

**PENGARUH TEMPERATUR PEMBAKARAN PADA
KERAMIK YANG DITAMBAH SERBUK CANGKANG
TELUR AYAM TERHADAP
KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ARIES INDRA KURNIAWAN CH
NIM. 0510623014-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**



**PENGARUH TEMPERATUR PEMBAKARAN PADA
KERAMIK YANG DITAMBAH SERBUK CANGKANG
TELUR AYAM TERHADAP
KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**ARIES INDRA KURNIAWAN CH
NIM. 0510623014-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT.

Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

NIP : 19460804 198303 1 001

NIP : 19770806 200312 2 001

**PENGARUH TEMPERATUR PEMBAKARAN PADA
KERAMIK YANG DITAMBAH SERBUK CANGKANG
TELUR AYAM TERHADAP
KEKERASAN DAN KETAHANAN KEAUSAN**

Disusun oleh:

ARIES INDRA KURNIAWAN CH

NIM.: 0510623014-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 9 Februari 2010

pada tanggal 09

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. MASDUKI MM.
NIP 19450816 197009 1 001

SUGIARTO, ST.,MT
NIP 19690417 199512 1 001

Komprehensif

Ir. ABDUL HADI DJAELANI.
NIP 19450728 197412 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. H. Slamet Wahyudi, ST. MT.
19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karuniaNya yang telah diberikan kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Temperatur Pembakaran Pada Keramik Yang Ditambah Serbuk Cangkang Telur AtamTerhadap Kekerasan dan Ketahanan AUS**” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng Anindito ST, MEng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT. selaku Ketua Konsentrasi Material dan dosen pembimbing pertama
4. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua.
5. Semua Pegawai ANINKRA yang membantu selama penelitian saya
6. Ayahanda Alm H Charis Hidayatulloh tercinta yang selalu memberikan motivasi dan nasehat selama beliau hidup.
7. Ibunda Hj Chusniati Ali tercinta yang telah memberikan rasa sabar dan kasih sayang tanpa batas serta dorongan untuk segera menyelesaikan skripsi.
8. Semua Keluarga yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu terima kasih atas semuanya
9. Teman-teman Mesin Angkatan 2005 Mesin Brawijaya atas solidaritasnya.
10. Teman-teman kost, dan yang lainnya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi melengkapi skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua

Malang, Januari 2010

Penulis



RINGKASAN

Aries Indra KCH, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin. Universitas Brawijaya Malang, Januari 2010. “*Pengaruh Temperatur Pembakaran Pada Keramik Yang Ditambah Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Keausan*”. Dosen Pembimbing 1 : Winarno YA Ir.,MT. Dosen Pembimbing 2 : Putu Hadi S. ST.,MT

Pemakaian keramik pada awalnya adalah sebatas pada tembikar dan bata. Seiring dengan perkembangannya, keramik mulai dipakai pada bidang - bidang yang lain seperti pada bidang otomotif, industri pesawat terbang, elektronik, kedokteran, konstruksi, alat potong, alat rumah tangga dan sebagainya. Pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa penambahan serbuk kerang sebagai sumber *Ca* (kalsium) dapat meningkatkan kekerasan pada keramik. Dalam penelitian ini akan diupayakan bahan lainnya sebagai sumber calsium yaitu cangkang telur. Kalsium dalam keramik berfungsi sebagai pelebur aktif pada suhu diatas 950°C . Dan dalam penelitian ini sumber Kalsium yang berasal dari serbuk keramik diganti dengan serbuk cangkang telur yang memiliki kalsium yang tinggi pula.

Pada penelitian ini dilakukan dua uji mekanik yaitu kekerasan dan ketahanan keausan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata, dan diberikan variasi temperatur pembakaran keramik yaitu 1100°C , 1150°C , 1200°C , 1250°C . Sedangkan komposisi bahan dasar keramik adalah kaolin, *felspard*, *ball clay*, dan kwarsa, sedangkan komposisi yang dipakai adalah sebagai berikut: kaolin 36%, *felspard* 26%, *ball clay* 20%, dan kwarsa 18% (I Wayan Adi Wiprana, 2008 : 3), dengan penambahan cangkang telur sebesar 60 %.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar suhu pembakaran maka kekerasan dan ketahanan keausan akan semakin meningkat pula. Kekerasan tertinggi pada saat suhu 1250°C yakni sebesar 15 HRC dan ketahanan keausan tertinggi juga pada saat suhu 1250°C yaitu sebesar 0.5893 gram/menit.

Kata kunci : Serbuk cangkang telur, temperatur pembakaran, kekerasan, ketahanan Keausan Keramik

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
RINGKASAN	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Definisi Keramik	4
2. 1. 1 Jenis Badan Keramik.....	4
2.2. Bahan Baku Keramik.....	5
2.2.1 Tanah Liat (Lempung).....	5
2.2.2 Bahan Baku Plastis.....	9
2.2.3 Bahan Baku Non Plastis.....	10
2.3. Proses Pembuatan Keramik.....	12
2.3.1. Proses Pengolahan Tanah Liat	12
2.3.2. Pembentukan.....	13
2.3.3 Pengeringan.....	14
2.3.4 Pembakaran Keramik.....	15
2.4. Kekerasan Keramik.....	16
2.4.1 Pengertian Kekerasan Keramik.....	16
2.4.2. Pengujian Kekerasan Keramik.....	16
2.5. Ketahanan aus.....	18
2.5.1 Pengertian Ketahanan Aus.....	18
2.5.2 Macam Macam Ketahanan Aus.....	18
2.5.3 Metode Pengujian Ketahanan Aus.....	22
2.6. Hipotesa.....	23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian 24

3.2. Variabel Penelitian 24

 3.2.1. Variabel Bebas 24

 3.2.3 . Variabel Kontrol 24

 3.2.3. Variabel Terikat 24

3.3. Tempat Penelitian 24

3.4. Persiapan..... 25

 3.4.1 Bahan Baku..... 25

 3.4.2 Alat-Alat dan Bahan Penunjang.....25

3.5. Proses Pembuatan Spesimen 26

3.6. Metode Pengujian 26

 3.6.1 Pengujian Kekerasan Keramik..... 26

 3.6.2 Pengujian Ketahanan Keausan..... 27

3.7. Rancangan Percobaan..... 27

3.8. Diagram Alir Percobaan..... 31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian 33

 4.1.1. Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus 33

 4.1.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan..... 34

4.2. Pengolahan Data 30

 4.2.1. Analisa Statistik 35

 4.2.2. Analisa Regresi 38

4.3. Pembahasan 39

 4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Antara Temperatur Pembakaran Terhadap Kekerasan Keramik.....39

 4.3.2. Analisa Grafik Hubungan Antara Temperatur Pembakaran Terhadap Ketahanan Keausan Keramik..... 41

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 42

5.2. Saran 42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

GAMBAR BAB I

-

GAMBAR BAB II

Gambar 2.1 Partikel Lempung	6
Gambar 2.2 Air Terikat Secara Fisik Pada Permukaan Lempung.....	6
Gambar 2.3 Air Terikat Secara Kimia Pada Tepi Partikel Lempung.....	7
Gambar 2.4 Kaolin.....	9
Gambar 2.5 <i>Ball clay</i>	10
Gambar 2.6 Kwarsa.....	11
Gambar 2.7 <i>Feldspar</i>	18
Gambar 2.8 Serbuk Cangkang Telur	12
Gambar 2.9 Mesin Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	17
Gambar 2.10 Kekerasan <i>Rockwell</i>	17
Gambar 2.11 Prosedur Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	18
Gambar 2.12 Keausan <i>Abrasive</i>	19
Gambar 2.13 <i>Contact Wear</i>	20
Gambar 2.14 Mekanisme Keausan Erosi.....	21
Gambar 2.15 <i>Abrasive Wear Testing Machine ASTM G65</i>	22

GAMBAR BAB III

Gambar 3.1 Spesimen Uji Kekerasan.....	26
Gambar 3.2 Ukuran Benda Kerja	27

GAMBAR BAB VI

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Temperatur Pembakaran dan Kekerasan Keramik.....	39
Gambar 4.2 Foto Struktur Mikro Setelah Dibakar Pada Suhu 1100 °C	40
Gambar 4.3 Foto Struktur Mikro Setelah Dibakar Pada Suhu 1150 °C	40
Gambar 4.4 Foto Struktur Mikro Setelah Dibakar Pada Suhu 1200 °C	40
Gambar 4.5 Foto Struktur Mikro Setelah Dibakar Pada Suhu 1250 °C	40
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Temperatur Pembakaran dan Ketahanan Aus Keramik.....	41

GAMBAR BAB V



DAFTAR TABEL

Halaman

TABEL BAB I

-

TABEL BAB II

-

TABEL BAB III

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian..... 28

Tabel 3.2 Analisis Varian Satu Arah 29

TABEL BAB IV

Tabel 4.1 Tabel 4.1. Tabel Data Massa Hasil Pengujian Ketahanan Aus..... 33

Tabel 4.2 Tabel Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus 33

Tabel 4.3 Tabel Data Laju Keausan 34

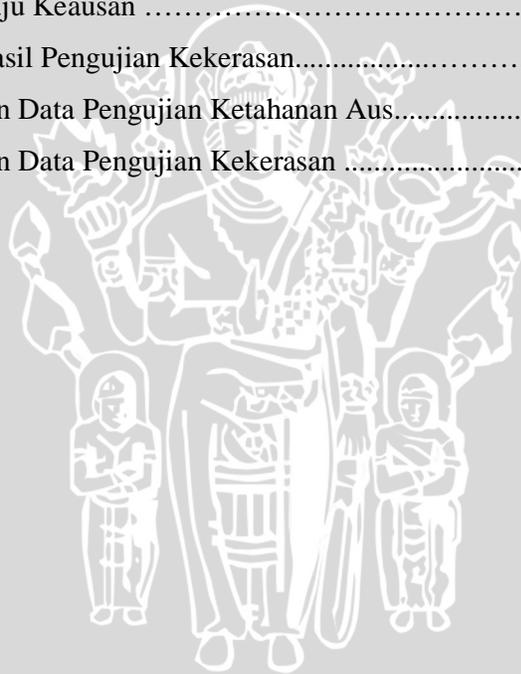
Tabel 4.4 Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan..... 34

Tabel 4.5 Analisa Varian Data Pengujian Ketahanan Aus..... 31

Tabel 4.6 Analisa Varian Data Pengujian Kekerasan 38

TABEL BAB V

-



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian keramik pada awalnya adalah sebatas pada tembikar dan bata. Seiring dengan perkembangannya, keramik mulai dipakai pada bidang - bidang yang lain seperti pada bidang otomotif, industri pesawat terbang, elektronik, kedokteran, konstruksi, alat potong, alat rumah tangga dan sebagainya.

Keramik merupakan material yang terdiri dari gabungan elemen logam dan non-logam. Struktur kristal dari keramik merupakan salah satu yang paling kompleks diantara material, terdiri dari berbagai macam elemen dengan berbagai ukuran. Ikatan antar atom biasanya terjadi secara kovalen dan ikatan ion. Ikatan ini lebih kuat daripada ikatan pada logam, sehingga mempunyai sifat yang lebih baik dari logam, terutama kekerasan, dan tahan aus (Reed, 1989: 13)

Permasalahan-permasalahan yang ada pada keramik merupakan masalah yang kompleks, penumpukan keramik yang berlebihan maupun pada saat pengemasan sehingga keramik retak atau patah, gesekan yang mengakibatkan permukaan kasar/lecet, dan sifat plastisitas keramik yang mengakibatkan patah. Oleh sebab itu perlu diupayakan cara-cara untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus keramik.

Pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa penambahan serbuk kerang sebagai sumber *Ca* (kalsium) dapat meningkatkan kekerasan pada keramik. Dalam penelitian ini akan diupayakan bahan lainnya sebagai sumber kalsium yaitu cangkang telur. Kalsium dalam keramik berfungsi sebagai pelebur aktif pada suhu diatas 950⁰C.

Dari penelitian sebelumnya, pengaruh penambahan serbuk kerang dapat meningkatkan kekerasan dan pada penelitian ini serbuk kerang diganti dengan serbuk cangkang telur.

Penelitian tentang cangkang telur yang pernah dilakukan oleh Csaba Bal' azsi (2007). Mereka membuat *Hydroxipatite* (HAP) yang dikenal sebagai bioaktif dan *biocompatible material inorganic*. Bahan utama dari HAP adalah kalsium karbonat yang banyak terdapat pada cangkang telur sekitar 95 %. Bahan

utama dilakukan pemanasan sampai suhu 900°C lalu kemudian cangkang telur digiling dan direaksikan dengan larutan asam *phosporic*, selanjutnya sintering selama 2 jam pada suhu 900°C atau 1000°C dan terakhir diteliti secara mikroskopis. Dari percobaan diatas dapat disimpulkan bahwa kalsium banyak terdapat pada cangkang telur, dan dapat digunakan untuk percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh Wiprana dengan mengganti sumber kalsium sebelumnya yaitu kerang diganti cangkang telur.

Variabel yang diteliti adalah variasi temperatur pembakaran terhadap kekerasan dan keausan keramik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur pembakaran terhadap ketahanan keausan dan kekerasan keramik

1.3 Batasan Masalah

1. Parameter yang diuji adalah kekerasan dan keausan keramik.
2. Pembakaran keramik dilakukan dengan variasi suhu 1100°C , 1150°C , 1200°C , dan 1250°C
3. Jumlah serbuk cangkang telur yang ditambahkan dibuat perbandingan massa 3 serbuk cangkang telur dan 2 bahan dasar keramik
4. Bahan dasar keramik yang umum dipakai pada industri keramik adalah kaolin, *felspard*, *ball clay*, dan kwarsa, sedangkan komposisi yang dipakai adalah sebagai berikut: kaolin 36%, *felspard* 26%, *ball clay* 20%, dan kwarsa 18% (Wiprana, 2008 : 3).
5. Spesimen tidak dilakukan pengglasiran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur pembakaran keramik yang dicampur serbuk cangkang telur terhadap kekerasan dan keausan keramik.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat:

1. Memanfaatkan limbah (cangkang telur) menjadi sesuatu yang berguna.
2. Sebagai sumbangan informasi terhadap industri keramik.
3. Sebagai aplikasi dari perkuliahan yang pernah ditempuh.
4. Sebagai pengetahuan baru untuk institusi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani keramos, dimana artinya adalah bahan yang dibakar. Sedangkan yang dimaksud dengan barang atau bahan keramik ialah: semua benda-benda yang terbuat dari tanah liat/lempung yang mengalami suatu proses pengerasan dengan pembakaran suhu tinggi. Pengertian keramik yang lebih luas dan umum adalah “Bahan yang dibakar tinggi” termasuk didalamnya semen, gips, metal dan lainnya.

2.1.1. Jenis Badan keramik

Badan keramik adalah bagian utama dalam pembuatan keramik dan bahan utamanya biasa disebut dengan bahan mentah keramik. Berikut adalah jenis badan keramik:

1. **Gerabah (*Earthenware*)**, dibuat dari semua jenis bahan tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk dan dibakar pada suhu maksimum 1000°C. Keramik jenis ini struktur dan teksturnya sangat rapuh, kasar dan masih berpori. Agar kedap air, gerabah kasar harus dilapisi glasir, semen atau bahan pelapis lainnya. Gerabah termasuk keramik berkualitas rendah apabila dibandingkan dengan keramik batu (*stoneware*) atau porselin. Bata, genteng, paso, pot, anglo, kendi, genteng dan sebagainya termasuk keramik jenis gerabah. Genteng telah banyak dibuat berglasir dengan warna yang menarik sehingga menambah kekuatannya.
2. **Keramik Batu (*Stoneware*)**, dibuat dari bahan lempung plastis yang dicampur dengan bahan tahan api sehingga dapat dibakar pada suhu tinggi (1200°-1300°C). Keramik jenis ini mempunyai struktur dan tekstur halus dan kokoh, kuat dan berat seperti batu. Keramik jenis termasuk kualitas golongan menengah.
3. **Porselin (*Porcelain*)**, adalah jenis keramik bakaran suhu tinggi yang dibuat dari bahan lempung murni yang tahan api, seperti kaolin, alumina dan silika. Oleh karena badan porselin jenis ini berwarna putih bahkan bisa tembus

cahaya, maka sering disebut keramik putih. Pada umumnya, porselin dipijar sampai suhu 1350°C atau 1400°C, bahkan ada yang lebih tinggi lagi hingga mencapai 1500°C. Porselin yang tampaknya tipis dan rapuh sebenarnya mempunyai kekuatan karena struktur dan teksturnya rapat serta keras seperti gelas. Oleh karena keramik ini dibakar pada suhu tinggi maka dalam bodi porselin terjadi penggelasan atau *vitrifikasi*. Secara teknis keramik jenis ini mempunyai kualitas tinggi dan bagus, disamping mempunyai daya tarik tersendiri karena keindahan dan kelembutan khas porselin. Juga bahannya sangat peka dan cemerlang terhadap warna-warna glasier

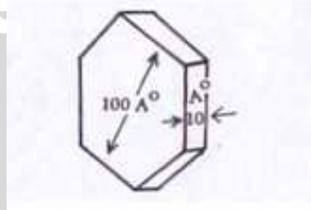
4. **Terracotta**, adalah jenis badan tanah liat merah juga. Namun berasal dari bahasa Italy yang berarti 'tanah bakaran' dengan penambahan pasir, atau *grog/chamotte* (tepung tanah liat bakar), badan ini dapat dibakar sampai suhu stonwere. Badan ini sukar diputar, tetapi sangat baik untuk dipress atau dicetak langsung untuk barang besar.
5. **Keramik Baru (*New Ceramic*)**, adalah keramik yang secara teknis, diproses untuk keperluan teknologi tinggi seperti peralatan mobil, listrik, konstruksi, komputer, cerobong pesawat, kristal optik, keramik metal, keramik multi lapis, keramik multi fungsi, komposit keramik, silikon, *bioceramic*, dan keramik magnet. Sifat khas dari material keramik jenis ini disesuaikan dengan keperluan yang bersifat teknis seperti tahan benturan, tahan gesek, tahan panas, tahan karat, tahan suhu kejut seperti isolator, bahan pelapis dan komponen teknis lainnya.

2.2 Bahan Baku Keramik

2.2.1 Tanah liat (lempung)

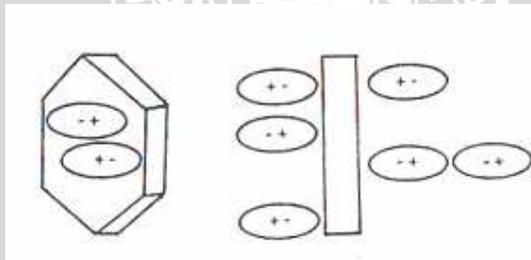
Tanah liat adalah suatu zat yang terbentuk dari kristal-kristal dengan bahan utama disebut kaolin. Bentuknya seperti lempengan kecil-kecil hampir berbentuk segi enam dengan permukaan datar dilihat dari rumus kimia termasuk hidrosilikat alumina. Bentuk kristal tersebut menyebabkan bila tanah liat dicampur air mempunyai sifat liat (plastis). Mudah dibentuk karena kristal-kristal ini meluncur diatas satu dengan yang lainnya dengan air sebagai pelumas

Lempung bersifat plastis dan bisa dibentuk bila cukup halus dan basah, kaku bila kering, dan kaca (*vitreus*) bila dibakar pada suhu yang cukup tinggi. Sifat plasisitas ini sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik lempung, dan sangat berbeda-beda pada berbagai jenis lempung. Lempung dipilih menurut sifat khusus tertentu yang dikehendaki dan biasanya diramu dari berbagai jenis untuk mendapatkan hasil yang paling baik. Lempung sangat beraneka ragam dalam sifat fisiknya dan dalam kandungan ketidakmurnian seperti oksida-oksida besi, sehingga harus ditingkatkan mutunya terlebih dahulu melalui proses benefisiasi (*beneficiation*).

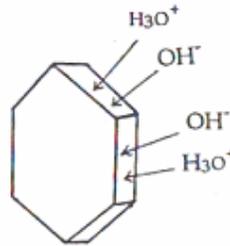


Gambar 2.1. Partikel lempung
Sumber: Hartomo(1994:6)

Hanya ada lima lapis yang menyusun tebal partikel lempung , karena tipisnya partikel tersebut ion-ion tak dapat ditarik kedalam, namun menjadi terkutub, memberi muatan-muatan positif-negatif pada permukaan. Muatan ini diimbangi oleh serapan fisik molekul air, yang dapat membentuk dwikutub. Air tertaut dan tak lagi mudah bergerak.



Gambar 2.2. Air terikat secara fisik pada permukaan partikel lempung.
Sumber: Hartomo(1994:7)



Gambar 2.3. Air terikat secara kimia pada tepi partikel lempung.
Sumber: Hartomo(1994:7)

Bagian tepi partikel merupakan ikatan putus sehingga dapat diimbangi (secara kimia) dengan menarik air ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$). Permukaan lempung sangat luas sehingga terdapat muatan yang besar pada permukaannya. Dengan demikian lempung dapat mengikat air disekitarnya, sehingga air tersebut hanya dapat dipisahkan diatas suhu 1000°C .

Sistem lempung ini merupakan kunci cara pembentukan keramik, bila kandungan air sedikit ($<10\%$) air tak cukup untuk mengimbangi muatan dwikutub pada partikelnya. Sehingga partikel-partikel lempung bersaing memperebutkan air sehingga menempel sangat kuat.

a. Jenis-jenis lempung (tanah liat)

Berdasarkan tempat pengendapan dan jarak pengangkutannya dari daerah asal, tanah liat dapat dibagi kedalam jenis-jenis berikut:

1. Tanah liat residu (tanah liat primer) yaitu tanah liat yang terdapat pada tempat dimana tanah liat tersebut terjadi. Sebagian besar merupakan hasil pelapukan dari batuan keras. Pada umumnya batuan keras basalt/adesit akan memberikan lempung merah sedangkan granit akan memberikan lempung putih. Tanah liat residu ini memiliki sifat-sifat:
 - Berbutir kasar bercampur batuan asal yang belum lapuk
 - Tidak plastis

Contoh tanah liat residu adalah kaolin.

2. Tanah liat endapan (tanah liat sekunder) yaitu tanah liat yang dipindahkan oleh air, angin, gletser dan sebagainya, dari tempat batuan cadas induk. Tanah liat ini biasa disebut juga batuan sedimen, sifat-sifat tanah liat ini adalah:

- kurang murni karena tercampur unsur-unsur lain pada waktu perpindahan dari tempat asal.
- Berbutir lebih halus
- Lebih plastis

Contoh tanah endapan adalah: tanah limbah sungai, tanah *marine* (laut), tanah rawa, tanah danau.

b. Sifat-sifat Tanah liat

Lempung mempunyai sifat-sifat fisik dan kimia yang penting untuk pembuatan keramik:

1. Sifat liat (plastis)

Tanah liat harus memiliki sifat plastis agar mudah dibentuk. Sifat ini dipengaruhi besar kecilnya butir dan juga zat-zat organik seperti akar tumbuh-tumbuhan, sisa-sisa binatang kecil dan mineral lain yang terkandung dalam tanah liat. Lempung dapat dikatakan plastis apabila kita dapat dengan mudah membentuknya.

2. sifat porous

Tanah liat mengandung partikel-partikel pembentuk tanah, yang terdiri dari partikel halus dan kasar. Perbandingan dan besar butir sangat mempengaruhi sifat porous tersebut.

Tanah liat harus cukup porous agar:

- Air plastis (air pembentuk: yaitu sejumlah air yang diberikan pada tanah liat untuk dapat dibentuk) menguap dengan mudah pada waktu dikeringkan.
- Air yang terikat secara kimia (air kimia: yaitu air yang terkandung didalam tanah liat itu sendiri secara alami) dengan mudah dapat dikeluarkan pada waktu permulaan pembakaran sehingga terhindar dari letusan-letusan uap dan retak-retak.
- Berbagai macam gas yang disebabkan oleh pembakaran zat-zat organik yang ada dalam tanahnya dapat keluar.

3. Sifat mengelas

Tanah liat harus menjadi padat, keras dan kuat (mengelas) pada suhu yang diperlukan untuk pembuatan keramik. Yang dinamakan pengelasan sebenarnya adalah suatu proses pencairan dalam dimana bagian-bagian tertentu dari tanah liat mulai mencair menjadi gelas.

2.2.2 Bahan baku plastis

Bahan baku plastis yang dipakai dalam pembuatan keramik yang terpenting adalah tanah liat karena bahan ini mempunyai sifat:

1. Dengan sejumlah cairan tertentu menjadi plastis dan dapat dibentuk
2. Mempunyai daya ikat untuk bahan-bahan yang tidak plastis.
3. Setelah mengalami proses pada temperatur tinggi, yaitu lebih dari 900°C tidak meleleh dan kehilangan bentuk.

Yang termasuk bahan baku plastis yaitu:

1. Kaolin

Adalah tanah liat yang mengandung mineral kaolinit sebagai bagian terbesar, dan termasuk jenis tanah liat primer. Memiliki butir yang kasar, sifatnya rapuh dan tidak plastis jika dibandingkan dengan lempung sedimenter. Kaolin memiliki taraf penyusutan yang rendah dan kekuatan keringnya pun lebih rendah dan sangat tahan api. Untuk itu *ball clay* ditambahkan agar menambah keplastisan dan bahan pelebur ditambahkan untuk mengurangi “ketahanan api”, Titik leleh Pembakaran kaolin bisa mencapai 1800°C .



Gambar 2.4 : Kaolin
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2. Ball Clay

Ball clay merupakan tanah liat sekunder yang mempunyai tingkat plastisitas yang tinggi dan berbutir halus sehingga penyusutannya tinggi kurang lebih 20% dan melebur pada suhu 1300°C . *Ball clay* biasanya berwarna abu-abu tua karena adanya karbon. Semakin banyak kandungan karbon akan menambah sifat plastis. *Ball clay* hanya digunakan untuk memberikan pertolongan selama dalam pembentukan, Karena felpard dan kwarsa tidak plastis.

Sifat-sifat *ball clay*:

1. Ukuran partikel yang halus.
2. Plastisitas yang tinggi.
3. Kekuatan kering yang tinggi.
4. Penyusutan pada saat pengeringan dan pembakaran tinggi.
5. Warna setelah pembakaran menjadi abu-abu muda karena unsur besinya lebih banyak dari kaolin.



Gambar 2.5 : *Ball Clay*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2.2.3 Bahan baku non plastis

1. Kwarsa

Kwarsa merupakan bahan yang mempunyai sifat tidak plastis sehingga apabila digunakan untuk membuat badan keramik akan mengurangi tingkat plastisitas dan penyusutannya. Kwarsa/silika digunakan untuk menambah kemampuan bentuk dan pengeras, sedangkan dalam glasir kwarsa ini berfungsi sebagai pengelas. Titik Lebur kwarsa/ silika adalah 1600°C .

Tujuan penggunaan Kwarsa adalah sebagai berikut:

- a. Mengurangi retak-retak dalam proses pengeringan.
- b. Mengurangi susut dan mempertinggi kualitas.
- c. Merupakan rangka selama pembakaran.



Gambar 2.6 : Kwarsa
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2 *Feldspar*

Feldspar dihasilkan dari pelapukan batuan granit dan lava (*igneous*) dimana tanah liat itu terbentuk.

Feldspar terdiri dari berbagai jenis, yaitu :

- a.. Potash *feldspar*
- b. Sodium *feldspar*

Sebagai bahan yang tidak plastis, *feldspar* sangat penting dalam industri keramik. karena dapat berfungsi untuk mengurangi penyusutan pada waktu proses pengeringan dan pembakaran, juga berfungsi sebagai *flux* (Peleleh) pada suhu diatas 1200°C . Titik leburnya antara 1170°C . sampai 1290°C . *Feldspar* sangat bermanfaat dalam pembuatan benda keramik pecah belah, stoneware, porseli, dan juga bahan untuk membuat glasir.



Gambar 2.7 : *Feldspar*
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Serbuk Cangkang Telur

Cangkang telur ayam merupakan sumber kalsium tinggi, cangkang telur ayam mengandung 94 – 97% *calcium carbonate*. (Prabakaran, A., Balamurugan, Rajeswari. (2005).

Kegunaan kalsium dalam keramik adalah sebagai pelebur aktif pada temperatur lelehnya yaitu 950⁰C. yang dimaksud dari pelebur aktif adalah menurunkan titik didih bahan keseluruhannya (Astuti,1997:24). Pada keramik yang tidak ditambahkan cangkang telur memiliki kekerasan sebesar 13 HRC (Prasetyo,2009:35), dan dengan penambahan cangkang telur sebagai sumber kalsium diharapkan dapat meningkatkan kekerasan keramik.

Serbuk cangkang telur ayam juga berfungsi sebagai *grog* (bahan tambahan yang didapat dari sisa bahan keramik atau bata tahan api dan beberapa jenis material dari alam yang ditumbuk menjadi serbuk). *Grog* berfungsi sebagai bahan tambahan untuk mengurangi penyusutan volume selama proses pengeringan dan pembakaran, juga berfungsi untuk mempercepat pengeluaran air selama proses pengeringan dan pembakaran.

Komposisi serbuk cangkang telur *Calcium Carbonate* 95%, *fosfor* 0.3%, *magnesium carbonate* 0.3%, zat-zat organik 4.4% Prabakaran, A., Balamurugan, Rajeswari. (2005).



Gambar 2.8 : Serbuk Cangkang Telur
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2.3 Proses Pembuatan Keramik

2.3.1 Proses pengolahan tanah liat

Tanah liat untuk pembuatan keramik harus diolah terlebih dahulu sebelum tanah liat tersebut siap untuk dibentuk. Karena hampir semua tanah dalam bentuk aslinya mengandung terlalu banyak *grit* (bahan yang kasar dalam bahan yang halus) yang harus dipisahkan dahulu sebelum tanah itu dipakai. Cara penyaringan tanah liat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Cara kering

Bila lempung mengandung batuan yang berbutir kasar dan keras, diperlukan alat penghancur atau penggiling dan ayakan untuk melumatkan dan memisahkan butiran-butiran kasar dan halus. Lempung yang sudah digiling dan diayak kemudian dicampur air secukupnya hingga didapatkan adonan plastis.

2. Cara basah

Pemisahan kotoran-kotoran tanah ini dilakukan dengan pencucian tanah dengan banyak air. Prosesnya, tanah dicampur dengan banyak air, membentuk suatu suspensi yang encer dalam bak-bak pengaduk, lalu suspensi tersebut disaring dan dibiarkan mengendap dalam suatu tempat pengendapan. Kotoran-kotoran yang halus dapat melalui ayakan akan terendapkan sedang bahan sangat halus yang masih belum mengendap lalu disaring lagi serta akhirnya dikeringkan. Jika akan digunakan untuk pembentukan, lempung kering yang telah disaring halus tersebut kemudian dicampur dengan air secukupnya hingga diperoleh adonan yang cukup plastis.

2.3.2 Pembentukan

Tanah yang akan dibentuk benda-benda keramik biasanya plastis, atau berupa cairan, dapat pula berupa tepung atau gumpalan keras. Cara membentuknya ada bermacam-macam, diantaranya:

1. Tanah liat plastis

Tanah liat ini dapat dibentuk dengan beberapa cara:

- Dibentuk dengan tangan
- Dibentuk dengan putaran

- o Dibuat dengan mesin *jigger*
 - o Dibentuk dengan ditekan.
2. Tanah liat berupa larutan

Cara pembentukannya dikenal dengan cara cetak tuang yang prinsipnya adalah slip (larutan lempung yang tidak terlalu encer) dituangkan ke dalam cetakan gips. Karena cetakan gips ini menyerap air, maka pada permukaan cetakan ini akan terbentuk suatu kulit tanah. Jika kulit tanah ini sudah cukup tebal, larutan kelebihannya dituangkan kembali dan kulit yang tinggal dibiarkan kering dan menyusut. Setelah menyusut bendanya akan keluar dengan sendirinya. Benda dikeluarkan, finishing dan dikeringkan.

Dalam proses mencetak umumnya sangat diperlukan larutan tanah encer tetapi tidak banyak mengandung air, untuk itu ditambahkan pengencer (*deflocculant*) kedalam larutan tadi

Pengencer ini mempunyai daya menyemburkan partikel-partikel tanah liat sehingga taraf cair dari larutan bertambah.

3. Tanah liat berupa tepung

Biasanya tanah liat ini hanya mengandung cairan 10-20% saja, cukup untuk menjadi padat dengan tekanan dan dibentuk dengan tekanan kering (*dry pressing*)

4. Tanah liat dalam keadaan kering dan padat

Lempung yang digunakan berupa gumpalan dalam keadaan kering atau hampir kering. Cara membuatnya dengan diputar atau dibubut.

2.3.3 Pengeringan

Mengeringkan benda keramik berarti menghilangkan apa yang disebut air plastis saja, sedang air yang terikat dalam molekul tanah liat hanya bisa dihilangkan melalui proses pembakaran.

Tujuan pengeringan:

- Memberikan kekuatan pada bahan mentah sehingga dapat disusun dalam tungku.
- Menghilangkan air yang berlebihan, yang menimbulkan kesukaran-kesukaran dalam proses pembakaran.

Kerusakan pada waktu pengeringan.

- Perubahan bentuk

Kerusakan ini disebabkan karena pencampuran badannya tidak homogen, maksudnya yaitu ada bagian-bagian yang besar atau tebal ada bagian-bagian yang kecil atau tipis. Sehingga menyebabkan tegangan-tegangan antara bagian tersebut, pengeringan tidak sama.

- Retak-retak

Penyebabnya hampir sama dengan perubahan bentuk. Bila tegangan yang terjadi dalam badan terlalu tinggi maka barangnya akan retak, selain itu juga disebabkan karena perbedaan penyusutan pada bagian-bagian benda. Jika pada pengeringan telah terjadi retak maka pada saat pembakaran retak ini akan bertambah besar.

2.3.4 Pembakaran keramik

Proses pembakaran keramik dapat dibagi atas tiga tahap yaitu:

1. Tahap menghilangkan uap

Suhu pembakaran pada suhu ini berlangsung dari awal sampai 500 °C. Pada tahap ini air yang terikat (air kimia) pada molekul tanah liat menguap, selain itu unsur karbon dan unsur organik dibakar habis. Pada tahap ini pembakaran dilakukan secara perlahan-lahan terutama untuk barang yang berukuran besar, agar air dapat diuapkan melalui pori-pori benda keramik.

Pada suhu sekitar 350 °C – 400 °C zat-zat organik dan unsur karbon terbakar habis. Jika suhu pembakaran terlalu cepat meningkat, kemungkinan terjadi pengelasan yang akan menghambat pembakaran gas yang seakan-akan tertutup oleh pengelasan itu tadi.

2. Tahap pengelasan atau pengerasan

Suhu pengelasan dimulai dari suhu 500 °C sampai mencapai taraf pengelasan pada suhu sekitar 800 °C. Unsur pembentuk gelas dalam tanah liat pada saat suhu tinggi akan mencair kemudian menjadi gelas dan bila didinginkan menjadi keras.

Pada umumnya pembakaran pada tahap ini berlangsung cepat tetapi jika tanahnya mengandung silika dalam bentuk pasir atau flint pembakaran diperlambat. Sebab dalam pembakaran struktur kristal silika akan berubah pada beberapa temperatur tertentu. Pembakaran struktur yang paling menentukan adalah pada saat suhu 573 °C, pada suhu ini bila silika dibakar maka volumenya cepat meningkat sedangkan bila didinginkan maka volumenya cepat menyusut, inilah yang disebut titik inversi kwarsa. Untuk itu pada saat ini pembakaran diperlambat.

3. Tahap pendinginan

Jika suhu pembakaran telah tercapai yaitu 1300 °C. Maka pembakaran harus dihentikan dan pada saat dilakukan pendinginan secara lambat (*annealing*). Tujuan dari pendinginan lambat adalah agar benda tersebut terhindar dari retak-retak.

Ada beberapa cara untuk menguji apakah pembakaran tanah liat yang dibakar sudah cukup matang, caranya yaitu:

- a. Dengan meneteskan air pada permukaan benda yang dibakar pada suhu 1050°C. Bila air segera terserap maka benda tersebut dapat dibakar pada suhu yang lebih tinggi.
- b. Dengan menggoreskan logam tajam, bila benda tergores hanya dengan tekanan yang rendah saja, maka itu menandakan bahwa bakaran masih rendah. Karena masih banyak mengandung kadar air.

2.4 Kekerasan Keramik

2.4.1 Pengertian kekerasan keramik

Ciri khas bahan keramik adalah kekerasannya yang sangat tinggi. Kekerasan adalah ukuran tahanan benda terhadap deformasi plastis pada

permukaan bahan. Beberapa cara pengukuran kekerasan telah ditetapkan dengan cara deformasi yang berbeda-beda. Beberapa cara pengukuran kekerasan adalah *Vickers*, *Brinell*, *Rockwell* dan *Knoop* yang dipakai dalam industri.

Penekanan pada bahan getas seperti keramik dalam banyak hal dapat mengakibatkan retakan lokal mengikuti deformasi elastis. Sukar sekali menghubungkan secara teoritis antara kekerasan yang memiliki proses rumit tersebut dengan sifat-sifat fisiknya.

2.4.2 Pengujian kekerasan keramik

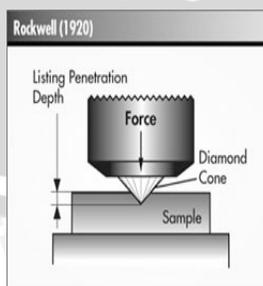
Pengujian Kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi.



Gambar 2.9 : Mesin Uji Kekerasan *Rockwell*

Sumber : http://www.ptli.com/testlopedia/images/Rockwell_Hardness.JPG

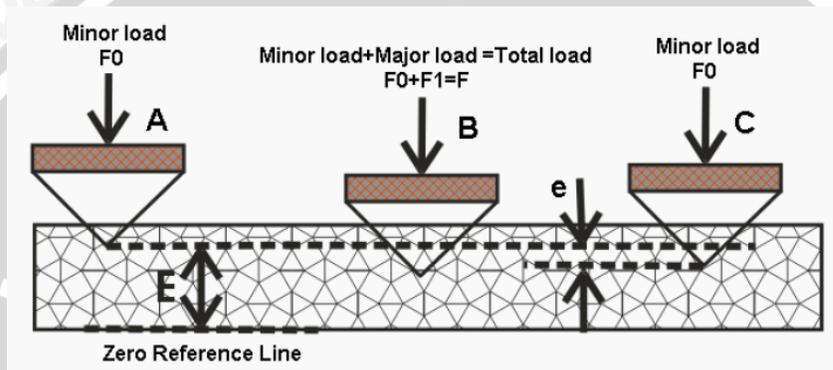
Prinsip pengujian pada metode *Rockwell* adalah dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman indentasi yang memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan minor.



Gambar 2.10 : Kekerasan *Rockwell*

Sumber : [http://www.labujipolimer.com/index.php?option=com_content
=view&id=42&Itemid=5](http://www.labujipolimer.com/index.php?option=com_content&view=view&id=42&Itemid=5)

Pengujian dengan Rockwell C memakai penetrator *Speroconical Diamond* (permata berbentuk kerucut) dengan sudut puncak kerucut permata 120° dengan beban minor 10 kg dan beban mayor 150 kg atau beban awal $F_0 = 10$ kg, beban tambahan $F_1 = 140$ kg. Pertama – tama beban minor 10 kg diberikan pada spesimen uji dan tahan posisinya dan hal ini akan mengakibatkan indentasi mula pada spesimen. Setelah itu beban mayor diberikan pada spesimen. Setelah beban mayor diberikan dan dihilangkan, maka pembacaan kekerasan dibaca pada saat beban minor masih dalam posisinya.



Gambar 2.11: Prosedur pengujian kekerasan *Rockwell*
Sumber : www.iitka.ac.in

2.5 Ketahanan aus

2.5.1 Pengertian ketahanan aus

Dalam ilmu material keausan adalah erosi suatu material pada permukaannya dengan gaya dari permukaan benda lain. Hal ini terkait dengan interaksi permukaan dan lebih tepatnya lagi pengurangan materi dari permukaan sebagai akibat dari tindakan mekanis. Ketahanan aus adalah kemampuan suatu material untuk menerima gesekan dari benda lain tanpa mengalami kerusakan. Dan biasanya ditunjukkan dengan laju keausan yaitu bila mana suatu material dikatakan memiliki ketahanan keausan yang tinggi bila memiliki laju keausan yang rendah.

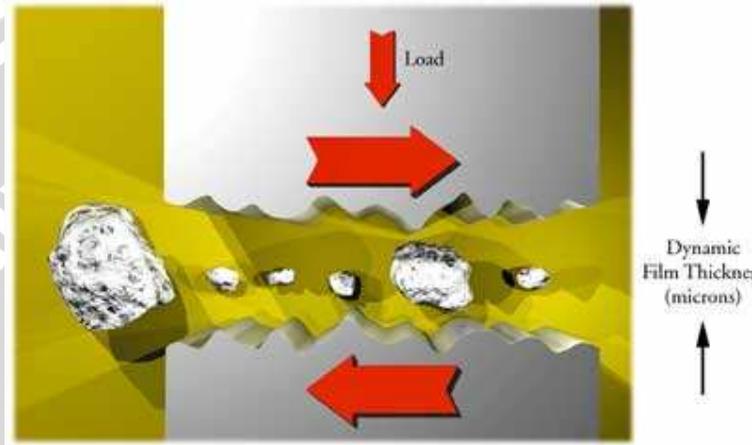
Laju keausan dinyatakan sebagai total berat kehilangan dalam satu satuan waktu, sedangkan ketahanan aus merupakan suatu fungsi terbalik dari laju ketahanan aus (Utomo, 2007)

2.5.2 Macam macam ketahanan aus.

Keausan dapat terjadi dengan beberapa cara atau mekanisme. Ada 3 macam penggolongan keausan (Dalton WK, 1996: 321):

1. Keausan Abrasi (*Abrasive Wear*)

Keausan abrasi disebabkan oleh partikel yang bergerak seperti elemen yang berada di antara permukaan yang mengikis logam dari permukaan. Partikel-partikel itu terjebak antara dua permukaan atau bisa juga bebas bergerak. Kehadiran partikel-partikel itu bisa karena berdiri sendiri ataupun bersamaan dengan cairan, pelumas, gas dan lain-lain. Keausan yang disebabkan oleh abrasi adalah yang paling membahayakan dari mekanisme keausan.



Gambar 2.12: Keausan *abrasive*
Sumber : machinerylubrication.com

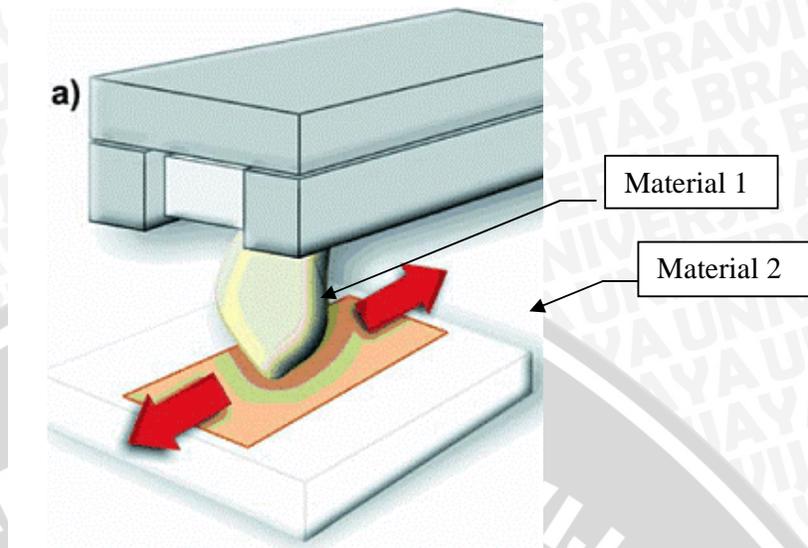
Dalam keausan abrasif, partikel-partikel dapat dianggap alat potong yang digerakkan oleh gerakan dari dua permukaan yang seperti menggesek. Jumlah dan jenis keausan yang terjadi adalah tergantung dari kekerasan, ukuran, dan bentuk dari partikel-partikel tersebut dan juga apakah partikel tersebut berkumpul atau terjebak dalam ruang antara permukaan.

Macam-macam keausan *abrasive*:

- *High stress abrasion* : jika partikel-partikel itu besar dan berada diantara dua material yang bergesekan, pergerakan material dapat menjebak partikel-partikel itu diantara dua permukaan dan terjadi *high stress abrasion*. Dalam kondisi ini partikel-partikel mungkin patah dan terjadi sudut tajam yang baru.
- *Low stress abrasion*: jika jarak antara permukaan cukup besar sehingga dapat membuat partikel-partikel berkumpul ke dalam celah, partikel-partikel itu ada dalam *low stress situation* dan lebih terlihat diam ditempat.

- *Grooving abrasion*: partikel-partikel yang terbentuk oleh proses *grooving*, partikel yang bersudut tajam atau partikel yang bersifat melekat akan lebih menimbulkan kerusakan dibanding partikel yang berbentuk bulat yang dapat bergerak bebas sepanjang permukaan.
 - *Abrasion by cutting, plowing & chipping* : Tergantung pada bentuk partikel dan kekerasannya terhadap material, partikel akan membuat abrasi seperti *cutting, plowing & chipping*. Dalam *cutting particle*, partikel yang tajam bergerak seperti potongan dan memindahkan chip logam dari permukaan. Dalam *plowing* partikel yang lebih bulat membuat lubang pada permukaan dan meninggalkan alur. *Chipping* terjadi jika logam yang cukup *brittle*, sehingga sebuah partikel menyebabkan sebuah perpatahan sepanjang lintasan dan chip dari permukaan logam keluar.
2. Keausan yang disebabkan oleh gesekan dengan permukaan material lain (*Contact wear*)

Contact wear terjadi ketika permukaan dan *counter surface* diberi gaya bersama dan bergerak relatif satu terhadap yang lain, dibawah kondisi tertentu kedua permukaan dapat membentuk oksida dan mengontrol laju dari keausan. Dibawah beban yang besar dan tanpa oksida mungkin kedua permukaan akan melekat, hal itu disebut *galling*, dan dalam kasus yang ekstrim akan menyebabkan pengurangan ukuran (*seizing*) atau pengelasan. Dalam *Contact wear* tegangan yang terbentuk akibat kekasaran (*asperities*) cukup besar untuk membuat dua permukaan berubah bentuk (*deform*).



Gambar 2.13: *contact wear*

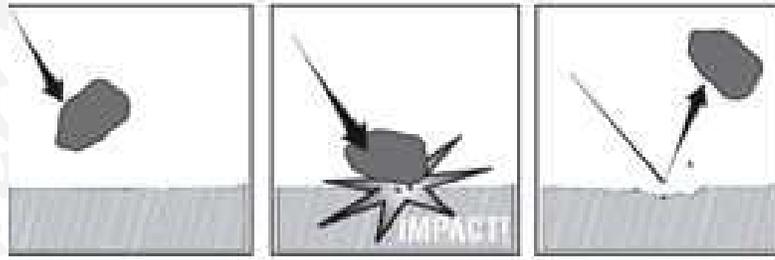
Sumber : www.scielo.br

Macam-macam *contact wear* :

- *Galling* : jika beban antar permukaan meningkat, *asperities* akan mulai mengunci dan melekat satu sama lain, hal ini disebut *galling* atau *adhesive wear*.
- *Contact fatigue* : ketika beban besar dikonsentrasikan pada permukaan logam, seperti menekan permukaan-permukaan tersebut, perpindahan tegangan geser dimulai dari bawah permukaan. Bila beban dan tegangan ini berlangsung kontinyu maka permukaan logam akan rusak karena lelah (*fatigue*).
- *Fretting* : adalah fenomena keausan yang terjadi antara dua permukaan yang lebih disebabkan karena adanya getaran dan bukan karena adanya gerakan relatif antar material.

3. Keausan Erosi (*Erosion wear*)

Keausan erosi adalah kehilangan dari material padat yang disebabkan karena gerakan relatif saat kontak dengan fluida yang mengandung partikel padat.



Erosion Wear Mechanism

Gambar 2.14: mekanisme keausan erosi
Sumber : Robert Scott (1999)

Keausan erosive dibagi menjadi 4 macam :

- *Solid particle erosion* : partikel-partikel padat dibawa oleh gas akan mengikis permukaan dari metal yang dilewati, laju dari erosi ini tergantung pada kecepatan, ukuran partikel dan sudut yang dilaluinya.
- *Slurry erosion* : terjadi ketika aliran cairan membawa partikel-partikel dan menumbuk permukaan logam. Aliran partikel-partikel ini sepanjang permukaan logam membuat mekanisme ini lebih mirip *low-stress abrasion*, yang membedakan adalah cairan itu ditambah dengan komponen korosi.
- *Liquid droplet erosion* : contoh dari erosi ini terjadi pada pesawat terbang yang dengan kecepatan tinggi melewati hujan deras. Proses ini melibatkan titik-titik hujan yang dengan gaya yang cukup untuk menimbulkan tekanan plastis (*plastic depression*) pada permukaan logam.

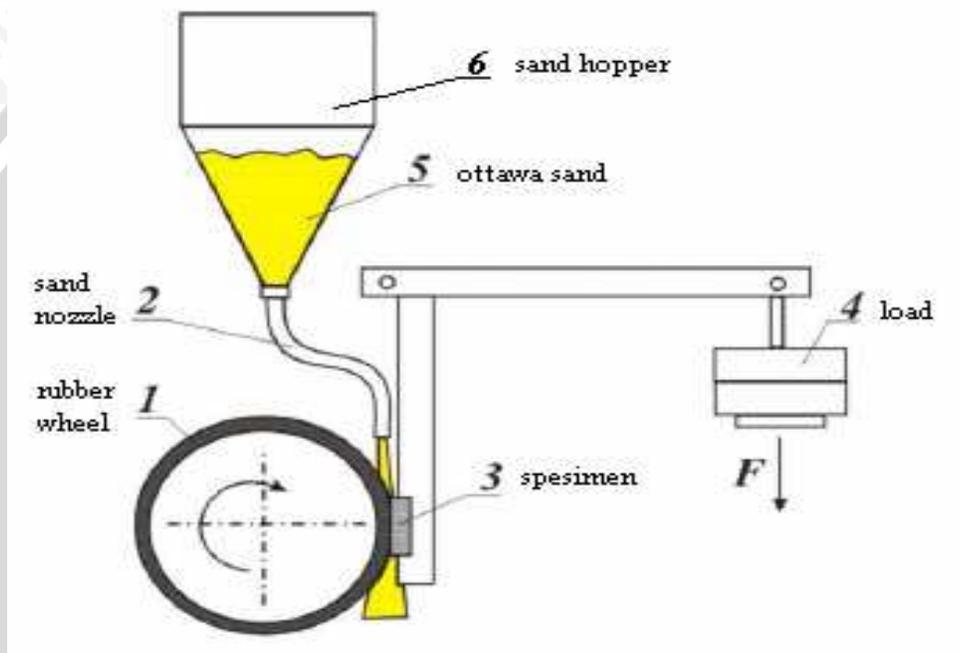
2.5.3 Metode Pengujian Ketahanan Aus

Metode pengujian aus menggunakan standar ASTM G 65 yaitu pengujian ketahanan aus menggunakan sistem abrasi, dimana pasir atau silica digunakan sebagai media penggesek. Disk dengan kecepatan 400 rpm akan berputar dan pasir silica ukuran 600 μm . Proses ini akan berlangsung selama 5 menit dengan beban 5 kg, sehingga spesimen akan mengalami keausan yang ditandai dengan jumlah berat yang hilang pada spesimen.

- Laju keausan dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut (Hendratmo,2009)

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} = \frac{m}{t} \quad (2.1)$$

Dengan : W = Laju keausan (gram/menit)
 m = Massa yang hilang (gram)
 t = Lama pengausan (menit)



Gambar 2.15: *Abrasive Wear Testing Machine ASTM G65*
 Sumber : V. Jankauskas (2006)

2.6 Hipotesa

Temperatur pembakaran berpengaruh pada proses pematangan butir dan penambahan serbuk cangkang telur yang mengandung kalsium tinggi dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus, karena kalsium berfungsi sebagai pelebur aktif pada proses pembakaran keramik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian nyata (*true experiment research*) sedangkan kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal, maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Variabel penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent variable*)

Merupakan variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Independent variable yang digunakan adalah:

Temperatur pembakaran yaitu: 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C dan 1250 °C

2. Variable Terikat (*Dependent variable*)

Merupakan variabel yang besarnya tergantung dari *independent variable*.

Dalam penelitian ini dependent variable adalah:

- a. Ketahanan aus
- b. Kekerasan (HRC).

3. Variabel terkontrol

- Komposisi bahan dasar (kaolin, *felspard*, *ball clay*, dan kwarsa) termasuk serbuk cangkang telur.

3.3. Tempat Penelitian

- Pembuatan dilakukan di ANINKRA (Aneka Industri Keramik) jalan Sunandar Priyosudarmo nomor 22 Malang.
- Pengujian ketahanan aus dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Malang.
- Pengujian Kekerasan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang.

- o Pengujian mikrostruktur dilakukan di Laboratorium Pengujian Material Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang

3.4 Persiapan

3.4.1. Bahan Baku

Dalam melakukan penelitian, sebelumnya disiapkan bahan bahan baku yang dipakai, yaitu kaolin, *felspard*, *ball clay*, dan kwarsa. Untuk mendapatkan komposisi yang seimbang antara bahan baku plastis dan non-plastis maka dipilih komposisi sebagai berikut: Kaolin 36%, *Felspard* 26%, *Ball clay* 20%, Kwarsa 18%. Dengan perbandingan berat 60 % adalah serbuk cangkang telur dan 40 % bahan dasar keramik.

3.4.2. Alat-alat dan Bahan Penunjang

Adapun alat-alat yang digunakan dalam pembuatan keramik adalah sebagai berikut:

1. Ayakan mesh 100 yang digunakan untuk mengayak bahan baku agar diperoleh bahan dengan partikel yang halus.
2. Cawan tempat pencampuran bahan baku.
3. Timbangan untuk menimbang bahan baku.
4. Cetakan untuk memcetak bahan baku sesuai ukuran yang diinginkan.
5. *Furnace* /tungku pembakaran, untuk membakar spesimen.

Bahan penunjang:

1. Air digunakan untuk membuat slip.

Alat-alat yang digunakan untuk menguji spesimen:

1. Jangka sorong, untuk mengukur dimensi spesimen.
2. Mesin uji kekerasan *Rockwell*.
3. Mesin uji ketahanan aus standar ASTM G65.
4. Timbangan
5. Timer

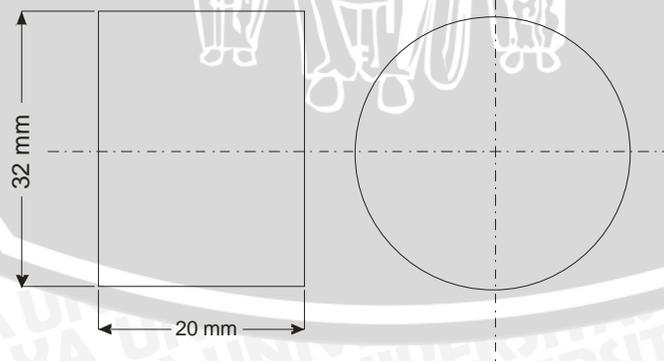
3.5. Proses Pembuatan Spesimen

1. Mengayak bahan baku sehingga diperoleh slip yang halus.
2. Mengayak Serbuk cangkang telur dengan mesh 100, kemudian diaduk dengan bahan yang lain dengan perbandingan massa 3 serbuk cangkang telur dan 2 bahan dasar keramik .
3. Mengaduk semua bahan dalam cawan sampai tercampur secara menyeluruh dan kemudian ditambahkan air sebanyak 24% dari berat adonan.
4. *Slip* dicetak pada cetakan yang sudah disiapkan.
5. Didiamkan selama empat hari agar adonan menjadi kering.
6. Setelah kering dilakukan pembakaran pada suhu 1100°C , 1150°C , 1200°C dan 1250°C .
7. Dilakukan penahanan pada tiap temperatur selama 10 jam.
8. Spesimen didinginkan tanpa membuka pintu dapur.

3.6 Metode pengujian

3.6.1 Pengujian kekerasan keramik

Spesimen uji kekerasan dibuat dengan ukuran panjang diameter 32 mm dan tinggi 20 mm.



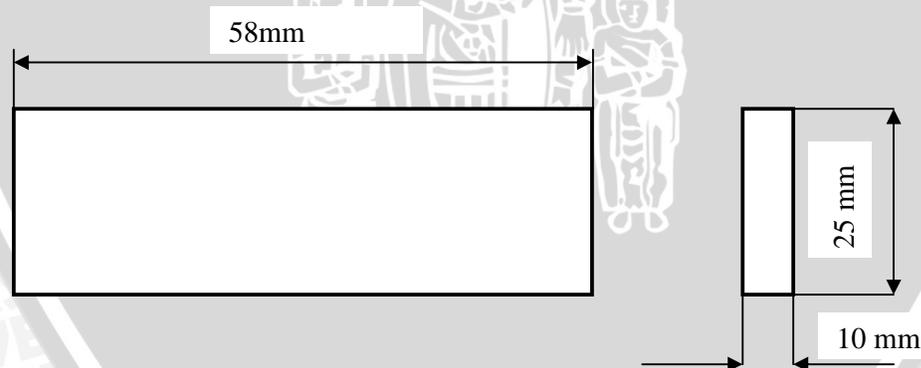
Gambar 3.1 Spesimen uji kekerasan

Sumber : Wiprana (2008:41)

Pengujian material dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing pembakaran yang ditentukan. Dalam pengujian kekerasan, pengujian yang digunakan adalah dengan *Rockwell Hardness testing*. Langkah-langkah kerja pengujian:

1. Mempersiapkan benda uji.
2. Meletakkan benda uji pada mesin *Rockwell*, tempatkan benda uji menempel dengan identor dengan memutar handel.
3. Posisi penempelan benda uji dengan identor yang diatur dengan memutar handel harus hati-hati karena dengan memutar handel akan memutar jarum penunjuk. Posisikan jarum penunjuk pada posisi 0.
4. Tekan tombol alat penguji kekerasan sehingga didapat data kekerasan pada spesimen yang diuji.
5. Handel pengunci beban dilepaskan setelah didapat data kekerasan.
6. Kita baca identor penunjuk angka kekerasan dari benda uji.

3.6.2 Pengujian ketahanan aus



Gambar 3.1. Ukuran Benda Kerja
Sumber : ASTM G 65

Pengujian material dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing pembakaran yang ditentukan. Dalam pengujian ketahanan aus, mesin pengujian yang digunakan adalah *Abrasive wear Tester*. Langkah-langkah kerja pengujian:

1. Benda ditimbang terlebih dahulu.
2. Benda uji dicekam pada tempatnya.
3. Pasir diisikan dibak tempat penampungan pasir.
4. Mesin dihidupkan
5. Timer dinyalakan selama 5 menit kemudian setelah itu mesin dimatikan benda uji dilepas dan ditimbang beratnya.
6. Menghitung berat awal dikurangi berat akhir untuk mengetahui keausan benda uji.

3.7. Rancangan Percobaan

Untuk mengetahui pengaruh hubungan antara temperatur pembakaran terhadap ketahanan aus dan kekerasan keramik maka langkah yang dilakukan adalah terlebih dahulu merencanakan model rancangan penelitian agar hasil pengamatan atau data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.

Pada penelitian ini menggunakan model analisa varian satu arah dengan pengulangan 3 kali pada tiap interaksi. Dengan analisa varian satu arah ini akan diketahui apakah temperatur pembakaran berpengaruh terhadap ketahanan aus dari keramik yang dicampur serbuk cangkang telur.

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian

		<i>Temperatur pembakaran</i> (celcius)			
		1100	1150	1200	1250
Hasil pengujian	Percobaan 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
	Percobaan 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
	Percobaan 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}

3.7.1. Analisa Varian Satu Arah

Untuk menganalisis hasil penelitian digunakan analisis ragam satu arah, dimana akan menguji apakah hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan konsentrasi.

1. Untuk menentukan apakah sebagian keragaman hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan konsentrasi, dilakukan uji hipotesis :

$$H_0' : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$$

H_1' : sekurang-kurangnya satu α_i tidak sama dengan nol.

Hasil perhitungan dalam analisis varian satu arah dengan interaksi dapat diringkas seperti tabel 3.1.

Tabel 3.2. Analisis Varian Satu Arah

Sumber Keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F _{hitung}	F _{kritis}
Pengaruh A	r-1	JKA	$S^2_{A} = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S^2_A}{S^2}$	Dari tabel uji F
Galat	rc(n-1)	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(n-1)}$		
Total	rcn-1	JKT			

Jumlah-jumlah kuadrat di atas dapat diperoleh melalui rumus hitung sebagai berikut (Hifni, 1992 : 76) :

- Jumlah seluruh perlakuan (JSP)

$$JSP = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j \quad (3.1)$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan (JKSP)

$$JKSP = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij}^2 \quad (3.2)$$

- Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij}^2}{\sum ni} \quad (3.3)$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij}^2 - FK \quad (3.4)$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij}^2}{ni} - FK \quad (3.5)$$

- Kuadrat Tengah Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \quad (3.6)$$

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \quad (3.7)$$

- Kuadrat Tengah Galat

$$KTG = \frac{JKG}{\sum ni - k} \quad (3.8)$$

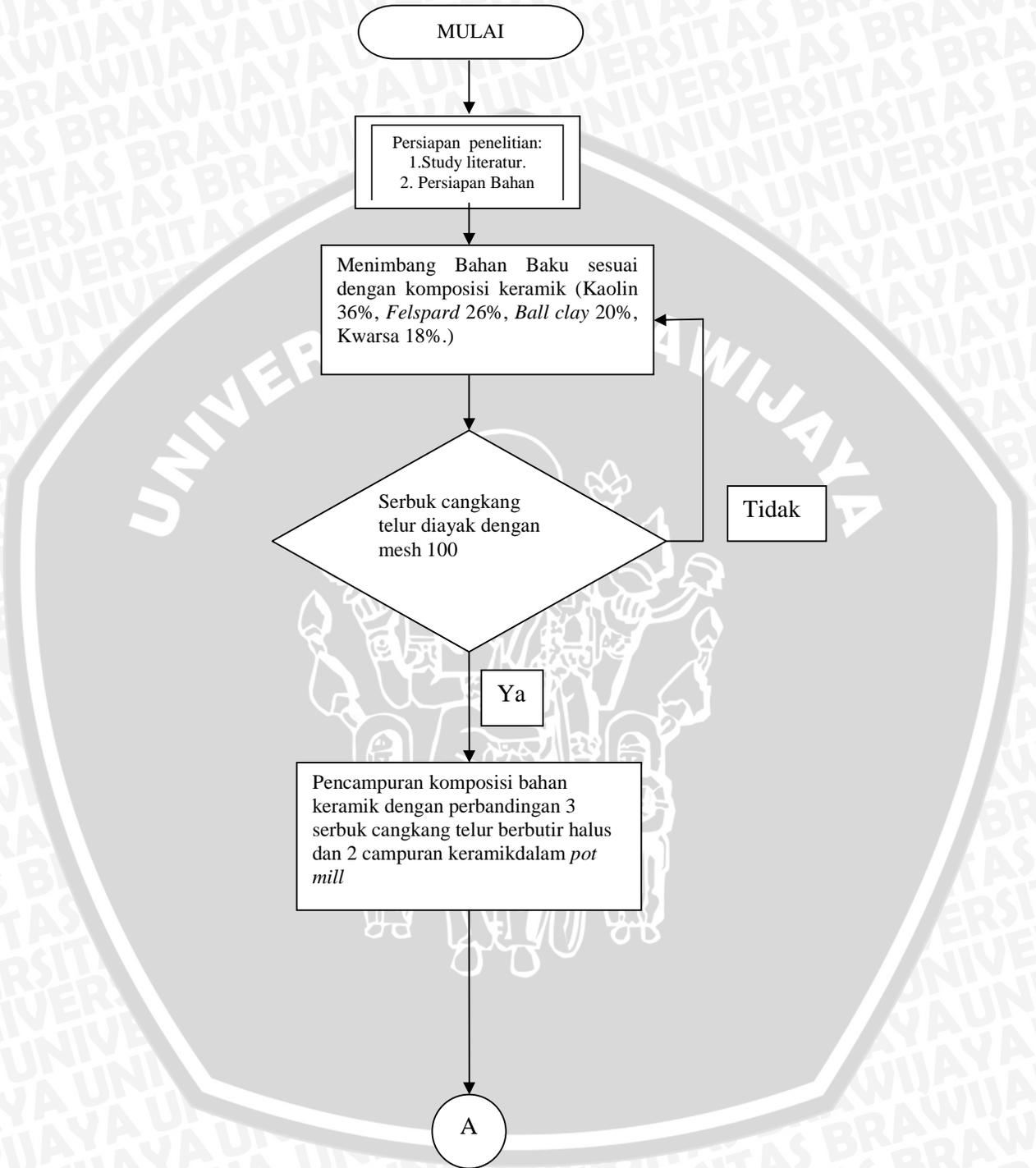
Dari rumus di atas dapat dicari F_{hitung} yang digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terkontrol dengan metode uji F.

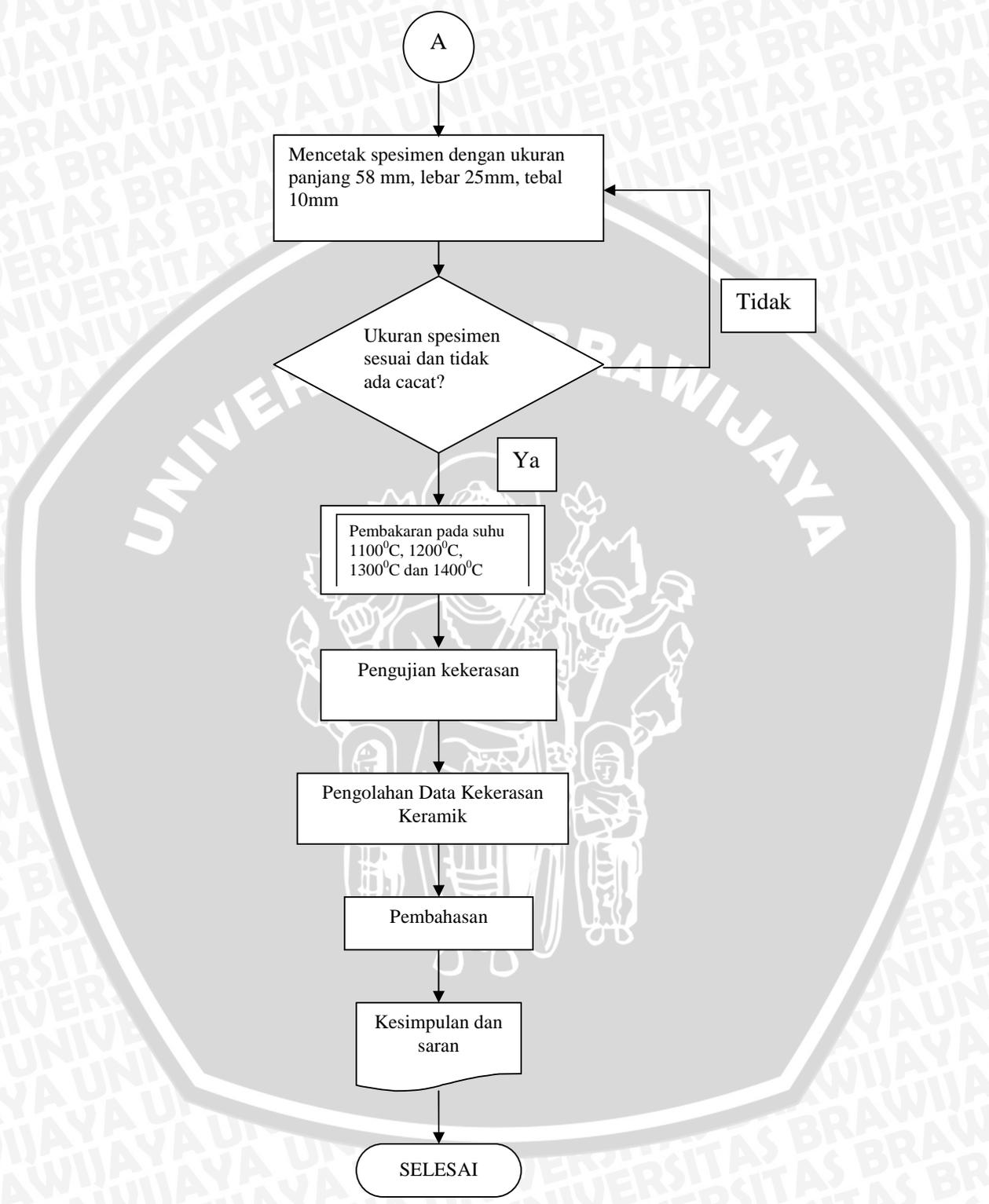
- $F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$

Kesimpulan yang didapat dari uji F ini sebagai berikut :

1. Bila $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (variasi temperatur pembakaran) berpengaruh terhadap ketahanan aus keramik.
2. Bila $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor B (variasi temperatur pembakaran) berpengaruh terhadap kekerasan permukaan keramik.

3.8 Diagram Alir Percobaan





BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus

Data berat keramik yang hilang karena keausan adalah selisih berat keramik sebelum dilakukan kontak uji dengan berat keramik setelah dilakukan kontak uji. Data berat yang hilang karena keausan ditabelkan dalam tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Tabel Data Massa Hasil Pengujian Ketahanan Aus

Temperatur (°Celsius)	Pengulangan	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Selisih Massa (gram)
1100	1	16.69	9.46	7.23
	2	16.67	9.62	7.05
	3	16.71	9.74	6.97
1150	1	17.54	10.6	6.94
	2	17.43	10.4	7.03
	3	17.35	10.21	7.14
1200	1	16.82	10.59	6.23
	2	16.83	10.02	6.81
	3	16.78	12.4	4.38
1250	1	16.37	13.56	2.81
	2	16.64	13.29	3.35
	3	16.58	13.9	2.68

Tabel 4.2. Tabel Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus

		Temperatur Pembakaran (° celcius)			
		1100	1150	1200	1250
Berat yang hilang karena keausan (gram)	Percobaan 1	7,23	6,94	6,23	2,81
	Percobaan 2	7,05	7,03	6,81	3,35
	Percobaan 3	6,97	7,14	4,38	2,68
	Rata - rata	7.083	7.0367	5,8067	2,9467

Selanjutnya laju keausan diperoleh dengan membagi berat keramik yang hilang dengan waktu kontak uji. Laju keausan dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut :

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} = \frac{m}{t} \quad (2.1)$$

Dengan : W = Laju keausan (gram/menit)
 m = Massa yang hilang (gram)
 t = Lama pengausan (menit)

Data laju keausan keramik setelah mengalami proses pembakaran ditabelkan pada tabel 4.3. berikut :

Tabel 4.3. Tabel Data Laju Keausan

		Temperatur Pembakaran (° celcius)			
		1100	1150	1200	1250
Laju Keausan (gram/menit)	Percobaan 1	1,446	1,388	1,246	0,562
	Percobaan 2	1,41	1,406	1,362	0,67
	Percobaan 3	1,394	1,428	0,876	0,536
	Rata - rata	1,4167	1,4073	1,1613	0,5893

4.1.2. Data Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan dilakukan menggunakan alat uji *Rockwell Hardness Machine*. Data hasil pengujian kekasaran permukaan ditabelkan dalam tabel 4.4. berikut :

Tabel 4.4. Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan

		Temperatur Pembakaran (^o celcius)			
		1100	1150	1200	1250
Kekerasan (HRC)	Percobaan 1	11,5	12	13	15
	Percobaan 2	11,5	12	13	15
	Percobaan 3	11	12	13,5	15
	Rata - rata	11,3333	12	13,16667	15

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Analisa Statistik

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian ketahanan aus :

1. Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{n.k} = \frac{(13,724)^2}{3 \times 4} = 15,69568133$$

2. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK$$

$$= \frac{51.15186}{3} - 15,69568133$$

$$= 1,35494$$

3. Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - FK$$

$$= 17,191792 - 15,69568133$$

$$= 1,496110667$$

4. Jumlah Kuadrat Galat (JKG) :

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 1,496110667 - 1,35494 \\ &= 0,141170667 \end{aligned}$$

5. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP) :

$$\begin{aligned} \text{KTP} &= \frac{\text{JKP}}{k-1} \\ &= \frac{1,35494}{4-1} \\ &= 0,451646667 \end{aligned}$$

6. Kuadrat Tengah Galat (KTG) :

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \frac{\text{JKG}}{N-k} \\ &= \frac{0,0164}{12-4} \\ &= 0,017646333 \end{aligned}$$

$$7. F_{\text{hitung}} = \frac{\text{KTP}}{\text{KTG}} = \frac{0,451646667}{0,017646333} = 25,594363$$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5. Analisa varian data pengujian ketahanan aus

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	3	1,35494	0,451646667	25,594363	4,0662
Galat	8	0,141170667	0,017646333	-	-
Total	11	1,496110667	-	-	-

$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ artinya terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian kekerasan :

1. Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{n.k} = \frac{(154,5)^2}{3 \times 4} = 1989,1875$$

2. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK \\ &= \frac{6037,25}{3} - 1989,1875 \\ &= 23,22916667 \end{aligned}$$

3. Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - FK \\ &= 2012,75 - 1989,1875 \\ &= 23.5625 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat Galat (JKG) :

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 23.5625 - 23,22916667 \\ &= 0,333333333 \end{aligned}$$

5. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP) :

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{23,22916667}{4-1} \\ &= 7.743055556 \end{aligned}$$

6. Kuadrat Tengah Galat (KTG) :

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{N - k} \\ &= \frac{0,333333333}{12 - 4} \\ &= 0.041666667 \end{aligned}$$

$$7. F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{7,743055556}{0,041666667} = 185,8333333$$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6. Analisa varian data pengujian Kekerasan

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	3	23,22916667	7,743055556	185,8333333	4,07
Galat	8	0,333333333	0,041666667	-	-
Total	11	23,5625	-	-	-

F_{hitung} > F_{tabel} artinya terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan

4.2.2. Analisa Regresi

Berdasarkan data variabel bebas dan variabel terikatnya dapat dilakukan perhitungan secara matematik yaitu dengan persamaan regresi *polynomial* dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

Berdasarkan data hasil pengujian aus, maka diperoleh harga koefisien regresi :

$$y = -0.0002x^2 + 0.3803x - 209.86$$

Keterangan :

y = Berat yang hilang karena keausan

x = waktu penahanan

Sedangkan koefisien korelasi yang didapatkan adalah :

$$R^2 = 0,9991$$

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan , maka diperoleh harga koefisien regresi :

$$y = 0.0001x^2 - 0.2498x + 144.99$$

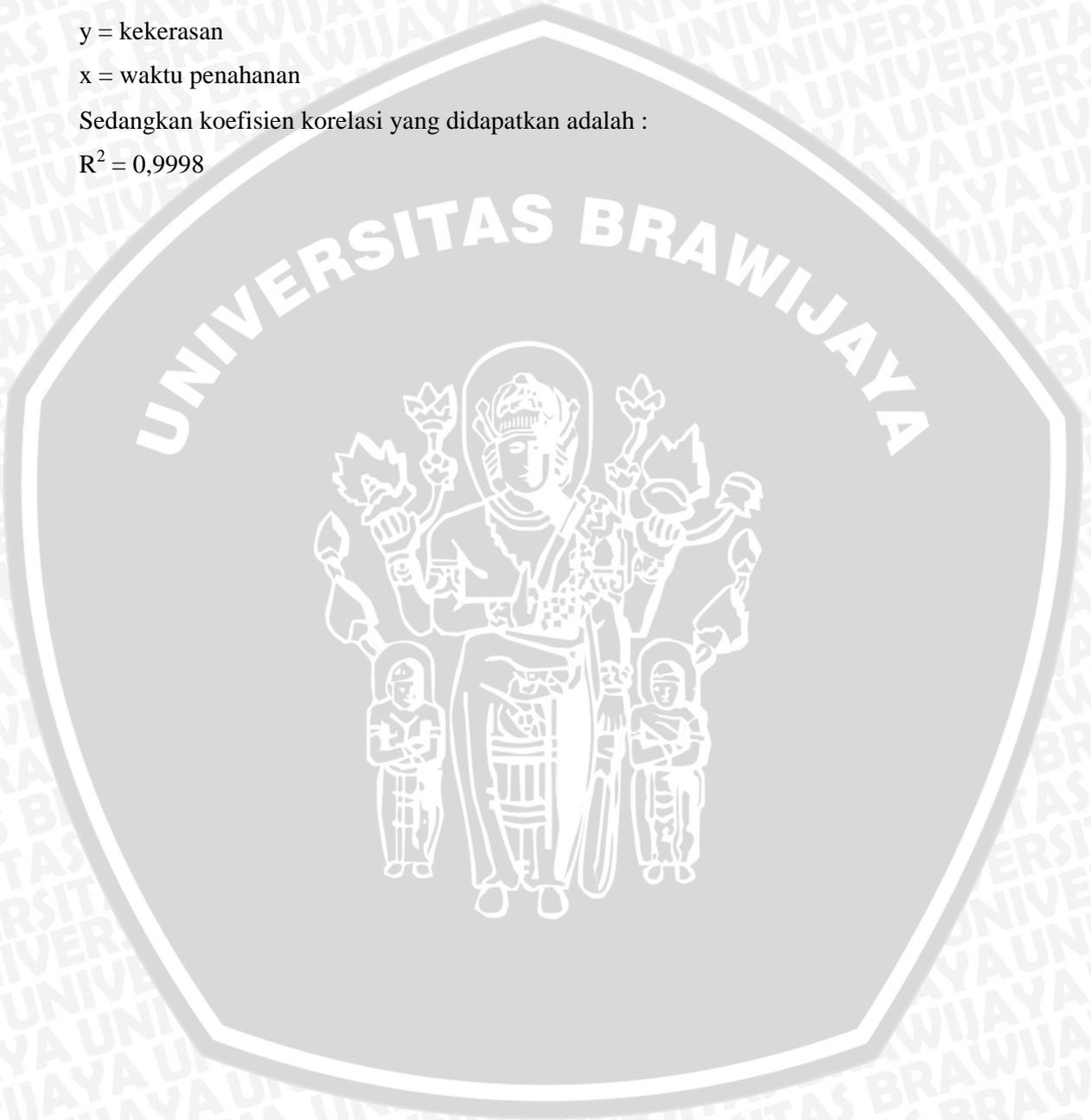
Keterangan :

y = kekerasan

x = waktu penahanan

Sedangkan koefisien korelasi yang didapatkan adalah :

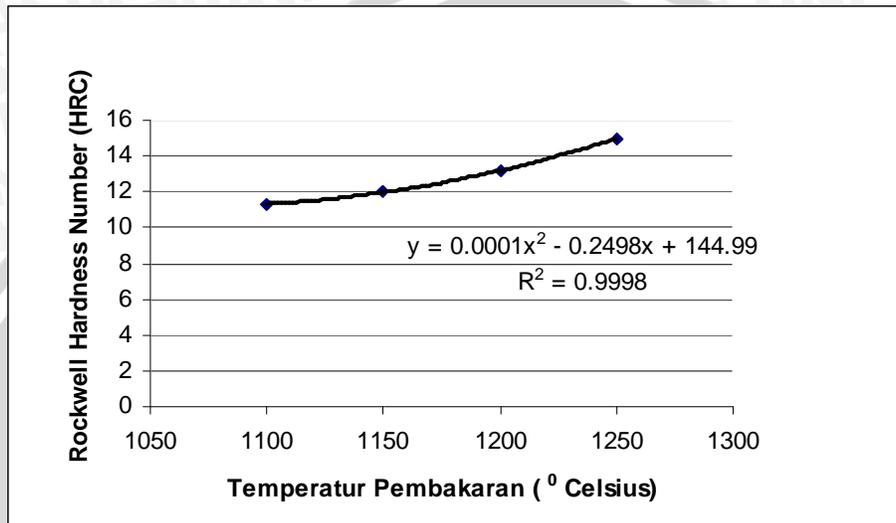
$$R^2 = 0,9998$$



4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa Grafik Hubungan antara Temperatur Pembakaran Terhadap Kekerasan Keramik.

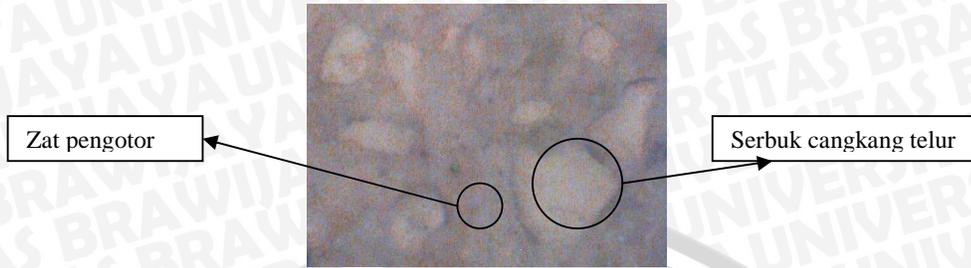
Grafik Hubungan antara Temperatur Pembakaran Terhadap Kekerasan Keramik dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



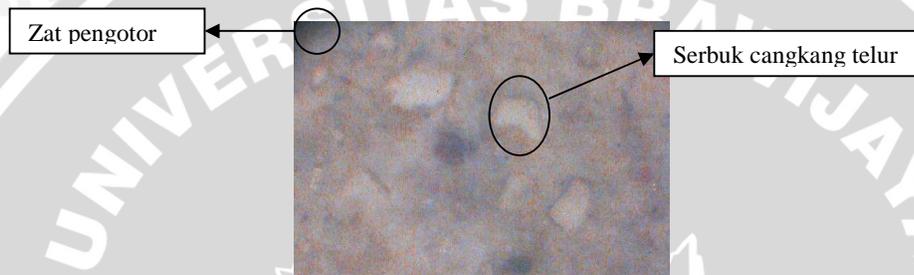
Gambar 4.1 : Grafik hubungan antara temperatur pembakaran dan kekerasan keramik

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa semakin tinggi temperatur pembakaran maka kekerasannya akan semakin meningkat pula, dan kekerasan yang tertinggi pada suhu 1250 °C rata-rata sebesar 15 HRC dan terus mengalami penurunan sampai suhu 1100 °C rata-rata sebesar 11.33 HRC

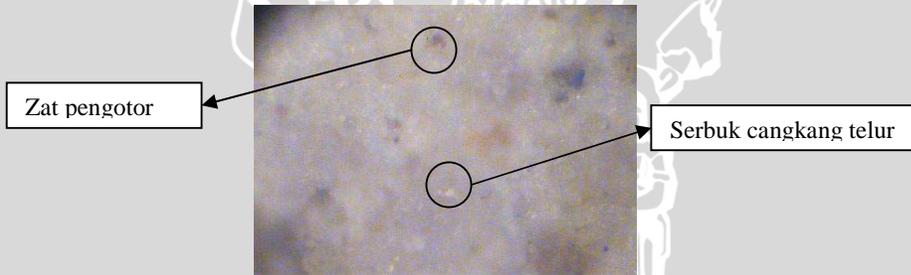
Penyebab dari meningkatnya kekerasan saat temperatur pembakaran semakin tinggi adalah proses pemadatan keramik menjadi semakin baik karena dengan penambahan bahan plastis yang berupa serbuk cangkang telur yang mengandung kalsium tinggi dapat meningkatkan kekerasan karena bahan berfungsi sebagai pelebur aktif pada suhu yang tinggi (950 °C)(Wiprana,2009).



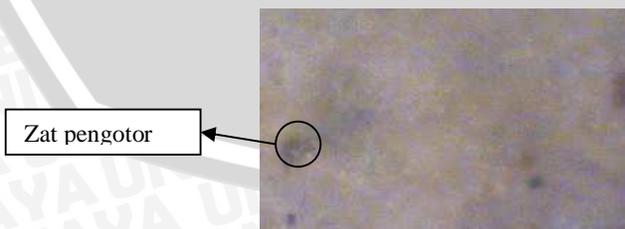
Gambar 4.2 Foto Micro Keramik setelah dibakar pada suhu 1100 °C
Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 4.3 Foto Micro Keramik setelah dibakar pada suhu 1150 °C
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 4.4 Foto Micro Keramik setelah dibakar pada suhu 1200 °C
Sumber : Dokumentasi Pribadi

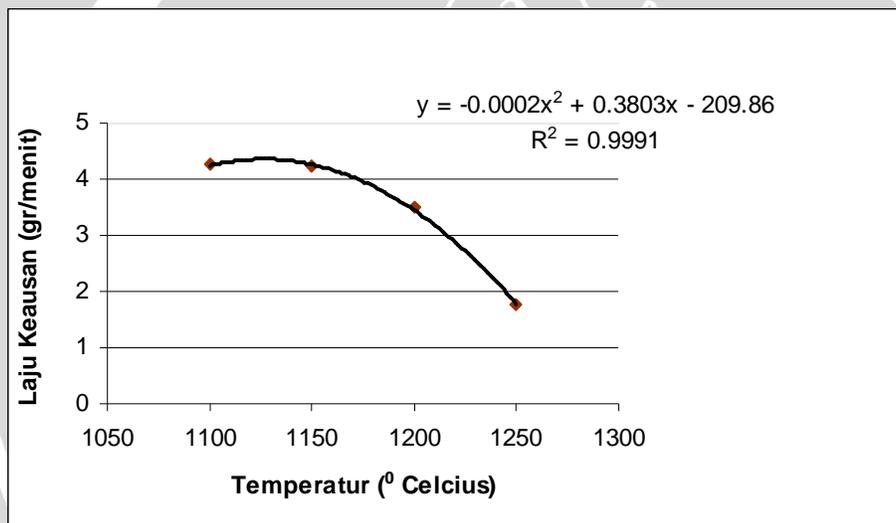


Gambar 4.5 Foto Micro Keramik setelah dibakar pada suhu 1250 °C
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada suhu 1100 °C serbuk cangkang telur masih banyak, dan belum berfungsi semuanya sebagai pelebur aktif, tetapi pada pembakaran 1200 °C serbuk cangkang telur mulai berkurang karena fungsinya sebagai pelebur aktif mulai bekerja optimal sehingga kekerasannya pun mengalami kenaikan karena dapat membantu proses pemadatan keramik. Pelebur aktif sendiri berfungsi sebagai menurunkan titik lebur dari bahan dasar keramik yang lain.

4.3.2 Analisa Grafik Hubungan antara Temperatur Pembakaran Terhadap Ketahanan aus Keramik.

Grafik Hubungan antara Temperatur Pembakaran Terhadap Laju Keausan Keramik dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 : Grafik hubungan antara temperatur pembakaran dan laju keausan keramik

Dari grafik diatas terlihat bahwa laju keausan yang tertinggi ada pada keramik yang dibakar dengan temperatur 1100 °C dengan nilai rata-rata 4.25 gr/menit, sedangkan laju keausan yang terendah pada temperatur pembakaran 1250 °C dengan nilai rata-rata 1.768 gr/menit.

Material dapat dikatakan memiliki ketahanan aus yang tinggi bila dalam pengujiannya semakin sedikit massa yang hilang tiap menitnya (laju keausan) dalam hal ini pengujian dilakukan menguunakan alat uji aus ASTM G65. Pada

grafik terlihat dengan semakin meningkatnya temperatur pembakaran maka proses pemadatan akan berlangsung semakin baik, dan dengan adanya penambahan bahan plastis berupa serbuk cangkang telur sebagai pelebur aktif juga dapat meningkatkan ikatan yang terjadi antar partikel sehingga semakin kuat dan lebih tahan terhadap gesekan yang ditimbulkan oleh alat uji. Ini dapat terlihat bahwa semakin meningkatnya temperatur pembakaran maka ketahanan aus dari material semakin meningkat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap pembakaran keramik yang ditambahkan serbuk cangkang telur terhadap kekerasan dan ketahanan keausan adalah Temperatur pembakaran keramik berpengaruh terhadap kekerasan keramik, dengan bertambahnya temperatur keramik maka kekerasannya akan meningkat dan kekerasan yang memiliki nilai terbesar pada saat suhu 1250°C yaitu sebesar 15 HRC. Temperatur pembakaran keramik juga berpengaruh terhadap ketahanan keausan keramik, semakin bertambahnya temperatur pembakaran maka ketahanan keausan semakin tinggi karena semakin nilai rendah laju keausan maka material tersebut memiliki ketahanan keausan yang tinggi yaitu pada saat suhu pembakaran 1250°C yaitu sebesar 0,5893 gram/menit.

5.2 Saran

1. Membuat campuran bahan dasar yang lain seperti alumina dengan tetap menambahkan cangkang telur.
2. Mencari bahan yang lain agar keramik yang terkenal getas dapat diperbaiki sifatnya. Misalkan dicampur dengan bahan polimer.
3. Melakukan pengujian terhadap sifat-sifat mekanik yang lain.

Daftar pustaka

- Astuti, Ambar, Pengetahuan Keramik. Yogyakarta. Gajah Mada University Press.1997.
- Butcher, Gary dan Miles, Richard D, Concept of Eggshell Quality
- Csaba Bal´ azsi, Ferenc W´ eber, Zsuzsanna K´ ov´ er, Enik´ o Horv´ ath b, Csaba N´ emeth c, *Preparation of calcium–phosphate bioceramics from natural resources*, Journal of the European Ceramic Society 27 1601–1606, 2007.
- Davis,A.H. 1974. *Introduction to physical metallurgy*, USA : Mc.Graw- Hill Inc.
- Hartomo, Anton J, Mengenal Keramik Modern, Andi Offset Yogyakarta. 1994.
- Hifni, M. Metode Statistika. Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. 1990.
- Reed, James S, *Introduction To The Principles Of Structural Ceramics*. John Wiley & Sons Inc. 1989.
- Sidney,H.E. 1982. *The Testing Of Engineering Materials*, USA : Mc.Graw- Hill Inc.
- Surdi, Tata, Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, 1999.
- Wear Resistance. <http://googlead.g.doubleclick.net>. (diakses 6 september 2009)
- Wiprana, I Wayan, Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Kerang dan Temperatur Pembakaran terhadap Penyusutan Volume dan Kekerasan Keramik, 2008.



LAMPIRAN

Lampiran 1



Tungku Pembakaran Keramik



Timbangan Digital



Adonan Keramik (*slip*)

Lampiran 2



Gambar spesimen uji keausan sebelum dibakar



Gambar spesimen uji kekerasan sebelum dibakar



Gambar spesimen uji keausan setelah dibakar



Gambar spesimen uji kekerasan setelah dibakar

Lampiran 3



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
POLITEKNIK NEGERI MALANG
JURUSAN TEKNIK MESIN
Jl. Veteran PO Box 04 Malang 65145
Telepon (0341)551340-551341 Fax. (0341)551793

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.
NIP : 19631110 199103 1 003
Jabatan : Ketua Jurusan T. Mesin
Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

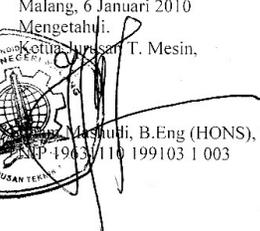
Nama : Aries Indra K CH
NIM : 0510623014
Jurusan : Teknik Mesin (S-1)
Fakultas : Teknik
Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian Uji Kekerasan Metode Rockwell pada keramik di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 5 Januari sampai dengan 6 Januari 2010, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 6 Januari 2010

Mengetahui,
Ketua Jurusan T. Mesin,


Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.
NIP. 1963/110 199103 1 003