

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komposit MgO-SiO₂

Komposit merupakan material rekayasa yang banyak dikembangkan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, karena mampu menggabungkan dua material/lebih yang berbeda secara makroskopis sehingga menghasilkan material yang lebih unggul dan dapat memenuhi sifat yang diperlukan (Satria, 2011). Pada dasarnya, material komposit terdiri dari dua material penyusun, yakni serat (*fiber*) dan matriks (*resin*). Umumnya material serat harus bersifat lebih kuat dari pada matriks karena sebagai unsur utama yang berfungsi untuk menentukan karakteristik material komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat mekanik lainnya. Sedangkan matriks berfungsi untuk melindungi dan mengikat serat (Hakim, 2007) menjadi satu kesatuan struktur. Pemilihan kombinasi material serat dan matriks yang tepat, dapat membuat satu material komposit dengan beberapa keunggulan, seperti bobot yang ringan, kekuatan dan kekakuan yang baik, tahan korosi, serta biaya produksi yang murah (Arumaarifu, 2010).

Dewasa ini, material komposit terus diteliti dan dikembangkan, salah satunya komposit MgO-SiO₂ yang banyak digunakan dalam pembuatan keramik dan gelas (Kasanovic *et al.*, 2005), terdiri dari magnesium oksida (MgO) dan

silikon oksida (SiO_2) (Anonim A, 2010). Komposit MgO-SiO_2 mempunyai rumus kimia (MgSiO_3) dengan nama mineral *enstatite* (Anonim C, 2010) dan (Mg_2SiO_4) dengan nama mineral *forsterite* (Saber *et al.*, 2006).

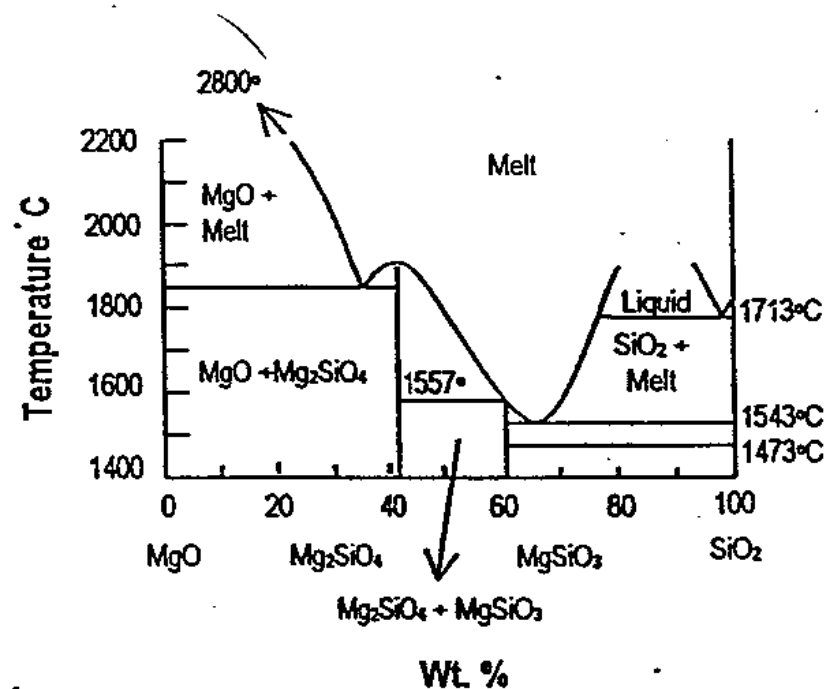
Enstatite (MgSiO_3) adalah mineral umum yang ditemukan dalam metamorf dan beberapa batuan beku serta dalam meteorit batuan dan besi. *Enstatite* membentuk serangkaian larutan padat dengan mineral *hipersten* dan *ferrosilite*. Serangkaian larutan padat terjadi ketika dua atau lebih elemen dapat menggantikan satu sama lain dalam struktur. *Enstatite* adalah *orthopyroxene* atau piroksen yang merupakan kelas penting dari batuan mineral pembentuk unit struktural dasar dengan rantai tunggal tetrahedra SiO_4 (Jahn, 2010). Pada suhu tinggi, struktur *enstatite* mengalami perubahan struktur menjadi monoklinik, sebuah *clinopyroxene* atau lebih spesifik, *clinoenstatite*. *Clinoenstatite* adalah *polimorf* dari *enstatite*, *polimorf* merupakan mineral dengan komposisi yang sama tetapi strukturnya berbeda (Anonim D, 2010). *Enstatite* terbentuk pada suhu sintering 1000 °C, awalnya MgO berdifusi ke permukaan SiO_2 untuk membentuk *enstatite* (Tavangarian dan Emadi, 2010) dan difusi berlanjut melalui lapisan *enstatite* untuk membentuk *forsterite*. Sampai pemanasan 1200 °C silika amorf MgSiO_3 (*enstatite*) bereaksi dengan MgO , sehingga Mg_2SiO_4 (*forsterite*) muncul sebagai fase tunggal (Kharaziha and Fathi, 2008).

Forsterite adalah kristal magnesium silikat dengan rumus kimia Mg_2SiO_4 (Saber, 2006), yang dibangun pada silika tetrahedral dari ikatan kovalen (Kharaziha and Fathi, 2008), *forsterite* juga merupakan *polimorf*, yang

termasuk *polimorf* MgO_2SiO_4 adalah *ringwoodite*, *wadsleyite* dan *olivine* (Anonim D, 2011). *Forsterite* memiliki konduktivitas listrik rendah sehingga ideal digunakan untuk bahan elektronik. Selain itu, dengan titik leleh yang tinggi yaitu sebesar 1890°C , menunjukkan bahwa *forsterite* sebagai *refraktori* (bahan tahan api) dan aplikasi pembuatan keramik karena memiliki stabilitas kimia yang baik dan koefisien ekspansi termal yang rendah (Kasanovic *et al.*, 2005; Saberi *et al.*, 2006).

B. Diagram Fasa Komposit MgO-SiO₂

Rasio molekul MgO – SiO₂ dan perlakuan temperatur berperan penting dalam pembentukan komposit MgO-SiO₂ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram fasa komposit MgO-SiO₂ (Sumarnadi dkk, 1998).

Pada Gambar 1, menunjukkan bahwa MgO dan SiO₂ hanya akan membentuk *anhydrous silicate* yaitu *forsterite* (Mg₂SiO₄) dan *enstatite* (MgSiO₃). Kedua *anhydrous silicate* tersebut adalah fasa yang stabil dalam sistem MgO-SiO₂. Selama berlangsungnya proses sintering, fosteritisasi berlangsung melalui tahap dehidrasi, reorganisasi kation, pembentukan *forsterite* dan *enstatite*. Pada tahap dehidrasi, terjadi pelepasan gugus hidroksil dan pembentukan fasa oksida dimana serpentin dan magnesit terurai menjadi MgO dan SiO₂. Pada tahap reorganisasi kation, terjadi pemisahan kation seiring meningkatnya suhu sintering dan pada fasa stabil MgO-SiO₂ terbentuk *forsterite* dan sedikit *enstatite* sedangkan MgO yang berlebih akan membentuk *periclase*.

C. Silika

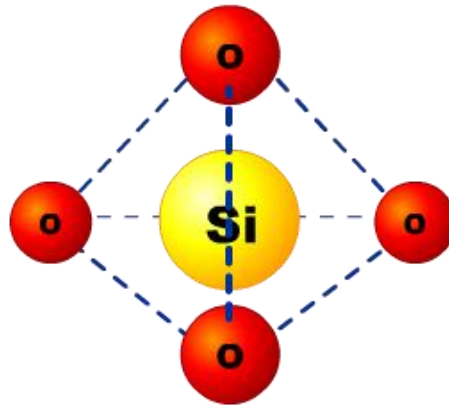
1. Karakteristik Silika

Silika termasuk oksida logam golongan IV dengan rumus molekul SiO₂. Silika memiliki ciri fisik berbentuk padatan atau serbuk halus, berwarna putih dengan berat jenis 2,65 g/cm³. Silika tidak dapat larut dalam air (Timmins, 1990), memiliki stabilitas termal yang tinggi serta daya tahan terhadap asam (H₂SO₄, HCl) dan basa (NaOH, KOH), sehingga dapat digunakan sebagai katalis (Katsuki, 2005), adsorben dan bahan filter. Silika merupakan salah satu bahan keramik yang memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi, pemuaian termal (*expansion thermal*) rendah, bersifat *resistant* dengan nilai resistivitas >10¹⁴ Ωm, dan dengan

konstanta dielektrik yang kecil silika dapat digunakan sebagai bahan isolator (Anonim E, 2006).

2. Struktur silika

Terdapat tiga bentuk kristal *polymorphic* silika yaitu kuarsa, tridimit dan kristobalit (Azhar, 2008). Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, yaitu empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silicon, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur tetrahedral unit silika (SiO_4) (Azhar, 2008).

Pada umumnya struktur silika yang terbentuk sebelum adanya perlakuan termal adalah kuarsa. Sedangkan silika yang telah diberi perlakuan termal akan menghasilkan struktur tridimit dan kristobalit. Secara termodinamika, pada temperatur kamar, kuarsa merupakan bentuk kristal yang paling stabil, yaitu di bawah temperatur $573\text{ }^\circ\text{C}$, satuan tetrahedral dari silika tersusun dalam suatu susunan heksagonal (Movina dkk 2004; Azhar, 2008), tetapi pada temperatur $875\text{ }^\circ\text{C}$ kestabilan susunan tetrahedral silika berubah, yaitu perubahan besar dari kuarsa ke tridimit

yang terjadi dalam fase mineral (metastabil) pada suhu transisi (Azhar, 2008), hal ini juga berpengaruh pada sifat mekaniknya seperti densitas, porositas dan kekerasan akibat perubahan ikatan Si-O-Si (Timnings, 1990). Struktur tridimit mampu stabil pada suhu 870 – 1470 °C, ketika tridimit dipanaskan pada suhu 1470 °C transformasi rekonstruktif menjadi kristobalit jarang terjadi, tetapi struktur dapat diterima sebagai fase metastabil ketika didinginkan pada suhu transisi, dengan penggantian secara cepat dan reversible pada suhu 200– 280 °C sehingga menghasilkan kristobalit. Struktur kristobalit memiliki rentang stabilitas yang lebih tinggi dari tridimit yaitu antara 1470 – 1713 °C (Movina dkk, 2004; Azhar, 2008).

D. Sekam Padi

Sekam padi merupakan bagian terluar dari gabah yang membungkus butir beras (Sudirman dan Iwan, 2000), dan bahan berserat tinggi yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin (Anindyawati, 2009). Sekam padi juga memiliki beberapa kandungan komposisi kimia zat organik dan komponen zat anorganik. Pada komposisi kimia zat organik kandungan yang paling dominan adalah serat kasar sebesar 35,68% berat dan karbohidrat sebesar 33,71% berat, selebihnya terbagi atas kadar air, protein, lemak dan zat arang (Nugraha dan Setiawati, 2001). Adapun komponen zat anorganik yang paling dominan dalam sekam padi yaitu unsur Silika (Si) sebesar 56,81% berat yang diperoleh setelah dilakukan proses pengeringan selama 1 jam pada suhu 190 °C, selebihnya terdapat komponen lain seperti Na, Fe, Ca, K, Mg, Si, P dan

Cl sebagai *impuritis* (Harsono, 2002). Sekam padi memiliki kerapatan jenis (*bulk densil*) 125 kg/m^3 , dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 kkal (Anonim F, 2011). Menurut Houston (1972) sekam memiliki *bulk density* 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300 -3600 kkal/kg dengan konduktivitas panas 0,271 BTU, sehingga sekam padi dapat digunakan sebagai sumber energi panas atau bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah dan kayu bakar akibat kandungan selulosa yang cukup tinggi dalam sekam padi (Nugraha dan Setiawati, 2001), dan sebagai sumber energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) (Roswani, 2002) melalui proses gasifikasi (termo kimia) (Affendi dkk, 2010). Selain itu, dengan menebar sekam padi merata di dasar kolam maka dapat mengontrol fluktuasi suhu air kolam lebih stabil untuk ternak ikan air tawar (Anonim G, 2009) dan sebagai tempat penyimpanan telur pada suhu ruang, karena sifat dari sekam padi yang mudah menyerap panas serta sulit melepas panas. Selanjutnya, pengarangan sekam padi menghasilkan jaringan regular silikat dengan diameter pori yang besarnya sama dengan molekul bahan terlarut (Wiryawan, 2011), oleh karena itu silikat dapat bertindak sebagai penyaring/penjernih air (Sitompul dkk, 1999; Esti dan Haryanto, 2000) dan sebagai filter logam pada air minum yang dapat menurunkan kandungan logam berat (Rusmawati dkk, 2007). Selain itu, setelah pembakaran dihasilkan ukuran pori yang lebih kecil, dengan adanya pori-pori mikro yang sangat banyak jumlahnya menimbulkan gaya kapiler (Tambunan, 2008) sehingga dapat digunakan sebagai adsorpsi (Trisno, 2011)

E. Silika Sekam Padi

Pemilihan bahan baku merupakan salah satu faktor penting untuk mendapatkan komposit dengan kemurnian yang tinggi, karakteristik yang baik, dan tentunya biaya produksi yang rendah. Untuk itu pemanfaatan hasil limbah seperti sekam padi adalah salah satu alternatif karena dalam sekam padi banyak mengandung silika. Silika yang terdapat dalam sekam memiliki struktur amorf terhidrat (Houston, 1972). Disamping itu, silika amorf diketahui mudah larut dalam larutan alkalis/basa yang banyak digunakan untuk mensintesis material keramik dan gelas.

1. Pembuatan silika sekam padi

Silika dalam sekam padi dapat diperoleh dengan dua metode, yaitu metode pengabuan dan ekstraksi. Metode pengabuan umumnya dilakukan pada suhu 300 - 700 °C, karena pada suhu tersebut seluruh komponen organik dalam sekam padi telah terbakar sempurna sehingga silika didapatkan sebagai residu pembakaran (abu sekam), selain silika yang kandungannya dominan terdapat zat – zat lain yang terkandung dalam abu sekam yang dapat disebut sebagai zat pengotor (*impurities*) (Alek dkk, 2002). Proses perolehan silika dengan metode pengabuan dilakukan dengan cara membakar sekam padi pada suhu 300 °C selama 30 menit, arang hasil pembakaran kemudian dioven pada suhu 600 °C selama 1 jam hingga didapatkan abu sekam padi seperti pada Gambar 3. Untuk menghilangkan *impurities*, abu sekam padi kemudian dimurnikan

melalui metode pengasaman menggunakan larutan HCl dan dibasahi dengan aquades, selanjutnya hasil pemurnian dipanaskan kembali pada suhu 600 °C hingga kering dan terbentuk silika serbuk berwarna putih (Sembiring, 2011).



Gambar 3. Silika sekam padi dari proses pengabuan (Alekk, 2002).

Untuk mendapatkan kemurnian dan homogenitas yang tinggi pada silika dalam sekam padi, biasanya digunakan metode ekstraksi. Pada metode ini, sekam padi yang telah dicuci dan dikeringkan direndam dalam larutan basa KOH 5% sebanyak 500 ml, dipanaskan hingga mendidih pada suhu 100 °C selama 30 menit. Selama pemanasan, pengadukan terus dilakukan agar sekam padi terekstrak dengan optimal. Hasil ekstraksi kemudian disaring hingga didapat silika berwarna coklat kehitam-hitaman dalam bentuk *sol* seperti pada Gambar 4. *Sol* silika yang diperoleh ini digunakan sebagai sumber silika. Dengan kemurnian yang tinggi, silika amorf pada sekam padi dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *gel* silika (Harsono, 2002) dengan menambahkan asam

kuat (HCl , H_2SO_4) yang kemudian menjadi dasar dalam pembuatan keramik.



Gambar 4. *Sol* silika hasil ekstraksi (Rachmaini, 2010).

Dibandingkan dengan metode pengabuan, metode ekstraksi lebih menguntungkan karena hasil ekstraksi dalam bentuk *sol* mudah bereaksi dengan bahan lain untuk membentuk material yang berbasis silika sekam padi (Sembiring, 2011), serta tidak memerlukan suhu reaksi yang tinggi dalam prosesnya sehingga sifat reaktif silika amorf lebih dapat dipertahankan.

2. Karakteristik Fisis Silika Sekam Padi

Karakteristik fisis silika dari sekam padi dapat dipengaruhi oleh faktor kemurnian/ketidakhurnian, struktur, mikrostruktur dan perlakuan termal. Sesuai dengan sifat silikat, bahwa perubahan suhu dapat mengakibatkan perubahan struktur dan mikrostruktur silikatnya. Silika

sekam padi diketahui mempunyai sifat yang sangat homogen dimana karakteristik fasanya dapat diatur dengan suhu sintering untuk mendapat fasa amorf, kristobalit dan tridimit (Hara, 1986). Mulanya silika amorf terbentuk ketika silika teroksidasi secara termal (Harsono, 2002), yaitu pada suhu 700 °C. Pada suhu 850, 950 dan 1050 °C terjadi proses kristalisasi dalam bentuk kristal kristobalit dan tridimit dengan presentasi kemurnian sebesar 98,8%, sehingga menunjukkan karakteristik kekerasan yang meningkat (Sembiring dan Karo-karo, 2009), hal ini dikarenakan perlakuan panas dapat membuat semakin rapatnya partikel-partikel dalam sampel (Yalcin and Sevic, 2001).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhayati, 2006 nilai porositas silika pada metode ekstraksi menurun pada suhu di bawah 950 °C yang menyebabkan partikel-partikel mempunyai bentuk dan susunan yang lebih teratur. Bentuk dan keteraturan partikel-partikel tersebut mengakibatkan sampel mengalami penyusutan sehingga porositas sampel berkurang akibat perlakuan panas pada suhu tinggi, selanjutnya peningkatan porositas terjadi pada suhu di atas 950 °C, hal ini dikarenakan sampel membentuk rongga ketika diberi perlakuan panas pada suhu tinggi, serta nilai kekerasan silika yang menurun dengan semakin tingginya suhu sintering. Sedangkan pada metode pengabuan, terjadi kenaikan nilai densitas dan penurunan nilai porositas dengan semakin meningkatnya suhu sintering.

3. Komposisi Silika Sekam Padi

Komposisi silika dari sekam padi adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar, nilai paling umum kandungan silika dari abu sekam adalah 94,96% (Harsono, 2002) dan 99,06% silika dari hasil ekstraksi. Selain itu, dalam sekam padi juga terdapat komposisi oksida-oksida logam lain yang merupakan material yang sering digunakan dalam aplikasi keramik diantaranya P_2O_5 , MgO , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O dan MnO , mineral-mineral ini merupakan material pengotor dalam silika sekam padi. Kandungan mineral pengotor ini akan berkurang dan kemurnian silika akan bertambah seiring meningkatnya suhu sintering.

F. Sintering

Sintering merupakan proses perlakuan panas terhadap material yang mengakibatkan perubahan struktur mikro, seperti pengurangan ukuran dan jumlah pori (Stenat and Wahlfarth, 1952; Restic, 1989), pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas dan penyusutan (*shrinkage*) (Restic, 1989). Perubahan struktur mikro ini dipengaruhi oleh laju pemanasan, penahanan dalam suhu tertentu, laju pendinginan serta beberapa faktor lain seperti jenis bahan, ukuran partikel, komposisi dan zat pengotornya (Vlack, 1994). Proses sintering adalah tahapan paling penting dalam pembuatan keramik, karena pada proses ini akan terjadi perubahan bahan baku yang sebelumnya dalam bentuk bubuk (*powder compact*) menjadi bahan keramik

yang kuat karena pemanasan pada suhu sangat tinggi (Notopuro, 2010) dibawah titik lelehnya (Smith, 1990; Vlack, 1994).

G. Penyusutan (*Shrinkage*)

Penyusutan terjadi akibat perubahan densitas dari temperatur proses ke temperatur ruang (Amri, 2009) yang ditandai dengan berkurangnya volume, massa dan dimensi (panjang, lebar dan tebal) suatu bahan. Faktor yang mempengaruhi penyusutan antara lain:

- a. Pembentukan
- b. Lama pembakaran (sintering)
- c. Ukuran butiran, komposisi dll (Anonim I, 2010).

Pengukuran penyusutan (S) merupakan persen pengurangan diameter dari sampel sebelum disintering (M_0) terhadap sampel yang telah disintering (M) dengan persamaan:

$$S = \frac{(M_0 - M)}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

S = Banyaknya prosentase penyusutan (*shrinkage*) (%)

M_0 = Massa sampel sebelum sintering (gram)

M = Massa sampel setelah sintering (gram)

H. Karakteristik Fisis

Pada pemrosesan komposit MgO-SiO₂, pengamatan difokuskan pada karakteristik fisis yang terdiri dari densitas, porositas, kekerasan dan konduktivitas.

1. Densitas

Densitas adalah kerapatan suatu bahan yang merupakan massa perunit volume. Densitas terjadi akibat perpindahan partikel ketika partikel mengalami pertumbuhan butir dan perubahan bentuk butiran. Penyusutan akan terjadi ketika slip cairan antara partikel dan peningkatkan tekanan pada titik kontak yang menyebabkan material menjauh dari daerah kontak dan memaksa pusat partikel untuk mendekat satu sama lain (Kingery dkk, 1976). Terdapat dua jenis densitas, yaitu *bulk density* (densitas total) dan *true density* (densitas teoritis). Pengukuran kerapatan (*density*) ditentukan dengan persamaan:

$$\rho = \frac{W_k}{W_j - W_b} \times \rho_{H_2O} \quad (2)$$

dimana:

ρ = *Bulk density* (gr/cm³)

ρ_{H_2O} = Densitas air (gr/cm³)

W_k = Berat sampel kering (gr)

W_j = Berat jenuh (gr)

W_b = Berat basah (gr)

2. Porositas

Porositas memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan densitas, di mana nilai densitas yang tinggi akan menghasilkan nilai porositas yang cenderung rendah. Nilai porositas yang tinggi menyatakan bahwa pada bahan tersebut memiliki banyak rongga didalamnya. Rongga yang banyak akan menyebabkan suatu bahan menjadi lebih rapuh dan kekuatannya berkurang (Vlack, 1992). Porositas merupakan perbandingan antara volume pori total dengan volume total sampel, volume pori dapat diketahui dengan metoda saturasi air yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{W_k}{W_j - W_b} \times 100\% \quad (3)$$

dimana:

ε = porositas

W_k = Berat sampel kering (gr)

W_j = Berat jenuh (gr)

W_b = Berat basah (gr)

Pada metoda ini, sampel ditimbang terlebih dahulu. Berat ini disebut berat kering (W_k). Sampel kemudian direndam di dalam air hingga seluruh pori dalam sampel terisi air. Sampel kemudian ditimbang kembali. Berat sampel pada saat basah ini disebut berat basah (W_b). Untuk mengetahui nilai densitas dan porositas suatu bahan dapat digunakan pengujian menggunakan prinsip *Archimedes* (Lohat, 2009).

3. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan terhadap indentasi (lekukan) dan ditentukan dengan mengukur kedalaman indentasi tetap, yang artinya bila menggunakan gaya atau beban tetap saat indenter diberikan maka akan menghasilkan indentasi. Apabila indentasi yang dihasilkan semakin kecil, maka material tersebut semakin keras. Kekerasan sampel akan meningkat seiring pertambahan suhu sintering yang dilakukan, karena semakin merapatnya partikel – partikel dalam sampel (Vlack, 1994). Ada tiga macam metode pengujian untuk kekerasan bahan, yaitu metode goresan, patahan dan penekanan (lekukan). Pengujian dengan metode penekanan biasanya menggunakan uji *brinell*, *vickers* dan *rockwell*. Pada uji kekerasan *vickers*, penekanan menggunakan piramida intan dengan dasar berbentuk bujur sangkar (George, 1987). Beban yang dapat digunakan berkisar antara 1-120 kg dengan sudut piramida yang berhadapan 136° , angka kekerasan (HV) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan sesuai dengan persamaan:

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

dimana:

P = Beban yang diberikan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

α = Sudut antara permukaan piramid yang berlawanan (136°)

4. Konduktivitas

Konduktivitas adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik dalam temperatur tertentu yang dinyatakan dalam micromosh percentimeter °C (Puradimaja, 2011). Konduktivitas listrik merupakan sifat penting suatu bahan, namun tidak semua bahan memiliki konduktivitas listrik (Mufid, 2010). Konduktivitas (σ) memiliki hubungan dengan resistivitas (ρ). Hubungan di antara keduanya adalah berbanding terbalik (Anonim J, 2011) dengan persamaan:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (5)$$

Dari persamaan diatas nilai konduktivitas listrik suatu bahan dapat digunakan untuk mengetahui kecenderungan bahan terhadap listrik (Mufid, 2010). Untuk mengukur konduktivitas listrik digunakan metode *two point probe*. Metode *two point probe* adalah metode yang mudah untuk diimplementasikan, karena metode ini hanya menggunakan dua *probe* pada pengukurannya. (Schroder, 2006).