



**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, BERAT, DAN DIAMETER BOLA
PADA *PLANETARY BALL MILL SIZER* TERHADAP PENINGKATAN
PRODUKSI *ZINCOXIDE***

SKRIPSI

Oleh:

Muchamad Verizal Setyo Wardana

141910101025

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, BERAT, DAN DIAMETER BOLA
PADA *PLANETARY BALL MILL SIZER* TERHADAP PENINGKATAN
PRODUKSI *ZINCOXIDE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu
Syarat untuk menyelesaikan program studi teknik mesin (S1)
dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh

Muchamad Verizal Setyo Wardana

NIM 141910101025

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS JEMBER
JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, nikmat serta karunianya. Dengan segenap kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Bpk. Achmad Zaenal Arifin, Ibu Endang Sitiyawati yang telah memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Keluarga besar Achmad Sholeh yang telah memberikan dukungan, do'a dan semangat untuk menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Negeri Jember .
3. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. dan Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T.selaku pembimbing tim riset MaGNIFIEd yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
4. Bapak Ir. FX. Kristanta, M.Eng selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri M.T. selaku pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1) sehingga mendapatkan gelar S.T.
6. Ovi Evela. Amd. K L. yang telah memberikan dukungan, do'a dan semangat untuk menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember
7. Semua guru Taman Kanak-kanak HangTuah 4, Sidoarjo yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Dasar HangTuah 11, Sidoarjo yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Negeri 2, Sidoarjo yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.

10. Semua guru Sekolah Menengah Akhir Negeri 1, Gedangan yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
11. Tetangga Badik 1 Komplek TNI-AL Tebel, Sidoarjo yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga mendapatkan gelar S.T.
12. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga mendapatkan gelar S.T.
13. Arif Hidayatulah yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga mendapatkan gelar S.T.
14. Rekan-rekan Komplek TNI-AL Tebel, Sidoarjo yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga mendapatkan gelar S.T.

MOTTO

*Jangan Menyerah, Karena Hidup Seperti BallMill Kadang Di atas Kadang Di
bawah, Kadang Di kanan Kadang Di kiri*
(Muchamad Verizal Setyo Wardana)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muchamad Verizal Setyo Wardana

NIM : 141910101025

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Kecepatan putar, Berat, dan Diameter Bola pada *Planetary BallMill Sizer* Terhadap Peningkatan Produksi *ZincOxide*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2019
yang menyatakan,

Muchamad Verizal Setyo Wardana.
NIM 141910101025

SKRIPSI

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, BERAT, DAN DIAMETER BOLA
PADA *PLANETARY BALL MILL SIZER* TERHADAP PENINGKATAN
PRODUKSI *ZINCOXIDE***

Oleh

Muchamad verizal setyo wardana

NIM 141910101025

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. FX. Kristanta, M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Kecepatan Putar, Berat, dan Diameter Bola pada *Planetary BallMill Sizer* Terhadap Peningkatan Produksi *ZincOxide*” telah di uji dan di sahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. FX. Kristanta, M.Eng.
NIP. 196501202001121001

Ir. Ahmad Syuhri M.T.
NIP. 196701231997021001

Tim Penguji

Penguji I

Penguji II

Ir. Digdo Lisyadi Setyawan, MSc.
NIP. 196806171995011001

Danang Yudistiro, S.T., M.T.
NIP. 197902072015041001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Kecepatan Putar, Berat, dan Diameter Bola pada *Planetary BallMill Sizer* Terhadap Peningkatan Produksi *ZincOxide*; Muchamad Verizal Setyo Wardana, 141910101025; 80 halaman; Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Planetary BallMill Sizer merupakan permesinan yang berperan sangat penting dalam bidang industri, karena karakteristik *Planetary BallMill Sizer* sebagai alat penghancur material dengan tumbukan dan gesekan jenis sebuk dalam skala besar maupun kecil. Bahan yang akan dilakukakn proses penggilingan yaitu sebuk *ZincOxide* (ZnO) dengan ukuran produk 64 mikron. Tipe material yang umumnya digunakan untuk media penggiling diantaranya *hardness steel*, *tool steel*, *stainlees steel*, *hardnes chromium steel*, *cramic alumina* dan masih banyak lagi.

Prinsip kerja *planetary ball mill sizer* adalah material yan berbentuk serbuk dimasukkan kedalam sebuah silinder yang terbuat dari *stainless steel* dengan beberapa bola didalamnya dan bergerak berputar secara terus menerus. Didalam silinder tersebut bola-bola akan saling bertumbukan. Akibat tumbukan bola maka serbuk yang di masukkan kedalam silinder akan saling bertumbukan antara bola dengan serbuk tersebut, akibat dari saling tumbuk antar serbuk dan bola maka partikel akan pecah, proses tersebut akan dilakukan secara terus menerus hingga ukuran partikel mencapai yang di inginkan.

Proses pengolahan data yang digunakan yaitu menggunakan metode Taguci L27. Pengolahan data dengan metode Taguci bertujuan untuk mengetahui parameter apa yang signifikan dan seberapa besar kontribusi parameter tersebut pada proses pengurangan ukuran partikel *Zincoxide*. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Kecepatan putar (rpm) dengan 3 variasi (300,350, 400), Perbandingan berat bola terhadap serbuk dengan 3 variasi (10:1, 15:1, 20:1), diameter bola dengan 3 variasi (5mm dan 8mm, 5mm dan 10mm, 8mm dan 10mm) Penelitian ini di laksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Parameter Kecepatan putar (rpm) memberi kontribusi sebesar 51%. Parameter kecepatan putar yang paling signifikan adalah 400rpm dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,67 gram. Parameter Perbandingan berat bola terhadap serbuk (BPR) memberi kontribusi sebesar 17% dalam proses pengurangan ukuran partikel. Parameter BPR yang digunakan untuk mangkok dengan volume 250ml adalah 15:1 dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,31gram. Parameter Perbandingan ukuran bola memberi kontribusi sebesar 21%. Parameter diameter bola (mm) yang paling signifikan adalah 5:10 dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,49gram.

Setting parameter yang optimum adalah menggunakan kecepatan 400rpm, BPR 15:1 dan diameter bola 5mm dan 10mm, dan hasil yang paling buruk adalah menggunakan kecepatan putar 300rpm, BPR 20:1 dan diameter bola 8mm dan 10mm. Hal ini di tunjukan dari data hasil perhitungan ANOVA, parameter tersebut terbukti signifikan melalui rata-rata hasil perhitungan dari pengambilan data sebanyak masing-masing parameter 9 sampel dengan setiap proses penggilingan menggunakan waktu 5 jam. Penelitian sebelumnya penggunaan BPR yang tidak melebihi 50% dari volume mangkok memiliki hasil yang kurang baik, dikarenakan momentum dari tumbukan bola dan bahan semakin rapat, dan tumbukan menjadi kurang kuat.

SUMMARY

Effect of Speed Milling and Ball Weight and Ball Diameter on Planetary Ball Mill Sizer to Increase Production of Zinc Oxide; Muchamad Verizal Setyo Wardana, 141910101025; page; Journal of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Planetary Ball Mill Sizer is a machine that plays a very important role in the industrial field, because of the Planetary Ball Mill characteristics of Sizer as a material crusher with the type of collision and friction as large and small. The material to be carried out by the grinding process is called Zinc Oxide (ZnO) with a product size of 64 microns. The types of material commonly used for grinding media include steel hardness, tool steel, stainless steel, chromium steel hardness, ceramic alumina and many more.

The working principle of the planetary ball mill sizer is a powder-shaped material inserted into a cylinder made of stainless steel with several balls in it and moving continuously. In the cylinder the balls will collide with each other. As a result of the impact of the ball, the powder that is inserted into the cylinder will collide with each other with the powder, especially from the mutual collision between the powder and the ball, the particles will break, the process will be carried out continuously until the particle size reaches the desired.

The data processing used is using the Taguchi L27 method. Data processing with the Taguchi method aims to find out what parameters are significant and how much the parameters contribute to the process of reducing the size of Zinc oxide particles. The parameters used in this study are Speed (RPM) with 3 variations (300, 350, 400), Comparison of ball weight to powder with 3 variations (10: 1, 15: 1, 20: 1), Ball size comparison with 3 variations (5mm and 8mm, 5mm and 10mm, 8mm and 10mm) This research was conducted at the Applied Technology Laboratory, Faculty of Engineering, University of Jember.

Milling Speed Parameters (RPM) contributed 51%. The most significant RPM parameter was 400rpm with the average productivity of the powder that passed the screening was 7.42 grams. Parameters Comparison of ball weight to powder (BPR)

contributes 17% in the particle size reduction process. The BPR parameters used for mangkong with a volume of 250ml are 15: 1 with an average productivity of powder that passes filtering which is 6.31gram. Parameter Ball size comparison contributes 21%. The most significant Ball Size Parameters are 5mm and 10mm with the average productivity of powder that passes filtering is 7.49gram.

The optimum parameter setting is to use 400rpm speed, 15: 1 BPR and 5mm and 10mm ball sizes, and the worst result is using 300rpm speed, 20: 1 BPR and 8mm and 10mm ball sizes This is shown from the ANOVA calculation data, parameters This proved to be significant through the average calculation results of data collection as much as each parameter 9 samples with each milling process taking 5 hours. Previous research on the use of BPR not exceeding 50% of bowl volume has poor results, due to the momentum of the impact of the ball and the material getting tighter, and the collision becomes less strong.

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Kecepatan putar, Berat, dan Diamter Bola pada *Planetary BallMill Sizer* Terhadap Peningkatkan Produksi Partikel *ZincOxide*” ini dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang di rencanakan. Skripsi ini di susun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Terima kasih penulis di ucapkan kepada semua pihak yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini termasuk rekan-rekan sekalian yang telah memberikan banyak dukungan kepada penulis, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. FX. Kristanta, M.Eng. selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri M.T. selaku pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
2. Bapak Ir. Digdo Lisyadi Setyawan, MSc. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
3. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku pembimbing tim riset MaGNIFIED yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.

Demikian skripsi ini di susun, penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan wawasan serta manfaat bagi pembaca.

Jember,

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	v
PENGESAHAN.....	vii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Seng Oksida (ZnO)	6
2.2 Nanopartikel	7
2.3 Aplikasi Partikel ZnO.....	9
2.3.1 Aplikasi Sel Surya	9
2.4 <i>Planetary BallMill Sizer</i>.....	12
2.4.1 Prinsip Kerja <i>Planetary BallMill Sizer</i>	13
2.4.2 Penggunaan <i>Planetary BallMill Sizer</i>	14
2.5 Parameter <i>Planetary BallMill Sizer</i>	15
2.5.1 <i>Milling Speed</i>	15
2.5.2 <i>Milling Time</i>	16
2.5.3 <i>Volume of Milling Jar</i>	16
2.5.4 <i>Ball to Powder Weight Ratio (BPR)</i>	17
2.6 Bola Penggiling	18

2.6.1	Karakteristik Alumina.....	20
2.7	Pengayakan dan Penyaringan.....	21
2.8	Metode Taguchi.....	24
2.8.1	Tahapan perancangan eksperimen.....	24
2.8.2	Tahap pelaksanaan eksperimen.....	24
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1	Metode Penelitian.....	28
3.2	Tempat Penelitian.....	28
3.3	Alat dan Bahan.....	28
3.3.1	Alat.....	28
3.3.2	Bahan.....	30
3.4	Variabel penelitian.....	30
3.4.1	Variabel bebas.....	30
3.4.2	Variabel terikat.....	31
3.4.3	Variabel kontrol.....	31
3.5	Prosedur Penelitian.....	31
3.5	Tahap perencanaan Eksperimen.....	32
3.5.1	Perumusan masalah.....	32
3.5.2	Tujuan Eksperimen.....	32
3.6	Penentuan Variabel Penelitian.....	33
3.6.1	Variable Kontrol.....	33
3.6.2	Identifikasi Faktor-Faktor (Variable Bebas).....	33
3.6.3	Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan.....	33
3.6.4	Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor.....	33
3.6.5	Perhitungan Derajat Kebebasan.....	34
3.6.6	Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi kedalam matriks ortghonal.....	35
3.7	Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	35
3.8	Tahap Analisis.....	37
3.9	Pengamatan sampel.....	40
b.	Diagram Alir Penelitian.....	42
BAB 4.	PEMBAHASAN.....	43

4.1	Data Hasil Percobaan	43
4.2	Perhitungan S/N Rasio.....	44
4.3	Hasil Optimasi	46
4.4	Analisis of Varian (ANOVA).....	47
4.5	Prediksi Respon Optimum	51
4.6	Pembahasan Pengaruh Parameter.....	52
BAB 5	PENUTUP	56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	56
DAFTAR	PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	62
	Lampiran 6.1 Tabel Statistik F 0,05	62
	Lampiran 6.2 Komponen Alat dan Bahan	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Heksagonal *wurtzite* struktur pada ZnO. Atom O ditunjukkan dengan bola berwarna putih besar, sedangkan zn ditunjukkan dengan bola berwarna hitam kecil (Sumber. Ozgur, 2005). 6

Gambar 2.2 Pengelompokan dimensi material (Sumber. Regunadhan,2018). 9

Gambar 2.3 Skema kerja foton (energi cahaya) pada DSSC (Sumber. Ghiska, 2011) 10

Gambar 2.4 *Planetary BallMill Sizer* (sumber: M. Ramezani, 2012) 13

Gambar 2.5 Skema representasi dari *Planetary BallMill Sizer* (sumber M. Broseghini. 2016) 14

Gambar 2.6 Skema *disk planet* (Sumber Christine B, 2013) 15

Gambar 2.7 Skema penggilingan antar silinder, bola dan serbuk (sumber, Fumiyoshi Nagao, 2007)..... 17

Gambar 2.8 Proses penggilingan pada *Planetary BallMills Sizer*..... 18
(Sumber, Kaushal, 2007)..... 18

Gambar 2.9 Bola penggiling keramik *Alumina* (Sumber. Chusnul A, 2017). 19

Gambar 2.10 Mekanisme pengayakan (Sumber. Herjun Prabowo, 2009)..... 22

Gambar 3.1 Planetar BallMill Sizer..... 29

Gambar 3.2 Skema proses pengayakan partikel ZnO 41

Gambar 3.3 Diagram alir metode penelitian 42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 sifat-sifat dari seng oksida (sumber : Maxwell,1991)	7
Tabel 2.2 Karakteristik dari beberapa macam semikonduktor	11
Tabel 2.3 Tabel Faktor Kontrol Taguchi.....	25
Tabel 2.4 Tabel Jumlah level dan nilai level faktor.....	25
Tabel 2.5 Tabel Matriks Orthogonal 3 Level	26
Tabel 2.6 Matriks Ortgonal $L_{27}(3^{13})$	27
Tabel 3.1 Komposisi sifat-sifat dari Seng Oksida	30
Tabel 3.2 Tabel Faktor Kontrol Taguchi.....	31
Tabel 3.3 Faktor kontrol pada penelitian	33
Tabel 3.4 Penentuan jumlah level dan nilai level faktor	34
Tabel 3.5 Perhitungan Derajad Kebebasan Total	34
Tabel 3.6 Matriks Ortgonal $L_{27}(3^{13})$	35
Tabel 3.7 Perhitungan Derajad Kebebasan Total	36
Tabel 3.8 Data Percobaan.....	36
Tabel 4.1 Hasil penyaringan serbuk	43
Tabel 4.2 Hasil penyaringan serbuk dalam S/N rasio.....	45
Tabel 4.3 Rata-rata nilai S/N rasio setiap level parameter permesinan	46
Tabel 4.4 Kombinasi parameter respon optimum	47
Tabel 4.5 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan S/N rasio	50
Tabel 4.6 Kondisi hipotesa nol multi respon.....	51

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik nilai rata-rata.....	44
Grafik 4.2 Grafik nilai rata-rata S/N Ratio.....	53



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era globalisasi perkembangan teknologi saat ini sangat pesat, terutama kebutuhan akan kualitas dan kuantitas produksi. Untuk memenuhi kebutuhan akan proses produktivitas di dalam sebuah industri, maka penggunaan *Planetary BallMill Sizer* tidak bisa dipungkiri sehingga tidak sedikit ilmuwan dan peneliti saling mencari literatur dalam mengembangkan teknologi *Planetary BallMill Sizer* pada industri manufaktur serta material. Pengembangan *Planetary BallMill Sizer* dilakukan untuk mempercepat waktu produksi dalam skala besar dengan kualitas produk yang baik agar proses produktivitas meningkat dan kebutuhan terpenuhi. Teknologi *Planetary BallMill Sizer* merupakan alat industri yang sangat dibutuhkan untuk proses penghancuran material dalam tingkat yang sangat halus, *Planetary BallMill Sizer* ini menggunakan teknologi bola yang dirancang sehingga memiliki luas permukaan per unit lebih dari *rod* untuk menghasilkan bahan baku material yang lebih halus. Proses kerja *Planetary BallMill Sizer* adalah memutar tabung *stainless steel* dengan bola-bola penggiling yang di isikan dalam tabung tersebut, proses penghalusan terjadi karena tabung berputar sehingga bola yang di dalam ikut menggelinding, menggerus dan menggiling seluruh material yang ada didalam tabung sampai material tersebut halus (S Aisyah, 2018). Hasil dari penghalusan material menggunakan *Planetary BallMill Sizer* adalah material yang berukuran 1 sampai 100 nanometer (Wilfred L F, 2007).

Planetary BallMill Sizer merupakan alat yang di gunakan untuk membuat material berbentuk nano, selain *Planetary BallMill Sizer* alat yang di gunakan untuk penggilingan serbuk adalah *pulverisette*. Alat tersebut sering di gunakan peneliti untuk menghasilkan beberapa ratus gram serbuk nano dengan waktu yang relatif singkat. *Planetary BallMill Sizer* memiliki mekanisme gerakan yang menyesuaikan dengan gerakan mangkuknya sehingga mirip gerakan planet, gerakan ini diatur oleh *disk* yang berputar dan mekanisme pemutar yang lain, sehingga menyebabkan meraka berputar di sekitar sumbu sendiri. Gaya yang di hasilkan oleh perputaran

disk tersebut merupakan gaya yang sentrifugal, gaya tersebut dapat menghasilkan serbuk partikel kecil bahkan sampai berukuran nano dengan menggunakan bola penggiling. *Planetary BallMill Sizer* adalah salah satu metode pengurangan ukuran partikel dari teknik *MM-PM (mechanical alloying-powder metallurgy)*, teknik tersebut menggunakan energi tumbukan dari dinding wadahnya dengan bola-bola penghancur. Dengan teknik tersebut para peneliti dapat menghasilkan material nano dalam jumlah yang banyak dan range waktu yang singkat (Klaushal, 2007).

Kemampuan perusahaan untuk mengolah bahan baku untuk di jadikan partikel dengan ukuran kecil sangat penting di lakukan sehingga dapat meningkatkan daya saing nasional, seperti contohnya pasir besi menghasilkan produk samping berupa alumina dan silika setelah pemisahan magnetik, bila material tersebut di olah menjadi partikel yang berukuran kecil maka dapat diterapkan untuk beton berkekuatan tinggi, selain itu setelah pemurnian bahan magnetik menghasilkan oksidasi besi yang dapat di dimanfaatkan sebagai bahan baku industri baja. Pengurangan partikel dapat dilakukan dua pendekatan yaitu *top-down* dengan melakukan penggilingan mekanik menggunakan *Planetary BallMill Sizer*, dan *bottom-up* misalnya dengan proses *sol-gel*. Dalam penelitian yang menggunakan pendekatan penggilingan mekanik dengan *Planetary BallMill PBM-4A* dan *High Energi Ball Mill HEM-E3D*, berhasil untuk memproduksi material berstruktur nano, seperti paduan ZnO, BiMn, sistem Fe-O, pemaduan dan pelapisan Fe-Al (Tomi B, 2013).

Dalam penelitian yang telah di lakukan sebelumnya parameter-parameter yang dapat meningkatkan produktivitas pembuatan partikel menggunakan metode penggilingan *Planetary BallMill Sizer* adalah volume dari mangkok, bahan mangkok, diameter bola, dan bahan dari bola. Penelitian yang di lakukan oleh (Zulhairi R, 2014) dengan melakukan percobaan 3 variasi parameter dan 3 level eksperimen antara lain perbandingan berat bola dengan serbuk 20:1, 15:1 dan 10:1, volume dari mangkok 5,6L, 1,8L dan 1,0L, kecepatan putar 100rpm, 95rpm dan 90rpm dengan masing-masing lama penggilingan konstan 2jam dan di lakukan pengayakan menggunakan mesh berukuran 425mikron, 212mikron, dan 63 mikron. Dari penelitian yang di lakukan maka dapat di simpulkan bahwa paramater yang di

gunakan untuk meningkatkan produksi partikel ZnO terkecil adalah perbandingan berat bola dengan serbuk 20:1, volume mangkok 1,0L dan kecepatan putar 95rpm dengan waktu konstan 2 jam penggilingan di peroleh rata-rata sampel partikel terkecil 2,880mikron.

Perbedaan kecepatan antara bola dan wadah penggiling menghasilkan interaksi antara gaya gesekan dan gaya tumbukan sehingga terbentuk energi dinamis yang tinggi, interaksi antar gaya tersebut menghasilkan tingkat pengurangan ukuran yang tinggi dan sangat efektif (Hiroshi M, 2001). *Planetary BallMill Sizer* memiliki banyak parameter yang mempengaruhi proses penggilingan bola, parameter yang paling banyak di gunakan untuk uji optimasi adalah waktu dan kecepatan putaran milling, kedua parameter tersebut berperan sangat penting dalam menentukan efektivitas penggilingan. Disamping parameter waktu dan kecepatan putaran milling, perbandingan berat bola dengan serbuk sangat berpengaruh terhadap hasil dari penggilingan (Tung H, 2006). Untuk memperoleh material dalam ukuran kecil, parameter yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: kecepatan putar 150, 200, 250rpm, waktu 1, 2 dan 3jam dan perbandingan berat bola dengan serbuk 1:6, 1:8, 1:10. Dari beberapa parameter yang memperoleh hasil optimum adalah kecepatan 250rpm, waktu 3jam dan perbandingan bola terhadap serbuk 1:6, menghasilkan ukuran nano sebesar 337nm (Hendri V, 2017). Dalam penelitian sebelumnya dapat di simpulkan bahwa semakin cepat putaran, semakin lama waktu penggilingan dan semakin sedikit perbandingan jumlah bola terhadap serbuk dapat mempengaruhi ukuran partikel yang di hasilkan oleh proses penggilingan *Planetary BallMill Sizer*. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui efisiensi parameter kecepatan dan perbandingan berat bola dengan serbuk guna mengurangi ukuran partikel dari ZnO yang dihasilkan dengan metode penggilingan *Planetary BallMill Sizer*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian yang akan di lakukan adalah:

1. Bagaimana pengaruh parameter kecepatan putar guna menghaluskan partikel ZnO pada *Planetary BallMill Sizer*.

2. Bagaimana pengaruh perbandingan berat bola dengan serbuk guna menghaluskan partikel ZnO pada *Planetary BallMill Sizer*.
3. Bagaimana pengaruh diameter bola guna menghaluskan partikel ZnO pada *Planetary BallMill Sizer*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Hasil yang di amati adalah ukuran partikel yang telah dilakukan penggilingan menggunakan *Planetary BallMill Sizer*.
2. Waktu penggilingan 5 jam.
3. Kecepatan putar 300rpm, 350rpm dan 400rpm.
4. *Ball to Powder Weight Ratio* (BPR) 10:1, 15:1 dan 20:1.
5. Diameter bola 5:8, 5:10 dan 8:10.

1.4 Tujuan Penelitian

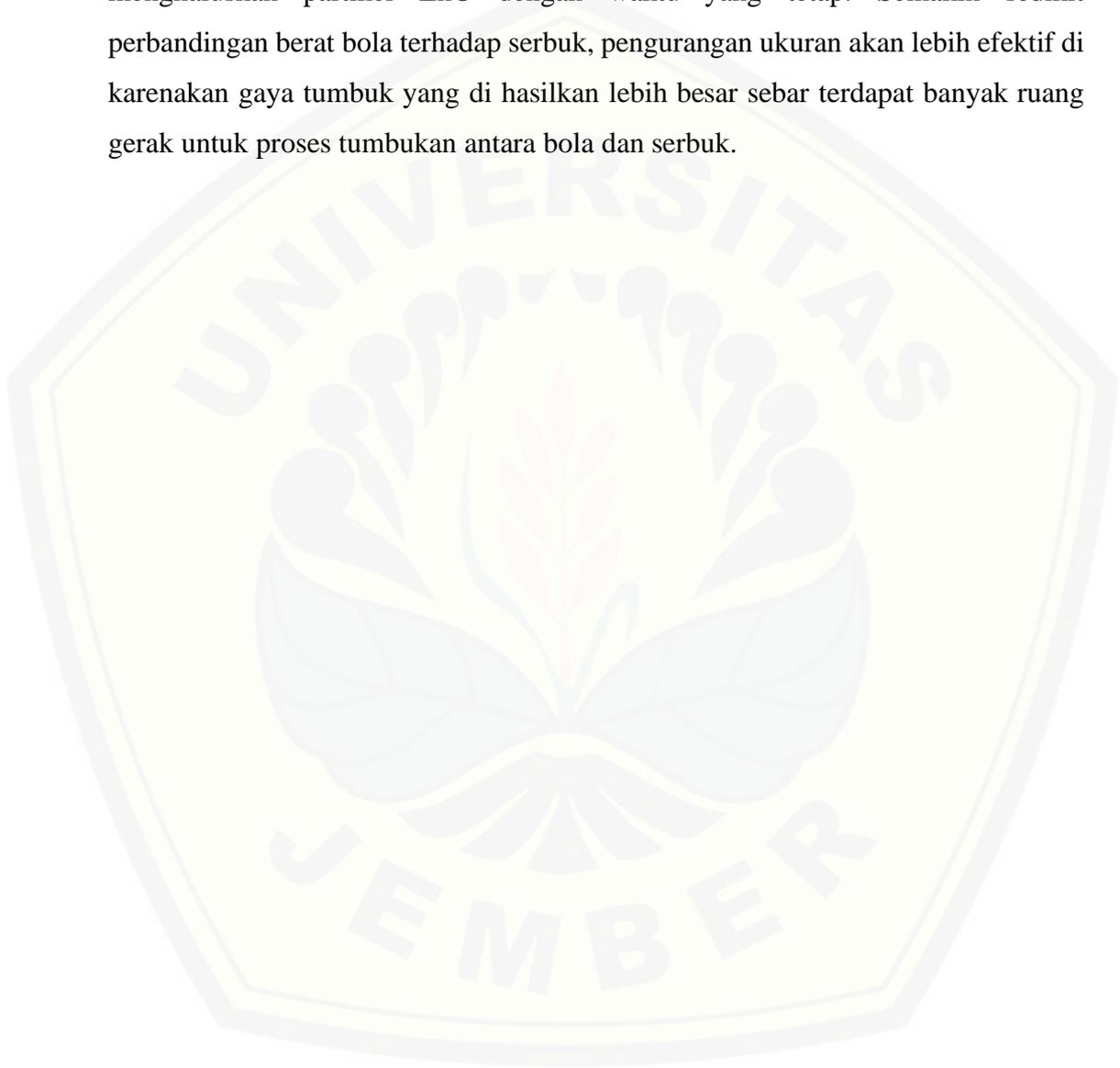
1. Mengetahui pengaruh parameter kecepatan putar guna menghaluskan partikel ZnO pada *Planetary BallMill Sizer*.
2. Mengetahui pengaruh perbandingan berat bola dengan serbuk guna menghaluskan partikel ZnO pada *Planetary BallMill Sizer*.
3. Mengetahui pengaruh diameter bola guna menghaluskan partikel *Planetary BallMill Sizer*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Di harapkan dapat memperoleh variasi parameter terbaik terhadap ukuran partikel ZnO menggunakan *Planetary BallMill Sizer*.
2. Di harapkan memperoleh parameter kecepatan putar terbaik terhadap ukuran partikel ZnO terkecil menggunakan *Planetary BallMill Sizer*.
3. Di harapkan memperoleh parameter perbandingan berat bola dengan serbuk terbaik terhadap ukuran partikel ZnO terkecil menggunakan *Planetary BallMill Sizer*.
4. Di harapkan memperoleh parameter diameter bola terbaik terhadap ukuran partikel ZnO terkecil menggunakan *Planetary BallMill Sizer*.

1.6 Hipotesis

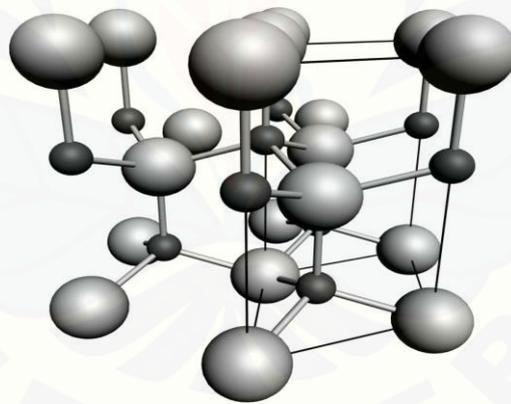
Berdasarkan referensi jurnal tentang *Planetary BallMill Sizer* penggunaan parameter kecepatan putar di atas 300rpm efektif untuk menghaluskan partikel ZnO. Penggunaan diameter bola kecil dan bola besar, berpengaruh signifikan untuk menghaluskan partikel ZnO dengan waktu yang tetap. Semakin sedikit perbandingan berat bola terhadap serbuk, pengurangan ukuran akan lebih efektif di karenakan gaya tumbuk yang di hasilkan lebih besar sebar terdapat banyak ruang gerak untuk proses tumbukan antara bola dan serbuk.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seng Oksida (ZnO)

Zno merupakan material semi konduktor yang memiliki karakteristik yang berguna di bidang elektronik, optik dan fotonik. Seng oksida (ZnO) berasal dari bijih seng terutama kandungan sulfide, slika dan karbonat. Unsur seng memiliki kelimpahan sebesar 0,004% dari kerak bumi, seng adalah salah satu unsur yang memiliki urutan kedua puluh lima dalam kelipatan unsur kerak bumi. Seng oksida di produksi untuk komersial dengan dua metode yaitu metode amerika (metode langsung) yang menggunakan bijih seng dan konsentrat dan metode prancis (metode tidak langsung) yang menggunakan logam seng. Sekitar 54% dari seng oksida berasal dari bijih seng dan konsentrat, 33% dari *slab zinc* dan 13% dari bahan sekunder (Ozgur U, 2005).



Gambar 2.1 Heksagonal *wurtzite* struktur pada ZnO (Sumber: Ozgur U, 2005).

Seng Oksida mengkristal dalam struktur *wurtzite* dimana ion oksigen secara heksagonal tertutup dan setengah dari intersisi *tetrahedral* di isi dengan ion seng. Dalam struktur Kristal ini di dalamnya terdapat seng dan ion oksigen berkoordinasi dengan empat ion dari muatan yang berlawanan, karena perbedaan ukuran yang mencolok, ion-ion ini mengisi hanya sekitar 44% dari volume dalam Kristal oksida seng meninggalkan beberapa radius yang relatif besar (0,0095 nm) yang terbuka untuk ruang. (Ozgur U, 2005). Pada tabel 2.1 di bawah ini di jelaskan tentang *properties* dari seng oksida

Tabel 2.1 sifat-sifat dari seng oksida (sumber : Ozgur U, 2005)

Sifat-sifat	Keterangan
Berat molekul	Zn,65.38;O,16.00;ZnO,81.38
Kisi	Heksagonal,wurtzite
Ukuran Serbuk	64 mikron
Konstanta kisi	a= 0,324 nm,c = 0.619 nm, c/a = 1.60
Densitas	5780 kgm ⁻³
Konstanta dielektrik	8.54
Indeks bias	2.008
Kekuatan Tekan (Mpa)	29,87 MPa
Energy celah pita	3.07 ev
Formasi entalpi	-384.2 kJ mol ⁻¹
Titik leleh	Menguap pada 1700 °C
Panas spesifik	40.4 J mol ⁻¹ K ⁻¹
Kelarutan	1.6 x 10 ⁻⁶ kg per kg H ₂ O 25°C

Aspek lain yang menguntungkan dari penggunaan ZnO adalah aspek kimia yang mengarah dalam larutan kimia yang memiliki ambang daya rendah untuk memompa optik, penekan radiasi dan biokompatibilitas. Bahkan ZnO menjadika kandidat yang ideal untuk berbagai perangkat mulai dari sensor hingga laser ultraviolet dan perangkat yang berbasis nano teknologi seperti *display*. Kesulitan dari pembuatan prototype ZnO sangat menghambat pengembangan perangkat yang sedang di kembangkan saat ini (A Tsukazaki, 2005).

2.2 Nanopartikel

Nanomaterials adalah partikel yang ukurannya memiliki jangkauan dari 1nm-100nm. Nanoteknologi adalah ilmu dan aplikasi dari nanomaterials yang memiliki sifat-sifat materi dan dapat berubah secara dramatis. Teknologi ini memiliki aplikasi yang luas dalam kinerja bahan, kesehatan, produk konsumen, air, teknologi informasi dan energi. (Wilfred L F, 2007)

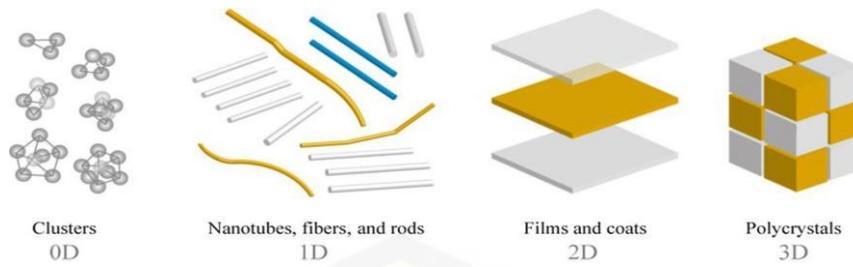
Bentuk nanopartikel memiliki karakteristik khusus yaitu memiliki ketetapan 1 hingga $\sim 100\text{nm}$, lebih kecil dari panjang gelombang sinar UV, dan dengan demikian penggunaan partikel kecil yang sesuai misalnya elektron, atau radiasi misalnya Sinar-X diperlukan untuk mengidentifikasi dan mengukur partikel-partikel ini. Instrumentasi untuk tujuan ini telah dikembangkan dengan resolusi yang terus ditingkatkan. Instrumen ini dapat mengukur dengan sangat akurat, dan tergantung pada prinsip-prinsip fisik mesin, mereka mengukur parameter yang berbeda dari nanopartikel, misalnya diameter, panjang, lebar dll, (A Reghunadhan, 2018)

Nanomaterial dapat di klasifikasikan menurut menurut asal mereka, dimensi dan jenis bahan yang di gunakan, sebagai contoh yaitu sebagai berikut:

- a. Nano material berasal dari alam; abu vulkanik, opal, sayap serangga dll.
- b. Nanomaterial buatan manusia; sintesis yang menggunakan peralatan dan terdefinisi dengan baik di laboratorium, contohnya *quantum dots*, *nanotubes*, *nanopartikel* dll.

Sedangkan nano material yang dikelompokkan berdasarkan ukuran dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Zero-dimensi; yaitu nano material yang memiliki memiliki tiga arah dalam rentang betuk nanomaterial dan umumnya akan berbentuk quantum dots. Contohnya *silver quantum dots*.
- b. Satu dimensi; umumnya bahan-bahan ini akan keluar dari kisaran nanometer, misalnya bentuknya berupa kawat berukuran nano.
- c. Dua dimensi; berupa material yang bentuknya termasuk dalam rentangan ukuran nanomaterial, contohnya adalah nanofilm, pelapis, lembaran, dan dinding.
- d. Tiga dimensi: Dalam tiga dimensi (3D) material, semua dimensi akan keluar dari skala nanometer. Ini termasuk bahan massal yang terdiri dari blok individu yang berada dalam skala nanometer (1-100nm) (Gambar 2.1).



Gambar 2.2 Pengelompokan dimensi material (Sumber: A Regunadhan, 2018).

Pengelompokan nanomaterial berdasarkan bahan-bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Nanomaterial berbasis karbon: Dalam tipe ini, seperti namanya, karbon akan menjadi komponen dasar. Contohnya *Fullerenes*, *karbon nanotube*, *graphene*.
2. Nanomaterial berbasis logam: Komponen utama partikel-partikel ini adalah logam. Nanomaterial ini termasuk nanogold, nanosilver, dan oksida logam seperti titanium dioksida, silika, alumina, dll.
3. Dendrimers: Dendrimers adalah makromolekul bercabang yang memiliki ukuran nanometer.
4. Nanokomposit: nano material yang merupakan komponen campuran dalam skala nanometer.

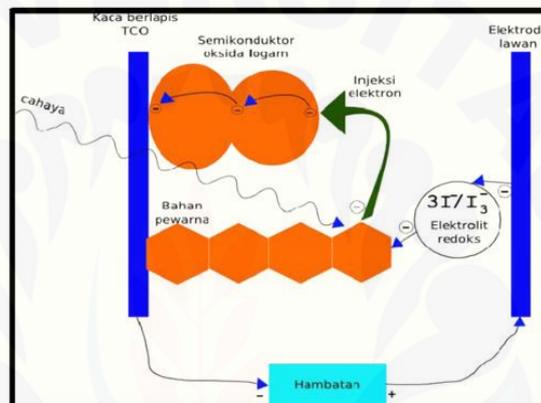
2.3 Aplikasi Partikel ZnO

Aplikasi dari partikel ZnO sangat berperan untuk kemajuan teknologi maupun di bidang kesehatan, adapun aplikasinya sebagai berikut:

2.3.1 Aplikasi Sel Surya

Prinsip alat ini adalah perubahan energi matahari menjadi energi listrik yang timbul dari material semikonduktor. Perubahan energi ini di dasarkan pada sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi (pada semikonduktor hampir kosong) dan pita valensi (pada semikonduktor terisi hampir penuh), sedangkan keadaan tanpa elektron disebut celah pita pada DSSC, foton akan diserap oleh lapisan pewarna organik dan membentuk eksiton (sebuah keadaan pasangan elektron-lubang yang terikat) yang

akan di pisahkan pada *interface* lapisan penerima elektron berupa semikonduktor oksida logam dan pewarna menjadi elektron dan *hole* dengan demikian muatan listrik di hasilkan. Dalam aplikasi sel surya tersebut, salah satu faktor yang menentukan adalah bagaimana elektron dapat berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi. Mekanisme ini dipicu oleh adanya energi dari cahaya matahari untuk mengaktifkan sisi konduktif dari suatu material semikonduktor. Energi pada celah antara pita konduksi dan pita valensi ini berbeda-beda sesuai dengan jenis material semikonduktor. Dan mekanisme kerja dari DSSC dapat di lihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.3 Skema kerja foton pada DSSC (Sumber: Ghiska, 2011)

Material ZnO memiliki nilai energi celah pita yang cukup tinggi, yaitu 3.07 eV. Besarnya nilai energi celah pita ini menyebabkan ZnO mampu menyerap energi foton dari matahari dengan jumlah yang besar. Selain itu, nilai energi celah pita tersebut juga berhubungan dengan rentang cahaya yang dapat diserap oleh material semikonduktor. Seperti dapat dilihat dalam tabel tersebut, besarnya nilai band-gap tersebut membutuhkan cahaya dengan panjang gelombang yang kecil, yaitu 405 nm. Hal ini jelas lebih menguntungkan daripada material konvensional yang digunakan sebagai material dasar sel surya, dimana hanya membutuhkan paparan cahaya matahari dengan panjang gelombang yang relatif rendah untuk menghasilkan elektron bebas.

Tabel 2.2 Karakteristik dari beberapa macam semikonduktor

Semikonduktor	Band-gap (eV)	Band gap wavelength (nm)
BaTiO ₃	3.3	375
CdO	2.1	590
CdS	2.5	497
CdSe	1.7	730
Fe ₂ O ₃	2.2	565
GaAs	1.4	887
GaP	2.3	540
SnO ₂	3.9	318
SrTiO ₃	3.4	365
TiO ₃	3.0	390
WO ₃	2.8	443
ZnO	3.07	405
ZnS	3.7	336

Lebih jauh lagi, dengan adanya teknologi nano yang berperan untuk memperkecil ukuran semikonduktor untuk aplikasi sel surya, energi celah pita dapat di rekayasa hingga mendekati energi celah pita material ruahnya. Adanya efek ukuran yang dikenal sebagai *quantum size effect* dapat memperluas aplikasi nanomaterial dimana partikel dengan ukuran yang lebih kecil dapat menghasilkan energi celah pita yang semakin besar di bandingkan material ruahnya. Hal ini didasarkan pada efek permukaan (*surface effect*) yang menjelaskan bahwa material dengan ukuran kecil hingga pada skala nano akan memiliki persentase atom terluar yang semakin besar di bandingkan keseluruhan atom yang di miliki oleh partikel tersebut. Susunan atom terluar ini lah yang memiliki fungsionalitas paling baik karena dapat berinteraksi langsung dengan lingkungan luar melalui bagian *interface* yang tersusun oleh atom terluar, sehingga potensi yang di miliki oleh nanopartikel akan semakin besar.

2.4 *Planetary BallMill Sizer*

Dalam lingkup industri, penggilingan serbuk-serbuk selalu di kerjakan dengan menggunakan mesin mekanik yang relatif besar, tetapi untuk lingkup laboratorium, terkadang ilmuwan menggunakan penggilingan manual seperti halnya yang di lakukan (J Ma, 2009), maka dari itu ilmuwan menggunakan alat yang dapat mempercepat laju produksi pembuatan serbuk hingga 1-100nm seperti *Planetary BallMill Sizer*. *Planetary BallMill Sizer* merupakan permesinan yang berperan sangat penting dalam bidang industri, karena karakteristik *Planetary BallMill Sizer* sebagai alat penghancur material dengan tumbukan dan gesekan jenis serbuk dalam skala besar maupun kecil. Untuk memperoleh hasil dari suatu material serbuk halus maka di butuhkan mesin penghancur yang sesuai dengan fungsi dan perancangannya, pencapaian suatu produk berupa serbuk material yang halus di butuhkan beberapa bola baja untuk menumbuk serbuk meterial yang ada di dalam tabung *stainless stell* pada *Planetary BallMill Sizer*.

Dalam meningkatkan laju produksi penghancuran material, *Planetary BallMill Sizer* mampu melakukan penggilingan material sampai ukuran nanometer, karakteristik dari *Planetary BallMill Sizer* dapat di lihat dari sifat mekanisnya, antara lain tingkat kehalusan produk dan keandalannya dari alat tersebut. Penggilingan bahan dengan menggunakan *Planetary BallMill Sizer* berguna untuk pembuatan bahan rekayasa melalui proses paduan mekanis, *Planetary BallMill Sizer* merupakan media penggilingan yang menggunakan gaya sentrifugal untuk memutar bola dan mangkok dengan kecepatan putar sampai 750rpm. Gaya sentrifugal di sebabkan oleh rotasi piringan pendukung dan perpindahan putaran piringan pendukung serta putaran mangkok yang berlawanan. Akibat dari gaya sentrifugal maka bola dan bahan yang ada didalam mangkok akan saling bertabrakan dan bergesekan sehingga terjadi pengurangan ukuran bahan dan peningkatan suhu (M Ramezani, 2012).



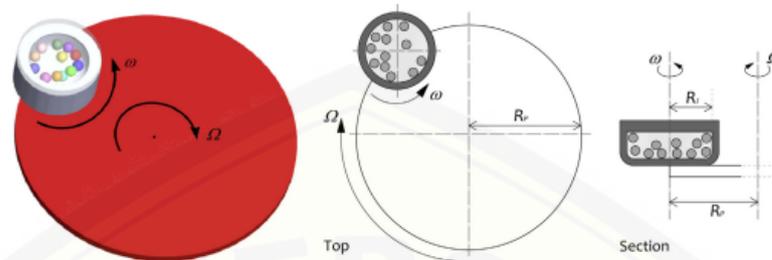
Gambar 2.4 *Planetary BallMill Sizer* (sumber: M Ramezani, 2012)

2.4.1 Prinsip Kerja *Planetary BallMill Sizer*

Prinsip kerja *Planetary BallMill Sizer* adalah material yang berbentuk serbuk di masukkan ke dalam sebuah silinder yang terbuat dari *stainless steel* dengan beberapa bola di dalamnya dan bergerak berputar secara terus menerus. Didalam silinder tersebut bola – bola akan saling bertumbukan. Akibat tumbukan bola maka serbuk yang di masukkan kedalam silinder akan saling bertumbukan antara bola dengan serbuk tersebut, akibat dari saling tumbuk antar serbuk dan bola maka partikel akan pecah, proses tersebut akan di lakukan secara terus menerus hingga ukuran partikel mencapai yang di inginkan (F L Zhang, 2008). Pada proses penggilingan, semakin besar diameter silinder maka kecepatannya semakin melambat. Jika kecepatannya terlalu tinggi maka akan terjadi gaya sentrifugal pada silinder sehingga bola akan menempel pada tepi silinder dan proses grinding menjadi tidak optimum.

Proses *milling* merupakan usaha untuk reduksi ukuran partikel dengan menggunakan energi mekanik, caraarannya adalah dengan sebuah serbuk material yang di maksukan kedalam sebuah alat yang bergerak terus menerus. Akibat dari pergerakan yang terus menerus maka material akan mendapat gaya gesek dan terjadi pecahnya partikel, hal ini akan terjadi terus menerus sampai mendapatkan ukuran partikel yang di inginkan. Penggunaan paramater sangat penting untuk mengembangkan model yang mampu meningkatkan efektifitas penggilingan, sehingga dapat menyempurnakan kualitas dari material. Parameter harus

berkolerasi dengan proses dan variabel spesifik sehingga transfer energi dari alat penggilingan ke material yang akan di giling menjadi optimal (Priya R, 2012).



Gambar 2.5 Skema representasi dari *Planetary BallMill Sizer* (Sumber: M Broseghini, 2016)

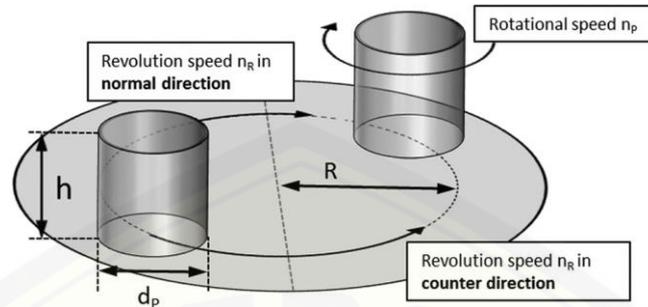
Planetary BallMill Sizer menggunakan rotasi tinggi atau kecepatan *milling* lebih dari 100 rpm di hampir semua penelitian, penggunaan kecepatan yang tinggi memberikan dampak penggilingan yang lebih tinggi, hal ini dapat menghasilkan efektivitas penggilingan yang lebih baik. *Planetary BallMill Sizer* bekerja dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu sekitar 70% sampai 80% dari kecepatan kritis dari setiap mesin (Zulkhairi R, 2014).

2.4.2 Penggunaan *Planetary BallMill Sizer*

Planetary BallMill Sizer banyak di gunakan dalam industri manufaktur, material, pangan, serta obat – obatan. Interaksi antar parameter menghasilkan efektivitas pengurangan dimensi. Kelebihan dari *Planetary BallMill Sizer* dapat meningkatkan produktivitas memiliki ukuran dan dimensi yang sangat halus bahkan dengan ukuran nanometer.

Planetary BallMill Sizer merupakan salah satu metode pembuatan material nano dari teknik MM-PM (*Mechanical allotting-powder metallurgi*) yaitu menggunakan energi tumbukan antara bola–bola penghancur dan dinding wadahnya. Pada saat ini para peneliti berusaha untuk menghasilkan material nano dalam jumlah banyak dan range waktu yang sangat singkat (Kaushal, 2007). Melalui proses penumbukan antara bola, tabung, dan material serbuk pada *Planetary BallMill Sizer*, menjadikan material yang sudah melalui proses penggilingan selama 1,5 jam dengan ukuran 657,3nm menjadi 23,7nm dengan

pencapaian lama penggilingan 4 jam. Hal tersebut di sesuaikan dengan karakteristik dari serbuk yang akan di giling (Simon, 2014).



Gambar 2.6 Skema *disk planet* (Sumber: Christine, 2013)

2.5 Parameter Planetary BallMill Sizer

Proses penggilingan *Planetary BallMill Sizer* memiliki banyak parameter yang di gunakan, seperti *milling speed*, *milling time*, *volume of milling jar*, dan *ball to powder weight ratio* (BPR). Parameter tersebut memiliki fungsi dan penggunaan yang berbeda beda dan material yang di gunakan untuk di lakukan proses penggilingan menentukan parameter yang akan di gunakan, sehingga memperoleh hasil produk yang optimum. Untuk lebih jelasnya pada pembahasan berikut.

2.5.1 Milling Speed

Parameter ini di sebut juga laju penggilingan, dimana kecepatan putar memiliki peranan untuk meningkatkan efektivitas produksi dari serbuk nano yang di hasilkan oleh *Planetary BallMill Sizer*. Perbedaan kecepatan antara bola dan wadah penggiling menghasilkan interaksi antara gaya gesekan dan gaya tumbukan sehingga terbentuk energi dinamis yang tinggi, interaksi antar gaya tersebut menghasilkan tingkat pengurangan ukuran yang tinggi. Peranan memainkan tinggi dan rendahnya kecepatan penggilingan memberi dampak pengurangan ukuran partikel. Akan tetapi jika kecepatan terlalu besar maka akan terjadi gaya sentrifugal yang terlalu besar pada silinder, sehingga bola dan serbuk kan menempel pada tepi silinder, sehingga proses penggilingan tidak sempurna (Afif H, 2008).

Dalam penelitian (Zulhairi R, 2014) dengan menggunakan *planetary ball mill* berkecepatan rendah, penelitian menggunakan 3 level kecepatan antara lain 100 rpm, 95 rpm dan 90 rpm. Dengan variasi kecepatan penggilingan 95 rpm yang

paling optimal. Di penelitian lain menjelaskan *Planetary BallMill Sizer* menggunakan 2 level kecepatan sebesar 200 rpm dan 250rpm, kecepatan yang berpengaruh terhadap ukuran partikel adalah kecepatan sebesar 250rpm. Parameter tersebut berpengaruh terhadap ukuran partikel dengan ukuran awal 31,97 mikro dan ukuran akhir 8,93 mikro (M Ramezeni, 2012).

2.5.2 Milling Time

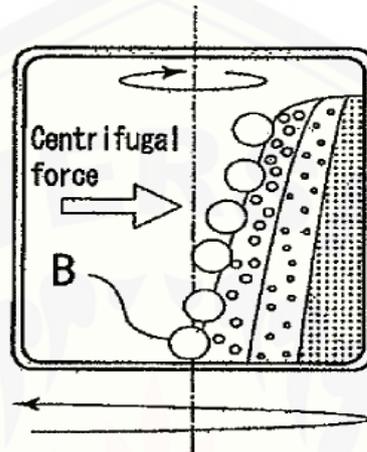
Parameter lama penggilingan merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap hasil penggilingan dengan metode *Planetary BallMill Sizer*. Parameter ini sangat erat kaitannya dengan efisiensi proses dan menentukan ukuran yang dari serbuk yang di hasilkan. Hal ini akan berdampak pada sifat fisik maupun kimia material dari hasil penggilingan. Efek waktu penggilingan menunjukkan adanya peningkatan ukuran dari serbuk nano (Zulhairi R, 2014). Tetapi waktu *milling* yang sangat lama dapat menimbulkan kontaminasi dari serbuk dan beberapa fase yang tidak di inginkan akan terbentuk. Oleh karena itu karena memiling serbuk untuk waktu yang di perlukan saja dan jangan terlalu lama (Irfan S, 2010).

Planetary BallMill Sizer merupakan suatu proses untuk mendapatkan serbuk yang halus, semakin lama waktu penggilingan akan menyebabkan ukuran butir serbuk yang semakin halus dan kecil. Serbuk yang halus ketika di cetak akan menghasilkan pelet dengan struktur yang padat. Semakin padat susunan partikel akan mengakibatkan semakin besarnya densitas yang menandakan semakin sedikitnya distribusi pori. Distribusi pori yang sedikit akan mempengaruhi kapasitas spesifik sel ketika dilakukan uji sifat elektrokimia (fitria P, 2014).

2.5.3 Volume of Milling Jar

Volume dari wadah *milling* sangat berpengaruh terhadap laju gesekan antar bola dan wadah tersebut, maka dari itu material yang di gunakan untuk proses *milling* antara lain (*vasel, vial, jar*, atau mangkok), memilih wadah sangat penting karena bisa mengkontaminasi serbuk atau sifat kimia dari serbuk yang di *milling*. Terjadinya partikel serbuk *alloying* di karenakan adanya gaya *impact* yang terjadi terhadap serbuk serbuk tersebut. Dalam proses *milling* di butuhkan tempat kosong yang cukup untuk bola – bola penggiling dan partikel – partikel serbuk yang akan di giling.

Jika jumlah dari bola dan serbuk banyak sehingga tidak cukup tempat untuk bola – bola untuk bergerak, maka energi *impact* dan gaya gesek yang di hasilkan sedikit, dan proses penggerusan tidak berjalan dengan optimal. Maka perlu di perhatikan ruang kosong pada silinder, dan minimal ruang kosong dari mangkok sebesar 50% tempat yang di sediakan untuk proses *milling*.

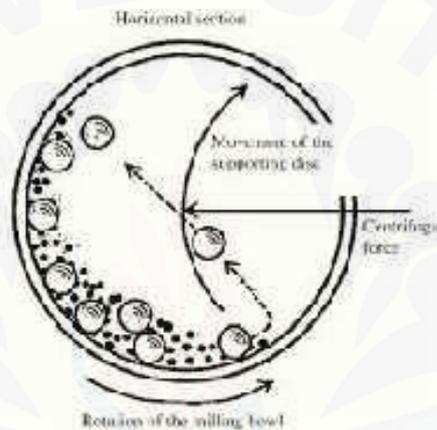


Gambar 2.7 Skema penggilingan antar silinder, bola dan serbuk (Sumber: Fumiyoshi, 2007)

2.5.4 Ball to Powder Weight Ratio (BPR)

BPR atau perbandingan antara bola dan serbuk menjadi salah satu faktor pengaruh dari efisiensi produktivitas dari pembuatan nano material. BPR menentukan kerapatan, hal ini di karenakan bola akan di selimuti oleh lapisan pada bijih sehingga akan meningkatkan tumbukan antar bola dan proses dari penggerusan menjadi semakin besar, hal ini menjadikan material tergerus dan pecah. BPR di gunakan peneliti sebagai parameter yang penting, di karenakan variasi dari dapat dibuat bermacam macam dengan tujuan untuk menghasilkan penelitian yang lebih baik dari penelitian sebelumnya. Perbandingan bola yang lebih tinggi dari pada serbuk membantu meningkatkan pengurangan ukuran dari partikel. Namun, ketika perbandingan tersebut di gunakan terlalu tinggi, ada kemungkinan kontaminasi yang di hasilkan dari tabrakan yang dihasilkan bola penghancur dan dinding dari tabung akan terjadi. Selama ini tidak ada keputusan yang menetapkan mengenai perbandingan antara bola dan serbuk, dikarenakan faktor yang menentukan laju produktivitas adalah bahan dari serbuk dan faktor

faktor yang lain (Zulkhairi R, 2014). Dari penelitan yang telah di lakukan sebelumnya perbandingan bola dan serbuk yang di terapkan dalam proses penggilingan sebesar 20 : 1, 15 : 1 dan 10 : 1, hasil terbaik yang di dapatkan dengan menggunakan perbandingan 20 : 1 (Zulkhairi R, 2014). Dan penelitan dari (M Ramezeni, 2012), di lakukan kombinasi pencampuran ukuran bola penggilingan 10, 15 dan 20 mm. dengan BPR yang di gunakan 10 : 1 dan menggunakan 2 level kecepatan sebesar 200 rpm dan 250rpm. Hasil kombinasi parameter berhasil menurunkan ukuran hingga berukuran 8,93 mikro, dengan kombinasi bola 10 mm, BPR sebesar 10 : 1 dan kecepatan putar 200 rpm.



Gambar 2.8 Proses penggilingan pada *Planetary Ball Mills Sizer*.

(Sumber: Kaushal, 2007)

2.6 Bola Penggiling

Salah satu media penggiling adalah bola-bola *milling* yang di gunakan untuk menghaluskan partikel. Tipe material yang umumnya di gunakan untuk media penggiling diantaranya *hardness steel*, *tool steel*, *stainlees steel*, *hardnes chromium steel*, *cramic alumina* dan masih banyak lagi. Berat jenis dari media penggiling haruslah tinggi, di karenakan bola-bola mengalami gaya *impact* terhadap serbuk. Dan harus di perhatikan juga untuk memungkinkan media penggiling mempunyai material yang sama pada ruang *milling* dan pada serbuk yang di *milling* hal ini dikarekan untuk menghindari terjadinya kontaminasi antara bola dan dinding silider yang tergerus. Bola alumina merupakan suatu produk berbentuk bola yang di gunakan untuk menggiling serta pencampurkan bahan baku. Contoh bahan baku

yang paling banyak di gunakan adalah lempung. Lempung telah didefinisikan sebagai tanah yang menjadi koheren dan lengket bila di campur dengan air, ketika basah, tanah ini mudah dibentuk, tetapi jika dikeringkan maka akan menjadi keras dan rapuh serta memertahankan bentuknya. Tembikar terbuat dari lempung dan bahan mineral lain yang mengandung silika yang di bakar pada temperatur antara 900°C – 1200°C . Salah satu jenis lempung yang merupakan alumunium silikat terhidrasi ($x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$) adalah kaolin. Jenis ini merupakan hasil pelapukan dari *feldspar*, yang disebut juga proses kaolinisasi. Proses kaolinisasi ini terjadi oleh naiknya larutan atau uap panas yang mengandung CO_2 dan SO_2 melalui rekahan batuan *feldspatik* pada temperatur dan tekanan tinggi. Kristal kaolin murni memiliki komposisi $(\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$. Sifat-sifat keramik densitas, kuat Patah (*Bending Strength*), resistivitas maka dari itu bola dengan bahan alumina dapat menggiling bahan baku keramik hingga mencapai ukuran 0,05 mikron (Chusnul A, 2017).



Gambar 2.9 Bola penggiling keramik *Alumina* (Sumber: Chusnul A, 2017).

Ukuran dari bola juga mempunyai pengaruh terhadap efisiensi *milling*, umumnya dikatakan bahwa ukuran yang besar (besar berat jenisnya) dari media penggiling berguna karena masa yang berat dari bola – bola akan memberikan energi *impact* yang lebih besar juga terhadap partikel – partikel serbuk. Fasa yang terbentuk dan senyawa kristal yang terbenkur terjadi akibat menggunakan bola dengan ukuran yang besar. Dalam penelitian yang lain melaporkan bahwa fasa *amouf* terbentuk dengan menggunakan bola-bola *milling* yang berukuran kecil. Hal ini bisa di ungkapkan karena bola-bola yang berukuran kecil akan menghasilkan aksi friksi yang besar ketika proses *milling* sehingga mendorong untuk terbentuknya fasa *amouf*.

Walaupun umumnya penggunaan bola penggiling hanya satu ukuran media *grinding*, tetapi ada juga yang menggunakan ukuran berbeda pada investigasi yang sama. Telah di prediksikan bahwa energi tubrukan yang besar terjadi ketika menggunakan bola-bola yang berukuran berbeda telah di lakukan penelitian bahwa dengan mengkombinasikan bola-bola besar dan kecil selama proses *milling* akan meminimalisir jumlah pengelasan dinding dan banyaknya serbuk yang menempel pada permukaan serbuk, walaupun tak ada penjelasan yang spesifik tentang penambahan *yield* pada keadaan tersebut. Tapi ini memungkinkan bahwa ukuran yang berbeda dari bola-bola menghasilkan gaya geser yang membantu tidak menempelnya serbuk pada bola. Menggunakan bola penggiling yang sama akan berputar menghasilkan jalur trek konsekuensinya, bola-bola akan berputar sepanjang jalur peluru daripada permukaan dengan tidak beraturan. Oleh karena itu di butuhkan beberapa kombinasi antara bola – bola kecil dan besar agar gerakan bola tidak teratur.

2.6.1 Karakteristik Alumina

Alumina memiliki kekuatan ion yang kuat, yang menentukan sifat material, diantaranya memiliki kekuatan mekanik dan kekerasan yang tinggi meskipun kekuatan mekanik dan ketahanan kejut suhu berkurang pada suhu 1000oC karena ekspansi termal alumina yang relatif besar. Selain itu, alumina sangat kuat terhadap serangan kimia dari asam kuat dan alkali hingga suhu yang tinggi, sifat isolasi yang sangat baik, koefisien ekspansi termal yang rendah dan konduktifitas termal yang baik. Alumina memiliki titik lebur yang tinggi, mempunyai karakteristik stabilitas yang baik menyebabkan ketahanan terhadap korosi yang tinggi (Donna F, 2017).

Tabel 2.3 Karakteristik Keramik Alumina

Parameter	Nilai
Densitas (gr/cm ³)	3,96
Titik lebur (oC)	2050
Kuat tekan (MPa)	230 – 350
Modulus of refracture (MPa)	350
Hardness (kgf/mm ²)	1200 – 1600

Koefisien ekspansi termal (α)	8 – 9.10 ⁻⁶
Konduktivitas termal (W/mK)	24 – 2

2.7 Pengayakan dan Penyaringan

Pengayakan atau penyaringan adalah proses pemisahan secara mekanik berdasarkan perbedaan ukuran partikel. Pengayakan (screening) di pakai dalam skala industri, sedangkan penyaringan (sieving) dipakai untuk skala laboratorium. Produk dari proses pengayakan/penyaringan ada 2 (dua), yaitu :

- Ukuran lebih besar daripada ukuran lubang-lubang ayakan (*oversize*).
- Ukuran yang lebih kecil daripada ukuran lubang-lubang ayakan (*undersize*)

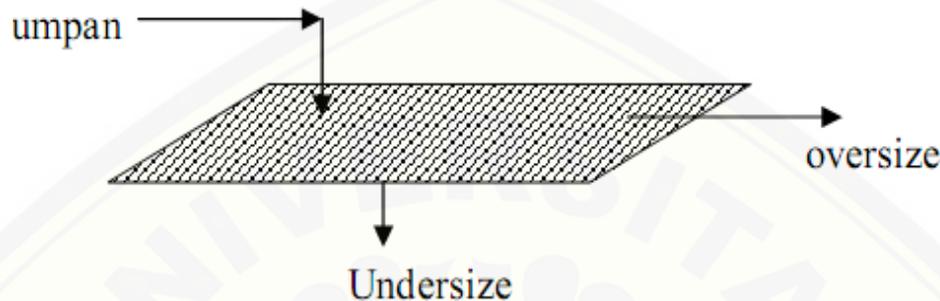
Dalam proses industri, biasanya di gunakan material yang berukuran tertentu dan seragam. Untuk memperoleh ukuran yang seragam, maka perlu di lakukan pengayakan. Pada proses pengayakan zat padat itu di jatuhkan atau di lemparkan ke permukaan pengayak. Partikel yang di bawah ukuran atau yang kecil (*undersize*), atau halus (*finer*), lulus melewati bukaan ayak, sedang yang di atas ukuran atau yang besar (*oversize*), atau buntut (*tails*) tidak lulus. Pengayakan lebih lazim dalam keadaan kering.

Beberapa hal yang perlu di perhatikan dalam pengayakan, yaitu:

- Jenis ayakan
- Cara pengayakan
- Kecepatan pengayakan
- Ukuran ayakan
- Waktu pengayakan
- Sifat bahan yang akan di ayak

Tujuan dari di adakan proses pengayakan adalah mempersiapkan produk yang telah dilakukan proses penggilingan sesuai dengan ukuran dari material yang diinginkan, mencegah masuknya mineral lain yang tidak sempurna atau lebih besar dari maeterial yang di inginkan, sehingga dapat di lakukan proses pengolahan kembali atau di lakukan di proses permesinan selanjutnya. Selain itu untuk meningkatkan spesifikasi suatu material sebagai produk akhir dari proses

permesinan, bahkan hasil yang di dapatkan lebih optimal. Pengayakan biasanya di lakukan dalam keadaan kering untuk material kasar, untuk penyaringan optimal dapat dilakukan dengan 10 *mesh* bahkan lebih. Sedangkan pengayakan dalam keadaan basah biasanya dengan 35 *mesh* bahkan lebih.



Gambar 2.10 Mekanisme pengayakan (Sumber: Herjun P, 2009)

Permukaan ayakan yang di gunakan pada produk yang bervariasi yaitu mulai dari plat yang berlubang seperti *punched plate*. *Punched plate* merupakan ayakan yang berbahan baja ataupun karet yang keras memiliki lubang, ayakan kawat dengan bahan berupa baja, nikel, perunggu, tembaga atau logam lainnya, susunan batangan logam biasanya di gunakan batang baja (*parallel rods*). Sistem bukaan dari permukaan ayakan juga bervariasi, seperti bentuk persegi ataupun persegi panjang. Penggunaan bentuk bukaan ini tergantung dari ukuran, karakteristik, material dan kecepatan gerakan produk. Semakin besar diameter lubang bukaan akan semakin banyak material yang lolos. Faktor tersebut adalah salah satu faktor yang paling mempengaruhi kecepatan material untuk menerobos ukuran ayakan. Material yang memiliki diameter yang sama dengan panjangnya akan memiliki kecepatan dan kesempatan masuk yang berbeda bila posisinya berbeda, material dengan diameter yang sama biasanya memiliki posisi melintang sedangkan material yang ukurannya lebih besar membujur. Selain ukuran, kandungan air yang banyak akan sangat membantu bila hanya sedikit menyumbat lubang ayakan.

Ukuran yang di gunakan bisa di nyatakan dengan mesh maupun mm (metrik). Ukuran yang dimaksud mesh adalah jumlah lubang yang terdapat dalam satu inchi

persegi (*square inch*), sementara jika dinyatakan dalam mm maka angka yang ditunjukkan merupakan besar material yang diayak. Perbandingan antara luas lubang bukaan dengan luas permukaan screen disebut prosentase opening. Pelolosan material dalam ayakan dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Ukuran material yang sesuai dengan lubang ayakan.
- b. Ukuran rata-rata material yang menembus lubang ayakan.
- c. Sudut yang dibentuk oleh gaya pukulan partikel.
- d. Komposisi air dalam material yang akan diayak.
- e. Letak perlapisan material pada permukaan sebelum diayak.

Dalam pengayakan melewati bahan melalui ayakan seri (*sieve shaker*) yang mempunyai ukuran lubang ayakan semakin kecil. Setiap pemisahan padatan berdasarkan ukuran diperlukan pengayakan. screen mampu mengukur partikel dari 76 mm sampai dengan 38 mikron. Operasi *screening* dilakukan dengan jalan melewati material pada suatu permukaan yang banyak lubang atau openings dengan ukuran yang sesuai. Dalam penelitian (Zulkarnain, 2014), dari proses penggilingan *planetary ball mill sizer* untuk memperoleh hasil sampel produk dengan ukuran terkecil maka dilakukan uji *mesh*, proses pengayakan menggunakan mesh berukuran 425 mikron, 212 mikron, dan 0,3 mikron. Pengujian ini dapat mempermudah peneliti apabila dilakukan di ruang vakum agar partikel yang telah dilakukan pengujian tidak terkontaminasi dan tidak berpindah tempat. (Herjun P, 2009).

Dalam proses pengayakan yang akan dilakukan, ayakan yang digunakan berbahan *polypropylene* dibuat menggunakan teknik *nonwoven* (bukan tenunan) bebas pelarut dengan metode *meltblown*. Metode *meltblown* digunakan untuk pelelehan polimer diekstrusi, setelah proses pelelehan kemudian bahan masuk melalui jet udara dengan suhu tinggi dan rotasi berkecepatan tinggi maka proses tersebut terjadi gaya sentrifugal, gaya elektrostatis, aliran lelehan dengan peregangan ekstrim akan terjadi pembentukan serat pendek yang sangat halus, dan kemudian di kumpulkan ke dalam jaring seperti jala atau gordena dan pembentukan serat, dan akhirnya dengan perekat diri untuk diperkuat dan dibuat dari kain bukan tenunan. Teknologi *meltblown* menggunakan polimer kelas serat yang serupa, yang

diekstrusi melalui *spinneret* di bentuk linier serupa cincin melalui *spinneret*, kemudian aliran polimer di kenai pendinginan udara dan peregangan mekanis. Diameter filamen yang di peroleh dari proses ini adalah filamen yang berukuran 15 sampai 20mm, dan kemudian filamen berjalan dan di kenai tahap ikatan akhir (*needling atau thermal bonding*) untuk mendapatkan jaringan fiber *strength* yang lebih tinggi. Tujuan dari proses di atas adalah pembentukan kain berbahan polimer di gunakan sebagai proses pengayakan atau penyaringan yang dapat menyarik partikel dengan ukuran 0,3 mikron. (Olga C, 2013).

2.8 Metode Taguchi

Metode taguchi adalah Taguchi Methods adalah sebuah metode statistik yang di kembangkan oleh Genichi Taguchi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk bersamaan dengan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini berusaha mencapai sasaran dengan menjadikan produk sebagai proses terhadap berbagai faktor seperti material, tenaga kerja, dan kondisi produksi operasional dengan menjadikan produk atau proses yang sifatnya kokoh terhadap gangguan, metode ini juga di sebut *robust design* (Iran S, 2009). Metode Taguchi mempermudah kita untuk mengolah data secara statistik untuk memperoleh kestabilan data sesuai kebutuhan penelitian. Adapun beberapa tahapan dalam menyusun pengolahan data sesuai Metode Taguchi yaitu sebagai berikut:

2.8.1 Tahapan perancangan eksperimen

Tahapan ini merupakan tahapan yang penting karena meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan dan pemilihan matriks orthogonal.

2.8.2 Tahap pelaksanaan eksperimen

Tahapan ini merupakan pelaksanaan pengolahan data yang terdiri dari beberapa tahapan guna melaksanakan penelitian yang sistematis dan mudan dalam pemahamannya. Berikut urutan tahapan pelaksanaan penelitian yaitu sebagai berikut:

a) Penentuan variabel terikat

Variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain yaitu di sebut juga variabel respon.

b) Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas)

Variabel yang perubahannya tidak tergantung dengan variabel lain. Pada tahapan ini akan di pilih faktor-faktor mana saja yang akan di selidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor yang di amati terbagi menjadi dua yaitu faktor kontrol dan faktor gangguan. Dengan penentuan faktor yang dapat di kendalikan tersebut dapat di lihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.4 Tabel Faktor Kontrol Taguchi

No	Faktor Kontrol
1	Kecepatan putar (rpm)
2	Ball to Powder Weigt Ratio (BPR)
3.	Diameter bola (rpm)

c) Penentuan jumlah level dan nilai level faktor.

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang di teliti maka hasil ekperimen akan lebih teliti karena data yang di teliti lebih banyak. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor sebagai berikut:

Tabel 2.5 Tabel Jumlah level dan nilai level faktor.

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Kecepatan putar (rpm)	300	350	400
B	Ball to Powder Weigt Ratio (BPR)	10:1	15:1	20:1
C	Diameter bola (mm)	5:8	5:10	8:10

d) Perhitungan derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan di lakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus di lakukan untuk menyelidiki faktor yang di amati, sebagai contoh sebagai berikut:

- Faktor A Kecepatan Putar = 3 level
- Faktor B Perbandingan Berat Bola = 3 level
- Faktor C Diameter Bola = 3 level

Perhitungan derajat kebebasan di perlukan dalam mempelajari faktor atau efek utama, yaitu sama dengan jumlah level dikurangi satu dalam eksperimen. Berikut adalah contoh rumusnya:

$$V_{ff} = \text{Banyaknya Level} - 1 \quad (2.1)$$

e) Pemilihan Matriks Orthogonal

Dalam memilih matriks orthogonal yang cocok atau sesuai, di perlukan suatu persamaan dari matriks orthogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatanyang di lakukan. Berikut adalah bentuk umum dari model matriks orthogonal:

$$L_a(b^c) \quad (2.2)$$

Dengan :

- L = rancangan bujursangkar latin
- a = banyak baris/eksperimen
- b = banyak level
- c = banyak kolom

Setelah menentukasn rumusan matriks orthogonal selajutnya memilih pengaplikasian pada level yang sesuai. Dalam penelitian ini matriks orthogonal standart untuk 3 level yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.6 Tabel Matriks Orthogonal 3 Level

Matriks Orthogonal 3 Level				
L9(3 ⁴)	L27(3 ¹³)	L81(3 ⁴⁰)	-	-

f) Orthogonalitas

Dasar untuk mendesain eksperimen dengan menggunakan metodologi Taguchi adalah matriks orthogonal. Arti dari orthogonal yaitu keseimbangan yang tidak bercampur. Berikut adalah contoh matriks orthogonal 3 level yang di gunakan pada penelitan ini.

Tabel 2.7 Matriks Ortgonal $L_{27}(3^{13})$

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	1	1	1
11	1	1	2
12	1	1	3
13	1	2	1
14	1	2	2
15	1	2	3
16	1	3	1
17	1	3	2
18	1	3	3
19	1	1	1
20	1	1	2
21	1	1	3
22	1	2	1
23	1	2	2
24	1	2	3
25	1	3	1
26	1	3	2
27	1	3	3

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini Serbuk ZnO Merck mempunyai memiliki ukuran 64 mikron yang akan di maksukan ke dalam setiap mangkok dengan takaran sebesar 10gram. Serbuk yang sudah di timbang menggunakan timbangan digital akan di giling dengan 3 tahapan kecepatan putar yaitu 300, 350 dan 400rpm, dengan perbandingan berat bola dengan serbuk sebesar 10:1, 15:1 dan 20:1, proses penggilingan menggunakan 3 diameter bola yaitu 5, 8 dan 10mm. Waktu yang di butuhkan untuk proses penggilingan ini selama 5 jam. Setelah proses penggilingan maka langkah terakhir yaitu proses penyaringan menggunakan saringan berukuran 0,3mikron dan dilakukan proses penimbangan kembali menggunakan timbangan digital.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini di laksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan, serta alat K3 yang di gunakan selama proses penelitian. Beberapa peralatan yang di gunakan terdapat pada sub di bawah ini:

3.3.1 Alat

a. Alat yang yang di gunakan untuk penelitian ini adalah *Planetary Ball Mill* pada gambar dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Dimensi : 1000x800x670mm
- 2) Motor : 1.500 watt
3 phase
- 3) Tipe gear transmisi : Z18
Z36
Z45
- 4) Inverter : 3 phase

- 5) Kecepatan maksimum : 750rpm
- 6) Volume mangkok : 250L
- 7) Bola penggiling : 5mm
: 8mm
: 10mm



Gambar 3.1 Planetar BallMill Sizer

b. Peralatan Ukur

peralatan ukur yang di gunakan pada penelitian ini antara lain:

1) Neraca Digital

Alat ukur ini di gunakan untuk mencari nilai berat pada bahan dan bola, sehingga dapat menentukan perbandingan berat bola dan bahan yang akan di masukkan kedalam mangkok penggiling. Neraca digital yang digunakan pada penelitian ini adalah *Pocket Scale* MH-200 yang mempunyai ke telitian ukuran 0,001 gram.

2) *Stop Watch*

Alat ukur ini digunakan untuk menghitung lama waktu aktual selama proses penggilingan berlangsung. *Stop Watch* yang di gunakan dalam penelitian memiliki ke telitian sebesar 0.01 detik

3) Saringan Mikron

Alat ukur ini di gunakan untuk menyaring partikel yang telah di lakukan proses penggilingan. Kemampuan saringan untuk menyaring partikel sebesar 0.1 - 0,3 mikron.

3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang di gunakan untuk penelitian

- a. Serbuk *zinc oxide* (ZnO) dengan komposisi di sajikan pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Komposisi sifat-sifat dari Seng Oksida

Sifat-sifat	Keterangan
Berat molekul	Zn,65.38;O,16.00;ZnO,81.38
Ukuran Serbuk	64 Mikron
Kisi	Heksagonal,wurtzite
Konstanta kisi	a= 0,324 nm,c = 0.619 nm, c/a = 1.60
Densitas	5780 kgm ⁻³
Konstanta dielektrik	8.54
Indeks bias	2.008
Kekuatan Tekan (MPa)	29,87 (MPa)
Energy celah pita	3.2 ev
Formasi entalpi	-384.2 kJ mol ⁻¹
Titik leleh	Menguap pada 1700 °C
Panas spesifik	40.4 J mol ⁻¹ K ⁻¹
Kelarutan	1.6 x 10 ⁻⁶ kg per kg H ₂ O 25°C

3.4 Variabel penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel yang perubahannya tidak tergantung dengan variabel lain. Pada tahapan ini akan di pilih faktor-faktor mana saja yang akan di selidiki pengaruhnya

terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan.

Tabel 3.2 Tabel Faktor Kontrol Taguchi

No	Faktor Kontrol
1	Kecepatan putar (rpm)
2	Ball to Powder Weight Ratio (BPR)
3.	Diameter bola (mm)

3.4.2 Variabel terikat

Variabel yang perubahannya tergantung pada variabel - variabel lain yaitu di sebut juga variabel respon. Variabel terikat berhubungan dengan variabel bebas (masalah yang di teliti). Variable terikat pada penelitian ini adalah mesin *Planetary BallMill Sizer* dan material ZnO.

3.4.3 Variabel kontrol

Variabel yang di buat konstan atau tetap. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah waktu penggilingan selama 5 jam.

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah percobaan yang akan di laksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan, benda kerja dan bahan ZnO berukuran mikron.
2. Menyiapkan mesin *Planetary BallMill Sizer*.
3. Bersihkan serbuk yang tersisa di dalam mangkok menggunakan kuas.
4. Timbang serbuk ZnO seberat 10gram pada setiap mangkok.
5. Menyiapkan bola penggiling dengan diameter 5 mm, 8mm, dan 10mm..
6. Timbang bola penggiling guna memperoleh perbandingan berat bola dengan serbuk (10 : 1, 15 : 1 dan 20 : 1). Ukuran bola yang akan di timbang ada 3 variasi dengan setiap variasi tersiri dari 2 komposisi, yaitu bola 5mm dan 8mm, 5mm dan 10mm, 8mm dan 10mm, berat masing – masing bola ukuran bola adalah 50% dari setiap perbandingan berat bola terhadap serbuk.

7. Masukkan serbuk ZnO dan bola penggiling yang sudah di timbang menggunakan timbangan digital ke dalam mangkok yang telah di letakkan di pelat penyangga mangkok.
8. Tutup mangkok dan pengaman.
9. Hubungkan *panel box Planetary BallMill Sizer* ke sumber listrik dan aktifkan *inverter*.
10. Nyalakan mesin dengan memutar *inverter* yang berada pada *panel box*.
11. Lakukan pengulangan pengujian dengan waktu selama 5 jam
12. Matikan mesin dan kumpulkan sampel.
13. Lakukan penyaringan dan penyakan pada masing masing sampel pengujian menggunakan saringan *polyetilene* dengan ukuran saringan sebesar 0,3mikron.
14. Mengambil sample pada wadah penyaring dan meletakkan kedalam wadah sample.

3.5 Tahap perencanaan Eksperimen

Merupakan tahap terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variable tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan dan pemilihan matriks ortogonal.

3.5.1 Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang tersebut di atas, maka pokok dari permasalahan tersebut dapat di rumuskan sebagai berikut: “pengaruh dari kecepatan putar, berat, dan diameter bola pada *Planetary BallMill Sizer* terhadap peningkatan produksi ZnO”.

3.5.2 Tujuan Eksperimen

Tujuan dari penelitian saya adalah mengetahui parameter yang paling efisien dari kecepatan putar 300, 350 dan 400rpm, perbandingan berat serbuk dengan bola (10:1, 15:1 dan 20:1) dan diameter bola (5mm dan 8mm, 5mm dan 10mm, 8mm dan 10mm).

3.6 Penentuan Variabel Penelitian

Penentuan variabel di tentukan berdasarkan banyaknya faktor yang memang berpengaruh pada produktifitas penggilingan serbuk ZnO, sedangkan variabel tersebut terbagi menjadi yaitu variabel tidak bebas dan variabel bebas sebagai berikut:

3.6.1 Variable Kontrol

Variable tak bebas dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan bahan ZnO dengan ukuran 64mikron dan waktu penggilingan selama 5 jam.

3.6.2 Indentifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Faktor-faktor yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu penggunaan faktor kecepatan putar 300, 350 dan 400rpm, perbandingan berat serbuk dengan bola (10:1, 15:1 dan 20:1) dan diameter bola (5:8, 5:10 dan 8:10).

3.6.3 Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang di amati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat di atur atau di kendalikan, atau faktor yang nilainya akan kita kendalikan, sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bias kita atur atau kendalikan, walaupun dapat kita atur faktor gangguan akan mahal biayanya. Berikut adalah contoh tabel faktor

Tabel 3.3 Faktor kontrol pada penelitian

No	Faktor Kontrol
1	Kecepatan putar (rpm)
2	Ball to Powder Weigt Ratio (BPR)
3	Diameter bola (mm)

3.6.4 Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Penentuan jumlah level dan nilai level adalah penentuan yang menjelaskan bagaimana faktor tersebut di lakukan pengujian sesuai dengan banyaknya penelitian yang akan di lakukan, semakin banyak level yang akan di ujikan makan semakin banyak pula biaya yang akan tanggung. Banyaknya jumlah level dan nilai level

merupakan hasil kombinasi yang di teliti sesuai dengan keperluan penelitian. Berikut adalah tabel jumlah level dan nilai faktor.

Tabel 3.4 Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Kecepatan putar (rpm)	300	350	400
B	Ball to Powder Weight Ratio (BPR)	10:1	15:1	20:1
C	Diameter bola (mm)	5mm dan 8mm	5mm dan 10mm	8mm dan 10mm

3.6.5 Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan di lakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus di lakukan untuk menyelidiki faktor yang di amati.

Perhitungan derajat kebebasan dan kombinasi yang di usulkan nantinya akan mempengaruhi pemilihan dalam tabel matriks orthogonal yang telah di jelaskan sebelumnya. Terdapat 3 faktor dan 3 level dalam penelitian ini.

Tabel 3.5 Perhitungan Derajat Kebebasan Total

Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	(3-1)	2
B	(3-1)	2
C	(3-1)	2
Total derajat kebebasan		6

Perhitungan derajat kebebasan pada penelitian ini, di peroleh $V_{ff} = 6$ derajat kebebasan, dan masing-masing faktor mempunyai 3 level. Dengan begitu maka matriks orthogonal yang di pilih adalah yang memiliki derajat kebebasan sama atau lebih besar dengan pilihan matriks orthogonal sebagai berikut:

$$L_9(3^4) = 4 \times (3-1) = 8 \text{ Derajat kebebasan}$$

$$L_{27}(3^{13}) = 13 \times (3-1) = 26 \text{ Derajat kebebasan}$$

Pada perhitungan total derajat kebebasan dalam eksperimen adalah 6 derajat kebebasan, oleh karena itu matriks orthogonal yang di pilih adalah $L_{27} = (3^{13})$.

3.6.6 Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi kedalam matriks ortghonal.

Tabel 3.6 Matriks Ortgonal $L_{27}(3^{13})$

Eks	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	1	1	1
11	1	1	2
12	1	1	3
13	1	2	1
14	1	2	2
15	1	2	3
16	1	3	1
17	1	3	2
18	1	3	3
19	1	1	1
20	1	1	2
21	1	1	3
22	1	2	1
23	1	2	2
24	1	2	3
25	1	3	1
26	1	3	2
27	1	3	3

3.7 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Tahap pelaksanaan ekperimen adalah tahap dalam substitusi variabel kontrol pada data percobaan guna memahami output produktivitas serbuk alumina sesuai pengolahan data dengan metode Taguchi yang di aplikasikan pada Matriks Orthogonal $L_{27}(3^{13})$. Berikut ini adalah tabel data percobaan

Tabel 3.7 Perhitungan Derajat Kebebasan Total

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Kecepatan putar (rpm)	300	350	400
B	Ball to Powder Weight Ratio (BPR)	10:1	15:1	20:1
C	Diameter bola (mm)	5mm dan 8mm	5mm dan 10mm	8mm dan 10mm

Tabel 3.8 Data Percobaan

Eks	Faktor			Serbuk Hasil (g)
	Kecepatan Putar (rpm)	BPR	Diameter Bola (mm)	
1	300	10 : 1	5mm dan 8mm	
2	300	10 : 1	5mm dan 10mm	
3	300	10 : 1	8mm dan 10mm	
4	300	15 : 1	5mm dan 8mm	
5	300	15 : 1	5mm dan 10mm	
6	300	15 : 1	8mm dan 10mm	
7	300	20 : 1	5mm dan 8mm	
8	300	20 : 1	5mm dan 10mm	
9	300	20 : 1	8mm dan 10mm	
10	350	10 : 1	5mm dan 8mm	
11	350	10 : 1	5mm dan 10mm	
12	350	10 : 1	8mm dan 10mm	
13	350	15 : 1	5mm dan 8mm	
14	350	15 : 1	5mm dan 10mm	
15	350	15 : 1	8mm dan 10mm	
16	350	20 : 1	5mm dan 8mm	
17	350	20 : 1	5mm dan 10mm	
18	350	20 : 1	8mm dan 10mm	
19	350	10 : 1	5mm dan 8mm	
20	400	10 : 1	5mm dan 10mm	
21	400	10 : 1	8mm dan 10mm	
22	400	15 : 1	5mm dan 8mm	
23	400	15 : 1	5mm dan 10mm	
24	400	15 : 1	8mm dan 10mm	
25	400	20 : 1	5mm dan 8mm	
26	400	20 : 1	5mm dan 10mm	
27	400	20 : 1	8mm dan 10mm	

Pada penelitian ini produktivitas akan tercapai baik jika ke telitian memiliki nilai tinggi, oleh karena itu jenis produktivitas yang di gunakan yaitu *Larger the Better*.

3.8 Tahap Analisis

Pada analisa di lakukan pengumpulan dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk eksperimen yang di pilih. Selain itu perhitungan dan penyajian data di tampilkan dalam bentuk statistik *Analisa of Varian* (ANOVA), test hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris padadata hasil eksperimen.

Untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang signifikan dan berpengaruh dalam terhadap produktivitas mesin *Planetary BallMill Sizer* di perlukan analisa dan pengolahan data eksperimen dengan menggunakan perhitungan nilai means dan ditransformasikan ke bentuk S/N Rasio dalam tabel Anova. Berikut adalah tahapan Analisa dalam metode Taguchi:

a. ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variant*) adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis variansi pada matriks orthogonal ini di lakukan berdasarkan peritungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom atau dengan membandingkan nilai *sum of square* dari satu parameter permesinan terhadap seluruh parameter permesinan. Pada penelitian saat ini yang di gunakan adalah ANOVA dua arah karena memiliki dua parameter permesinan atau lebih. Tabel ANOVA terdiri dari derajat kebebasan (*Degree of freedom*, df), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS), F hitung (Frasio, Fo).

b. Uji Distribusi F

Uji distribusi F merupakan uji yang di gunakan untuk hasil analisi varian yang tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan. Uji F di lakukan dengan cara membandingkan variansi yang di sebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variansi setiap

individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat di kendalikan. Berikut adalah rumusan yang digunakan pada uji distribusi F:

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{Variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}} \quad (3.1)$$

Nilai F_{sumber} tersebut di bandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $((k-1).(N-k))$. Dimana k adalah jumlah level suatu faktor dan N adalah jumlah total perlakuan.

Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah:

H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j = \mu_k$

H_a : ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu μ_1 yang tidak sama

Apabila nilai F test lebih kecil nilai F_{tabel} ($F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) di terima atau berarti tidak ada perlakuan. Namun jika nilai F test lebih besar dari nilai F_{tabel} ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) di tolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

1) Rasio S/N

Rasio *Signal to noise* atau disingkat Rasio S/N memiliki kegunaan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul.

Penggunaan variasi untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Rasio S/N terdiri dari beberapa tipe karakteristik kualitas, namun dalam penelitian ini yang di pakai adalah semakin besar semakin baik (*larger better*), denan rumusan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

2) Interpretasi hasil

Dalam tahapan ini hasil yang sudah didapatkan maka akan di lakukan analisa hasil menggunakan perhitungan jumlah kuadrat (ST), S terhadap rata-rata (S_n), S faktor ataus error (S_e). Interpretasi hasil yang dilakukan adalah persen kontribusi.

Ketika analisis varian telah di gunakan pada seperangkat data dan jumlah kuadrat telah di hitung kita dapat menggunakan data ini untuk membagi jumlah kuadrat dengan faktor-faktor yang relevan. Dengan membandingkan nilai ini terhadap jumlah kuadrat total menghasilkan persen kontribusi dari masing-masing faktor.

$$SA' = SA - vA \cdot Ve \quad (3.3)$$

dengan:

SA' = jumlah kuadrat seluruhnya dari faktor A

SA = jumlah kuadrat dari deviasi target

vA = derajat kebebasan A

Ve = varian (σ^2)

Bagian dari jumlah kuadrat $vA \cdot Ve$ harus di tambahkan pada jumlah kuadrat error untuk meyakinkan bahwa jumlah kuadrat total sudah di perhitungkan. Sedangkan ρ (rho) sebagai prosentase dari jumlah kuadrat suatu sumber yang sesungguhnya terhadap jumlah kuadrat total dengan rumusan sebagai berikut:

$$\rho A = \frac{SA'}{St} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan:

ρA = rho rasio faktor A

SA' = Jumlah kuadrat seluruhnya dari faktor A

ST = Jumlah kuadrat total

Pada bagian error yang berasal dari jumlah kuadrat deviasi untuk suatu sumber harus di tambahkan pada jumlah kuadrat untuk menghemat jumlah kuadrat total St . Dengan begitu persen kontribusi dari semua sumber (termasuk error) harus berjumlah 100%.

3) Prediksi Rasio S/N dan *mean* Produktivitas Serbuk yang optimal

Setelah di ketahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap Rasio S/N dan *Mean*, selanjutnya adalah pembuatan model persamaan rata-rata. Sebagai aturan empiris, hanya 1 faktor yang paling berpengaruh yang di pilih, karena dalam matriks ortogonal hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Berikut ini adalah rumus perhitungannya:

$$\eta_{\text{Optimum}} = \eta + (\text{nilai faktor} - \eta) \quad (3.5)$$

dimana:

η = rata-rata nilai optimum

nilai faktor = jumlah nilai faktor

3.9 Pengamatan sampel

Proses pengamatan sample ini di lakukan untuk memperoleh partikel dengan di lakukan pengayakan bahan yang telah di giling.

a. Proses Pengayakan

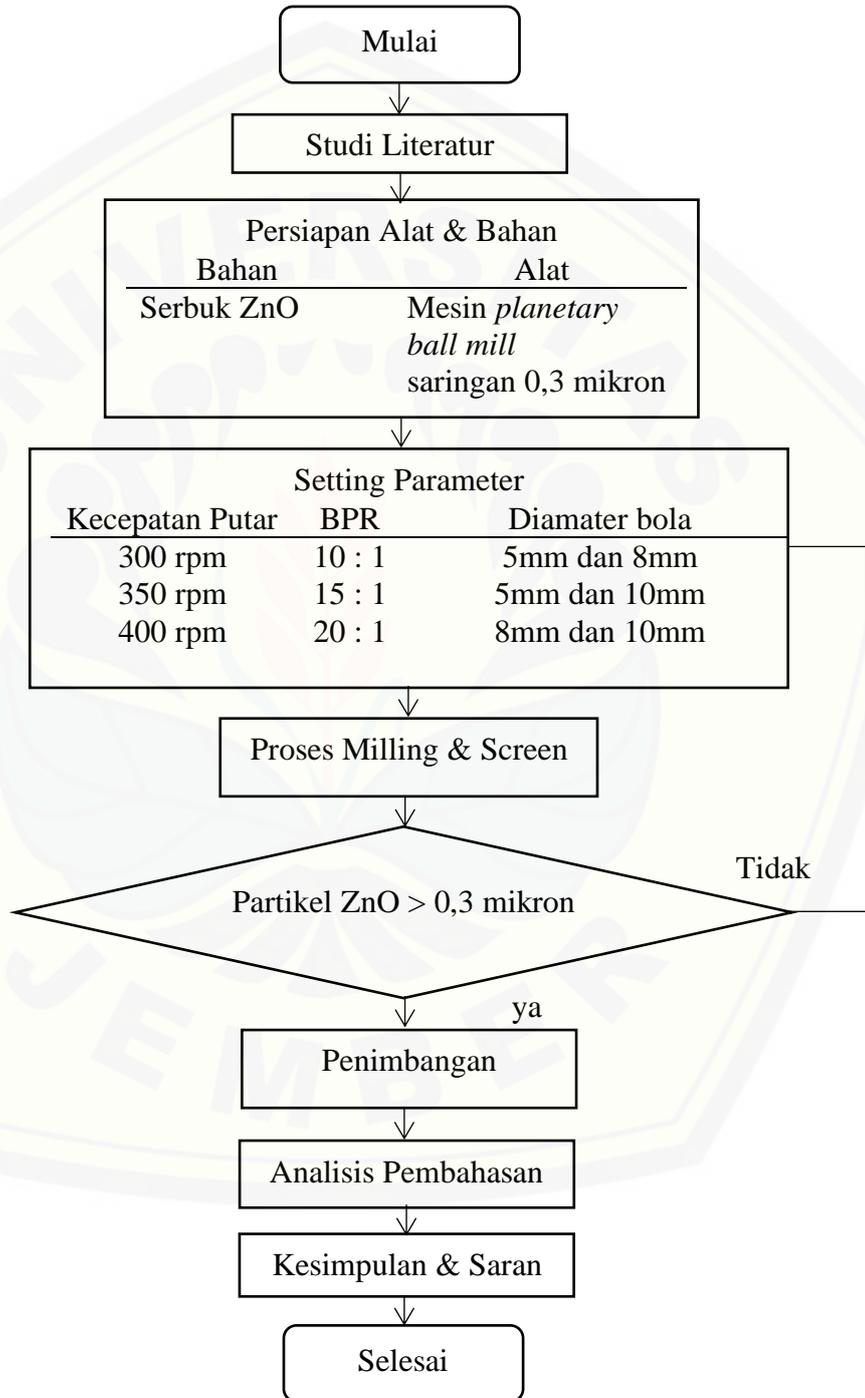
Pengayakan sampel di lakukan menggunakan saringan *mesh* sebesar 0,3 mikron untuk mengetahui berat dari sampel yang tertinggal di dalam saringan dan sampel yang lolos dalam saringan. pengayakan menggunakan saringan berukuran 0,3 mikron di lakukan di Laboratorium Kemasan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.



Gambar 3.2 Skema proses pengayakan partikel ZnO

b. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian di lakukan agar penelitian lebih fokus dan terarah pada tujuan penelitian. Tahapan yang di lakukan pada penelitian di tunjukan oleh diagram alir pada gambar berikut:



Gambar 3.3 Diagram alir metode penelitian

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil dari percobaan menggunakan kombinasi parameter tersebut menunjukkan bahwa dari penelitian yang berjudul “Pengaruh Kecepatan dan Perbandingan Berat Bola Terhadap Serbuk serta Perbandingan Ukuran Bola pada *Planetary BallMill Sizer* guna Meningkatkan Produksi Partikel *ZincOxide*” dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

- a) Parameter Kecepatan Putar memberi kontribusi sebesar 51%. Parameter Kecepatan Putar yang paling signifikan adalah 400rpm dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,67 gram.
- b) Parameter Perbandingan berat bola dengan serbuk (BPR) memberi kontribusi sebesar 17% dalam proses pengurangan ukuran partikel. Dikarenakan parameter BPR dapat disesuaikan dengan volume mangkok penggiling, ukuran bola penggiling dan berat bahan yang akan dilakukan proses penggilingan. Hal tersebut berarti parameter BPR yang digunakan untuk mangkong dengan volume 250ml adalah 15:1 dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,31gram.
- c) Parameter diameter bola memberi kontribusi sebesar 21%. Parameter diameter bola yang paling signifikan adalah 5mm dan 10mm dengan produktivitas rata-rata serbuk yang lolos penyaringan yaitu 6,49gram.

5.2 Saran

Metode Taguchi membuktikan seberapa besar prosentase kontribusi dari setiap parameter dan juga membuktikan seberapa besar error yang terjadi. Penelitian menggunakan alat *Planetary BallMill Sizer* ini berhasil memproduksi partikel ZnO yang lolos penyaringan hingga 8,78 gram dengan variasi 3 parameter. Tetapi terdapat kendala pada alat dan serbuk, kendala tersebut adalah tingginya suhu pada roda gigi dan motor listrik yang berlebih serta serbuk yang telah di lakukan proses penggilingan mengalami *aglomerasi* sehingga memakan banyak waktu untuk di lakukan proses penyaringan.

Saran dari penulis agar mengembangkan alat *Planetari BallMill Sizer* dan metode penggilingan, agar proses yang dilakukan lebih efektif dan menghasilkan lebih banyak serbuk yang di produksi. Serta adanya penambahan bahan lain seperti larutan asam supaya tidak terjadi *aglomerasi* yang berlebih, dan bahan setelah dilakukan proses penggilingan lebih mudah disaring, untuk mengetahui ukuran yang lebih signifikan disarankan dilakukan pengujian *Scaning Electron Microscopy (SEM)*.



DAFTAR PUSTAKA

- A. Reghunadhan., (2018). *Mechanical property analysis of nanomaterials*. India: Internasional and Inter University Center for Nanoscience and Nanotechnology. Mahatma Gandhi University.
- Afif. H. F., (2008). Studi Pra-feasibilitas dengan sirkuit benefisiari logam tanah jarang berbasis pasir monazite. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- A. Tsukazakin dan Akira. O., (2005). *Repeated temperature modulation epitaxy for p-type doping and light-emitting diode based on ZnO*. Japan: Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577.
- Chusnul. A dan Bayu. P., (2017). Pengaruh putaran mesin terhadap hasil serbuk lempung pada mesin penggiling keramik. Bandung: Fakultas Teknik STT Mandala.
- Christine. F dan Aron. K., (2013). *Process engineering with planetary ball mills*. Germany: Chemical Society Reviews, 42(18). Technische Universitast Braunschweig, Institute for Particle Technology. RSC Publishing.
- Donna. F., (2017). Pembuatan dan karakterisasi keramik alumina dengan aditif glass bead. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Sumatra Utara..
- F. Burmeister dan A. Kwade., (2012). *Process engineering with planetary ball-mills*. RSC Publishing.
- F. L. Zhang., (2008). *Parameters optimization in the planetary ball milling of nanostructured tungsten carbide/cobalt powder*. China: Guangdong University of Technology. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 26 (2008) 329–333.

- Fitria. P., (2014). Efek variasi waktu ball-milling terhadap karakteristik elektrokimia sel superkapasitor berbasis karbon. Riau: Jom FMIPA Vol 1 No 2.
- Fumiyoshi. N., (2007). Planetary Ball mill. China: United States Patent. Nagao System Inc.
- Ghiska. R., (2011). Karakterisasi nanopartikel ZnO hasil sintesis dengan metode presipitasi dan perlakuan prahidrotermal. Depok: Fakultas Teknik Indonesia.
- Hendri. V. H., (2017). *Optimization of Parameters for Manufacture Nanopowder Bioceramics at Machine Pulverisette 6 by Taguchi and ANOVA Method*. Indonesia: IOP Publishing.
- Hiroshi. M., (2001). *Effects of rotational direction and rotation-to-revolution speed ratio in planetary ball milling*. Japan: Materials Science and Engineering A332 (2002) 75–80.
- Herjun. P., (2009). Perlakuan mekanik “neraca bahan pada pengayakan”. Padang: ATIP.
- Irfan. S., (2010). Pengaruh milling terhadap peningkatan kualitas pasi besi sebagai bahan baku industri logam. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- J. Ma., (2009). *Application of back-propagation neural network technique to high-energy planetary ball milling process for synthesizing nanocomposite WC–MgO powders*. Shanghai China: Donghua University. Materials and Design 30 (2009) 2867–2874.
- Kaushal. K., (2007). *Study on the rffect of high energy ball milling (a nano material process) on the microstructure and mechanical properties of a (Al-Si-Fe-Cu) alloy*. Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology Rourkela: Bachelor of Technology In Metallurgical and Materials Engineering.

- M. Ramezani dan T. Neitzert., (2012). *Mechanical milling of aluminum powder using planetary ball milling process*. New Zealand: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Vol 55 No 2.
- M. Broseghini., (2016)., *Modeling of the planetary ball-milling process: the case study of ceramic powder*. Italy: Jurnal of the european ceramic society 36.
- Olga, C dan Marcin, H., (2013). *Elaboration of small diameter vascular prostheses selection of appropriate sterilisation method*. Poland: Department of Material and Commodity Sciences.
- O. M. Lemine., (2010). *Planetary milling parameters optimization for the production of ZnO nanocrystalline*. Saudi Arabia: International Journal of the Physical Sciences Vol. 5.
- Ozgur, U dan C. Liu., (2005). *A comprehensive review of zno materials dan devices*. Journal of Applied Physics, 98(4). Department of Electrical Engineering and Physics Department, Virginia Commonwealth University. American Institute of Physics.
- Priya, R dan Edward, L., (2011). *Predicting conditions for scaled-up manufacturing of material prepared ball milling*. Powder Technology 221 (2012) 403–411. New Jersey Institute of Technology: Newark, NJ 07102, United States
- S. Aisyah, dan Agus. S. (2018). *Design and Testing of UMM Vertical Ball Mill (UVBM) for Producing Aluminium Powder*. Malang: IOP Publishing.
- Simon, B ., (2014). *Pengaruh lama penggilingan dengan metode ball mill terhadap rendemendan kemampuan hidrasi tepung porang (Amorphophallus muelleri Blume)*. Malang. Jurnal Pangan dan Agroindustri Vol.2 No.1.
- Subrahmayam, V., (2018). *Oprimation of milling parameter of plenetary ball mill for synthesizing nano particles*. India: University Kakinaha. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). Volume 9.

- Tomi, B. W., (2013). Pembuatan nano partikel Fe₂O₃ dengan kombinasi ball milling dan ultrasonic milling. Tangerang selatan: Pusat Penelitian Fisika-LIPI.
- Tung, Hsu. H., (2006). *Parameters optimization of nano particle wet milling process using the Taghuci method and genetic algorithm*. Taiwan: Department of Industrial Engineering and Management, National Yunlin University of Science and Technology.
- Wilfred, L. F., (2017). *Purification of Laboratory Chemicals (Eighth Edition)*. Chapter 7 - Nanopartikels and Nanotechnology: Elsevier, inc.
- Zulhairi, R dan Othman, M., (2014). *Proses parameters optimization of silika sand nanoparticles produktion using low speed ball milling metod*. China: Chinese Journal of Engineering. Hinawi Publishing volume 2014, 4 pages.

LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Tabel Statistik F 0,05

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Sumber: Jonathan Sarwono book Regresi page 2

Lampiran 6.2 Komponen Alat dan Bahan



Gambar Plate pengaman mangkok



Gambar Mangkok silinder



Gambar Bola penggiling keramik Alumina



Gambar Zincoxida powder



Gambar Penimbangan serbuk



Gambar Penimbangan bola keramik *Alumina*



Gambar Pencampuran serbuk dan bola penggiling



Gambar Komponen dan Inverter



Gambar Kain screen *Polyetilene* 0,03mikron



Gambar Proses Penyaringan

(H) TORREY HILLS
TECHNOLOGIES, LLC

Planetary Ball Mills

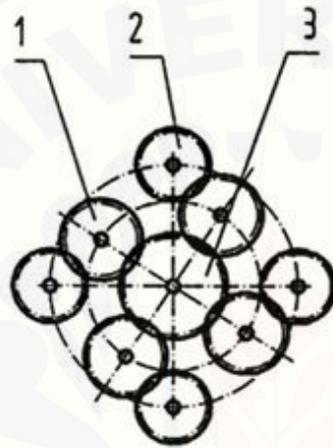
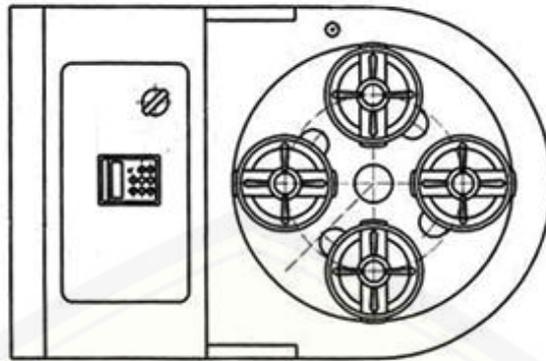
MODELS

Models	ND 0.4L	ND 2L	ND 4L	ND 12L	ND 20L
Capacity	4x0.1 Liters	4x0.5 Liters	4x1.0 Liters	4x3.0 Liters	4x5.0 Liters
Centrifugal Speed (rpm)	0-300	0-285	0-260	0-215	0-135
Planetary Speed (rpm)	0-600	0-575	0-525	0-430	0-275
Motor Power (kW)	0.55	0.75	1.5	4	5.5

GRINDING JARS AND MEDIA

Grinding Jar Material/Jar Volume	50ml	100ml	150ml	250ml	300ml	400ml	500ml	1L	2L	3L	4L	5L
Stainless Steel	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Stainless Steel - Vacuum Insulated	√	√	√	√	√		√	√	√		√	
Agate	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Alumina 99.95%	√	√		√			√	√	√	√	√	√
Nylon	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Teflon	√	√	√	√			√	√		√	√	√
Tungsten Carbide		√		√								
Zirconia	√	√		√			√					

Gambar Literatur pembuatan *Planetary BallMill Sizer*



1. Bridging Gear
2. Planetary Gear
3. Fixed Gear

Gambar Literatur desain *Planetary BallMill Sizer*

ikhtisar

Rincian cepat

Nomor model:	DECO-B-ALO	Kondisi:	Baru
Jenis:	Pabrik Bola	Jenis produk:	Ball Mill Media
Tempat asal:	Hunan, China (Mainland)	Nama merek:	DECO
Dimensi (l * w * h):	Dia 3/5/8/10/15/20mm	Sertifikasi:	ISO9001
produk:	Alumina Ball Mill Grinding Bola Media	bahan:	Aluminium Oksida
kepadatan:	3.8g/cm3	tersedia Diameter:	3/5/8/10/15/20mm
bentuk:	Sphere	warna:	putih
Finish:	dipoles	ketahanan abrasi:	sangat Baik
Jenis sampel:	Medium-keras, berserat sampel	Kode HS:	84749000
Garansi:	7 hari setelah menerima bola	Purna jual layanan ...	Tidak ada layanan di luar negeri tersedia
Berat:	1 kg		

Kemampuan pasokan

Kemampuan pasok...2000 Kilogram/Kilograms per Month

Pengemasan & Pengiriman

Rincian Kemasan	Alumina Keramik Bola Paket: (1) tas plastik (2) gelembung busa (3) standar ekspor karton
Pelabuhan	Shenzhen, Shanghai, Hangzhou
Waktu Pemenuhan ...	Shipped in 3 days after payment

Gambar Spesifikasi pembelian bola keramik *alumina*