

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi lebih ramah lingkungan sangat dibutuhkan saat ini, sehingga perlu dikembangkan suatu penelitian tentang proses pembentukan logam dalam keadaan kering dan salah satunya adalah penelitian terhadap *die* berbahan keramik yang digunakan pada proses *Dry Deep-Drawing* atau proses pembentukan *sheet* metal karena tidak membutuhkan pemakaian pelumas (*Drawing compound*).

Penggunaan keramik sebagai *die* dapat menggantikan pelumas karena keramik mempunyai kehalusan dan sifat licin pada permukaannya. Proses pembuatan *die* keramik tersebut perlu dianalisa karena terdapat beberapa *variabel* yang berpengaruh terhadap karakteristik keramik yang meliputi proses cetakan yang digunakan, seperti cetak tuang, cetak tekan, waktu penahanan (*holding*), pemanasan (*sintering*), jumlah dan jenis bahan *aditif* yang digunakan.

Pembuatan *die* keramik sangat sesuai jika diaplikasikan di bidang engineering karena mempunyai titik lebur yang tinggi, kekuatan mekaniknya tinggi, kekerasannya tinggi, isolator panas yang baik, sebagai isolator listrik dan tahan terhadap korosi. Proses pemadatan *die* keramik sangat membutuhkan suhu *sintering* yang relatif tinggi disebabkan titik leburnya tinggi dan waktu *holding* keramik yang lama.

Pada penelitian ini waktu *holding die* sangat berpengaruh terhadap kekerasan keramik termasuk pencampuran bahan *aditif* karena bahan tersebut dapat mencegah terjadinya pertumbuhan butir secara tidak kontinyu, meningkatkan densifikasi, mengurangi pertumbuhan pori dan menurunkan pertumbuhan butir (P.Sebayang,2002) sedangkan proses cetakan dipilih cetak tekan karena dapat memadatkan komposisi bahan keramik menjadi bentuk *die*. Atas dasar penjelasan diatas penulis tertarik untuk melakukan pengujian *die* keramik dengan variasi waktu *holding* yang berbeda sehingga dapat diketahui sejauh mana nilai kekerasan permukaan dan perubahan *geometri* yang terjadi pada produk keramik yang akan digunakan pada proses *dry deep drawing*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut maka permasalahan yang akan diteliti dalam skripsi ini adalah bagaimana pengaruh variasi waktu *holding die* keramik terhadap kekerasan dan perubahan geometri kesilindrisan yang terjadi pada diameter bagian dalam *die*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu ditentukan batasan masalah agar penelitian terarah. Batasan masalah meliputi hal-hal berikut ini :

1. Bahan yang digunakan adalah *masse* tinggi isolator.
2. Komposisi *masse* terdiri dari *Clay, Fieldpar, Kaolin, Kwarsa*.
3. Waktu penahanan (*holding*) bervariasi antara 1, 2, 3, 4, 5 jam.
4. Proses pembuatan *die* keramik adalah proses cetak tekan dengan suhu pembakaran $\pm 1250^{\circ}\text{C}$.
5. Konstruksi dan mekanisme dari mesin press dan *die* tidak dibahas
6. Pada penelitian ini hanya membahas tentang nilai kekerasan pada produk keramik serta perubahan geometri silindris diameter dalam *die* keramik.
7. Komposisi bahan *masse* sesuai dari pabrik tempat pembuatan keramik.
8. Proses pembakaran hanya satu kali.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu *holding die* keramik terhadap kekerasan dan perubahan *geometri* yang terjadi pada diameter bagian dalam *die*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain adalah :

1. Dapat diketahui kekerasan *die* alumina untuk proses *dry deep drawing* dan perubahan geometri produk.

2. Dapat menjadi referensi bagi penelitian berikutnya mengenai *dry deep drawing* dengan menggunakan *die* berbahan keramik.
3. Dapat memberi sumbangan hasil penelitian bagi teknologi ramah lingkungan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini terbagi dalam beberapa bab yang dapat ditunjukkan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai keramik industri, keramik tradisional, cara pembuatan keramik, macam – macam tungku bakar keramik dan pengujian kekerasan *Brinell Hardness Namber*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang ruang lingkup penelitian yaitu metode penelitian, rencana penelitian, variabel penelitian, rancangan penelitian serta analisis yang akan digunakan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang pengolahan data serta analisisnya yang diperoleh selama penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang diambil berdasarkan tujuan penelitian, hasil pengolahan data serta analisisnya, selain itu juga terdapat saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya.

P. Sebayang, Mulyadi, H. K. Sujono; 2002; *Pembuatan dan Karakterisasi dari keramik AL_2O_3 untuk diaplikasikan dibidang engineering, mengamati pengaruh penambahan MgO (0.4%, 0.6%, dan 0.8%) serta waktu Holding (1, 5 dan 10 jam) pada pembuatan keramik alumina dengan suhu sintering $1600^{\circ}C$ terhadap nilai densitas, porositas, kekuatan patah, konduktivitas listrik serta koefisien termalnya. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa penambahan MgO dan waktu penahanan temperatur berbanding lurus dengan densitas dan kekuatan patah, serta berbanding terbalik dengan porositas, konduktivitas listrik dan koefisien ekspansi termalnya.*

2.2 Keramik

Keramik merupakan material non-logam anorganik yang berbeda dengan material organik (polimer) maupun logam. Sedangkan *cermet* adalah material komposit yang tersusun dari keramik dan logam terikat bersamaan. Penggunaan keramik dan *cermet* sebagai material struktur memiliki berbagai kelebihan dibandingkan logam dan paduannya, antara lain : (1) tingginya rasio kekuatan terhadap berat, (2) tingginya rasio kekakuan terhadap modulus, (3) kekuatan tinggi pada kondisi temperatur tinggi, dan (4) ketahanan terhadap korosi. Selain itu keramik juga murah dan tidak sulit ditemukan.

Keramik dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu keramik tradisional dan keramik industri. Keramik tradisional telah kita kenal sejak dahulu dan merupakan barang pecah belah peralatan rumah tangga. Keramik industri digunakan untuk berbagai keperluan sebagai komponen dari peralatan, mesin dan perkakas. Karena kegunaannya yang amat luas dan penting, keramik dari bahan alami pun digantikan dengan keramik hasil industri yang lebih murni karena diproses dengan teknologi maju dan terkontrol dengan baik (*Advance Ceramics, High-Technology Ceramics, Fine Ceramics*). Keramik “canggih” ini dibuat

menjadi bahan mentah berupa serbuk murni dan homogen dengan ukuran terkontrol untuk diproses secara *powder processing*.

Secara umum keramik lebih keras daripada logam dan paduannya sehingga memiliki ketahanan abrasi yang potensial. Koefisien gesek keramik secara umum lebih tinggi (~0,15 hingga 0,6) daripada pelumas padat (~0,05 hingga 0,2), oleh karena itu keramik dan *cermet* lebih banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus tinggi pada kondisi pengoperasian yang ekstrim.

Keramik merupakan material yang memiliki ketahanan kimiawi, misalnya pada kondisi dengan tingkat oksidasi tinggi, dan keramik mempertahankan sifat tersebut pada kondisi temperatur tinggi. Namun demikian, keramik merupakan material yang getas dan dapat mengalami kegagalan karena tegangan atau karena kejutan mekanis maupun termal. Material keramik mengalami kegagalan tanpa aliran terukur karena kerusakan yang disebabkan oleh cacat manufaktur atau kerusakan permukaan pada saat penggunaan. Oleh karena itu, dibutuhkan biaya tinggi untuk membuat keramik dengan toleransi dimensional yang baik.

Sifat-sifat superior yang saat ini didapati pada keramik diperoleh dari peningkatan teknik fabrikasi terhadap beberapa material yang dikenal, seperti *alumina*, *silicon carbide*, dan *silicon nitride*, dan juga pada pengembangan material baru, seperti *silicon aluminium oxinitride (Sialon)* dan *zirconia* yang distabilkan sebagian.

2.3 Metode pembuatan keramik

2.3.1 Keramik Industri

Raw material dan metode pemrosesan yang digunakan mempengaruhi struktur mikro dan sifat material keramik, maka dibutuhkan pemahaman terhadap proses ketergantungan tersebut. Dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan oksidasi tinggi, material dengan tingkat kemurnian awal dan kepadatan yang seragam merupakan hal yang krusial. Secara umum, metode pemrosesan yang digunakan merupakan fungsi dari konfigurasi sifat yang dibutuhkan. *Cold pressing*, *sintering* dan *hot pressing* merupakan proses yang

lebih sesuai dalam membentuk komponen sederhana, sedangkan *slip casting* dan *injection molding* digunakan untuk fabrikasi komponen dalam produksi masal.

1. *Cold Pressing*

Dalam proses *cold pressing* dan *sintering*, bahan berupa serbuk dicampur, digiling, serta diaduk bersamaan dan dipadatkan dengan tekanan 35 hingga 100 MPa pada suhu kamar dan kemudian disinter pada temperatur tinggi (850 hingga 1500°C) didalam udara terkontrol seperti hidrogen kering atau vakum.

2. *Hot Pressing*

Dalam *hot pressing*, tekanan dan temperatur diberikan secara bersamaan. Tekanan yang digunakan lebih rendah (10 hingga 35 MPa) daripada yang digunakan dalam metode *cold pressing*. *Hot pressing* dilakukan pada kondisi *inert* dengan kondisi udara yang reaktif. Dalam *hot isostatic pressing*, bahan serbuk diletakkan didalam pembatas *seal* logam atau gelas yang fleksibel sehingga akan mengalami tekanan yang sama dari semua arah dan pada temperatur yang cukup tinggi untuk melakukan aliran dan terjadinya *sintering*. *Hot isostatic pressing* makin banyak digunakan sebagai cara memproduksi keramik dan *cermet* dengan tingkat kepadatan tinggi dan kualitas permukaan yang superior.

3. *Slip Casting*

Dalam *slip casting*, material hasil penggilingan dicampur dengan air sehingga membentuk cairan berwarna krem yang kemudian dituangkan kedalam cetakan, dimana kelebihan airnya akan diserap dan diperoleh replika padat didalam cetakan kemudian bagian tersebut dipadatkan dan dikuatkan dengan *sintering* pada temperatur tinggi.

4. *Injection Molding*

Injection molding merupakan metode lain yang sangat baik untuk memproduksi komponen dari keramik secara masal. Tahapan yang biasa digunakan dalam *injection molding* antara lain adalah *mixing*, *molding*, *debonding*, dan *sintering*. Dibutuhkan kontrol yang akurat terhadap waktu/tekanan dan temperatur yang terjadi selama proses pembentukannya. Proses ini mampu memproduksi komponen dengan perbedaan bagian yang tipis dan tebal.

5. *Reaction Bonding*

Dalam metode *reaction-bonding*, yang juga disebut sebagai *reaction sintering*, komponen reaksi yang dihasilkan oleh berbagai proses pembentukan yang dijelaskan diatas akan bereaksi satu sama lain selama proses *sintering* atau bereaksi dengan udara *sintering*. Misalnya, reaksi ikatan Si_3N_4 yang dihasilkan dari serbuk Si dan kemudian direaksikan dengan nitrogen pada temperatur tinggi. Metode ini dapat menghasilkan produk dengan bentuk yang hampir seperti jaring, namun materialnya lebih keropos dan kekuatannya lebih rendah dibandingkan hasil *hot pressing*.

Karakteristik material keramik dapat disesuaikan dengan kebutuhan tertentu yang diinginkan, misalnya kekerasan, kekuatan dan kekuatan impact yang dapat ditingkatkan melalui proses pencampuran dengan material keramik lain, membuat variasi ukuran butir, mengubah rute proses manufaktur.

2.3.2 Keramik Tradisional (*Clay Based Ceramics*)

Keramik tradisional dibuat dengan memanaskan campuran tanah liat yang telah dicetak dan dikeringkan ($Clay, 60-80\% SiO_2 + 5-20\% Al_2O_3$), pasir silika (*quartz/flint*) dan *feldspar* (*K, Na, Ca Aluminosilikat*) pada temperatur $900 - 1000^\circ C$. Dari kombinasi ketiga elemen (*triaxial bodies*) dengan prosentase tertentu tersebut dapat dibuat berbagai barang keperluan sehari-hari, mulai dari ubin sampai dengan penambal gigi.

Pada keramik tradisional, *clay* merupakan komponen utama yang mempunyai kemampuan bentuk tinggi. Sedangkan *flint* mempunyai titik lebur yang tinggi dan berfungsi mengurangi penyusutan pada saat proses pengeringan maupun pada proses pembakaran. Sedangkan *feldspar* mempunyai titik lebur rendah dan berfungsi mengikat komponen keramik lainnya pada proses pembakaran yang seringkali disebut dengan mengglas. Bahan baku pembantu terdiri dari *water glass* yang berfungsi sebagai bahan pengikat bahan pada pembuatan *slip*. Bila *water glass* terlalu banyak maka *slip* akan mengendap, dan bila terlalu sedikit maka *slip* akan sulit mencair dan sulit dicetak.

2.3.3 Bahan baku keramik

Bahan baku utama dalam proses pembuatan keramik adalah tanah liat dimana tanah liat merupakan suatu zat yang terbentuk dari kristal-kristal yang

banyak dan sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat walaupun telah menggunakan mikroskop, kristal – kristal ini terdiri dari mineral-mineral yang disebut *kaolinit* yang bentuknya seperti lempengan dan menyebabkan tanah liat mempunyai sifat plastis serta mudah dibentuk bila dicampur dengan air. Dilihat dari sudut ilmu kimia, tanah liat termasuk hidrosilikat alumina dengan perbandingan berat unturnya 47% oksida silinium (SiO_2), 39% oksida alumunium (Al_2O_3), dan 14% air (H_2O). Jenis-jenis tanah liat dapat dibedakan berdasarkan tempat pengendapannya yaitu:

- a) Tanah liat *residu* (tanah liat primer) yaitu tanah liat yang terdapat pada tempat dimana tanah liat tersebut terjadi atau belum berpindah tempat dari terbentuknya dan sebagian merupakan hasil dari pelapukan dari batuan keras seperti basalt, andesit, granit dan lain-lain. Tanah liat ini mempunyai sifat berbutir kasar bercampur batuan asal yang belum lapuk, tidak plastis contohnya adalah *kaolin*.
- b) Tanah liat endapan (tanah liat sekunder) tanah liat ini biasanya juga disebut batuan sedimen karena setelah terbentuk dari batuan keras tanah liat akan diangkut oleh air, angin, dan diendapkan dari suatu tempat yang lebih rendah. Sifat dari tanah liat ini adalah kurang murni karena terbentuk dari unsur-unsur lain pada waktu perpindahan dari tempat asal, berbutir halus, lebih plastis.

Bahan baku utama dalam pembuatan keramik ini mempunyai sifat yang khas yaitu bila dalam keadaan basah akan mempunyai sifat plastis, bila dalam keadaan kering akan menjadi keras, sedang bila dibakar akan menjadi padat dan kuat dan sifat tanah liat mempunyai sifat-sifat fisis dan kimia yang penting untuk pembuatan keramik, sifat-sifat tersebut antara lain:

- a) **Sifat liat (plastis)** yaitu tanah liat harus dapat dibentuk dengan mudah.

Contohnya: tanah *stoneware* adalah tanah yang paling mudah dikerjakan, tanah *kaolin* yaitu tanah yang mudah berubah bentuk karena tidak mampu menahan berat bebannya sendiri dan *ball clay*

biasanya tanah ini terlalu plastis dan tidak mudah kering bila dibakar tidak berubah bentuk dan mengalami retak.

- b) **Sifat porous** terjadi karena tanah liat mengandung partikel-partikel pembentuk tanah yang terdiri dari partikel halus dan kasar.

Contohnya: tanah liat *ball clay* yang mengandung partikel yang sangat halus yang menyebabkan susut kering dan kekuatan tanah tersebut sangat tinggi.

- c) **Sifat gelas** yaitu sifat yang dimiliki bahan-bahan mineral lain yang dapat bertindak sebagai bahan pembentuk gelas waktu dibakar dan tanah liat harus dapat menjadi padat, keras dan kuat (menggelas) pada suhu yang diperlukan dalam pembuatan keramik. Yang dinamakan penggelasan sebenarnya proses pencairan pada bagian-bagian tertentu dari tanah liat saat mulai mencair menjadi gelas. Jika waktu dan suhu pembakaran bertambah maka bagian-bagian yang mencair tadi sedikit demi sedikit melarutkan sisa komposisi tanah liat. Penggelasan dari ikatan-ikatan unsur ini dapat memberikan sifat keras seperti batu tanah liat yang dibakar.

2.3.4. Macam-macam tanah liat.

2.3.4.1 Tanah liat plastis

- **Kaolin**

Kaolin adalah tanah liat yang mengandung mineral kaolinit sebagai bagian terbesar yang termasuk jenis tanah liat primer. Sifat yang dimiliki bahan ini yaitu berbutir kasar, rapuh dan tidak plastis, warnanya putih karena kandungan besinya yang rendah.

- **Ball Clay**

Ball clay adalah tanah liat yang sangat plastis adapun sifat dari bahan yaitu berbutir sangat halus, sangat plastis, kuat kering tinggi, susut kering dan susut bakar sangat tinggi, warna bahan abu-abu kehitaman karena banyak mengandung karbon.

- **Stoneware clay**

Stoneware clay adalah keramik yang tidak termasuk gerabah, karena bahan-bahan gerabah menghisap air sedangkan stoneware badannya sudah rapat dan tidak termasuk barang porselen karena tidak tembus cahaya dan sifat dari bahan ini antara lain plastis, pengeringan baik, warna mentahnya kuning kotor. Tanah stoneware banyak dipakai dalam penggunaan barang-barang keramik karena sifat tahan asam yang dimilikinya.

- **Fire Clay**

Merupakan jenis tanah sekunder karena terdapat pada lapisan batu bara. Sifat-sifat yang dimiliki bahan ini yaitu sangat tahan terhadap suhu tinggi bertekstur kasar dan sifat tahan apinya dikarenakan bahan ini tidak mengandung oksida besi.

2.3.4.2 Bahan –bahan keramik tidak plastis

Bahan –bahan pembuatan keramik yang telah diuraikan terdahulu merupakan bahan yang plastis artinya dapat dibentuk menjadi benda sedangkan benda-benda yang akan diuraikan merupakan bahan non plastis yang biasa dicampurkan untuk memperoleh hasil yang memuaskan. Bahan-bahan tersebut antara lain:

- **Silica atau glass former.**

Merupakan salah satu bahan yang penting baik untuk masse maupun gelasir yaitu sebagai pembentuk gelas. Bahan ini terdapat pada pasir silika yang mengandung 99,5% silika dan sisanya terdiri dari calcium carbonate atau chrome. Kwarsa adalah suatu bentuk lain dari batuan silika 100% murni dan biasanya bergabung dengan oksida-oksida lain yang disebut silicates. Kegunaan silika antara lain dapat mengurangi susut kering atau mengurangi retak-retak dalam pengeringan, mengurangi susut waktu bakar dan mempertinggi kealitan dan meruoakan rangka selama pembakaran. Bahan ini dipakai pada keramik halus, bahan tahan api dll.

- **Fieldspar**

Bahan ini merupakan kelompok mineral yang terdapat pada batu karang yang ditumbuk dan dapat memberikan sampai 25% flex atau

pelebur pada badan keramik. Saat masse keramik dibakar fieldspar meleleh membentuk leburan gelas yang menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lain. Bila bahan semacam ini membeku akan memberi kekuatan dan kekukuhan pada bodi keramik, dan cocok bila digunakan untuk gelasir suhu tinggi.

- **Alumina**

Alumina atau oksida alumunium tidak ditemukan dalam bentuk murni tetapi dalam kombinasi kimia dengan mineral-mineral lainnya salah satu bentuk yang paling murni adalah bauxit. Didalam keramik unsur ini terdapat pada nahan-bahan seperti kaolin, ballclay, bahan-bahan fieldspar. Kegunaanya dalam masse atau gelasir ialah dapat mengontrol dan mengimbangi pelelehan dan juaga memberikan kekuatan pada badan atau gelasir.

2.3.5 Proses pembuatan keramik tradisional

Ada beberapa tahapan yang harus diikuti dalam proses pembuatan keramik tradisional, tahapan tersebut antara lain:

1. Tahap Persiapan

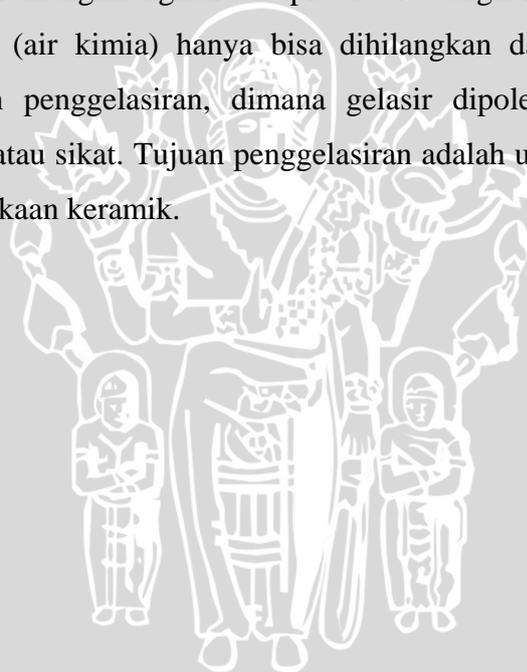
Tanah liat untuk keramik harus diolah terlebih dahulu sebelum siap dibentuk karena hampir semua bentuk aslinya mengandung terlalu banyak *grit*. Ada dua cara pengolahan tanah yang biasa dilakukan, yaitu :

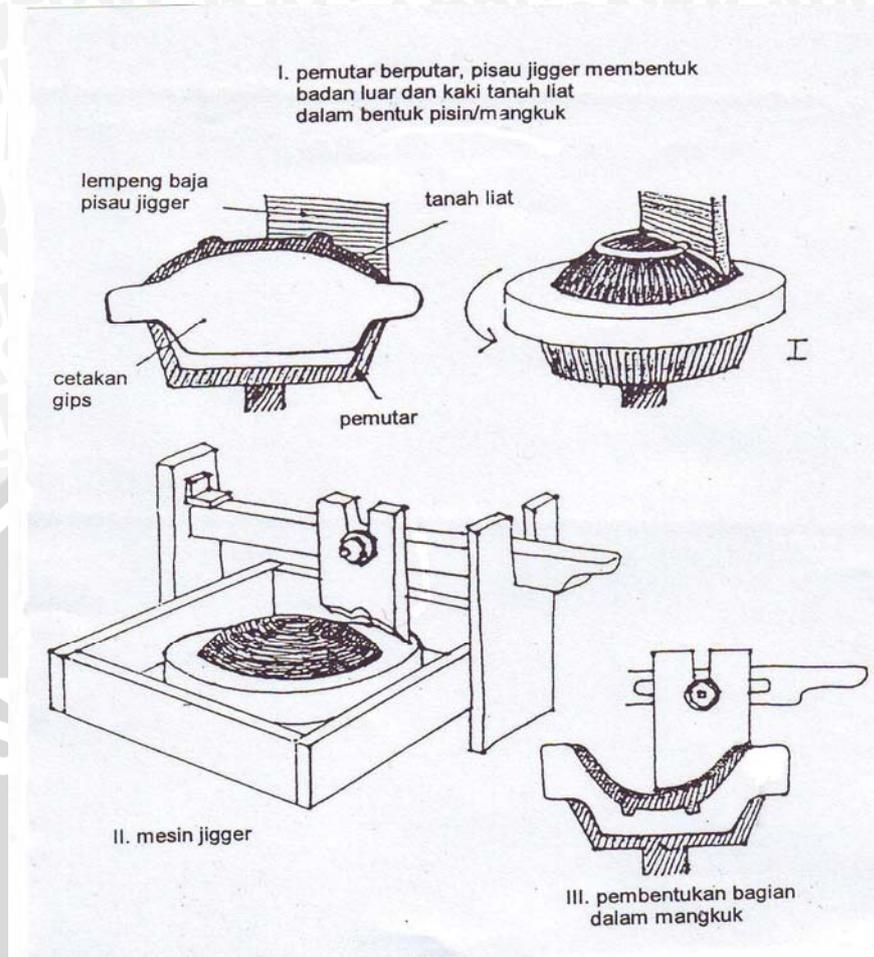
- Cara kering*; Bila tanah liat mengandung batuan yang berbutir kasar dan keras, diperlukan alat penghancur atau penggiling dan ayakan untuk melumatkan dan memisahkan butiran tersebut dari yang halus. Kemudian dicampur air secukupnya hingga didapat campuran yang cukup plastis.
- Cara basah*; Prosesnya sangat sederhana, dimana tanah dicampur dengan banyak air lalu disaring dan dibiarkan menggendap. Butiran halus yang didapat disaring lagi dan dikeringkan atau ditambah air sehingga didapat campuran yang cukup plastis.

2. Tahap Pembentukan

Pada dasarnya proses pembentukan keramik dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu pembentukan dengan tangan dan teknik pembentukan dengan mesin. Teknik pembentukan dengan tangan (*pinch, coil, slip*) adalah cara populer untuk menghasilkan bentuk-bentuk fungsional dan dekoratif. Bahan baku yang sudah menjadi *slip* dan siap dibentuk biasanya berupa campuran plastis atau berupa cairan, dapat pula berbentuk tepung atau gumpalan keras. Terdapat beberapa cara pembentukan, yaitu pada kondisi kering, plastis atau cair.

Pembentukan dingin paling banyak digunakan pada pembuatan keramik, seperti *slip casting* dan *casting*. Namun pembentukan panas seperti pengepresan dan *extrusi* juga sering dipakai. Keramik yang sudah dibentuk kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari atau dengan pembakaran awal. Proses pengeringan bertujuan menghilangkan air plastis. Sedangkan air yang terikat dalam molekul tanah (air kimia) hanya bisa dihilangkan dalam pembakaran. Setelah itu dilakukan pengglasiran, dimana gelasir dipoleskan pada badan keramik dengan kuas atau sikat. Tujuan pengglasiran adalah untuk memperhalus dan melindungi permukaan keramik.





Gambar 2.2 Proses pembentukan dengan mesin.

Sumber : Ambar Astuti, 1997: 48

3. Tahap Pengeringan

Proses pengeringan benda keramik bertujuan untuk menghindari terjadinya ledakan uap air waktu dibakar karena air plastis sedangkan air yang terikat dalam molekul tanah liat (air Kimia) hanya bisa dihilangkan melalui proses pembakaran. Pengeringan keramik juga dapat memberikan kekuatan pada benda sehingga dapat disusun dalam tungku. Ada beberapa cara pengeringan yang banyak dilakukan dalam proses pembuatan keramik antara lain: diangin-anginkan pada udara terbuka tetapi tidak sampai terkena sinar matahari secara langsung, dipanaskan dalam lemari berlubang yang tujuannya untuk melenyapkan uap air, membungkus bagian-bagian benda dengan lap yang agak basah dan pada bagian bawahnya diberi kayu-kayu penyangga supaya aliran udara dari benda dapat dapat

mengeringkan benda tersebut. Pada waktu pengeringan kerusakan pada benda dapat juga terjadi seperti perubahan bentuk dan retak-retak.

4. Tahap Pengglasiran

Glafir adalah suatu mcam gelas khusus yang diformulasikan secara kimia, agar melekat pada permukaan tanah liat atau melebur kedalam body saat dibakar (ambar astuti, 1997:91) Glafir merupakan kombinasi dari satu atau lebih oksida-oksida asar (flux-flux), suatu oksida asam atau oksida netral (alumina) untuk membuatnya seimbang. Bahan-bahan dasar glafir adalah : silica, flux-flux(oksida-oksida dasar), subtansi-subtansi yang memberi badan pada glafir, seperti feldspar dan tanah liat. Untuk membuat glafir pada proses pembuatan keramik dipakai sejumlah bahan mentah yang dicampurkan antara satu dengan yang lainnya, beberapa diantaranya adalah *silica, feldspar, alumina, calsium* dan *magnesium okside*. Ada babarapa cara dalam proses pengglasiran keramik yaitu dengan cara disikat, dicelup, penyemprotan dan penuangan.

5. Tahap Pembakaran

Pada proses pembakaran keramik dibagi menjadi 2 golongan yaitu pembakaran biscuit dan pembakaran glafir, pada pembakaran *biscuit* barang keramik dibakar pertama kali dibawah suhu 1000 °C, dimana bahan tersebut menjadi keras, kuat, tidak hancur oleh air dan dapat juga menghasilkan warna. Setelah pembakaran biscuit dilanjutkan dengan pembakaran glafir yaitu barang hasil pembakaran tadi dilapisi dengan glafir dan dibakar pada suhu yang dibutuhkan untuk mamatangkan bahan glafir antara 980°C sampai diatas 1.250°C tergantung bahan glafir yang digunakan. Ada beberapa bab yang perlu diketahui saat proses pembakaran berlangsung, antara lain:

a. Menghilangkan uap air

Pada saat proses ini berlangsung suhu pembakaran dari awal sampai akhir sekitar 500°C supaya air yang terikat pada molekul tanah liat (air kimia) menguap dan unsur karbon dan unsur organis dibakar habis, pembakaran pada proses ini harus dilakukan berlahan-lahan terutama jika barang yang dibakar berukuran besar supaya air dapat di uapkan melalui

pori-pori keramik dan jika panas terlalu cepat meningkat kemungkinan uap air tidak dapat segera keluar dari pori-pori sehingga dapat menimbulkan letusan. Setelah air habis, pada suhu 350°C – 400°C zat organik dan karbon terbakar habis. Tahap penggelasan akan dimulai pada suhu 500°C sedangkan taraf penggelasan terjadi pada suhu 800°C – 1400°C .

b. Pengerasan atau penggelasan

Pada tahap penggelasan dimulai pada suhu 500°C sampai 800°C dan proses ini berlangsung lebih cepat dibandingkan babat menghilangkan uap air tetapi jika tanahnya mengandung silika dalam bentuk pasir atau flint pembakaran harus diperlambat karena struktur kristal *silica* akan berganti-ganti pada temperatur tertentu. Pembakaran struktur yang paling menentukan adalah pada suhu 573°C . Pada suhu ini tungku pembakaran mulai merah panas dan terjadi pergantian fisik atau perubahan volume yang cepat sekali dari *silica* yang membuatnya mengembang oleh karena itu pembakaran tidak boleh terlalu cepat terutama untuk benda-benda yang besar dan banyak mengandung silika dan merupakan titik kritis dalam penggelasan juga dalam pendinginan sebab struktur silika akan berubah dengan cepat dan menyusut pada suhu 573°C titik ini disebut titik inversi kuarsa.

c. Pendinginan

Jika suhu telah mencapai 800°C dan benda keramik telah matang, maka suluh pembakaran harus dipadamkan dan tungku dibiarkan menjadi dingin, jika pada tungku terdapat lubang udara sebaiknya lubang tersebut dibuka sebagian agar pendinginan dapat diperlambat karena hal ini sangat diperlukan terutama jika benda yang dibakar bentuknya besar dan mengandung banyak *silica* atau pasir. Pendinginan yang diperlambat digunakan untuk menghindari cacat produk seperti retak dan juga dapat menghemat tungku karena terdapat pengaruh terutama pada element-element tungku listrik, setelah itu keramik dibiarkan sampai dingin dan

dapat diambil dengan tangan. Setelah proses selesai bahan dapat ditest untuk meyakinkan apakah tanah liat cukup matang atau suhu bakarnya perlu ditinggikan lagi, cara pengetesan tersebut dapat dilakukan secara sederhana yaitu dengan meneteskan air pada permukaan, bila air segera terserap berarti benda tersebut dapat dibakar pada suhu yang lebih tinggi lagi, yang kedua dengan cara gores yaitu jika benda dapat digores dengan tekanan sedikit saja itu menandakan bakaran masih rendah.

2.3 Pembakaran keramik

Tungku adalah tempat atau ruangan yang dapat disusun atau dibuat dari batu tahan api yang dapat dipanaskan dengan bahan bakar atau listrik yang dipergunakan untuk barang-barang keramik. Tungku untuk membakar barang keramik harganya relatif mahal, maka dalam memilih bentuk dan ukuran tungku dengan keperluan industri. Adapun syarat-syarat tungku yang baik diantaranya adalah dapat memenuhi kebutuhan suhu dengan mudah dan merata pada tiap bagian tungku, bahan bakar tidak melebihi yang diperlukan menurut teori, barang-barang mudah dibakar dan dibongkar dan tidak mudah rusak. Pada saat pembakaran keramik sangat diperlukan proses penahanan suhu atau yang sering disebut waktu *holding* dengan tujuan agar terjadi penyeragaman suhu dari keramik yang dibakar, menghilangkan udara dan air yang terjebak dalam struktur keramik, dan menyeragamkan butiran sehingga proses densifikasi atau pepadatan dari struktur lebih sempurna.

2.4.1 Macam-macam tungku pembakaran keramik

Tungku yang dipakai dalam industri keramik ada bermacam-macam dan penggolongannya juga bermacam-macam antara lain:

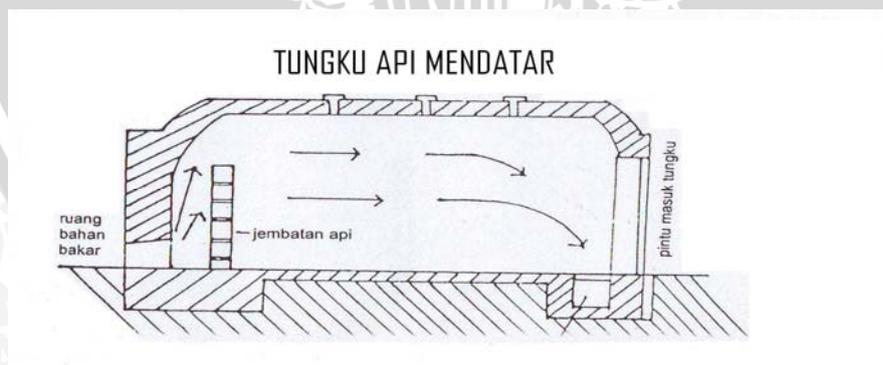
- Menurut bahan bakarnya:



Gambar 2.3 Tungku listrik

Sumber : Lab.Metalurgi mesin Brawijaya

- Tungku listrik
- Tungku gas
- Tungku dengan benda padat sebagai bahan bakarnya.
- Tungku minyak
- Menurut jalannya api:
 - Tungku api berbalik
 - Tungku api naik
 - Tungku api mendatar



Gambar 2.5 : Tungku api mendatar

Sumber : Ambar Astuti, 1997: 81



Gambar 2.4 : Tungku api berbalik

Sumber : PT. Keramik Tanah Agung, Dinoyo - Malang

- Menurut Proses Pembakarannya:
 - Tungku Berkala (periodik)
 - Tungku terus menerus (*continuous klin*)
- Menurut Bentuknya:
 - Tungku bundar
 - Tungku persegi

2.4.2 Alat-alat perlengkapan tungku

Perlengkapan tungku adalah alat yang digunakan untuk membantu proses pembakaran keramik. Perlengkapan tersebut antara lain:

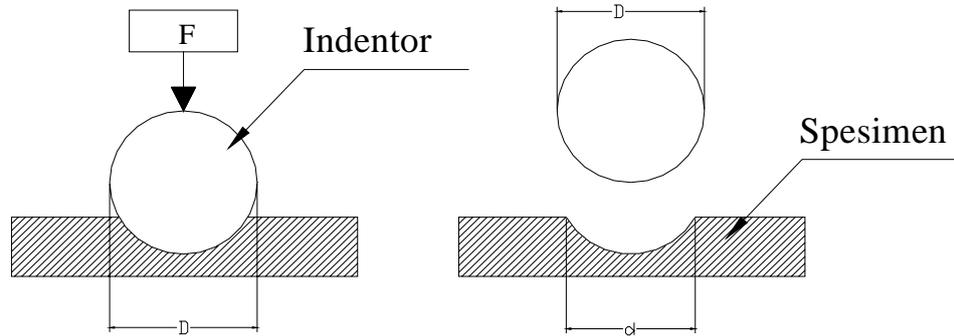
- *Saggers* atau *kapsel* yaitu kotak-kotak bata api untuk benda keramik supaya tidak langsung terkena api, kapsel ini biasanya dipakai dalam tungku terbuka.
- Plat atau jubin bata api, gunanya sebagai penyangga benda-benda keramik yang akan dibakar. Supaya plat tersebut tidak terkena gelasir maka diberi pelapis yang biasanya disebut klin wash yaitu yang dibuat dari campuran kaolin dan kwarsa dengan perbandingan 1:1.

- Tiang penyangga, dibuat dari batu tahan api dengan ukuran yang bermacam-macam sehingga dapat disesuaikan dengan benda keramik yang akan dibakar.
- Kaki atau *foot stuck* yaitu kerucut kecil dari bata tahan api untuk menahan benda yang digelasir supaya tidak lengket dengan plat.
- *Pyrometer* dan *pyometrik cones*(pancang suhu). Pengukur suhu yang dipakai untuk mengontrol suhu yang telah dicapai selama pembakaran.

2.5 Pengujian keramik

2.5.1 Pengujian kekerasan Brinell

Pengertian kekerasan keramik adalah kemampuan atau ketahanan suatu bahan terhadap goresan atau kemampuan bahan untuk menerima gaya penetrasi dari luar. Untuk menentukan kekerasan dari suatu bahan diperlukan pengujian dan pada umumnya pengujian terdapat tiga cara yaitu dengan pengujian *Rocwell*, *Vickers* dan pengujian *Brinell*. Dalam pengujian keramik ini menggunakan pengujian *Brinell* dan pengujiannya dilakukan pada permukaan yang halus dan datar. Pada pengujian *brinell* menggunakan penekanan hidrolik secara vertical yang dioperasikan dengan tangan untuk mendorong indikator bulat hingga masuk ke benda uji, kemudian dapat dilihat langsung jejak pengujian dapat diukur dengan mikroskop yang mempunyai skala okuler dengan pendekatan estimasi hingga 0,05 dan hasilnya dapat dihitung menggunakan persamaan:

Gambar 2.6 : Pengukuran *Brinell*

$$\text{Rumus} = \text{BHN} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Dimana: P = Gaya yang diterapkan (kg)

D = Diameter bola (mm)

d = Diameter bekas penetrasi (mm)

2.5.2 Perubahan geometri.

Perubahan geometri pada produk keramik sangat perlu diperhitungkan karena untuk memastikan bentuk dan ukuran spesimen akhir dari produk, sehingga cetakan yang dibuat dapat harus disesuaikan dengan penyusutan yang terjadi. Perubahan geometri produk keramik biasanya dipengaruhi oleh jenis bahan aditif dari campuran keramik, suhu pembakaran termasuk waktu holding, dan bentuk butiran dari keramik sebelum proses pembakaran. Untuk mengukur perubahan geometri dari produk terutama kesilindrisan dapat dihitung secara manual menggunakan alat ukur micrometer dan yang diukur adalah diameter dalam dari produk sehingga dapat dilihat selisih antara ukuran diameter cetakan dan diameter dalam dari produk keramik.



Gambar 2.7 : Cara pengukuran diameter dalam

Sumber : www.mitituyo.com

2.6 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang diatas bahwa dengan bertambahnya waktu holding pada produk keramik maka kekerasan dari produk juga meningkat karena makin banyak gelas yang terbentuk dan ikatan komposisi dari campuran bahan *aditif* menjadi padat dan penyusutan juga semakin besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata (*true experiment research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh

waktu holding terhadap nilai kekerasan keramik dan perubahan geometri yang terjadi pada produk keramik

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah variasi waktu *holding* antara 1, 2, 3, 4, dan 5 jam

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Kekerasan material (BHN).

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada bulan maret – april 2007 dan tempat penelitian adalah:

- a) Laboratorium Lembaga Pengembangan Industri Keramik Kota Malang.
- b) Laboratorium Pengujian Produksi Jurusan Mesin Politeknik Negeri Malang.
- c) Laboratorium pengujian Bahan jurusan Mesin Universitas Brawijaya.

3.4 Peralatan yang Digunakan

1. Mesin uji kekerasan (BHN)
2. Micrometer untuk mengukur perubahan geometri diameter dalam die keramik.
3. Timbangan elektrik, untuk menimbang bahan baku.
4. Cetakan *die* dan spesimen uji.
5. Tungku pembakaran untuk membakar keramik.
6. Ayakan mesh, digunakan untuk mengayak *masse* yang telah ditumbuk agar diperoleh bahan yang halus.

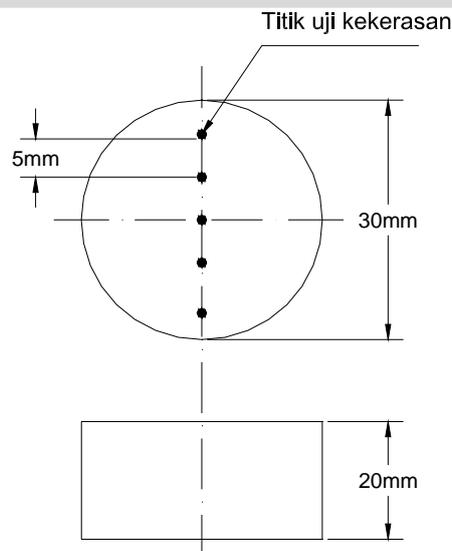
3.5 Bahan yang Digunakan

1. Material *Die* Keramik

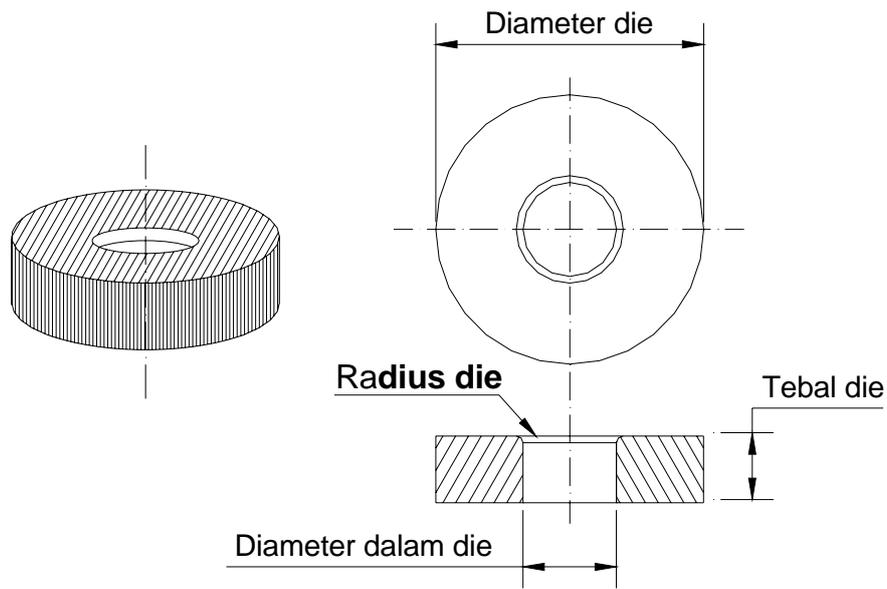
Die keramik yang digunakan merupakan jenis keramik *porcelain* atau masse *tinggi* isolator.

3.6 Bentuk Spesimen, *die* dan Ukuran Cetakan

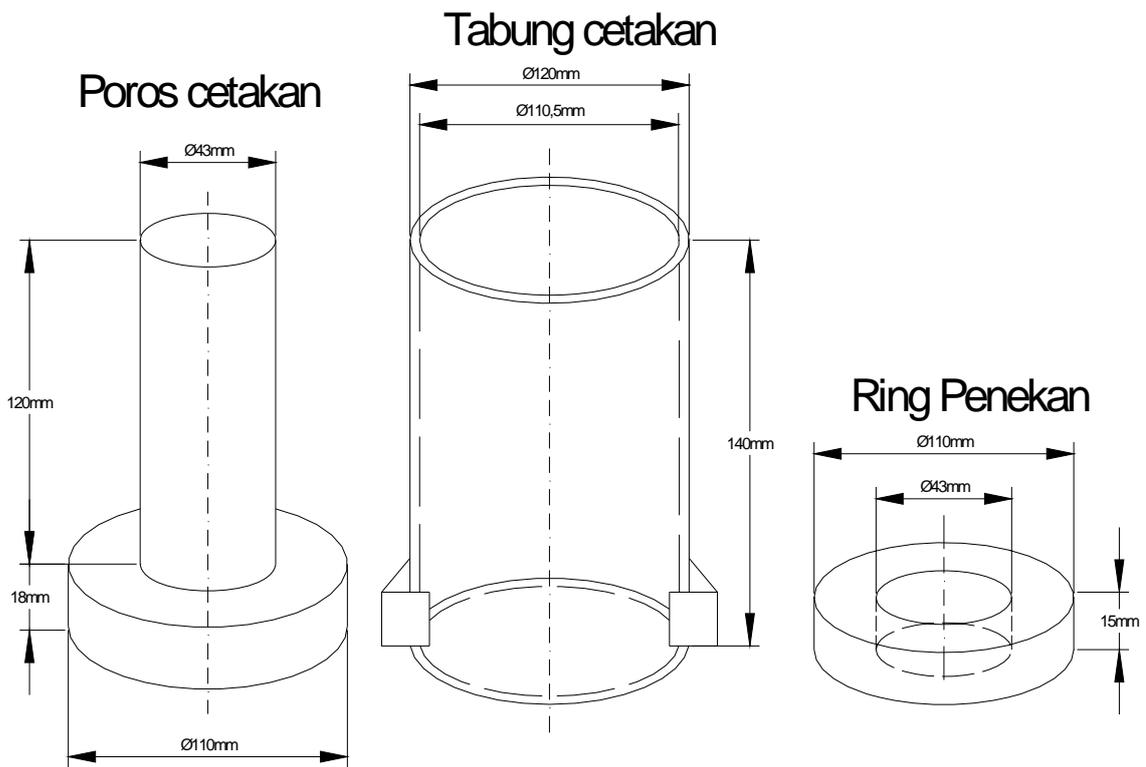
Bentuk dan ukuran spesimen yang digunakan dalam uji kekerasan keramik dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Ukuran spesimen dan letak titik uji kekerasan



Gambar 3.2. Spesifikasi geometri die



Gambar 3.3 Cetakan die keramik

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Prosedur Umum

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan berbagai informasi yang mendukung serta mendapatkan data-data yang berhubungan dengan penelitian. Antara lain mengenai pengertian tentang proses pembuatan keramik dan cara pengujian seperti uji kekerasan keramik. Selain itu juga dilakukan studi literatur terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang melibatkan penggunaan keramik dalam proses pembentukan. Dimana studi literatur ini dilakukan terhadap beberapa buku, jurnal penelitian, tesis, serta artikel-artikel yang diperoleh melalui berbagai media.

2. Pengujian Material

- Pengujian kekerasan keramik dengan *Brinell Hardness Tester* berdasarkan standarisasi ASTM E 10-78.
- Pengukuran perubahan geometri dari produk keramik terhadap cetakan dengan variasi waktu *holding* produk .

3. Perencanaan dan Pembuatan *Die* dan spesimen uji kekerasan.

- Munumbuk *clay* kemudian diayak untuk memperoleh hasil yang paling halus.
- Setelah halus *clay* dimasukkan ke cetakan lalu ditekan kemudian diamkan cetakan beberapa saat setelah itu hasil cetakan dikeringkan.
- Pembuatan *die* keramik ini menggunakan cetak tekan.
- Setelah keramik kering dilakukan proses pengglasiran dan dikeringkan pada udara terbuka.
- Setelah kering masse keramik yang sudah diglasir dimasukkan ke tungku pembakaran sampai suhu $\pm 1250^{\circ}\text{C}$ kemudian diholding 1, 2, 3, 4, dan 5 jam.
- Setiap variasi waktu *holding* hanya dilakukan satu kali proses pembakaran.

4. Percobaan dan Penelitian

1. Uji kekerasan produk

Pengujian kekerasan produk dilakukan sebanyak 5 kali dalam setiap variasi waktu hoding dan bentuk spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3.1. Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji *Brinell Hardness Tester* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk : Hauser Henry SA
- Diameter bola baja : 1,2 mm
- Berat baban : 12,48 kg
- Buatan : Rusia



Gambar 3.4 Alat uji kekerasan Brinell

2. Pengukuran perubahan geometri produk keramik

Pengukuran perubahan geometri produk dilakukan secara manual dengan menggunakan micrometer dalam yang digunakan untuk mengukur diameter dalam *die* sehingga dapat dilihat penyusutan dan perubahan geometri pada produk dengan cara membandingkan ukuran antara diameter cetakan dengan diameter dalam produk.

5. Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa varian satu arah serta interpretasi grafik dan perubahan geometri dari produk *die* pada beberapa hal sebagai berikut :

- Hubungan waktu *holding die* dengan kekerasan produk keramik.

- Hubungan waktu *holding die* dengan besarnya perubahan geometri produk.

6. Pembahasan dan Evaluasi

Pembahasan dan evaluasi mengacu pada beberapa hal pokok sebagai berikut :

- Hasil interpretasi data statistik dan grafik yang diperoleh.
- Hasil pengukuran geometri produk keramik terhadap cetakan yang digunakan.

7. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diambil merupakan hasil representasi akhir dari penelitian yang dilakukan. Hasil kesimpulan tersebut diharapkan berguna bagi penelitian berikutnya serta memberi sumbangan berarti bagi perkembangan teknologi. Selanjutnya diberikan pula saran yang tepat untuk menunjang hal itu.

3.8. Prosedur Percobaan

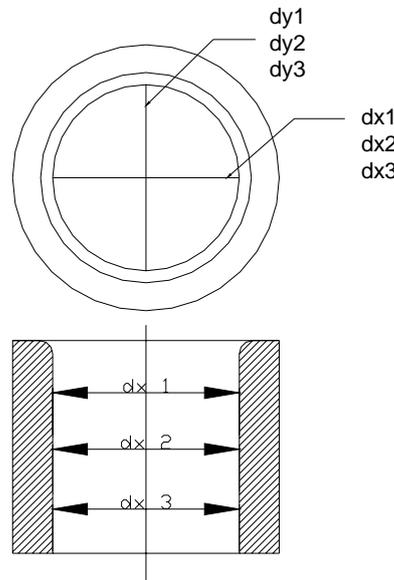
1. Prosedur Uji kekerasan

- Mempersiapkan benda uji sebanyak 25 buah.
- Mengatur posisi spesimen uji pada alat uji kekerasan.
- Menyetting mesin uji kekerasan dengan beban 12.48 kg.
- Meletakkan benda uji pada mesin Brinell, sampai menempel pada indentor.
- Atur posisi jarum penunjuk pada angka nol.
- Lepaskan handel pengunci beban kemudian tekan tombol pembebanan.
- Baca penunjuk angka kekerasan pada benda uji.
- Kembalikan handel pengunci pada posisi semula.

2. Prosedur pengukuran perubahan geometri diameter dalam *die* keramik.

- Siapkan *die* keramik yang akan die uji.
- Kalibrasi kembali alat ukur sesuai dengan alat yang ada.

- Letakkan die pada meja perata.
- Masukkan alat ukur pada diameter *die* dan putar sampai menunjukkan angka pengukuran.
- Ukur diameter dalam die sebanyak 3 kali pengukuran pada posisi X dan Y.



Gambar 3.4 Pengukuran geometri *die* keramik

Keterangan:

$d_{x(1,2,3)}$ = diameter *die* keramik pada sumbu x.

$d_{y(1,2,3)}$ = diameter *die* keramik pada sumbu y.

3.9. Rancangan Penelitian

1. Pengambilan Data

Rancangan penelitian adalah cara untuk menentukan keberhasilan dalam penelitian sehingga didapat suatu kesimpulan dan analisa yang tepat, maka langkah pertama adalah merencanakan model rancangan penelitian (*experimental design*) agar hasil dan data yang diperoleh dapat menyelesaikan masalah yang dihadapi.

Hasil pengukuran dan pengambilan data dari masing-masing pengujian dapat ditabelkan seperti pada tabel dibawah ini:

	Variasi waktu holding (jam)
--	-----------------------------

Uji	1	2	3	4	5
	Nilai kekerasan (BHN)				
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅
4	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅
5	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y ₅₅
jumlah	$\sum Y_{i1}$	$\sum Y_{i2}$	$\sum Y_{i3}$	$\sum Y_{i4}$	$\sum Y_{i5}$
Nilai rata-rata	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5

Tabel 3.1 Rancangan pengambilan data uji kekerasan

Jumlah spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah dicetak (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata
	D _x	D _x	D _x	D _y	D _y	D _y		
	1	2	3	1	2	3		
1	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃	$\sum D_{x1}$	$\mu_{D_{x1}}$
2	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	$\sum D_{x2}$	$\mu_{D_{x2}}$
3	D ₃₁	D ₃₂	D ₃₃	D ₃₁	D ₃₂	D ₃₃	$\sum D_{x3}$	$\mu_{D_{x3}}$
4	D ₄₁	D ₄₂	D ₄₃	D ₄₁	D ₄₂	D ₄₃	$\sum D_{x4}$	$\mu_{D_{x4}}$
5	D ₅₁	D ₅₂	D ₅₃	D ₅₁	D ₅₂	D ₅₃	$\sum D_{x5}$	$\mu_{D_{x5}}$
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	$\sum X_{i1}$	μ_{x1}
2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	$\sum X_{i2}$	μ_{x2}
3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	$\sum X_{i3}$	μ_{x3}
4	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	$\sum X_{i4}$	μ_{x4}
5	X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	$\sum X_{i5}$	μ_{x5}
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	X' ₁₁	X' ₁₂	X' ₁₃	Y' ₁₁	Y' ₁₂	Y' ₁₃	$\sum X'_{i1}$	$\mu_{x'1}$
2	X' ₂₁	X' ₂₂	X' ₂₃	Y' ₂₁	Y' ₂₂	Y' ₂₃	$\sum X'_{i2}$	$\mu_{x'2}$

3	X'_{31}	X'_{32}	X'_{33}	Y'_{31}	Y'_{32}	Y'_{33}	$\Sigma X'_{i3}$	$\mu_{x'3}$
4	X'_{41}	X'_{42}	X'_{43}	Y'_{41}	Y'_{42}	Y'_{43}	$\Sigma X'_{i4}$	$\mu_{x'4}$
5	X'_{51}	X'_{52}	X'_{53}	Y'_{51}	Y'_{52}	Y'_{53}	$\Sigma X'_{i5}$	$\mu_{x'5}$

Tabel 3.2 Rancangan pengukuran geometri diameter dalam die

2. Analisa Data Statistik

Analisa data statistik dalam penelitian ini menggunakan model analisa varian satu arah. Analisa satu arah yaitu perlakuan dianggap sama, apabila nilai rata-rata dari masing-masing sampel antar satu dengan yang lainnya, maka varian antara seluruh sampel akan jauh lebih besar bila dibandingkan dengan dari satu kelompok sampel. Dari data tersebut maka akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi waktu *holding* terhadap kekerasan dan perubahan geometri dari prosuk keramik.

Pada tabel diatas kekerasan rata-rata yang disebut sebagai variabel terikat dianggap $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$ sehingga dianggap hipotesis:

- $H'_0 : \mu_{1..} = \mu_{2..} = \mu_{3..} = \mu_{4..} = \mu_{5..}$ (tidak ada pengaruh nyata)
- $H'_0 : \mu_{1..} \neq \mu_{2..} \neq \mu_{3..} \neq \mu_{4..} \neq \mu_{5..}$ (ada perubahan nyata)

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 dan H_1 diterima, artinya ada peneruh nyata dari variasi waktu holding keramik . berdasarkan tabel dapat dihitung:

- Faktor koreksi (FK)

$$FK = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}}{\sum n.i} \right]^2$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right)^2}{n.i} - FK$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

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

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{kx(n - 1)}$$

- Nilai F_{hitung}

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

Untuk melakukan uji analisis varian satu arah dapat dilihat sesuai dengan tabel berikut ini:

Sumber varian perlakuan	db (k-1)	JK JKP	KT $KTP = \frac{JKP}{K - 1}$	F_{hitung} $F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$	F_{tabel} $F(\alpha, k, db)$
Galat	K(n-1)	JKG	$KTG = \frac{JKP}{k(n-1)}$		
total	(kn-1)	KKT			

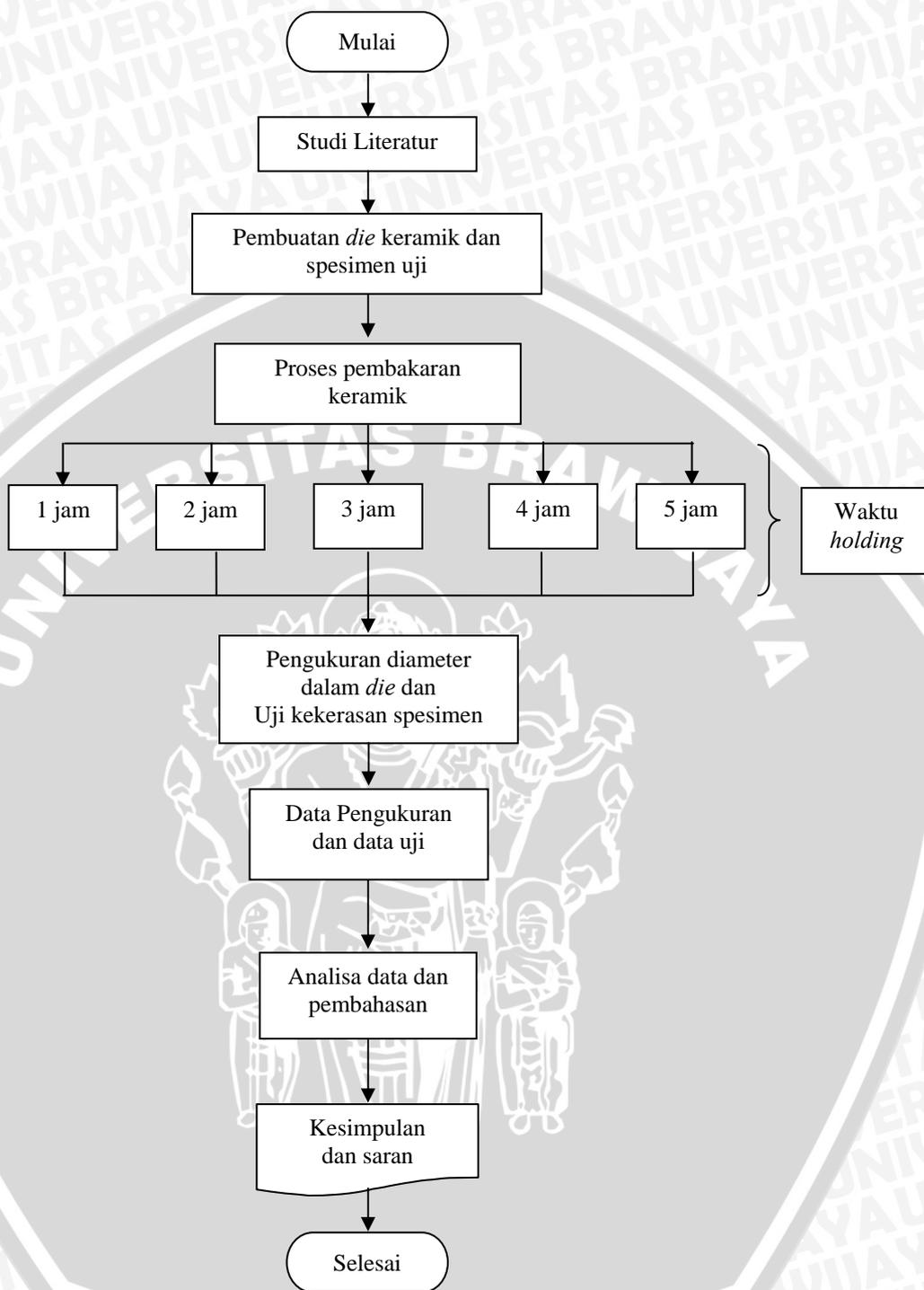
Sumber : Hifni. M,1991:23

Pengujian ada tidaknya perlakuan adalah dengan cara membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} sehingga:

1. jika $|F_{hitung}| > F \left[\frac{\alpha}{2}; k; db \right]$ berarti H_0 ditolak, ini berarti ada perbedaan yang berarti antara perlakuan ke-i dengan kontrol rata-rata.
2. jika $|F_{hitung}| < F \left[\frac{\alpha}{2}; k; db \right]$ berarti H_0 diterima, ini menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara perlakuan ke=i dengan kontrol rata-rata.

3.10. Diagram Alir Penelitian





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian kekerasan,

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan data kekerasan (BHN) pada tabel 4.1. dimana setiap pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali.

Tabel 4.1 Data pengujian kekerasan

Spesimen Uji	Variasi waktu holding (jam)				
	1	2	3	4	5
	Nilai kekerasan (BHN)				
1	324	325	326	324	325
2	324	324	324	324	324
3	323	323	324	325	325
4	324	324	324	325	326
5	323	324	324	325	325
jumlah	1618	1620	1622	1623	1625
Nilai rata-rata	323,6	324	324,4	324,6	325

4.2 Analisis varian satu arah uji kekerasan.

- Faktor koreksi (FK)

$$\begin{aligned}
 FK &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{\sum n.i} \\
 &= \frac{(8108)^2}{25} \\
 &= 2629586,56
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right)^2}{n.i} - FK \\
 &= 2629592,4 - 2629586,56 \\
 &= 5,84
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \\
 &= 2629602 - 2629586,56 \\
 &= 15,44
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= 15,44 - 5,84 \\
 &= 9,6
 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah pelakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\
 &= \frac{5,84}{4} \\
 &= 1,46
 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$\begin{aligned}
 KTG &= \frac{JKG}{k(n-1)} \\
 &= \frac{9,6}{5(5-1)} \\
 &= 0,48
 \end{aligned}$$

- Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned}
 F_{hitung} &= \frac{KTP}{KTG} \\
 &= \frac{1,46}{0,48} \\
 &= 3,0416
 \end{aligned}$$

Untuk melakukan uji analisis varian satu arah dapat dilihat sesuai dengan tabel berikut ini:

Tabel 4.2 Tabel analisis varian satu arah.

Sumber varian	Jumlah Kuadrat(JK)	Derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	5,84	4	1,46	3,0416	2,866
Galat	9,6	20	0,48		
Total	15,44	24			

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ sehingga dapat disimpulkan variasi waktu *holding* berpengaruh terhadap kekerasan keramik. F_{tabel} diketahui dengan menggunakan teknik analisis varian *anova*.

4.3 Data pengukuran geometri diameter dalam *die*.

Dari hasil pengukuran geometri yang telah dilakukan didapatkan tiga data untuk masing masing waktu *holding* sehingga dapat diketahui besarnya diameter saat masse keramik setelah keringkan, tebal *glasir masse* keramik dan penyusutan keramik setelah dibakar .

Tabel 4.3 Pengukuran untuk waktu *holding* 1 jam

Nomor spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah Dikeringkan (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata <i>die</i>
	Dx		Dy		Dy			
	1	2	3	1	2	3		
1	42,74	42,75	42,73	42,73	42,75	42,75	255,7	42,74167
2	42,71	42,73	42,75	42,72	42,74	42,73	256,38	42,73
3	42,74	42,73	42,72	42,75	42,74	42,73	256,41	42,735
4	42,75	42,75	42,73	42,73	42,75	42,74	256,45	42,74167
5	42,74	42,75	42,73	42,74	42,75	42,75	256,46	42,74333
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	43,71	43,72	43,72	43,71	43,72	43,72	262,3	43,71667
2	43,72	43,73	43,71	43,75	43,74	43,75	262,4	43,73333
3	43,72	43,73	43,73	43,74	43,72	43,72	262,36	43,72667
4	43,72	43,74	43,74	43,74	43,73	43,74	262,41	43,735
5	43,73	43,74	43,72	43,72	43,73	43,72	262,36	43,72667
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	40,80	40,75	40,76	40,79	40,74	40,75	244,59	40,765
2	40,76	40,75	40,76	40,75	40,75	40,75	244,52	40,75333
3	40,80	40,74	40,74	40,80	40,76	40,73	244,57	40,76167
4	40,78	40,76	40,76	40,77	40,75	40,74	244,56	40,76
5	40,75	40,75	40,76	40,75	40,75	40,75	244,51	40,75167

Tabel 4.4 Pengukuran untuk waktu *holding* 2 jam

Nomor spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah dikeringkan (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata Die
	Dx	Dx	Dx	Dy	Dy	Dy		
	1	2	3	1	2	3		
1	42,75	42,75	42,74	42,73	42,73	42,74	256,44	42,74
2	42,73	42,73	42,74	42,73	42,74	42,73	256,4	42,73333
3	42,72	42,73	42,73	42,72	42,73	42,74	256,37	42,72833
4	42,75	42,75	42,74	42,75	42,75	42,74	256,48	42,74667
5	42,74	42,75	42,74	42,74	42,75	42,75	256,47	42,745
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	43,72	43,72	43,72	43,72	43,72	43,72	262,32	43,72
2	43,72	43,73	43,73	43,72	43,73	43,75	262,38	43,73
3	43,72	43,73	43,73	43,74	43,75	43,74	262,41	43,735
4	43,73	43,74	43,72	43,74	43,73	43,73	262,39	43,73167
5	43,74	43,75	43,73	43,74	43,74	43,74	262,44	43,74
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	40,75	40,74	40,74	40,74	40,74	40,75	244,46	40,74333
2	40,73	40,73	40,74	40,75	40,75	40,75	244,45	40,74167
3	40,74	40,74	40,74	40,75	40,74	40,75	244,46	40,74333
4	40,73	40,74	40,74	40,75	40,75	40,74	244,45	40,74167
5	40,75	40,75	40,74	40,74	40,75	40,75	244,48	40,74667

Tabel 4.5 Pengukuran untuk waktu *holding* 3 jam

Nomor spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah dikeringkan (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata Die
	Dx		Dy		Dy			
	1	2	1	2	3	3		
1	42,73	42,75	42,73	42,73	42,74	42,73	256,41	42,735
2	42,73	42,74	42,75	42,73	42,74	42,74	256,43	42,73833
3	42,75	42,74	42,74	42,75	42,74	42,74	256,46	42,74333
4	42,74	42,75	42,74	42,74	42,75	42,75	256,47	42,745
5	42,74	42,74	42,74	42,74	42,74	42,75	256,45	42,74167
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	43,73	43,74	43,74	43,73	43,74	43,73	262,41	43,735
2	43,74	43,73	43,74	43,75	43,74	43,74	262,44	43,74
3	43,73	43,74	43,74	43,74	43,75	43,75	262,45	43,74167
4	43,74	43,74	43,74	43,75	43,74	43,75	262,46	43,74333
5	43,75	43,74	43,74	43,74	43,73	43,75	262,45	43,74167
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	40,72	40,71	40,72	40,69	40,73	40,73	244,3	40,71667
2	40,72	40,72	40,71	40,71	40,72	40,72	244,3	40,71667
3	40,71	40,71	40,73	40,71	40,71	40,72	244,29	40,715
4	40,72	40,71	40,71	40,71	40,72	40,70	244,27	40,71167
5	40,70	40,70	40,71	40,65	40,71	40,68	244,15	40,69167

Tabel 4.6 Pengukuran untuk waktu *holding* 4 jam

Nomor spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah dikeringkan (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata Die
	Dx		Dy		Dy			
	1	2	3	1	2	3		
1	42,75	42,73	42,74	42,74	42,73	42,75	256,44	42,74
2	42,73	42,73	42,73	42,73	42,73	42,73	256,38	42,73
3	42,74	42,73	42,73	42,74	42,74	42,73	256,41	42,735
4	42,74	42,75	42,74	42,76	42,74	42,74	256,47	42,745
5	42,75	42,75	42,74	42,75	42,75	42,75	256,49	42,74833
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	43,72	43,73	43,72	43,71	43,74	43,72	262,34	43,72333
2	43,71	43,73	43,72	43,72	43,74	43,71	262,33	43,72167
3	43,73	43,73	43,73	43,74	43,73	43,74	262,4	43,73333
4	43,73	43,74	43,74	43,74	43,73	43,73	262,41	43,735
5	43,73	43,73	43,73	43,73	43,72	43,72	262,36	43,72667
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	40,68	40,67	40,71	40,70	40,70	40,70	244,16	40,69333
2	40,68	40,65	40,70	40,68	40,69	40,67	244,07	40,67833
3	40,66	40,67	40,67	40,67	40,68	40,69	244,04	40,67333
4	40,69	40,70	40,68	40,67	40,69	40,70	244,13	40,68833
5	40,70	40,70	40,68	40,70	40,68	40,71	244,17	40,695

Tabel 4.7 Pengukuran untuk waktu *holding* 5 jam

Nomor spesimen pengukuran geometri	Diameter setelah dikeringkan (mm)						Jumlah	Diameter rata-rata Die
	Dx	Dx	Dx	Dy	Dy	Dy		
	1	2	3	1	2	3		
1	42,73	42,74	42,75	42,73	42,74	42,74	256,43	42,73833
2	42,75	42,74	42,74	42,75	42,74	42,74	256,46	42,74333
3	42,74	42,73	42,73	42,74	42,74	42,73	256,41	42,735
4	42,74	42,75	42,74	42,76	42,74	42,74	256,47	42,745
5	42,75	42,73	42,74	42,74	42,73	42,75	256,44	42,74
	Diameter setelah diglasir (mm)							
1	43,73	43,74	43,74	43,74	43,75	43,75	262,45	43,74167
2	43,74	43,74	43,74	43,75	43,74	43,75	262,46	43,74333
3	43,71	43,72	43,72	43,71	43,72	43,72	262,3	43,71667
4	43,72	43,73	43,71	43,75	43,74	43,75	262,4	43,73333
5	43,72	43,73	43,73	43,74	43,72	43,72	262,36	43,72667
	Diameter setelah dibakar (mm)							
1	40,55	40,60	39,60	40,85	40,74	39,50	241,84	40,30667
2	40,55	40,61	40,64	40,57	40,62	40,63	243,62	40,60333
3	40,61	40,63	40,54	40,60	40,63	40,61	243,62	40,60333
4	40,60	40,59	40,56	40,58	40,60	40,55	243,48	40,58
5	40,57	40,58	40,55	40,56	40,59	40,56	243,41	40,56833

4.4 Perhitungan geometri diameter dalam die.

Berdasarkan tabel pengukuran geometri diatas dapat diketahui perhitungan besarnya penyusutan dari masse dan penyusutan saat masse telah dibakar dengan variasi waktu *holding* 1, 2,3, 4 sampai 5 jam. Adapun perhitungan tiap-tiap variasi sebagai berikut:

Keterangan: JDRK = Jumlah diameter rata-rata susut kering.

JDRG = Jumlah diameter rata-rata glasir.

JDRB = Jumlah diameter rata-rata susut bakar.

Js = Jumlah spesimen

a). Variasi waktu *holding* 1 jam.

- Besarnya penyusutan saat dikeringkan(Sk)

$$\begin{aligned} \text{Sk} &= \text{Diameter dalam cetakan} - \left[\frac{\text{JDRK}}{\text{Js}} \right] \\ &= 43 \text{ mm} - \left[\frac{42,74 + 42,73333 + 42,72833 + 42,74667 + 42,745}{5} \right] \\ &= 0,26167 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tebal glasir (Tg)

$$\begin{aligned} \text{Tg} &= \left[\frac{\text{JDRG}}{\text{Js}} \right] - \left[\frac{\text{JDRK}}{\text{Js}} \right] \\ &= 43,72767 - 42,73833 \\ &= 0,9393 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Basarnya penyusutan geometri diameter dalam die

$$\begin{aligned} \text{Rumus:} &= \left[\frac{\text{JDRG}}{\text{Js}} \right] - \left[\frac{\text{JDRB}}{\text{Js}} \right] \\ &= 43,72767 - 40,75833 \\ &= 2,969 \text{ mm atau } \frac{2,969}{43,72767} 100\% = 6,78\% \end{aligned}$$

b). Variasi waktu *holding* 2 jam.

- Besarnya penyusutan saat dikeringkan(Sk)

$$\begin{aligned} \text{Sk} &= \text{Diameter dalam cetakan} - \left[\frac{\text{JDRK}}{\text{Js}} \right] \\ &= 43 \text{ mm} - 42,73867 \end{aligned}$$

$$= 0,26133 \text{ mm}$$

- Tebal glasir (Tg)

$$\begin{aligned} T_g &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43,73133 - 42,73867 \\ &= 0,9926 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Basarnya penyusutan geometri diameter dalam *die*
Rumus:

$$\begin{aligned} &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRB}{J_s} \right] \\ &= 43,73133 - 40,54333 \\ &= 3,188 \text{ mm atau } \frac{3,188}{43,73133} 100\% = 7,28\% \end{aligned}$$

c). Variasi waktu *holding* 3 jam.

- Besarnya penyusutan saat dikeringkan (Sk)

$$\begin{aligned} S_k &= \text{Diameter dalam cetakan} - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43 \text{ mm} - 42,77286 \\ &= 0,22714 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tebal glasir (Tg)

$$\begin{aligned} T_g &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43,74033 - 42,77286 \\ &= 0,96747 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Basarnya penyusutan geometri diameter dalam *die*
Rumus:

$$\begin{aligned} &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRB}{J_s} \right] \\ &= 43,74033 - 40,51033 \\ &= 3,23 \text{ mm atau } \frac{3,23}{43,74033} 100\% = 7,38\% \end{aligned}$$

d). Variasi waktu *holding* 4 jam.

- Besarnya penyusutan saat dikeringkan (Sk)

$$\begin{aligned} S_k &= \text{Diameter dalam cetakan} - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43 \text{ mm} - 42,73967 \end{aligned}$$

$$= 0,27033 \text{ mm}$$

- Tebal glasir (Tg)

$$\begin{aligned} T_g &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43,728 - 42,73967 \\ &= 0,988 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Basarnya penyusutan geometri diameter dalam *die*
Rumus:

$$= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRB}{J_s} \right]$$

$$= 43,728 - 40,48612$$

$$= 3,242 \text{ mm atau } \frac{3,242}{43,728} 100\% = 7,41\%$$

e). Variasi waktu *holding* 5 jam.

- Besarnya penyusutan saat dikeringkan (Sk)

$$Sk = \text{Diameter dalam cetakan} - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right]$$

$$\begin{aligned} &= 43 \text{ mm} - 42,74033 \\ &= 0,2596 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tebal gelasir (Tg)

$$\begin{aligned} T_g &= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRK}{J_s} \right] \\ &= 43,73233 - 42,74033 \\ &= 0,992 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Basarnya penyusutan geometri diameter dalam *die*
Rumus:

$$= \left[\frac{JDRG}{J_s} \right] - \left[\frac{JDRB}{J_s} \right]$$

$$= 43,73233 - 40,1823$$

$$= 3,55 \text{ mm atau } \frac{3,55}{43,7323} 100\% = 8,11\%$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui besarnya penyusutan yang terjadi tiap spesimen bila diberi variasi waktu holding 1 sampai 5 jam dan dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.8 Hasil pengukuran geometri

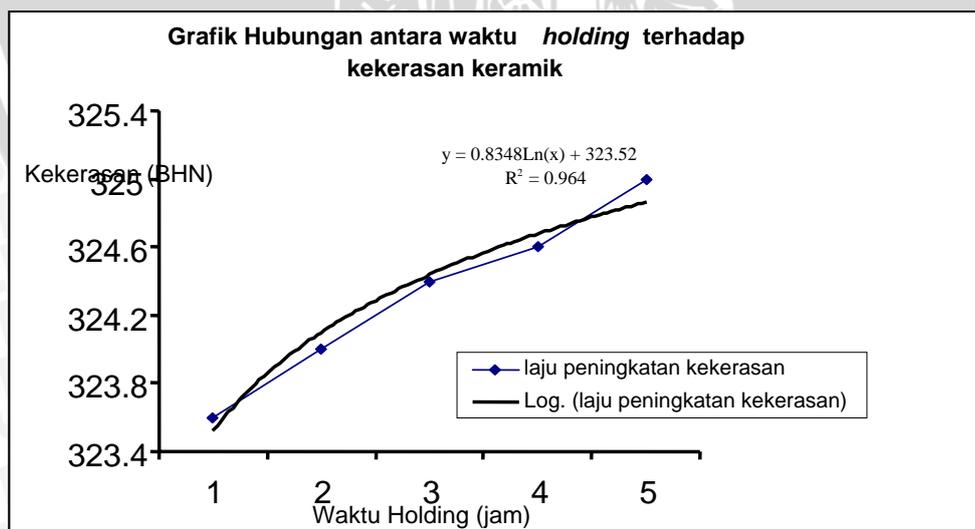
Cara pengukuran	Variasi waktu holding (jam)				
	1	2	3	4	5
Susut kering (mm)	0,26167	0,26133	0,22714	0,27033	0,2596
Tebal gelasir (mm)	0,9393	0,9926	0,96747	0,988	0,992
Susut bakar (mm)	2,969	3,188	3,23	3,242	3,55
Prosentase susut bakar (%)	6,78	7.28	7,38	7.41	8,11

4.5 Pembahasan

Keramik yang dibuat menggunakan masse tinggi dengan proses cetak tekan mempunyai penyusutan yang kecil dan kekerasannya juga bertambah seiring penambahan waktu *holding*, dari data diatas dapat di analisa dengan beberapa pembahasan sebagai berikut

4.5.1 Hubungan antara waktu *holding* dengan kekerasan

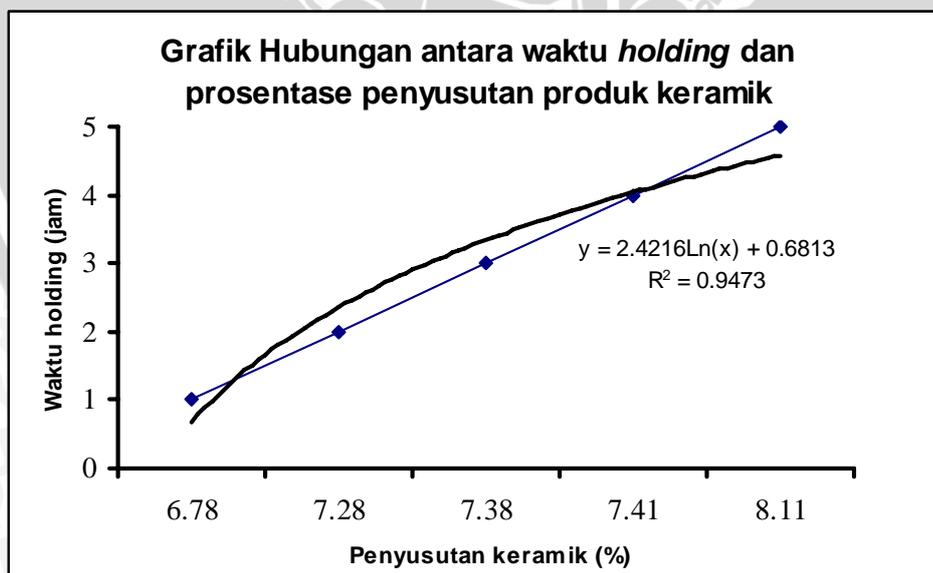
Dari perhitungan data hasil pengamatan variasi waktu *holding* terhadap kekerasan pada tabel 4.1 didapatkan grafik hubungan antara waktu holding dengan nilai kekerasan yang dimiliki keramik dengan tabel sebagai berikut:

Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu *holding* dan kekerasan

Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa variasi waktu *holding* berpengaruh terhadap kekerasan keramik karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($3.0416 > 2.866$) dan kekerasannya juga meningkat yang berarti bahwa waktu *holding* saat pembakaran keramik memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekerasan keramik. Berdasarkan grafik 4.1 menggambarkan bahwa hubungan antara waktu *holding* dan kekerasan mengalami peningkatan karena proses pemadatan pada keramik yang sempurna sehingga udara yang terjebak dalam rongga (ruang-ruang yang kosong) keluar dan mengakibatkan struktur material semakin padat dan mineral-mineral tertentu pada kandungan keramik mencair sehingga terjadi pengelasan yang menyebabkan kekerasan keramik meningkat karena *masse* tinggi isolator ini banyak mengandung *fieldspar* yang menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lain sehingga saat bahan meleleh atau melebur membentuk leburan gelas yang memberi kekuatan pada bodi keramik.

4.5.2 Hubungan waktu *holding* dengan perubahan geometri *die*.

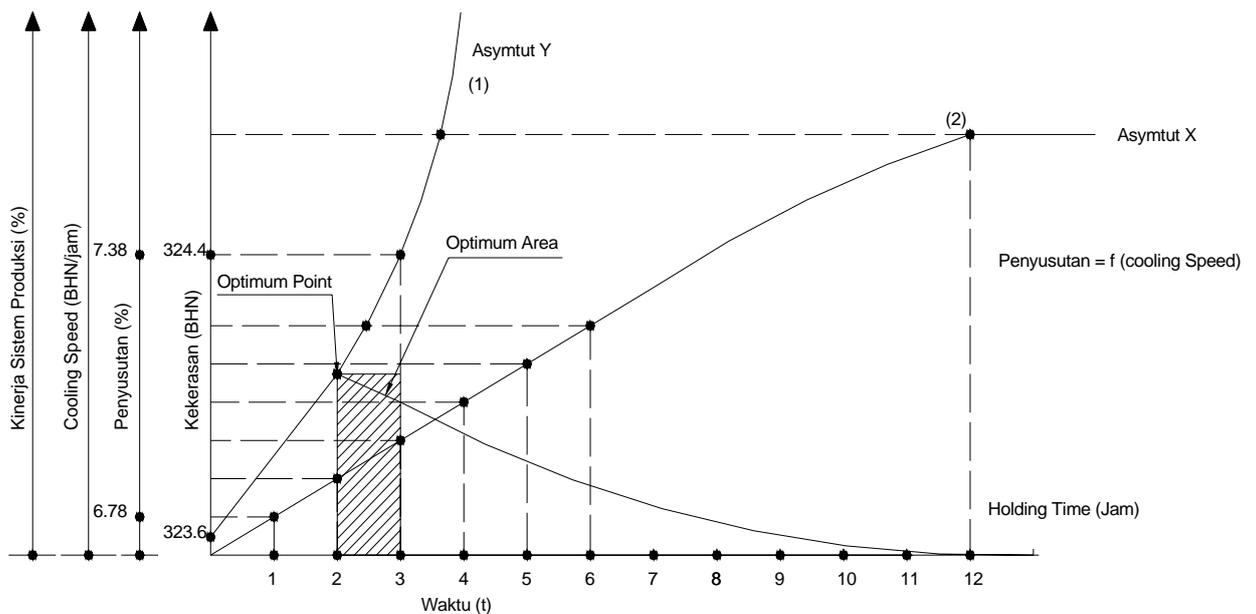
Dari perhitungan data hasil pengamatan dengan waktu *holding* yang bervariasi didapatkan besarnya prosentase penyusutan yang terjadi pada produk keramik sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.8 dan grafik 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu *holding* dan perubahan geometri diameter dalam *die* keramik.

Berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan bahwa penyusutan diameter die mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu holding dimana nilai penyusutan terendah 6,78% dan meningkat secara bertahap sampai 8,11%. Peningkatan penyusutan ini karena saat keramik diholding 1 jam penyeragaman suhu bakar keramik belum sempurna yang menyebabkan masih terdapat air dan udara yang terjebak pada bodi keramik dan saat waktu holding ditingkatkan sampai 5 jam nilai penyusutan semakin tinggi disebabkan proses penyeragaman suhu bakar yang merata yang mengakibatkan porositas keramik menjadi lebih baik akibatnya rongga udara dan air yang terjebak menjadi sempit sehingga struktur keramik menjadi padat.

4.3 Hubungan Antara Kekerasan, Penyusutan, *Cooling Speed* dan Kinerja Sistem Produksi.



Gambar 4.3: Grafik Kekerasan, Penyusutan, *Cooling Speed* dan Kinerja Sistem Produksi sebagai fungsi waktu *Holding time*.

Didapatkan Hasil Penelitian:

$$\text{BHN} = (323,6 - 324,4) [1 - e^{-c.t}]$$

Dimana: c adalah cooling speed (BHN/jam) dan harga c dicari dengan metode numerik dengan data dasar dari t = 1 sampai dengan t = 5

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa variasi waktu *holding* terhadap kekerasan keramik berpengaruh nyata dimana nilai F_{Hitung} lebih besar dari nilai F_{Tabel} sedangkan nilai kekerasan keramik dan perubahan geometri pada diameter dalam *die* yang berupa penyusutan mengalami peningkatan secara bertahap seiring dengan peningkatan waktu *holding* dimana, saat waktu *holding* 1 jam nilai kekerasan keramik sebesar 323,6 BHN dengan nilai penyusutan 6,78% dan saat waktu *holding* 5 jam nilai kekerasan tertinggi 325 BHN dengan penyusutan diameter dalam *die* sebesar 8,11%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian yang berhubungan dengan proses pembuatan keramik dengan cetak tekan dengan variasi gaya penekanan yang berbeda karena akan mempengaruhi densifikasi atau pemadatan masse keramik sebelum dibakar.

