

Pengaruh perbandingan bahan pengisi (alumina-magnesia-silika) terhadap karakteristik dan kekerasan nanokomposit berbasis geopolimer untuk aplikasi *bracket* ortodontik cekat

Kiky Viviani W

Faculty of Dentistry Maranatha Christian University

Angela Evelyn

Faculty of Dentistry Maranatha Christian University

Bambang Sunendar Purwasasmita

Advanced Material Processing Laboratory, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Bracket keramik memiliki keuntungan yaitu nilai estetik yang baik dan biokompatibilitas yang baik, namun memiliki kelemahan harga yang mahal dan *brittle* sehingga diperlukan bahan alternatif lain seperti komposit. Nanokomposit telah berkembang di berbagai bidang, salah satunya yaitu kedokteran gigi. Nanokomposit sering digunakan karena sintesis relatif sederhana dan dapat meningkatkan karakteristik suatu bahan. Penelitian ini mensintesis alumina, magnesia, silika menggunakan teknik sol- gel untuk *filler* nanokomposit berbasis geopolimer. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan data awal karakteristik dan kekerasan nanokomposit alumina-magnesia-silika. Spesimen penelitian ini adalah nanokomposit dengan perbandingan *filler* alumina-magnesia-silika 48:40:12 (kelompok I) dan 65:30:5 (kelompok II). XRD digunakan untuk mengetahui fasa kristalin dan komposisi serbuk *filler* alumina-magnesia-silika, sedangkan SEM dan uji kekerasan Vickers digunakan untuk mengetahui morfologi mikrostruktur dan kekerasan permukaan nanokomposit. Uji XRD menunjukkan terbentuknya fasa magnesia alumina spinel pada kedua kelompok dengan ukuran kristalin 30-39 nm. Uji SEM menunjukkan persebaran partikel yang lebih merata pada kelompok I, sedangkan pada kelompok II terlihat adanya aglomerasi partikel dan porus. Rerata kekerasan kelompok I 60,16 VHN, sedangkan kelompok II 6,98 VHN. Visualisasi nanokomposit pada kelompok I berwarna transparan dan nanokomposit pada kelompok II berwarna putih opak. Simpulan penelitian ini adalah nanokomposit dengan perbandingan *filler* alumina-magnesia-silika 48:40:12 (kelompok I) memiliki persebaran partikel lebih merata dan kekerasan lebih tinggi dibandingkan nanokomposit dengan perbandingan *filler* alumina-magnesia-silika 65:30:5 (kelompok II), namun aplikasinya sebagai *bracket* ortodontik cekat dibutuhkan penelitian lebih lanjut.

Kata kunci : Bahan pengisi, Geopolimer, Nanokomposit

Korespondensi:

Kiky Viviani

Faculty of Dentistry
Maranatha Christian
University

Alamat: Jalan Surya Sumantri
No.65, Sukawarna, Sukajadi,
Kota Bandung, Jawa Barat 40164

The effect of filler comparasion (alumina-magnesia-silica) to geopolymer nanocomposite characteristics and hardness for fixed orthodontic bracket application

Abstract

Ceramic bracket has advantage that good aesthetic and good hardness, however it has weaknesses which are high cost and brittle so that, it needed others alternative substances such as composite. Nanocomposite has grown in many regions, one of them is in dentistry. Nanocomposite frequently used because of synthesis relative simple and it can increase characteristics substance. This study was alumina, magnesia, silica synthesized with sol-gel technique for filler of nanocomposite based geopolymer. The purposes of this study are to obtain initial characteristics and hardness of nanocomposite alumina-magnesia-silica. Specimens of this study were nanocomposite with ratio filler alumina- magnesia-silica 48:40:12 (group I) and 65:30:5 (group II). XRD used to determine the crystalline phase and composition filler powder alumina-magnesia-silica, whereas SEM and Vickers hardness test used to determine the morphology microstructure and hardness nanocomposite surface. XRD test represent phase magnesia alumina spinel formed in both groups, with crystalline size are 30-39 nm. SEM test of group I represent particle dispersion more prevalent, whereas SEM test of group II represent agglomeration particle and porous. The average of group I was 60,16 VHN, while the average of group II was 6,98 VHN. Visualization nanocomposite of group I represent transparent color and group II represent white opaque color. Conclusion of this study is nanocomposite with ratio of filler alumina- magnesia-silica 48:40:12 (group I) has particle dispersion more prevalent and hardness higher than nanocomposite with ratio of filler alumina-magnesia-silica 65:30:5 (group II), but the application as a bracket fixed orthodontic further study is needed.

Keywords: *Filler, Geopolymer, Nanocomposite*

Pendahuluan

Bracket merupakan komponen pasif pada alat ortodontik cekat yang menempel pada gigi dan berfungsi menyalurkan gaya ke gigi. Suatu *bracket* ortodontik cekat setidaknya harus memiliki karakteristik antara lain biokompatibel, resiko korosi rendah, tidak mengalami deformasi dan diskolorisasi, gaya friksi dengan kawat rendah, densitas rendah, *tensile strength* tinggi, *fracture toughness* tinggi, dan

kekerasan yang cukup (setara dengan kekerasan enamel gigi). Material yang paling sering digunakan untuk fabrikasi *bracket* adalah logam, khususnya *stainless steel*.

Material ini sering digunakan karena harganya relatif terjangkau, modulus elastisitasnya tinggi, dan memiliki ketahanan terhadap fraktur yang baik, namun memiliki kelemahan yaitu densitas lebih tinggi dibandingkan dengan jenis lain (8 g/cm^3), resiko terjadinya korosi dan alergi, dan nilai estetik yang rendah.¹⁻⁴

Perkembangan ilmu material kedokteran gigi saat ini tidak hanya mementingkan fungsi mekanis namun juga fungsi estetik, karena itu, material *bracket* yang saat ini banyak digunakan adalah keramik. *Bracket* keramik selain memiliki nilai estetik yang lebih baik, bahan ini juga memiliki karakteristik antara lain resistensi korosi tinggi, biokompatibilitas sangat baik, dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan *bracket stainless steel*. Keramik sebagai *bracket* juga memiliki kekurangan yaitu antara lain *brittle* dan harga relatif mahal sehingga dibutuhkan bahan alternatif yang dapat digunakan bahan *bracket*, salah satunya yaitu komposit.⁴

Nanokomposit merupakan pencampuran dua atau lebih material berukuran nano (10^{-9} mm) yang bertujuan meningkatkan sifat. Nanokomposit lebih unggul dibandingkan dengan komposit konvensional karena memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga menunjukkan interaksi antar partikel yang lebih banyak yang menyebabkan adanya peningkatan karakteristik. Nanokomposit juga memiliki suhu dan dimensi yang lebih stabil dan sifat optik yang lebih baik.⁵⁻⁹

Filler merupakan komponen yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis dan fisik suatu komposit. Bahan *filler* komposit yang umumnya digunakan adalah *quartz* dan silika, namun bahan alumina (Al) dan magnesia (Mg) juga dapat digunakan sebagai *filler*. Spinel magnesia alumina atau yang sering disebut 'spinel' merupakan fasa keramik yang terdiri dari magnesia dan alumina. Keuntungan spinel magnesia alumina antara lain kemampuan menahan panas dengan titik leleh mencapai 2135°C , densitas yang relatif rendah (kurang dari 4 g/cm^3), proses sintesis yang relatif sederhana, dan transmisi spinel yang dapat berwarna transparan yaitu antara 0,2 hingga 6 mikron.¹⁰⁻¹⁴

Matriks komposit umumnya terbuat dari polimer. Geopolimer adalah bahan inorganik aluminasilikat yang diaktivasi dengan larutan alkali kuat atau larutan

alkali-silikat melalui proses eksotermik pada suhu dibawah 100°C . Bahan geopolimer dilaporkan memiliki kekuatan mekanis yang tinggi, densitas yang ringan, absorpsi air yang lebih rendah, *shrinkage* yang rendah, dan ketahanan terhadap suhu yang baik. Proses geopolimerisasi akan terbentuk dari ikatan polisialat yang terdiri dari ikatan sialat. Ikatan sialat merupakan ikatan *silicon-oxo-aluminate* yang mempunyai rumus kimia $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$. Ikatan ini terdiri dari ikatan tetrahedral dari SiO_4 dan AlO_4 yang dihubungkan dengan atom oksigen.¹⁵⁻¹⁶

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka dilakukan penelitian dengan sintesis nanokomposit berbasis geopolimer dengan menggunakan bahan pengisi alumina, magnesia, dan silika yang bertujuan untuk mendapatkan sifat material yang lebih baik.

Metode penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuasi eksperimental atau sering disebut eksperimental semu. Hasil penelitian dianalisis menggunakan uji *t-test independent* dengan perangkat lunak SPSS, dengan kemaknaan berdasarkan nilai $p < 0,05$ dan analisis dilakukan dengan menggunakan program komputer. Penelitian dilakukan di *Advanced Material Processing Laboratorium* Institut Teknologi Bandung, *Laboratorium scanning electron microscope* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Kota Bandung (karakterisasi SEM), Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung (uji kekerasan) dari bulan Januari hingga September 2015.

Penelitian ini membandingkan nanokomposit berbasis geopolimer dengan perbandingan *filler* alumina-magnesia-silika 48:40:12 dengan 65:30:5. Terdapat 5 spesimen pada setiap kelompok. Kedua kelompok ini dilakukan pemeriksaan karakteristik SEM dan uji kekerasan menggunakan *Vickers hardness test* sebagai penelitian awal nanokomposit untuk aplikasi *bracket* ortodontik cekat.

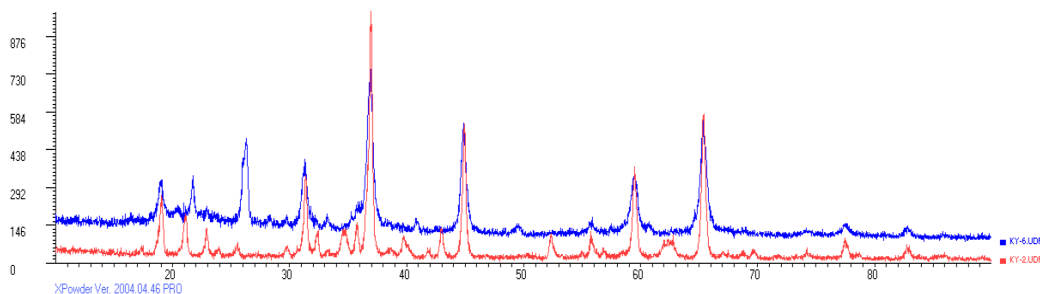
Hasil penelitian

Sebelum dilakukan pemeriksaan karakteristik dan uji kekerasan, serbuk *filler* dari dua kelompok dilakukan analisis menggunakan *x-ray diffraction* (XRD). Analisis XRD memperlihatkan gambar difraktogram seperti gambar 1. Gambar difraktogram dianalisis menggunakan program *xpowder* dan didapatkan jenis fasa dan struktur kristal yang terbentuk pada serbuk *filler* nanokomposit. Struktur kristal pada serbuk *filler* teridentifikasi pada tabel 1 dan 2.

Puncak pada difraktogram yang sempit dan tajam memperlihatkan tingkat kristalinnya yang tinggi. Hasil grafik difraktogram menyatakan senyawa kristalin spinel magnesita alumina berhasil disintesis menggunakan teknik sol-gel. Kelompok I dengan perbandingan *filler* 48:40:12 memiliki kandungan spinel yang lebih tinggi dibanding dengan kelompok II dengan

presentase 65,7% seperti yang terlihat pada tabel 4.2. Serbuk pada kelompok I dan II (juga terlihat senyawa yang belum mengalami reaksi, pada kelompok I terdapat fasa *periclase* dengan senyawa MgO. Hasil XRD juga dapat diolah menggunakan *xpowder* sehingga dapat mengetahui ukuran partikel, pada penelitian ini ukuran partikel berkisar antara 30 nm hingga 39 nm.

Hasil SEM pada kelompok I yaitu *filler* dengan perbandingan Al:Mg:Si 48:40:12 memperlihatkan adanya fasa spinel yang diikat dengan silika yang jelas terlihat pada gambar 2(a). Hasil SEM pada kelompok I memperlihatkan persebaran partikel yang lebih merata dibanding dengan kelompok II. Hasil SEM pada kelompok II memperlihatkan adanya penggumpalan partikel dan adanya poros pada permukaan nanokomposit. Kedua kelompok pada hasil SEM memperlihatkan masih terdapat sisa sintesis atau bahan pengotor.



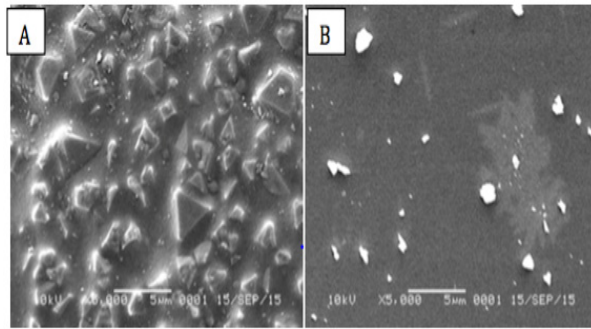
Gambar 1. Difraktogram *filler* nanokomposit. (biru) perbandingan *filler* 48:40:12; (merah) perbandingan *filler* 65:30:5

Tabel 1. Hasil analisa *xpowder* pada perbandingan *filler* 48:40:12

Kode pada Xpowder	Nama Mineral	Nama Senyawa	Presentase (%)
050672	Spinel	MgAl ₂ O ₄	65,7
040768	Forsterite	Mg ₂ SiO ₄	15,3
100033	Sodium aluminium silicate	Na ₆ (Al, Si) ₄ O ₁₇	10,9
030998	Periclase	MgO	8

Tabel 2. Hasil analisa *xpowder* pada perbandingan *filler* 48:40:12

Kode pada Xpowder	Nama Mineral	Nama Senyawa	Presentase (%)
050672	Spinel	MgAl ₂ O ₄	47,4
040768	Forsterite	Mg ₂ SiO ₄	21,1
100033	Sodium aluminium silicate	Na ₆ (Al, Si) ₄ O ₁₇	27,7
030998	Periclase	MgO	23,7



Gambar 2. Hasil karakterisasi SEM Perbesaran 5000x.
(a) spesimen perbandingan *filler* Al-Mg-Si 48:40:12;
(b) spesimen perbandingan *filler* Al-Mg-Si 65:30:5

Tabel 3. Hasil uji kekerasan (VHN)

	I	II
1	24,7	9,1
2	57,5	7,0
3	64,9	5,3
4	85,5	8,5
5	68,2	5,0

Tabel 4. Hasil uji perbedaan rerata kekerasan

	Kelompok 1 AL:Mg=Si=48:40:2	Kelompok 2 AL:Mg=Si=48:40:2
Kekerasan	60,16± 22,32550	6,98± 1,84038
P-Value	0,001	

Uji kekerasan dilakukan menggunakan mesin micro-vicker hardness LECO- Japan-M-400-H1/H2/H3, dengan beban 100 gram selama 15 detik pada sepsimen uji. Pengujian dilakukan pada 10 spesimen yang terbagi dalam 2 kelompok. Setiap spesimen diindentasi sebanyak tiga titik pada permukaan bawah spesimen untuk uji kekerasan metode *Vicker hardness test*. Pengujian kekerasan pada spesimen yang berbeda konsentrasi yaitu spesimen dengan perbandingan *filler* Al-Mg-Si 48:40:12 (Kelompok I) dan spesimen dengan perbandingan *filler* Al-Mg-Si 65:30:5 (Kelompok II), sehingga menghasilkan nilai seperti pada tabel 3.

Tabel 4 menunjukkan hasil uji kekerasan rerata setiap kelompok konsentrasi dimana nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh kelompok I. Perbedaan rerata

kekerasan antara kelompok I dan II menunjukkan nilai *p-value* 0,001 yang dapat diartikan uji statistik dinyatakan bermakna karena memenuhi syarat yaitu *p-value* < 0,05. Terdapat perbedaan kekerasan yang signifikan antara nanokomposit berbasis geopolimer dengan perbandingan *filler* alumina- magnesia-silika 48:40:12 dan 65:30:5.

Pembahasan

Hasil sintesis dengan menggunakan teknik sol-gel berbasis geopolimer dikarakterisasi unsur dan strukturnya dengan menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) untuk mendapatkan data mikrostruktur yang terbentuk. Puncak pada difraktogram yang sempit dan tajam memperlihatkan tingkat kristalinitas yang tinggi. Hasil XRD pada penelitian ini memperlihatkan persentase fasa spinel paling tinggi yaitu 65,7% pada serbuk *filler* dengan perbandingan alumina:magnesia:silika 48:40:12 (kelompok I), namun terdapat senyawa *filler* yang belum bereaksi yaitu magnesia oksida sebesar 8% pada kelompok perbandingan *filler* alumina:magnesia:silika 48:40:12 (kelompok I). Presentase struktur kristalin magnesia alumina spinel lebih rendah pada serbuk *filler* dengan perbandingan alumina:magnesia:silika 65:30:5 yaitu sebesar 47,4%. Hal ini dapat disebabkan karena pada kalsinasi awal reaksi spinel belum sempurna, yaitu antara 55-70% yang telah beraksi. Hasil sintesis menggunakan teknik sol-gel ini dapat menghasilkan partikel berukuran nano yang terlihat melalui hasil XRD, dengan ukuran kristalin 30-39 nm.¹⁷

Kalsinasi awal pada penelitian ini dilakukan dengan suhu 1100 °C dengan *holding time* selama 2 jam. Suhu tersebut didapatkan melalui studi pustaka pada beberapa penelitian sebelumnya yang umumnya dilakukan proses *sintering* dengan menggunakan rentang suhu 1300-1900 °C untuk mencapai sifat yang diinginkan, dimana reaksi spinel akan sempurna pada suhu 1450-1470 °C dan titik leleh spinel terjadi pada suhu 2135 °C. Spesimen pada

penelitian ini telah mengalami pelelehan, hal ini dapat disebabkan karena ukuran partikel yaitu nanometer sehingga suhu *sintering* yang seharusnya lebih rendah dibandingkan penelitian yang telah ada. Hasil uji SEM pada kedua kelompok uji memperlihatkan adanya perbedaan yang nyata. Komposit dengan perbandingan *filler* alumina:magnesia:silika 65:30:5 terlihat penggumpalan spinel yang tidak merata, sedangkan pada permukaan komposit dengan perbandingan *filler* alumina:magnesia:silika 48:40:12 terlihat persebaran *filler* yang lebih merata antar partikel. Hasil penelitian pada uji SEM juga masih memperlihatkan adanya porus pada kelompok uji II dengan perbandingan *filler* 65:30:5.¹⁷⁻¹⁸

Berdasarkan hasil uji kekerasan menggunakan *Vickers Hardness Test* didapatkan kekerasan rerata pada tiap kelompok yaitu 60,16 VHN pada spesimen nanokomposit dengan perbandingan *filler* 48:40:12 (kelompok I) dan 6,98 VHN pada spesimen nanokomposit dengan perbandingan *filler* 65:30:5 (kelompok II). Hal ini disebabkan nanokomposit dengan perbandingan *filler* 48:40:12 (kelompok I) memiliki struktur magnesia alumina spinel ($MgAl_2O_4$) yang lebih tinggi dibandingkan nanokomposit dengan perbandingan *filler* 65:30:5 (kelompok II) yaitu sebesar 65,7%, dimana struktur magnesia alumina spinel memiliki kekerasan yang lebih tinggi (8-8,5 *Mohs*) dibandingkan dengan struktur kristal lain. Perbedaan kekerasan pada kedua kelompok uji juga dipengaruhi oleh persebaran partikel yang terlihat pada hasil uji *scanning electron microscope* (SEM), pada nanokomposit dengan perbandingan *filler* 48:40:12 (kelompok I) memperlihatkan persebaran *filler* yang lebih merata dibandingkan dengan nanokomposit dengan perbandingan *filler* 65:30:5 (kelompok II) yang masih memperlihatkan persebaran *filler* yang tidak merata dan terlihat adanya penggumpalan *filler* pada sampel. Hal lain yang mungkin dapat mempengaruhi kekerasan kelompok uji adalah porositas nanokomposit yang dapat mempengaruhi akurasi uji kekerasan suatu permukaan,

pada spesimen nanokomposit dengan perbandingan *filler* 65:30:5 (kelompok II) masih memperlihatkan beberapa porus pada spesimen. Hal yang mungkin dapat mempengaruhi uji kekerasan pada penelitian ini adalah jarak antar indentasi yang terlalu sempit. Uji kekerasan menurut standar ISO 6507-1 menyatakan suatu spesimen harus memiliki ketebalan minimal 10 kali dari kedalaman indentasi, hal ini dapat mempengaruhi kekerasan pada penelitian ini disebabkan tidak dapat dikontrolnya ketebalan spesimen pada penelitian ini. Komposit dengan perbandingan *filler* alumina-magnesia-silika pada penelitian ini menghasilkan kekerasan rerata yang paling tinggi yaitu 60,16 VHN, dari hasil tersebut dibutuhkan kekerasan yang lebih tinggi untuk dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *bracket* pada ortodontik cekat. *Bracket* ortodontik cekat setidaknya memiliki kekerasan 345 VHN atau hampir setara dengan enamel gigi, hal ini mengacu pada beberapa kekerasan *bracket* stainless steel yang terdapat dipasaran. Bahan *bracket* ortodontik cekat tidak hanya membutuhkan kekerasan, namun juga karakteristik lain dari suatu bahan antara lain gaya friksi dengan kawat, densitas, *tensile strength*, kekuatan elongasi, *fracture toughness*, biokompatibilitas, dan lain-lain sehingga diperlukannya penelitian yang lebih lanjut untuk dapat memenuhi kriteria bahan untuk *bracket* ortodontik cekat.¹⁹⁻²²

Simpulan

Nanokomposit berbasis geopolimer dengan perbandingan *filler* alumina:magnesia:silika 48:40:12 memiliki karakteristik yang lebih baik yaitu presentase fasa kristalin magnesia alumina spinel yang lebih tinggi (65,7%) dengan ukuran kristalin 30-39 nm dan persebaran *filler* yang merata. Terdapat perbedaan kekerasan yang signifikan antara nanokomposit berbasis geopolimer dengan perbandingan *filler* 48:40:12 dan nanokomposit berbasis geopolimer dengan perbandingan *filler* 65:30:5, dimana nanokomposit berbasis

geopolimer yang memiliki perbandingan *filler* 48:40:12 menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi yaitu dengan rerata 60,16 VHN. Hasil penelitian ini dilihat dari kekerasannya belum dapat digunakan untuk bahan *bracket* ortodontik cekat yang membutuhkan kekerasan ± 345 VHN atau hampir setara dengan kekerasan enamel gigi.

Hasil penelitian ini telah dapat membentuk spinel dengan ukuran nano, namun masih banyak ditemukan bahan pengotor atau sisa reaksi pada permukaan mikrostruktur spesimen. Nanokomposit alumina-magnesia-silika berbasis geopolimer telah menghasilkan nanokomposit dengan warna transparan, namun spesimen telah melewati suhu *sintering* (pemanasan akhir) yang seharusnya.

Daftar pustaka

1. Mitchel L. *An Introduction Of Orthodontic*. 2nd ed. Oxford, Oxford University: Oxford University Press; 2001: 2-3, 162.
2. Tamizharasi, Kumar S. *Evolution of Orthodontic Brackets*. JIADS (1); 2010: 25.
3. Oh KT, Choo SU, et al. *A Stainless Steel Bracket For Orthodontic Application*. European Journal of Orthodontic (27); 2005: 241.
4. Gautam P, Valiathan A. *Ceramic Bracket : In Search of an Ideal!*. Trend Biomater (20); 2007: 1-6.
5. McCabe JF, Walls WG. *Applied Dental Material*. 9th ed. UK; Blackwell Publishing; 2008: 196.
6. Campbell FC. *Introduction to Composite Material*. ASM International; 2010: 1.
7. Camargo PHC, Satyanarayana KG, Wypych F. *Nanocomposites: Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities*. Materials Research; 2009; 1(12): 1.
8. Mukherjee S. *Applied Mineralogy: Applications in Industry and Environment*. India; Springer; 2011: 373.
9. Manappallil JJ. *Basic Dental Materials*. 2nd ed. USA, Missouri; Jaypee; 2003: 127, 263.
10. Anusavice KJ. *Philips' Science of Dental Material*. 11th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2003: 401, 203, 97-98.
11. Evelyn A. *Sintetis dan Analisi Mikrostruktur Al₂O₃-SiO₂-ZrO₂ Berukuran Nano Sebagai Bahan Pengisi Restorasi Mahkota Jacket Resin Polymethylmethacrylate Heat-Cured serta Uji Sifat Mekanisnya*. Bandung; Universitas Padjajaran; 2010: 3, 13, 14.
12. Bensalah W, Elleuch K, Feki M, Wery M, Ayedi HF. *Mechanical and Abrasive Wear Properties of Anodic Oxide Layers Formed on Aluminium*. J. Mater. Sci. Technol; 2009; 4(25):509.
13. Racher PR, McConnell RW, Buhr A. *Magnesium Aluminate Spinel Raw Materials for High Performance Refractories for Steel Ladles*. p: 2-4 .
14. Meir S. *Fabrication of Transparent Magnesium Aluminate Spinel by the Spark Plasma Sintering Technique*. Ben-Gurion University of the Negev Faculty of Engineering Science Department of Materials Engineering; 2008: p: 11.
15. Thakur RN, Ghosh S. *Effect Of Mix Composition On Compressive Strength And Microstructure Of Fly Ash Based Geopolymer Composites*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences; 2009; 4(29): 68.
16. Ghosh K, Ghosh P. *Effect Of Synthesizing Parameters On Compressive Strength Of Flyash Based Geopolymer Paste*. International Journal Of Structural And Civil Engineering; 2012; 8(1):8.
17. Ping LR., Azad AM, Dung TW. *Magnesium aluminate (MgAl₂O₄) spinel produced via self-heat-sustained (SHS) technique*. Materials Research Bulletin; 2001; (36) 1418.
18. Zou B, Khan ZS, et al. *Microstructure, Oxidation Protection and Failure Mechanism Yb₂SiO₅/ LaMgAl₁₁O₁₉ Coating Deposited on C/SiC Composites by Atmospheric Plasma Spraying*. Elsevier; 2012: (62) 197.
19. Graf RB, Wahl FM, Grim RE. *Phase Transformations in Silica-Alumina-Magnesia Mixtures as Examined by*

- Continuous X-ray Diffraction: II Spinel-Silica Compositions.* The American Mineralogist (48); 1963: 152.
20. Selim A. *A Literature Review: Orthodontic Brackets.* Türk Ortodonti Dergisi; ARICI (11); 1998: 179, 181-182.
21. Clocheret K, Willems G, dkk. *Dynamic Frictional Behavior of Orthodontic Archwires and Brackets.* European Journal of Orthodontics; 2004; 26(2):168.
22. Levi EE. *Practical Hardness Testing: Made Simple.* Welding-advisers; 2003: 14-16