanding dan kelompok 0.01 dan 0.06gr dalam nilai kekerasan mikro yang tercatat. Nilai kekerasan mikro tercatat memiliki nilai tertinggi pada angka kekerasan mikro untuk 0.06gr walaupun nilainya tidak secara signifikan lebih tinggi dari spesimen uji yang lain.

3.4. Diskusi

Dalam penelitian ini peneliti menemukan fakta bahwa terjadi perubahan dalam sifat mekanik dari tiga jenis resin yang diuji yaitu konvensional, dicampur 0.01gr nanopartikel dan 0.06gr nanopartikel. Perubahan kekuatan mekanik khususnya terjadi untuk kekuatan lentur (FS), kekuatan impact, dan kekuatan micro melalui penggabungan TiO₂ nanopartikel dengan dua konsentrasi.

Peneliti mendapatkan fakta bahwa nilai konsentrasi yang paling sesuai untuk penambahan logam nano titanium dioksida ke resin akrilik, yang menghasilkan sifat terbaik masih belum dapat dibuktikan secara signifikan hingga saat ini. Pendapat ini timbul karena dari uji yang dilakukan belum secara signifikan mengalami perubahan dari segi kekuatan mekanisnya. Selain kekuatan yang tidak signifikan beda, juga ditemukan fakta lain bahwa bila digunakan konsentrasi yang lebih besar dari 0.06gr akan menyebabkan perubahan warna besar-besaran pada warna akrilik [16]. Oleh karena itu, pada penelitian ini hanya dipilih dua konsentrasi yaitu 0.01gr dan 0.06gr.

Berdasarkan nilai kekuatan lentur yang diperoleh dalam penelitian ini, telah dibuktikan bahwa kekuatan lentur akan turun dengan penambahan aditif pada resin akrilik karena ia bertindak sebagai pengotor terutama dengan resin akrilik konvensional [10]. Ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Sodagar et al. [10]. Sebaliknya, penambahan 0.01 TiO₂ ke dapat meningkatkan kekuatan lentur resin. Hasil ini dapat dikaitkan dengan dispersi TiO₂ Np dalam matriks resin yang mempengaruhi derajat konversi yang pada gilirannya menyebabkan peningkatan tingkat monomer sisa yang tidak bereaksi yang bertindak sebagai plasticizer [17].

Hasil tes impact menunjukkan peningkatan yang signifikan untuk resin akrilik konvensional yang dimodifikasi sebesar 0.01gr Np. Namun tidak ada perbedaan signifikan antara ketiga kelompok. Oleh karena itu, penambahan 0.01gr TiO₂ Np ke resin konvensional meningkatkan kekuatan impact resin konvensional untuk mencapai material yang tahan impact tinggi. Pencapaian ini berpotensi dapat menekan banyak biaya dengan cara mengganti material high impact strength konvensional yang harganya lebih mahal.

Di sisi lain, konsentrasi yang lebih tinggi (0.06gr TiO₂) akan menyebabkan penurunan kekuatan impact material resin. Hal ini disebabkan oleh kandungan filler yang lebih tinggi di atas titik jenuh di mana resin tidak dapat secara homogen tercampur partikel filler. Setiap upaya untuk menambahkan partikel pengisi setelah mencapai kejenuhan matriks menyebabkan gangguan pada kontinuitas matriks resin dan dengan demikian menyebabkan penurunan kekuatan spesimen yang diperkuat. Temuan ini konsisten dengan yang dilaporkan oleh penulis yang berbeda [18] [19].

Menambahkan 0.01gr TiO₂ menurunkan kekerasan mikro dari jenis bahan resin, sementara menambahkan 0.06gr TiO₂ dapat meningkatkan kekerasan mikro dari jenis bahan resin namun dengan nilai kekerasan mikro yang hampir identik. Hal ini sangat menarik karena data menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi TiO₂ tidak selalu menunjukkan hubungan positif, namun ada yang menunjukkan hubungan negatif. Terkait hal ini peneliti menduga penyebab dari fenomena ini ada hubungannya dengan terjadinya agglomerasi partikel atau penggumpalan massa dari TiO₂ pada semua specimen campuran 0.01gr TiO₂. Penambahan campuran TiO₂ dalam jumlah yang kecil, belum cukup mampu membuat matrik campuran dari TiO₂ dan resin mampu berikatan secara homogen. Imbasnya adalah terjadi pelemahan dari kekuatan dari campuran yang diindikasikan dengan menurunnya nilai kekerasan mikro. Hal sebaliknya terjadi pada campuran 0.06gr TiO₂, yang menunjukkan tidak adanya agglomerasi partikel pada semua specimen uji. Tentu hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut dengan penelitian lanjutan, diantaranya dengan melakukan uji Diffraction sinar X, uji SEM, serta uji massa jenis komposit polimer. Dengan pengujian pengujian itu bisa membuktikan level agglomerasi partikel pada campuran resin [22].

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Menambahkan 0.01gr TiO₂ dapat meningkatkan kekuatan impact dari bahan resin konvensional untuk mencapai material dengan kekuatan impact tinggi.
2. Menambahkan 0.06gr TiO₂ meningkatkan nilai kekerasan mikro untuk resin konvensional bahan untuk nilai yang cukup baik.
3. Penambahan TiO₂ Np memiliki efek merugikan pada kekuatan lentur resin akrilik resin.
4. Pengaruh TiO₂ Np pada kekuatan lentur bergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis akrilik dan konsentrasi partikel nano.
5. Diperlukan studi lebih lanjut untuk menyelidiki pengaruh bahan nano lain pada mekanik dan sifat fisik.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada jajaran pimpinan Politeknik Negeri Jember, khususnya Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Jember, atas bantuan hibah penelitian sehingga penelitian terkait pengembangan nano material maju ini dapat terlaksana. Tulisan ini merupakan salah satu dari beberapa luaran wajib penelitian yang penulis lakukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] OERBANDONO, T., et al., “Variasi Kekencangan Mula (Pre-Tension) Satu Arah pada Reinforcement Fibre Panel Komposit terhadap Kekuatan Tarik”, *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, v. 5, n. 2, pp. 171-176, 2014.
- [2] AHMED, M.A., EBRAHIM, M.I., “Effect of Zirconium Oxide Nano-Fillers Addition on the Flexural Strength, Fracture Toughness, and Hardness of Heat-Polymerized Acrylic Resin”, *World Journal of Nano Science and Engineering*, v. 4, n. 2, pp. 50-57, Jan. 2014.
- [3] HAMOUDA, I.M. and BEYARI, M.M., “Addition of Glass Fibers and Titanium Dioxide Nanoparticles to the Acrylic Resin Denture Base Material: Comparative Study with the Conventional and High Impact Types”, *Oral Health and Dental Management*, v. 13, n. 1, pp. 107-112, Mar. 2014.
- [4] MOWADE, T.K., DANGE, S.P., THAKRE, M.B., KAMBLE, V.D., “Effect of Fiber Reinforcement on Impact Strength of Heat Polymerized Polymethyl Methacrylate Denture Base Resin: In Vitro Study and SEM Analysis”, *Journal of Advanced Prosthodontics*, 4, pp. 30-36, 2012.
- [5] VALLO, C.I., ABRAHAM, G.A., CUADRADO, T.R., ROMÁN, J.S., “Influence of Cross-Linked PMMA Beads on the Mechanical Behavior of Self-Curing Acrylic Cements”, *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, v. 70, n. 2, pp. 407-416, Sept 2004. .
- [6] SASAKI, H., HAMANAKA, I., TAKAHASHI, Y., KAWAGUCHI, T., “Effect of Reinforcement on the Flexural Properties of Injection-Molded Thermoplastic Denture Base Resins”, *Journal of Prosthodontics*, v. 26, n. 4, Dec. 2015.
- [7] SHIRKAVAND, S., MOSLEHIFARD, E., “Effect of TiO₂ Nanoparticles on Tensile Strength of Dental Acrylic Resins”, *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, v. 8, n. 4, pp. 197-203, 2014.
- [8] REIJNDERS, L., “The Release of TiO₂ and SiO₂ Nanoparticles from Nanocomposites”. *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, n. 5, pp. 873-876, May 2009.
- [9] CHATTERJEE, A., “Properties Improvement of PMMA Using Nano TiO₂”. *Journal of Applied Polymer Science*, 18, 2890-2897, Sept. 2010.
- [10] SODAGAR, A., BAHADOR, A., KHALIL, S., SHAHROUDI, A.S., KASSAEI, M.Z., “The Effect of TiO₂ and SiO₂ Nanoparticles on Flexural Strength of Poly(methyl methacrylate) Acrylic Resins”, *Journal of Prosthodontic Research*, v. 57, n. 1, pp. 15-19, Jan. 2013.
- [11] MANEERAT, C., HAYATA, Y., “Antifungal Activity of TiO₂ Photocatalysis against Penicillium expansum in Vitro and in Fruit Tests”, *International Journal of Food Microbiology*, v. 107, n. 2, pp. 99-103, Apr. 2006.
- [12] AERAN, H., KUMAR, V., UNİYAL, S., TANWER, P., “Nanodentistry: Is Just a Fiction or Future”, *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, v. 5, n.3, pp. 207-211, Aug. 2015.
- [13] ELSAKA, S.E., HAMOUDA, I.M., SWAIN, M.V., “Titanium Dioxide Nanoparticles Addition to a Conventional Glass-Ionomer Restorative: Influence on Physical and Antibacterial Properties”, *Journal of Dentistry*, v. 39, n. 9, pp. 589-598, May 2011.
- [14] ANDREOTTI, A.M., et.al., “Influence of Nanoparticles on Color Stability, Microhardness, and Flexural Strength of Acrylic Resins Specific for Ocular Prosthesis”, *International Journal of Nanomedicine*, v. 9, n. 1, pp. 5779-5787, Dec. 2014.
- [15] ABDULWAHHAB, S.S., “High-Impact Strength Acrylic Denture Base Material Processed by Autoclave”. *Journal of Prosthodontic Research*, v. 57, n. 4, pp. 288-293, Oct. 2013.
- [16] SHI, J.M., BAO, Y.Z., HUANG, Z.M., WENG, Z.X., “Preparation of Poly (Methyl Methacrylate)/Nanometer Calcium Carbonate Composite by in Situ Emulsion Polymerization”. *Journal of Zhejiang University. Science*, v. 5, n.6, pp. 709-713, Jul. 2004.
- [17] SHIBATA, T., et al., “Antifungal Effect of Acrylic Resin Containing Apatite-Coated TiO₂ Photocatalyst”, *Dental Materials Journal*, v. 26, 437-444, May 2007.
- [18] BRADEN, M., “Some Aspects of the Chemistry and Physics of Dental Resins”, *Advances in Dental*

Research, v. 2, pp. 93-97, Aug. 1988.

- [19] VIPUL ASOPA, S.S., *et.al.*, “A Comparative Evaluation of Properties of Zirconia Reinforced High Impact Acrylic Resin with That of High Impact Acrylic Resin”, *The Saudi Journal for Dental Research*, v. 14, n.2, pp. 146-151, Mar. 2015.
- [20] VOJDANI, M., BAGHERI, R. AND KHALEDI, A.A.R., “Effects of Aluminum Oxide Addition on the Flexural Strength, Surface Hardness, and Roughness of Heat-Polymerized Acrylic Resin”, *Journal of Dental Sciences*, v. 7, n. 3, pp. 238-244, Sept. 2012.
- [21] LEE, S.Y., LAI, Y.L. HSU, T.S., “Influence of Polymerization Conditions on Monomer Elution and Microhardness of Autopolymerized Polymethyl Methacrylate Resin”. *European Journal of Oral Sciences*, v. 110, n.2, pp. 179-183, May 2002.
- [22] AKIFAH, N., & JUNAEDI, S. (2017). Pengaruh Penambahan Nano-tio₂ Terhadap Sifat Mekanik Dan Karakteristik Mikro Komposit Geopolimer Sebagai Material Self-cleaning. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 13(3), 282-286.