

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana hubungan penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian yang sudah dilakukan yang menjadi dasar penelitian penulis adalah dari Era Satyarini (2013) , Rida Sulistiyo (2010), A.H.A. Shah, A.I.Azmi, A.N.M.Khalil (2015), Clarke, Van Tyne, Vigil, dan Hackenberg (2011), dan Brammer, Mauvoisin, Bartier, Hernot, dan Sablin (2011). Ketiga penelitian di atas sama-sama meneliti tentang material S45C.

Era Satyarini (2013) dalam penelitiannya membahas tentang permasalahan yang ada di Politeknik ATMI Surakarta dimana kekerasan material S45C tidak sesuai (lebih rendah) dengan data standar kekerasan yang dikeluarkan oleh BOHLER, karena itu perlu dilakukan perbaikan metode untuk mengatasi permasalahan tersebut. Metode yang digunakan untuk merancang alternatif perbaikan proses *hardening* S45C adalah metode campuran eksploratoris sekuensial pragmatic. Metode ini melibatkan pengumpulan data dan analisis data kualitatif pada tahap pertama, yang kemudian diikuti oleh pengumpulan dan analisis data kuantitatif pada tahap kedua yang didasarkan pada hasil-hasil pertama. Tujuan dari metode ini adalah memakai data dan hasil-hasil kuantitatif untuk membantu mengartikan penemuan-penemuan kualitatif. Hasil penelitian ini adalah usulan perbaikan metode proses *hardening* material S45C dengan cara mengubah media *quenching* menjadi *water* kemudian *oil* dengan hasil kekerasan rata-rata 54 HRC dan kenaikan 28,07% dari metode yang diterapkan sebelumnya. Hasil dari penelitian ini memberikan dampak ke raw material yang dipakai ATMI Surakarta, khususnya pada material S45C sesuai dengan standar BOHLER.

Rida Sulistiyo (2010), Salah satu cara untuk merubah sifat mekanik logam adalah dengan cara melakukan perlakuan panas. Perlakuan panas dapat mengubah sifat baja dengan cara mengubah ukuran dan bentuk butiran-butirannya, juga mengubah unsur pelarutnya dalam jumlah yang kecil. Proses perlakuan panas ini banyak sekali macamnya salah satunya adalah *hardening*. *Hardening* adalah proses perlakuan

panas jenis pengerasan. Proses *hardening* bertujuan untuk memperoleh kekerasan yang maksimal dari baja yaitu dengan cara memanaskan baja sampai 9300C sampai 9600C kemudian diholding selama beberapa waktu setelah itu didinginkan secara cepat agar tercapai struktur martensit yang memiliki sifat yang sangat keras. Proses *normalizing* bertujuan untuk mendapatkan struktur butiran yang halus dan seragam, juga menghilangkan tegangan dalam yaitu dengan cara memanaskan baja 8500 sampai 9000, kemudian setelah suhu merata didinginkan diudara. Dengan *normalizing* diharapkan baja akan menjadi lebih ulet disamping memiliki struktur butiran yang halus dan seragam cukup. Sehingga material baja tersebut dapat digunakan sebagaimana mestinya sesuai dengan aplikasi-aplikasinya. Oleh karena itu sangat perlu sekali suatu penelitian yang diharapkan dapat merumuskan cara yang tepat untuk memperbaiki sifat-sifat dari baja S45C dengan *normalizing*. Maka penulis mencoba mengangkat permasalahan tersebut diatas untuk penulisan tugas akhir ini dengan judul “Pengaruh Proses *Normalizing* Terhadap Sifat Mekanis Baja S45C”.

A.H.A. Shah, A.I.Azmi, A.N.M.Khalil (2015) di dalam penelitiannya meneliti tentang optimisasi *multi-objective* di Mesin CNC bubut pada material S45C dimana metode yang dipakai adalah *Taguchi and Grey Relational Analysis Method*. Penelitian ini didasari apabila ada terjadi peningkatan dari satu karakteristik kinerja suatu proses di mesin dapat menyebabkan degradasi karakteristik kinerja lainnya. Dan untuk merespon itu, dilakukannya penelitian optimisasi *multi-objective* di CNC bubut pada material S45C dengan menggunakan metode *Taguchi* dan *Grey Relational Analysis* (GRA). Berdasarkan *Grey Relational Analysis*, *Grey Relational Grade* (GRG) dihitung untuk mengoptimalkan proses CNC bubut dengan beberapa karakter performansi seperti kekasaran permukaan, *material removal rate* (MRR) dan alat potong yang digunakan. Di penelitian ini, dua parameter penting ditetapkan, yaitu *spindle speed* dan *feed rate* sedangkan *depth of cut* (DOC) sudah tetap (tidak berubah). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa parameter di Mesin CNC bubut dapat ditingkatkan dengan menggunakan pendekatan ini.

Clarke, Van Tyne, Vigil, dan Hackenberg (2011), yang melakukan penelitian terhadap material AISI 5150. Tujuan penelitiannya adalah meneliti pengaruh kekerasan dan suhu pemanasan rata-rata dalam proses *hardening* material baja 5150 dengan

metode induksi. Tujuan penelitiannya adalah untuk menemukan kekerasan permukaan baja yang maksimal dengan kecepatan pemanasan/kenaikan suhu yang tepat. Proses *hardening* dengan induksi pada material baja 5150 berstruktur ferit-perlit dengan baja 5150 berstruktur martensit memberikan kesimpulan:

- a. Perubahan temperatur spesimen dengan struktur ferit-perlit lebih cepat daripada spesimen berstruktur martensit.
- b. Kekerasan maksimal yang tercapai sama.
- c. Metalografi menunjukkan adanya penambahan unsur kromium pada daerah ferit untuk spesimen ferit-perlit, namun pada spesimen martensit tidak dilakukan metalografi, sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui adanya penambahan unsur paduan.
- d. Simulasi transformasi dengan basis proses induksi *hardening* mendukung adanya kenaikan unsur paduan pada spesimen ferit-perlit. Penelitian pada spesimen martensit disarankan untuk melihat kenaikan unsur paduan. Hasil ini berlaku secara umum untuk pemodelan dengan pemanasan induksi.

Brammer, Mauvoisin, Bartier, Hernot, dan Sablin (2011), yang melakukan penelitian terhadap material AISI 1095. Tujuan penelitiannya adalah meneliti pengaruh ketebalan material terhadap pengujian indentasi dengan menggunakan indentor bola baja pada material baja AISI 1095. Hasil dari penelitiannya adalah :

1. Penelitian ini menyelidiki pengaruh ketebalan dan kelengkungan specimen pada respon peralatan indentasi. AISI 1095 merupakan baja dengan karakteristik ulet. Indentor berbentuk bola yang ditekan 200N pada specimen dengan tebal 10 mm menghasilkan luka dengan radius 0,5 mm dan menghasilkan informasi kekuatan dan ketangguhan material.
2. Simulasi dan percobaan dilakukan pada spesimen dengan tebal 1,9 mm, 1,5 mm, 1,0 mm, dan 0,55 mm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketebalan material mempengaruhi respon indentor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indentor sangat dipengaruhi oleh kelengkungan spesimen.
3. Pengamatan ini mengarah pada kesimpulan bahwa penggunaan indentor berbentuk bola dan koreksi perhitungan yang memadai adalah solusi yang relevan untuk spesimen tipis dan melengkung, terutama jika sampel kelengkungan

diharapkan, seperti dalam kasus lembaran logam tipis yang digunakan dalam industri otomotif.

Tinjauan pustaka yang ada ini memberikan kontribusi yang cukup, yaitu pada memberikan perlakuan terlebih dahulu, baik perlakuan panas maupun perlakuan fisik, untuk mengetahui adakah dampak apabila diberikan perlakuan ke material sebelum diproses atau dimachining selanjutnya. Penelitian-penelitian terdahulu mempunyai kesamaan terhadap percobaan perlakuan ke material.

## **2.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian yang dilakukan sekarang lebih mengacu proses perlakuan panas (*annealing*), yang disertai dengan verifikasi atau proses permesinan. Karakteristik kekerasan material diturunkan nilainya dengan proses perlakuan panas *annealing*. Penelitian ini nantinya akan memberikan kontribusi pada penelitian selanjutnya ataupun pada tugas besar kuliah Praktikum Proses Manufaktur yang akan menggunakan material S45C. Dimana sebelum memulai untuk bisa memberikan perlakuan panas pada *raw material* untuk menurunkan kekerasan. Letak keterbaruan yang didapat dari penelitian ini adalah adanya proses verifikasi sebelum dan sesudah *annealing*, untuk mengetahui respon apa yang didapat dari perlakuan panas *annealing*. Namun ada kesamaan metode yang dipakai, yaitu penelitian ini memakai Metode *Desain of Eksperiment Taguchi* untuk membuat desain *orthogonal array* penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan setting parameter untuk proses *annealing*, dengan respon yang optimal sebagai hasil yang dipakai. Dan di masa depan, bisa menjadi parameter yang dipakai pada proses *annealing* sebelum dikerjakan di mesin CNC maupun konvensional, untuk tugas besar Praktikum Proses Manufaktur maupun untuk penelitian tugas akhir.

Perbedaan antara penelitian sekarang dengan penelitian yang sebelumnya akan lebih dijelaskan pada tabel 2.1. berikut ini.

**Tabel 2.1. Penelitian-penelitian Terdahulu dan Sekarang**

| <b>Nama Peneliti (Tahun)</b>                        | <b>Tujuan Penelitian</b>                                                                                                                             | <b>Objek Penelitian</b>                                          | <b>Metode</b>                                                   | <b>Output</b>                             |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| A.H.A. Shah,<br>A.I.Azmi,<br>A.N.M.Khalil<br>(2015) | mengoptimalkan proses CNC bubut dengan beberapa karakter performansi seperti kekasaran permukaan, <i>material removal rate</i> (MRR) dan alat potong | Material S45C                                                    | Metode <i>Taguchi</i> dan <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA) | Setting parameter permesinan              |
| Era Satyarini<br>(2013)                             | Memperoleh metode yang tepat agar dapat menghasilkan kekerasan material S45C secara optimal (57 HRC) sesuai dengan data BOHLER/distributor.          | Material AISI 1045, <i>oil quench, water and polimer aquaten</i> | Metode campuran                                                 | Setting parameter proses <i>hardening</i> |

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |                 |                                                       |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Rida Sulistiyo<br>(2010)                          | Merumuskan cara yang tepat untuk memperbaiki sifat-sifat dari baja S45C dengan <i>normalizing</i> .                                                                                                                                                            | Material S45C      | -               | Setting parameter <i>normalizing</i>                  |
| Clarke, Van Tyne, Vigil, dan Hackenberg<br>(2011) | Meneliti pengaruh kekerasan dan suhu pemanasan rata-rata dalam proses <i>hardening</i> material baja 5150 dengan metode induksi. Tujuan penelitian untuk menemukan kekerasan permukaan baja yang maksimal dengan kecepatan pemanasan/kenaikan suhu yang tepat. | Material AISI 5150 | Metode campuran | Raw material AISI dengan kekerasan permukaan maksimal |

|                                                        |                                                                                                                                                              |                    |                                 |                                           |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| Brammer, Mauvoisin, Bartier, Hernot, dan Sablin (2011) | Meneliti pengaruh ketebalan material terhadap pengujian indentasi dengan menggunakan indenter bola baja pada material baja AISI 1095.                        | Material AISI 1095 | Metode campuran                 | Nilai ketebalan material                  |
| Troys Kristian Pracaya (2016)                          | Memperoleh kekerasan material S45C yang sesuai dengan parameter <i>machining</i> di mesin CNC YCM EV1020A, untuk menghasilkan produk yang sesuai ekspektasi. | Material S45C      | Metode <i>Taguchi</i> dan ANOVA | Setting parameter proses <i>annealing</i> |

### 2.3. Dasar Teori

Proses penelitian pembuatan skripsi mengenai permasalahan yang terjadi ketika akan uji coba *toolpath strategy* untuk lomba *DELCAM* dengan menggunakan material S45C. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut penelitian ini mengacu

pada referensi-referensi dari teori-teori yang selama ini sudah ada dan dikembangkan lebih lanjut agar menentukan parameter permesinan dapat optimal. Dasar teori yang digunakan dijabarkan dalam sub-bab seperti berikut :

### **2.3.1. Sifat – Sifat Penting dari Logam**

Suroto dan Sudibyo (1983) menyebutkan pada perencanaan suatu konstruksi, pemilihan bahan yang akan digunakan harus menyesuaikan dengan sifat-sifat logam tersebut. Berikut ini adalah sifat-sifat logam yang penting.

a. *Malleability* / Dapat Ditempa

Logam ini dapat dengan mudah dibentuk dengan suatu gaya, baik dalam keadaan dingin maupun panas tanpa terjadi retak. Misalnya dengan *hammer* ataupun dengan rol.

b. *Ductility* / Dapat Ditarik

Logam dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus.

c. *Toughness* / Sifat Ulet

Kemampuan suatu logam untuk dibengkokkan beberapa kali tanpa mengalami retak.

d. *Hardness* / Kekerasan

Ketahanan suatu logam terhadap penetrasi/penusukan logam lain.

e. *Strength* / Kekuatan

Kemampuan suatu logam untuk menahan gaya yang bekerja atau kemampuan logam menahan deformasi.

f. *Weldability*

Kemampuan logam untuk dapat dilas, baik dengan las listrik maupun dengan las karbid / gas.

g. *Corrosion Resistance* / Tahan Korosi

Kemampuan suatu logam untuk menahan korosi/karat akibat kelembaban udara, zat-zat kimia, dan lain-lain.

h. *Machineability*

Kemampuan suatu logam untuk dikerjakan dengan mesin. Misalnya dengan mesin bubut, mesin frais, dan lain-lain.

i. *Elasticity*

Kemampuan suatu logam untuk kembali ke bentuk semula tanpa mengalami deformasi plastik / permanen.

j. *Britleness* / Kerapuhan

Sifat logam yang mudah retak dan pecah. Sifat ini berhubungan erat dengan kekerasan/*hardness* yang merupakan kebalikan dari *ductility*.

### 2.3.2. *Heat Treatment*

*Heat Treatment* didefinisikan sebagai proses pemanasan dan pendinginan yang diterapkan pada logam dan paduan dalam bentuk padat sehingga memperoleh sifat yang diinginkan (Rajan, 1994).

Beberapa tujuan *heat treatment* menurut Rajan (1994) antara lain

- a. Meningkatkan keuletan
- b. Menghilangkan *internal stress*
- c. Penyempurnaan ukuran butir
- d. Meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik dan mencapai perubahan komposisi kimia dari permukaan logam seperti dalam kasus-kasus pengerasan.

Keuntungan dari *heat treatment* menurut Rajan (1994) antara lain :

- a. Meningkatkan *machineability*
- b. Mengubah sifat magnetik, modifikasi konduktivitas listrik
- c. Meningkatkan ketangguhan dan mengembangkan struktur rekristalisasi pada *cold-worked metal*

Faktor atau variabel yang dapat mempengaruhi proses *heat treatment* menurut Rajan (1994) antara lain :

- a. Temperatur *heat treatment*
- b. *Holding time*
- c. Laju pemanasan

d. Proses pendinginan (*quenching*).

Besarnya kebutuhan akan variabel-variabel ini tergantung pada komposisi kimia, ukuran dan bentuk/dimensi objek dan sifat akhir yang diinginkan pada logam/paduan.

Proses-proses yang termasuk dalam *heat treatment* menurut Rajan (1994), yaitu:

- a. *Stress Relieving*
- b. *Annealing*
- c. *Spheroidizing*
- d. *Normalizing*
- e. *Hardening*
- f. *Tempering*
- g. *Austempering*
- h. *Martempering*
- i. *Sub-Zero Treatment*
- j. *Patenting*

Suroto dan Sudibyo (1983) memiliki tambahan pendapat mengenai proses-proses *heat treatment*, yaitu:

- a. *Recrystallization*
- b. *Full Annealing*
- c. *Homogenizing/ Diffusion Annealing*
- d. Pengerasan bainit

### **2.3.3. Hardening**

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), menyebutkan *hardening* adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis (daerah austenit), ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur austenit dan kemudian didinginkan secara mendadak. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan struktur Kristal martensit. Martensit adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal.

#### **2.3.4. Tempering**

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), menyebutkan *tempering* adalah proses pemanasan kembali suatu logam yang telah dikeraskan melalui proses *quenching* pada suhu di bawah suhu kritisnya selama waktu tertentu dan didinginkan secara perlahan-lahan. Tujuan proses ini adalah untuk mengurangi *internal stress*, mengubah susunan, mengurangi kekerasan (pelunakan logam), dan menaikkan/ mengembalikan keuletan logam sehingga didapatkan perpaduan yang tepat antara kekerasan dan keuletan logam uji.

#### **2.3.5. Annealing**

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), menyebutkan *annealing* adalah proses pemanasan logam sedikit di atas suhu kritis yang dibiarkan sampai suhu merata dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama. Tujuan proses ini adalah mengurangi *internal stress*, menghaluskan butiran, mengurangi kekerasan (pelunakan logam) sehingga setelah proses ini diperoleh sifat yang lebih plastis dan ulet. Sifat tersebut membuat benda kerja dapat dengan mudah dikerjakan oleh mesin dan kemudian dapat dikeraskan kembali. Struktur yang tidak seragam dan tegangan dalam akibat pengerjaan rol atau tempa pun dapat diatasi. Berdasarkan jenisnya *annealing* dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

##### **a. Full Annealing**

Pemanasan jenis ini bertujuan mendapatkan butiran yang kasar dengan temperatur di atas titik ubah atas.

##### **b. Homogenizing/ Diffusion Annealing**

Pemanasan difusi adalah pemanasan pada temperatur yang amat tinggi (di atas titik ubah Ac 3) dan ditahan dalam jangka waktu yang lama agar elemen-elemen paduan (termasuk atom C) dapat terbagi secara merata.

#### **2.3.6. Quenching**

*Quenching* adalah salah satu proses penting dalam proses heat treatment dan dapat sangat meningkatkan kekuatan metal. Salah satu efek samping yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah munculnya stress '*thermal*' dan '*transformational*' yang dapat menyebabkan retak dan distorsi. *Quenching* adalah

pendinginan mendadak. Proses ini sering digunakan pada industri metal (baja). Prinsip dasarnya adalah kinetika (proses perubahan ukuran partikel) dan termodinamika (perubahan suhu). Dimana termodinamika mendahului kinetika.

Misalnya, baja dingin dipanaskan bertahap maka ukuran partikel membesar, dan jika dibiarkan mendingin secara alamiah, ukuran partikelnya akan mengecil kembali. Pada *quenching*, baja panas didinginkan secara mendadak sehingga ukuran partikel baja masih besar (tidak sempat mengecil,) walaupun suhunya sudah rendah. Karena perubahan suhu (termodinamika) lebih cepat dibandingkan dengan proses mengecilnya (kinetika) partikel baja tersebut.

Tantangan teknis dalam proses 'quenching' adalah memilih medium dan proses yang tepat untuk meminimalisasikan berbagai stress dan sekaligus mencapai kecepatan transfer panas yang tepat untuk menghasilkan tingkat kekerasan metal yang diinginkan.

Berbagai medium 'quenching' termasuk air, air garam, mineral, dan minyak nabati, '*aqueous polymers*', dan '*salt baths*'. Air dan minyak adalah medium yang paling umum untuk metal.

Walaupun menggunakan air untuk 'quenching' membutuhkan waktu lebih cepat, hal ini juga lebih mungkin menyebabkan retak dan distorsi. Inilah sebabnya 'quenching' dengan minyak lebih banyak digunakan.

Setiap minyak yang berbeda mempunyai kemampuan pendinginan yang berbeda, jadi sangatlah penting untuk dapat menilai properti fisika dan kimia dari setiap minyak dan apa pengaruhnya terhadap dalam proses *quenching*.

#### **2.3.7. Stress Relieving**

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), *stress relieving* adalah salah satu jenis perlakuan panas, yaitu memanaskan sampai temperatur di bawah titik ubah (perlit mulai berubah menjadi struktur baja) dan kemudian didinginkan secara perlahan lahan dengan tujuan mengurangi/menghilangkan tegangan dalam. Tegangan dalam terbentuk akibat dari :

##### **a. Pengerjaan potong**

b. Pemanasan atau pendinginan yang tidak teratur dari pengerjaan tempa, tuang, atau las.

c. Pengerjaan bentuk dingin, misalnya: pengepresan, pelubangan tekan, pembengkokan atau pelurusan.

Tegangan dalam ini dapat mengganggu pengerjaan selanjutnya dari benda kerja, misalnya: terjadinya retakan, perubahan ukuran pada benda jadi, atau penyusutan pada perlakuan panas berikutnya. Temperatur terbaik pemanasan material baja untuk mereduksi tegangan yaitu antara 5500C sampai 6500C. Temperatur tersebut dipertahankan sampai selama 3 jam sesuai dengan besarnya benda kerja.

Pemanasan di bawah 5500C mempunyai akibat jelek bagi reduksi tegangan. Proses pendinginan yang berlangsung dengan cepat atau tidak teratur justru menimbulkan tegangan baru. Timbulnya tegangan baru ini dapat dicegah dengan pendinginan dalam dapur/oven sampai 4000C. Penting bahwa sesudah proses pemanasan reduksi tegangan ini benda kerja tidak boleh mengalami proses pengerjaan lain yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan dalam, misalnya: pelurusan.

#### **2.3.8. Metode Uji Kekerasan Logam**

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), uji kekerasan logam dapat digolongkan menjadi 3 metode, yaitu :

a. Metode Pengujian Menurut *Brinell* Tujuan uji kekerasan menurut *Brinell* adalah untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian *Brinell* sangat disarankan hanya diperuntukkan untuk material yang memiliki kekerasan sampai dengan 400 HB. Lebih dari itu dipakai pengujian *Rockwell* atau *Vickers*. Satuan kekerasan *Brinell* adalah HB yang merupakan hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam N yang dikalikan dengan faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan bola baja A dalam mm<sup>2</sup> . Bola baja memiliki garis tengah D dalam mm, sedangkan bekas luka tekan memiliki garis tengah d dalam mm. Notasi HB dilengkapi dengan indeks yang menyatakan syarat-syarat pengujian, yaitu: garis tengah bola, beban uji yang telah dikalikan faktor 0,102 dan lama pengujian (pembebanan uji). Contoh : HB/5/750/15 berarti kekerasan *Brinell* hasil pengujian dengan bola bergaris tengah 5 mm, beban uji  $F = \frac{750 \text{ N}}{0.102}$  dan lama

pengujian (pembebanan uji) 15 detik. Rumus pengujian kekerasan menurut *Brinell* adalah :

$$HB = \frac{0.102 F}{0.5 \pi \times D \times D - D^2 - d^2} \quad (2.1)$$

b. Metode Pengujian Menurut *Vickers*

Tujuan uji kekerasan menurut *Vickers* adalah untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap diamond/intan berbentuk piramida yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Satuan kekerasan *Vickers* adalah HV yang merupakan hasil bagi (koefisien) dari beban uji F dalam N yang dikalikan dengan faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan piramida diamond A dalam mm<sup>2</sup>. Notasi HV dilengkapi dengan indeks yang menyatakan syarat-syarat pengujian, yaitu: beban uji yang telah dikalikan faktor 0,102 dan lama pengujian (pembebanan uji). Pembebanan uji selama 15 detik tidak ditulis dalam indeks.

Contoh:

- i. HV 30 berarti kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji

$$F = \frac{30 N}{0.102} \text{ dan lama pembebanan uji 15 detik.}$$

- ii. HV 30/30 berarti kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji

$$F = \frac{30 N}{0.102} \text{ dan lama pembebanan uji 30 detik.}$$

Rumus pengujian kekerasan menurut *Vickers* adalah :

$$HV = \frac{0.102 F}{A} = \frac{0.102 F \times 2 \times \cos 22^\circ}{d^2} = \frac{0.102 F \times 1.8544}{d^2} \quad (2.2)$$

c. Metode Pengujian Menurut *Rockwell*

Tujuan uji kekerasan *Rockwell* adalah untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda penguji (dapat berupa bola baja atau kerucut diamond) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian benda kerja baja menggunakan kerucut diamond sebagai benda penguji dan disebut pengujian *Rockwell-C* (C = cone/tirus), sedangkan untuk material lain dipakai bola baja dan disebut pengujian *Rockwell-B* (B = ball / bola). Satuan kekerasan *Rockwell* adalah HRC atau HRB yang merupakan selisih antara sebuah konstanta dan dalamnya luka tekan permanen (e) yang dibagi dengan 0,002 mm.

- i. Rumus pengujian kekerasan menurut *Rockwell-C* adalah :

$$HR = \alpha - \frac{e \text{ (mm)}}{0.002 \text{ (mm)}} \quad (2.3)$$

Keterangan:  $\alpha$  bernilai 100 untuk indenter intan dan  $\alpha$  bernilai 150 untuk indenter baja.

ii. Rumus pengujian kekerasan menurut *Rockwell-B* adalah :

$$HR = \alpha - \frac{e \text{ (mm)}}{0.002 \text{ (mm)}} \quad (2.4)$$

Keterangan;  $\alpha$  bernilai 130 untuk indenter intan.

### 2.3.9. Pengertian Baja

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), baja merupakan paduan dari besi dan karbon (zat arang). Besi (Fe) adalah elemen metal dan karbon (C) adalah elemen non metal. Karbon dan besi yang terpadu secara kimiawi disebut sebagai besi karbid ( $Fe_3C$ ) atau sementit. Sifat-sifat bahan hasil akhir suatu persenyawaan antara dua bahan yang berbentuk gas itu sangat berbeda jika dibandingkan dengan sifat-sifat bahan awal. Contohnya sementit memiliki tiga atom besi (Fe) yang lunak bersenyawa dengan satu atom karbon (C) menghasilkan molekul yang sangat keras. Perubahan-perubahan yang diakibatkan perbedaan kadar karbon dapat dilihat pada gambar 2.7. a. Kadar karbon (%C) yang meningkat akan menyebabkan bertambah besarnya noda (flek) hitam (yang juga disebut flek perlit), bersama itu berkuranglah flek putih (ferrit/besi murni). b. Karbon mencapai 0,85% akan menyebabkan besi dalam keadaan jenuh terhadap karbon. Struktur seperti itu disebut perlit lamellar. Perlit lamellar yaitu campuran yang sangat halus dan berbentuk batang-batang kristal. Campuran kristal tersebut terdiri dari ferrit dan sementit. c. Kadar karbon yang bertambah besar menyebabkan sementit akan berkurang dan flek-flek perlit akan bertambah. Kadar karbon mencapai jenuh jika sudah sebesar 0,85% dengan demikian bertambah juga kekerasan dari baja.

### 2.3.10. Cutting Speed ( Cs )

Cutting speed / Kecepatan potong alat potong di mesin *milling* adalah jarak yang ditempuh oleh salah satu mata potong ( gigi ) dalam meter per menit. Cutting speed ditentukan berdasarkan :

1. Tabel
2. Perhitungan

Yang berdasarkan tabel terdapat sedikitnya 2 buah referensi yaitu :

1. Berdasarkan tabel material benda kerja,
2. Berdasarkan tabel material alat potong.

Hal – hal yang mempengaruhi Cutting speed adalah :

1. Material benda kerja,
2. Material alat potong,
3. Pendinginan (*cooling*).

Sedangkan untuk kondisi mesin itu menentukan besarnya putaran utama (n). Tabel untuk material benda kerja berbagai macam. Disini kita menggunakan tabel material yang dikeluarkan oleh DIN (Jerman Barat). Tabel yang digunakan antara lain :

1. Steel Comparison Table,
2. Tabel “Material gruppen” Bossard.

Tata caranya pemilihan Cs adalah sebagai berikut :

- a. Kita tentukan material dengan menggunakan “Steel Comparison Table, Material” yang kita cari dikomparasikan dengan material yang berasal / menggunakan standart DIN (Jerman Barat).
- b. Setelah diketahui material dengan standart DIN, kemudian kita gunakan tabel “Materialgruppen” untuk mencari material yang sama dengan material tersebut atau yang mendekati material tersebut pada kolom – kolom yang ada.
- c. Setelah ditemukan material tersebut, kita lihat pada baris paling atas yaitu besarnya v (kecepatan potong) pada kolom tersebut.
- d. Besarnya v yang didapat adalah Cs dari material yang kita cari.

Mencari Cs juga dapat digunakan dengan menggunakan rumus. Rumus mencarinya adalah sebagai berikut :

$$Cs = (\pi \times d \times n) / 1000 \text{ satuannya m/min}$$

dengan :

d = diameter alat potong, satuannya mm.

n = putaran spindle utama / alat potong, satuannya rpm.

### 2.3.11. Putaran Spindle Utama (n)

Hal – hal yang mempengaruhi putaran spindle utama / alat potong (n) antara lain :

1. Besarnya kecepatan potong (Cs),
2. Besarnya diameter alat potong (d),
3. Kondisi mesin.

Jika kecepatan potong yang dipakai terlalu tinggi maka *cutter* akan lekas tumpul, jika terlalu rendah kemampuan potongnya rendah, sehingga dalam menentukan kecepatan potong harus sesuai. Mencari n menggunakan rumus seperti yang tertulis diatas. Rumus mencarinya adalah sebagai berikut :

$$n = (1000 \times Cs) / (\pi \times d) \text{ satuannya rpm}$$

dengan :

d = diameter alat potong, satuannya mm.

Cs = kecepatan potong, satuannya m/menit.

Mencari n juga dapat menggunakan tabel.

### 2.3.12. Feeding (s)

*Feeding* untuk proses *milling* dibedakan menjadi Tiga (3) type, yaitu :

1. **Feed per minute:** Pergerakan meja dalam mm pada waktu 1 menit. Satuannya mm/menit. Simbolnya s / f.
  2. **Feed per cutter revolution:** Pergerakan meja dalam mm pada 1 kali putaran *milling cutter*. Satuannya mm / revolution. Simbolnya fo / so.
  3. **Feed per tooth:** Pergerakan meja dalam mm selama waktu *cutter* yang berputar pada benda kerja dari satu mata potong ke mata potong berikutnya. Satuannya mm/tooth. Simbolnya fz / sz.
- a. Kecepatan potong (Cs),
  - b. Jenis material alat potong,
  - c. Jenis alat potong,
  - d. Diameter alat potong (d).
  - e. Setelah kita mengetahui data diatas maka kita harus dapat memilih tabel yang sesuai. Sebagai contoh kita gunakan tabel yang berdasarkan standart Jerman dengan material alat potongnya HSS.

- f. Dari tabel tersebut kita cari berdasarkan jenis alat potongnya, misalnya *End Mill Cutter Roughing*.
- g. Kemudian pada tabel tersebut kita cari kolom yang sesuai berdasarkan Cs yang telah kita dapatkan. Kemudian kita cari diameter alat potong sesuai dengan data yang ada.
- h. Dari kolom Cs tersebut kita tarik ke bawah, dari diameter alat potong kita tarik ke kanan. Sehingga akan ketemu besarnya n dan s pada Cs dan diameter alat potong tersebut.

### **2.3.13. DOC (*Depth of Cut*)**

*Depth of cut* atau kedalaman pemakanan adalah gerakan pendekatan alat potong untuk masuk kedalam benda kerja. Nilai dari *depth of cut* adalah constant. *Depth of cut* akan bertambah nilainya di setiap siklus pergerakan pemakanan. Kedalaman pemotongan adalah ketebalan geram (*chip*) yang akan dilepaskan oleh pahat dari benda kerja. Untuk proses pembubutan dengan pengurangan diameter yang besar kedalaman pemotongan dilakukan dengan cara bertahap, yaitu proses pengasaran (*roughing*) dan proses pemotongan akhir (*finishing*). Pada proses pengasaran digunakan kedalaman pemotongan yang cukup tinggi karena pada proses tersebut tidak memperhatikan kualitas permukaan hasil pemotongan dan selain itu untuk efisiensi proses pemotongan. Sedangkan pada proses pemotongan akhir digunakan kedalaman pemotongan yang rendah agar didapatkan kualitas permukaan yang baik.

### **2.3.14. Mesin Milling**

#### **A. Pengertian dasar Mesin Milling**

##### **1. Definisi Mesin Milling**

Proses cutting konvensional dengan menggunakan mesin milling, dihasilkan suatu permukaan yang rata atau bentuk – bentuk lain yang spesifik (profil, radius, silindris, dan lain – lain) dengan ukuran dan kualitas tertentu dan menyisakan chip.

##### **2. Prinsip dasar kerja milling**

Proses pemotongan benda kerja yang diam dengan meja yang bergerak menuju alat potong yang berputar.

##### **3. Tujuan**

Menghasilkan benda kerja dengan permukaan yang rata atau bentuk – bentuk lain yang spesifik (profil, radius, silindris, dan lain – lain) dengan ukuran dan kualitas tertentu.

## **B. Gerakan – Gerakan Pada Mesin Milling (*Frais*)**

Ada 3 (Tiga) gerakan yang terdapat pada milling (*frais*) yaitu :

### **1. Gerakan Utama**

Gerakan berputarnya alat potong pada spindle utama. Satuan yang digunakan adalah rpm (rotasi per menit) dan simbolnya  $n$ .

### **2. Gerakan pemakanan (*Feeding*)**

Gerakan benda kerja pada waktu proses pemotongan. Satuan yang digunakan adalah mm / menit dan simbolnya  $s$ .

### **3. Gerakan setting (*Depth of Cut*)**

Gerakan mendekatkan benda kerja pada alat potong. Satuan yang digunakan adalah mm dan simbolnya  $a / t$ .

## **C. Prinsip Pemotongan Pada Mesin Milling (*Frais*)**

### **1. Pemotongan *Face Cutting***

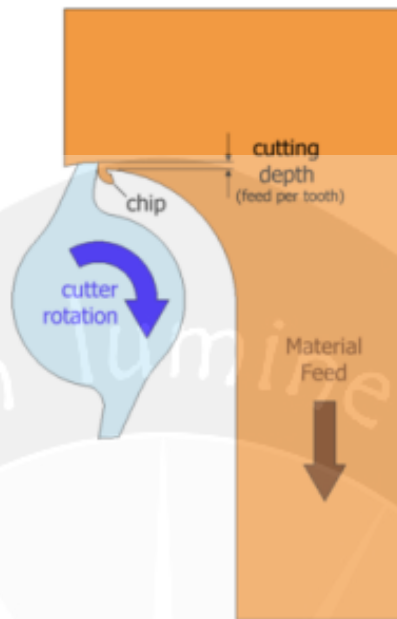
Pemotongan benda kerja dengan menggunakan sisi potong bagian depan (Face) dari alat potong (*Cutter*).

### **2. Pemotongan *Side Cutting***

Pemotongan dengan menggunakan sisi potong bagian samping (*Side*) dari alat potong (*Cutter*). Pemotongan ini juga dibedakan menjadi :

#### **a. Pemotongan *climbing***

Pemotongan benda kerja dengan arah putaran alat potong (*Cutter*) searah dengan arah gerakan pemakanan benda kerja (*Feeding*).

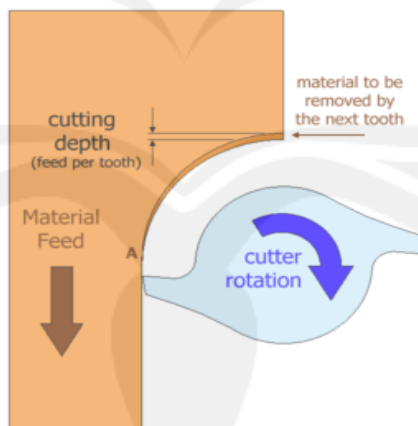


**Gambar 2. 1. Ilustrasi Pergerakan Pemakanan Milling**

(sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

**b. Pemotongan conventional**

Pemotongan benda kerja dengan arah putaran alat potong (*Cutter*) berlawanan arah dengan arah gerak pemakanan benda kerja (*Feeding*).



**Gambar 2. 2. Ilustrasi Pergerakan Pemakanan Milling**

(sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

### **2.3.15. Perancangan Eksperimen**

Guna mempertahankan atau meningkatkan kualitas produk diperlukan pengukuran dan penentuan parameter-parameter terbaik/optimal dengan melakukan perancangan eksperimen. Definisi perancangan eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betulterdefinisikan) 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 mempelajari performansi proses dan sistem.

### **2.3.16. Brainstorming**

*Brainstorming* merupakan metode kreatif paling terkenal (Cross, 1994) yang digunakan untuk membangkitkan ide-ide kreatif. *Brainstorming* umumnya dilakukan pada kelompok yang kecil yaitu 4-8 orang (Cross, 1994). Partisipan dari *Brainstorming* harus beragam dan mereka tidak hanya menguasai mengenai pengetahuan di area masalah, tetapi juga memiliki keahlian yang luas (Cross, 1994).

Menurut Cross (1994), masalah biasanya diformulasikan dalam bentuk pertanyaan. Partisipan biasanya didiamkan selama beberapa menit untuk menulis ide pertama yang muncul di pikiran. Ide tersebut ditulis pada kertas dan hanya satu ide tertulis pada satu kertas. Setelah itu, setiap partisipan membacakan ide yang mereka tulis dan tidak boleh ada kritik dari partisipan yang lain. Ide yang dibacakan merupakan stimulus untuk pemunculan ide berikutnya. Cara untuk melakukan evaluasi adalah dengan mengklarifikasi ide atau mengindikasikan tipe utama pada ide yang muncul.

### **2.3.17. 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*) yaitu 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 (Mitra,1998).

*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).

### **2.3.18. Orthogonal Array**

*Orthogonal array* adalah salah satu kelompok *Fractional Factorial Experiment* (FFE). *Orthogonal array* dapat untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. *Orthogonal array* berfungsi untuk mendesain suatu

percobaan guna menganalisis data percobaan. Pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta level yang akan diamati.

Misal:  $L_{16}(2^4)$

- 16 artinya mengalami perlakuan sebanyak 16 kali
- 4 berarti ada 4 level
- 2 adalah jumlah faktor

Pemilihan *orthogonal array* harus memenuhi pertidaksamaan (Belavendram,1995):

$$V_{OA} \geq V_T \quad (2.5)$$

yaitu jumlah eksperimen – 1  $\geq$  jumlah total d.o.f untuk semua faktor dan interaksinya.

dimana:

$V_{OA}$  : jumlah percobaan – 1

$V_T$  : jumlah total d.o.f dari seluruh faktor

Berikut tabel standar untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh *Taguchi* (Belavendram, 1995) :

**Tabel 2.2. Standar Orthogonal Array**

| Available Taguchi Designs (with Number of Factors)                                                                                             |                      |         |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|
|                                                                                                                                                | Single-level designs |         |         |         |
| Designs                                                                                                                                        | 2 level              | 3 level | 4 level | 5 level |
| L4                                                                                                                                             | 2-3                  |         |         |         |
| L8                                                                                                                                             | 2-7                  |         |         |         |
| L9                                                                                                                                             |                      | 2-4     |         |         |
| L12                                                                                                                                            | 2-11                 |         |         |         |
| L16                                                                                                                                            | 2-15                 |         |         |         |
| L16                                                                                                                                            |                      |         | 2-5     |         |
| L25                                                                                                                                            |                      |         |         | 2-6     |
| L27                                                                                                                                            |                      | 2-13    |         |         |
| L32                                                                                                                                            | 2-31                 |         |         |         |
| <div> <span>◀ ▶</span> <span>Single-level</span> <span>Mixed 2-3 level</span> <span>Mixed 2-4 level</span> <span>Mixed 2-8 level</span> </div> |                      |         |         |         |

(sumber : *Software Minitab14*)

### 2.3.19. Generalized Linear Model (GLM)

Generalized Linear Model (GLM) merupakan pengembangan dari model linear “klasik” khususnya dalam mengatasi kendala peubah respon yang tidak normal. Namun demikian, peubah respon dalam GLM diasumsikan memiliki sebaran yang termasuk dalam keluarga sebaran eksponensial. Ada tiga komponen utama dalam GLM (McCullagh dan Nelder, 1989), meliputi :

1. Komponen acak, yaitu peubah respon  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  yang merupakan contoh acak dimana  $Y_i \sim (\mu_i, \sigma^2)$  dan termasuk dalam keluarga sebaran eksponensial .
2. Komponen sistematis yang merupakan fungsi dari peubah penjelas :  $\eta_i = \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_p x_{pi}$
3. Fungsi hubung yang menghubungkan suatu fungsi dari nilai tengah komponen acak dengan komponen sistematis :  $g(\mu_i) = \eta_i$  .

Jika  $Y$  adalah suatu peubah acak, baik kontinu maupun diskret, dan termasuk dalam keluarga sebaran eksponensial, maka fungsi peluang atau fungsi kepekatan peluang  $Y$  dapat dimodelkan sebagai berikut

$$f(y) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\} \quad (2.6)$$

dengan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  merupakan fungsi spesifik yang diturunkan berdasarkan fungsi peluang atau fungsi kepekatan peluang dari  $Y$ .

*Generalized Linear Model* (GLM) juga merupakan sebuah metode untuk menguantifikasi hubungan antara variable respon (bebas) dengan variable predictor (terikat). Dengan menggunakan GLM, dapat menjelaskan bagaimana perubahan nilai dari variabel respon apabila terdapat perubahan dari variabel-variabel prediktornya. Dua hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan GLM ialah :

1. Distribusi dari variabel respon merupakan anggota dari distribusi keluarga eksponensial.
2. Transformasi terhadap nilai *mean* dari variabel respon memiliki hubungan linear dengan variabel-variabel prediktornya.

$$g(\mu) = x' \beta \quad (2.7)$$

### **2.3.20. Penentuan Jumlah Replikasi**

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu eksperimen, dengan kondisi eksperimen yang sama pula. Sedangkan perlakuan adalah sekumpulan kondisi-kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup yang dipilih. Perlakuan ini bisa berbentuk tunggal atau terjadi dalam bentuk kombinasi. Tujuan utama dari replikasi, menurut Fisher, adalah untuk mendapatkan harga estimasi kesalahan eksperimen. Sedangkan Davis menyatakan bahwa tujuan replikasi adalah untuk menambah ketepatan hasil eksperimen. Penambahan replikasi, menurut William G. Cochran, akan mengurangi tingkat kesalahan eksperimen. Pengurangan kesalahan tersebut secara statistik dinyatakan sebagai berikut :

Bilangan dasar yang digunakan untuk menyatakan kesalahan eksperimen adalah, "*Error Variance Iper Experimental Unit*", yang didefinisikan sebagai harga ekspektasi dari kuadrat kesalahan yang terjadi dalam suatu eksperimen.

Dari definisi diatas, jelaslah bahwa tingkat kesalahan eksperimen akan berkurang dengan bertambahnya jumlah replikasi. Untuk menentukan jumlah replikasi yang diperlukan, perlu dipertimbangkan beberapa hal seperti:

1. besar perbedaan yang akan dideteksi
2. besar variasi yang ada dalam populasi dan
3. resiko yang akan diambil.