

Studi Konduktivitas Listrik Nanosemen Gigi *Zinc Oxide Eugenol*

Artika Kusuma Ramadani^{1,2}, Drs. Siswanto, M.Si¹, Drs. Bambang Suprijanto, M.Si

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

²artika.kr@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi terhadap nilai konduktivitas listrik nanosemen gigi *zinc oxide eugenol*. Pencampuran semen gigi *zinc oxide eugenol* dilakukan dengan variasi komposisi bubuk nanopartikel *zinc oxide* 0,45gr, 0,50gr, 0,55gr, 0,60gr, 0,65gr dan cairan *eugenol* 0,2 ml. Bubuk nanopartikel *zinc oxide* dicampur sedikit demi sedikit dengan cairan *eugenol* sehingga hasil percampuran membentuk pasta. Metode pengukuran nilai konduktivitas listrik dengan *four point probe* dan karakterisasi meliputi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan uji densitas. Serangkaian penelitian dan analisis diperoleh bahwa nanosemen gigi *zinc oxide eugenol* memiliki nilai densitas semakin meningkat seiring peningkatan komposisi bubuk *zinc oxide* dengan nilai densitas optimum 1,721228 gram/cm³, morfologi permukaan sampel semen gigi berbahan dasar nanopartikel semakin halus dan mengurangi retakan seiring peningkatan komposisi bahan tersebut. Nilai konduktivitas listrik semakin menurun seiring penambahan komposisi bubuk nanopartikel *zinc oxide* hingga $1,06 \times 10^{-3}$ (Ohm.cm)⁻¹. Diperoleh kesimpulan bahwa penambahan komposisi nanopartikel *zinc oxide* menurunkan nilai konduktivitas listrik nanosemen gigi *zinc oxide eugenol*.

Kata kunci : FPP, konduktivitas, semen gigi *zinc oxide eugenol*

Abstract

This research aims to determine the effect of variations in the composition of the value of the electrical conductivity of zinc oxide eugenol nano-cement teeth. Mixing zinc oxide eugenol dental cement made with variations of zinc oxide nano-particle powder composition of 0.45 grams, 0.50 grams, 0.55 grams, 0.60 grams, 0.65 grams and 0.2 ml of fluid eugenol. Nano-particles of zinc oxide powder mixed with liquid little by little so that the mixture of eugenol to form a paste. Method of measuring the electrical conductivity values with the four -point probe and characterization include Scanning Electron Microscopy (SEM) and density test. A series of research and analysis shows that the zinc oxide eugenol nano-cement teeth have density values are increasing with the increase in the composition of zinc oxide powder with a value of 1,721228 gram/cm³ optimum density , surface morphology of dental cement samples based nanoparticles are increasingly refined and reduce cracks with increases in material composition the . Value of the electrical conductivity decreases with increasing zinc oxide nano-particle powder composition up to $1,06 \times 10^{-3}$ (Ohm.cm)⁻¹. We concluded that the addition of zinc oxide nano-particle compositions lowers the value of the electrical conductivity of zinc oxide eugenol nano-cement teeth.

Keywords : Conductivity, FPP, *zinc oxide eugenol dental cement*

PENDAHULUAN

Kerusakan gigi seperti karies gigi merupakan hilangnya ion mineral pada email atau permukaan gigi yang distimuli oleh bakteri. Karies dapat menyebabkan berbagai hal seperti ngilu pada gigi, *gangrene* pulpa, penurunan kualitas hidup, bahkan dapat menyebabkan serangan jantung akibat infeksi fokal. Upaya penanganan kerusakan gigi dapat diatasi dengan cara restorasi gigi. Restorasi gigi dapat berupa penambalan gigi berlubang, terapi saluran akar, pencabutan gigi (Sadewi, 2011).

Restorasi gigi dapat menggunakan berbagai material antara lain amalgam, emas, porselin, resin untuk gigi dan beberapa jenis polimer (Nugroho, 2007). Penggunaan polimer sebagai bahan restorasi terus dikembangkan antara lain semen gigi. Aplikasi semen gigi untuk penanganan kerusakan gigi terdiri dari campuran bahan berupa bubuk (*powder*) dengan cairan. Terdapat empat macam bahan dasar yang banyak digunakan untuk pembuatan semen gigi sebagai bahan restorasi yaitu, seng oksida eugenol (*zinc oxide eugenol*), seng fosfat (*zinc phosphat*), seng polikarboksilat (*zinc polycarboxylate*), gelas ionomer (*glass ionomer*) (Nugroho, 2007). *Zinc oxide eugenol* digunakan sebagai semen sementara, mahkota, dan jaket, sedangkan *zinc phosphat* digunakan sebagai semen dasar sebelum penambalan tetap, *zinc polycarboxylate* digunakan sebagai perekat, bahan tambal sementara, dan *glass ionomer* digunakan semen dasar, bahan restorasi gigi depan (Combe, 1992). Semen gigi dalam aplikasinya harus memenuhi beberapa karakteristik seperti viskositas rendah, tahan terhadap suasana asam, kekuatan tarik dan tekan tinggi, biokompatibilitas, tahan terhadap deformasi plastis, bertahan lama dalam segala suasana di dalam mulut dan bukan penghantar panas. Semen gigi harus bersifat bakteristatik dan memiliki kelarutan dalam saliva yang rendah (Abdillah dkk, 2011). Bahan dasar semen gigi yang banyak digunakan karena sifat bahan yang lebih unggul adalah *zinc oxide eugenol*.

Penelitian sebelumnya tentang karakteristik dari semen gigi *zinc oxide eugenol* telah dilakukan oleh Sadewi (2011) menunjukkan bahwa memiliki nilai resistivitas yang tinggi, tidak menyebabkan iritasi maupun nyeri pada pulpa. Namun, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Prihantini (2011) semen gigi *zinc oxide eugenol* memiliki sifat mekanik rendah dan kelarutan terhadap air tinggi maka perlu adanya perubahan bahan dasar *zinc oxide* dari partikel berukuran mikro menjadi partikel berukuran nano untuk meningkatkan sifat fisik maupun sifat mekanik. Ukuran partikel dalam orde nanometer berimbas pada beberapa sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, transparansi, kekuatan mekanik, konduktivitas listrik dan magnetisasi. Dalam aplikasinya, semen gigi tidak memerlukan konduktivitas listrik yang tinggi. Semen gigi yang memiliki sifat listrik dikhawatirkan akan berinteraksi dengan senyawa-senyawa lain dan mengalami efek galvanik di dalam mulut. Efek galvanik merupakan reaksi yang disebabkan oleh reaksi bahan restorasi di dalam mulut yang dapat menimbulkan tegangan (*voltages*) sekitar puluhan hingga ratusan kali lebih besar daripada yang dihasilkan otak dan dapat menimbulkan arus dan gelombang elektromagnetik mengganggu impuls otak.

Fokus dari penelitian ini adalah mengukur nilai konduktivitas listrik nanosemen gigi *zinc oxide eugenol* dengan variasi komposisi bahan *zinc oxide* menggunakan metode *four point probe*. Karakterisasi yang digunakan meliputi uji kerapatan (*density*) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk dapat mengetahui pengaruh variasi komposisi *zinc oxide* terhadap nilai konduktivitas listrik nanosemen gigi *zinc oxide eugenol*.

Gigi merupakan bagian terkeras di dalam mulut pada banyak vertebrata. Gigi memiliki fungsi utama untuk mengunyah dan merobek makanan. Gigi terdiri dari rahang atas dan rahang bawah. Struktur gigi antara lain terdiri dari mahkota, enamel, dentin, pulpa gigi, leher gigi dan akar gigi. Struktur enamel keras padat tetapi permeable (dapat ditembus) oleh ion atau molekul melalui struktur hipomineralisasi, terdiri atas susunan kimia kompleks, sebagian besar terdiri dari 97% mineral (kalsium, fosfat, karbonat dan fluor), air 1% dan bahan organik 2% yang terletak dalam satu pola kristalin (Combe, 1992). Dentin lebih cepat membusuk dan mengalami kerusakan atau menjadi sasaran lubang hebat bila tidak dirawat dengan baik karena dentin lebih lembut daripada email gigi (Sa'ada, 2010).

Zinc oxide (ZnO) merupakan material organik yang unik dan menjadi kunci pada penelitian yang luas karena fitur karakteristik dan aplikasi baru dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (Wang, 2004). Semen *zinc oxide eugenol* terbentuk dari bahan dasar bubuk (powder) *zinc oxide* dan cairan eugenol. Sifat dari semen gigi ini tidak menyebabkan iritasi ataupun toksisitas terhadap jaringan, antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri pada dinding kavitas, mengurangi rasa nyeri pada pulpitis (Wahyudi, 2005). Semen gigi *zinc oxide eugenol* ini merupakan bahan yang paling tidak mengiritasi dari semua bahan gigi, dan merupakan penutup yang istimewa terhadap kebocoran (Anusavie, 2003).

Cairan eugenol dalam pembuatan semen gigi bermanfaat untuk mengurangi rasa nyeri pada pulpitis, yang disebabkan kemampuannya dalam memblokir impuls syaraf. Selain itu, eugenol memiliki sifat antibakteri yang dapat menekan perkembangan bakteri sehingga dapat mengurangi metabolisme toksik yang mungkin menyebabkan inflamasi pulpa (Wahyudi, 2005). Karena kelebihan sifat eugenol *relief of pain* (menghilangkan rasa nyeri), meminimalkan kebocoran, dan memberikan perlindungan terhadap pulpa, cairan eugenol paling sering digunakan ketika merawat lesi karies yang besar (Baum, 1997).

Material berukuran nanopartikel akan memiliki sifat yang berbeda dari material sebelumnya karena materi penyusunnya akan berbeda pula. Material nanopartikel dapat berubah bentuk, dan ukurannya juga dapat berubah karena material nanopartikel mudah bereaksi dengan lingkungan (Rochman, 2009). Material berukuran nanometer memiliki sifat yang kaya karena menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh material berukuran besar (*bulk*). Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel (Astuti, 2007). Ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, hukum-hukum fisika yang mendominasi adalah hukum-hukum mekanika kuantum (Mikrajuddin, dkk, 2008). Dalam aplikasi nanopartikel dalam dunia kedokteran ukuran partikel yang digunakan ukuran antara 100-150 nm dikarenakan ukuran nanopartikel yang lebih kecil lebih mahal dan juga dalam aplikasinya belum tentu lebih baik, mengingat bahwa nanopartikel lebih reaktif.

Prinsip kerja *four point probe* yaitu sebelum arus dialirkan melalui probe, keempat probe diturunkan hingga menyentuh permukaan sampel. Kemudian arus dialirkan melalui probe 1 dan 4. Dengan cara ini, arus akan didistribusikan secara laminar melalui sampel dari probe satu menuju probe yang lainnya. Saat probe 2 dan 3 bersentuhan dengan sampel, tegangan akan diukur dengan voltmeter. Dari variasi perubahan arus yang diberikan, akan diperoleh tegangan yang diukur. Aliran arus pada probe 2 dan 3 sangat kecil dan dapat diabaikan sebab tegangan yang diukur menggunakan voltmeter tegangan tinggi (Setyawan, 2012).

BAHAN DAN METODE

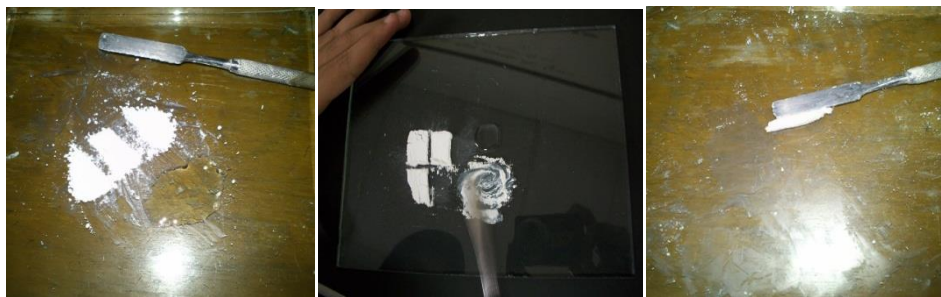
Tahap I

Menyiapkan bahan untuk membuat sampel nanosemen gigi *zinc oxide eugenol* berupa bubuk nanopartikel *zinc oxide* dengan cairan *eugenol*. Bubuk nanopartikel *zinc oxide* dibuat 5 variasi komposisi berbeda dan cairan *eugenol* dibuat konstan.

Tabel 1. Variasi Komposisi Nanosemen Gigi Zinc Oxide Eugenol

No.	Jenis Sampel	Komposisi nano <i>zinc oxide</i> (gram)	Cairan <i>eugenol</i> (ml)
1.	A	0,45	0.2
2.	B	0,50	0.2
3.	C	0,55	0.2
4.	D	0,60	0.2
5.	E	0,65	0,2

Dilakukan percampuran untuk masing-masing variasi komposisi hingga homogen dengan menggunakan spatula pada *glass mixing slab*. Setelah terbentuk hasil percampuran homogen kemudian dilakukan pencetakan dengan menggunakan cetakan yang dibuat dari bahan akrilik sesuai dengan ukuran standar untuk uji. Cetakan semen gigi ini memiliki ukuran diameter 8 mm dan tebalnya 10 mm.

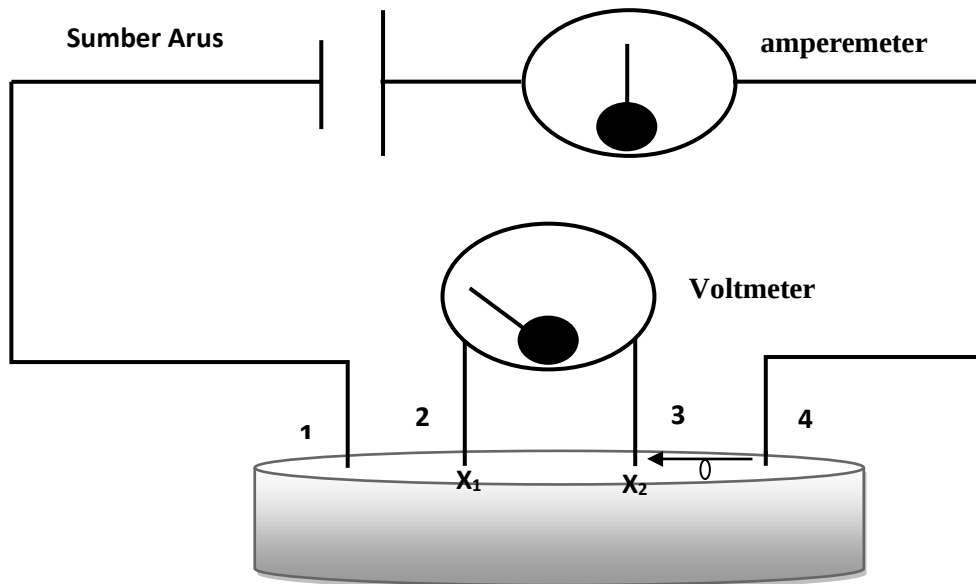


Gambar 1. Proses Percampuran

Permukaan sampel harus memiliki permukaan rata dalam pengujiannya. Oleh sebab itu dalam pencetakannya perlu diratakan dengan spatula dan diberi beban di atas cetakkan agar dihasilkan sampel yang padat setelah mengeras.

Tahap II

Pada tahap berikutnya menyiapkan voltmeter, amperemeter, kabel, trafo dan *probe*. Mengecek masing-masing alat apakah sesuai dalam mendeteksi arus dan tegangan kemudian dirangkai untuk selanjutnya dilakukan pengukuran nilai konduktivitas listrik nanosemen gigi *zinc oxide eugenol* menggunakan metode *four point probe*. Keempat *probe* didesain dapat digerakkan naik-turun, jarak antar masing-masing *probe* harus sama.



Gambar 2. Skema Alat *Four Point Probe*

HASIL DAN PEMBAHASAN

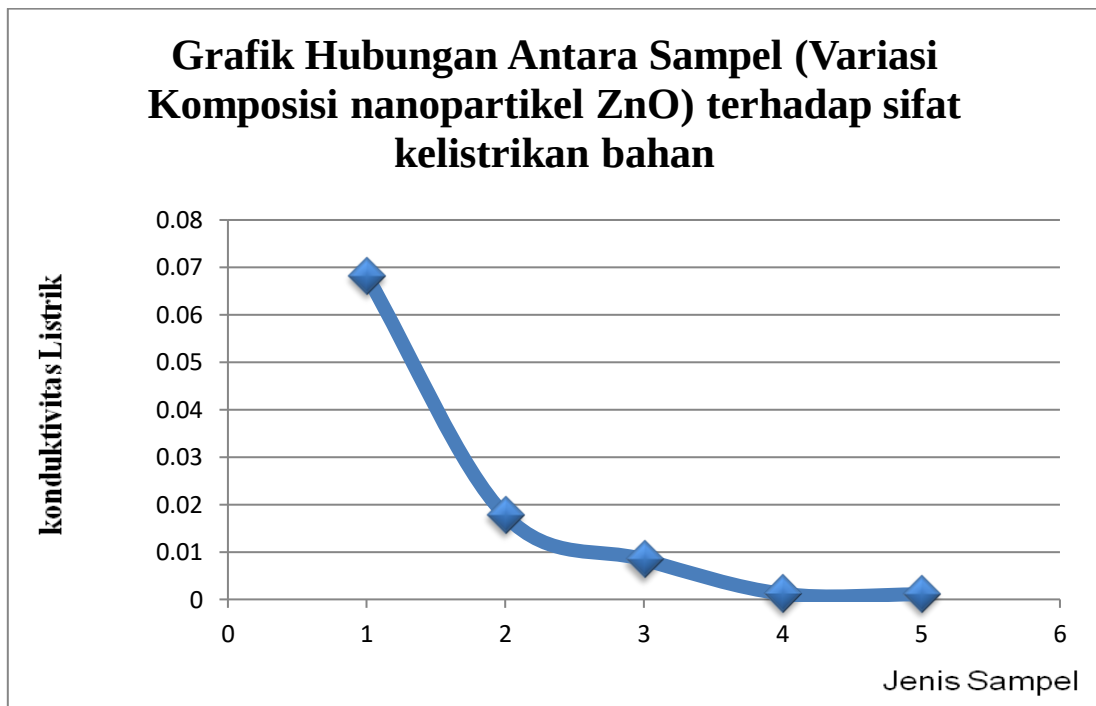
Hasil Uji Konduktivitas Listrik dengan Metode *FPP*

Uji konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan metode *four point probe*. Hasil data yang didapat berupa arus dan tegangan kemudian dapat diukur nilai konduktivitas listrik yang merupakan kebalikan dari nilai resistivitas listrik dengan persamaan $\rho = 2\pi s R$. Sehingga nilai konduktivitas (σ) diperoleh dari hasil perhitungan dengan persamaan $\sigma = \frac{1}{\rho}$.

Tabel 2. Data Pengaruh Komposisi terhadap Konduktivitas Listrik Nanosemen Gigi *Zinc Oxide Eugenol*

No	Sampel	Arus (μA)	Tegangan (mV)	Resistansi (Ω)	Resistivitas ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Konduktivitas ($\Omega\cdot\text{cm}$) ⁻¹
1	A	1,8	0,021	11,67	$0,15 \times 10^2$	$(6,82 \times 10^{-2} \pm 0,2 \times 10^{-2})$
2	B	2,0	0,090	45,00	$0,57 \times 10^2$	$(1,75 \times 10^{-2} \pm 0,04 \times 10^{-2})$
3	C	1,9	0,180	94,74	$1,19 \times 10^2$	$(8,40 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3})$
4	D	1,8	1,210	672,20	$8,44 \times 10^2$	$(1,18 \times 10^{-3} \pm 0,03 \times 10^{-3})$
5	E	1,6	1,200	750,00	$9,42 \times 10^2$	$(1,06 \times 10^{-3} \pm 0,03 \times 10^{-3})$

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 2 di atas diperoleh bahwa semakin tinggi komposisi bubuk nanopartikel *zinc oxide* nilai konduktivitas semakin menurun. Hal ini dikarenakan faktor internal bahan yang menunjukkan sifat ketahanan terhadap listrik yang semakin baik dengan penambahan komposisi. Berdasarkan literatur pada (Fraunhofer, J. Anthony von. 2013) nilai resistivitas pada gigi dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas yang di dapat dari penelitian ini cukup besar jika dibandingkan dengan nilai resistivitas pada gigi. Hal ini dapat dikarenakan pada pengukuran menggunakan metode *four point probe* jarak dan tegangan yang digunakan sehingga arus yang dapat mengalir kecil. Hasil yang didapatkan dibandingkan dengan nilai pada literatur, penyimpangan yang terjadi sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa semen gigi *zinc oxide eugenol* yang dihasilkan masih aman untuk digunakan. Hal ini didukung dengan hasil data pada Gambar 3.

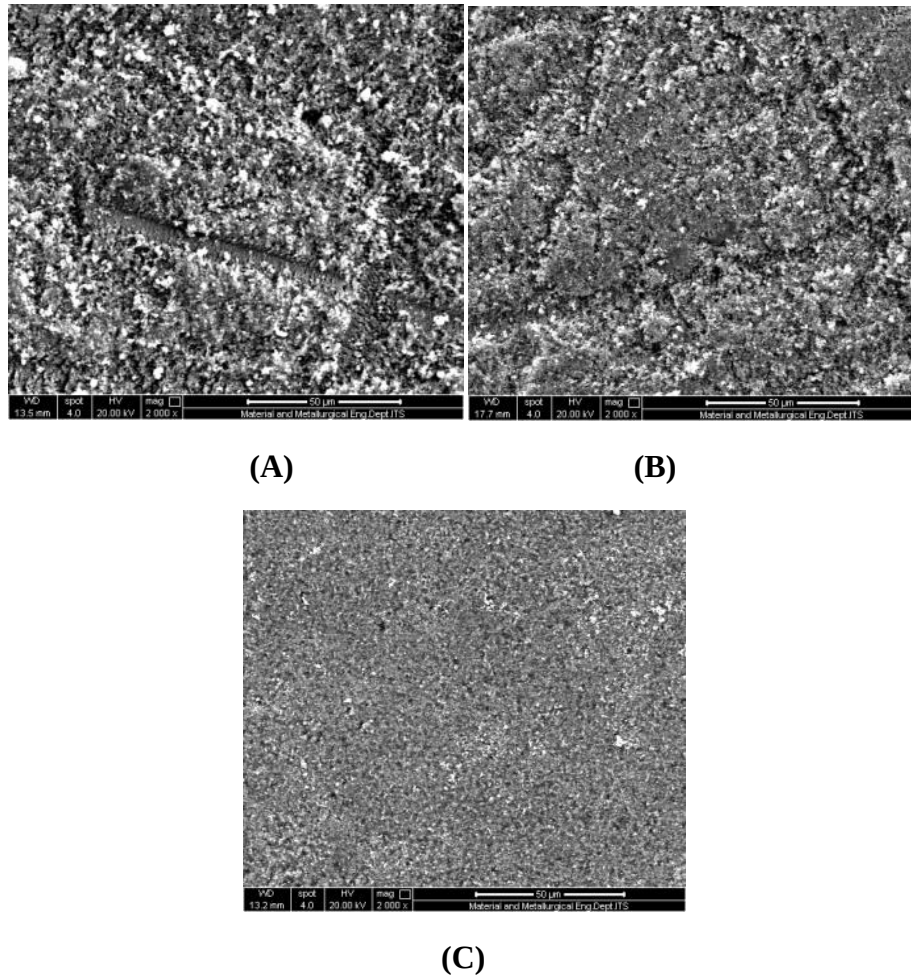


Gambar 3. Grafik Pengaruh antara Sampel (Variasi Komposisi nanopartikel ZnO) terhadap Sifat Kelistrikan

Grafik di atas menunjukkan adanya penurunan nilai konduktivitas listrik seiring bertambahnya komposisi yang diberikan. Hal ini disebabkan karena adanya kompetisi interaction dimana ion-ion saling berebut untuk mengisi ruang kosong. Hal ini juga didukung dari karakterisasi uji densitas dimana komposisi yang semakin meningkat, nilai densitas juga semakin meningkat dimana partikel-partikel semakin mampat dan ruang kosong semakin berkurang.

Hasil Karakterisasi Struktur Mikro (SEM)

Karakterisasi struktur morfologi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, Hasil analisa variasi komposisi nanopartikel *zinc oxide* dengan uji SEM dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Karakterisasi SEM nanosemen gigi *zinc oxide* eugenol (A) 0,55 gr ZnO (B) 0,6 gr ZnO (C) 0,65 gr ZnO

Pada uji *Scanning Electron Microscopy* dengan perbesaran 2000 kali tampak permukaan pada masing-masing sampel bahwa penambahan komposisi bubuk nanopartikel *zinc oxide* memperbaiki struktur morfologi permukaan masing-masing sampel dimana permukaan semakin halus dan retakan semakin berkurang seiring penambahan komposisi nanopartikel *zinc oxide* yang disebabkan karena penambahan komposisi menyebabkan atom-atom yang menempati badan keramik semakin banyak dan didukung dengan pemberian beban yang sama pada sampel saat dicetak.

Hasil Uji Densitas (*Density*)

Pengukuran uji kerapatan (*density*) didapat nilai densitas dengan menghitung massa menggunakan neraca digital dan volume menggunakan mikrometer sekrup dari masing-masing sampel terlebih dahulu kemudian dapat dihitung nilai densitas yang merupakan perbandingan massa terhadap volume.

Tabel 3 Data Hasil Uji Kerapatan

Sampel	Massa (gram)	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Densitas (gram/cm ³)
A	0,49	0,385	0,8	(2,53±0,03)
B	0,54	0,362	0,8	(2,97±0,04)
C	0,6	0,386	0,8	(3,09±0,03)
D	0,74	0,456	0,8	(3,23±0,03)
E	0,78	0,451	0,8	(3,44±0,03)

Dari tabel 3 di atas terlihat bahwa variasi komposisi berpengaruh terhadap nilai densitas sampel. Nilai densitas paling optimum terdapat pada sampel E dengan nilai densitas (3,44±0,03) gram/cm³, dan nilai densitas yang paling mendekati nilai densitas pada enamel gigi yaitu pada sampel C dengan nilai densitasnya sesuai dengan nilai densitas pada enamel gigi yaitu 2,9 gram/cm³ (Sumardianto, 2012). Hal ini terjadi karena pada proses pengadukan saat pencampuran benar-benar homogen. Dengan kerapatan semakin baik seiring penambahan komposisi bubuk nanopartikel *zinc oxide*, menunjukkan partikel-partikel hasil pencampuran saling mengisi ruang kosong.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi nanopartikel *zinc oxide* berpengaruh terhadap nilai konduktivitas listrik, densitas, dan struktur morfologi. Semakin besar penambahan persentase bobot nanopartikel *zinc oxide*, maka nilai densitas semakin meningkat, struktur morfologi semakin halus dan retakan berkurang. Nilai konduktivitas listrik didukung oleh nilai densitas dan struktur morfologi, nilai densitas semakin meningkat, ukuran pori semakin kecil menurunkan nilai konduktivitas listrik. Pada penelitian ini variasi komposisi nanopartikel *zinc oxide* dengan bobot nanopartikel *zinc oxide* paling optimum memiliki karakter terbaik sebagai aplikasi semen gigi, karena paling mendekati nilai standart pada literatur nilai konduktivitas pada enamel gigi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anusavice, J.K. *American Dental Association Journal*. An American National Standard. America.
- [2] Astuti, Z.H. 2007. *Kebergantungan Ukuran Nanopartikel terhadap Warna yang dipancarkan pada proses deeksitasi*. ITB. Bandung.
- [3] Astuti, Malia Widhi dkk. 2007. *Daya Anti Bakteri Bahan Tumpatan Sementara Zinc Oxide Eugenol*. Universitas Hang Tuah: Surabaya
- [4] Baum, Lloyd. 1997. *Buku Ajar Ilmu Konservasi Gigi*. Jakarta. Indonesia.
- [5] Combe, E.C. 1992. *Sari Dental Matreial*, Alih Bahasa drg Slamet Tarigan, MS, PdD. Balai Pustaka: Jakarta.
- [6] Fraunhofer, J. Anthony von. 2013. *Dental Material at a Glance*.
- [7] Khan, Dr.Yawar H. *Introduction to Chemistry of Dental Materials*.
- [8] Lubis, Lira Fasyamuju. 2004. *Semen Ionomer Kaca Ditinjau dari Kelebihannya Terhadap Bahan Tumpatan Plastik Lainnya*. Skripsi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara: Medan
- [9] Mikrajuddin, 2008. *Review : Karakterisasi Nanomaterial*". *Jurnal Nanoscience dan Teknologi* vol.3, no.1.
- [10] Noort, RV. 1994. *Introduction to Dental Material*. Monley: London.
- [11] Prihatini, Ardini. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Semen Gigi Berbasis Nano Zinc Oxide*. Skripsi Fsaintek UNAIR: Surabaya

- [12] Ricardo B, Ramses. 2004. *Kebaikan dan keburukan Zinc Phosphate Cement serta Penggunaanya dalam Bidang Kedokteran Gigi*. Skripsi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara: Medan
- [13] Rochman, Dr.Nurul Taufiqu. 2009. HKI. Puspitek. Serpong. Tangerang.
- [14] Sa'ada, Idha. 2010. *Uji Sifat Fisis dan Mekanis Semen Gigi Berbahan Dasar Polimer secara In Vivo*. Skripsi FST UNAIR. Surabaya
- [15] Setyawan, H. 2012. *Pengaruh Doping Fe terhadap Perubahan Nilai Magnetisasi dan Rasio Magnetoresistansi pada Sampel $\text{La}_{0,67}\text{Sr}_{0,33}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x=0; 0,05; 0,10; 0,15$ dan $0,50$)*. Tesis Universitas Indonesia : Depok
- [16] Smith, F., 1957, "*Measurement of Sheet Resistivities with the Four Point Probe*", The Bell System Technical Journal
- [17] Sumardianto. 2013. *Analisis Sifat Termal dan Mekanik Enamel Gigi Manusia berdasarkan Usia*. Skripsi Fsaintek UNAIR: Surabaya.
- [18] Sutow, E.J & Maillet, W.A. 2003. "*In Vivo Galvanic Currents of Intermittently Contacting Dental Amalgam and other Metalic Restorations*", Canada
- [19] Wahyu, Eriek RW. 2011. *Pengaruh Pemberian Nanopartikel ZnO Terhadap Mikrostruktur Semen Gigi Seng Fosfat (Zinc Phosphate Cement)*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga: Surabaya
- [20] Wahyudi, Trisna. 2005. *Skripsi Biokompatibilitas Semen Zinc Oxide Eugenol*. Skripsi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara: Medan
- [21] Wang, Z.L. 2004. *Nanostructures of Zinc Oxide*. Mater, Today.
- [22] Widyaningrum, Retno. 2011. *Sintesa Nanopartikel ZnO (Zinc Oxide) dengan metode Mekano-Kimia (Mechano-Chemical)*. Skripsi Fsaintek UNAIR: Surabaya
- [23] Witjaksono, Ary., 2011. "*Karakterisasi Nanokristaline ZnO hasil presipitasi dengan perlakuan pengeringan, anil dan pasca-Hidrotermal*", Tesis Universitas Indonesia: Depok