

LAPORAN PENELITIAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
ALAT UJI MODULUS PATAH
UNTUK PENGUJIAN PRODUK KERAMIK**



Oleh

**BAJU BAWONO, ST., MT
A TONNY YUNIARTO, ST. M.ENG
P. WISNU ANGGORO, ST., MT**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2011**

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Perancangan Dan Pembuatan Alat Uji Modulus Patah Untuk Pengujian Produk Keramik
2. Ketua Peneliti
 - a. Nama : Baju Bawono, M.T.
 - b. Jenis kelamin : Laki-laki
 - c. NPP : 97.06.622
 - d. Disiplin ilmu : Teknik Industri
 - e. Pangkat/ Golongan : Pembina / 4 a
 - f. Jabatan akademik : Lektor Kepala
 - g. Fakultas, Program Studi : Teknologi Industri, Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
 - h. Alamat kantor : Jalan Babarsari 43 Yogyakarta 55281
 - i. Telpon kantor : 0274-487711
 - j. Alamat Rumah : Jalan Pringgodani 5 Demangan Baru Yogyakarta
 - k. Telpon rumah : 0274-561894
4. Lokasi penelitian : Daerah Istimewa Yogyakarta
6. Biaya yang digunakan : Rp 3.965.000

Yogyakarta, 11 Januari 2011

Dekan
Fakultas Teknologi Industri UAJY,

Ketua Peneliti

Ir. B. Kristyanto, M. Eng., Ph.D.

Baju Bawono, M.T.

Ketua LPPM UAJY,

Dr. MF. Shellyana Junaedi, M.Si

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam dunia yang modern ini penggunaan material komposit mulai banyak dikembangkan dalam dunia industri manufaktur. Penggunaan material komposit yang ramah lingkungan dan bisa didaur ulang kembali, merupakan tuntutan teknologi saat ini. Salah satu material komposit yang diharapkan di dunia industri yaitu material komposit dengan material pengisi (*filler*) baik yang berupa serat alami maupun serat buatan. Pada dasarnya material komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi suatu bentuk unit mikroskopik, yang terbuat dari bermacam-macam kombinasi sifat atau gabungan antara serat dan matrik. Saat ini bahan komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh di atas bahan teknik pada umumnya, sehingga sifatnya dapat didesain mendekati kebutuhan (Van Vlack, L. H., 1992)

Komposit banyak dikembangkan karena memiliki sifat yang diinginkan karena tidak didapat dari material lain apabila berdiri sendiri. Komposit pada umumnya tersusun dari material pengikat (*matrik*) dan material penguat yang disebut juga material pengisi (*filler*). Bahan komposit terkenal ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi, dan mampu bersaing dengan logam, dengan tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya. Para industriawan mulai mengembangkan komposit sebagai produk unggulan sesuai dengan keistimewaannya.

Komposit adalah salah satu cara pengolahan bahan utamanya plastik, salah satu faktor yang cukup aplikatif dalam dunia *engineering* adalah dimungkinkannya peningkatan sifat dengan penguat serat disamping itu plastik juga memiliki sifat ketahanan kimia (*chemical resistant*) yang baik. Perkembangan plastik meningkat sejak ditemukannya material komposit yang cepat diserap dan dipakai oleh industri pesawat terbang, otomotif, militer, alat-alat olahraga, kedokteran, bahkan sampai alat-alat rumah tangga. Selain material pengikat (*matrik*) komposit juga menggunakan material penguat atau pengisi (*filler*), material pengikat ini menggunakan serat, serat biasanya terdiri dari bahan yang kuat, kaku dan getas. Hal ini ditujukan agar serat dapat menahan gaya dari luar. Serat pada dasarnya dibagi menjadi dua yaitu serat alami (*natural fiber*) dan serat buatan (*synthetic fiber*). Serat banyak dimanfaatkan di dunia perindustrian, seperti pabrik pembuat tali, industri tekstil, industri kertas, karena mempunyai kekuatan yang tinggi, serat sangat baik untuk material komposit. Serat alami sekarang banyak digunakan karena jumlahnya banyak dan sangat murah jadi sering dimanfaatkan sebagai material penguat seperti serat jute, kenaf, abaca, rosella, jerami dan masih banyak serat alami yang lain yang biasa dimanfaatkan, akan tetapi serat alami mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan serat buatan. Sedangkan serat buatan jarang digunakan karena selain jarang ditemukan dan nilai belinya sangat mahal jadi sangat jarang digunakan, seperti E glass, nilon, serat protein, fenol dan masih banyak lainnya.

Dalam penelitian ini bahan utama yang akan digunakan yaitu bahan pengikat (*matrik*) menggunakan *Thermosetting* yang jenisnya *resin epoksi* karena bahan tersebut mempunyai ketahanan bahan kimia yang sangat baik dan mempunyai kekuatan yang sangat tinggi, sedangkan bahan pengisinya (*filler*) menggunakan serat nilon dikarenakan bahan tersebut mempunyai kekuatan yang tinggi dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia dan panas.

BAB 2

PERUMUSAN MASALAH

Bagaimana *menentukan* parameter yang tepat (optimal) untuk mendapatkan kualitas keramik dan resin yang terbaik serta Melakukan Perancangan dan Pembuatan alat uji modulus patah yang dapat digunakan sekaligus untuk Penelitian di Laboratorium Pengetahuan Bahan, Fakultas Teknologi Industri?



BAB 3 TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Bahan Komposit

Di dalam dunia industri kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur menjadi satu. Menurut Surdia, T, dan Saito S. (1985) komposit adalah struktur material yang terdiri dari 2 kombinasi bahan atau lebih, yang dibentuk pada skala makroskopik dan menyatu secara fisika. Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis.

Sedangkan menurut Gibson, F.R., (1994) mengemukakan bahwa kata komposit (*composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. *Composite* berasal dari kata kerja "to compose" yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan.

Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Di dalam komposit unsur utamanya adalah serat, sedangkan bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi. Penggunaan serat sendiri yang diutamakan untuk menentukan karakteristik bahan komposit, seperti : kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lainnya.

Sebagai bahan pengisi serat digunakan untuk menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada bahan komposit, matrik sendiri mempunyai fungsi melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik terhadap gaya-gaya yang terjadi. Oleh karena itu, untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat, kaku dan getas, sedangkan bahan matrik dipilih bahan-bahan yang liat, lunak dan tahan terhadap perlakuan kimia.

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan "*tailoring properties*" dan ini adalah salah sifat istimewa yang komposit yaitu ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi, dan mampu bersaing dengan logam, dengan tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya.

B. Klasifikasi Bahan Komposit

Klasifikasi komposit dapat dibentuk dari sifat dan strukturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti;

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti *metal-organic* atau *metalanorganic*.
2. Klasifikasi menurut karakteristik *bulk-form*, seperti sistem matrik atau *laminat*.
3. Klasifikasi menurut distribusi unsur pokok, seperti *continuous* dan *discontinuous*.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti elektrik atau struktural (Gibson, F.R., 1994).

Sedangkan klasifikasi untuk komposit serat (*fiber-matrik composites*) dibedakan menjadi beberapa macam antara lain;

1. *Fiber composites* (komposit serat) adalah gabungan serat dengan matrik.
2. *Flake composites* adalah gabungan serpih rata dengan matrik.
3. *Particulate composites* adalah gabungan partikel dengan matrik.
4. *Filled composites* adalah gabungan *matrik continuous skeletal* dengan matrik yang kedua.
5. *Laminar composites* adalah gabungan lapisan atau unsur pokok lamina (Schwartz, 1984 : 16).

Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel-partikel yang diikat oleh matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam-macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak. Sedangkan bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada 2 macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

1. Bahan Komposit Partikel

Dalam struktur komposit, bahan komposit partikel tersusun dari partikel-partikel disebut bahan komposit partikel (*particulate composite*). Menurut definisinya partikelnya berbentuk-beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi secara rata-rata berdimensi sama. Bahan komposit partikel umumnya digunakan sebagai pengisi dan penguat bahan komposit keramik (*ceramic matrix composites*) (Gibson, F.R., 1994). Bahan komposit partikel pada umumnya lebih lemah dibanding bahan komposit serat. Bahan komposit partikel mempunyai keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik.

2. Bahan Komposit Serat

Unsur utama komposit adalah serat yang mempunyai banyak keunggulan, oleh karena itu bahan komposit serat yang paling banyak dipakai. Bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik yang saling berhubungan. Bahan komposit serat ini terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* atau *whisker*). Dalam penelitian ini diambil bahan komposit serat (*fiber composite*). Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Karena itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku bila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat (Berthelot J.M.,1999).



Gambar 3.1. Klasifikasi bahan komposit yang umum dikenal (Hadi, 2000)

Komposit serat dalam dunia industri mulai dikembangkan dari pada menggunakan bahan partikel. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat didalam matrik (Schwartz, 1984). Dalam perkembangan teknologi pengolahan serat, membuat serat sekarang makin diunggulkan dibandingkan material matrik yang digunakan. Cara yang digunakan untuk mengkombinasi serat berkekuatan tarik tinggi dan bermodulus elastisitas tinggi dengan matrik yang bermassa ringan, berkekuatan tarik rendah, serta bermodulus elastisitas rendah makin

banyak dikembangkan guna untuk memperoleh hasil yang maksimal. Komposit pada umumnya menggunakan bahan plastik yang merupakan material yang paling sering digunakan sebagai bahan pengikat seratnya selain itu plastik mudah didapat dan mudah perlakuannya, dari pada bahan dari logam yang membutuhkan cara tersendiri.

C. Faktor Yang Mempengaruhi Performa Composit

Penelitian yang mengabungkan antara matrik dan serat harus memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi performa *Fiber-Matrik Composites* antara lain:

1. Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

2. Letak Serat

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut.

Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu:

1. *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat.
2. *Two dimensional reinforcement* (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
3. *Three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat *isotropic* kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

Pada pencampuran dan arah serat mempunyai beberapa keunggulan, jika orientasi serat semakin acak (random) maka sifat mekanik pada 1 arahnya akan melemah, bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat.

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat pada matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada 2 penggunaan serat dalam campuran komposit yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Serat alami jika dibandingkan dengan serat sintesis mempunyai panjang dan diameter yang tidak seragam pada setiap jenisnya. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Panjang serat berbanding diameter serat sering disebut dengan istilah *aspect ratio*.

D. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan (*stress strain test*). Dari pengujian ini dapat kita ketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa. Hasil dari pengujian ini adalah grafik beban versus perpanjangan (*elongasi*). Beban dan *elongasi* dapat dirumuskan:

Engineering Stress (σ)

$$\sigma = F/A_0 \quad \dots(3.1)$$

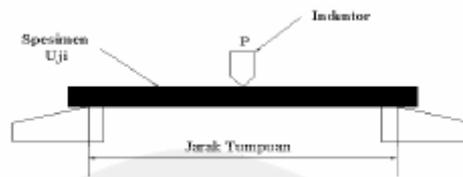
Dimana:

F = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A₀ = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m²)

$\sigma = \text{Engineering Stress (MPa)}$

E. Pengujian Bending



Gambar 3.2. Pemasangan benda uji

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material komposit tersebut. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan.

Akibat Pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan *three point bending*.

Sehingga kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad \dots (3.2)$$

dimana :

S = Tegangan bending (MPa)

P = Beban / Load (N)

L = Panjang Span / Support span (mm)

b = Lebar / Width (mm)

d = Tebal / Depth (mm)

$$Eb = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad \dots (3.3)$$

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending menggunakan rumus

dimana :

E_b = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Panjang Span / Support span (mm)

b = Lebar / Width (mm)

d = Tebal / Depth (mm)

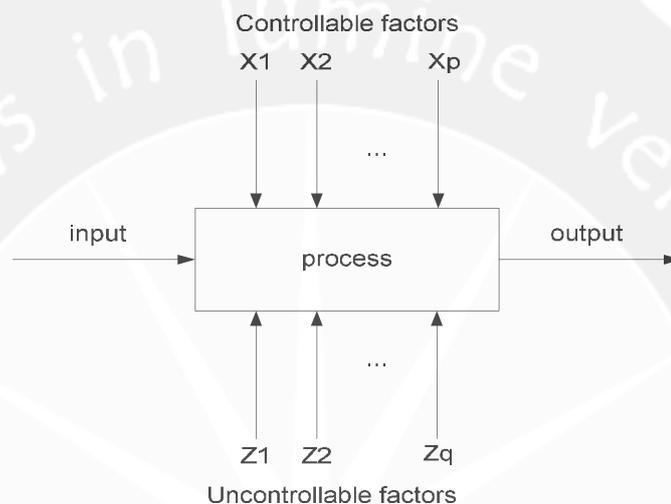
m = Slope Tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

F. Perancangan Eksperimen

Untuk mempertahankan atau meningkatkan kualitas produk diperlukan pengukuran/penentuan parameter-parameter terbaik/optimal dengan melakukan perancangan eksperimen. Definisi perancangan eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan

(Sudjana, 1991). Perancangan eksperimen juga dapat diartikan suatu percobaan atau serangkaian percobaan dimana penyesuaian-penyesuaian tertentu dilakukan terhadap variabel *input* proses atau sistem sehingga dapat diteliti dan diidentifikasi sebab-sebab perubahan dari variabel *output* (Montgomery, D. C., 1997).

Eksperimen merupakan tes atau sekumpulan tes yang membuat perubahan-perubahan yang berguna terhadap variabel input dari suatu proses atau sehingga kita dapat mengamati dan mengidentifikasi alasan-alasan perubahan tersebut yang dapat diamati pada respon *output*. Eksperimen memiliki peranan penting dalam perancangan produk baru, pengembangan proses manufaktur, dan peningkatan proses. Secara umum, eksperimen digunakan untuk untuk mempelajari performansi proses dan sistem.



Gambar 3.3. Model Umum dari Suatu Proses atau Sistem

Sumber : Montgomery, D. C., 1997

F.1. Dasar Perancangan Eksperimen

Perancangan statistik eksperimen menunjuk pada proses perencanaan eksperimen sehingga data yang tepat yang dapat dianalisa dengan metode statistik akan dikumpulkan, menghasilkan kesimpulan yang valid dan objektif. Tiga prinsip dasar perancangan eksperimen adalah :

1. *Replication* (Pengulangan)

Replication atau biasa disebut pengulangan eksperimen dasar, perlu dilakukan karena :

- a. Dapat memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfident (selang kepercayaan).
- b. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
- c. Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari suatu faktor.

Replication menunjuk pada pengulangan aspek-aspek utama dari eksperimen. Dengan meningkatkan jumlah perulangan dapat mengurangi variansi dari estimasi efek *treatment* dan lebih mampu mendeteksi perbedaan-perbedaan dari *treatment*. Perulangan memiliki dua karakteristik penting, yakni :

- a . Perulangan memungkinkan peneliti (*experimenter*) mendapatkan suatu perkiraan *error* eksperimental. Perkiraan *error* ini menjadi unit dasar pengukuran untuk menentukan perbedaan-perbedaan yang diamati pada data benar-benar berbeda secara statistik.
- b . Apabila rata-rata sampel digunakan untuk mengestimasi efek dari suatu faktor dalam eksperimen, dengan adanya perulangan, *experimenter* dapat memperoleh perkiraan yang lebih tepat mengenai efek ini.

Penentuan jumlah replikasi adalah suatu siklus yang terus menerus pada proses model simulasi. Tujuannya adalah untuk menjamin bahwa hasil simulasi yang diperoleh dapat merepresentasikan keadaan yang sebenarnya. Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi adalah sebagai berikut :

$$n_r * (\gamma) = \min i \geq n : \left[\frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma \right] \dots(3.5)$$

dimana :

- n_r : jumlah replikasi yang sebenarnya diperlukan
- \bar{X} : rata-rata/average
- γ : *relative error*
- S : standar deviasi
- n : jumlah data
- $t_{i-1, 1-\alpha/2}$: diperoleh dari tabel berdistribusi-t

2. *Randomization* (Pengacakan)

Perlu dilakukan karena dalam DoE tes signifikan (uji keberartian) akan banyak dilakukan sehingga tiap prosedur pengujian, asumsi-asumsi tertentu perlu diambil dan dipenuhi agar pengujian yang dilakukan dapat diterima. Dilakukan dengan cara sample acak pada populasi yang diamati.

Randomization atau randomisasi adalah bagian penting yang menjadi dasar penggunaan metode statistik dalam perancangan eksperimen. Dengan randomisasi, pengalokasian material eksperimental dan dilakukannya *individual run* atau *trial* (percobaan) ditentukan secara random. Metode statistik memerlukan observasi (atau *error*) terdistribusi secara independen sebagai variabel random. Randomisasi biasanya menyebabkan asumsi ini valid. Dengan merandom eksperimen secara tepat, dapat membantu merata-ratakan efek dari faktor-faktor luar yang muncul. Randomisasi memastikan validitas dari perkiraan *error* eksperimen dan menjadi dasar pengambilan kesimpulan dalam menganalisis eksperimen.

3. *Error Control* (Kontrol Lokal)

Error control (kontrol lokal) merupakan sebagian daripada keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Biasanya merupakan langkah-langkah atau usaha-usaha yang berbentuk penyeimbangan, pemblokkan, dan pengelompokan unit-unit eksperimen yang digunakan dalam desain (Sudjana, 1991). *Error control* membuat desain lebih efisien, yaitu menghasilkan prosedur pengujian dengan kuasa yang lebih tinggi.

F.2. Metodologi Penelitian dalam Perancangan Eksperimen

Metodologi penelitian dalam perancangan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Tahap ini dilatarbelakangi oleh kendala yang dihadapi oleh UD. Genteng Super DD Karya Manunggal dalam menentukan parameter yang terbaik pada proses produksi genteng jenis Super DD Hidrolik.

2. Tahap Perumusan Masalah dan Tujuan

Merumuskan masalah yang ada di lapangan dan diselesaikan dengan menggunakan metode yang sesuai. Permasalahan yang akan diselesaikan berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan.

3. Tahap Perumusan Metode Penelitian

Analisis metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan desain eksperimen metode Taguchi. Metode ini dipakai untuk melihat dan menentukan faktor-faktor apa saja yang signifikan terhadap kualitas dari genteng jenis Super DD Hidrolik.

4. Tahap desain eksperimen ini meliputi :

- a. Mengidentifikasi variabel penelitian
- b. Menetapkan variabel penelitian
- c. Pembentukan daftar kuesioner dalam penelitian yang diberikan kepada pihak-pihak yang dianggap mengetahui proses penelitian. Berdasarkan hasil kuesioner, selanjutnya diperoleh faktor-faktor yang akan diteliti dalam eksperimen nantinya.
- d. Menetapkan *lay out* desain eksperimen yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti.
- e. Melakukan analisis varians terhadap data yang diperoleh dari hasil eksperimen.

5. Tahap Eksperimen (Pengambilan Data)

Pada tahap ini dilakukan proses eksperimen untuk mengumpulkan data jumlah cacat yang dihasilkan dari setiap kombinasi parameter yang dilakukan.

6. Tahap Pengolahan Data

Setelah mengambil data penelitian, langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut menjadi bentuk analisis data. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software statistic* yaitu Minitab versi 15 dan SPSS versi 16, serta dengan microsoft excel.

7. Tahap Pengambilan Kesimpulan

Dalam kesimpulan dibahas mengenai inti dan hasil apa yang diperoleh dari penelitian yang dapat menjawab tujuan dari penelitian ini.

F.3. Langkah-Langkah Dalam Perancangan Eksperimen

Tujuh langkah dalam perencanaan dan implementasi eksperimen :

1. Pengenalan dan pernyataan masalah

Mempersiapkan suatu daftar tentang masalah-masalah spesifik atau pertanyaan-pertanyaan yang ditujukan pada eksperimen, biasanya sangat membantu pada tahap ini. Pernyataan masalah yang jelas seringkali memberi kontribusi yang penting untuk pemahaman yang lebih baik mengenai masalah yang dipelajari dan solusi akhir dari masalah.

2. Pemilihan faktor-faktor, level-level dari faktor, dan *range*.

Saat mempertimbangkan faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi performansi suatu proses atau sistem, peneliti biasanya menemukan bahwa faktor-faktor ini dapat diklasifikasikan sebagai *controllable factors* atau *uncontrollable factors*. Setelah peneliti memilih faktor desain kemudian memilih *range* variasi dari faktor-faktor tersebut, dan level-level tertentu untuk dapat menjalankan percobaan.

3. Pemilihan variabel respon

Dalam memilih variabel respon, peneliti sebaiknya memastikan bahwa variabel ini benar-benar menyediakan informasi yang berguna mengenai proses yang dipelajari.

4. Pemilihan perancangan eksperimen

Pemilihan perancangan meliputi pertimbangan ukuran sampel (jumlah replikasi), pemilihan *layout* yang cocok untuk percobaan eksperimen, dan penentuan penggunaan

blocking (pengelompokan unit eksperimen yang homogen) atau batasan randomisasi yang lain.

5. Melakukan eksperimen

Ketika menjalankan eksperimen, sangat penting untuk mengawasi proses untuk memastikan bahwa segala sesuatu dilaksanakan sesuai rencana. Kesalahan dalam prosedur eksperimental pada tahap ini biasanya akan menghilangkan validitas eksperimental.

6. Analisis statistik pada data

Tahap ini meliputi prosedur pengumpulan data, pengolahan data, dan perhitungan uji statistik yang digunakan untuk membuat keputusan mengenai beberapa aspek dari suatu eksperimen. Metode statistik sebaiknya digunakan untuk menganalisis data sehingga hasil dan konklusinya objektif. Namun perlu diingat bahwa metode statistik tidak dapat membuktikan bahwa suatu faktor (atau faktor-faktor) memiliki efek yang terutama, namun hanya menyediakan petunjuk mengenai reliabilitas dan validitas dari hasil. Keuntungan utama metode statistik adalah bahwa metode ini menambahkan objektivitas pada proses pembuatan keputusan.

7. Mengambil kesimpulan dan membuat rekomendasi

Setelah data dianalisis, peneliti harus mengambil kesimpulan praktis mengenai hasilnya dan mengusulkan suatu tindakan. Metode grafik seringkali berguna pada langkah ini, terutama untuk menunjukkan hasil kepada yang lain.

F.4. Tujuan Perancangan Eksperimen

Desain eksperimen digunakan untuk mengetahui dan atau mengembangkan sebuah sistem. Sistem di sini dapat berupa produk atau proses, yaitu dengan menemukan apa yang terjadi dengan *output* atau respon ketika *setting* dari variabel *input* yang berpengaruh dari sebuah sistem dengan sengaja diubah. Dari hasil eksperimen yang dilakukan dapat diketahui hubungan antar faktor dan *output*.

Tujuan dari desain eksperimen adalah untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak mungkin sesuai keperluan serta berguna dalam penelitian terhadap persoalan yang akan dibahas. Untuk mendapatkan semua informasi yang berguna tersebut, hendaknya desain dibuat sesederhana mungkin. Penelitian diusahakan seefisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga, dan bahan yang harus digunakan. Hal ini juga penting mengingat pada kenyataan bahwa desain yang sederhana akan mudah dilaksanakan, dan data yang diperoleh berdasarkan desain demikian akan dapat dianalisis disamping juga akan bersifat ekonomis. Jadi jelas bahwa desain eksperimen berusaha untuk memperoleh informasi yang maksimum dengan menggunakan biaya yang minimum.

F.5. Keuntungan Perancangan Eksperimen

Beberapa keuntungan perancangan eksperimen :

- 1 . Berguna untuk mengidentifikasi variabel keputusan yang tidak hanya menjaga agar proses tetap terkontrol namun juga meningkatkan proses tersebut.
- 2 . Dalam mengembangkan proses-proses baru dimana data historis tidak tersedia, desain eksperimental yang digunakan pada fase pengembangan dapat mengidentifikasi faktor-faktor penting dan level-levelnya yang akan memaksimalkan hasil dan mengurangi biaya.

F.5. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menentukan kombinasi terbaik dalam menghasilkan produk berupa barang atau jasa. Melalui Metode Taguchi, ilmuwan Jepang yang tersohor ke seluruh penjuru bumi ini mengembangkan suatu metodologi dengan pendekatan yang berdasarkan pada DoE (*Design Of Experiments*). Suatu

metode untuk mengidentifikasi menurut banyaknya masukan (*input*) yang benar dan parameter untuk membuat suatu produk atau layanan berkualitas tinggi yang didambakan oleh pelanggan atau konsumen. Genichi Taguchi mengembangkan suatu pendekatan desain dari perspektif desain yang sempurna (*robust*), dimana produk (barang atau jasa) harus dirancang bebas dari cacat (*defect*) dan berkualitas tinggi.

Metode Taguchi merupakan salah satu filosofi dan prinsip desain eksperimen yang ditemukan oleh seorang *engineer* dari Jepang yang bernama Genichi Taguchi. Genichi Taguchi memiliki ide mengenai *quality engineering* dimana tujuan desain kualitas diterapkan ke dalam setiap produk dan proses yang berhubungan. Kualitas diukur berdasarkan deviasi dari karakteristik terhadap nilai targetnya (Belavendram, N., 1995).

Taguchi memiliki pandangan bahwa kualitas berhubungan dengan biaya dan kerugian dalam unit moneter. Kerugian yang diderita mencakup pada proses produksinya dan kerugian yang diderita konsumen. Definisi kualitas menurut Taguchi adalah "*The quality of product is the (minimum) loss imparted by the product to society from the time the product is shipped*", yang berarti bahwa kualitas suatu produk adalah kerugian minimum yang diberikan oleh suatu produk kepada masyarakat atau konsumen sejak mulai produk tersebut siap untuk dikirim kepada konsumen. Dari definisi tersebut maka terdapat sudut pandang yang baru dimana suatu kualitas tidak hanya pada proses produksi saja tetapi juga dikaitkan dengan biaya dan dikaitkan dengan kerugian kepada masyarakat (produsen dan konsumen). Tujuan dari fungsi kerugian Taguchi (*loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi (Belavendram, 1995).

Aktivitas *quality control* (QC) terbagi menjadi dua, yaitu (Belavendram, 1995):

1. *Off-line* QC

Off-line QC merupakan aktivitas pengendalian kualitas di dalam proses dan pembuatan desain produk sebelum diproses manufaktur. Pada dasarnya merupakan tindakan pencegahan supaya proses manufaktur yang akan berjalan menghasilkan produk cacat yang minimum. Pengendalian kualitasnya dilakukan sebelum proses produksi berlangsung. Aktivitas *off-line* QC sangat mendukung dalam aktivitas *on-line* QC karena dapat mengoptimalkan desain produk dan proses. Tiga tahap pada desain proses tersebut adalah:

a. *System design*

System design merupakan tahap awal berkaitan dengan pengembangan teknologi. Pada tahap ini dibutuhkan pengetahuan teknis yang luas untuk menilai dalam pengembangan produk atau proses.

b. *Parameter design*

Parameter design merupakan tahap kedua dimana berkaitan dengan penekanan biaya dan peningkatan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Pada tahap ini akan ditentukan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap *noise* lalu akan dicari kombinasi level parameter yang nantinya dapat menggunakan *noise*.

c. *Tolerance design*

Tolerance design adalah tahap dimana akan dilakukan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang bermutu tinggi dan biaya yang tinggi.

2. *On-line* QC

On-line QC adalah aktivitas pengendalian kualitas pada saat proses manufaktur. Pada aktivitas *on-line* QC biasanya digunakan *Statistical Process Control* (SPC) dimana tindakan perbaikan akan dilakukan apabila pada saat produksi dihasilkan produk cacat yang tidak

memenuhi spesifikasi. Pada dasarnya *on-line* QC merupakan tindakan pengendalian kualitas yang setelah proses produksi berlangsung.

F.7 Quality Loss Function (QLF)

Quality loss function atau fungsi kerugian menurut Taguchi bertujuan untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi yang ditanggung oleh produsen dan konsumen).

Produk yang diteliti adalah genteng dan karena respon yang diambil adalah jumlah cacat serta tujuan penelitian ini adalah mendapatkan settingan yang paling optimal agar jumlah cacat dapat diminimalkan maka rumus yang digunakan adalah *Quality Loss Function* Untuk *Smaller is the Best*.

1. *Smaller is the Best* untuk satu unit produk

$$L(y) = k [\sigma^2 + (y - m)^2] \quad \dots(3.6)$$

karena target m yang ingin diperoleh adalah nol maka:

$$L(y) = ky^2$$

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta^2} y^2 \quad \dots(3.7)$$

$$\text{dimana } k = \frac{A_0}{\Delta^2}$$

2. *Smaller is the Best* untuk banyak produk

$$L(y) = k \left[\sigma^2 + \bar{y}^2 \right] \quad \dots(3.8)$$

dimana:

y = nilai karakteristik kualitas

$L(y)$ = kerugian dalam satuan uang untuk setiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan y

m = nilai target dari y

k = koefisien biaya

A_0 = rerata biaya

Δ^2 = deviasi

dimana:

MSD = Mean Squared Deviation

$(\bar{y} - m)^2$ = population standard deviation

F.8. ANOVA

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan alat analisis yang efektif bagi perbandingan populasi yang simultan untuk menentukan apakah populasi-populasi tersebut identik atau berbeda secara signifikan. ANOVA juga merupakan sumber penting untuk mengevaluasi data yang ada dan sebagai alat yang digunakan bersama dengan suatu perancangan eksperimen. Untuk penelitian ini, perhitungan Anova dilakukan dengan menggunakan bantuan program software. ANOVA dapat dilakukan dalam beberapa langkah berikut :

1. Menghitung *sum of squares*

Perhitungan *sum of squares* dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

a . *Total sum of squares*

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n X_{ijkl}^2 - \frac{T^2}{abcn} \quad \dots(3.9)$$

$$\text{dimana } T = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l X_{ijkl} \quad \dots(3.10)$$

dengan : a = jumlah faktor A
 b = jumlah faktor B
 c = jumlah faktor C
 n = jumlah replikasi

b . *Sum of squares for main effects (treatment sum of squares)*

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a X_i^2 - \frac{T^2}{abcn} \quad \dots(3.11)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b X_j^2 - \frac{T^2}{abcn} \quad \dots(3.12)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c X_k^2 - \frac{T^2}{abcn} \quad \dots(3.13)$$

c . *The two-factors interaction sum of squares*

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B \quad \dots(3.14)$$

$$= SS_{Subtotals(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c X_{ik}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_C \quad \dots(3.15)$$

$$= SS_{Subtotals(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{jk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_B - SS_C \quad \dots(3.16)$$

$$= SS_{Subtotals(BC)} - SS_B - SS_C$$

d . *The three-factors interaction sum of squares*

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad \dots(3.17)$$

$$= SS_{Subtotals(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

e . *The error sum of squares*

$$SS_E = SS_T - (SS_{Treatments} + SS_{Interactions}) \quad \dots(3.18)$$

2. Menentukan *degrees of freedom* (derajat kebebasan)

Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom*) dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor-faktor yang diamati (Belavendram, 1995).

Degree of freedom untuk faktor dan level faktor digunakan rumus:

$$V_T = \text{jumlah level} - 1 \quad \dots(3.19)$$

Degree of freedom untuk *orthogonal arrays* adalah:

$$V_{OA} = \text{jumlah eksperimen} - 1 \quad \dots(3.20)$$

Misalkan n_A dan n_B adalah jumlah level untuk faktor A dan faktor B maka:

$$V_A = n_A - 1 \quad \dots(3.21)$$

$$V_B = n_B - 1$$

$$V_A \times V_B = (n_A - 1)(n_B - 1) \quad \dots(3.22)$$

$$V_T = (n_A - 1) + (n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1) \quad \dots(3.23)$$

dengan:

- v_A : *degree of freedom* faktor A
 v_B : *degree of freedom* faktor B
 $v_A \times v_B$: *degree of freedom* untuk interaksi faktor A \times B
 v_T : *degree of freedom* total

3. Menghitung *mean squares* (MS)

Mean squares atau rata-rata jumlah kuadrat diperoleh dengan cara membagi jumlah kuadrat dengan derajat kebebasan yang sesuai. Perhitungan *mean squares* dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$MS_{Treatments} = \frac{SS_{Treatments}}{df_{Treatments}} \dots(3.24)$$

$$MS_{Interactions} = \frac{SS_{Interactions}}{df_{Interactions}} \dots(3.25)$$

$$MS_{Error} = \frac{SS_E}{df_{Error}} \dots(3.26)$$

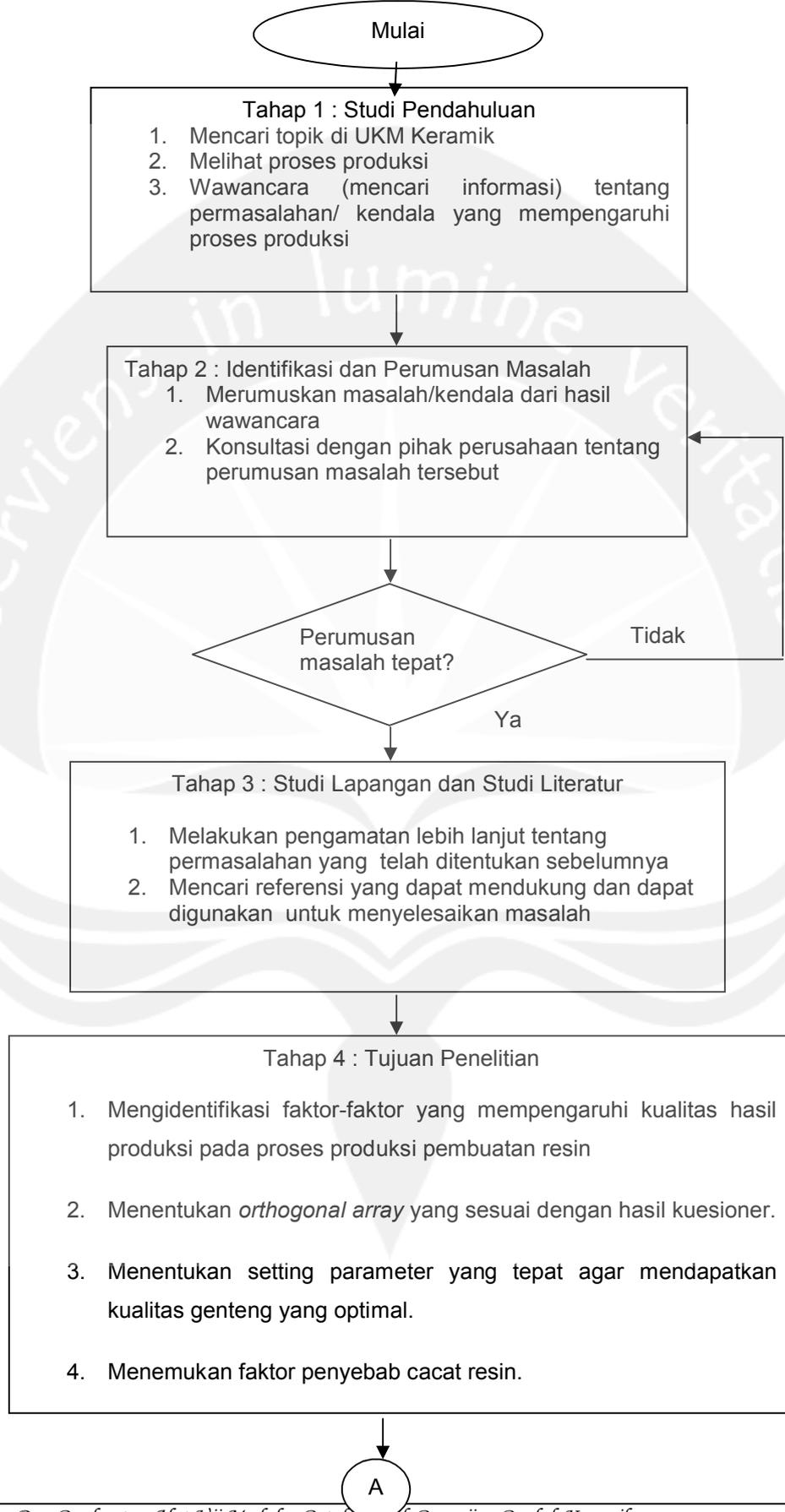
BAB 4

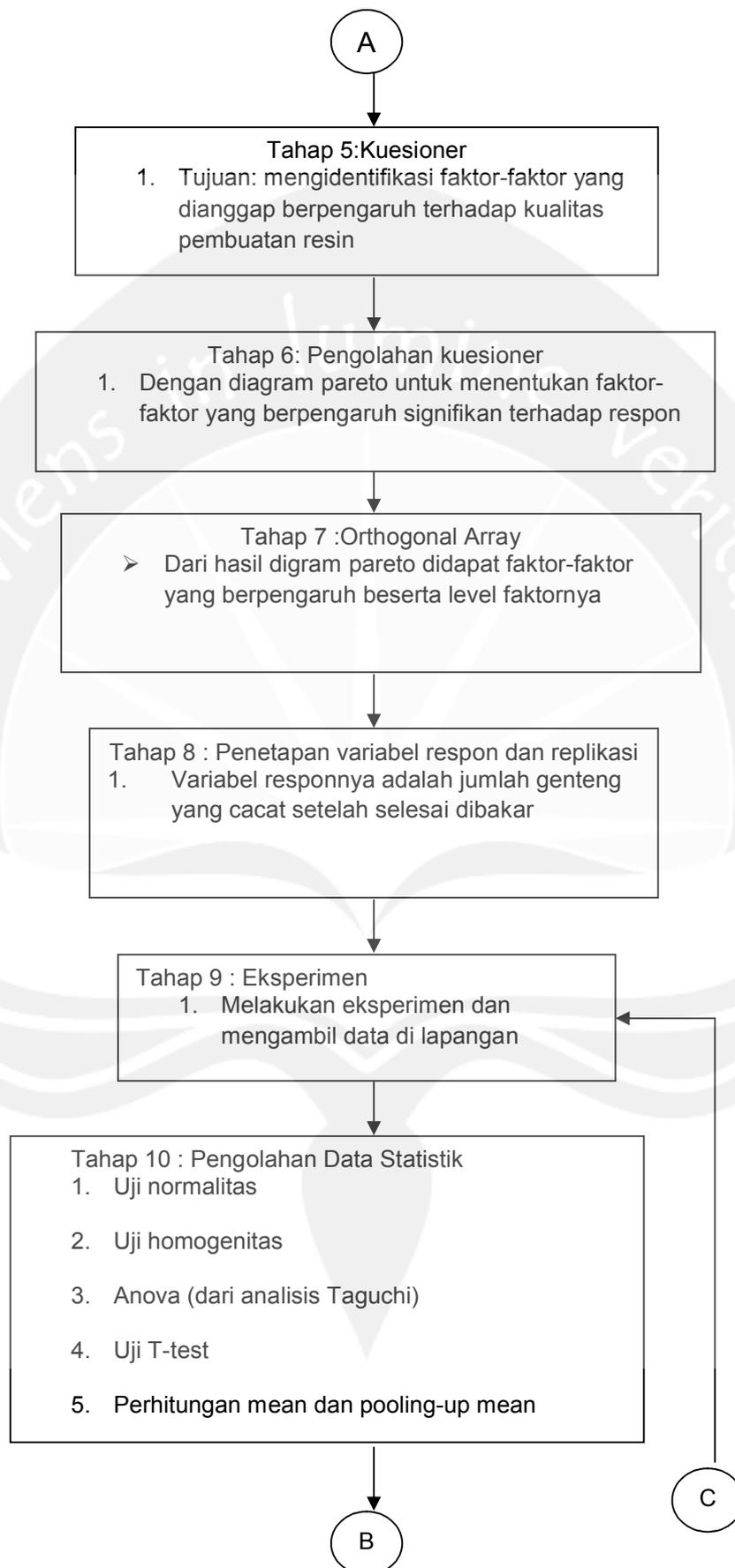
TUJUAN PENELITIAN

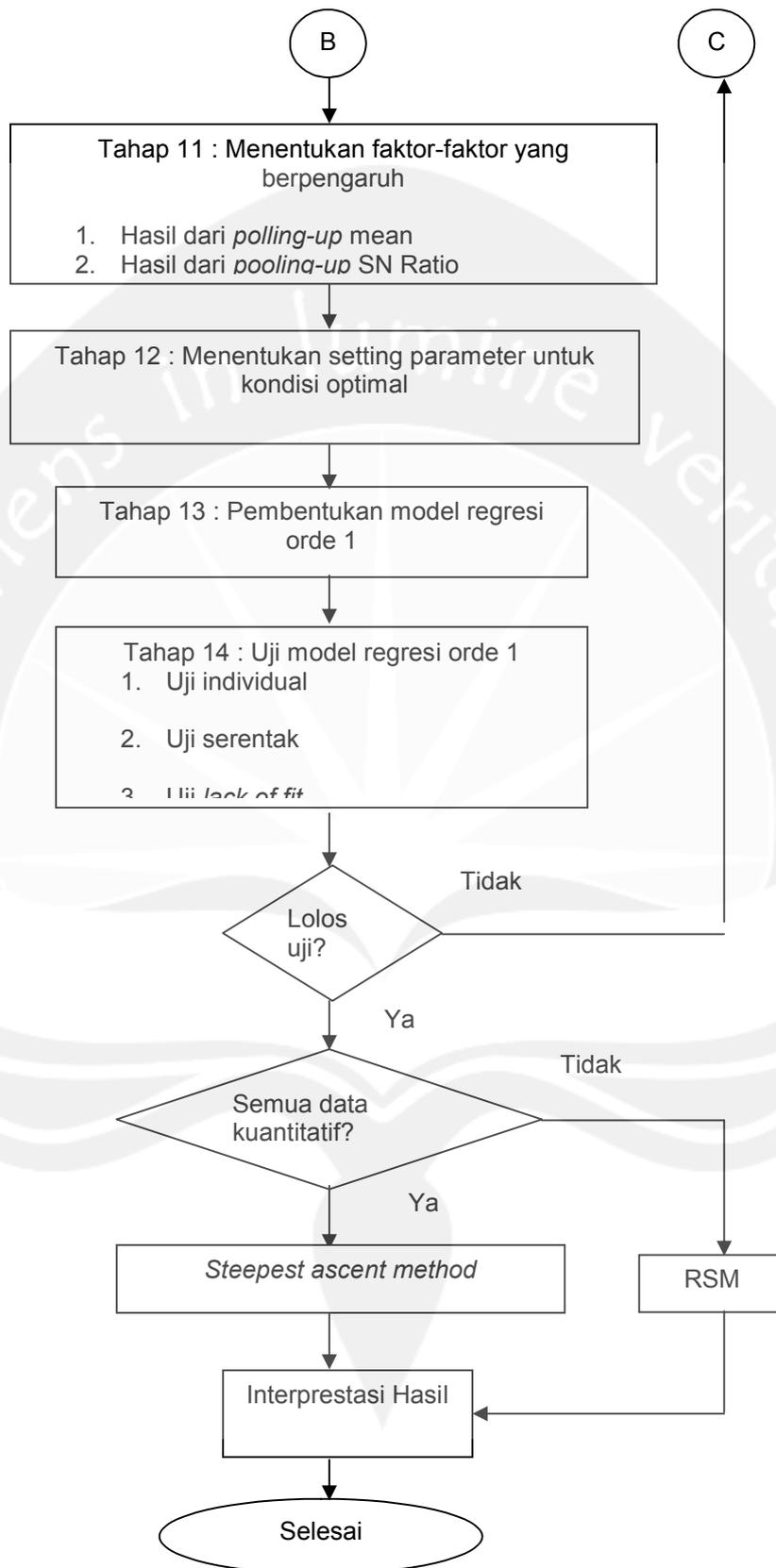
Tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan Pengujian Modulus Patah
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil produksi pada proses produksi pembuatan keramik dan resin
3. Menentukan *setting* parameter yang tepat agar mendapatkan kualitas keramik dan resin yang optimal.

BAB 5 METODOLOGI PENELITIAN







Gambar 4.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

BAB 6

DATA DAN ANALISIS

Berdasarkan data diambil dengan melakukan penimbangan resin, talk, dan parafin. Variasi dilakukan dengan mengubah komposisi satu jenis, dengan 2 jenis lainnya dibuat sama. Tujuannya membandingkan pengaruh perubahan komposisi salah satu jenis bahan terhadap bahan lainnya. Pengujian yang dilakukan dengan 4 kali perubahan variasi, dengan tiga kali pengambilan data Nilai kekerasan (Data 1 Data2, dan Data3). Hasil yang diukur kemudian dihitung nilai rerata kekerasan yang diukur dengan alat Durometer, kemudian dilanjutkan dengan uji Modulus elastisitas

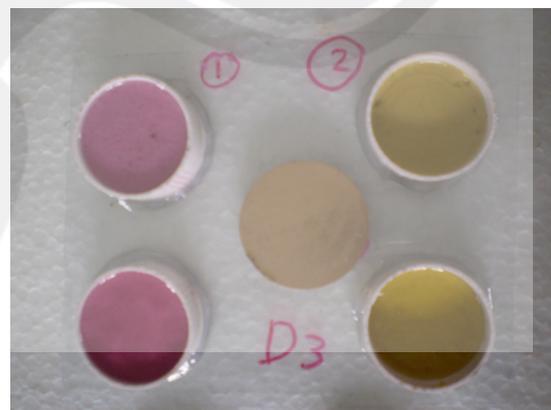


Gambar 6.1 Alat Uji Kekerasan Durometer



Gambar 6.2 Spesimen berbentuk balok

Proses pencetakan dibuat berbentuk silinder untuk kemudahan proses pengujian Kekerasan Material dengan alat Durometer. Selanjutnya pemotongan berbentuk balok untuk kemudahan proses uji Modulus elastisitas.



Gambar 6.3 Proses Pencetakan spesimen dengan berbagai variasi warna komposisi

Tabel 6.1. Pengujian Kekerasan Dengan Variasi Resin Berubah, Talk Dan Parafin Tetap

No	Komposisi, gram			Kekerasan			Kekerasan Rerata
	Resin	Talk	Parafin	Data 1	Data 2	data 3	
1	40	15	3	35	34	33	34
2	30	15	3	30	28	29	29
3	25	15	3	26	28	27	27
4	20	15	3	25	26	24	25

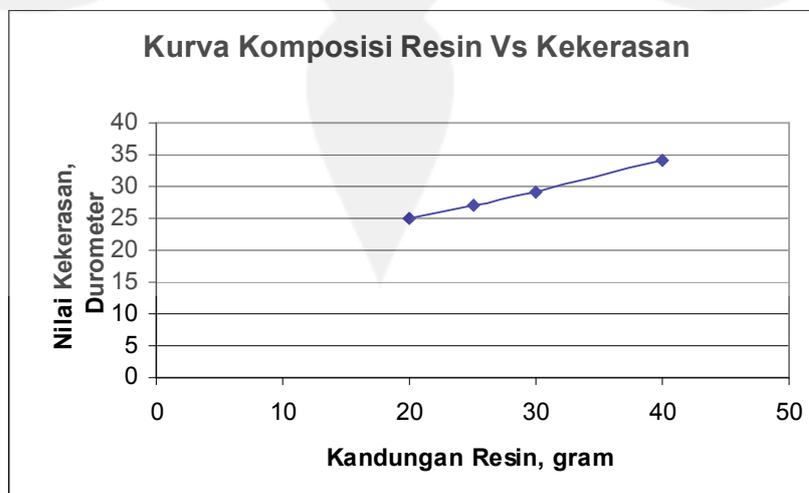
Tabel 6.2. Pengujian Kekerasan Dengan Variasi Talk Berubah, Parafin Dan Resin Tetap

No	Komposisi, gram			Kekerasan			Kekerasan Rerata
	Resin	Talk	Parafin	Data 1	Data 2	data 3	
1	30	20	3	31	33	32	32
2	30	15	3	28	27	29	28
3	30	10	3	25	24	26	25
4	30	5	3	23	22	24	23

Tabel 6.3. Pengujian Kekerasan Dengan Parafin Berubah, Talk dan Resin Tetap

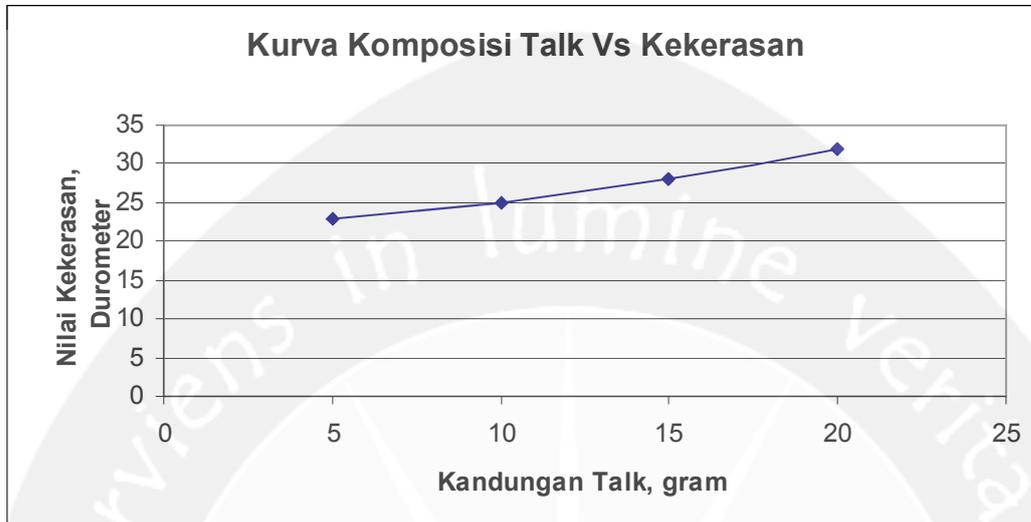
No	Komposisi, gram			Kekerasan			Kekerasan Rerata
	Resin	Talk	Parafin	Data 1	Data 2	data 3	
1	30	15	2	31	33	32	32
2	30	15	3	28	27	29	28
3	30	15	4	25	24	26	25
4	30	15	5	23	22	24	23

Hasil perhitungan ditampilkan dalam gambar dengan mencari hubungan antara komposisi dengan nilai kekerasan.



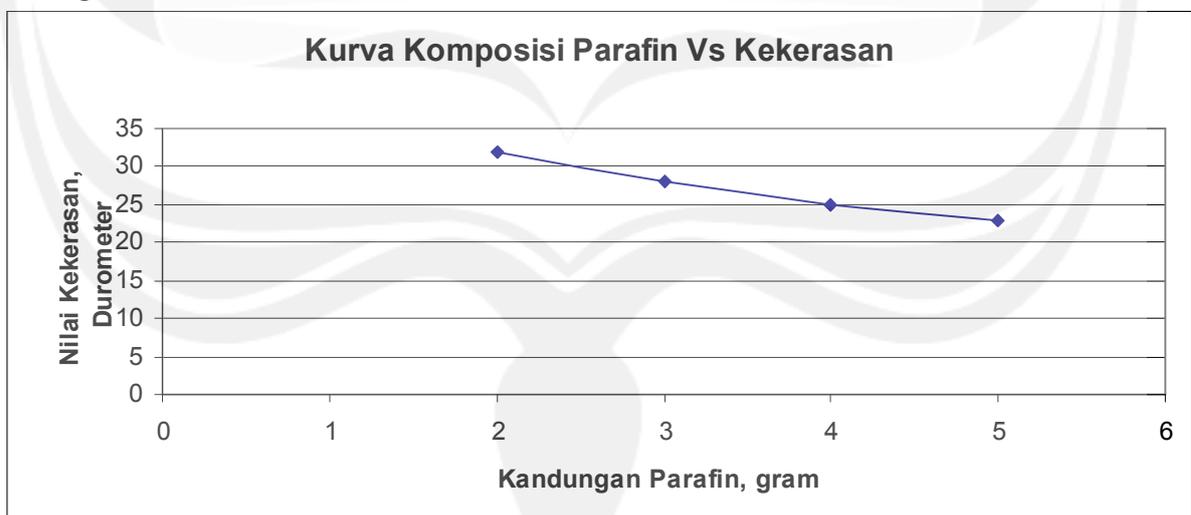
Gambar 6.4 Grafik Hubungan Kandungan Resin Dengan Nilai Kekerasan

Dari gambar 6.4 terlihat bahwa untuk jumlah resin yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material.



Gambar 6.5 Grafik Hubungan Kandungan Talk Dengan Nilai Kekerasan

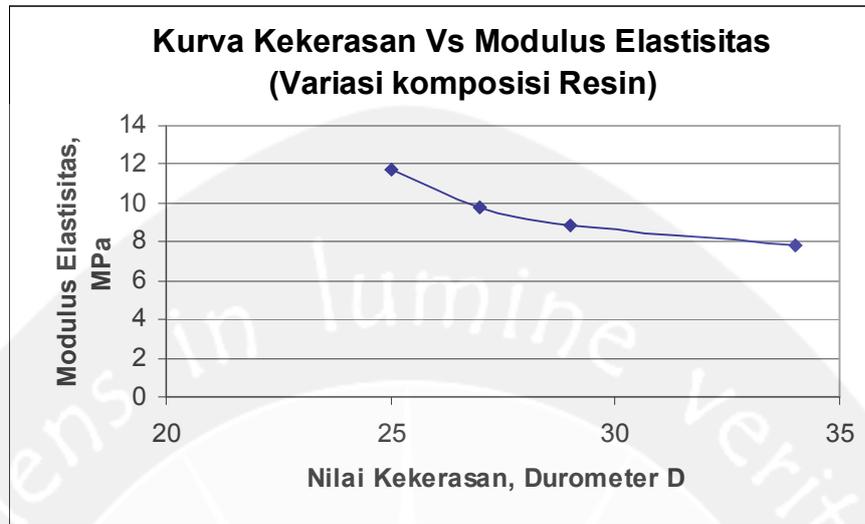
Dari gambar 6.5 terlihat bahwa untuk jumlah talk (kapur) yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa talk (kapur) akan meningkatkan nilai kekerasan material.



Gambar 6.6 Grafik Hubungan Kandungan Parafin Dengan Nilai Kekerasan

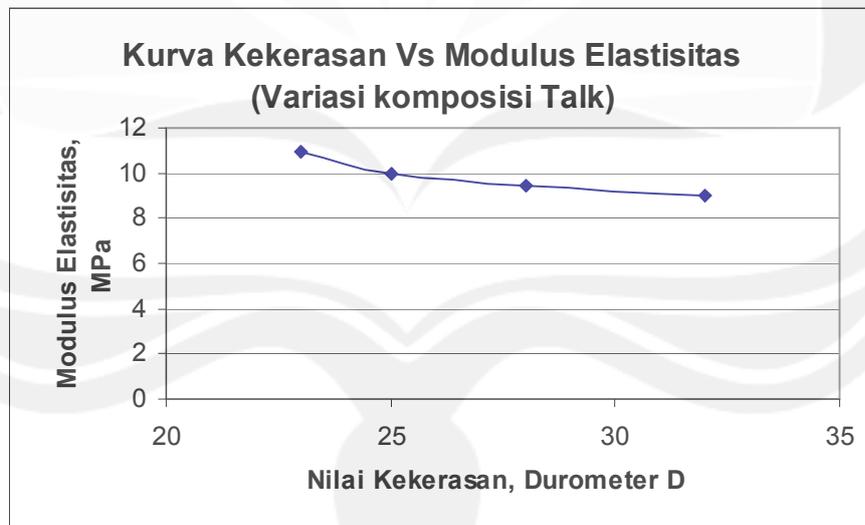
Dari gambar 6.6 terlihat bahwa untuk jumlah Parafin yang semakin besar akan menurunkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa Parafin akan menurunkan nilai kekerasan material.

Analisis Tahap kedua dilakukan dengan menghitung pengaruh nilai kekerasan bahan dengan Nilai modulus elastisitas. Hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini



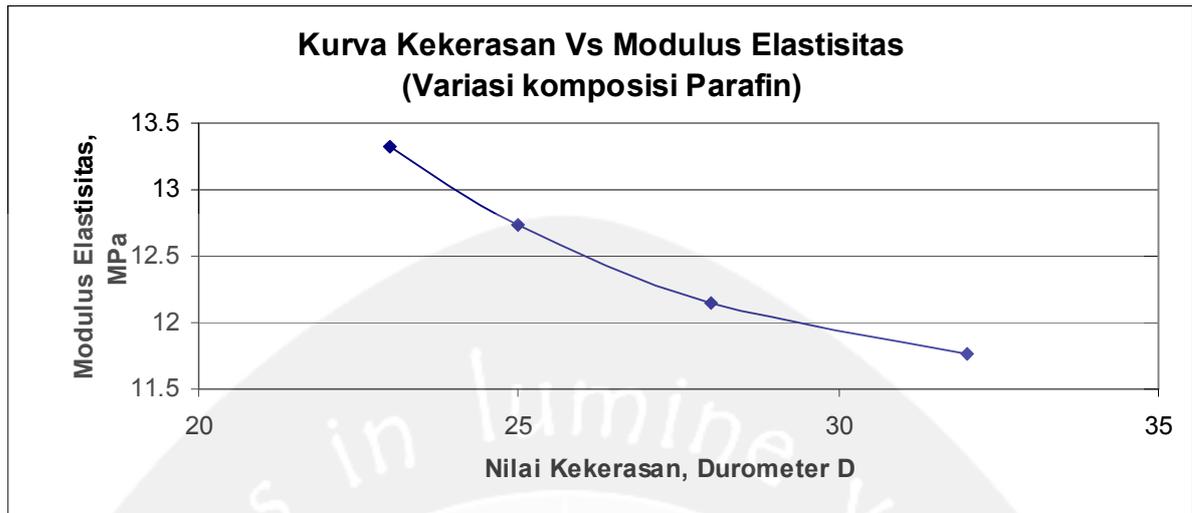
Gambar 6.7 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan dengan Modulus Elastisitas

Dari gambar 6.7 terlihat bahwa untuk jumlah resin yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material, tetapi menurunkan nilai modulus elastisitasnya



Gambar 6.8 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan dengan Modulus Elastisitas

Dari gambar 6.8 terlihat bahwa untuk jumlah Talk yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material, tetapi menurunkan nilai modulus elastisitasnya.



Gambar 6.9 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan dengan Modulus Elastisitas

Dari gambar 6.9 terlihat bahwa untuk jumlah Parafin yang semakin besar akan menurunkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin naik. Hal ini menunjukkan bahwa Parafin akan menurunkan nilai kekerasan material, tetapi meningkatkan nilai modulus elastisitasnya.

Data Perancangan Eksperimen

Setelah model selesai digambar dan *setting toolpath strategy* sudah ditetapkan maka dilakukan simulasi. Simulasi dilakukan berdasarkan faktor dan level faktor yang sudah ditentukan sebelumnya. Faktor dan level faktor yang digunakan dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 6.4 . Faktor Dan Level Yang Digunakan

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A: <i>Komposisi Resin</i> (gram)	40	30	25
B: <i>Komposisi Talk</i> (gram)	20	15	10
C: <i>Komposisi Parafin</i> (gram)	2	3	5
D: <i>Step Down</i> (mm)	0,75	1	1,25
E: Toleransi (mm)	0,1	0,05	0,01
F: <i>Thickness</i> (mm)	1	5	2

Tabel 6.5. Respon Data Hasil Simulasi Menggunakan *Orthogonal Array L₂₇(3⁶)*

No.	Faktor						Respon			
	A	B	C	D	E	F	R1	R2	R3	R4
1	1	1	1	1	1	1	228	228	230	229
2	1	1	1	1	2	2	220	220	225	222
3	1	1	1	1	3	3	231	231	230	230
4	1	2	2	2	1	1	86	86	85	85
5	1	2	2	2	2	2	88	88	89	88
6	1	2	2	2	3	3	88	88	88	88
7	1	3	3	3	1	1	59	59	60	59
8	1	3	3	3	2	2	60	60	61	60
9	1	3	3	3	3	3	41	41	42	41
10	2	1	2	3	1	2	69	69	70	69,5
11	2	1	2	3	2	3	68	68	66	67
12	2	1	2	3	3	1	67	67	67	67
13	2	2	3	1	1	2	105	105	105	105
14	2	2	3	1	2	3	103	103	103	103
15	2	2	3	1	3	1	103	103	102	102,5
16	2	3	1	2	1	2	136	136	135	135,5
17	2	3	1	2	2	3	137	137	137	137
18	2	3	1	2	3	1	141	141	141	141
19	3	1	3	2	1	3	119	119	120	119,5
20	3	1	3	2	2	1	68	68	68	68
21	3	1	3	2	3	2	79	79	80	79,5
22	3	2	1	3	1	3	124	124	124	124
23	3	2	1	3	2	1	107	107	107	107
24	3	2	1	3	3	2	109	109	108	108,5
25	3	3	2	1	1	3	107	107	105	106

26	3	3	2	1	2	1	109	109	107	108
27	3	3	2	1	3	2	109	109	107	108

Analisis Statistik Menggunakan ANOVA

Rata-rata Respon Tiap Eksperimen

Untuk menghitung rata-rata respon tiap eksperimen digunakan persamaan

$$\mu_1 = \frac{(228 + 228 + 230 + 229) \text{ gram}}{4} = 228,75 \text{ gram}$$

Untuk hasil perhitungan eksperimen 2 sampai 27 dapat dilihat pada tabel 6.6.

Tabel 6.6. Rata-rata Respon Data Hasil Simulasi

No.	Faktor						Rata-rata respon
	A	B	C	D	E	F	
1	1	1	1	1	1	1	228,75
2	1	1	1	1	2	2	221,75
3	1	1	1	1	3	3	230,50
4	1	2	2	2	1	1	85,50
5	1	2	2	2	2	2	88,25
6	1	2	2	2	3	3	88,00
7	1	3	3	3	1	1	59,25
8	1	3	3	3	2	2	60,25
9	1	3	3	3	3	3	41,25
10	2	1	2	3	1	2	69,38
11	2	1	2	3	2	3	67,25
12	2	1	2	3	3	1	67,00
13	2	2	3	1	1	2	105,00
14	2	2	3	1	2	3	103,00
15	2	2	3	1	3	1	102,63
16	2	3	1	2	1	2	135,63
17	2	3	1	2	2	3	137,00
18	2	3	1	2	3	1	141,00
19	3	1	3	2	1	3	119,38
20	3	1	3	2	2	1	68,00
21	3	1	3	2	3	2	79,38
22	3	2	1	3	1	3	124,00
23	3	2	1	3	2	1	107,00
24	3	2	1	3	3	2	108,63
25	3	3	2	1	1	3	106,25
26	3	3	2	1	2	1	108,25
27	3	3	2	1	3	2	108,25

5.1.1. Nilai Rata-rata Seluruh Respon

Untuk menghitung rata-rata seluruh respon digunakan persamaan (3.8.).

$$\bar{y} = \frac{(228 + 228 + 230 + 229 + \dots + 108)\text{menit}}{108}$$

$$= 109,65 \text{ gram}$$

5.1.2. Rata-rata Tiap Faktor dan Level (Respon dan Pengaruh Faktor)

Rata-rata eksperimen dalam setiap faktor dan level faktor dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Misal untuk faktor A pada level 1 adalah:

$$A_1 = \frac{(228,75 + 221,75 + 230,50 + 85,50 + \dots + 41,25)\text{gram}}{9}$$

$$= 122,61 \text{ gram}$$

Untuk hasil perhitungan faktor dan level faktor yang lain dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 6.7. Respon Dan Pengaruh Faktor (dalam gram)

Faktor	A	B	C	D	E	F
Level 1	122,61	127,93	159,36	146,04	114,79	107,49
Level 2	103,10	101,33	87,57	104,68	106,75	108,50
Level 3	103,24	99,68	82,01	78,22	107,40	112,96
Rank	4	3	2	1	5	6

Perhitungan *Total Sum of Square (ST)*

Untuk menghitung ST digunakan persamaan (3.9.).

$$ST = (228^2 + 228^2 + 230^2 + 229^2 + \dots + 108^2) \text{ gram}^2$$

$$= 1551532,5 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *Sum of Square Due To The Mean (Sm)*

Untuk menghitung ST digunakan persamaan (3.10.).

$$S_m = (108 * 109,65^2) \text{ gram}^2$$

$$= 1298453,37 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *Sum of Square Due To Factors*

Untuk menghitung *sum of square due to factors* digunakan persamaan (3.11.).

$$S_A = [(9*4)*(122,61^2) + (9*4)*(103,10^2) + (9*4)*(103,24^2) - 1298453,37] \text{ gram}^2$$

$$= 9074,42 \text{ gram}^2$$

Hasil perhitungan *sum of square due to factors* untuk faktor B, C, D, E, dan F adalah:

$$S_B = 18098,48 \text{ gram}^2$$

$$S_C = 134010,00 \text{ gram}^2$$

$$S_D = 84123,14 \text{ gram}^2$$

$$S_E = 1436,28 \text{ gram}^2$$

$$S_F = 610,20 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *Sum of Square Due To Error (Se)*

Untuk menghitung *sum of square due to error* digunakan persamaan (3.12.).

$$S_e = (1551532,5 - 1298453,37 - 9074,42 - 18098,48 - 134010,00 - 84123,14 - 1436,28 - 610,20) \text{ gram}^2$$

$$= 5726,60 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *Mean Sum of Square* (Mq)

Untuk menghitung mean sum of square digunakan persamaan (3.13.).

$$Mq_A = \frac{9074,42 \text{ menit}^2}{2} = 4537,21 \text{ gram}^2$$

$$Mq_B = \frac{18098,48 \text{ menit}^2}{2} = 9049,24 \text{ gram}^2$$

$$Mq_C = \frac{134010,00 \text{ menit}^2}{2} = 67005,00 \text{ gram}^2$$

$$Mq_D = \frac{84123,14 \text{ menit}^2}{2} = 42061,57 \text{ gram}^2$$

$$Mq_E = \frac{1436,28 \text{ menit}^2}{2} = 718,14 \text{ gram}^2$$

$$Mq_F = \frac{610,20 \text{ menit}^2}{2} = 305,10 \text{ gram}^2$$

$$Mq_e = \frac{5726,60 \text{ menit}^2}{96} = 59,65 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *F-ratio*

Untuk menghitung *F-ratio* digunakan persamaan (3.14.).

$$F_A = \frac{4537,21 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 76,06$$

$$F_B = \frac{9049,24 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 151,70$$

$$F_C = \frac{67005,00 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 1123,26$$

$$F_D = \frac{42061,57 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 705,11$$

$$F_E = \frac{718,14 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 12,04$$

$$F_F = \frac{305,10 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 5,11$$

$$F_e = \frac{59,65 \text{ gram}^2}{59,65 \text{ gram}^2} = 1,00$$

Perhitungan *Pure Sum of Square*

Untuk menghitung *pure sum of square* digunakan persamaan (3.15.).

$$S'A = 9074,42 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 8955,12 \text{ gram}^2$$

$$S'B = 18098,48 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 17979,17 \text{ gram}^2$$

$$S'C = 134010,00 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 133890,70 \text{ gram}^2$$

$$S'D = 84123,14 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 84003,84 \text{ gram}^2$$

$$S'E = 1436,28 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 1316,98 \text{ gram}^2$$

$$S'F = 610,20 - (2 * 59,65) \text{ gram}^2 = 490,89 \text{ gram}^2$$

$$S'e = (253079,13 - 8955,12 - 17979,17 - 133890,70 - 84003,84 - 1316,98 - 490,89) \text{ gram}^2 \\ = 6442,43 \text{ gram}^2$$

Perhitungan *Contribution Ratio* (ρ %)

Untuk menghitung *contribution ratio* digunakan persamaan (3.16.).

$$\rho_A = \frac{8955,12}{253079,13} * 100\% = 3,54\%$$

Hasil perhitungan *contribution ratio* untuk faktor B, C, D, E, dan F adalah:

$$\rho_B = 7,10\%$$

$$\rho_C = 52,90\%$$

$$\rho_D = 33,19\%$$

$$\rho_E = 0,52\%$$

$$\rho_F = 0,19\%$$

$$\rho_e = 2,55\%$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh ringkasan hasil perhitungan sebagai berikut pada tabel 6.8.:

Tabel 6.8. Ringkasan Perhitungan (Tabel ANOVA)

Sumber	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
A	9074,42	2	4537,21	76,06	8955,12	3,54
B	18098,48	2	9049,24	151,70	17979,17	7,10
C	134010,00	2	67005,00	1123,26	133890,70	52,90
D	84123,14	2	42061,57	705,11	84003,84	33,19
E	1436,28	2	718,14	12,04	1316,98	0,52
F	610,20	2	305,10	5,11	490,89	0,19
e	5726,60	96	59,65	1,00	6442,43	2,55
St	253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean	1298453,4	1				
ST	1551532,5	108				

Pooling Terhadap Faktor yang Tidak Signifikan

Proses *pooling* dilakukan apabila M_q faktor lebih kecil daripada $M_{q_{error}}$ dan bila F_{hitung} lebih kecil daripada F_{tabel} . Dari hasil ringkasan perhitungan pada tabel 5.8., dapat diketahui bahwa M_q faktor lebih besar dari $M_{q_{error}}$ dan F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} . Secara teori tidak lagi diperlukan adanya proses *pooling* dari data yang ada, tetapi proses *pooling* harus tetap dilakukan untuk mengurangi kemungkinan dan menghindari estimasi yang berlebihan. Proses *pooling* dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

1. *Initial* Iterasi (Iterasi 0)

Pada *initial* iterasi, yang di-*pooling* adalah $M_{q_{error}}$ -nya. Jadi pada tabel 6.9. menunjukkan hasil *pooling* pada $M_{q_{error}}$.

Tabel 6.9. *Initial Iteration Pooling Up Mean*

Sumber	Pool	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
A		9074,42	2	4537,21	76,06	8955,12	3,54
B		18098,48	2	9049,24	151,70	17979,17	7,10
C		134010,00	2	67005,00	1123,26	133890,70	52,90

D		84123,14	2	42061,57	705,11	84003,84	33,19
E		1436,28	2	718,14	12,04	1316,98	0,52
F		610,20	2	305,10	5,11	490,89	0,19
e	Y	5726,60	96	59,65			
Pooled e		5726,60	96	59,65	1,00	6442,43	2,55
St		253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean		1298453,4	1				
ST		1551532,5	108				

Perhitungannya adalah:

$$S(\text{pooled } e) = S_e = 5726,60$$

$$V(\text{pooled } e) = 96$$

$$M(\text{pooled } e) = 59,65$$

$$F\text{-ratio} = 1,00$$

$$S'(\text{pooled } e) = 253079,13 - 8955,12 - 17979,17 - 133890,70 - 84003,84 - 1316,98 - 490,89 = 6442,43$$

$$\rho\%(\text{pooled } e) = 2,55\%$$

2. Iterasi 1

Pada iterasi ke-1 faktor yang akan di-*pooling* adalah faktor F. Hasil *pooling* iterasi 1 dapat dilihat pada tabel 6.10.

Tabel 6.10. *Pooling Up* Iterasi 1

Sumber	Pool	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
A		9074,42	2	4537,21	70,17	8945,10	3,53
B		18098,48	2	9049,24	139,95	17969,15	7,10
C		134010,00	2	67005,00	1036,25	133880,68	52,90
D		84123,14	2	42061,57	650,49	83993,82	33,19
E		1436,28	2	718,14	11,11	1306,96	0,52
F	Y	610,20	2	305,10			
e	Y	5726,60	96	59,65			
Pooled e		6336,80	98	64,66	1	6983,41	2,76
St		253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean		1298453,4	1				
ST		1551532,5	108				

Perhitungannya adalah:

$$S(\text{pooled } e) = 5726,60 + 610,20 = 6336,80$$

$$V(\text{pooled } e) = 96 + 2 = 98$$

$$M(\text{pooled } e) = \frac{6336,80}{98} = 64,66$$

F-ratio = 1,00

$S'(\text{pooled } e) = 253079,13 - 8945,10 - 17969,15 - 133880,68 - 83993,82 - 1306,96 = 6983,41$

$$\rho\%(\text{pooled } e) = \frac{6983,41}{253079,13} \times 100\% = 2,76\%$$

3. Iterasi 2

Pada iterasi ke-2 faktor yang akan di-*pooling* adalah faktor E. Hasil *pooling* iterasi 2 dapat dilihat pada tabel 6.11.

Tabel 6.11. *Pooling Up* Iterasi 2

Sumber	Pool	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
A		9074,42	2	4537,21	58,37	8918,96	3,52
B		18098,48	2	9049,24	116,42	17943,02	7,09
C		134010,00	2	67005,00	862,01	133854,54	52,89
D		84123,14	2	42061,57	541,12	83967,68	33,18
E	Y	1436,28	2	718,14			
F	Y	610,20	2	305,10			
e	Y	5726,60	96	59,65			
Pooled e		7773,08	100	77,73	1	8394,93	3,32
St		253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean		1298453,4	1				
ST		1551532,5	108				

Perhitungannya adalah:

$$S(\text{pooled } e) = 6336,80 + 1436,28 = 7773,08$$

$$V(\text{pooled } e) = 98 + 2 = 100$$

$$M(\text{pooled } e) = \frac{7773,08}{100} = 77,73$$

F-ratio = 1,00

$S'(\text{pooled } e) = 253079,13 - 8918,96 - 17943,02 - 133854,54 - 83967,68 = 8394,93$

$$\rho\%(\text{pooled } e) = \frac{8394,93}{253079,13} \times 100\% = 3,23\%$$

4. Iterasi 3

Pada iterasi ke-3 faktor yang akan di-*pooling* adalah faktor A. Hasil *pooling* iterasi 3 dapat dilihat pada tabel 6.12.

Tabel 6.12. *Pooling Up* Iterasi 3

Sumber	Pool	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
A	Y	9074,42	2	4537,21			
B		18098,48	2	9049,24	54,79	17768,13	7,02
C		134010,00	2	67005,00	405,67	133679,66	52,82
D		84123,14	2	42061,57	254,65	83792,80	33,11
E	Y	1436,28	2	718,14			
F	Y	610,20	2	305,10			
e	Y	5726,60	96	59,65			
Pooled e		16847,50	102	165,17	1	17838,53	7,05
St		253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean		1298453,4	1				
ST		1551532,5	108				

Perhitungannya adalah:

$$S(\text{pooled } e) = 7773,08 + 9074,42 = 16847,50$$

$$V(\text{pooled } e) = 100 + 2 = 102$$

$$M(\text{pooled } e) = \frac{16847,50}{102} = 165,17$$

$$F\text{-ratio} = 1,00$$

$$S'(\text{pooled } e) = 253079,13 - 17768,13 - 133679,66 - 83792,80 = 17838,53$$

$$\rho\%(\text{pooled } e) = \frac{17838,53}{253079,13} \times 100\% = 7,05\%$$

Berdasarkan hasil akhir *pooling* pada tabel 6.13., maka faktor-faktor yang benar-benar signifikan dan berpengaruh terhadap waktu proses *machining* adalah faktor B (*spindle speed*), C (*step over*), dan D (*step down*).

Tabel 6.13. Hasil Akhir *Pooling Up Mean*

Sumber	Sq	dof (v)	Mq	F-ratio	Sq'	rho %
B	18098,48	2	9049,24	54,79	17768,13	7,02
C	134010,00	2	67005,00	405,67	133679,66	52,82
D	84123,14	2	42061,57	254,65	83792,80	33,11
Pooled e	16847,50	102	165,17	1	17838,53	7,05
St	253079,13	107	2365,23		253079,13	100
Mean	1298453,4	1				
ST	1551532,5	108				

Perhitungan *Confidence Interval (CI)*

Confidence interval (selang kepercayaan) yang digunakan adalah tingkat kepercayaan 95%. Dengan tingkat kepercayaan 95% diperoleh beberapa nilai, adalah:

- α = 5% = 0,05
- V1 = 1
- V2 = 102
- Ve = 165,17
- n = 12
- $F_{0,05;1;102}$ = 3,94

Dari nilai di atas dapat diperoleh nilai CI sebesar:

$$CI = \sqrt{F_{0,05;1;102} * 165,17 * \frac{1}{12}} = 7,37$$

Untuk setiap faktor dan level, digunakan rumus selang kepercayaan:

$$\mu_{Ak} = \bar{Ak} \pm CI$$

$$\bar{Ak} - CI \leq \mu_{Ak} \leq \bar{Ak} + CI$$

Misalkan perhitungan selang kepercayaan untuk faktor A pada level 1 adalah:

$$122,61 - 7,37 \leq \mu_{Ak} \leq 122,61 + 7,37$$

$$115,24 \leq \mu_{Ak} \leq 129,98$$

Berikut adalah tabel ringkasan perhitungan selang kepercayaan untuk setiap faktor dan level-nya:

Tabel 6.14. Perhitungan CI Faktor A

Level	Faktor A
1	$115,24 \leq \mu_{Ak} \leq 129,98$
2	$95,73 \leq \mu_{Ak} \leq 110,47$
3	$95,87 \leq \mu_{Ak} \leq 110,60$

Tabel 6.15. Perhitungan CI Faktor B

Level	Faktor B
1	$120,56 \leq \mu_{Ak} \leq 127,93$
2	$93,97 \leq \mu_{Ak} \leq 101,33$
3	$92,31 \leq \mu_{Ak} \leq 99,68$

Tabel 6.16. Perhitungan CI Faktor C

Level	Faktor C
1	$151,99 \leq \mu_{Ak} \leq 159,36$
2	$80,20 \leq \mu_{Ak} \leq 87,57$
3	$74,65 \leq \mu_{Ak} \leq 82,01$

Tabel 5.17. Perhitungan CI Faktor D

Level	Faktor D
1	$138,67 \leq \mu_{Ak} \leq 146,04$
2	$97,31 \leq \mu_{Ak} \leq 104,68$
3	$70,85 \leq \mu_{Ak} \leq 78,22$

Tabel 6.18. Perhitungan CI Faktor E

Level	Faktor E
1	$107,42 \leq \mu_{Ak} \leq 114,79$
2	$99,38 \leq \mu_{Ak} \leq 106,75$
3	$100,03 \leq \mu_{Ak} \leq 107,40$

Tabel 6.19. Perhitungan CI Faktor F

Level	Faktor F
1	$100,12 \leq \mu_{Ak} \leq 107,49$
2	$101,13 \leq \mu_{Ak} \leq 108,50$
3	$105,59 \leq \mu_{Ak} \leq 112,96$

Selang kepercayaan ini digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Dari perhitungan selang kepercayaan dilakukan estimasi pada interval rata-rata dari setiap faktor dan levelnya pada perlakuan tertentu. Dari hasil perhitungan selang kepercayaan untuk tiap faktor dan levelnya diperoleh hasil dan dibuat grafik interval yang ditunjukkan pada gambar 6.8.

BAB 7

PERSONALIA PENELITI

1. Ketua Peneliti

- a. Nama lengkap dan gelar : Baju Bawono, M.T.
- b. Jabatan akademik, golongan : Pembina/ IV/a
- c. Bidang peminatan : Rekayasa Optimasi Sistem Industri
- d. Program Studi : Teknik Industri
- e. Fakultas : Teknologi Industri
- f. Waktu yang disediakan : 10 jam/minggu

2. Anggota Peneliti 1

- a. Nama lengkap dan gelar : P. Wisnu Anggoro, ST., MT.
- b. Jabatan akademik, golongan : Penata / III/c
- c. Bidang peminatan : Rekayasa Sistem Manufaktur
- d. Program Studi : Teknik Industri
- e. Fakultas : Teknologi Industri
- f. Waktu yang disediakan : 10 jam/minggu

3. Anggota Peneliti 2

- a. Nama lengkap dan gelar : A. Tonny Yuniarto, ST., MT.
- b. Jabatan akademik, golongan : Penata / III/c
- c. Bidang peminatan : Rekayasa Sistem Manufaktur
- d. Program Studi : Teknik Industri
- e. Fakultas : Teknologi Industri
- f. Waktu yang disediakan : 10 jam/minggu

2. Tenaga Lapangan: Asisten Laboratorium Pengetahuan Bahan

AB 7 KESIMPULAN

1. Dari gambar 6.1 terlihat bahwa untuk jumlah resin yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material.
2. Dari gambar 6.2 terlihat bahwa untuk jumlah talk (kapur) yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa talk (kapur) akan meningkatkan nilai kekerasan material.
3. Dari gambar 6.3 terlihat bahwa untuk jumlah Parafin yang semakin besar akan menurunkan nilai kekerasan material. Hal ini menunjukkan bahwa Parafin akan menurunkan nilai kekerasan material.
4. Dari gambar 6.4 terlihat bahwa untuk jumlah resin yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material, tetapi menurunkan nilai modulus elastisitasnya
5. Dari gambar 6.5 terlihat bahwa untuk jumlah Talk yang semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa resin akan meningkatkan nilai kekerasan material, tetapi menurunkan nilai modulus elastisitasnya.
6. Dari gambar 6.6 terlihat bahwa untuk jumlah Parafin yang semakin besar akan menurunkan nilai kekerasan material, Tetapi nilai modulus elastisitasnya akan semakin naik. Hal ini menunjukkan bahwa Parafin akan menurunkan nilai kekerasan material, tetapi meningkatkan nilai modulus elastisitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of ASTM Standards, D 3379- 75, “*Standard Test Method for Tensile Strength and Young’s Modulus Single-Filament Materials*”, ASTM Standards and Literature References for Composite Materials, 2nd ed., 34-37, American Society for Testing and Material, Philadelphia, PA (1990).
- Annual Book of JIS Standards, K 7113, 396-407, “*Testing Method for Tensile Properties of Plastik*”, Japanese Industrial Standard (1981).
- Belavendram, N., 1995, ***Quality By Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation***, Prentice Hall, London.
- Berthelot J.M.,1999, ”*Composite Material : Mechanical Behavior and Structural Analysis*, McGraw-Hill Inc, New York.
- BTC, ***Modul Minitab***, Yogyakarta,2007.
- Callister, W.D., 1997, ”*Material Science And Engineering*”, John Wiley & Sons, 1997
- Crawford, R.J., 1989, “*Plastic Engineering*”, 2nd Edition, Pergamon Press, UK.
- Gibson, F.R., 1994, “*Principles of Composite material Mechanis*”, *International dition*”, McGraw-Hill Inc, New York.
- Iriawan, Nur, ***Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14***, ANDI OFFSET, Yogyakarta, 2006.
- Mitra, A., ***Fundamentals of Quality Control and Improvement***, MacMillan Publishing Co., New York, 1993.
- Montgomery, Douglas C., *Design and Analysis of Exsperiments*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- Sudjana, ***Desain dan Analisis Eksperimen***, Edisi 3, Tarsito, Bandung, 1991.
- Surdia, T, dan Saito S. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Dainippon Gita Karya Printing. Jakarta.
- Van Vlack, L. H., 1992, “*Ilmu dan Teknologi Bahan*”, Edisi ke-5, Erlangga, Bandung.