



**PENGARUH VARIASI LAJU SERBUK DAN ARUS PLASMA  
TERHADAP MASSA SERBUK ZINC OXIDE DENGAN METODE DC  
THERMAL PLASMA MENGGUNAKAN SCREW CONVEYOR**

**SKRIPSI**

Oleh

**Ahmad Kurniawan**

**NIM 161910101092**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PENGARUH VARIASI LAJU SERBUK DAN ARUS PLASMA  
TERHADAP MASSA SERBUK *ZINC OXIDE* DENGAN METODE *DC  
THERMAL PLASMA* MENGGUNAKAN *SCREW CONVEYOR***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh  
**Ahmad Kurniawan**  
**NIM 161910101092**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## 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 Sugianto dan Marfuah yang telah memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Kedua kakak saya Arina Dewi dan Nurul Indah Novita yang sangat saya sayangi.
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.
4. Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Dr. Mochammad Asrofi, S.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. Semua guru Taman Kanak-kanak ABA 1 Cakru yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru Sekolah Dasar Negeri 02 Kraton yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah 08 Cakru yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua guru Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Lumajang yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
10. Semua teman-teman tim riset MaGNIFIED yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.

11. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2016 yang selalu memberikan motivasi sampai saya menjadi seorang sarjana.
12. Teman-teman KKN 180 yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
13. Teman-teman AEROMODELING yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.

Seluruh teman-teman bermain pada masa kecil hingga perguruan tinggi.



**MOTTO**

Jadilah lebih baik karena diri sendiri, bukan karena orang lain  
(Ahmad Kurniawan)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Kurniawan

NIM : 161910101092

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Laju Serbuk dan Arus Plasma terhadap Massa Serbuk *Zinc Oxide* dengan Metode *Dc Thermal Plasma Menggunakan Screw Conveyor*” 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 dijunjung tinggi.

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

Jember, 13 Juli 2020  
Yang menyatakan,

Ahmad Kurniawan  
NIM 161910101092

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI LAJU SERBUK DAN ARUS PLASMA  
TERHADAP MASSA SERBUK ZINC OXIDE DENGAN METODE DC  
THERMAL PLASMA MENGGUNAKAN SCREW CONVEYOR**

Oleh

**Ahmad Kurniawan**

**NIM 161910101092**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

: Danang Yudistiro, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota

: Dr. Mochammad Asrofi, S.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Laju Serbuk dan Arus Plasma terhadap Massa Serbuk *Zinc Oxide* dengan Metode *Dc Thermal Plasma* Menggunakan *Screw Conveyor*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Danang Yudistiro, S.T., M.T.

NIP 197902072015041001

Dr. Mochammad Asrofi, S.T.

NIP 198704302014041001

Penguji,

Penguji I

Penguji II

Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T.

NIP 197003101997021001

Intan Hardiatama, S.T., M.T.

NIP 198904282019032021

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi Laju Serbuk dan Arus Plasma terhadap Massa Serbuk *Zinc Oxide* dengan Metode *Dc Thermal Plasma* Menggunakan *Screw Conveyor*;**  
Ahmad Kurniawan, 161910101092; 2020; 68 halaman; Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Nanoteknologi menjadi perhatian para peneliti dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penelitian dibidang nanoteknologi telah menunjukkan terciptanya sifat fisik, dan kimia yang baru dari suatu material yang tidak dijumpai pada material yang berukuran besar, sehingga hal ini mengarahkan penelitian untuk mensintesis material berukuran nano. Sintesis nanopartikel merupakan pembuatan partikel yang memiliki ukuran kisaran 1-100 nm. Sintesis nanopartikel yang sangat menarik belakangan ini untuk dikembangkan adalah *Zinc Oxide* (ZnO). ZnO memiliki banyak aplikasi antara lain untuk fotolisis, sel surya peka warna, sensor gas, dan optoelektronika.

Proses pembuatan nanopartikel *Zinc Oxide* dilakukan dengan menggunakan metode *DC Thermal plasma*. Metode *DC Thermal Plasma* mampu menghasilkan suhu yang sangat tinggi sehingga memungkinkan bahan mengalami penguapan. Bahan yang digunakan yaitu serbuk *Zinc* (Zn) Merck dengan ukuran <45  $\mu\text{m}$ . Pembuatan nanopartikel *Zinc Oxide* metode *DC Thermal Plasma* dilakukan dengan cara menginjeksikan partikel serbuk Zn sebanyak 5 gram kedalam api plasma menggunakan *screw conveyor*, sehingga partikel serbuk Zn mendapat energi panas dari api plasma dan mencair secara bersamaan di percepat kebawah nyala api plasma. Proses pembakaran nanopartikel *Zinc Oxide* dilakukan selama 60 detik. Partikel yang mencair kemudian menguap beroksidasi dengan oksigen menjadi sferoid dan jatuh bebas kebawah melalui udara didalam ruang akibat mengalami pendinginan cepat oleh tabung reaktor, sehingga terbentuk nanopartikel *Zinc Oxide*.

Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode taguchi. Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap jumlah massa serbuk yang dihasilkan dari proses pembuatan nanopartikel alumina.

Parameter yang diteliti yaitu laju serbuk (8,50; 11,50 dan 15,50 g/min) dan arus (50, 60 dan 70 Ampere).

Hasil analisis statistik membuktikan parameter laju serbuk berkontribusi sebesar -3,21 % dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 membuktikan bahwa parameter laju serbuk tidak berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel *Zinc Oxide* yang dihasilkan, sedangkan parameter arus berkontribusi sebesar 1,87% dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 membuktikan bahwa parameter arus tidak berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel *Zinc Oxide* yang dihasilkan. Parameter optimum yang dapat menghasilkan serbuk *Zinc Oxide* paling banyak diperoleh dari kombinasi parameter laju serbuk 8,50 g/min dan arus plasma 50 A dengan nilai S/N rasio 12,21 dan rata-rata jumlah serbuk akhir sebesar 4,08 gram.

## SUMMARY

The Effect of Variation Powder Rate and Plasma Current on the Mass Powder With the Dc Thermal Plasma Method Using Screw Conveyor; Ahmad Kurniawan, 161910101092; 2020; 68 halaman; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Nanotechnology is a concern of researchers in the development of science and technology. Research in the field of nanotechnology has shown the creation of new physical and chemical properties from a material that is not found in large-sized material, so this directs research to synthesize nano-sized material. Synthesis of nanoparticles is the manufacture of particles which have a size range of 1-100 nm. Synthesis of nanoparticles which is very interesting lately to be developed is Zinc Oxide (ZnO). ZnO has many applications including photoelectric, color sensitive solar cells, gas sensors and optoelectronics.

The process of making Zinc Oxide nanoparticles is carried out using the DC Thermal plasma method. The DC Thermal Plasma method is capable of producing very high temperatures that allows the material to evaporate. The material used is powder (Zn) Zinc Merck with size  $<45 \mu\text{m}$  Making Zinc Oxide nanoparticles DC Thermal Plasma method is done by injecting 5 grams of Zn powder particles into the plasma flame using a screw conveyor, so that the Zn powder particles get heat energy from the plasma flame and melt simultaneously in accelerating down the plasma flame. The combustion process of Zinc Oxide nanoparticles is carried out for 60 seconds. The melting particles then evaporate with oxygen to become spheroidal oxygen and fall freely through the air in the chamber due to rapid cooling by the reactor tube, so that Zinc Oxide nanoparticles are formed.

The data processing is done using the taguchi method. This data processing was carried out to determine the effect of parameters on the amount of powder mass produced from the process of making alumina nanoparticles. The parameters studied were the powder rate (8.50; 11.50 and 15.50 g/min) and currents (50, 60 and 70 Amperes).

The results of statistical analysis prove the powder rate parameters contribute -3.21% and the results of the F test with a significance level of 0.05 prove that the powder rate parameters do not affect the total mass of Zinc Oxide nanoparticles produced, while the current parameters contribute 1.87% and F test results with a significance level of 0.05 prove that the current parameters do not affect the amount of mass of Zinc Oxide nanoparticles produced. The optimum parameters that can produce the most Zinc Oxide powder are obtained from a combination of 8.50 g / min powder rate parameters and a 50 A plasma current with an S / N ratio of 12.21 and an average final powder amount of 4.08 grams.

## PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Laju Serbuk dan Arus Plasma terhadap Massa Serbuk *Zinc Oxide* dengan Metode *Dc Thermal Plasma* Menggunakan *Screw Conveyor*” ini dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang di rencanakan. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Terima kasih penulis 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 Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Dr. Mochammad Asrofi, S.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. Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Intan Hardiatama, 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 disusun, penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan wawasan serta manfaat bagi pembaca.

Jember, 13 Juli 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	v
HALAMAN PERNYATAAN .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	viii
RINGKASAN .....	ix
SUMMARY .....	xi
PRAKATA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Nanopartikel.....	4
2.1.1 Klasifikasi Nanopartikel .....	4
2.1.2 Metode Pembuatan Nanopartikel.....	5
2.2 Zinc oxide .....	6
2.2.1 Metode Pembuatan Nanopartikel <i>Zinc oxide</i> .....	8
2.2.2 Aplikasi Nanopartikel <i>Zinc oxide</i> .....	9
2.3 Metode DC Thermal Plasma.....	9
2.3.1 Proses Terjadinya Plasma .....	11
2.3.2 Jenis-jenis Plasma .....	12
2.3.3 Sintesis nanopartikel dengan metode <i>Thermal Plasma</i> .....	16
2.4 Screw Conveyor.....	19

2.4.1	Hubungan tegangan motor terhadap putaran <i>screw</i> .....	20
2.4.2	Pengaruh kecepatan <i>screw</i> terhadap laju aliran massa.....	21
2.5	Metode Taguchi .....	23
2.5.1	Tahap Perencanaan Eksperimen .....	24
2.5.2	Tahap Pelaksanaan Eksperimen .....	27
2.5.3	Tahap Analisis.....	28
2.6	Hipotesis .....	31
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>32</b>
3.1	Metode Penelitian .....	32
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	32
3.3	Alat dan Bahan.....	32
3.3.1	Alat.....	32
3.3.2	Bahan.....	35
3.4	Prosedur Penelitian .....	36
3.5	Tahap Analisis Data Eksperimen Taguchi.....	38
3.5.1	Tahapan Perencanaan Eksperimen.....	38
3.5.2	Tahap Eksperimen.....	41
3.5.3	Tahap Analisis.....	42
3.6	Diagram alir Penelitian .....	44
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>45</b>
4.1	Pembuatan nanopartikel <i>zinc oxide</i> .....	45
4.2	Hasil data percobaan .....	47
4.3	Perhitungan S/N rasio .....	47
4.4	Hasil Optimasi .....	49
4.5	Analisis Varian (ANOVA) .....	52
4.4.1	Perhitungan matematis respon produktivitas .....	52
4.6	Pembahasan pengaruh parameter.....	57
4.6.1	Parameter laju serbuk.....	57
4.6.2	parameter Arus .....	58
4.7	Pembahasan pengaruh <i>screw conveyor</i> .....	58
4.7.1	Analisis terjadinya <i>losses</i> .....	61
4.8	Hasil Pengujian SEM.....	64

BAB 5 PENUTUP .....	65
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....	67
LAMPIRAN	



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Nanopartikel: (a) 0D; (b) 1D; (c) 2D; (d) 3D (Reghunadhan *et al.*, 2018). ..... 5

Gambar 2.2 Metode Pembuatan Nanopartikel (Abdullah *et al.*, 2008) ..... 6

Gambar 2.4 Ilustrasi fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas (Nur, 2011)..... 10

Gambar 2.5 Diagram skematik *DC non-transferred arc plasma torches* (Gomes *et al.*, 2016) ..... 14

Gambar 2.6 Diagram skematik *DC transferred arc plasma torches* (Gomes *et al.*, 2016) ..... 15

Gambar 2.7 Diagram skematik *RF inductively coupled discharges* (Gomes *et al.*, 2016) ..... 16

Gambar 2.8 Prosedur sintesis termal plasma untuk produksi serbuk nano (SEO *et al.*, 2012). ..... 17

Gambar 2.9 *Shaft* dan *screw* (Rahman, 2017)..... 19

Gambar 2.10 Ilustrasi Konsep S/N Ratio (Soejanto, 2009) ..... 30

Gambar 3.1 Serbuk Zn ukuran <math><45 \mu\text{m}</math> (Pribadi) ..... 35

Gambar 3.2 Sekema Mesin *DC Thermal Plasma* ..... 37

Gambar 3.3 *Flowchart* Penelitian ..... 44

Gambar 4.2 Serbuk (a) Zn sebelum proses, (b) Nanopartikel ZnO setelah proses ..... 46

Gambar 4.2 plot nilai rata-rata S/N rasio untuk setiap level parameter ..... 50

Gambar 4.3 Plot *for means* ..... 51

Gambar 4.4 Skema *screw conveyor* ..... 59

Gambar 4.5 Screw Conveyor ..... 60

Gambar 4.6 *Hopper* penelitian sebelumnya..... 60

Gambar 4.7 Nanopartikel *Zinc Oxide* menempel pada tabung reaktor ..... 62

Gambar 4.8 Proses pengumpulan serbuk secara manual pada tabung reaktor ..... 63

Gambar 4.9 Hasil uji SEM nanopartikel *zinc oxide* ..... 64

**DAFTAR TABEL**

Table 2.1. Karakteristik senyawa ZnO (Dian Wulandari, 2016) .....	7
Tabel 2.2 Hasil pengambilan data massa serbuk akhir (Yanuar, 2019).....	18
Tabel 2.3 Data ukuran nanopartikel yang terbentuk (Prambandono, 2013) .....	23
Table 2.4 Matrik orthogonal standart 3 level (Soejanto, 2009) .....	27
Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian .....	39
Tabel 3.2 Penentuan jumlah level dan nilai faktor.....	39
Table 3.3 Perhitungan derajat kebebasan total.....	40
Tabel 3.4 Matrik orthogonal $L_9(3^4)$ (Sumber: Soejanto, 2009) .....	41
Tabel 3.5 Data Percobaan .....	42
Tabel 4.1 Hasil pengambilan data massa serbuk terakhir .....	47
Tabel 4.2 perhitungan S/N rasio .....	48
Tabel 4.3 rata-rata nilai S/N rasio untuk setiap level parameter .....	49
Tabel 4.4 Kombinasi level dari setiap faktor .....	52
Table 4.5 Hasil perhitungan produktivitas .....	53
Table 4.6 <i>Two Way Anova with replication</i> .....	56
Table 4.7 Kondisi hipotesis nol.....	57

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi menjadi perhatian para peneliti dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penelitian dibidang nanoteknologi telah menunjukkan terciptanya sifat fisik, dan kimia yang baru dari suatu material yang tidak dijumpai pada material yang berukuran besar, sehingga hal ini mengarahkan penelitian untuk mensintesis material berukuran nano. Sintesis nanopartikel merupakan pembuatan partikel yang memiliki ukuran kisaran 1-100 nm. (Abdullah *et al.*, 2008).

Sintesis nanopartikel yang sangat menarik belakangan ini untuk dikembangkan adalah *Zinc Oxide* (ZnO). ZnO merupakan oksida logam semi konduktor yang memiliki celah pita sebesar 3,30 eV dan energi ikat sebesar 60 meV. ZnO memiliki banyak aplikasi antara lain untuk fotolistis, sel surya peka warna, sensor gas, dan optoelektronika (Ji-Sung Park *et al.*, 2010). Sampai saat ini berbagai teknik telah digunakan untuk mensintesis nanopartikel ZnO antara lain teknik hidrolisis termal, pemrosesan hidrotermal, metode sol-gel, *mechanical milling*, *sputtering*, dan pirolisis semprot. Dari beberapa metode tersebut dalam memproduksi nanopartikel sulit untuk menghasilkan jumlah nanopartikel ZnO yang relatif besar karena tidak dapat diadaptasi dalam pembuatan massal dan biayanya yang terbilang mahal (Lee *et al.*, 2013).

Metode yang efektif untuk mensintesis nanopartikel yaitu metode *thermal plasma*. Metode ini mampu menghasilkan fase yang berbeda. Suhu yang sangat tinggi mampu dihasilkan dalam reaktor *thermal plasma* untuk proses disosiasi reaktan yang diinjeksikan, sehingga memungkinkan bahan mengalami penguapan pada suhu tinggi. Kepadatan tinggi dalam *thermal plasma* mampu meningkatkan produktivitas yang tinggi dalam reaktor. Tingkat pendinginan yang tinggi dalam proses *thermal plasma* mempermudah dalam memproduksi nanopartikel dan bahan dengan fase yang baru (Suresh *et al.*, 2008). Metode *thermal plasma* diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu *DC non transferred arc plasma torch*,

*DC transferred arc plasma torch*, dan *RF inductively coupled discharges*. (Gomes *et al.*, 2008)

*DC thermal plasma* merupakan metode pembuatan nanopartikel dengan cara menginjeksikan partikel serbuk kedalam api plasma, sehingga partikel serbuk mendapat energi panas dari api plasma dan mencair secara bersamaan di percepat kebawah nyala api plasma. Partikel yang mencair kemudian menguap menjadi sferoid dan jatuh bebas kebawah melalui udara didalam ruang akibat mengalami pendinginan cepat oleh tabung reaktor. Metode *DC thermal plasma* tergolong metode yang sangat cepat dalam pembuatan nanopartikel dikarenakan plasma termal yang digunakan mengandung ion, elektron dan radikal dengan suhu tinggi (Lee *et al.*, 2013).

Penelitian yang dilakukan sebelumnya telah dibahas mengenai pembuatan nanopartikel dengan variasi arus plasma 50, 60, 70 ampere (A) dan *gas flow rate* 7,08; 9,44 dan 11,80 liter per menit (l/min). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai massa serbuk akhir yang tertinggi (optimum) terdapat pada kombinasi parameter *powder carrier gas flow rate* 9,44 l/min dan arus 50 A (Yanuar, 2019).

Penelitian yang dilakukan berikutnya membahas mengenai pembuatan nanopartikel ZnO menggunakan *DC Thermal Plasma* daya 20 kW dengan variasi arus plasma 20, 25, 30 ampere (A) dan laju aliran serbuk menggunakan screw conveyor dengan variasi tegangan motor 3, 4, dan 5 volt menghasilkan masa aliran serbuk dari masing-masing tegangan 0,54; 1,02 dan 1,49 gram per menit (g/min). Hasil penelitian menunjukkan perubahan arus plasma dan laju aliran yang serbuk mempengaruhi kemurnian, dimensi, dan kualitas hasil sintesis *DC thermal plasma* (Prabandono *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya peneliti ingin mengetahui parameter variasi arus plasma dan laju aliran serbuk menggunakan screw conveyor yang optimum untuk menghasilkan nanopartikel ZnO dalam jumlah yang banyak dengan menggunakan mesin *DC thermal plasma*. Dalam penelitian ini parameter laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dengan variasi 8,50; 11,50 dan 15,50 g/min dan parameter arus 50, 60, dan 70 ampere (A) terhadap jumlah massa nanopartikel ZnO yang terbentuk.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan di teliti sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dengan variasi 8,50; 11,50 dan 15,50 g/min dan parameter arus 50, 60 dan 70 *ampere* (A) terhadap jumlah massa nanopartikel ZnO yang terbentuk?
2. Bagaimana *setting* parameter yang optimum untuk menghasilkan massa serbuk yang banyak dalam pembentukan nanopartikel ZnO?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan di analisis, maka serbuk yang masih menempel setelah dilakukan pembersihan pada dinding tabung reaktor, *screw conveyor* dan filter dianggap tidak ada.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh parameter laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dengan variasi 8,50; 11,50 dan 15,50 g/min dan parameter arus 50, 60, dan 70 *ampere* (A) terhadap jumlah massa nanopartikel ZnO yang terbentuk
2. Mengetahui *setting* parameter yang optimum untuk menghasilkan massa serbuk yang banyak dalam pembentukan nanopartikel ZnO

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mengenai sintesis nanopartikel ZnO menggunakan metode *DC Thermal Plasma*.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang pengembangan nanoteknologi.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanopartikel

Nanopartikel adalah partikel-partikel padatan yang memiliki ukuran berkisar 1-100 nm. Partikel yang mempunyai ukuran nano memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan partikel berukuran besar. Nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar dibandingkan partikel berukuran besar. Luas permukaan dan volume yang lebih besar memungkinkan atom-atom pada permukaan bertumbukan dengan material lain, sehingga laju reaksi meningkat (Abdullah *et al.*, 2008).

Menurut hasil penelitian dibidang nanoteknologi menjelaskan bahwa material yang berukuran nanometer memiliki sifat fisika dan kimia lebih baik dibandingkan dengan material berukuran besar (*bulk*). Sifat tersebut dapat dirubah melalui pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, pengontrolan interaksi antar partikel dan ukuran material. Nanoteknologi memiliki dampak penerapan yang luas mulai dari bidang material maju, transportasi, ruang angkasa, kedokteran, elektronik, IT, energi, pertanian, pengolahan pangan, dan kosmetik (Ariningsih, 2016).

#### 2.1.1 Klasifikasi Nanopartikel

Nanopartikel dibagi menjadi dua jenis yaitu nanokristal dan nanocarrier. Nanokristal adalah penggabungan dari ratusan atau ribuan molekul yang membentuk Kristal. Nanocarrier merupakan suatu sistem pembawa dalam skala nanometer yang terdiri atas nanotube, nanoliposom, nanopartikel lipit padat, misel, dendrimer, nanopartikel polimerik, nanopartikel cross link (Abdassah, 2017). Selain nanokristal dan *nanocarrier* nanopartikel juga dapat diklasifikasikan berdasarkan material pembentuk dan dimensi (Reghunadhan *et al.*, 2018).

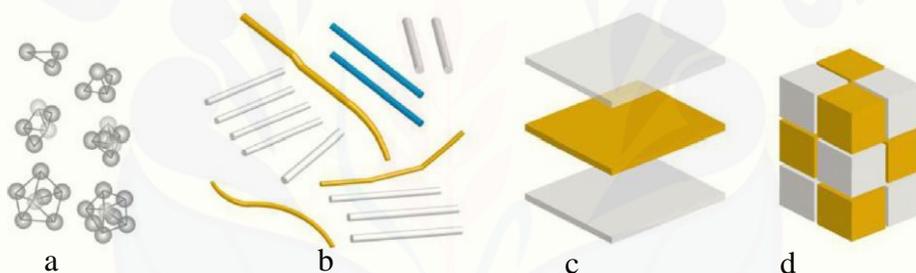
Klasifikasi nanopartikel berdasarkan material pembentuknya dibagi menjadi beberapa macam antara lain:

- a. Nanopartikel alami, merupakan nanopartikel yang berasal dari alam, misalnya abu vulkanik, sayap serangga, dan sutra laba-laba.

- b. Nanopartikel sintetis, merupakan nanopartikel buatan yang berasal dari proses sintesis, misalnya nanotube.

Klasifikasi nanopartikel berdasarkan dimensi dibagi menjadi beberapa macam ditunjukkan pada gambar 2.1 antara lain:

- a. 0D, merupakan material yang dimensi diketiga arahnya dalam kisaran skala nanometer dan secara umum berbentuk bola, misalnya nanopartikel perak.
- b. 1D, merupakan material yang satu dimensinya keluar dari rentang skala nanometer, misalnya kawat nano.
- c. 2D, merupakan dua dimensi dari material berada dalam rentang skala nanometer, misalnya nanofilm
- d. 3D, merupakan material dari ketiga arah dimensinya keluar dari rentang skala nanometer.

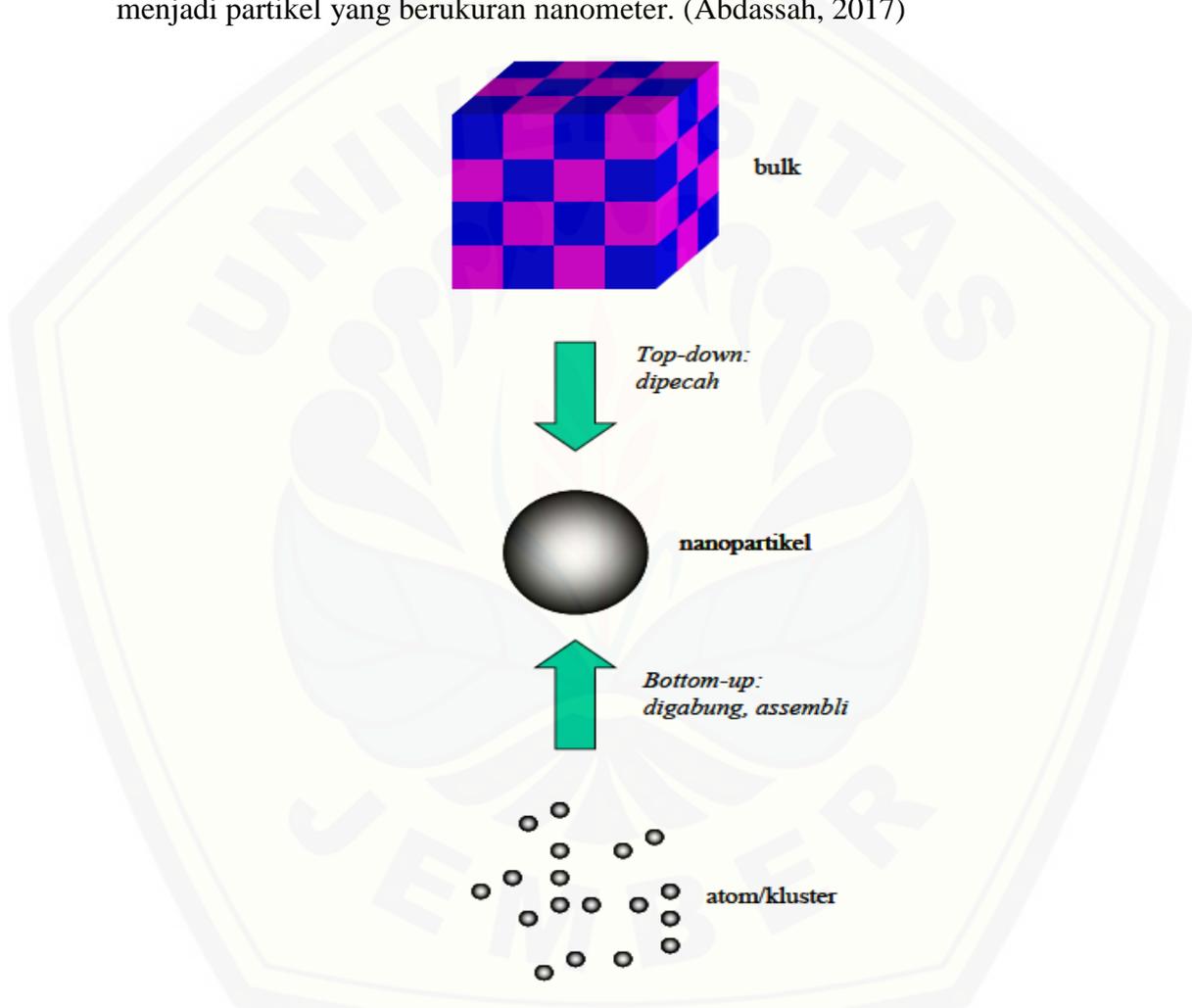


Gambar 2.1 Nanopartikel: (a) 0D; (b) 1D; (c) 2D; (d) 3D (Sumber: Reghunadhan *et al.*, 2018).

### 2.1.2 Metode Pembuatan Nanopartikel

Proses sintesis nanopartikel dapat berlangsung dalam fasa padat, cair, dan gas. Sintesis nanopartikel dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Proses sintesis nanopartikel secara fisika terjadi penghancuran partikel yang berukuran besar menjadi partikel yang berukuran nanometer atau penggabungan material yang berukuran sangat kecil menjadi partikel berukuran nanometer tanpa melibatkan reaksi kimia dan merubah sifat bahan. Proses sintesis secara kimia dilakukan untuk menghasilkan partikel berukuran nanometer dengan melibatkan reaksi kimia pada sejumlah material awal (*precursor*) (Abdullah *et al.*, 2008).

Secara luas pembuatan nanopartikel diklasifikasikan menjadi dua metode, yaitu metode *top-down* dan *bottom-up* ditunjukkan pada gambar 2.2. Metode *top-down* merupakan metode pembuatan nanopartikel dengan cara pengurangan atau penghancuran ukuran partikel yang lebih besar menjadi partikel yang berukuran nanometer. Metode *bottom-up* merupakan metode pembuatan nanopartikel dengan cara penggabungan nanostruktur atom demi atom atau molekul demi molekul menjadi partikel yang berukuran nanometer. (Abdassah, 2017)



Gambar 2.2 Metode Pembuatan Nanopartikel (Sumber: Abdullah *et al.*, 2008)

## 2.2 Zinc oxide

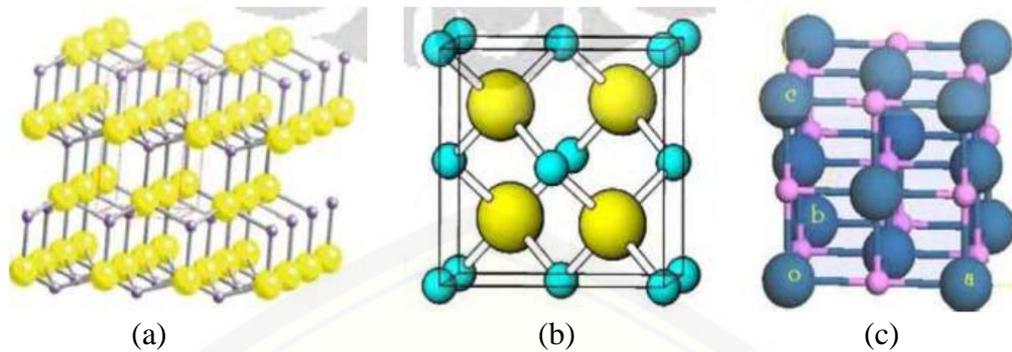
*Zinc oxide* (ZnO) merupakan oksida logam semi konduktor golongan II-VI yang memiliki celah pita sebesar 3,30 eV dan energi ikat sebesar 60 meV. ZnO memiliki sifat tidak mudah rusak dan mudah jenuh, sehingga material ZnO cocok

digunakan pada suhu tinggi dan tegangan listrik yang tinggi. Selain itu, ZnO juga memiliki struktur *wurtzite* yang lebih rapat dan rata, sehingga material ZnO memiliki luas permukaan yang lebar dan rapat. Untuk itu ZnO memiliki banyak aplikasi antara lain untuk fotolisis, *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), sensor gas, dan optoelektronika (Wulandari, 2016). Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik ZnO.

Table 2.1. Karakteristik senyawa ZnO (Sumber: Dian Wulandari, 2016)

Karakteristik ZnO	
Rumus molekul	ZnO
Massa molar (berat molekul)	81,408 g/mol
Bentuk	Padatan putih
Bau	Tidak berbau
Kepadatan	5,60 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur (melting point)	1975 °C
Titik didih (boiling point)	2360 °C
Kelarutan dalam air	0,16 mg/100 ml (30 °C)
Band gap	3,30 eV
Indeks bias (nd)	2,0041

ZnO memiliki dua bentuk jenis kristal yaitu bentuk kubus dan heksagonal. Struktur kristal heksagonal dikenal sebagai struktur *wurtzite* heksagonal, sedangkan struktur kristal bentuk kubus terbagi menjadi dua yaitu struktur kubus *zinc blende* dan struktur kubus garam dapur (kubus *rocksalt*) ditunjukkan pada gambar 2.3. Struktur *wurtzite* heksagonal merupakan struktur paling stabil pada keadaan ruang, sedangkan untuk struktur *zinc blende* hanya stabil jika bertumbukan pada medium yang memiliki struktur kubus. Untuk bentuk kubus *rocksalt* sangat jarang di temukan kecuali pada tekanan sekitar 10 GPa. (Dian Wulandari, 2016)



Gambar 2.3 Struktur kristal ZnO: (a) struktur wurtzite; (b) struktur zinc blende; (c) struktur kubus garam dapur (Sumber: Wulandari, 2016).

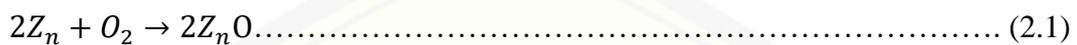
### 2.2.1 Metode Pembuatan Nanopartikel *Zinc oxide*

Dalam proses pembuatan nanopartikel ZnO ada beberapa teknik yang telah digunakan yaitu teknik hidrolisis termal, pemrosesan hidrotermal, metode sol-gel, *mechanical milling*, *sputtering*, dan pirolisis semprot. Dari beberapa metode tersebut dalam memproduksi nanopartikel sulit untuk menghasilkan jumlah nanopartikel ZnO yang relatif besar karena tidak dapat diadaptasi dalam pembuatan massal dan biayanya yang terbilang mahal. Pada proses *mechanical milling* hasilnya tidak efisien karena ukuran partikel nano sulit untuk dikontrol, dan metode ini hanya terbatas pada material tertentu (Lee *et al.*, 2013).

K. Suresh *et al.*, (2008) menjelaskan metode yang efektif untuk mensintesis nanopartikel yaitu metode *thermal plasma*. Metode ini mampu menghasilkan fase yang berbeda. Suhu yang sangat tinggi mampu dihasilkan dalam reaktor *thermal plasma* untuk proses disosiasi reaktan yang diinjeksikan, sehingga memungkinkan bahan mengalami penguapan pada suhu tinggi. Kepadatan tinggi dalam *thermal plasma* mampu meningkatkan produktivitas yang tinggi dalam reaktor. Tingkat pendinginan yang tinggi dalam proses *thermal plasma* mempermudah dalam memproduksi nanopartikel dan bahan dengan fase yang baru.

Prabandono *et al.*, (2013) menjelaskan proses sintesis nanopartikel ZnO dengan metode *thermal plasma* yaitu serbuk Zn diinjeksikan ke dalam tabung reaktor. Elektroda pada tabung reaktor yang telah dihubungkan pada *inverter DC plasma* menghasilkan loncatan bunga api dengan suhu tinggi. Suhu yang dihasilkan

mampu menguapkan serbuk Zn yang di injeksikan tersebut sehingga proses sintesis nanopartikel terjadi. Serbuk Zn yang di injeksikan pada reaktor plasma jatuh menuju loncatan bunga api dan terbakar. Serbuk Zn yang terbakar akan pecah menjadi inti yang kecil-kecil kemudian melewati ruang dengan suhu rendah maka akan beroksidasi dengan oksigen dalam sistem menghasilkan ZnO dengan reaksi sebagai berikut:



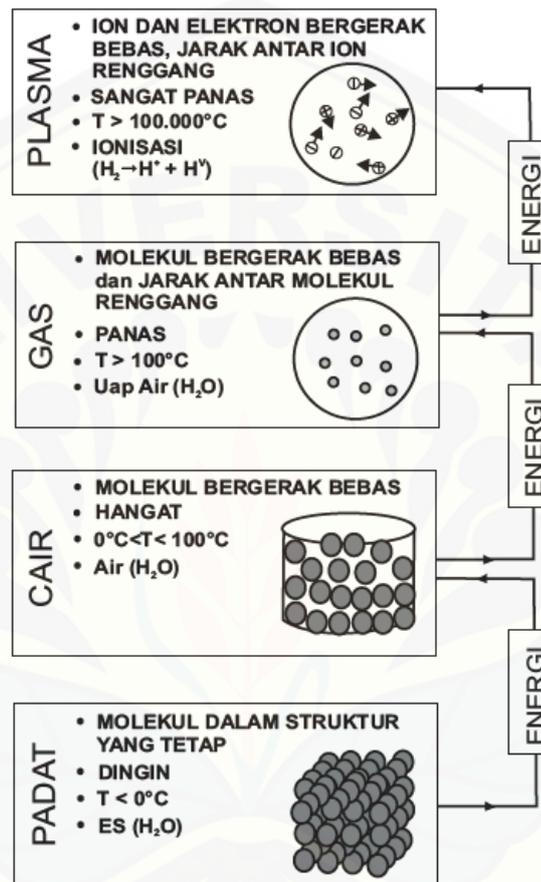
### 2.2.2 Aplikasi Nanopartikel *Zinc oxide*

Nanopartikel *zinc oxide* (ZnO) dapat diaplikasikan dalam beberapa bidang, salah satunya yaitu pada *Dye-Sensitized Solar Cell*(DSSC). Nanopartikel ZnO pada *Dye-Sensitized Solar Cell*(DSSC) digunakan sebagai semikonduktor. Semikonduktor pada rangkaian DSSC memiliki fungsi yang sangat penting yaitu digunakan sebagai tempat mengalirnya elektron yang didapatkan dari lapisan *dye*. Proses mengalirnya elektron dari lapisan *dye* ke semikonduktor inilah yang dapat menghasilkan energi listrik untuk disimpan dalam baterai, kapasitor atau perangkat listrik yang lainnya. Semikonduktor pada DSSC harus mempunyai celah pita yang lebar, karena semakin lebar luas penampang akan semakin banyak menghasilkan muatan elektron yang dialirkan sehingga energi listrik yang diperoleh akan semakin banyak. ZnO merupakan oksida logam semi konduktor dengan celah pita sebesar 3,3 eV dan energi ikat sebesar 60 meV. ZnO memiliki sifat tidak mudah rusak dan mudah jenuh, sehingga material ZnO cocok digunakan pada suhu tinggi dan tegangan listrik yang tinggi, sehingga nanopartikel ZnO merupakan material yang cocok untuk semikonduktor pada DSSC (Wulandari, 2016).

## 2.3 Metode DC Thermal Plasma

Plasma merupakan pencampuran dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Pencampuran antara ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negative mempunyai sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase plasma. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi dari suatu gas dinaikan sehingga mengakibatkan atom-atom

gas terionisasi dan membuat gas tersebut akan melepaskan elektron-elektronnya yang mengelilingi inti. Secara sederhana plasma dapat didefinisikan sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan gas ditunjukkan pada gambar 2.4 (Nur, 2011).



Gambar 2.4 Ilustrasi fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas (Sumber: Nur, 2011)

Gambar 2.4 menunjukkan terbentuknya plasma dari proses perubahan fase pada, cair, gas, dan menjadi plasma. Gambar tersebut menunjukkan bahwa jika es (materi padat) mendapatkan energi panas, maka es tersebut akan berubah menjadi air di atas suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika air tersebut mendapatkan energi panas, maka setelah melewati suhu  $100^{\circ}\text{C}$  akan berubah menjadi uap air dengan molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Apabila energi panas diberikan secara terus menerus pada uap air akan mengakibatkan terpecahnya molekul air menjadi  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$ , sehingga molekul-molekul akan terionisasi menjadi ion-ion positif dan elektron yang dalam keadaan tertentu dan

ruang tertentu terjadi kesetimbangan antara ion dan elektron yang disebut plasma. (Nur, 2011)

### 2.3.1 Proses Terjadinya Plasma

Plasma merupakan fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan gas yang terjadi melalui beberapa proses sebagai berikut:

#### a. Proses ionisasi

Proses ionisasi merupakan proses terlepasannya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya akibat adanya energi ionisasi yang diberikan. Dalam kondisi stabil proses ionisasi dapat terjadi apabila jumlah energi elektron yang menumbuk lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom atau molekul tertumbuk. Proses tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel gas tidak hanya menyebabkan proses ionisasi melainkan juga menyebabkan peristiwa-peristiwa lain (Nur, 2011).

#### b. Proses disosiasi dan eksitasi

Proses disosiasi merupakan proses pemisahan molekul menjadi atom-atom penyusunnya. Pada proses disosiasi partikel gas dapat mengakibatkan partikel gas terionisasi menjadi ion-ion positif dan negatif. Proses eksitasi merupakan proses dimana elektron-elektron yang berada di tingkat energi rendah berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Proses eksitasi tidak hanya terjadi perpindahan elektron-elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi melainkan juga terjadi proses penyerapan energi dari tumbukan antar elektron (Nur, 2011).

#### c. Derajat ionisasi

Derajat ionisasi merupakan parameter yang digunakan sebagai acuan dalam pengklasifikasian plasma. Nilai derajat ionisasi yang lebih kecil dari  $10^{-4}$  diklasifikasikan sebagai gas yang terionisasi rendah, sedangkan untuk nilai derajat ionisasi diatas  $10^{-4}$  merupakan gas yang terionisasi tinggi. Pada gas yang terionisasi rendah tumbukan antar partikel-partikel bermuatan sering diabaikan, karena densitas partikel partikel bermuatan lebih rendah dibandingkan dengan densitas partikel-partikel netral. Pada gas yang terionisasi tinggi interaksi antar partikel memiliki pengaruh yang sangat penting. Gerakan elektron-elektron dan ion-ion menimbulkan efek-efek kolektif (Nur, 2011).

Dinamika partikel-partikel bermuatan ditentukan oleh tumbukan antara elektron-partikel dan ion-partikel netral. Tumbukan antara elektron dengan sebuah partikel netral menghasilkan arah gerak elektron berubah tanpa mengakibatkan pertukaran energi, hal ini diakibatkan karena adanya perbedaan massa antara elektron dan partikel netral. Elektron mempunyai temperatur kesetimbangan antar sesama elektron, ion-ion dan partikel-partikel netral dengan massa yang hampir sama juga memiliki temperatur kesetimbangan (Nur, 2011).

d. Kesetimbangan muatan

Proses pembentukan dan pengurangan muatan secara bebas dan bersamaan akan terjadi di dalam suatu gas yang terionisasi oleh lucutan listrik. Kesetimbangan antara proses pembentukan dan pengurangan muatan dapat menentukan jumlah elektron dan ion dalam keadaan setimbang (*steady state*). Kerapatan muatan positif dan negatif di dalam gas yang terionisasi cenderung sama, sehingga secara keseluruhan gas bermuatan netral. Gas yang terionisasi tersebut dinamakan sebagai plasma (Nur, 2011).

### 2.3.2 Jenis-jenis Plasma

Berdasarkan temperaturnya plasma dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis antara lain:

a. Plasma dingin

Plasma dingin merupakan plasma yang terjadi dalam kondisi ketidaksetimbangan termal (*non-thermal equilibrium*) antara temperatur elektron dan gas. Tumbukan yang terjadi antara elektron dan partikel sangat rendah mengakibatkan temperatur elektron tinggi tetapi temperatur partikel gas relatif rendah. Elektron-elektron dalam plasma dingin memiliki temperatur sekitar 50000 K, sedangkan temperatur ion dan atom-atom atau molekul-molekul netral tetap sekitar 1000 K. Plasma dingin biasanya digunakan dalam bidang mikroelektronik, pembentukan materi baru dan pembersihan polutan (Nur, 2011).

b. Plasma ternik

Plasma ternik merupakan plasma yang tergolong dalam keadaan ketidaksetimbangan termal (*non-thermal equilibrium*). Elektron dalam plasma

ternik memiliki temperatur yang cukup tinggi yaitu lebih dari  $10^5$  K dan partikel-partikel berat memiliki suhu lebih tinggi dari 3000 K. Plasma ternik biasanya digunakan untuk pengelasan, pemotongan logam, pembersihan polutan. (Nur, 2011).

c. Plasma panas (*thermal plasma*)

Plasma panas (*thermal plasma*) merupakan plasma yang tersusun dari molekul gas bertemperatur tinggi yang terjadi dalam keadaan kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*). Pada proses pembangkitan *thermal plasma* distribusi energi elektron dan molekul gas mendekati sama karena frekuensi tumbukan antara elektron dan molekul gas lebih besar. *Thermal plasma* memiliki temperatur diatas  $10^6$  K (Nur, 2011).

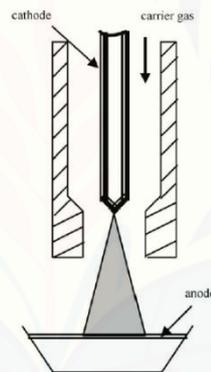
*Thermal plasma* terjadi ketika elektron dipercepat antara dua elektroda dalam lingkungan gas. Elektron mempercepat menuju anoda untuk reaksi tumbukan dan membangkitkan atom atau molekul dalam gas. Elektron tambahan yang dilepaskan pada proses ionisasi juga dipercepat menuju anoda, sehingga menyebabkan lebih banyak benturan dan ionisasi lebih lanjut menghasilkan gas yang sangat konduktif dan arus yang dapat lewat dalam bentuk percikan listrik. Tumbukan antara elektron dan partikel yang lebih besar dapat mentransfer energi kinetik dari elektron dan rekombinasi partikel bermuatan meningkatkan suhu gas. Ketika partikel gas telah mencapai energi yang sama dengan elektron, plasma akan mencapai titik keseimbangan untuk input energi listrik yang diberikan. Meningkatnya konduktivitas plasma dipengaruhi oleh jumlah elektron yang bertumbukan di anoda. Meningkatkan suhu di anoda dan membebaskan dari ion permukaan dapat mempercepat elektron menuju katoda (Samal, 2016).

Temperatur dalam plasma berkisar antara  $10^3$  K hingga  $10^4$  K tergantung pada tingkat ionisasinya. Elektron dalam plasma pada umumnya memiliki suhu sekitar 10.000 K. Plasma mampu menghantarkan listrik dengan konduktivitas yang mendekati keadaan garam cair, hal tersebut dikarenakan tingkat ionisasi dari plasma yang signifikan. Dibandingkan dengan gas pada umumnya, muatan listrik dalam plasma menimbulkan konduktivitas listrik yang sangat tinggi (Samal, 2016).



## 2) *DC transferred arc plasma torches*

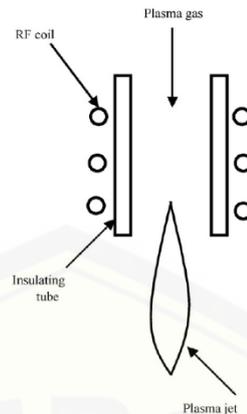
*DC transferred arc plasma torches* merupakan perangkat penghasil busur plasma yang memiliki satu elektrode yang terkandung dalam obor tunggal. Busur plasma yang dihasilkan ditransfer menuju elektrode eksternal. Posisi elektrode terletak konsentris terhadap sumbu jet plasma. Obor busur yang ditransfer dapat menghasilkan fluks termal yang sangat tinggi karena busur plasma terbentuk di luar badan obor. Pada *DC transferred arc plasma torches* katoda dan anoda letaknya terpisah. Katoda dibuat dari bahan logam yang tahan api dan tidak mudah terkikis seperti grafit dan tungsten. Untuk anoda dibuat dari bahan logam yang memiliki konduktivitasnya tinggi seperti tembaga dan perak. Anoda biasanya berbentuk silinder dan pada ujungnya berbentuk datar untuk mendistribusikan busur plasma. Diagram skematik *DC transferred arc plasma torches* ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram skematik DC transferred arc plasma torches (Sumber: Gomes et al., 2016)

## 3) *RF inductively coupled discharges*

Pelepasan RF (Radio Frequency) ditandai dengan tidak adanya elektroda yang menghindari kontaminasi plasma oleh uap logam. Dalam obor plasma induksi-RF, kopling energi ke plasma dilakukan melalui medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh koil induksi listrik. Gas plasma pada induksi-RF tidak bersentuhan langsung dengan elektroda, sehingga dapat menghilangkan kemungkinan sumber kontaminasi, dan kemungkinan untuk proses dalam berbagai kondisi, seperti teroksidasi dan atmosfer korosif. Diagram Skematik *RF inductively coupled discharges* ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram skematik *RF inductively coupled discharges* (Sumber: Gomes *et al.*, 2016)

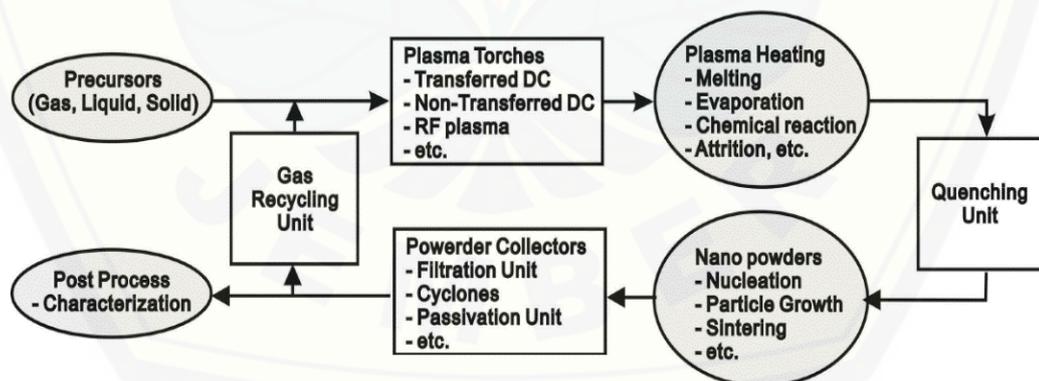
### 2.3.3 Sintesis nanopartikel dengan metode *Thermal Plasma*

*DC transferred arc plasma torches* ditunjukkan pada gambar 2.6 merupakan sumber panas yang efektif untuk mensintesis serbuk logam berukuran nanometer. Dalam jenis obor plasma transfer logam yang disintesis digunakan sebagai elektroda, sehingga busur plasma ditransfer menguap bahan elektroda secara langsung. Dengan demikian, serbuk logam berukuran nanometer dapat dengan mudah diperoleh dari sebagian besar jenis logam dengan menggunakan sumber panas *DC transferred arc plasma torches*. Jumlah serbuk logam berukuran nanometer yang dihasilkan tergantung pada sifat fisik dari logam yang digunakan sebagai target elektroda. Kelemahan dari *DC transferred arc plasma torches* yaitu produksinya tidak dapat dilakukan secara berkelanjutan, karena elektroda anoda yang digunakan merupakan bahan yang di sintesis dan harus diisi setiap kali proses. Sebagai alternatif produksi dapat dilakukan dengan menggunakan *DC non-transferred arc plasma torches* dan *RF inductively coupled discharges* yang dapat melakukan produksi secara berkelanjutan (SEO *et al.*, 2012).

Gambar 2.5 menunjukkan *DC non-transferred arc plasma torches*. Proses sintesis pada busur plasma tidak transfer dilakukan dengan cara menyemprotkan serbuk logam ke api plasma yang dihasilkan elektroda obor, sehingga proses produksi dapat dilakukan secara berkelanjutan. Untuk menghasilkan pemanasan efektif pada prekursor, port injeksi dapat diposisikan pada permukaan bagian dalam dari silinder anoda *nozzle*. Sintesis dengan *DC non-transferred arc plasma torches*

sulit untuk memungkinkan sebagian besar prekursor yang di semprotkan ke api plasma sepenuhnya mengalami penguapan. Hal ini dikarenakan ada banyak lintasan jauh dari penguapan penuh prekursor logam yang disemprotkan. Meskipun partikel yang relatif lebih kecil mudah untuk menguap, beberapa bagian dari prekursor yang disemprotkan ke dalam api plasma masih dapat direproduksi tanpa penguapan penuh karena lintasan prekursor yang tidak efektif. Untuk meningkatkan pemanasan yang lebih efektif pada prekursor yang di semprotkan dapat dilakukan dengan *RF inductively coupled discharges* (SEO *et al.*, 2012).

*RF inductively coupled discharges* ditunjukkan pada gambar 2.7 dapat digunakan secara efektif dalam pemanasan prekursor yang di semprotkan sepanjang garis tengah obor plasma. Karena jenis obor RF tidak membuntuhkan elektroda untuk mempertahankan api plasma. Tidak adanya elektroda juga memungkinkan untuk mensintesis bahan yang memiliki kemurnian tinggi. Kelebihan dari *RF inductively coupled discharges* dibandingkan dengan *DC non-transferred arc plasma torches* yaitu obor RF plasma berasal dari entalpi tinggi yang terdapat di sepanjang garis tengah obor RF dan waktu tinggal prekursor yang di semprotkan relatif lama. Prosedur sintesis termal plasma untuk produksi serbuk nano ditunjukkan pada gambar 2.8 (SEO *et al.*, 2012).



Gambar 2.8 Prosedur sintesis termal plasma untuk produksi serbuk nano (Sumber: SEO *et al.*, 2012).

Besarnya arus plasma pada proses sintesis metode *DC Thermal Plasma* berpengaruh terhadap ukuran api plasma, semakin tinggi arus maka semakin panjang api plasma sehingga mengakibatkan waktu tinggal partikel semakin lama.

Waktu tinggal prtikel semakin lama maka serbuk yang diinjeksikan akan terbakar seluruhnya sehingga massa yang dihasilkan semakin banyak (Suresh *et al.*, 2008).

Yanuar (2019) melakukan penelitian mengenai pembuatan nanopartikel menggunakan metode *DC Thermal plasma* dengan menggunakan variasi parameter arus plasma sebesar 50, 60, 70 A dan *gas flow rate* sebesar 7,08; 9,44 dan 11,80 l/min. Dari hasil variasi parameter diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2.2 Hasil pengambilan data massa serbuk akhir (Sumber: Yanuar, 2019)

Eks.	Faktor		Serbuk Awal (g)	Serbuk Akhir (g)
	<i>Gas flow Rate</i> (l/min)	Arus (A)		
1	7,08	50	5	3,96
2	7,08	50	5	3,35
3	7,08	50	5	3,31
4	7,08	60	5	1,16
5	7,08	60	5	2,84
6	7,08	60	5	2,57
7	7,08	70	5	2,48
8	7,08	70	5	4,91
9	7,08	70	5	4,72
10	9,44	50	5	4,72
11	9,44	50	5	4,89
12	9,44	50	5	4,88
13	9,44	60	5	4,12
14	9,44	60	5	4,89
15	9,44	60	5	2,84
16	9,44	70	5	3,47
17	9,44	70	5	4,39
18	9,44	70	5	2,69
19	11,80	50	5	3,57
20	11,80	50	5	3,14
21	11,80	50	5	2,51
22	11,80	60	5	1,86
23	11,80	60	5	1,27
24	11,80	60	5	0,68
25	11,80	70	5	3,18
26	11,80	70	5	1,62
27	11,80	70	5	1,27

Dari penelitian tersebut menunjukkan *powder carrier gas flow rate* 9,44 lpm dan arus 50 A merupakan parameter optimum yang didapat dengan rata-rata serbuk

yang dihasilkan sebanyak 3,96 gram. Dapat disimpulkan bahwa arus plasma dan laju aliran gas pembawa mempengaruhi proses sintesis (Yanuar, 2019).

## 2.4 Screw Conveyor

*Screw conveyor* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan material-material kecil seperti butiran, aspal, batubara, abu, kerikil dan pasir. Dalam *screw conveyor* terdapat spiral berkelanjutan yang terikat dalam suatu *shaft* seperti di tunjukkan pada gambar 2.9 dan dimasukkan ke dalam pipa (*housing*). Prinsip kerja dari alat ini yaitu memutar spiral yang terikat pada *shaft* dalam saluran berbentuk pipa, sehingga material dapat terdorong untuk proses pemindahan. *Screw conveyor* memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat digunakan untuk mencampur material, mampu mengeluarkan material pada titik yang dikehendaki, cocok digunakan pada material yang berdebu, material panas dan material yang berbau (Rahman, 2017).



Gambar 2.9 *Shaft* dan *screw* (sumber: Rahman, 2017)

*Screw conveyor* terdiri dari beberapa bagian utama yaitu plat *screw*, rumah *screw* (*housing*), *shaft screw*, bantalan, motor penggerak (Rahman, 2017).

### a. Plat *screw*

Plat *screw* merupakan bagian yang terbuat dari bahan plat yang dibentuk lingkaran yang kemudian salah satu sisinya dipotong kemudian diregangkan dan disambungkan satu sama lain dengan proses pengelasan dengan ukuran *pitch* yang telah ditentukan sehingga membentuk sepiral.

b. Rumah *screw* (*housing*)

Rumah *screw* merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat kedudukan dari *screw* dan sekaligus sebagai tempat laju material yang diangkut. Pada *housing screw conveyor* terdapat *hopper* yang berfungsi sebagai tempat masuknya material yang akan di angkut.

c. *Shaft screw*

*Shaft screw* merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat melekatnya plat *screw*. Proses penyambungan plat *screw* dengan *shaft* biasanya dilakukan dengan proses pengelasan.

d. Bantalan

Bantalan adalah suatu elmen mesin yang menumpu beban antara bagian yang berputar terutama terhadap poros agar geraknya berlangsung secara halus. Bantalan harus memiliki sifat yang kokoh untuk memungkinkan poros dan elmen mesin lainnya bekerja dengan baik. Pada *screw conveyor* bantalan digunakan untuk menahan putaran poros *screw conveyor* yang berputar, sehingga putaran menjadi stabil dan aus yang ditimbulkan dapat diperkecil

e. Motor penggerak

Motor penggerak merupakan bagian yang berfungsi sebagai pemutar yang ditranmisikan oleh poros ke *screw conveyor*, sehingga dapat memindahkan material secara berkelanjutan. Motor penggerak pada *screw conveyor* biasanya menggunakan motor listrik dan motor bakar. Motor listrik yang biasa digunakan yaitu motor DC (*Direct Current*) dan AC (*Alternating Current*)

#### 2.4.1 Hubungan tegangan motor terhadap putaran *screw*

Pada motor DC (*Direct Current*) berlaku persamaan-persamaan berikut:

$$n = \frac{(V - I_a \cdot R_a)}{C \cdot \Phi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- n = Jumlah putaran (rpm)
- V = Tegangan (V)
- I<sub>a</sub> = Arus (A)
- R<sub>a</sub> = Hambatan (Ohm)
- C = Konstanta motor

Berdasarkan persamaan tersebut, putaran motor akan dipengaruhi oleh tegangan motor, arus, hambatan dan konstanta. Dengan demikian jika tegangan digunakan sebagai variabel dan besaran lain digunakan sebagai tetapan, maka besarnya tegangan akan berbanding lurus dengan kecepatan putaran. Untuk mendapatkan putaran yang rendah dibutuhkan tegangan yang rendah dan untuk mendapatkan putaran yang tinggi dibutuhkan tegangan yang tinggi (Putra *et al.*, 2013).

#### 2.4.2 Pengaruh kecepatan *screw* terhadap laju aliran massa

Untuk mengetahui besarnya konsumsi listrik pada motor penggerak perlu dihitung besarnya tegangan dan arus listrik yang terjadi pada motor. Dari data tegangan dan arus listrik tersebut dapat di ketahui daya motor penggerak dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- P = Daya motor penggerak (W)
- V = Tegangan listrik (Volt)
- I = Arus listrik (A)
- Cos $\phi$  = Faktor daya

Berdasarkan persamaan tersebut, daya motor penggerak dipengaruhi oleh tegangan, arus, dan faktor daya. Dengan demikian jika tegangan digunakan sebagai variabel dan besaran yang lain digunakan sebagai tetapan, maka daya akan berbanding lurus dengan tegangan. Semakin besar daya listrik pada motor penggerak semakin besar pula tegangan yang dibutuhkan dan sebaliknya semakin kecil daya listrik pada motor penggerak semakin kecil tegangan yang dibutuhkan (Putra *et al.*, 2013).

Kenaikan konsumsi daya motor penggerak juga dapat diketahui dengan rumus perhitungan daya teoritis sebagai berikut:

$$\text{Daya penggerak (kW)} = \frac{2\pi \times \text{torsi(N.m)} \times \text{putaranscrew(rpm)}}{6000} \dots\dots\dots (2.4)$$

Berdasarkan persamaan diatas daya motor penggerak berbanding lurus dengan kecepatan putar *screw conveyor*. Dengan demikian jika torsi dianggap tetap

pada setiap variasi kecepatan *screw*, maka semakin tinggi kecepatan putar *screw* semakin tinggi konsumsi daya pada motor penggerak. Kecepatan putar *screw conveyor* juga berpengaruh terhadap laju aliran massa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan hasil yang diperoleh bahwa peningkatan kapasitas efektif berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan putar *screw*. Dengan demikian semakin tinggi kecepatan putaran *screw*, maka laju aliran massa yang dihasilkan semakin meningkat dan sebaliknya semakin rendah kecepatan putar *screw*, maka laju aliran massa yang dihasilkan semakin menurun (Putra *et al.*, 2013).

Kapasitas efektif menunjukkan output maksimum pada tingkat operasi tertentu. Kapasitas efektif dari *screw conveyor* dapat diketahui dengan mengambil data berat produk pada waktu pengujian yang ditentukan (Putra *et al.*, 2013). Hasil pengambilan data dapat dilakukan perhitungan kapasitas mesin dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas}(g/min) = \text{berat hasil pengujian}(g) \times \left( \frac{60 s}{\text{waktu pengujian}(s)} \right) \dots (2.5)$$

Prabandono *et al.*, 2013 melakukan penelitian mengenai pembuatan nanopartikel ZnO menggunakan metode *DC Thermal Plasma* daya 20 kW dengan injeksi serbuk menggunakan *screw conveyor* dengan variasi tegangan motor 3, 4, dan 5 volt menghasilkan masa aliran serbuk dari masing-masing tegangan 0,54; 1,02 dan 1,49 gram per menit (g/min) dan variasi arus plasma 20, 25, 30 ampere (A). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan motor dapat meningkatkan laju serbuk dan perubahan arus plasma dan laju aliran yang serbuk mempengaruhi kemurnian, dimensi, dan kualitas hasil sintesis *DC thermal plasma*.

Tabel 2.3 Data ukuran nanopartikel yang terbentuk (Sumber: Prambandono, 2013)

Crystalline size (nm)		
20A	25A	30A
46,00	41,41	34,51
60,93	60,94	85,36
72,72	48,500	62,34
71,21	86,86	65,19
87,28	74,85	127,82
105,30	105,36	154,30
127,88	127,98	187,41
127,88	127,98	187,41

Peningkatan laju serbuk berdampak pada waktu sintesis nanopartikel dan tingkat aglomerasi partikel, semakin cepat laju serbuk maka proses sintesis nanopartikel semakin cepat sehingga partikel tidak sempat menarik partikel lain yang mengakibatkan aglomerasi partikel, begitupun sebaliknya semakin rendah laju aliran serbuk maka waktu sintesis nanopartikel semakin lama sehingga mengakibatkan tingkat aglomerasi partikel semakin tinggi (Rochman *et al.*, 2017)

## 2.5 Metode Taguchi

Metode taguchi adalah metode statistik yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses produksi dalam waktu yang bersamaan dapat menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode taguchi berupaya untuk mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses produksi tidak rentan terhadap berbagai faktor luar, seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi operasional. Metode taguchi menjadikan produk atau proses memiliki sifat yang kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*) (Soejanto, 2009).

### 2.5.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

Tahap perencanaan eksperimen merupakan tahap terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks ortogonal.

#### a. Perumusan masalah

Tahap pertama dalam perencanaan eksperimen adalah perumusan masalah. Tahap ini merupakan tahap untuk mendefinisikan masalah atau fokus yang akan diselidiki dalam eksperimen. Perumusan masalah harus spesifik dan jelas, secara teknis harus dapat dituangkan kedalam eksperimen yang akan dilakukan.

#### b. Tujuan eksperimen

Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang diamati.

#### c. Penentuan variabel tak bebas

Variabel tak bebas merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus menentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselidiki. Pada eksperimen dengan metode taguchi variabel tak bebas adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori antara lain:

##### 1) Karakteristik yang dapat diukur

Semua hasil akhir yang diteliti dapat diukur dengan skala kontinyu, misalnya temperatur, berat, dan tekanan.

##### 2) Karakteristik atribut

Semua hasil akhir yang diteliti tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara kelompok, misalnya retak, jelek dan baik.

##### 3) Karakteristik dinamik

Karakteristik dinamik merupakan fungsi reponse dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai sinyal dan output dari

proses yang diamati digambarkan sebagai hasil dari sinyal. Sebagai contoh adalah pada sistem transmisi otomatis dengan *input* putaran mesin dan *output* perubahan getaran.

d. Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas)

Variabel bebas merupakan variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel yang lain. Dalam suatu percobaan tidak semua faktor yang diprediksikan dapat mempengaruhi variabel yang diselidiki, hanya faktor-faktor yang dianggap penting yang akan diselidiki. Hal tersebut akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang akan diteliti antara lain:

1) *Brainstorming*

*Brainstorming* merupakan suatu pemikiran kreatif tentang penyelesaian suatu masalah tanpa melihat apakah yang diungkapkan masuk akal atau tidak. Metode ini lebih baik dilakukan dengan diskusi kelompok, karena untuk memberikan gambaran tentang masalah yang akan diteliti ditinjau dari beberapa sudut pandang yang berbeda.

2) *Flowchart*

Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diselidiki dengan menggunakan *flowchart*. Dengan melihat pada *flowchart* maka untuk masing-masing tahap diidentifikasi faktor-faktor yang mungkin berpengaruh.

3) Diagram sebab akibat

Diagram sebab akibat merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang potensial. Pada metode ini untuk mengidentifikasi faktor-faktor dimulai dengan menyatakan pengaruh utama (variabel bebas) yang akan diamati, kemudian diurutkan penyebab yang mungkin berpengaruh pada variabel bebas yang diamati.

e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Dalam metode taguchi faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Kedua faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah parameter-

parameter yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan atau faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan sendiri. Faktor gangguan adalah suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Pada faktor gangguan nilainya tidak dapat diatur atau dikendalikan.

f. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Level faktor adalah suatu nilai tertentu atau sifat (*atribute*) yang diberikan pada suatu faktor. Pemilihan jumlah level faktor digunakan untuk menentukan ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. Jumlah level faktor yang diteliti semakin banyak, maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Semakin banyak jumlah level faktor juga meningkatkan jumlah pengamatan sehingga biaya yang digunakan untuk eksperimen semakin meningkat.

Penentuan jumlah level faktor yang dipilih tergantung pada pengetahuan terhadap proses dan produk. Jika proses atau produk baru diteliti, maka perlu digunakan tiga level untuk beberapa faktor. Jika diketahui pengaruh faktor tertentu, maka faktor dengan jumlah 2 level sudah mencukupi untuk mendapatkan informasi yang diinginkan dari analisis hasil eksperimen.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah banyaknya pengukuran bebas yang dapat dilakukan untuk memprediksi sumber informasi. Angka derajat kebebasan dapat menunjukkan banyak perbandingan bebas yang dapat dilakukan pada sekelompok data. Dalam ruang lingkup eksperimen derajat kebebasan didefinisikan sebagai jumlah perbandingan antara faktor (efek utama) atau level interaksi yang dibuat untuk menentukan level yang lebih baik dan seberapa bagus level tersebut. Untuk mengetahui derajat kebebasan dari sebuah matriks eksperimen atau total derajat kebebasan adalah:

$$\text{Total } V_{fl} = (\text{banyaknya faktor}) \times (\text{banyaknya level} - 1) \dots \dots \dots (2.6)$$

h. Pemilihan matrik orthogonal

Dalam memilih matriks orthogonal yang sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks orthogonal tersebut yang menjelaskan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Dalam penentuan matriks orthogonal,

tabel yang dipilih harus memiliki baris paling minimum dan tidak boleh kurang dari total derajat kebebasannya. Bentuk umum dari matrik orthogonal adalah sebagai berikut:

$$L_a(b_c) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- L = rancangan bujur sangkar latin
- a = banyaknya baris (eksperimen)
- b = banyaknya level
- c = banyaknya kolom (faktor)

Memilih matriks orthogonal yang cocok atau sesuai dengan eksperimen adalah derajat kebebasan pada matriks orthogonal standar harus lebih besara atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen. Pemilihan jenis matriks orthogonal didasarkan pada jumlah derajat bebas total. Penentuan derajat kebebasan berdasarkan pada:

- 1) Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi.
- 2) Jumlah level dari faktor yang diamati.
- 3) Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya.

Berikut ini merupakan contoh matriks orthogonal standar dengan 3 level yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Table 2.4 Matrik orthogonal standart 3 level (Sumber: Soejanto, 2009)

Matrik orthogonal standar 3 level					
$L_9(3^4)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	-

### 2.5.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen taguchi adalah melakukan pengerjaan berdasarkan setting faktor pada matriks orthogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti pada randomisasi.

Jika replikasi bertujuan memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias.

a. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Tujuan dilakukan replikasi :

- 1) Menambah ketelitian data eksperimen.
- 2) Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen.
- 3) Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

Penentuan jumlah replikasi dalam suatu percobaan dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$(r - 1)(p - 1) \geq 15 \dots\dots\dots (2.8)$$

b. Randomisasi

Pengaruh faktor gangguan (faktor yang tidak bisa dikendalikan) dalam percobaan, contoh : kelelahan operator, perubahan daya mesin, dan lain-lain dapat diperkecil dengan menyebarkan pengaruhnya selama eksperimen melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Tujuan dilakukan randomisasi :

- 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.
- 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lain.

### 2.5.3 Tahap Analisis

Pada tahap analisis dilakukan pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Selain itu juga dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan statistik :

a. Analisis Rata-rata (*ANOM*)

*ANOM* atau analisis rata-rata, merupakan teknik perhitungan yang digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter kendali sehingga diperoleh hasil yang

optimum sesuai dengan keinginan. Untuk mendapatkannya dengan cara membandingkan nilai rata-rata *S/N Ratio* setiap level dari masing-masing parameter kendali dengan menggunakan grafik *S/N Ratio* terhadap level. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali yang dimaksud berpengaruh pada proses atau tidak.

b. Analisis Varians (*ANOVA*)

*ANOVA* atau Analisis varian, digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali. *Sum of square* merupakan jumlah variansi nilai *S/N Ratio* dari setiap level pada masing-masing parameter kendali.

c. Uji Hipotesis

Hipotesis merupakan suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau bisa disebut dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis ini akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti dapat dikatakan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar.

Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Dalam hal ini :

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variasi karena perlakuan} + \text{variasi karena error}}{\text{variasi karena error}} \dots \dots \dots (2.9)$$

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

Hipotesis pengujian dalam percobaan ini adalah:

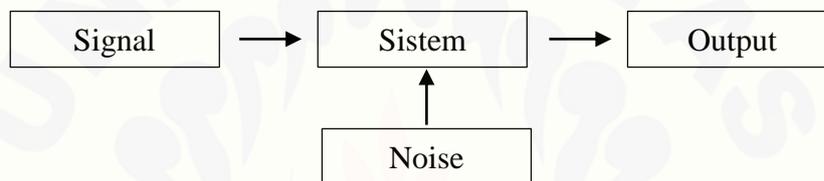
$H_0$  : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j = \mu_k$

$H_1$  : ada pengaruh perlakuan paling sedikit ada satu  $\mu_1$  yang tidak sama

Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F tabel ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ), maka  $H_0$  diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Namun apabila uji F lebih besar dari nilai F tabel ( $F_{hitung} > F_{tabel}$ ), maka  $H_0$  ditolak dan berarti ada pengaruh perlakuan.

d. *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*

*S/N Ratio* merupakan suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter. Nilai *S/N Ratio* didapat dari pengolahan data dari hasil percobaan untuk beberapa kombinasi level pada parameter kendali. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimen, maka nilai dari *signal* dan *noise* diganti dengan nilai estimasi rata-rata ( $\mu^2$ ) dan variasi ( $\sigma^2$ ).



Gambar 2.10 Ilustrasi Konsep S/N Ratio (Sumber: Soejanto, 2009)

*S/N Ratio* digunakan untuk mengukur pengaruh dari unjuk kerja dari parameter kendali. Sehingga dari nilai *S/N Ratio* dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup berpengaruh signifikan dalam sebuah proses dan dapat disebut sebagai *signal*, atau parameter tersebut hanya memberikan sedikit pengaruh dan hanya dianggap sebagai *noise*. Berdasarkan *Taguchi Loss Function*, terdapat tiga jenis *S/N ratio* yang dapat digunakan, yaitu:

a. *Nominal the Best*

$$\eta = 10 \log 10 \left( \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

b. *Smaller the Better*

$$\eta = -10 \log 10 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.11)$$

c. *Larger the Better*

$$\eta = -10 \log 10 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

## 2.6 Hipotesis

Arus berdampak pada panjang api plasma, semakin meningkat arus menyebabkan api plasma semakin panjang. Api plasma yang semakin panjang akan menghasilkan waktu tinggal partikel semakin lama (Suresh *et al.*, 2008). Laju aliran serbuk berdampak pada lamanya proses sintesis partikel. Semakin meningkat laju aliran serbuk maka proses sintesis partikel semakin cepat, begitupun juga sebaliknya (Rochman *et al.*, 2017).



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini digunakan untuk menentukan pengaruh laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma terhadap jumlah *massa* serbuk yang dihasilkan pada proses sintesis nanopartikel *zinc oxide* menggunakan *DC thermal plasma*. Metode eksperimen ini juga digunakan untuk mencari parameter laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma yang optimum untuk menghasilkan jumlah serbuk yang banyak pada proses sintesis nanopartikel *zinc oxide* menggunakan *DC thermal plasma*.

Analisis data dan pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan metode *taguchi*. Metode ini digunakan untuk menentukan hasil yang optimum pada sintesis nanopartikel *zinc oxid*.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penelitian ini proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *DC Inverter Plasma Generator Rhino-70*

DC inverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk merubah arus bolah balik menjadi arus searah. Pada penelitian ini DC inverter digunakan sebagai pengatur variabel tinggi randahnya dari arus plasma. *DC Inverter Plasma Generator Rhino-70* pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

*Rated input voltage* = 220 volt – 1 Phase

*No-load voltage* = 240 volt

<i>Current range</i>	= 20 – 70 A
<i>Rate duty cycle</i>	= 60 %
<i>Input power</i>	= 1000 W
<i>Dimension</i>	= 59 x 27 x 42 cm

b. Tabung reaktor *Thermal Plasma*

Tabung reaktor merupakan alat yang berfungsi sebagai tempat terjadinya sintesis nanopartikel. Tabung reaktor memiliki dinding ganda yang berfungsi sebagai tempat cairan pendinginan.

c. Radiator

Radiator adalah alat yang digunakan untuk penukar panas. Pada radiator dilengkapi dengan kipas yang berfungsi untuk memindahkan energi panas dari medium air ke udara, sehingga air menjadi dingin untuk di sirkulasi ke tabung reaktor plasma.

d. Pompa radiator

Pompa radiator adalah suatu alat yang digunakan untuk sirkulasi air pendingin dari radiator menuju tabung reaksi dan sebaliknya secara terus menerus pada saat proses berlangsung. Pompa radiator pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

<i>Type</i>	= Shimizu PS135E
<i>Volatage</i>	= 220 volt / 50 Hz 1 phase
<i>Input power</i>	= 300 W
<i>Capacity</i>	= 10-28 l/mnt
<i>Pipe input</i>	= 25 mm
<i>Pipe output</i>	= 25 mm
<i>Weight</i>	= 11,500 kg

e. *Air Regulator*

*Air regulator* merupakan alat yang digunakan untuk mengatur tekanan udara yang masuk ke dalam DC inverter dan udara pendorong serbuk. *Air regulator* juga berfungsi sebagai penyaring, sehingga udara yang keluar dari regulator bebas dari debu maupun air.

f. Kompresor

Kompresor merupakan alat yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida berupa udara. Udara yang dihasilkan dari kompresor digunakan sebagai gas plasma dan gas pendorong serbuk. Pada penelitian ini kompresor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

*Input power* = 550 W

*Voltage* = 180 – 220 volt

*Flow* = 80 l/mnt

*Pressure* = 8 bar

*Volume* = 24 liter

*HP* = 0,75 HP

*Weight* = 26 kg

g. *Vacuum Pump*

*Vacuum pump* merupakan alat yang digunakan untuk mengeluarkan udara dari dalam tabung reaktor untuk mencapai vakum. *Vacuum pump* juga berfungsi untuk menghisap serbuk nano yang dihasilkan di dalam tabung reaktor dan disaring oleh filter nanopartikel. Pada penelitian ini *vacuum pump* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

*Model* = KW 19-535

*Voltage* = 220 / 50Hz

*Power* = 3/4 HP

*Vacuum capacity* = 5 Pa

*Oil capacity* = 890 ml

h. Filter nanopartikel

Filter nanopartikel merupakan alat yang digunakan untuk menyaring atau pengumpul hasil serbuk nano yang dihisap oleh *vacuum pump*.

i. Wadah sampel

Wadah sampel merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan serbuk yang dihasilkan pada tiap percobaan.

j. *Powder feeder (screw conveyor)*

*Powder feeder* merupakan alat yang digunakan untuk menyalurkan serbuk yang akan diproses menuju api plasma. Pada penelitian ini *powder feeder* yang digunakan berupa *screw conveyor* yang dilengkapi motor listrik sebagai penggerakannya.

k. *Adaptor DC variabel*

*Adaptor DC variabel* merupakan alat yang digunakan untuk mengaliri arus pada motor penggerak *screw conveyor*. *Adaptor DC variabel* juga digunakan untuk mengatur tegangan pada motor penggerak *screw conveyor* agar lajur serbuk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

l. *Flow meter*

*Flow meter* merupakan alat yang digunakan untuk mengatur kecepatan aliran udara. Pada penelitian ini *flow meter* digunakan untuk mengatur kecepatan aliran udara api plasma dan aliran udara pendorong serbuk.

m. *Timbangan digital*

*Timbangan* adalah alat ukur yang digunakan untuk menentukan massa suatu benda. Pada penelitian ini *timbangan* digunakan untuk mengukur massa serbuk yang akan di proses serta massa serbuk hasil proses.

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk *Zinc (Zn)* merek MERCK dengan ukuran  $<45 \mu\text{m}$  ditunjukkan pada gambar 3.1.

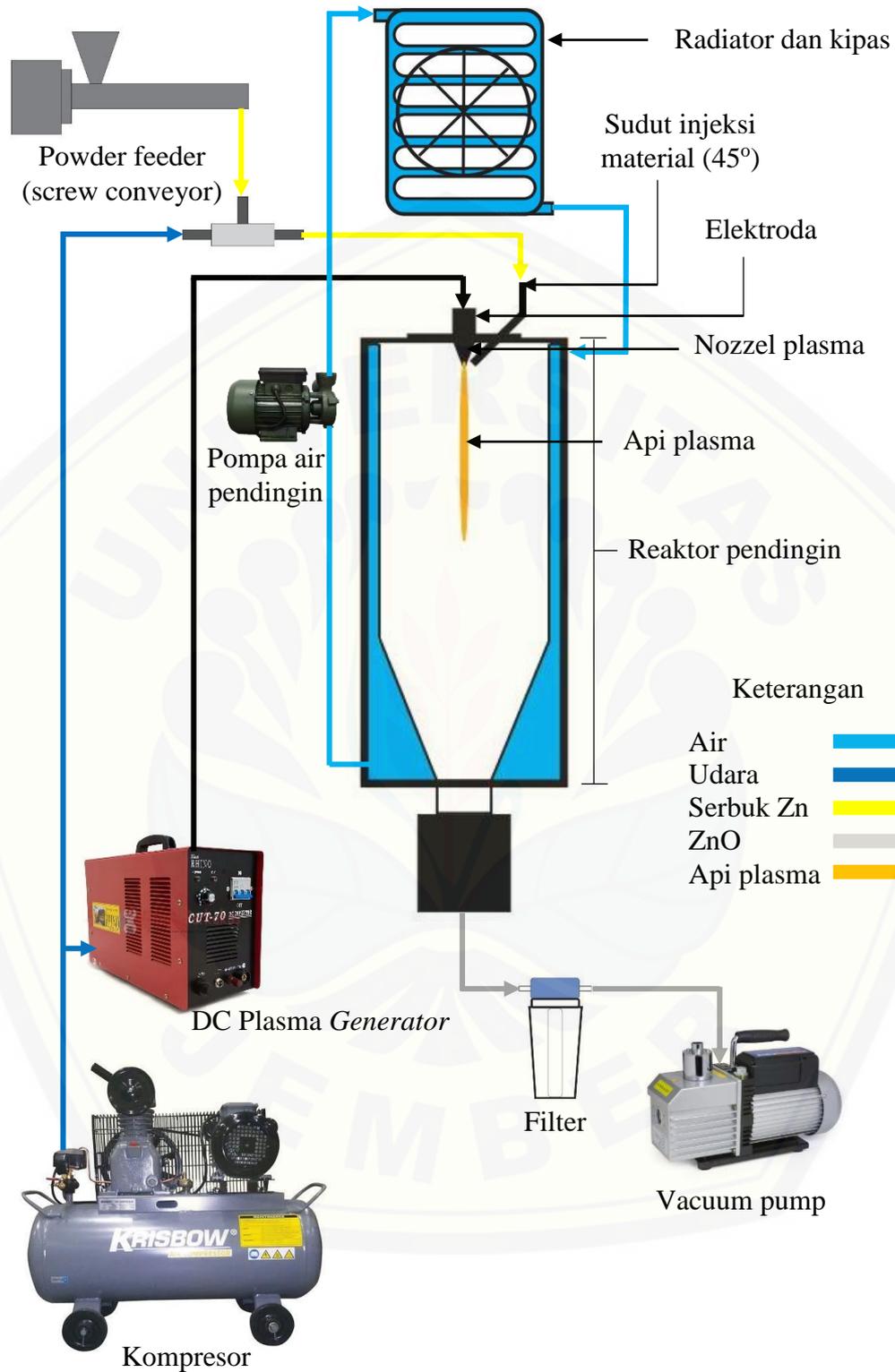


Gambar 3.1 Serbuk Zn ukuran  $<45 \mu\text{m}$  (Sumber: Pribadi)

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam pembuatan nanopartikel Zinc Ozide adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan
- 2) Memasang elektroda tembaga pada torch mesin *DC Thermal plasma*, torch ini akan mengeluarkan api plasma yang nantinya akan digunakan untuk membakar material (prekursor) dalam bentuk serbuk.
- 3) Memeriksa saluran pembawa serbuk material (*screw conveyor*), saluran ini berfungsi sebagai pembawa serbuk dari *screw conveyor* ke api plasma.
- 4) Memeriksa sistem pendingin pada tabung reaktor plasma, pemeriksaan dilakukan pada bagian pipa saluran air, pompa dan pada radiator. Sistem pendingin ini berfungsi untuk mendinginkan ruang didalam reaktor ketika terjadi proses pembakaran, sehingga reaktor tidak mengalami panas yang berlebihan.
- 5) Memeriksa sistem vakum, pemeriksaan dilakukan pada bagian selang, filter dan pompa vakum. Sistem vakum berfungsi sebagai penghisap material ZnO yang sudah terbentuk di dalam tabung reaktor. Sistem vakum ini dilengkapi filter yang berfungsi sebagai penampung serbuk yang telah diproses.
- 6) Memasukan serbuk Zn ke dalam *hopper* pada saluran pembawa serbuk (*screw conveyor*).
- 7) Menghidupkan pompa dan kipas radiator pada sistem pendingin.
- 8) Mengatur laju aliran serbuk pada *screw conveyor* dengan variasi 8,50; 11,50 dan 15,50 g/min dan arus *DC Thermal Plasma* pada 50, 60 dan 70 A, dari masing-masing laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma ini digunakan untuk memproses serbuk Zn.
- 9) Menghidupkan *vacuum pump* pada waktu proses berlangsung
- 10) Mematikan mesin *DC Thermal Plasma*
- 11) Mengambil serbuk yang sudah tertampung pada filter kemudian diletakkan dalam wadah *sample*. Skema untuk *DC Thermal Plasma* dapat dilihat pada gambar 3.2. Secara actual gambar mesin *DC Thermal Plasma* dapat dilihat pada halaman lampiran Gambar A.1.



Gambar 3.2 Sekema Mesin DC Thermal Plasma

### 3.5 Tahap Analisis Data Eksperimen Taguchi

#### 3.5.1 Tahapan Perencanaan Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, perhitungan derajat kebebasan, pemilihan matriks ortogonal, dan penempatan kolom untuk faktor ke dalam matrik orthogonal.

##### a. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka pokok permasalahannya dapat dirumuskan sebagai berikut: “pengaruh laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma terhadap massa serbuk *zinc oxide*”.

##### b. Tujuan Eksperimen

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- 1) Mengidentifikasi pengaruh faktor laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma terhadap massa serbuk *zinc oxide* yang dihasilkan.
- 2) Menentukan faktor dan level laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dan arus plasma yang paling optimum terhadap massa serbuk *zinc oxide* yang dihasilkan.

##### c. Penentuan variabel tak bebas

Pada penelitian ini variabel tak bebas yang digunakan yaitu waktu pembakaran serbuk selama 30 detik dan waktu hisap *Vacuum Pump* selama 3 menit.

##### d. Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas)

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti sendiri. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* dengan variasi 8,50; 11,50 dan 15,50 g/min dan arus 50, 60 dan 70 A. Variasi laju serbuk diperoleh dengan melakukan pengambilan data pada *screw conveyor* dengan memvariasikan tegangan motor. Pengujian diperoleh dari masing masing tegangan yang digunakan yaitu 8, 10, dan 12 volt dengan rpm masing-masing 300, 375 dan 450 rpm dan laju serbuk 8,500; 11,500 dan 15,500 g/min.

e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Pada penelitian ini faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antara kedua faktor berbeda.

Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kendalikan, walaupun bisa dikendalikan namun akan mahal biayanya. Faktor kontrol pada penelitian ini disebut sebagai variabel bebas.

Dengan ditentukannya faktor-faktor yang dapat dikendalikan terhadap faktor gangguan, maka faktor yang dapat dikendalikan bisa dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian

No	Faktor Kontrol
1	Laju aliran serbuk menggunakan <i>screw conveyor</i>
2	Arus plasma

f. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level sangat penting untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Namun banyaknya level ini akan mengakibatkan jumlah pengamatan sehingga otomatis biaya yang diperlukan juga akan meningkat.

Oleh sebab itu faktor-faktor yang akan diteliti dan nilai level faktor sudah ditentukan dan bisa dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penentuan jumlah level dan nilai faktor

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	laju aliran serbuk menggunakan screw conveyor	8,500 g/min	11,500 g/min	15,500 g/min
B	Arus Plasma	50 A	60 A	70 A

g. Perhitungan derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan ini dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

Perhitungan derajat kebebasan dan kombinasi yang ditetapkan akan mempengaruhi pemilihan matriks ortogonal. Terdapat dua faktor dan tiga level pada penelitian ini:

- 1) Faktor A adalah parameter laju aliran serbuk menggunakan *screw conveyor* = 3 level
- 2) Faktor B adalah parameter arus plasma = 3 level

Dengan adanya faktor (A, B) maka derajat kebebasan total yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Table 3.3 Perhitungan derajat kebebasan total

Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	(3-1)	2
B	(3-1)	2
<b>Total Derajat Kebebasan</b>		<b>4</b>

h. Pemilihan matrik ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai tergantung dari nilai faktor yang diharapkan dan nilai level dari tiap-tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis matriks ortogonal yang dipilih.

Pada penelitian ini perhitungan derajat kebebasan diperoleh  $V_{fl} = 4$  derajat kebebasan, dan masing-masing faktor mempunyai 3 level. Maka matriks ortogonal yang dipilih adalah yang mempunyai derajat kebebasan lebih besar atau sama dengan total derajat kebebasan dalam eksperimen ini (4 derajat kebebasan). Berikut ini adalah derajat kebebasan untuk matriks ortogonal yang paling sesuai:

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

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

Pada perhitungan total derajat kebebasan dalam eksperimen = 4 derajat kebebasan, oleh sebab itu matriks ortogonal yang digunakan yaitu  $L_9(3^4)$  karena derajat kebebasannya mencukupi.

i. Penempatan kolom untuk faktor kedalam matrik orthogonal

Pada penelitian ini sudah dipilih matriks ortogonal yang digunakan untuk pengambilan data, yaitu  $L_9(3^4)$ . Matriks ortogonal  $L_9(3^4)$  dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Matrik orthogonal  $L_9(3^4)$  (Sumber: Soejanto, 2009)

Matrik Ortogonal $L_9(3^4)$		
Eksperimen	Faktor	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

### 3.5.2 Tahap Eksperimen

Setelah melakukan pemilihan matriks ortogonal dan penempatan faktor ke dalam matrik dilakukan, berikutnya adalah melakukan percobaan. Percobaan dilakukan berdasarkan matrik ortogonal yaitu dengan sembilan sampel. Dari tahap ini, dapat diketahui hasil massa serbuk ZnO yang terbentuk dari setiap parameter percobaan yang digunakan. Hasil percobaan ini diperoleh dengan cara menimbang massa serbuk ZnO yang dihasilkan dimana sebelumnya dibuat sesuai dengan matriks kombinasi level faktor. Tabel data percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Data Percobaan

Eks.	Faktor			Serbuk akhir (g)
	Laju aliran serbuk menggunakan <i>screw</i> <i>conveyor</i> (g/min)	Arus plasma (A)	Serbuk awal (g)	
1	8,50	50	5	
2	8,50	60	5	
3	8,50	70	5	
4	11,50	50	5	
5	11,50	60	5	
6	11,50	70	5	
7	15,50	50	5	
8	15,50	60	5	
9	15,50	70	5	

Pada penelitian ini optimasi akan tercapai jika ketelitian memiliki nilai tinggi, oleh karena itu jenis optimasi yang digunakan yaitu *Larger the Better*.

### 3.5.3 Tahap Analisis

Pada proses analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang disesuaikan dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen. Selain itu juga dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistic seperti analisis varian, test hipotesis dan penerapan rumus rumus empiris pada data hasil eksperimen.

Untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang berpengaruh sangat penting terhadap massa serbuk *Zinc oxide* yang dihasilkan diperlukan analisis dan pengolahan data eksperimen dengan menggunakan perhitungan nilai mean dan ditransformasikan ke bentuk rasio S/N dalam table analisis varian.

Berikut ini adalah metode analisis yang digunakan pada penelitian ini:

a. ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variant*) digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

b. Uji Hipotesis

Hipotesis merupakan suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau bisa disebut dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis ini akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti dapat dikatakan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar.

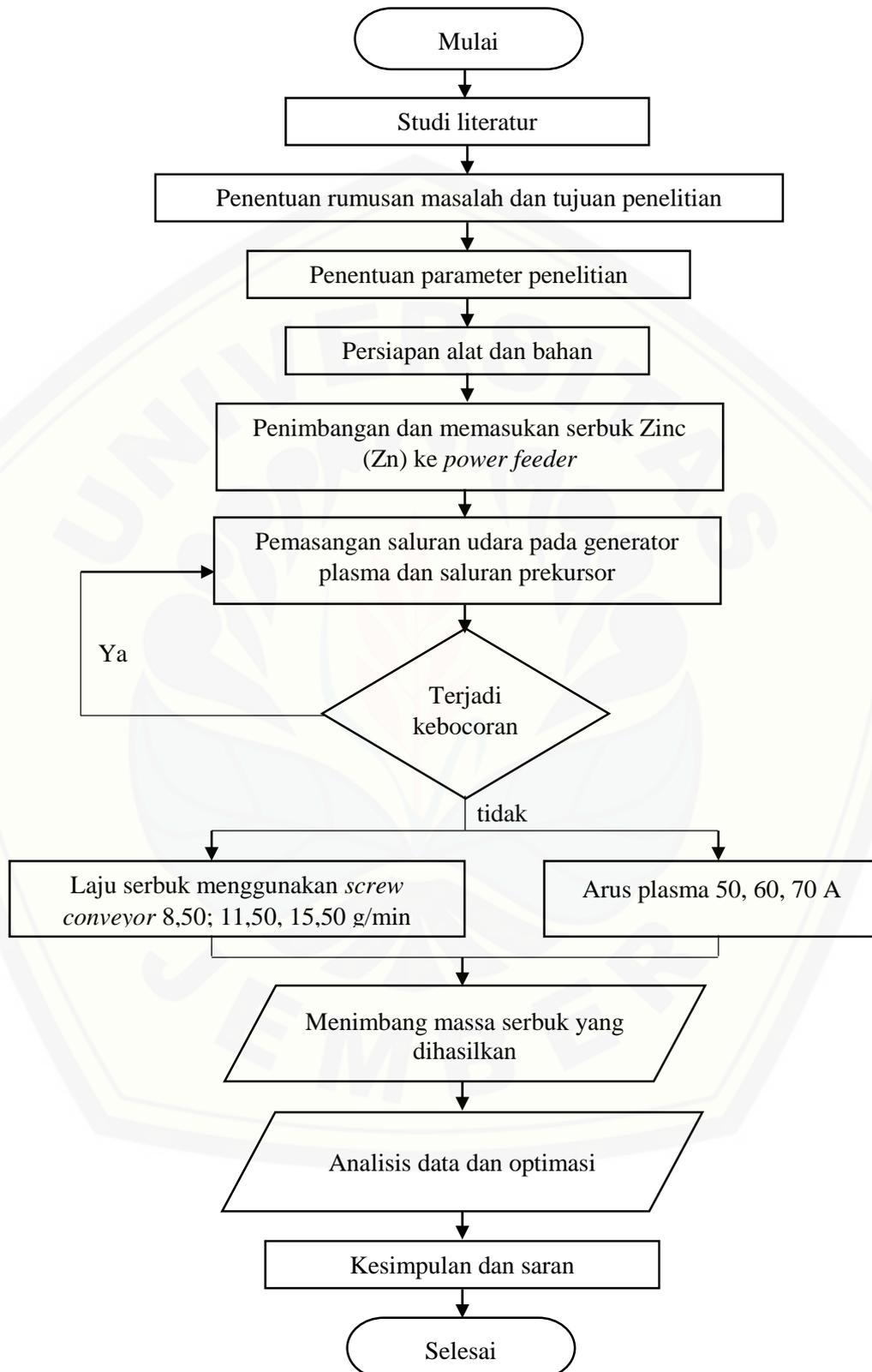
Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Uji hipotesis dijelaskan pada rumus 2.7

c. Rasio S/N

Rasio S/N (rasio Sinyal-To-Noise) digunakan untuk memilih faktor faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul.

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Terdapat 3 pemilihan karakteristik respon pada metode taguchi, yaitu *smaller the better*, *nominal the best*, dan *larger the better*. Karakteristik respon pada penelitian ini adalah *larger the better*, dimana semakin banyak massa serbuk nanopartikel *zinc oxide* yang dihasilkan akan semakin baik. Karakteristik respon *larger the better* ditunjukkan pada rumus 2.10.

### 3.6 Diagram alir Penelitian



Gambar 3.3 Flowchart Penelitian

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Laju Serbuk Dan Arus Plasma Terhadap Massa Serbuk *Zinc oxide* Dengan Metode *DC Thermal Plasma* Menggunakan *Screw Conveyor*” ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Analisis statistik membuktikan parameter laju serbuk tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon produktivitas yang ingin dicapai. Hal ini dibuktikan dengan nilai  $F_{hitung} = 0,72 < F(0,05; 2; 9) = 4,26$  ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ). Parameter laju serbuk tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap produktivitas dikarenakan terjadinya *losses* yang disebabkan udara hisap dari *vacuum pump* lebih rendah dari udara yang masuk tabung reaktor, sehingga pada proses sintesis nanopartikel terjadi letupan dan mengakibatkan serbuk hasil sintesis keluar dari tabung reaktor. Perbedaan udara hisap *vacuum pump* dengan udara yang masuk juga mengakibatkan serbuk hasil sintesis masih ada yang menempel pada tabung reaktor, sehingga proses pengumpulan serbuk dilakukan secara manual. Proses pengumpulan serbuk secara manual mengakibatkan serbuk berterbangan dan masih ada sisa serbuk yang masih menempel pada filter dan tabung reaktor sehingga terjadi banyak *losses*. Sedangkan pada parameter arus juga tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap respon produktivitas yang ingin dicapai. Hal ini dibuktikan dengan nilai  $F_{hitung} = 1,16 < F(0,05; 2; 9) = 4,26$  ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ). Prambandono (2013) menjelaskan bahwa untuk menghasilkan nanopartikel yang memiliki nilai kemurnian tinggi dapat diperoleh dengan cara mengatur arus pada reaktor plasma.
- b. Parameter optimum yang dapat menghasilkan serbuk akhir paling banyak diperoleh dari kombinasi parameter laju serbuk 8,50 g/min dan arus plasma 50 A dengan nilai S/N rasio 12,21 dan rata-rata jumlah serbuk akhir sebesar 4,08 gram.

## 5.2 Saran

Pada penelitian ini hanya dilakukan pembahasan dari pengaruh faktor laju serbuk dan arus plasma untuk mengetahui produktivitas mesin *DC Thermal Plasma* dalam pembuatan nanopartikel *Zinc Oxide*. Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya faktor yang lain juga diteliti agar dapat diketahui pengaruh faktornya seperti lamanya waktu proses agar laju produksi dapat terlihat.

Sistem pengumpulan serbuk memiliki kekurangan yaitu daya hisap yang kurang besar dari *vacuum pump* dan bahan penampung terbuat dari plastic, sehingga masih terdapat serbuk akhir yang menempel pada tabung reaktor dan wadah penampung. Saran untuk penelitian selanjutnya agar memperbesar daya hisap dari *vacuum pump* dan mengganti bahan penampung serbuk agar serbuk tidak dapat menempel misalnya dengan bahan keramik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdassah M. (2017). Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Farmaka*, 15(1): 45-52.
- Abdullah, M., Y. Virgus, Nirmin, dan Khairurrijal. (2008). Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(2): 34-57.
- Ariningsih E. (2016). Prospek Penerapan Teknologi Nano dalam Pertanian dan Pegolahan pangan di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 30(1): 1-20.
- Gomez, E., D. Amutha Rania,, C.R. Cheeseman, D. Deegan, M. Wise, A.R. Boccaccinia. (2009). Thermal plasma technology for the treatment of wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 614-626.
- Iwanata, I. S. (2019). Pengaruh Panjang Api dan Sudut Injeksi terhadap Produktivitas Mesin DC Thermal Plasma dalam Pembuatan Nanopartikel Alumina. *Skripsi*, Jember: Teknik Mesin Universitas Jember.
- Lee, Soo-Jung, Jinsub Choi, Dong-Wha Park. (2013). Synthesis of ZnO nanopowders by DC thermal plasma for dye-sensitized solar. *Materials Science and Engineering*, 489-495.
- Nur, M. (2011). *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang.
- Park, Ji-Sung, Dong-Wha Park. (2010). Synthesis of zinc oxide nano-particles using carbon dioxide by DC plasma jet. *Surface & Coatings Technology*, 79-83.
- Prabandono, B., Agus Kurniawan, Suyitno dan Ubaidillah. (2013). Mesin DC Thermal Plasma sederhana menghasilkan material ZnO dengan kemurnian tinggi. *Politeknosains*, 1-8.
- Putra, S. A., Novrinaldi, Yose Rizal Kurniawan. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Ulir Mesin Ekstruder Ulir Tunggal Terhadap Performa Mesin dan Kualitas Mi Jagung. *ResearchGate*, 157-161.
- Rahman, A. (2017). Prototype Screw Conveyor Mesin Pendaaur Ulang Pasir Cetak 10 Ton/Jam. *Semnastek*, 1-6.
- Reghunadhan, A., Nandakumar Kalarikkal and Sabu Thomas. (2018). Mechanical Property Analysis of Nanomaterials. India: Mahatma Gandhi Univesity.

- Rochman, A. H., Arief Ginanjar Dirgantara, Imam Sholahuddin, Salahudin Junus, Aris Zainul Muttaqin. (2017). Pengaruh Laju Prekursor Serbuk Aluminium Terhadap Bentuk Morfologi Nanopartikel Alumina dengan Metode DC Thermal Plasma. *Rotor*, 10(1): 17-19.
- Samal, S. (2016). Thermal plasma technology: The Prospective Future in Material Processing. *Journal of Cleaner Production*, 1-54.
- Seo, J. H., B. G. Hong. (2012). Thermal Plasma Synthesis of Nano-Sized Powder. *Nuclear Engineering and Technology*, 44(1): 1-9.
- Shanmugavelayutham, G., V. Selvarajan, P.V.A. Padmanabhan, K.P. Sreekumar, N.K. Joshi. (2007). Effect of powder loading on the excitation temperatur of a plasma jet in DC thermal plasma spray torch. *Current Applied Physics*, 186-192.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen Metode Taguchi*. Surabaya: Graha Ilmu.
- Suresh, K., V. Selvarajan, M. Vijay. (2008). Synthesis of nanophase alumina, and spheroidization of alumina particles, and phase transition studies through DC thermal plasma processing. *Vacuum*, 82: 814-820.
- Ubaidillah, Suyitno, W.E. Juwana, B. Prabandono and A. Purwanto. (2013). Characteristics of *zinc oxide* nanorods synthesized by low power DC thermal plasma. *Scientia Iranica*, 20(6): 2348-2355.
- Wulandari, D. (2016). Sintesis dan Karakterisasi ZnO dengan Metode Solvothermal sebagai Alternatif Semikonduktor dalam Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Skripsi*, Surabaya: Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.
- Yanuar, E. D. (2019). Pengaruh Variasi Gas Flow Rate dan Arus Terhadap Massa Serbuk Alumina dengan Metode DC Thermal Plasma. *Skripsi*, Jember: Teknik Mesin Universitas jember.

LAMPIRAN

A. Alat DC Thermal Plasma



Gambar A.1 Alat DC Thermal Plasma

**B. Komponen DC Thermal Plasma**



Gambar B.1 Plasma Generator



Gambar B.2 Vacuum Pump



Gambar B.3 Kompresor



Gambar B.4 Tabung Reaktor



Gambar B.5 Panel Kontrol



Gambar B.6 Filter



Gambar B.7 Pompa Air



Gambar B.8 Radiator



Gambar B.9 Powder Feeder



Gambar B.10 Adaptor Variabel



Gambar B.11 Flow Meter

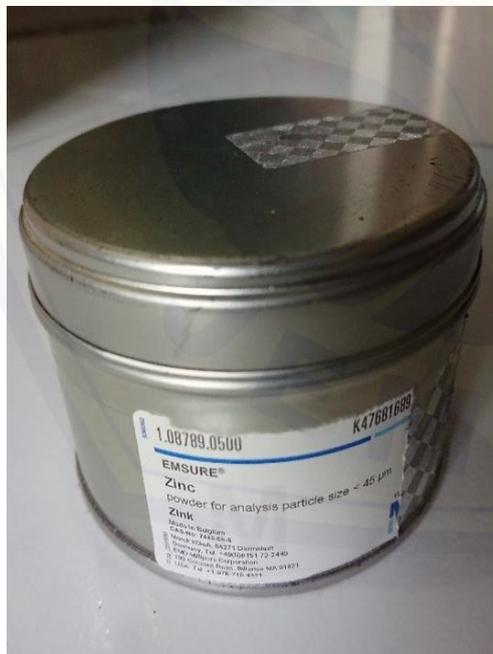
**C. Alat dan Bahan**



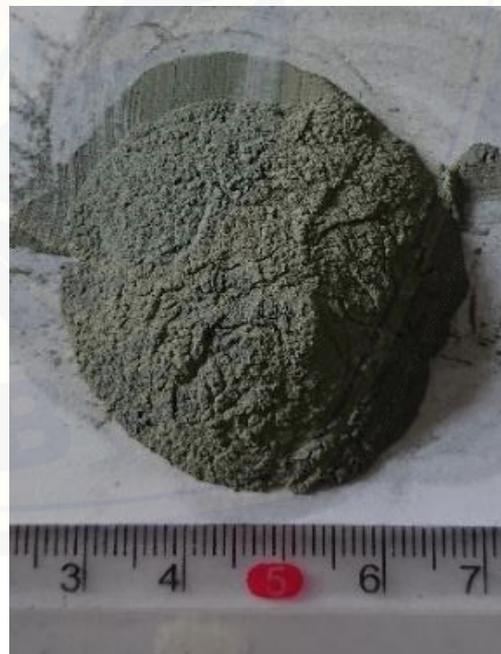
Gambar C.1 Timbangan Digital



Gambar C.2 Wadah Sampel



Gambar C.3 Serbuk *Zinc Oxide*



Gambar C.4 Serbuk *Zinc Oxide*

**D. Proses Pembuatan Nanopartikel *Zinc Oxide***



Gambar D.1 Penimbangan Serbuk Zn



Gambar D.2 Setting Parameter Arus Plasma



Gambar D.3 Setting Parameter Laju serbuk



Gambar D.4 Proses *Sintesis Zinc Oxide*



Gambar D.5 Proses Vacuum Zinc Oxide



Gambar D.6 Nanopartikel Zinc Oxide pada Tabung Reaktor



Gambar D.7 Nanopartikel Zinc Oxide pada Nozzel Plasma



Gambar D.8 Proses Pembongkaran Filter



Gambar D.9 Proses Pengumpulan Serbuk *Zinc Oxide* dari Filter



Gambar D.10 Proses Pengumpulan Serbuk dari Tabung Reaktor



Gambar D.11 Serbuk Nanopartikel *Zinc Oxide*

E. Table Distribusi F Probabilitas 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: Junaidi (<https://junaidichaniago.wordpress.com>)

**F. Perhitungan S/N Rasio setiap Level Parameter**

Level parameter 2

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{4,25^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0553633218 \\ &= 12,57 \end{aligned}$$

Level parameter 3

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,93^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0647462917 \\ &= 11,89 \end{aligned}$$

Level parameter 4

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,72^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0722626893 \\ &= 11,41 \end{aligned}$$

Level parameter 5

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,96^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0637690032 \\ &= 11,95 \end{aligned}$$

Level parameter 6

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,59^2} \right) \\ &= -10 \log 0,077590956 \\ &= 11,10 \end{aligned}$$

Level parameter 7

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{4,50^2} \right) \\ &= -10 \log 0,049382716 \\ &= 13,06 \end{aligned}$$

Level parameter 8

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,60^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0771604938 \\ &= 11,13 \end{aligned}$$

Level parameter 9

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{3,53^2} \right) \\ &= -10 \log 0,0802510252 \\ &= 10,96 \end{aligned}$$

**G. Perhitungan Rata-rata Nilai S/N Rasio setiap Level Parameter**

Parameter laju serbuk level 2

$$\bar{x} = \frac{11,41 + 11,95 + 11,10}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{34,46}{3}$$

$$\bar{x} = 11,49$$

Parameter laju serbuk level 3

$$\bar{x} = \frac{13,06 + 11,13 + 10,96}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{35,15}{3}$$

$$\bar{x} = 11,72$$

Parameter laju arus level 1

$$\bar{x} = \frac{12,15 + 11,41 + 13,06}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{36,62}{3}$$

$$\bar{x} = 12,21$$

Parameter laju arus level 2

$$\bar{x} = \frac{12,57 + 11,95 + 11,13}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{35,65}{3}$$

$$\bar{x} = 11,88$$

Parameter laju arus level 3

$$\bar{x} = \frac{11,89 + 11,10 + 10,96}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{33,95}{3}$$

$$\bar{x} = 11,31$$