

PROTOTIP GROUND ENHANCEMENT MATERIAL (GEM) BERBAHAN BAKU Na-BENTONIT KARANGNUNGGAL - TASIKMALAYA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI GEM IMPOR

Eko Tri Sumarnadi Agustinus, Happy Sembiring dan Lina Nur Listiyowati

ABSTRACT *GEM is one of the composite material which is used as backfill to protect the electronic equipments, communication network and to stem the voltage of the electrical power problem. GEM has been commonly used in Indonesia, but it is still imported. Therefore it is important to look for substitution minerals. The main compositions of GEM are silica (Si), Aluminium (Al) and carbon (C). Therefore, this research focus on the aluminofilosilicate minerals (bentonite, from Karangnunggal, Tasikmalaya), and charcoal. Laboratory experimentations are involved characterizations of raw materials, mineral engineering, and developing formulation and prototype of GEM. The result of this characterizations show that Na-bentonite is the most potential material for GEM raw materials (514 Ohm cm).*

Naskah masuk: 27 Januari 2010
Naskah diterima: 14 Desember 2010

Eko Tri Sumarnadi Agustinus
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : esumarnadi@yahoo.co.id

Happy Sembiring
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : happy.sembiring@geotek.lipi.go.id

Lina Nur Listiyowati
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : lina.listiyowati@geotek.lipi.go.id

Mineral engineering is used to obtain the GEM formula and prototype in powder form with composition of: 70% Na-bentonite; 24% charcoal, and 6% NaCl. However, practically it is necessary to add 5% water glass and 36% moisture content into the powder in order to obtain the resistivity of 16.4 Ohm cm. This study results in GEM which is qualified for the grounding materials standard (resistivity < 25 Ohm cm).

Keywords: *aluminofilosilicate minerals, mineral engineering, prototype GEM, low resistivity.*

ABSTRAK *Ground Enhancement Material (GEM) merupakan material komposit yang digunakan sebagai backfill diantara dinding tanah dan bagian batang (rod) penangkal petir yang tertanam di dalam tanah. GEM berfungsi untuk meredam dan meneruskan tegangan sambaran petir (lightning strike), sehingga dapat mengurangi terjadinya kerusakan-kerusakan yang ditimbulkannya. Walaupun GEM telah banyak digunakan di Indonesia, namun hingga kini kebutuhan GEM di Indonesia masih diimpor. Guna mengantisipasi kebutuhan GEM tersebut, perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memperoleh bahan substitusi GEM dengan memanfaatkan bahan dan mineral alam di Indonesia. Berdasarkan studi literatur menunjukkan bahwa bahan utama GEM terdiri dari unsur silika (Si), alumina (Al) dan karbon (C). Oleh karena itu, penelitian difokuskan terhadap mineral alumino filosilikat (bentonit yang berasal dari Karangnunggal, Tasikmalaya) sebagai bahan baku utama, charcoal, water glass dan NaCl sebagai bahan aditif. Metode penelitian dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dengan menggunakan parameter kimia dan fisika. Tahapan eksperimen dilakukan melalui*

karakterisasi, rekayasa mineral, formulasi dan pembuatan prototip. Sebagai tolok ukur penelitian digunakan indikator nilai tahanan jenis $< 25 \text{ Ohm cm}$ (Enrico, 2008). Hasil karakterisasi Na-bentonit menunjukkan nilai tahanan jenis yang pada awalnya 514 Ohm cm turun menjadi 227 Ohm cm sehingga berpeluang sebagai bahan baku utama *GEM*. Rekayasa mineral berperan dalam memperoleh formula dan prototip *GEM* berbentuk tepung dengan komposisi (70% Na-bentonit, 24% *charcoal* dan 6% garam NaCl), namun dalam aplikasinya perlu ditambahkan 5% *water glass* dan 36 % air agar diperoleh nilai tahanan jenis $16,4 \text{ Ohm cm}$ yang relatif stabil. Dengan demikian prototip *GEM* ini memenuhi persyaratan standar *grounding material* (tahanan jenis $< 25 \text{ Ohm cm}$) sehingga dapat digunakan sebagai substitusi *GEM* impor.

Kata kunci: mineral alumino filosilikat, rekayasa mineral, prototip *GEM*, tahanan jenis rendah.

PENDAHULUAN

Bagi masyarakat modern petir menjadi kendala yang sangat serius, karena baik secara langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan bagi kehidupan manusia seperti luka bakar dan bahkan kematian. Disamping itu, sambaran petir juga dapat merusak baik struktur seperti gedung, antena, menara, maupun infrastruktur seperti jaringan listrik, telekomunikasi dan komponen elektronik. Peralatan telepon dan radio, komputer dan komponen elektronik lainnya yang terdapat di dalam gedung perkantoran sangat penting dalam menunjang operasional sehari-hari juga terancam rusak oleh petir. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan pengamanan yang memadai melalui pemasangan sistem proteksi petir baik secara internal maupun eksternal (BNC Electronic, 2006). Salah satu bentuk pengamanan tersebut adalah memperbaiki *grounding system* melalui pemanfaatan *GEM* sebagai *grounding material*.

Seperti diketahui bahwa *grounding system* yang digunakan di Indonesia hingga saat ini belum menunjukkan adanya jaminan perlindungan yang baik terhadap kerusakan alat-alat elektronik dan/atau jaringan komunikasi dan *power problem*

yang diakibatkan oleh adanya sambaran petir (Mike, 2003). Salah satu upaya untuk meningkatkan efektivitas sistem pentanahan (*grounding system*) adalah memperbaiki pentanahan itu sendiri dengan menggunakan *GEM*, yang ditempatkan sebagai *backfill* diantara elektroda penangkal petir dan dinding permukaan tanah pada lubang bor dan / atau paritan. *GEM* secara komersial telah diproduksi di USA, dan telah banyak digunakan di instansi-instansi dari berbagai negara (Enrico, 2006). Walaupun *GEM* telah banyak digunakan di Indonesia, namun hingga kini hampir semua kebutuhan *GEM* tersebut masih diimpor. Guna mengantisipasi kebutuhan *GEM* impor tersebut, penelitian yang bertujuan untuk memperoleh bahan substitusi *GEM* menjadi penting dilakukan dengan memanfaatkan bahan dan mineral alam yang terdapat di Indonesia.

Di Indonesia, khususnya di Jawa Barat banyak ditemukan mineral-mineral yang berpotensi sebagai *grounding material*, diantaranya Na-bentonit yang ditemukan di Kecamatan Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya dan hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Terbentuknya bentonit di alam bisa diakibatkan oleh proses-proses pelapukan, hidrotermal, transformasi dan sedimentasi. Sehubungan dengan perbedaan mekanisme pembentukannya di alam, maka semua jenis bentonit tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan baku *GEM*, mengingat sifat-sifat yang dimilikinya belum tentu memenuhi persyaratan standar *grounding material*. Salah satu indikator *grounding material* adalah memiliki resistivitas yang rendah, yakni dengan nilai tahanan jenis $< 25 \text{ Ohm cm}$ (Enrico, 2008). Untuk memperoleh prototip *GEM* sesuai dengan spesifikasi standar internasional (IEC 61024-1), perlu dilakukan tahapan kegiatan sebagai berikut: karakterisasi dan pengolahan bahan, rekayasa mineral dengan menambahkan sejumlah bahan aditif, formulasi dan pembuatan prototip. Semua tahapan kegiatan tersebut dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dengan menggunakan parameter kimia dan fisika. Dengan diperolehnya prototip *GEM*, maka kebutuhan *GEM* yang hingga saat ini masih diimport dapat diantisipasi dan sekaligus dapat meningkatkan nilai tambah Na-

bentonit yang terdapat di Kecamatan Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya.

KAJIAN PUSTAKA

Salah satu sifat muatan listrik adalah saling tarik menarik antara muatan positif terhadap muatan negatif. Sifat dasar inilah yang digunakan alat penangkal petir untuk menarik petir sebelum petir tersebut menyambar bangunan. Energi petir yang ditarik oleh penangkal petir selanjutnya disalurkan ke dalam tanah (*grounding*) melalui sebuah konduktor. Berbagai macam bentuk konduktor yang dapat digunakan untuk mengalirkan energi petir ke dalam tanah, seperti *steel frame* (rawan putus sambungan yang menyebabkan loncatan petir dan adanya arus induksi di sekeliling arus petir), *bare copper* (terdapat arus induksi di sekeliling arus petir) dan *coaxial cable* (arus induksi disekap di dalam kabel). Sementara untuk *grounding terminal*, dapat digunakan batang tembaga, lempeng tembaga atau kerucut tembaga. Semakin luas permukaan terminal dan semakin rendah resistivitas tanah, maka sistem pentanahan akan menjadi semakin baik (Anonim, 2006.). Jaringan yang kurang memadai dari beberapa komponen sistem distribusi listrik tersebut pada umumnya disebabkan oleh masalah yang mendasar, seperti adanya penyimpangan arus netral pada sistem pentanahan, sehingga arus netral menjadi berlipatganda dan tidak sesuai lagi dengan yang direncanakan. Penyimpangan arus netral tersebut akan mengganggu operasional dari beberapa peralatan elektronik yang sensitif, sistem komunikasi, sistem komputer, *local area network (LAN)* / *wide area networks (WAN)* (Victor, 1999).

Sistem Pentanahan (*Grounding System*)

Pentanahan (*grounding*) didefinisikan sebagai pentanahan yang dalam hal ini artinya sengaja dihubungkan ke tanah melalui sambungan dengan impedansi yang cukup rendah. Maksud dan tujuan pentanahan adalah mencegah dan/ atau melindungi kerusakan komponen elektronik atau kerugian properti dari tegangan yang sangat tinggi, baik akibat dari sambaran petir maupun tegangan yang sifatnya sementara. Disamping

itu, pentanahan juga membantu mengurangi muatan statik yang terbentuk pada material atau peralatan dan berfungsi untuk mempertahankan tegangan (*voltage*) agar tetap rendah (*noI*) atau sesuai dengan referensi nilai tegangan (*zero voltage reference point*) sehingga dapat menjamin unjuk kerja dari peralatan elektronik yang sensitif (Mike, 2003).

Ground resistance diartikan sebagai resistensi atau impedansi secara nyata akibat dari tanah yang secara efektif dapat menghilangkan/ mengatasi gelombang tegangan tinggi ke dalam tanah. Nilai resistensi ini tergantung dari resistensi elektrode, resistansi terputus, resistansi hubungan dari elektroda-elektroda ke bumi, dan tanah resistivitas yang terdapat di permukaan bumi nilainya sangat bervariasi. Tahanan jenis tanah inilah yang paling berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai resistansi tanah. Tahanan jenis tanah secara signifikan dipengaruhi oleh elektrolit tanah yang terdiri dari kandungan air (*moisture content*), komposisi mineral-mineralnya dan kandungan garam yang tidak terlarut. Resistensi beberapa sistem pentanahan akan bervariasi dengan bergantinya tahun karena adanya perubahan nilai tahanan jenis tanah yang selaras dengan perubahan kandungan air (Martin, 1993).

Oleh karena itu, sistem pentanahan akan menjadi lebih efektif jika elektrodenya dipasang semakin dalam dari permukaan tanah, karena dengan mendekati muka air tanah kandungan air tanah akan menjadi lebih stabil. Dengan demikian, elektrode yang dipasang akan membantu mengurangi penyimpangan resistensi dalam sistem pentanahan sepanjang tahun. Resistensi juga akan menjadi lebih rendah jika beberapa elektrode dipasang dengan spasi sebagaimana mestinya atau dengan cara mengolah tanah di sekitar elektrode secara kimia atau dengan cara menginjeksikan material pentanahan (*backfill*) di sekitar *grounding electrode* (Michael, 1993).

Bentonit Sebagai Material Pentanahan Dasar

Material pentanahan dalam konteks ini adalah material yang digunakan untuk mengisi (*backfill*) di sekitar elektrode yang berfungsi untuk mempercepat laju arus listrik tegangan tinggi

atau tegangan kejut yang disalurkan ke dalam tanah (*grounding*). Agar dapat mengalirkan energi listrik tegangan tinggi atau tegangan kejut dengan baik, maka material pentanahan paling tidak mempunyai sifat konduktivitas yang tinggi. Dengan demikian, angka konduktivitas merupakan satu per nilai resistivitas, maka nilai resistivitas harus dibuat sekecil mungkin untuk memperoleh konduktivitas maksimum.

Secara teoritis konduktivitas (*conductivity*) dan tahanan jenis (*resistivity*) suatu bahan tergantung pada bilangan pembawa muatan, besar muatan dan mobilitas muatan. Hubungan antara nilai konduktivitas (*conductivity*) dengan nilai tahanan jenis (*resistivity*) dinyatakan dalam persamaan berikut (Touloukian, 1981):

$$\sigma = 1 / \rho = n \cdot q \cdot \mu \dots\dots\dots(1)$$

Dalam hal ini:

- σ = konduktivitas, ohm –m
- ρ = tahanan, ohm
- n = pembawa muatan, m^{-3}
- q = besar muatan, coulomb
- μ = mobilitas muatan, m^2/Vs

Adapun kecepatan gerak suatu muatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

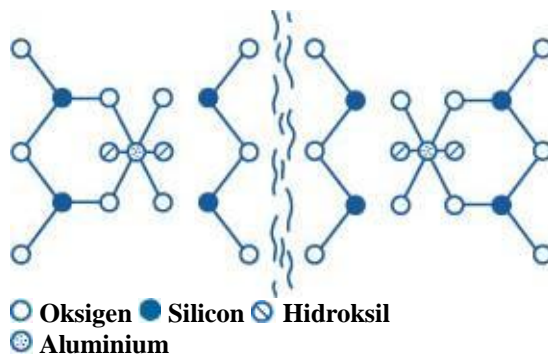
$$\dot{u} = \mu \cdot \xi \dots\dots\dots(2)$$

- \dot{u} = kecepatan gerak muatan, volt/m dan
- ξ = medan listrik,

Berbagai jenis bahan mempunyai nilai konduktivitas dan tahanan jenis yang berbeda-beda. Pada umumnya bahan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) golongan, yaitu bahan konduktor, semikonduktor dan isolator (Surdia, 1995, Van Vlek, 1983).

Berbagai jenis mineral, batuan atau bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk material pentanahan, diantaranya adalah *bentonite*, *fly ash*, *charcoal* dan *gypsum*. Bentonit merupakan suatu istilah nama dalam dunia perdagangan, yaitu sejenis lempung plastis yang mempunyai kandungan lebih dari 85 % mineral monmorilonit, dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Bentonit mempunyai nilai kapasitas tukar kation (KTK) antara 70 – 100, faktor muai dan daya serap tinggi terhadap air dan karakter tersebut sangat tergantung pada sumber

keberadaannya (Anonim, 2009, *Bentonite*). Bentonit termasuk salah satu jenis mineral aluminofilosilikat, dicirikan oleh struktur lembaran yang terbentuk dari lapisan yang tersusun atas lembar-lembar tetrahedral silika dan oktahedral Al (Mg). Lembar-lembar tersebut dikembangkan melalui jalinan antara 3 oktahedron (O) dalam setiap tetrahedron (T) dengan unit-unit tetrahedron terdekat. Dalam jaringan tetrahedral silika seperti itu, 1 (satu) (O) tetap tidak terimbangi secara listrik untuk memenuhi divalen yang dihubungkan dengan Al dalam koordinasi oktahedral. Lembar-lembar tetrahedron Si (T) dan oktahedron Al (O) membentuk struktur lempung. Kelompok atau lapisan unit tersebut dikenal sebagai sel unit, sedangkan susunan secara lengkap dari satu lapisan ditambah bahan antar lapisan disebut sebagai struktur unit seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (Anonim, 2009). Karakter yang dimiliki bentonit tersebut di atas, menjadikan bentonit berpeluang untuk digunakan sebagai basis material pentanahan.



Sumber : Anonim, 2009, *Bentonite Clay*

Gambar 1. Struktur unit bentonit

METODOLOGI

Kerangka Pikir :

Secara konseptual, *GEM* dapat diformulasikan melalui 3 (tiga) jenis bahan, yakni bahan baku utama, bahan aditif dan bahan pengikat. Faktor utama yang berperan dalam menurunkan nilai

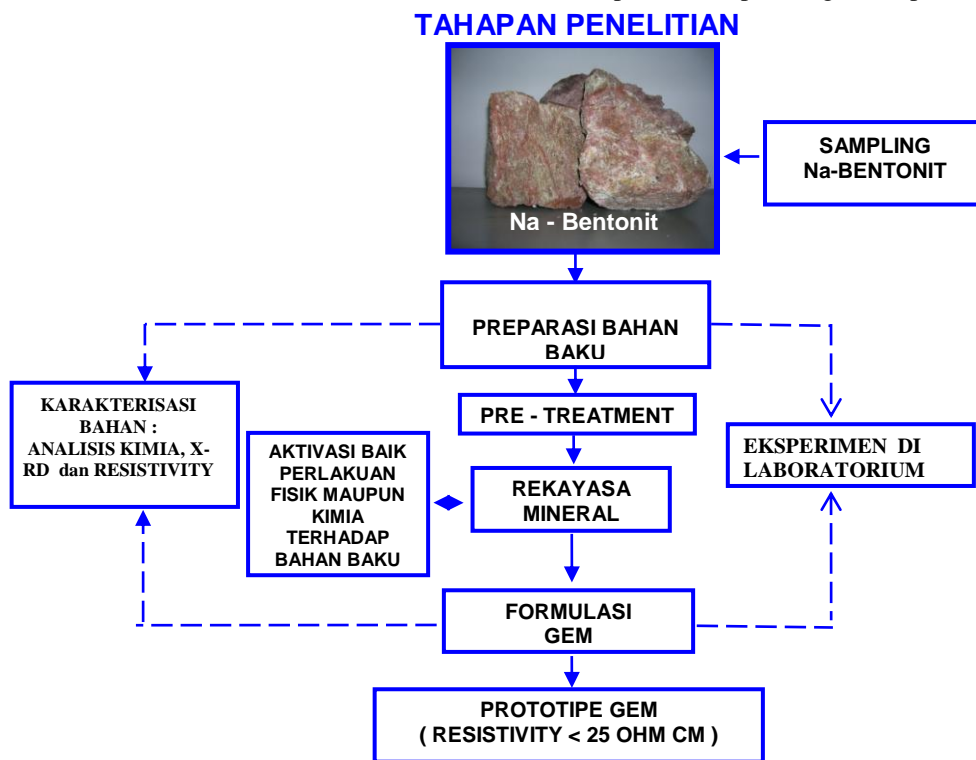
tahanan jenis adalah meningkatkan kandungan air (*moisture*) dan menurunkan pH, karena semua material pada kedua kondisi tersebut pada umumnya mempunyai nilai tahanan jenis yang rendah. Sebagai indikator material pentanahan adalah memiliki tahanan jenis rendah, yakni dengan nilai tahanan jenis < 25 Ohm cm (Enrico, 2008). Bentonit dipilih sebagai bahan baku utama, karena kemampuannya menyerap dan menyimpan air yang disebabkan oleh daya serap yang tinggi dan volume pori yang besar. Hal ini ditunjukkan oleh faktor mengembang yang signifikan (300 %) khususnya untuk jenis Na-bentonit. Sementara karbon aktif (*charcoal*) berperan sebagai bahan aditif dapat meningkatkan daya serap air karena bersifat higroskopis. Untuk menurunkan pH perlu ditambahkan garam NaCl dan *water glass*, selain dapat menurunkan pH juga dapat berfungsi sebagai bahan pengikat (semen).

Hipotesis

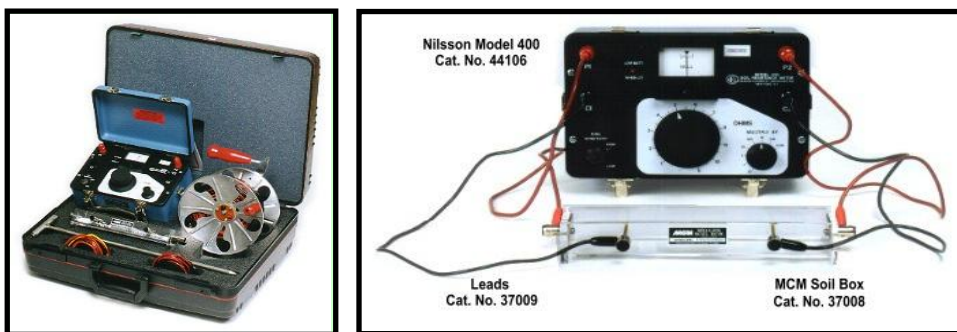
Hipotesis berikut ini merupakan hipotesis kerja, bahwa melalui rekayasa mineral dari ketiga jenis bahan tersebut dapat diformulasikan sedemikian rupa sehingga dapat diperoleh formula dan prototipe *GEM* dengan nilai tahanan jenis yang rendah (< 25 Ohm cm), yang mampu berfungsi sebagai material pentanahan sehingga dapat digunakan untuk bahan substitusi *GEM* impor.

Metode

Metode penelitian merupakan langkah-langkah kegiatan penelitian yang akan dilaksanakan disertai penggunaan setiap metode pada setiap langkah tersebut (Hirawan, 2003). Langkah-langkah tersebut dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dengan menggunakan parameter fisika dan kimia. Tahapan eksperimen meliputi penyiapan bahan dan peralatan, karakterisasi bahan, rekayasa mineral dilakukan untuk memperoleh formula dan prototipe *GEM*. Tahapan penelitian tersebut secara garis besar diperlihatkan pada bagan alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir tahapan penelitian

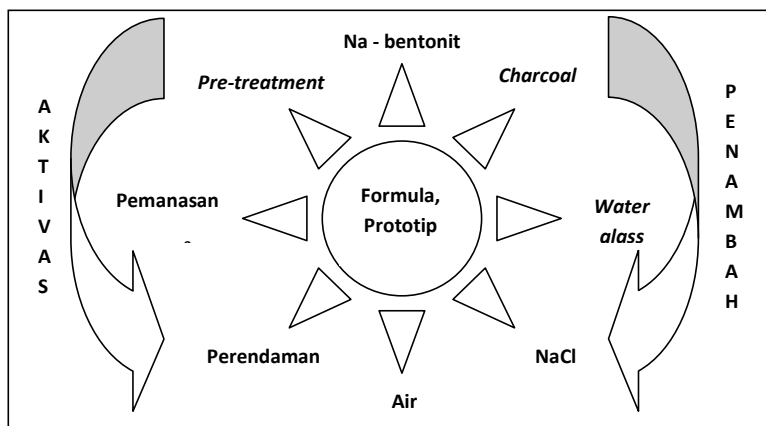


Gambar 3. Soil resistivity meter

Bahan baku utama yang digunakan dalam eksperimen ini adalah Na-bentonit yang berasal dari daerah Karangnunggal, Tasikmalaya. Sebagai bahan tambahan (aditif) adalah *charcoal* terbuat dari tempurung kelapa dan garam NaCl. Sementara *water glass* disamping digunakan sebagai bahan pengikat, sedangkan bahan kimia seperti NaOH digunakan untuk aktivasi bahan baku utama. Karakterisasi terhadap bahan baku utama dilakukan untuk mengetahui kondisi awal, yakni komposisi kimia dengan menggunakan AAS, sedangkan komposisi mineral didapat melalui analisis XRD. Disamping itu, pengukuran nilai tahanan jenis juga dilakukan baik terhadap semua bahan baku maupun setiap perlakuan dalam memperoleh formula dan prototip *GEM*. Guna

mendukung eksperimen ini, digunakan beberapa jenis peralatan diantaranya peralatan untuk preparasi bahan, peralatan gelas, pH meter dan *soil resistivity meter* (Gambar 3).

Dalam konteks penelitian ini, yang dimaksud dengan rekayasa mineral adalah perlakuan fisik dan kimia terhadap mineral Na bentonit dan campurannya, dalam upaya mengubah nilai tahanan jenis bahan baku menjadi bahan campuran baru (*GEM*) sesuai dengan sifat tahanan jenis yang dikehendaki (< 25 Ohm cm). Upaya tersebut meliputi aktivasi terhadap bahan baku (Na-bentonit) baik secara fisik maupun kimia dan penambahan bahan aditif seperti *charcoal*, *water glass* dan NaCl diformulasikan secara komprehensif sehingga diperoleh formula dan prototipe *GEM* (Gambar 4).



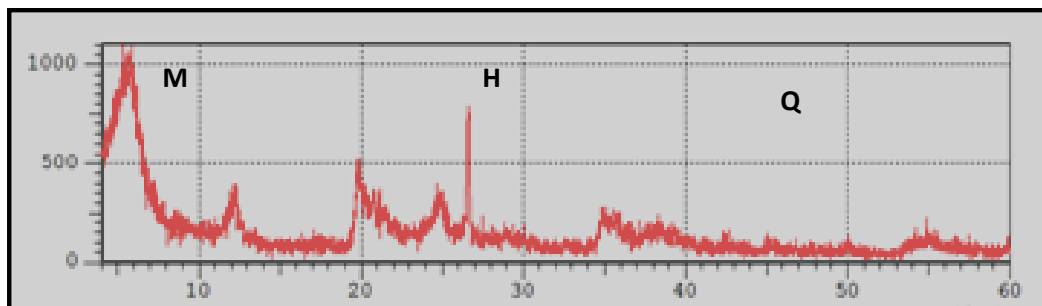
Gambar 4. Bagan alir formulasi dan pembentukan prototipe *GEM*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Bahan Baku :

Hasil karakterisasi terhadap bahan baku yang digunakan sebagai umpan dalam eksperimen ini, menunjukkan bahwa Na-bentonit mempunyai nilai tahanan jenis relatif lebih rendah (514 Ohm cm) jika dibandingkan dengan nilai tahanan jenis jenis mineral lainnya yang terdapat di Karangnunggal, Tasikmalaya baik Ca-bentonit maupun *gypsum* (Sembiring, 2008). Komposisi mineral yang terkandung pada Na-bentonit tersebut terdiri dari mineral utama berupa *monmorilonite* (M), *holoysite* (H) dan *quartz* (Q) sebagai hasil analisis XRD (Gambar 5).

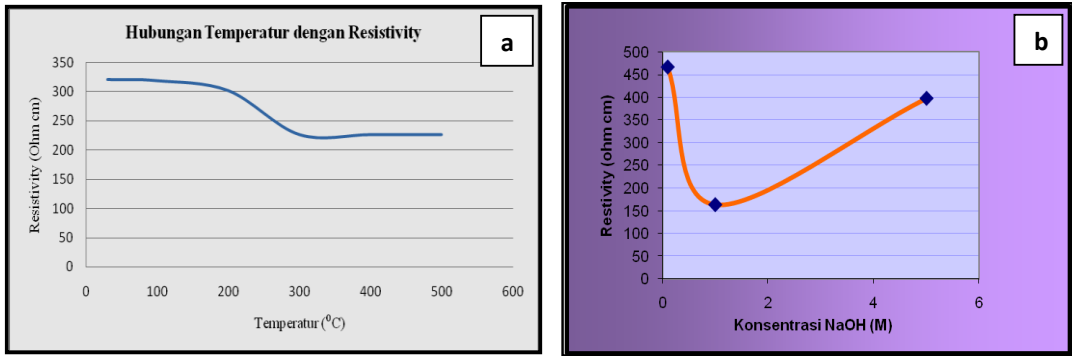
Komposisi kimia yang didapat dari hasil analisis dengan menggunakan AAS (Tabel 1), menunjukkan bahwa unsur utama Na-bentonit berupa unsur (Si) yang dijumpai dalam bentuk SiO_2 dan unsur (Al) dalam bentuk Al_2O_3 dengan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,53$. Sementara unsur-unsur (Fe, Na, Mg, K, Ti, Ca) dalam bentuk oksida merupakan unsur pengotor yang perlu diminimalisir untuk memperoleh bahan baku *GEM* dengan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang relatif lebih tinggi. Dengan demikian, untuk memperoleh formula dan prototip *GEM* dengan nilai tahanan jenis rendah (< 25 Ohm cm), bahan baku utama perlu direkayasa melalui penambahan bahan tambahan (aditif) dan bahan pengikat.



Gambar 5. Difraktogram XRD Na-Bentonit, Karangnunggal, Tasikmalaya

Tabel 1. Komposisi kimia Na-bentonit Karangnunggal, Tasikmalaya

No.	Oksida	% (berat)	No.	Oksida	% (berat)	Keterangan
1	SiO_2	51,79	7	CaO	0,05	Nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ = 4,53
2	TiO_2	0,69	8	Na_2O	7,31	
3	Al_2O_3	11,44	9	K_2O	1,65	
4	Fe_2O_3	4,41	10	P_2O_5	0,99	
5	MnO	0,78	11	LOI	19,01	
6	MgO	0,57	-	-	-	



Gambar 6. Grafik hasil aktivasi (a) secara fisik dan (b) secara kimia.

Pengaruh Aktivasi Terhadap Nilai Tahanan jenis:

Hasil aktivasi secara fisik terhadap bahan baku Na-bentonit didapat melalui pemanasan pada variabel suhu 100, 200, 300, 400 dan 500 °C, namun pada suhu 300°C telah diperoleh nilai tahanan jenis optimal, yakni mampu turun dari 514 Ohm cm menjadi sekitar 227 Ohm cm (Gambar 6.a). Pada kondisi tersebut, telah terjadi penguapan *volatile matter* dan *inherent moisture content*, sedangkan aktivasi secara kimia telah dilakukan melalui perendaman dalam larutan NaOH mulai dari 0,1 M, 1,0 M, dan 5,0 M.

Tujuan dari aktivasi ini adalah untuk membersihkan permukaan pori, menghilangkan impuritis, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Hasil aktivasi secara kimia tersebut menunjukkan terjadinya penurunan nilai tahanan jenis yang optimal pada konsentrasi NaOH 1,0 m, yaitu sebesar 164 Ohm cm (Gambar 6.b). Penurunan nilai tahanan jenis ini, terutama disebabkan oleh meningkatnya kadar oksida logam Al₂O₃ yang diikuti oleh penurunan kadar oksida Na₂O dan K₂O, sehingga nisbah SiO₂/Al₂O₃ yang semula 4,53 turun menjadi 3,19 (Tabel 2).

Tabel 2. Perubahan kadar oksida akibat pengaruh NaOH

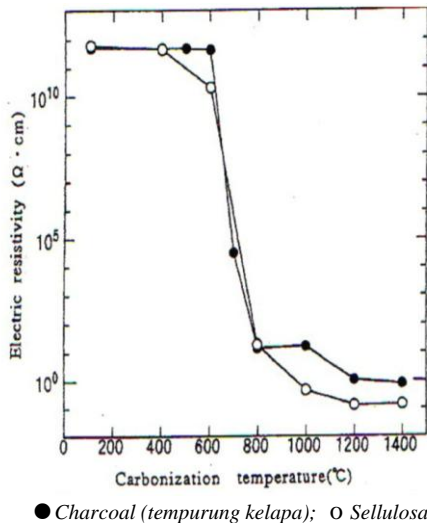
No.	Oksida	Hasil analisis (% berat)	
		Na-bentonit awal	Na-bentonit perendaman (1.0 M NaOH)
1	SiO ₂	51,79	47,14
2	TiO ₂	0,69	0,89
3	Al ₂ O ₃	11,44	14,79
4	Fe ₂ O ₃	4,41	4,20
5	MnO	0,78	0,73
6	MgO	0,57	0,63
7	CaO	0,05	0,027
8	Na ₂ O	7,31	1,04
9	K ₂ O	1,65	0,018
10	P ₂ O ₅	0,99	1,59
11	LOI	19,01	29,34
Nisbah : SiO₂/Al₂O₃		4,53	3,19

Sementara karbon yang berasal dari *charcoal*, merupakan bahan yang bersifat elektrik dengan tahanan jenis listrik yang cukup rendah. Namun nilai tahanan jenis tersebut, sangat tergantung pada tingkat kemurnian dan kesempurnaan dalam Pemanggangan. Dari data sekunder, nilai tahanan jenis *charcoal* terendah dapat dicapai pada temperatur karbonisasi 1200°C sebesar 0,5 Ohm cm (Nishimiya, 2006).

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan aktivasi *charcoal* yang berasal dari tempurung kelapa dan diperoleh *charcoal* dengan nilai tahanan jenis terendah 0,95 Ohm cm, namun masih dalam batas kisaran 0,5-2,5 Ohm cm (Gambar 7). Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka nilai tahanan jenis akan semakin kecil, dan temperatur optimal terjadi pada 1200°C, sedangkan temperatur karbonisasi yang lebih besar dari 1200°C tidak lagi akan menurunkan nilai tahanan jenis.

Pengaruh Penambahan Air Terhadap Nilai Tahanan jenis:

Dalam pembuatan bahan baku *GEM* (Nabentonit, *charcoal*, *waterglass*), kandungan air sangat berpengaruh terhadap formulasi (*composed*) tersebut. Semakin banyak jumlah air

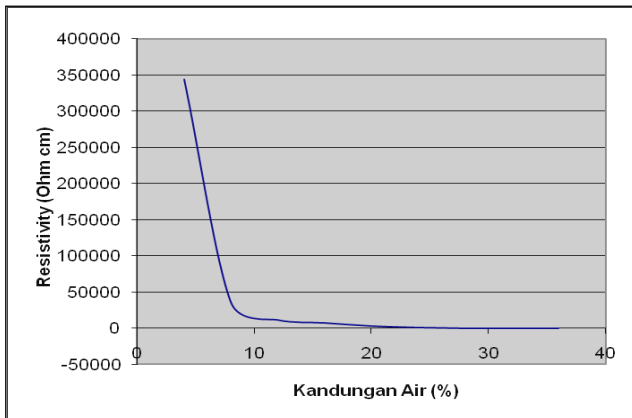


Gambar 7. Korelasi antara temperatur karbonisasi dengan nilai resistivity

yang ditambahkan, nilai tahanan jenis semakin menurun dan nilai terendah dicapai dalam keadaan jenuh (36 %), yaitu 28,0 Ohm cm (Tabel 3). Kondisi tersebut disebabkan oleh nilai tahanan jenis air lebih kecil dari nilai tahanan jenis bahan baku *GEM*.

Tabel 3. Korelasi kandungan air terhadap nilai tahanan jenis

Kandungan Air (%)	Resistivity (Ohm cm)
4	344 x 10 ³
8	356 x 10 ²
12	115 x 10 ²
16	74 x 10 ²
20	32 x 10 ²
24	11 x 10 ²
28	0,46 x 10 ²
32	0,41 x 10 ²
36	0,28 x 10 ²



Korelasi kandungan air terhadap tahanan jenis

Dekomposisi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu Na-bentonit sebagai bahan dasar, *charcoal* (tempurung kelapa) sebagai bahan aditif untuk menurunkan nilai tahanan jenis dan *waterglass* sebagai bahan pengikat. Ketiga jenis bahan tersebut diagitasi sampai homogen dan selanjutnya dilakukan pengukuran nilai tahanan jenis. Berdasarkan eksperimen dari beberapa komposisi, formula dengan komposisi bentonit 70 %, *charcoal* 25 % dan *waterglass* 5 % memberikan nilai tahanan jenis terendah yaitu 20,6 Ohm cm (Tabel 4), dan formula tersebut akan digunakan dalam formulasi pembentukan prototip *GEM*.

Pengaruh Fungsi Waktu Terhadap Nilai Tahanan jenis :

Nilai tahanan jenis *GEM* dengan formula (Na bentonit 70%; *charcoal* 25%; *waterglass* 5%), ternyata sangat dipengaruhi oleh fungsi waktu. Dalam kondisi air kering udara, nilai tahanan jenis naik dari 20,6 Ohm cm sampai keadaan tidak terukur. Kondisi tersebut disebabkan oleh kandungan air yang menguap seiring dengan berjalannya waktu dan pada akhirnya retak dan pecah (Tabel 5).

Tabel 4. Formulasi Bentonit, *charcoal* dan *Waterglass*

No.	Komposisi GEM			Resistivity (Ohm cm)
	Na-Bentonit (%)	Waterglass (%)	Charcoal (%)	
1	10	5	85	9,8
2	20	5	75	13,4
3	30	5	65	16,8
4	40	5	55	17,2
5	50	5	45	17,9
6	60	5	35	19,7
7	70	5	25	20,6
8	80	5	15	20,6

Tabel 5. Korelasi nilai *resistivity* terhadap fungsi waktu

No.	Waktu (jam)	Resistivity (Ohm cm)
1	0	20,6
2	1	20,6
3	2	20,6
4	3	20,6
5	4	20,6
6	5	20,9
7	6	21,1
8	7	21,7
9	24	46,3
10	48	55,8
11	60	121,9
12	72	Tidak terukur

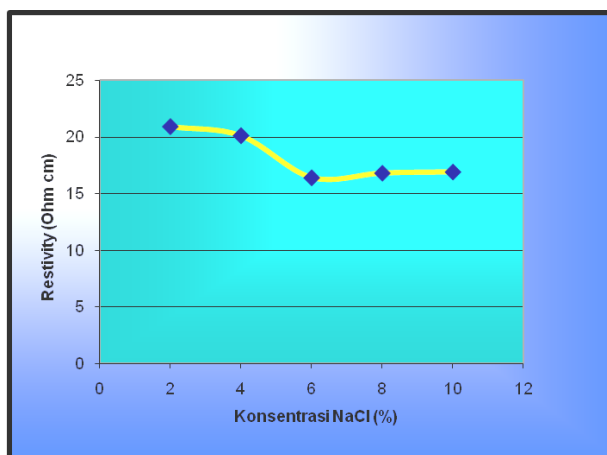


Contoh *GEM* (retak)

Pengaruh Penambahan Garam NaCl Terhadap Nilai Tahanan jenis :

Penambahan garam NaCl dimaksudkan untuk mengatasi terjadinya retak (pecah) ketika *GEM* digunakan. Disamping nilai tahanan jenis tetap terjaga (stabil), NaCl juga dapat menghantarkan muatan listrik dengan baik karena menurunkan nilai resistivitas. Dalam eksperimen ini, penambahan NaCl dilakukan secara bertahap mulai dari 2 % sampai 10 %, dan pada konsentrasi NaCl 6 % nilai tahanan jenis menjadi 16,4 Ohm cm (Gambar 8).

- Aktivasi secara kimia terhadap Na-bentonit dengan 1,0M NaOH menurunkan nilai *resistivity* menjadi 164 Ohm cm.
- Penambahan air sebanyak 36 % menurunkan *resistivity* menjadi 28,0 Ohm cm.
- Formula (70 % bentonit; 25 % *charcoal* ; 5 % *water glass*) memperoleh nilai *resistivity* 20,6 Ohm cm sangat dipengaruhi oleh fungsi waktu.
- Penambahan NaCl 6,0 % memberikan nilai tahanan jenis 16,4 Ohm cm.



Gambar 8. Pengaruh penambahan garam NaCl terhadap nilai tahanan jenis

Formulasi dan Pembentukan Prototip *GEM*:

Prototip adalah bentuk akhir dari suatu produk dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi dalam aplikasi di lapangan. Prototip *GEM*, dipilih dalam bentuk bubuk (*powder*), mengingat bentuk dan ukuran aplikasi yang berbeda-beda (berupa paritan atau lobang bor). Persyaratan *GEM* dengan nilai tahanan jenis < 25 Ohm cm, dapat dicapai melalui peran rekayasa mineral dengan tahapan mulai dari karakterisasi, aktivasi, penambahan bahan aditif (*charcoal*, NaCl), bahan pengikat (*water glass* dan air), sebagai berikut :

- Aktivasi secara fisik terhadap Na-bentonit pada 300°C menurunkan nilai tahanan jenis dari 514 Ohm cm menjadi 227 Ohm cm.

Berdasarkan data tersebut, selanjutnya dilakukan reformulasi *GEM* dalam bentuk bubuk yang terdiri dari : (70 % bentonit; 24 % *charcoal* ; 6 % garam NaCl). Namun dalam aplikasinya perlu ditambahkan 5 % *water glass* dan 36 % air sehingga membentuk *slurry* dan selanjutnya dituangkan ke dalam paritan atau lubang bor dan dibiarkan mengering. Dengan demikian, bentuk akhir yang diperoleh akan dapat menyesuaikan dengan bentuk ruang yang tersedia.

Prospek Pengembangan Prototip *GEM*:

Walaupun secara teknis telah dibuktikan bahwa dari Na-bentonit dapat dibentuk prototip *GEM*, namun perlu dilakukan kajian tekno-ekonomi secara mendalam sehingga prototip *GEM* tersebut benar-benar dapat diaplikasikan ke

masyarakat industri. Sebagai gambaran umum bahwa harga jual bahan baku utama, yakni Na-bentonit di lokasi tambang hanya sekitar Rp 700/Kg, sedangkan bahan aditif mudah diperoleh di pasar dengan harga yang relatif murah. Sementara harga produk *GEM* import, mencapai sekitar Rp 1.750.000/sak dengan berat satu kemasan 25 lb atau sekitar 11,360 Kg. Jika menilik perbedaan harga kedua jenis bahan tersebut, yakni antara bahan baku terhadap produk *GEM* yang cukup signifikan, maka prototip *GEM* berpeluang sebagai bahan substitusi *GEM* import. Meskipun demikian, untuk pengembangan prototip *GEM* lebih lanjut masih menyisakan berbagai persoalan yang perlu segera diatasi, seperti terbatasnya informasi tentang kualitas dan kuantitas (jumlah) cadangan Na-bentonit di Indonesia, pengembangan teknologi pengolahan mineral guna mendukung kebutuhan bahan baku industri lainnya di dalam negeri sebagaimana tertuang dalam Undang Undang No 4 tahun 2009, tentang mineral dan batubara.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rekayasa mineral mampu berperan dalam formulasi dan pembentukan prototip *GEM*. Prototip *GEM* dibuat dalam bentuk bubuk yang dikemas seperti produk semen, terdiri dari (70 % bentonit, 24 % charcoal, dan 6 % garam NaCl). Namun dalam aplikasinya perlu ditambahkan 5 % water glass dan 36 % air, sehingga diperoleh nilai tahanan jenis 16,4 Ohm cm. Hasil tersebut memenuhi persyaratan standar material pentanahan (tahanan jenis < 25 Ohm cm) sehingga dapat digunakan sebagai bahan substitusi *GEM* impor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi, atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini dan semua pihak yang telah membantu semenjak dilakukan penelitian hingga penerbitan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Enrico, 2006, *Ground Enhancement Material*, Enrico, <http://enrico.co.id>
- Enrico, 2008, *Ground Enhancement Material*, Enrico, <http://enrico.co.id>
- Hirnowan F, 2007, Riset, bergulirlah PROSES ILMIAH (*Research, the running scientific process*), ..menuju penemuan baru dan orisinal, Edisi Pertama, Penerbit Unpad Press, Bandung.
- Michael Danish, 1993. *Power Quality, Prediction Versus Post Mortems: Why Wait Until It's Too Late !* Reliable Power Matters 400 Blossom Hill Road Los Gatos, CA 95032.
- Martin D. Conroy and Paul G. Richard, 1993. *Deep Earth Grounding vs Shallow Earth Grounding*, Computer Power Corporation Omaha, Nebraska.
- Mike Holt, 2003. *Grounding Communications Systems in Accordance with the 2002 NEC*, EC & M magazine, Mike@MikeHolt.com.
- Nishimiya, 2006, *Mechanism of Electrical Conduction through Wood Charcoal*.
- Surdia T dan Saito S, 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Ketiga, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sembiring Happy, Eko Tri Sumarnadi, Lina Nur Listiyowati, 2008; Pengolahan Mineral Alumino Filosilikat Sebagai *Grounding Enhancement Material*, Peran Riset Geoteknologi dalam Mendukung Pembangunan Berwawasan Lingkungan, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI.
- Touloukian Y.S., C.Y.Ho, 1981, *Physical Properties of Rocks and Minerals*, Vol II-2, McGraw Hill/Bindas Data Series on Material Properties, ISBN 0-07-065032.2

- Van Vlack dan Sriati Djapre, 1983, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke-empat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Victor A Ramos JR, 1999, *A Power Problem That Can Jeopardize Your Data or Computer Network*, Technical Consultant Computer Power and Consulting Corporation.
- Victor A Ramos JR, 1999, *Treating Harmonics in Electrical Distribution Systems*, Technical Consultant Computer Power and Consulting Corporation.
- , Undang Undang No. 4 tahun 2009, tentang MINERBA (Mineral dan Batubara)
- , 2006. Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal, *BNC Electronics*, <http://indonetwork.co.id/pemancarfbnc/237944>.
- , 2009, *Bentonite*, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/bentonite>.
- , 2009, *Bentonite Clay, Properties-Intestinal Cleanse Helping Spiritual Awakening*, http://www.alternativemedicine.com/digest/issue_27/27044_Roo.shmtml.
- , 2006, *Petir*, <http://www.reindo.co.id/reinfokus/edisi22/petir.htm>.