

# Penelitian Optimasi Temperatur yang Mempengaruhi Kekerasan pada Pembuatan Grinding Ball dengan Cara Hot Rolling

Didik Wahjudi

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Amelia

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Kekerasan merupakan salah satu sifat yang dibutuhkan oleh *grinding ball*. Untuk mendapatkan sifat tersebut hingga saat ini masih dilakukan dengan cara *trial and error* sehingga sangatlah tidak efektif. Maka dari itu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi kekerasan *grinding ball* dan level yang optimal. Ada tiga parameter yang diduga mempengaruhi kekerasan *grinding ball*, yaitu temperatur raw material ( $T_m$ ), temperatur awal proses *quenching* ( $T_q$ ) dan temperatur akhir proses *quenching* ( $T_t$ ). Untuk menganalisa parameter-parameter yang berpengaruh digunakan desain eksperimen. Desain eksperimen yang digunakan adalah rancangan faktorial  $2^3$ , masing-masing terdiri atas 2 level. Dari percobaan dan analisa data, tampak bahwa parameter yang berpengaruh adalah  $T_q$ ,  $T_t$  serta interaksi antara  $T_q$  dan  $T_t$ . Nilai  $T_q$  dan  $T_t$  yang optimum adalah  $905 \pm 10^\circ\text{C}$  dan  $133 \pm 3^\circ\text{C}$ , sedang nilai  $T_m$  yang dianjurkan  $1110 \pm 10^\circ\text{C}$ .

Kata kunci: Desain eksperimen, *grinding ball*, temperatur *quenching*

## Abstract

*Hardness is one of the mechanical properties needed in a grinding ball. The hardness of grinding ball produced up to now is gained by trial and error to those parameters which are presumed influencing the hardness. Research is done to get parameter influence the hardness of grinding ball and optimum level. Three parameters presumed influencing the hardness are temperature of raw material ( $T_m$ ), the initial temperature of quenching ( $T_q$ ), and the final temperature of quenching ( $T_t$ ). Design of experiment is used to analysis which parameter influence the hardness. A  $2^3$  factorial design is chosen, each parameter has two level. According to experiment and data analysis, the influencing parameter are  $T_q$ ,  $T_t$  and interaction between  $T_q$  and  $T_t$ . The optimum value of  $T_q$  and  $T_t$  are  $905 \pm 10^\circ\text{C}$  and  $133 \pm 3^\circ\text{C}$ , value of  $T_m$  is  $1110 \pm 10^\circ\text{C}$ .*

Keywords: experiment of design, *grinding ball*, quenching temperature

## 1. Pendahuluan

Logam hasil tambang biasanya masih dalam bentuk bijih-bijih logam yang di dalamnya banyak terdapat kotoran (*impurities*). Untuk meningkatkan kadar logam dilakukan pemurnian bijih logam dan hasilnya berupa konsentrat. Salah satu proses pemurnian yaitu dengan kominusi yang merupakan proses reduksi ukuran bijih mineral menjadi ukuran yang lebih kecil.

Kominusi dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu *crushing* dan *grinding*. Tahap awalnya adalah *crushing*. Tahap akhir berupa *grinding*,

yang dilakukan dengan menggunakan media *grinding* yang dapat berbentuk batang ataupun bola (*ball*). *Grinding ball* harus memiliki kekerasan dan ketangguhan yang tinggi. Sifat ini dapat diperoleh dengan melakukan *heat treatment* pada *grinding ball*. Banyak variabel yang mempengaruhi kekerasan dan ketangguhan selama proses *heat treatment* sehingga perlu ditentukan level yang optimal untuk mendapatkan kekerasan hingga minimal 62 HRc.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Grinding Ball

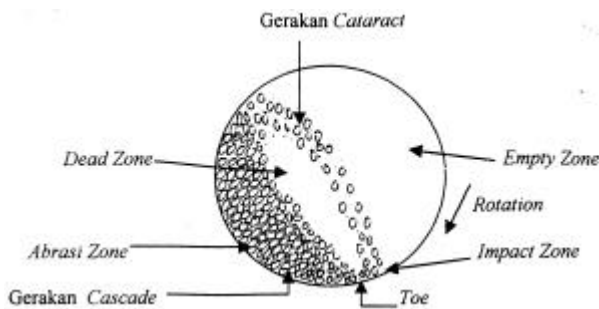
*Grinding ball* merupakan salah satu media untuk proses *grinding*. Bijih-bijih logam yang di

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 1 April 2001.

*grinding* umumnya berukuran 15 mm dan direduksi hingga 10  $\mu\text{m}$  - 300  $\mu\text{m}$ . Gaya-gaya yang bekerja untuk memecahkan bijih logam tersebut merupakan gabungan dari gaya impact, gaya robek (*chipping*) dan gaya abrasi (*gesek*). Peralatan *grinding* yang biasanya dipakai dalam industri adalah *tumbling mill* atau *grinding mill*. Peralatan tersebut berbentuk silinder yang berputar pada sumbu dengan posisi horisontal dengan 50% volumenya berisi *grinding ball*. Bijih logam dan air dimasukkan secara kontinyu. Air disini berfungsi menjaga fluiditas dan plastisitas bijih logam. Bola akan bergerak bebas dan tidak terikat satu sama lain serta berukuran jauh lebih besar dan berat daripada bijih logam. Adanya gesekan antara dinding *mill* dan bola, bola akan terangkat hingga suatu titik dimana gaya gravitasi lebih besar dari gaya friksi dan gaya sentrifugal. Kemudian bola akan jatuh ke bawah dengan gerakan *cataract* atau *cascade* yang tergantung pada kecepatan putar *tumbling mill* atau *grinding mill*.

Pada gerakan *cataract*, kecepatan putar harus diatur sedemikian sehingga bola tidak jatuh pada dinding bawah *mill* melainkan jatuh pada daerah impact sehingga dinding *mill* tidak akan cepat aus.

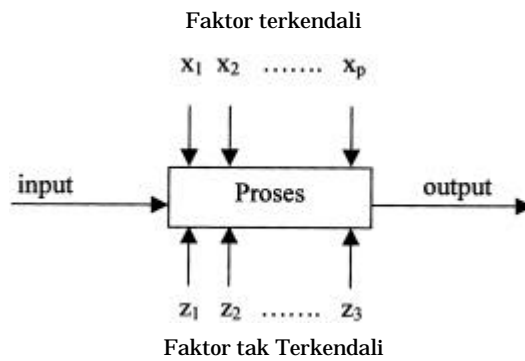
Gerakan *cascade*, ditimbulkan karena putaran *mill* yang relatif lambat sehingga dinding *mill* akan mendominasi proses kominusi. Reduksi ukuran terjadi karena gaya abrasi sehingga menghasilkan produk yang lebih halus.



Gambar 1. Gerakan dan Daerah Kerja di dalam *Grinding Mill*

Daerah inti, merupakan daerah yang paling banyak terjadi gaya impact dan gaya abrasi. Pada daerah ini terjadi reduksi ukuran bijih logam yang paling besar. Bentuk bola merupakan bentuk optimal dibandingkan dengan bentuk batang karena mempunyai permukaan optimal persatuan volume, berat optimal persatuan luas permukaan dan mobilitas ke segala arah.

## 2.2 Desain Eksperimen



Gambar 2. Diagram Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kualitas

- Menentukan variabel yang paling berpengaruh terhadap output,  $y$ .
- Menentukan nilai  $x$  yang berpengaruh sedemikian hingga nilai output mendekati nilai nominal yang diinginkan.
- Menentukan nilai  $x$  yang berpengaruh sedemikian hingga variabilitas pada  $y$  sekecil mungkin.
- Menentukan nilai  $x$  yang berpengaruh sehingga variabel tak terkendali sekecil mungkin.

## 2.3 Analisa Variansi dan Nilai $p$ ( $p$ -value)

Analisa variansi merupakan analisa secara statistik yang digunakan untuk menyelidiki pengaruh dari beberapa parameter yang telah ditentukan terhadap suatu respon tertentu dan untuk menganalisa data-data yang diperoleh dari beberapa parameter yang telah ditentukan. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah suatu efek dari parameter ukur tersebut dapat berdiri sendiri ataukah berinteraksi dengan yang lain.

Untuk menyatakan apakah parameter yang digunakan tersebut berpengaruh atau tidak digunakan pendekatan dengan  $p$ -value dengan cara membandingkan apakah nilai dari hasil perhitungan dengan nilai tingkat signifikan ( $\alpha$ ).

## 2.4 Baja

Baja yang digunakan untuk bola adalah tipe AISI 5077. Baja ini merupakan baja paduan rendah ( $< 2,5\%$ ) dengan kandungan Cr 0,5 %, C 0,77 %, dan sisanya berupa Mn, Si, Ni, V, Mo dan P.

Diagram fase baja akan berubah dengan adanya unsur paduan. Unsur paduan yang berfungsi sebagai *austenit stabilizer* yaitu Ni dan Mn. Unsur ini cenderung untuk menurun-

kan temperatur eutektoid dan memperluas daerah austenit. Sedang unsur penstabil ferrit akan menggeser titik eutektoid ke kiri dan memperluas daerah ferrit. Hal ini harus diperhitungkan dalam proses laku panas terhadap baja paduan.

Unsur paduan juga akan menurunkan temperatur awal pembentukan martensit  $M_s$  dan akhir pembentukan martensit  $M_f$ , ini berarti martensit mudah terbentuk atau akan menaikkan *hardenability* baja. Temperatur  $M_s$  dan  $M_f$  yang semakin rendah akan menyebabkan timbulnya *retained austenit* karena mungkin  $M_f$  sedemikian rendahnya sehingga pada temperatur kamar masih banyak terdapat austenit, sehingga kekerasan maksimum tidak tercapai.

### 2.5 Quenching (hardening)

*Hardening* merupakan salah satu laku panas dalam kondisi *non equilibrium*. Proses laku panas tersebut bertujuan untuk mengubah struktur mikro logam menjadi martensit. Sedangkan struktur mikro dan kadar karbon merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kekerasan baja.

*Quenching* dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur austenit dan ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian didinginkan dengan cepat. Kekerasan pada proses *quenching* dipengaruhi oleh beberapa faktor: temperatur austenitising, homogenitas austenit, laju pendinginan, kondisi permukaan dan ukuran benda kerja serta *hardenability* baja.

### 2.6 Hot Rolling

Pada proses *hot rolling* akan membentuk suatu material batang menjadi bola dengan cara memberi tekanan kepada benda kerja sehingga material berada didaerah pembentukannya berubah bentuk.

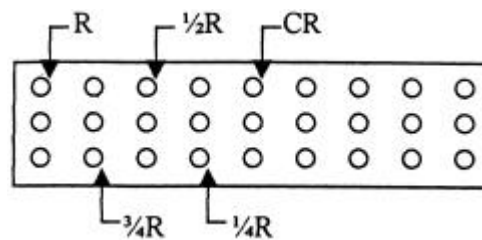
## 3. Langkah Percobaan

Menentukan variabel-variabel yang mempengaruhi kekerasan dan ketangguhan bola dengan nilai levelnya, yaitu :

1. Variabel respon, berupa kekerasan volume rata-rata (AVH) minimal 62 HRc.  

$$AVH = (0,333 \times R) + (0,426 \times \frac{3}{4} R) + (0,191 \times \frac{1}{2} R) + (0,151 \times \frac{1}{4} R) + (0,002 \times R)$$
2. Variabel bebas/faktor, meliputi:
  - a. temperatur raw material,  $T_m: 1110 \pm 10^\circ C$  dan  $1160 \pm 10^\circ C$

- b. temperatur awal proses *quenching*,  $T_q: 870 \pm 10^\circ C$  dan  $905 \pm 10^\circ C$
- c. temperatur akhir proses *quenching*,  $T_t: 133 \pm 3^\circ C$  dan  $153 \pm 3^\circ C$



Gambar 3. Posisi Pengujian Kekerasan Volume Rata-rata

## 4. Data Eksperimen

Hasil perhitungan kekerasan volume rata-rata eksperimen dengan variasi temperatur raw material, temperatur awal dan temperatur akhir proses *quenching*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kekerasan Volume Rata-rata

run	R	$\frac{3}{4} R$	$\frac{1}{2} R$	$\frac{1}{4} R$	CR	AVH
1	64,389	63,528	60,569	57,903	55,667	62,910
2	64,903	64,111	58,528	54,625	53,000	62,800
3	65,125	63,792	59,250	56,917	54,528	62,995
4	64,389	64,014	60,875	57,528	55,208	63,190
5	64,313	64,042	61,333	54,604	53,208	63,111
6	64,806	64,417	62,069	57,236	56,306	63,714
7	65,208	63,958	58,597	55,264	52,833	62,881
8	63,847	63,556	60,139	57,389	56,028	62,670
9	64,319	64,333	62,014	55,458	53,639	63,264
10	64,514	64,000	60,417	56,708	54,417	63,236
11	64,431	64,611	61,264	55,250	53,278	63,152
12	64,917	64,917	59,528	54,986	52,250	63,225
13	64,333	64,139	62,417	57,722	56,944	63,532
14	64,208	63,917	61,681	55,417	53,806	63,132
15	65,472	64,931	62,556	57,028	53,944	64,231
16	64,972	64,847	62,722	58,722	56,639	64,154

## 5. Analisa Data

Dari hasil analisa uji statistik (tabel 2) didapatkan *p-value*  $< 0,05$  pada faktor temperatur awal proses *quenching* ( $T_q$ ), temperatur akhir proses *quenching* ( $T_t$ ) dan interaksi antara temperatur awal dan temperatur akhir proses *quenching*. Hal ini menunjukkan faktor tersebut diatas merupakan faktor yang signifikan untuk mendapatkan kekerasan pada *grinding ball*.

**Tabel 2. Analisa Variasi (Anova)**

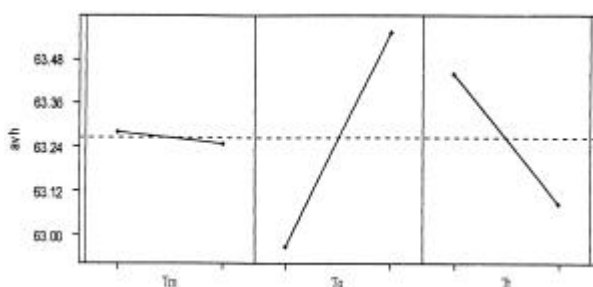
Factor	Levels	Values					
Tm	2	-1	1				
Tq	2	-1	1				
Tt	2	-1	1				

Analysis of Variance for avh						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tm	1	0.00375	0.00375	0.00375	0.06	0.806
Tq	1	1.38592	1.38592	1.38592	23.93	0.000
Tt	1	0.51373	0.51373	0.51373	8.87	0.018
Tm*Tq	1	0.04233	0.04233	0.04233	0.73	0.417
Tm*Tt	1	0.07036	0.07036	0.07036	1.21	0.302
Tq*Tt	1	0.47300	0.47300	0.47300	8.17	0.021
Tm*Tq*Tt	1	0.02273	0.02273	0.02273	0.39	0.548
Error	8	0.46331	0.46331	0.05791		
Total	15	2.97512				

Temperatur awal proses *quenching* memberikan pengaruh paling besar terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini karena martensit hanya terbentuk pada fase austenit yang didinginkan dengan sangat cepat. Logam akan bertransformasi allotropik dari ferrit menjadi austenit pada temperatur kritis bawah  $A_1$ .

Dengan semakin meningkatnya temperatur maka ferrit yang berubah menjadi austenit akan semakin banyak, ferrit akan habis dan menjadi austenit semuanya pada temperatur  $A_3$ . Semakin tinggi temperatur awal *quenching*, austenit yang terbentuk semakin banyak dan mencapai maksimum pada temperatur  $A_3$ . Austenit yang semakin banyak akan menghasilkan martensit yang semakin banyak pula pada pendinginan yang cepat. Hal ini akan mengakibatkan kekerasan akan meningkat pula. Analisa ini dapat dilihat pula pada grafik *main effect plot* pada gambar 4.

Gambar 4. Grafik *Main Effect Plot-Means* for AVH

Temperatur akhir proses *quenching* juga memberikan pengaruh terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini dikarenakan pada proses pendinginan yang cepat, martensit akan terbentuk jika laju pendinginan melebihi laju pendinginan kritis. Seiring dengan turunnya

temperatur pada pendinginan yang cepat, austenit akan bertransformasi menjadi martensit ketika melewati garis  $M_s$ . Semakin rendah temperatur pendinginan maka austenit yang terbentuk akan semakin banyak sehingga kekerasan yang diperoleh akan semakin tinggi.

Interaksi antara temperatur awal dan temperatur akhir proses *quenching* juga mempengaruhi kekerasan pada *grinding ball*. Lama proses pencelupan pada proses *quenching* mempengaruhi kekerasan. Semakin lama waktu pencelupan, berarti memberi waktu yang cukup lama bagi austenit untuk bertransformasi menjadi martensit. Pada bagian tengah *grinding ball* akan mengalami laju pendinginan yang lambat dibanding di bagian permukaannya sehingga akan menyebabkan waktu yang diperlukan untuk bertransformasi ke martensit menjadi lebih lama.

Temperatur raw material ( $T_m$ ) tidak memberi pengaruh terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini dikarenakan terbentuknya martensit karena adanya proses pendinginan yang cepat. Sedangkan temperatur awal material tidak berpengaruh karena material tersebut tidak mengalami proses pendinginan yang cepat.

Interaksi antara temperatur raw material dan temperatur awal proses *quenching* tidak berpengaruh terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini disebabkan proses pemanasan material hingga material yang terbentuk menjadi bola tidak mengalami proses pendinginan yang cepat melainkan bola yang terbentuk dibawa terlebih dahulu ke wadah pencelupan. Selama bola dibawa ke wadah pencelupan temperatur material masih tetap tinggi.

Interaksi antara temperatur raw material dan temperatur akhir proses *quenching* tidak berpengaruh terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini disebabkan karena temperatur raw material tidak secara langsung mempengaruhi temperatur akhir proses *quenching*.

Interaksi antara temperatur raw material, temperatur awal dan temperatur akhir proses *quenching* tidak berpengaruh terhadap kekerasan *grinding ball*. Hal ini disebabkan karena temperatur raw material dan temperatur awal proses *quenching* keduanya tidak mengalami perubahan yang berarti sehingga tidak menyebabkan terjadinya transformasi allotropik.

## 6. Kesimpulan

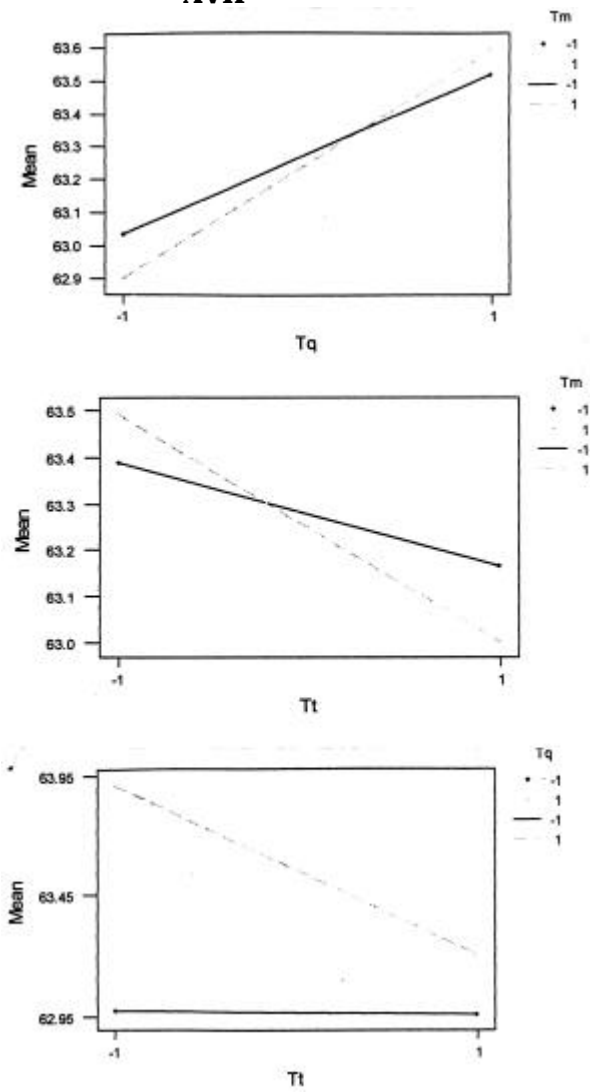
Dari hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur terhadap kekerasan *grinding ball*, maka dapat disimpulkan bahwa kekerasan

*grinding ball* dipengaruhi oleh temperatur awal dan temperatur akhir proses *quenching* serta interaksi antara keduanya. Temperatur awal proses *quenching* sebaiknya diatur pada  $905 \pm 10^\circ \text{C}$  dan temperatur akhir proses *quenching* pada  $133 \pm 3^\circ \text{C}$ . sedangkan temperatur awal material pada  $1100 \pm 10^\circ \text{C}$ . Untuk temperatur raw material dapat dilakukan suatu penelitian lagi apakah memang membutuhkan temperatur yang cukup tinggi tersebut.

### Daftar Pustaka

1. Montgomery, Douglas C., *Design and Analysis of Experiment*, 4<sup>th</sup> ed. New York: John Willey and Sons, 1997.
2. Pollack, Herman W., *Material Science and Metallurgy*, 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: A. Reston Book, 1988.
3. Avner, Sidney H., *Introduction to Physical Metallurgy*, 2<sup>nd</sup> ed. Tokyo: Mc. Graw-Hill International Book Company, 1982.
4. Zakharov, B., *Heat Treatment of Metals*, Moscow: Foreign languages Publishing House
5. Suherman, Wahid, *Ilmu Logam*, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

**Lampiran 1. Interaksi plot-rata-rata untuk AVH**



**Lampiran 2. Diagnostik model residual**

