



**PENGARUH VARIASI GAS *FLOW RATE* DAN ARUS  
TERHADAP MASSA SERBUK ALUMINA DENGAN  
METODE *DC THERMAL PLASMA***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Danang Erwandy Yanuar**  
**NIM 151910101105**

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



**PENGARUH VARIASI GAS *FLOW RATE* DAN ARUS  
TERHADAP MASSA SERBUK ALUMINA DENGAN  
METODE *DC THERMAL PLASMA***

**SKRIPSI**

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

Oleh  
**Danang Erwandy Yanuar**  
**NIM 151910101105**

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

## **PERSEMBAHAN**

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

1. Kedua orang tua saya Juwardi dan Eri Wahyuningsih yang telah memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Adik saya Randy Aditya Abimanyu 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 Moch. Edoward R., S.T., M.T. selaku pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1) sehingga mendapatkan gelar S.T.
6. Semua guru Taman Kanak-kanak PGRI 4 Sragi yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru Sekolah Dasar Negeri 02 Sempu yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Genteng yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua guru Madrasah Aliyah Negeri Genteng 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 2015 yang selalu memberikan motivasi sampai saya menjadi seorang sarjana.

12. Teman-teman kost HIMAGAWOK yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
13. Teman-teman KKN 157 yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
14. Teman-teman Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
15. Seluruh teman-teman bermain pada masa kecil hingga perguruan tinggi.

## **MOTTO**

Jangan menanam sebuah keraguan, tetapi tanamlah sebuah keyakinan  
(Danang Erwandy Yanuar)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Danang Erwandy Yanuar

NIM : 151910101105

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi *Gas Flow Rate* dan Arus terhadap Massa Serbuk Alumina dengan Metode *DC Thermal Plasma*” 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, 21 Agustus 2019  
Yang menyatakan,

Danang Erwandy Y.  
NIM 151910101105

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI *GAS FLOW RATE* DAN ARUS  
TERHADAP MASSA SERBUK ALUMINA DENGAN  
METODE *DC THERMAL PLASMA***

Oleh

**Danang Erwandy Yanuar**

**NIM 151910101105**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Danang Yudistiro, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Moch. Edoward R., S.T., M.T.

## PENGESAHAN


Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi *Gas Flow Rate* dan Arus terhadap Massa Serbuk Alumina dengan Metode *DC Thermal Plasma*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 21 Agustus 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

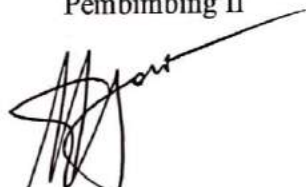
Pembimbing,

Pembimbing I



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


Pembimbing II



Mochamad Edoward R., S.T., M.T.  
NIP 198704302014041001


Penguji,

Penguji I



Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.  
NIP 196912011996021001

Penguji II



Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.  
NIP 197510062002121002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.  
NIP 196612151995032001



## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi *Gas Flow Rate* dan Arus terhadap Massa Serbuk Alumina dengan Metode *DC Thermal Plasma***; Danang Erwandy Yanuar, 151910101105; 2019; 62 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Di era berkembangnya teknologi ini, nanoteknologi berperan penting dalam pengembangan sains dan teknologi. Pada dasarnya nanoteknologi melibatkan produksi atau aplikasi bahan dimana ukuran partikelnya sekitar 10-100 nm yang biasa disebut dengan nanomaterial. Nanomaterial banyak diaplikasikan secara luas, salah satunya adalah nanomaterial Aluminium oksida atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Alumina juga mempunyai beberapa kelebihan di bandingkan dengan material yang lainnya. Seperti kekerasannya yang tinggi, ketahanan abrasi, tahan panas dan kelembaman kimia.

Proses pembuatan nanopartikel alumina dilakukan dengan menggunakan metode *DC Thermal Plasma*. Bahan yang digunakan yaitu serbuk aluminium Merck KgaA ( $M = 26,98 \text{ g/mol}$ ). Pembuatan nanopartikel alumina dilakukan dengan cara menginjeksikan material awal (prekursor) ke dalam api plasma dengan menggunakan bantuan gas pendorong, gas pendorong berfungsi sebagai pembawa serbuk. Serbuk awal yang diinjeksikan sebanyak 5 gram, proses penginjeksian dilakukan selama 15 detik. Di dalam api plasma material mengalami proses nukleasi, kondensasi, dan koagulasi sehingga terbentuk menjadi nanopartikel alumina.

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 *powder carrier gas flow rate* (7,08; 9,44 dan 11,80 l/min) dan arus (50, 60 dan 70 *ampere*).

Hasil analisis statistik membuktikan parameter *Powder carrier gas flow rate* berkontribusi sebesar 33,83% dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 terbukti berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel alumina,

sedangkan parameter arus berkontribusi sebesar 17,83% dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 terbukti berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel alumina. Hasil massa serbuk akhir yang diambil menunjukkan bahwa nilai massa serbuk akhir yang tertinggi (optimum) terdapat pada kombinasi parameter *gas flow rate* 9,44 l/min dan arus 50 A dengan rata-rata S/N rasio 11,738 dan rata-rata serbuk yang dihasilkan 3,956 gram.

## SUMMARY

**The Effect of Gas Flow Rate and Flow Variations on the Mass of Alumina Powder with the DC Thermal Plasma Method;** Danang Erwandy Yanuar, 151910101105; 2019; 62 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the era of the development of this technology, nanotechnology plays an important role in the development of science and technology. Basically, nanotechnology involves the production or application of materials where the particle size is around 10-100 nm which is commonly called nanomaterial. Nanomaterials are widely applied, one of which is nanomaterial Aluminum oxide or alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Alumina also has several advantages compared to other materials. Such as high hardness, abrasion resistance, heat resistance and chemical moisture.

The process of making alumina nanoparticles is carried out using the DC Thermal Plasma method. The material used is Merck KgaA aluminum powder ( $M = 26,98 \text{ g / mol}$ ). The making of alumina nanoparticles is done by injecting the initial material (precursor) into the plasma flame using the aid of a booster gas, the booster gas functions as a powder carrier. The initial powder is injected as much as 5 grams, the injection process is carried out for 15 seconds. In the plasma flame the material undergoes nucleation, condensation, and coagulation processes to form alumina nanoparticles.

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 powder carrier gas flow rate (7,08; 9,44 and 11,80 l/min) and currents (50, 60 and 70 amperes).

Statistical analysis proves that the parameters of the Powder carrier gas flow rate contribute 33.83% and the results of the F test with a significance level of 0.05 have been proven to have an effect on the mass of alumina nanoparticle

powder, while the current parameter contributes 17.83% and the results of the F test with a standard significance of 0,05 was proven to influence the mass of alumina nanoparticle powder. The results of the mass of the final powder taken showed that the highest final powder mass value (optimum) was found in the combination of gas flow rate parameters 9,44 l/min and a current of 50 A with an average S/N ratio of 11,738 and the average powder produced 3,956 grams.

## PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi *Gas Flow Rate* dan Arus terhadap Massa Serbuk Alumina dengan Metode *DC Thermal Plasma*” 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 Moch. Edoward R., S.T., M.T. selaku pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
2. Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Salahuddin Junus, 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, 21 Agustus 2019  
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
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Hipotesa .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Nanomaterial .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Metode Pembuatan Nanopartikel.....	6
<b>2.2 Aluminium Oksida.....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Metode Pembuatan Nanopartikel Alumina.....	8
2.2.2 Aplikasi Nanopartikel Alumina .....	11
<b>2.3 DC Thermal Plasma.....</b>	<b>12</b>
2.3.1 Sintesis nanopartikel dengan metode <i>Thermal Plasma</i> .....	16
2.3.2 Deposisi <i>Thermal Plasma</i> .....	18
2.3.3 Proses Terjadinya Plasma .....	20

2.3.4	Prinsip Kerja <i>Thermal Plasma</i> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Metode Taguchi</b> .....	<b>22</b>
2.4.1.	Tahapan dalam metode taguchi.....	23
2.4.2.	Analisa dalam metode taguchi .....	24
2.4.3.	Istilah dalam <i>metode taguchi</i> .....	24
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Metode Penelitian</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Alat dan Bahan</b> .....	<b>29</b>
3.3.1	Alat.....	29
3.3.2	Bahan .....	30
<b>3.4</b>	<b>Tahap Perencanaan Eksperimen</b> .....	<b>30</b>
3.4.1	Perumusan Masalah .....	30
3.4.2	Tujuan Eksperimen .....	30
3.4.3	Variabel Penelitian.....	31
3.4.4	Pemisahan Faktor kontrol dan Faktor Gangguan.....	31
3.4.5	Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor .....	32
3.4.6	Perhitungan Derajat Kebebasan .....	32
3.4.7	Pemilihan matriks ortogonal .....	32
3.4.8	Penempatan Kolom untuk Faktor kedalam Matriks Ortogonal .....	33
<b>3.5</b>	<b>Tahap Pelaksanaan Eksperimen</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Tahap Analisa</b> .....	<b>35</b>
<b>3.7</b>	<b>Prosedur Penelitian</b> .....	<b>38</b>
<b>3.8</b>	<b>Diagram Alir Penelitian</b> .....	<b>40</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Pembuatan Nanopartikel Alumina</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Data Hasil Percobaan</b> .....	<b>44</b>
<b>4.3</b>	<b>Perhitungan S/N rasio</b> .....	<b>45</b>
<b>4.4</b>	<b>Hasil Optimasi</b> .....	<b>48</b>
4.4.1	Pengaruh Parameter .....	51
<b>4.5</b>	<b>Analisis Varian (ANOVA)</b> .....	<b>53</b>

<b>4.6</b>	<b>Prediksi Respon Optimum .....</b>	<b>57</b>
<b>4.7</b>	<b>Hasil Pengujian SEM.....</b>	<b>58</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>60</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>63</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skala nanometer .....	5
Gambar 2. 2 Metode pembuatan nanomaterial .....	7
Gambar 2. 3 Serbuk Alumina.....	8
Gambar 2. 4 Pergerakan bola dan serbuk dalam vial.....	9
Gambar 2. 5 Bagan proses sol-gel.....	11
Gambar 2. 6 Pembuatan nanopartikel dengan <i>thermal plasma</i> .....	13
Gambar 2. 7 Skema proses sintesis menggunakan metode plasma .....	14
Gambar 2. 8 Diagram skematik dari obor termal plasma .....	15
Gambar 2. 9 Ilustrasi skematis .....	20
Gambar 2. 10 Ilustrasi fase padat, cair, dan fase gas .....	21
Gambar 2. 11 Jenis-jenis obor.....	22
Gambar 3. 1 Skema mesin <i>DC Thermal Plasma</i> .....	39
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	40
Gambar 4. 1 Serbuk aluminium sebelum diproses .....	41
Gambar 4. 2 Pengamatan serbuk aluminium menggunakan mikroskop.....	42
Gambar 4. 3 Serbuk nano alumina ( $Al_2O_3$ ).....	44
Gambar 4. 4 Plot rata-rata S/N rasio .....	49
Gambar 4. 5 <i>Plot for means</i> .....	50
Gambar 4. 6 Hasil uji SEM nano alumina .....	58
Gambar 4. 7 Ukuran hasil uji SEM nano alumina .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Matriks ortogonal standar 3 level.....	26
Tabel 2. 2 Contoh matriks ortogonal untuk $L_9(3^4)$ .....	26
Tabel 3. 1 Spesifikasi bahan.....	30
Tabel 3. 2 Faktor kontrol pada penelitian .....	31
Tabel 3. 3 Penentuan jumlah level dan nilai faktor.....	32
Tabel 3. 4 Perhitungan Derajat Kebebasan Total.....	32
Tabel 3. 5 Matriks Ortogonal $L_{27}(3^{13})$ .....	34
Tabel 3. 6 Data Percobaan .....	35
Tabel 4. 1 Hasil pengambilan data massa serbuk akhir .....	45
Tabel 4. 2 Perhitungan S/N Rasio .....	47
Tabel 4. 3 Rata-rata nilai S/N rasio untuk setiap level parameter.....	48
Tabel 4. 4 Kombinasi parameter respon optimum .....	50
Tabel 4. 5 Hasil peningkatan arus terhadap daya plasma .....	52
Tabel 4. 6 Hasil Peningkatan daya plasma terhadap panjang api plasma.....	52
Tabel 4. 7 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan S/N rasio .....	55
Tabel 4. 8 Persentase kontribusi .....	55
Tabel 4. 9 Kondisi hipotesis nol.....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

6. 1	Alat DC Thermal Plasma .....	63
6. 2	Komponen DC Thermal Plasma .....	64
6. 3	Alat dan Bahan.....	67
6. 4	Proses Pembuatan Nanopartikel Alumina.....	68
6. 5	Tabel Distribusi F Probabilitas 0,05.....	71
6. 6	Perhitungan S/N Rasio Tiap Eksperimen.....	72
6. 7	Rata-rata S/N Rasio Tiap Level Parameter .....	79
6. 8	Menghitung Jumlah Kuadrat Tiap Parameter ( <i>sum of square</i> ) .....	80
6. 9	Menghitung Kuadrat Tengah ( <i>mean of square</i> ) .....	80
6. 10	Menghitung MSResidual .....	80
6. 11	Persen Kontribusi Faktor B .....	81
6. 12	Perhitungan SSResidual .....	81
6. 13	Perhitungan F-Rasio .....	81
6. 14	Hasil XRF.....	82

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era berkembangnya teknologi ini, nanoteknologi berperan penting dalam pengembangan sains dan teknologi. Pada dasarnya nanoteknologi melibatkan produksi atau aplikasi bahan dimana ukuran partikelnya sekitar 10-100 nm yang biasa disebut dengan nanomaterial. Dibandingkan dengan material berukuran mikro, nanomaterial memiliki beberapa keuntungan, diantaranya laju reaksi yang tinggi (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006).

Nanomaterial banyak diaplikasikan secara luas, salah satunya adalah nanomaterial Aluminium oksida atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Alumina merupakan bahan rekayasa struktur yang paling efektif dan paling banyak digunakan dalam golongan keramik tingkat lanjut (A. Amirsalari dan S. Farjami Shayesteh, 2015). Alumina juga salah satu keramik oksida yang sangat berguna, seperti yang telah digunakan banyak dalam bidang rekayasa seperti halnya pelapis, bahan tahan panas, bahan pemotong dan keramik canggih (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006).

Alumina juga mempunyai beberapa kelebihan di bandingkan dengan material yang lainnya. Seperti kekerasannya yang tinggi, ketahanan abrasi, tahan panas dan kelembaman kimia, sehingga hal tersebut bisa membuatnya menjadi material yang dapat berkinerja baik di lingkungan yang agresif. Mulai dari industri pertambangan hingga penyulingan minyak bumi, manufaktur dan pengolahan logam, teknik kimia dan aplikasi medis (A. Amirsalari dan S. Farjami Shayesteh, 2015).

Ada berbagai macam metode untuk mensintesis nano-alumina. yaitu metode fisik dan metode kimia. Metode fisik yang dimaksud dalam hal ini yaitu *mechanical milling*, *laser ablation*, *flame spray* dan *thermal plasma*. Sedangkan metode kimia yang dimaksud dalam hal ini yaitu *sol-gel processing*, *solution combustion decomposition* dan *vapour deposition* (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006). Dibandingkan dengan metode lain, *DC Thermal Plasma* merupakan metode yang sangat efektif untuk sintesis material yang ada dalam fase yang berbeda. Pertama, yaitu suhu yang sangat tinggi pada *thermal plasma reactor* memudahkan disosiasi

reaktan yang disuntikkan, sehingga suhu tinggi memungkinkan material untuk membentuk fase uap. Kedua, kepadatan tinggi pada *thermal plasma* dapat menyebabkan tingkat produksi tinggi dalam *reactor* (K. Suresh *et al.*, 2008).

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya telah dibahas mengenai pembuatan nanopartikel dengan variasi laju aliran oksigen 10, 12.5 dan 15 SCFH. Arus yang digunakan sebesar 20 ampere dan waktu proses mengalirkan serbuk selama 1 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi laju aliran oksigen yang semakin meningkat mengakibatkan serbuk yang terproses oleh api plasma juga mengalami peningkatan (Dirgantara, 2016).

Pada penelitian yang berikutnya membahas mengenai proses pembuatan nanopartikel alumina dengan variasi laju aliran oksigen 2, 5, 10, 15, 20 dan 25 lpm dan arus plasma 220, 200 dan 170 *ampere*. Hasil penelitian menunjukkan laju aliran oksigen dan arus yang semakin meningkat mengakibatkan ukuran partikel semakin besar (Bora, 2011).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan tujuan untuk mengetahui parameter *powder carrier gas flow rate* dan arus yang optimum untuk menghasilkan massa serbuk nanopartikel alumina dalam jumlah yang banyak pada mesin *DC Thermal Plasma*. Dalam penelitian ini *powder carrier gas flow rate* yang digunakan untuk proses sintesis yaitu 7,08; 9,44 dan 11,80 Liter per menit (l/min), sedangkan arus plasma yang digunakan yaitu 50, 60 dan 70 *ampere* (A).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, maka permasalahan yang diteliti adalah:

1. Bagaimana pengaruh parameter *powder carrier gas flow rate* 7,08; 9,44 dan 11,80 l/min serta parameter arus 50, 60 dan 70 A terhadap jumlah massa serbuk yang dihasilkan pada proses pembuatan nanopartikel alumina?
2. Bagaimana setting parameter yang paling optimum untuk menghasilkan serbuk alumina dengan massa yang banyak pada proses pembuatan nanopartikel alumina?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dianalisa, maka pada penelitian ini batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Menggunakan metode *DC Thermal Plasma*.
2. Perhitungan optimasi menggunakan metode *taguchi*.
3. Gas pendorong prekursor berasal dari kompresor.
4. Menggunakan serbuk Aluminium ( $M = 26,98 \text{ g/mol}$ ) dengan merk Merck KgaA.
5. Menggunakan variasi *powder carrier gas flow rate* 7,08; 9,44 dan 11,80 l/min.
6. Menggunakan variasi arus 50, 60 dan 70 A.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh parameter *powder carrier gas flow rate* 7,08; 9,44 dan 11,80 l/min serta parameter arus 50, 60 dan 70 A terhadap jumlah massa serbuk yang dihasilkan pada proses pembuatan nanopartikel alumina.
2. Mengetahui setting parameter yang paling optimum untuk menghasilkan serbuk alumina dengan massa yang banyak pada proses pembuatan nanopartikel alumina.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, maka manfaat yang dapat diperoleh, yaitu:

1. Menambah pengetahuan mengenai proses pembuatan nanopartikel alumina menggunakan metode DC Thermal Plasma.
2. Dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian selanjutnya mengenai pengembangan nanoteknologi.

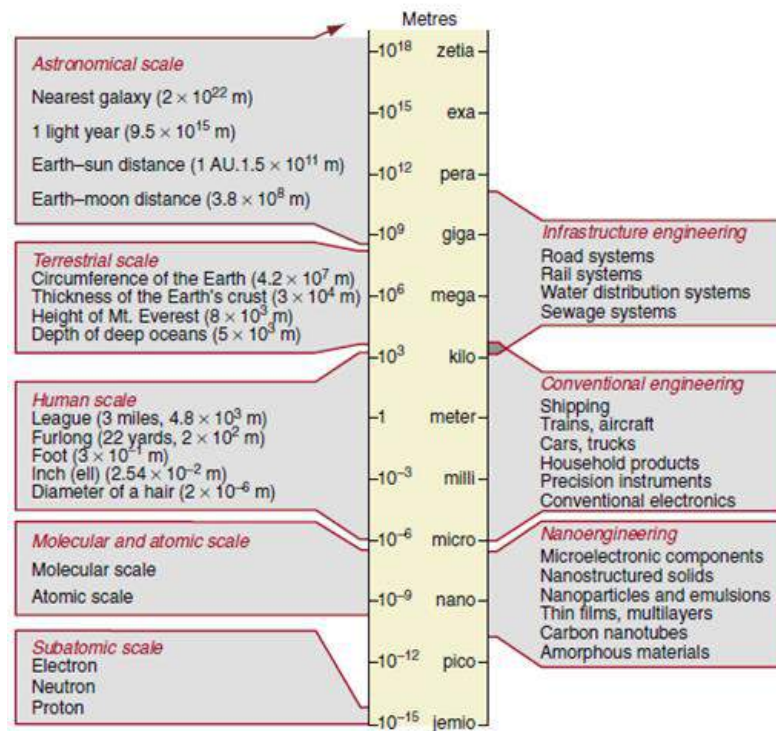
## **1.6 Hipotesa**

Semakin tinggi laju aliran gas pembawa serbuk (oksigen) mengakibatkan serbuk yang terproses api plasma mengalami peningkatan, sebaliknya apabila laju aliran semakin rendah mengakibatkan serbuk yang terproses oleh api plasma mengalami penurunan (Dirgantara, 2016). Arus berdampak pada panjang api plasma, panjang api plasma bertambah ketika arus plasma ditingkatkan. Semakin panjang api plasma mengakibatkan serbuk yang disintesis mengalami waktu tinggal lebih lama di dalam api plasma, sebaliknya apabila panjang api plasma berkurang mengakibatkan waktu tinggal yang sebentar (Shanmugavelayutham, 2006).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanomaterial

Nanomaterial adalah suatu material yang mempunyai ukuran unit nanometer (nm). Pada dasarnya ukuran unit dari material ini adalah 10-100 nm. Membandingkan material yang mempunyai ukuran partikel mikron dan berukuran nano, nano partikel mempunyai banyak sekali keuntungan. Semakin kecil ukuran partikel akan menyediakan area permukaan yang jauh lebih besar untuk terjadinya tumbukan-tumbukan antar molekul dan oleh karena itu dapat meningkatkan laju reaksi, membuatnya menjadi katalis dan reaktan yang lebih baik (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006). Berikut ini adalah gambar contoh skala nanometer.



Gambar 2. 1 Skala nanometer (Sumber : Hamimah, 2017)

Nanopartikel juga mempunyai keistimewaan sifat, dengan ukurannya yang nano ini mempunyai kemampuan penetrasi yang lebih cepat dan sifatnya yang dimiliki bisa sangat berbeda dengan sifat yang dimiliki ketika zat tersebut masih dalam ukuran lebih besar. Dalam hal ini contohnya adalah *aurum (gold)* akan



sangat toksik ketika berukuran nano, tembaga (*Cu*) mempunyai sifat yang lebih keras dan feromagnetik akan menjadi superparamagnetik ketika pada ukuran 20 nm (Yanuar dan Widawati, 2014).

Menurut hasil penelitian, material ukuran nanometer mempunyai sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dibandingkan dengan material yang mempunyai ukuran lebih besar seperti mikro. Sifat yang dimiliki tersebut dapat diubah-ubah melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan dan pengontrolan interaksi antar partikel (Yanuar dan Widawati, 2014).

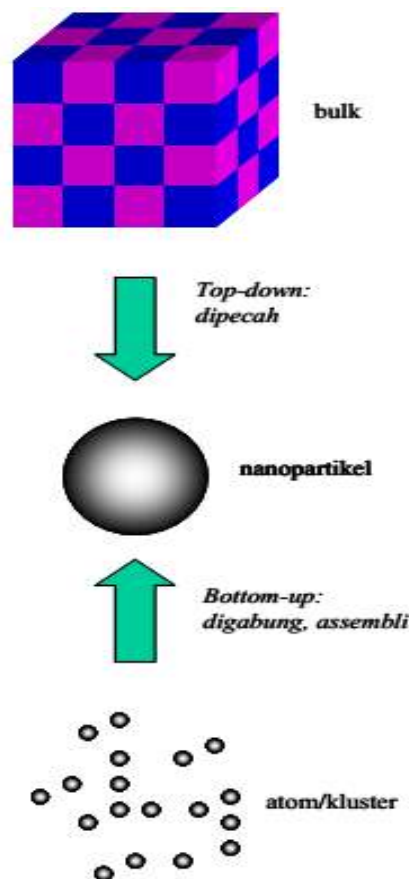
Terbentuknya nanopartikel ini dapat terjadi secara alamiah maupun dengan proses sintesis yang dilakukan oleh manusia. Proses sintesis ini mempunyai arti pembuatan partikel dengan rentang ukuran 10-100 nm dan juga sekaligus mengubah sifat atau fungsinya. Sifat-sifat yang berubah pada nanopartikel biasanya berkaitan dengan fenomena-fenomena berikut ini: pertama adalah fenomena kuantum sebagai akibat keterbatasan ruang gerak elektron dan pembawa muatan lainnya dalam partikel. Fenomena ini berdampak pada beberapa sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, transparansi, kekuatan mekanik, konduktivitas listrik, dan magnetisasi. Kedua adalah perubahan rasio jumlah atom yang menempati permukaan terhadap jumlah total atom. Fenomena ini berdampak pada perubahan titik didih, titik beku, dan reaktivitas kimia. Para peneliti juga mempercayai bahwa perubahan-perubahan tersebut dapat dikontrol (Abdullah *et al.*, 2008).

### 2.1.1 Metode Pembuatan Nanopartikel

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, ataupun gas. Proses sintesis yang dilakukan juga dapat berlangsung secara fisika maupun kimia. Proses sintesis yang berlangsung secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia. Dalam proses ini yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material yang berukuran nanometer, atau penggabungan material yang mempunyai ukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Proses sintesis secara kimia melibatkan

reaksi kimia dari sejumlah material awal (precursor) sehingga dapat dihasilkan material lain yang mempunyai ukuran nanometer (Abdullah *et al.*, 2008).

Secara garis besar nanomaterial dapat dibuat melalui dua metode, yaitu metode *top-down* dan *bottom-up*. Metode *top-down* adalah metode pembuatan material nano dengan cara memotong-motong atau menghancurkan material berukuran besar menjadi berukuran nanometer. Metode *bottom-up* merupakan teknik yang pada dasarnya mengambil prekursor dalam bentuk atom (kecil), kemudian dikumpulkan menjadi suatu bahan dalam dimensi nano (Abdullah *et al.*, 2008). Metode ini disajikan dalam gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Metode pembuatan nanomaterial (Sumber : Abdullah *et al.*, 2008)

## 2.2 Aluminium Oksida

Aluminium oksida atau alumina merupakan partikel dimana proses pembuatannya dengan cara sintesis dan karakterisasi. Pada proses ini terjadi

oksidasi akibat uap aluminium bereaksi dengan atmosfer oksigen, menghasilkan pembentukan aluminium oksida (alumina) (K. Suresh *et al.*, 2008). Alumina terbentuk dikarenakan adanya perlakuan panas, sehingga ketika bahan diproses akan mengakibatkan disosiasi. Perlakuan panas juga mengakibatkan terjadinya transisi bahan, dimana dalam setiap prosesnya dapat menghasilkan beberapa fase alumina, dari alumina awal yang dapat dikatakan tergolong metastabil hingga alumina pada fase stabil yang mempunyai banyak sekali kegunaan dalam bidang perindustrian (B. Bora *et al.*, 2011).

Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) saat ini adalah salah satu dari keramik oksida yang banyak sekali kegunaannya, seperti yang telah digunakan di banyak bidang rekayasa seperti pelapis, bahan tahan panas, bahan pemotong dan keramik cangguh. Alumina juga mempunyai sifat keras, tahan terhadap asam dan basa, memungkinkan aplikasi suhu sangat tinggi dan juga mempunyai ketahanan aus yang sangat baik pula (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006). Berikut ini adalah contoh dari gambar alumina.



Gambar 2. 3 Serbuk Alumina (Sumber : Cahyono, 2017)

### 2.2.1 Metode Pembuatan Nanopartikel Alumina

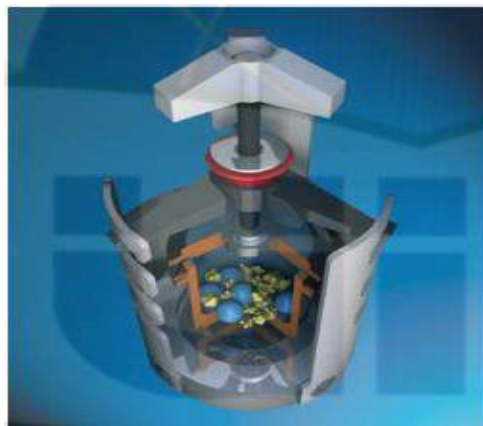
Dalam proses pembuatan nanopartikel alumina ada beberapa metode untuk mensintesis nano-alumina, yaitu metode fisik dan metode kimia. Metode fisik yang dimaksud dalam hal ini yaitu *mechanical milling*, *laser ablation*, *flame spray* dan *thermal plasma*. Sedangkan metode kimia yang dimaksud dalam hal ini yaitu

*sol-gel processing*, *solution combustion decomposition* dan *vapour deposition*. Sebagian besar bahan yang di proses dengan metode kimia menghasilkan tingkat hasil yang sangat rendah, dan dengan demikian tidak dapat disesuaikan dengan manufaktur secara massal. Pada metode fisik seperti penggilingan mekanik hasilnya tidak efisien, hal ini disebabkan karena ukuran nanopartikel sulit untuk dikendalikan dan metode ini hanya terbatas pada materi tertentu. Sedangkan untuk metode lain seperti halnya laser ablasi, deposisi uap, dan *sol-gel* sangat mahal karena metode tersebut membutuhkan peralatan khusus seperti sistem vacum, daya laser yang digunakan tinggi serta bahan kimia prekursor yang terbilang mahal (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006).

Berikut ini adalah penjelasan mengenai beberapa metode kimia dan metode fisik yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel alumina:

a. *Ball Milling*

*Ball Milling* merupakan metode mekanik (giling) yang digunakan untuk proses sintesis material nano, biasanya proses ini digunakan untuk memproduksi logam dan keramik. Mekanisme kerja alat ini berdasarkan gerakan rotasi relatif antara jar grinda dan putaran disk. Gerakan antara jar grinda dan putaran disk ini saling berlawanan arah, jar grinda ini terdiri dari mangkok (vial) dan bola-bola mill. Gaya sentrifugal dibuat dari vial yang mengelilingi sumbunya bersamaan dengan arah rotasi yang dipakai oleh serbuk dan bola-bola mill yang berada di dalam mangkok (Septiyan, 2010). Pergerakan bola dan serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



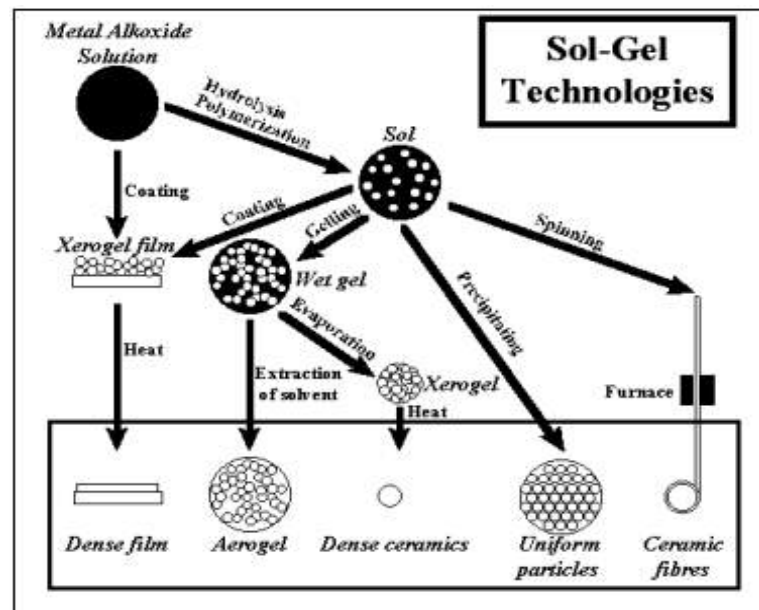
Gambar 2. 4 Pergerakan bola dan serbuk dalam vial (Sumber : Septiyan, 2010)

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat bahwasannya bola-bola milling dan campuran serbuk mengalami proses penggilingan yang disebabkan dari gaya gesek antara mangkok dengan bola-bola milling. Ketika bola-bola dan serbuk terangkat dan terlempar, bola-bola akan saling bertabrakan dan akan mempunyai energi yang lebih besar lagi untuk proses penggilingan (Septiyan, 2010).

*b. Sol-gel*

Metode sol-gel merupakan suatu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini tergolong salah satu “wet method” karena pada prosesnya menggunakan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel ini larutan akan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol). Kemudian menggunakan bahan urea yang biasanya digunakan sebagai katalis, polyvinyl alcohol atau asam sitrat. Proses sol-gel ini umumnya banyak digunakan untuk membuat keramik dan material gelas. Pada dasarnya proses sol-gel, melibatkan transisi sistem dari sebuah liquid “sol” menjadi solid “gel” (Arifani, 2012).

Metode sol-gel ini merupakan suatu metode yang mempunyai banyak tahapan, yaitu melibatkan proses fisika dan proses kimia yang terdiri dari hidrolisis, polimerisasi, pembentukan gel, kondensasi, pengeringan, dan densifikasi (Ningsih, 2016). Bagan proses sol-gel dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2. 5 Bagan proses sol-gel (Sumber : Ningsih, 2016)

Berdasarkan beberapa metode yang sudah dijelaskan di atas, ada metode yang paling efektif untuk mensintesis material, dalam hal ini metode yang dimaksud yaitu metode *thermal plasma*. Dimana pengolahan ini dapat menghasilkan fase yang berbeda. Pertama, suhu yang tinggi dalam reaktor termal plasma dapat memudahkan proses disosiasi reaktan yang diinjeksikan ke dalam reaktor, sehingga pada suhu tinggi memungkinkan bahan untuk mengalami proses penguapan. Kedua, kepadatan yang tinggi dalam *thermal plasma* dapat menyebabkan tingkat produksi yang tinggi dalam reaktor. Terakhir, pendinginan yang cepat dalam proses *thermal plasma* memungkinkan untuk produksi dengan bahan dan fase yang baru (K. Suresh *et al.*, 2008).

### 2.2.2 Aplikasi Nanopartikel Alumina

Nanopartikel alumina dapat diaplikasikan di berbagai bidang, berikut ini adalah beberapa aplikasi dari nanopartikel alumina:

#### a. *Coating* atau Pelapisan

Saat ini banyak sekali aplikasi dari nanopartikel, terutama aplikasi nanopartikel alumina. Dalam hal ini nanopartikel digunakan untuk pelapisan logam. Pelapisan dengan alumina ini dapat meningkatkan sifat mekanik ataupun

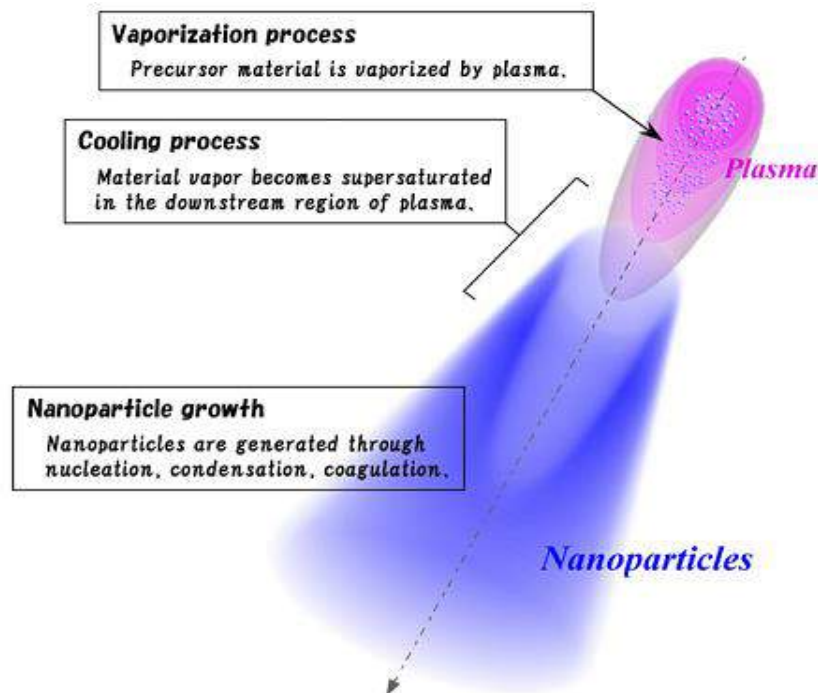
sifat kimia bahan yang dilapisi. Partikel alumina yang mempunyai ukuran nano ini mempunyai keuntungan, yaitu akan menyediakan area yang lebih besar untuk tumbukan-tumbukan molekul. Dengan kondisi pelapis yang seperti ini, penggunaan partikel alumina berukuran nano secara signifikan akan meningkatkan kualitas dan reproduktifitas lapisan ini (A.I.Y. Tok *et al.*, 2006).

b. Komposit

Nanopartikel alumina dapat diaplikasikan pada bidang komposit, yaitu pada komposit logam. Hal ini dikarenakan penggabungan nanopartikel alumina dengan logam yang dipanaskan dengan suhu tertentu sehingga menimbulkan reaksi. Dalam produk ini alumina berperan sebagai matrik pada logam dimana nanopartikel alumina ini akan berpengaruh pada sifat mekanik material dan sifat thermal material karena alumina sendiri mempunyai sifat kekerasan yang tinggi, ketahanan panas, ketahanan abrasi yang baik, serta kekuatan mekanik yang baik sehingga dapat meningkatkan kualitas (A. Amirsalari dan S. Farjami Shayesteh, 2015).

### **2.3 DC Thermal Plasma**

*Thermal Plasma*, diproduksi oleh daya yang tinggi dan api plasma yang terbentuk (pembuangan) berada pada atau dekat dengan tekanan atmosfer. *Thermal Plasma* ini telah terbukti bahwasannya menjadi alat yang efektif untuk pembuatan nanopartikel dan film berstrukturnano dan pelapisan, bahkan untuk material yang mempunyai titik leleh tinggi. Hal ini dikarenakan *Thermal Plasma* mempunyai keunggulan tertentu, yaitu tingkat produksinya yang sangat tinggi atau deposisi, yang merupakan akibat dari tingginya kepadatan *Thermal Plasma*, dan memungkinkan proses produksi satu langkah. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini (Shigetadan Murphy, 2011).



Gambar 2. 6 Pembuatan nanopartikel dengan *thermal plasma* (Sumber : Shigeta dan Murphy, 2011)

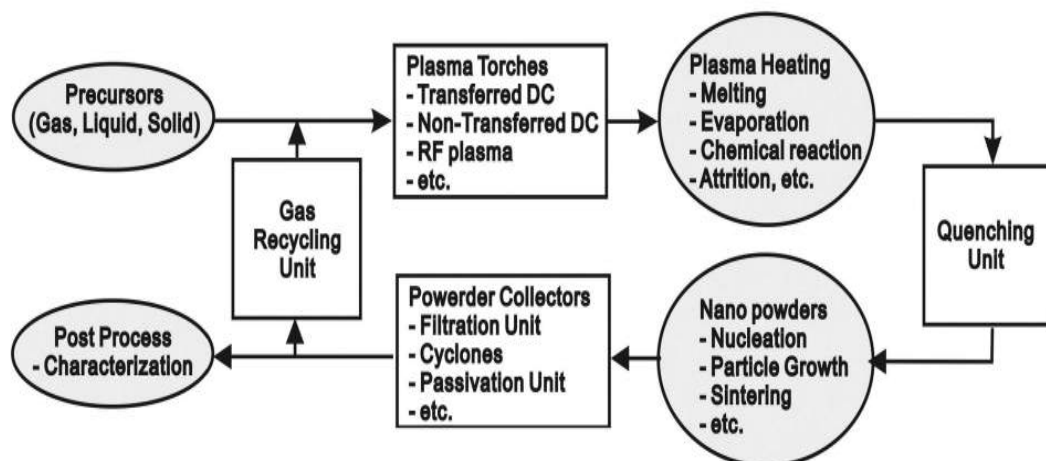
Pada *Thermal Plasma* ini material yang disintesis mempunyai ukuran awal yaitu berukuran mikro. Material tersebut diinjeksikan ke dalam api plasma dengan menggunakan bantuan gas pendorong. Ketika melewati api plasma, material akan mengalami reaksi. Prosesnya dimulai dengan penguapan bahan prekursor berdasarkan dari entalpi plasma yang tinggi, dan selanjutnya uap material akan mengalami pendinginan di dalam tabung reaktor dimana pendingin ini menggunakan air yang ada pada dinding reaktor plasma dan mengalami penurunan suhu yang sangat drastis (Wonkyung Lee *et al.*, 2012). Tingginya proses *quenching* menyebabkan uap menjadi sangat jenuh, yang menyebabkan produksi nanopartikel dengan cepat dan jumlahnya yang banyak melalui nukleasi homogen, kondensasi heterogen dan koagulasi di antara nanopartikel itu sendiri (Shigeta dan Murphy, 2011).

*Thermal Plasma* dapat dihasilkan hampir dengan semua gas atau *gasmixture*, memungkinkan reaksi-reaksi kimia yang diperlukan. Hal ini membuatnya lebih efisien untuk proses fabrikasi nanopartikel keramik serta logam dan paduan.



Nanopartikel yang disintesis dengan *Thermal Plasma* dikumpulkan oleh filter atau langsung disimpan pada substrat untuk membuat film atau pelapis berstruktur nano (Shigetadan Murphy, 2011).

*Thermal plasma*, pada umumnya dihasilkan oleh DC (*direct current*) atau RF (*Radio Frequency*), dapat dideskripsikan sebagai entalpi api yang tinggi dengan medan suhu sangat tinggi (1.000 - 20.000 K). Karena entalpi yang tinggi inilah dapat menggunakan berbagai jenis gas pembentuk plasma dan mudah dikontrol, *Thermal plasma* diharapkan tidak hanya memfasilitasi reaksi kimia yang cepat tetapi juga transfer panas yang cepat pada saat digunakan untuk mensintesis. Misalnya gas yang bersifat reaktif, seperti nitrogen dan oksigen, secara kimia bisa diaktifkan dalam terdisosiasi atau terionisasi dalam keadaan *Thermal plasma* (Seo dan Hong, 2012). Skema proses sintesis menggunakan metode plasma dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.

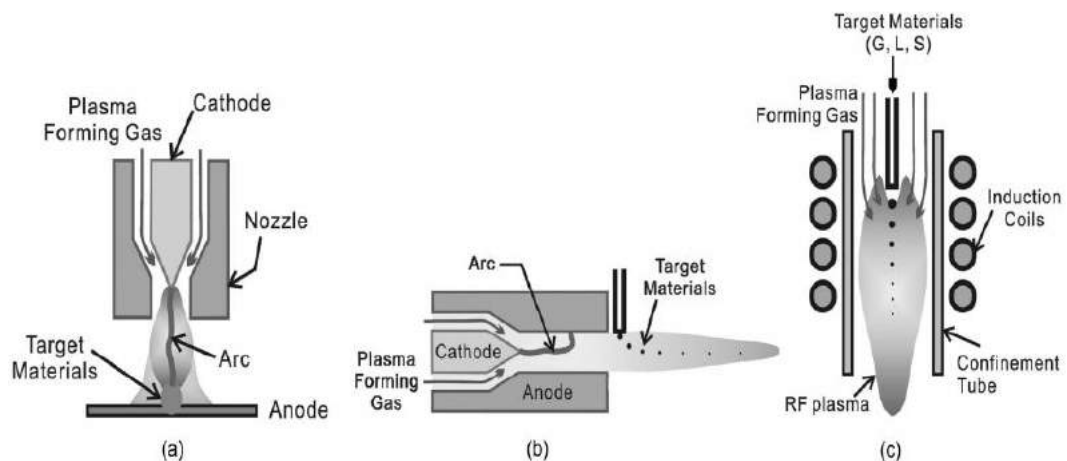


Gambar 2. 7 Skema proses sintesis menggunakan metode plasma (Sumber : Seo dan Hong, 2012)

Seperti yang sudah dibahas, *Thermal plasma* ini dapat langsung digunakan untuk pembentukan nitrida dan oksida dengan ukuran yang sangat kecil. Apalagi banyak jenis prekursor padat berukuran mikron yang dapat dipanaskan hingga titik penguapan ketika diinjeksikan ke panas api plasma. Pada kasus ini, partikel berukuran nano juga dapat disintesis dimana uapnya akan didinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, untuk sintesis bahan berukuran nano,

bagaimanapun tergantung pada obor plasma yang bervariasi. Misalnya, *non-transferred DC torches* dengan katoda panas biasanya menghasilkan panas nyala api terionisasi dengan kisaran suhu 8.000 - 16.000 K pada ujung *torches*. Kecepatan nyala api ini bisa mencapai hingga ratusan m/s atau hingga beberapa ribu m/s tergantung dari struktur obor nosel pada laju aliran gas yang diberikan. Di sisi lain, *RF plasma torches* menghasilkan api relatif besar pada kisaran suhu 5.000 - 10.000 K bergerak dengan kecepatan rendah hingga beberapa puluh m/s (Seo dan Hong, 2012).

Selain itu, tidak adanya elektroda mungkin menguntungkan untuk pembentukan reaktif *Thermal plasma*. Oleh karena itu, sistem sintesis yang sebenarnya berdasarkan obor plasma, dengan memaksimalkan jenis obor plasma itu sendiri, seperti medan aliran, ukuran api, dan struktur obor ke bahan yang akan disintesis menjadi nano (Seo dan Hong, 2012). Di antara jenis obor plasma yang digunakan dengan cara ini, ada tiga jenis obor plasma yang akan diilustrasikan pada Gambar 2.8 dibawah ini.



(a) Obor Plasma DC yang Ditransfer; (b) Obor Plasma DC yang tidak ditransfer; (c) Obor Plasma RF

Gambar 2. 8 Diagram skematik dari obor termal plasma (Sumber : Seo dan Hong, 2012)

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

Banyak hal yang menarik telah ditemukan pada partikel logam dengan ukuran nanometer. Misalnya, logam emas menunjukkan penurunan titik leleh dari 1,337 K untuk *bulk* hingga 600 K untuk partikel kecil yang memiliki diameter 2 nm. Selain itu, sifat optik emas juga berubah ketika diameter mereka berkurang <50 nm. Untuk sebagian besar jenis logam dengan ukuran <50 nm, perubahan serupa dapat terjadi karena efek ukuran. Tetapi aplikasinya masih terbatas karena biayanya yang masih mahal dan sulit untuk dilakukannya produksi massal. Sebaliknya, serbuk logam dengan ukuran relatif besar 50 - 500 nm semakin diminati berbagai industri sebagai alternatif konvensional berukuran mikron. Misalnya, bubuk Ni dengan ukuran 50 - 200 nm sangat menjanjikan sebagai bahan elektroda yang menarik dengan performa yang tinggi MLCC (Multi-Layered Kapasitor Keramik). Oleh sebab itu, ulasan ini akan difokuskan pada upaya pembuatan serbuk logam dengan menggunakan *thermal plasma* (Seo dan Hong, 2012).

*Transferred DC plasma torches* yang telah ditunjukkan pada Gambar. 2.8 (a) telah banyak digunakan sebagai sumber panas yang efektif untuk produksi serbuk logam berukuran nano. Sejak logam digunakan sebagai elektroda korban dalam jenis obor plasma ini, bahan elektrodanya menguap secara langsung. Dengan begitu, serbuk berukuran nano bisa dengan mudah diperoleh dari sebagian besar jenis logam dengan *transferred DC plasma*. Untuk alasan yang sama, tetapi kemampuan untuk menghasilkan partikel logam berukuran nano sangat bergantung pada sifat fisik dari logam yang digunakan sebagai elektroda korban (Seo dan Hong, 2012). Namun metode ini mempunyai kelemahan yaitu produksi yang tidak bisa secara kontinyu yang di akibatkan elektroda korban harus diganti secara terus menerus (Seo dan Hong, 2012).

Untuk alternatifnya yaitu menggunakan *non-transferred DC* atau RF plasma. *Non-transferred DC* atau RF plasma ini dapat digunakan untuk produksi secara kontinyu. Gambar 2.8 (b) menunjukkan penggunaan tipikal dari *non-transferred DC torch* untuk produksi serbuk logam secara terus menerus. Pada proses ini, bahan yang ditargetkan disuntikkan ke dalam api plasma sebagai

serbuk (prekursor), sementara elektroda plasma hanya digunakan untuk mempertahankan pembentukan busur plasma. Untuk pemanasan efektif prekursor, injeksi port dapat diletakkan di permukaan bagian dalam silinder anoda *nozzle*. Dengan saluran injeksi di ujung *nozzle*, yang secara konvensional digunakan untuk aplikasi pelapisan semprot plasma. Bagaimanapun, jenis obor DC sulit untuk memungkinkan sebagian besar prekursor yang diinjeksikan ke api plasma mengalami penguapan. Sebagaimana yang sudah dijelaskan, ada banyak lintasan yang jauh dari evaporasi penuh prekursor logam yang diinjeksikan. Meskipun partikel yang lebih kecil relatif mudah menguap, beberapa bagian prekursor yang disuntikkan ke dalam api plasma masih bisa direproduksi tanpa evaporasi penuh karena lintasan mereka yang tidak efektif (Seo dan Hong, 2012).

Untuk mengurangi pemanasan yang kurang efektif pada prekursor yang disuntikkan, *RF (Radio Frequency) torch* telah menarik banyak perhatian. Karena *torch* jenis ini tidak menggunakan elektroda korban untuk mempertahankan nyala api plasma, injeksi prekursor yang diletakkan secara aksial di sepanjang garis pusat dari *RF torch* diilustrasikan pada Gambar. 2.8 (c). Dengan demikian, suhu tinggi sekitar plasma RF dapat digunakan secara efektif dalam proses pemanasan prekursor apabila diinjeksikan pada garis tengah obor. Tidak adanya elektroda korban juga menguntungkan untuk sintesis bahan dengan tingkat kemurnian tinggi. Karena kelebihan ini, *RF (Radio Frequency) torch* telah digunakan secara luas untuk membuat berbagai logam berukuran nanometer (Seo dan Hong, 2012).

Dibandingkan dengan *non-transferred DC torch*, *RF (Radio Frequency) torch* mempunyai keunggulan, yaitu entalpi yang tinggi di sepanjang *centerline* dari obor plasma RF dan juga waktu tinggal prekursor yang disuntikkan secara aksial relatif lebih panjang (Seo dan Hong, 2012).

Sintesis nanopartikel yang dilakukan dengan metode *Thermal Plasma* adalah proses perpindahan panas dan massa yang rumit yang melibatkan konversi fase dalam beberapa puluh milidetik, serta interaksi antara bidang thermofluid, medan elektromagnetik yang diinduksi dan konsentrasi bidang partikel, dimana semuanya dijelaskan oleh berbagai variabel. Hal ini tidak mungkin untuk

mengukur lebih dari beberapa aspek proses, dalam banyak kasus hanya karakteristik dari produk akhirdievaluasi. Selanjutnya, dalam proses fabrikasi nanopartikel saat ini, untuk kontrol ukuran partikel dan komposisi masih empiris, yang berarti sebagian besar percobaan eksperimental diperlukan untuk mengoptimalkan proses yang dilakukan. Sebagai akibatnya, meskipun industri dan ilmiah mempunyai ketertarikan yang kuat dalam sintesis nanopartikel ini, mekanisme pertumbuhan dari nanopartikel masih kurang dipahami (Shigeta dan Murphy, 2011).

*Thermal Plasma* dapat digunakan untuk memproduksi beberapa jumlah nanopartikel melalui konversi fase yang dimulai dengan nukleasi. Meskipun pemodelan dinamika molekul bisa diterapkan, karena keterbatasan sumber daya komputasi, hal itu hanya mampu mensimulasikan pembentukan beberapa puluh inti, yang merupakan embrio. Dengan demikian, simulasi dinamika molekuler tidak dapat memperlakukan secara keseluruhan proses pertumbuhan nanopartikel dari nukleasi hingga selesai. Sebaliknya, beberapa pendekatan pemodelan berdasarkan dinamika aerosol diusulkan untuk mensimulasikan simultan dan pertumbuhan nanopartikel yang kolektif (Shigeta dan Murphy, 2011).

### 2.3.2 Deposisi *Thermal Plasma*

Ada tiga proses deposisi *thermal plasma*: *thermal plasma chemical vapour deposition (CVD)*, *plasma flash evaporation* dan *plasma spraying*. Dua yang pertama merupakan proses yang serupa, dimana plasma yang mengandung prekursor akan mengalami proses deposisi yang cepat. Ini diakibatkan karena pendinginan yang cepat. Pada plasma CVD, prekursor yang diinjeksikan berupa gas atau cairan, sementara pada *plasma flash evaporation* prekursor yang diinjeksikan berupa zat padat yang diuapkan untuk menjadi gas spesies pendahulu. Karena kedua proses hanya berbeda dalam jenis prekursor, kedua proses itu kita sebut sebagai "*thermal plasma CVD*". Perbedaan yang lebih penting apakah plasma ini mengenai langsung pada substrat, atau meluas kedalam daerah tekanan rendah sebelum berdampak pada substrat (Shigeta dan Murphy, 2011).

Proses yang ketiga yaitu *plasma spraying*, pada proses ini bergantung pada peleburan dan percepatan partikel padat yang diinjeksikan pada plasma. Partikel yang digunakan memiliki dimensi 1-100  $\mu\text{m}$ , partikel yang lebih kecil memerlukan laju aliran gas pembawa yang sangat tinggi untuk mencapai plasma, dan laju aliran gas pembawa ini dapat mengganggu nyala plasma (Shigeta dan Murphy, 2011). Berikut ini adalah penjelasan dari ketiga proses tersebut

a. *Direct thermal plasma CVD*

Proses ini mempunyai keuntungan, yaitu tekanan plasma yang lebih tinggi dan tingkat deposisi yang tinggi pula, yang merupakan akibat dari kepadatan prekursor yang tinggi dalam *thermal plasma*. Proses berlangsung pada atau mendekati tekanan atmosfer (setidaknya 0,1 bar). Dalam proses ini produksi nanopartikel, berbagai sumber plasma dapat digunakan, termasuk RF-ITP, jet plasma dc dan sistem hibrida yang menggabungkan sumber rf dan dc (Shigeta dan Murphy, 2011).

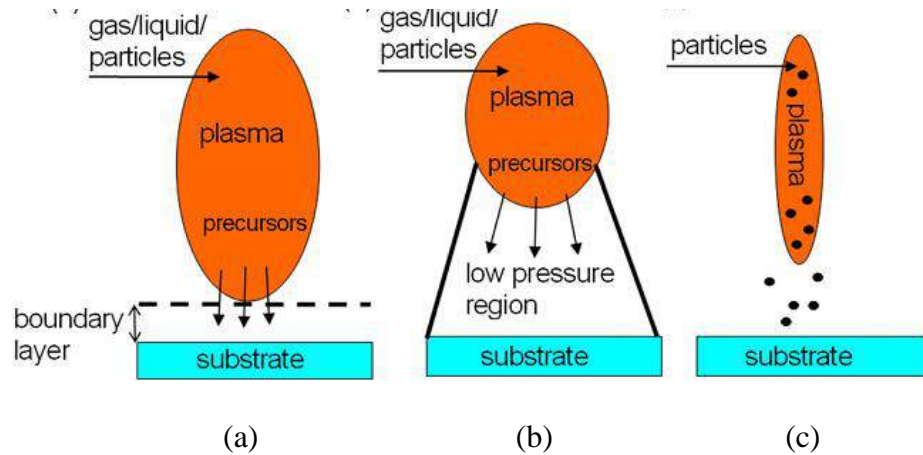
b. *Indirect thermal plasma CVD*

Dibandingkan proses *Direct thermal plasma CVD*, proses *Indirect thermal plasma CVD* tekanan plasmanya rendah dan tingkat deposisinya juga rendah. Contohnya adalah proses yang dikembangkan di Universitas Teknik Eindhoven, di mana busur DC dioperasikan dengan gas argon pada 0.5 bar menggunakan filter panas, plasma kemudian meluas ke ruang reaksi sekitar 300  $\mu\text{m}$ . Prekursor cair atau gas disuntikkan ke dalam busur atau tepat setelah nozel mengeluarkan api. Tingkat deposisi telah mencapai  $1\text{--}10 \text{ nm s}^{-1}$ . Beberapa hasil yang luar biasa telah diperoleh untuk deposisi bahan yang dibutuhkan untuk sel surya (Shigeta dan Murphy, 2011).

c. *Plasma spraying*

Dalam larutan penyemprotan plasma, bentuknya padat, dan dengan demikian tergantung secara kritis pada distribusi konsentrasi prekursor. Jika konsentrasinya seragam, partikel padat dibentuk oleh presipitasi volume

(Shigetadan Murphy, 2011). Gambar skema *Direct thermal plasma CVD*, *Indirect thermal plasma CVD*, *Plasma spraying* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut ini.



(a) CVD Termal plasma langsung; (b) CVD Termal plasma tidak langsung; (c) Penyemprotan plasma

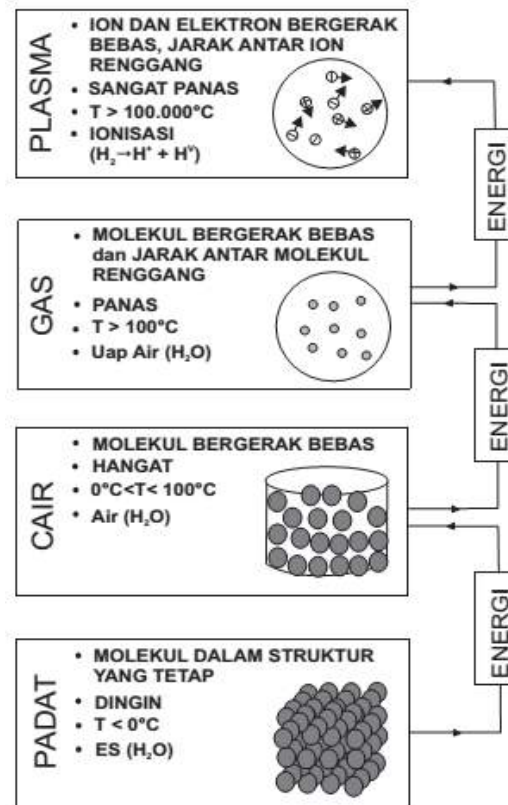
Gambar 2. 9 Ilustrasi skematis (Sumber : Shigeta dan Murphy, 2011)

### 2.3.3 Proses Terjadinya Plasma

Plasma merupakan suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan mengalami perubahan wujud dari padat ke cair, dan apabila diberikan kalor yang berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika Uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah wujud menjadi plasma. Jika air ditambah sejumlah energi kalor maka air tersebut akan menguap dan terurai menjadi dua gas yakni oksigen dan hidrogen. Dengan ditamhkannya sejumlah energi lagi pada fase uap air tersebut, akan didapatkan sejenis karakteristik fase yang mudah terpengaruh terhadap temperatur dan elektrisitas (Akhmad, 2009).

Proses ini disebut proses Ionisasi, yaitu terjadinya ion dan elektron bebas melalui atom gas. Jika Keadaan ini terjadi maka fase zat tersebut telah berubah menjadi Plasma, plasma ini lah yang dimanfaatkan untuk proses sintesis nanopartikel. plasma memiliki efek konduktifitas yang sangat tinggi terhadap listrik karena banyak elektron bebas yang tersebar dan mempunyai potensi untuk menyerap arus listrik. Fenomena alam (fenomena terjadinya petir atau halilintar)

yang mengaplikasikan secara langsung pemanfaatan fase plasma ini dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah ini (Akhmad, 2009).



Gambar 2. 10 Ilustrasi fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas (Sumber : Nur, 2011)

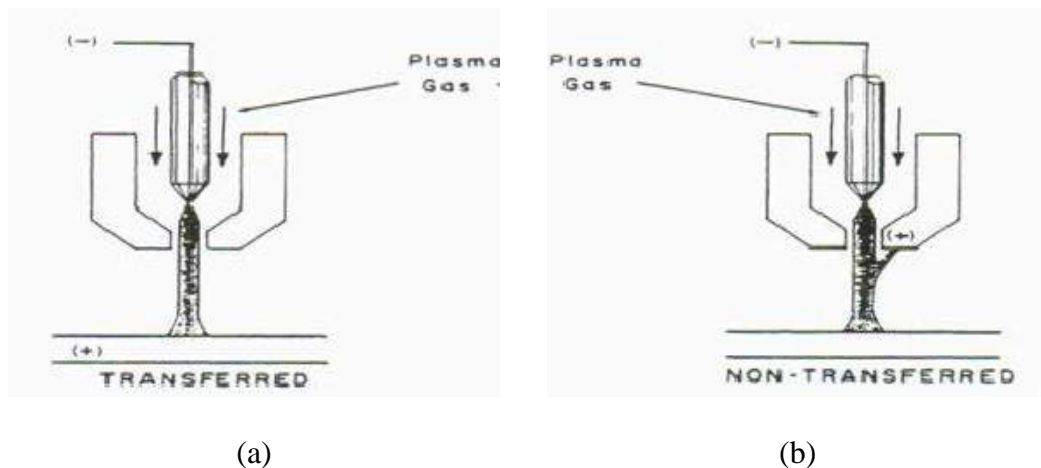
#### 2.3.4 Prinsip Kerja *Thermal Plasma*

Proses Plasma diawali dengan terbentuknya busur listrik di antara elektroda dan katoda dari hasil reaksi ionisasi listrik terhadap gas plasma yang sangat konduktif. Gas dipanaskan oleh busur listrik hingga suhunya meningkat, kemudian gas akan terionisasi dan menjadi penghantar listrik. Gas dalam kondisi ini disebut plasma. Kemudian Plasma ini dialirkan melalui nozel dan digunakan untuk mensintesis nanopartikel. Akibat konsentrasi energi dan suhu yang tinggi dari plasma, maka partikel yang terkena plasma akan menguap. Ketika aliran gas meninggalkan nozel, gas berkembang cepat membawa serta partikel yang diolah, sehingga proses sintesis ini akan berjalan terus. Suhu plasma bisa mencapai



33.000°C, kira-kira 10 kali suhu yang dihasilkan oleh reaksi oksigen dan asetelin (Akhmad, 2009).

Dalam proses sintesis nanopartikel menggunakan *DC arc plasma*, terdapat dua jenis torch yang digunakan yaitu *transferred arc torch* dan *non-transferred arc torch*. Pada jenis plasma *non-transferred* busur plasma dihasilkan oleh reaksi anoda (-) dan katoda (+) dan reaksi kimia yang terjadi di hilir. *DC arc plasma* dengan jenis *transferred arc* dihasilkan oleh reaksi anoda (-) dan katoda (+) tetapi anoda dan katoda ini letaknya terpisah. Torch merupakan wadah tempat terjadinya ionisasi gas primer oleh elektroda kemudian di alirkan melaui nozle (Akhmad, 2009). Gambar jenis-jenis torch dapat dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini.



(a) Obor busur yang ditransfer; (b) Obor busur yang tidak ditransfer

Gambar 2. 11 Jenis-jenis obor (Sumber : Akhmad, 2009)

## 2.4 Metode Taguchi

Metode taguchi diusulkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” atau tangguh terhadap faktor seperti misalnya material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode ini menjadikan produk atau proses

bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), oleh karena itu metode ini bisa disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*) (Soejanto, 2009).

#### 2.4.1. Tahapan dalam metode taguchi

Metode analisis taguchi ini merupakan penerapan konsep desain kokoh (*robust design*) yang dibagi atas beberapa tahapan, yaitu:

##### a. Perumusan masalah

Pada tahap berikut ini, perancangan yang dilakukan berdasarkan tujuan dari optimasi proses yang ingin diteliti dan menetapkan karakteristik respon yang akan di analisis. Berikut ini merupakan tahapan prosesnya:

- 1) Menentukan karakteristik dari respon yang diukur.
- 2) Mendaftarkan pasangan parameter kendali (*control factor*). Parameter kendali merupakan parameter yang berpotensi untuk mempengaruhi karakteristik.
- 3) Menentukan jumlah *setting* tiap parameter kendali. Umumnya istilah yang dipakai yaitu *level*, *level* sendiri merupakan nilai dari parameter kendali.
- 4) Perencanaan percobaan

Pada tahap berikut ini yang dilakukan adalah menentukan jenis *metode taguchi*. Jenis *metode taguchi* dapat diketahui berdasarkan jumlah dari parameter kendali dan jumlah *level*. Jenis *metode taguchi* akan menentukan mat *ortoghonal array* yang digunakan pada percobaan.

##### b. Melaksanakan percobaan dan pengumpulan data

Proses percobaan dilakukan untuk memperoleh data respon sebanyak jumlah baris pada *ortoghonal array* yang telah dipilih untuk penelitian. Kemudian data respon yang sudah diperoleh ditransformasikan kedalam nilai *S/N ratios* (*Signal to Noise Rattio*).

c. Analisa hasil percobaan

Data percobaan yang sudah diperoleh selanjutnya akan dilakukan analisa. Analisa dilakukan supaya dapat diketahui pengaruh relatif dari macam-macam parameter kendali. Proses analisis pada *metode taguchi* ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Analisa rata-rata (*analysis of Mean / ANOM*)
- 2) Analisa varian (*analysis of Variant / ANOVA*)

#### 2.4.2. Analisa dalam metode taguchi

Dalam *metode taguchi* terdapat 2 macam analisis yang dilakukan dengan tujuan yang berbeda-beda. Berikut adalah macam analisisnya:

a. ANOM (*analysis of Mean*)

ANOM merupakan analisa rata-rata, analisa ini digunakan untuk mencari kombinasi parameter kendali untuk mendapatkan hasil yang optimum sesuai dengan yang diinginkan. Analisa ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai rata-rata *S/N ratio* parameter kendali dan *level* dengan menggunakan grafik. Berdasarkan perbandingan tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali yang berpengaruh terhadap respon atau tidak.

b. ANOVA (*analysis of Variant*)

ANOVA merupakan analisis varian, analisa ini digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu respon. Besarnya kecilnya dari pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan nilai *Sum of Square* dari parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali pada percobaan.

#### 2.4.3. Istilah dalam *metode taguchi*

Ada beberapa istilah yang sering dijumpai dan memegang peranan penting dalam *metode taguchi*, yaitu:

a. Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan pada tiap *level* faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan maksimum atau minimum agar dapat diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan *level* yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini akan memberikan informasi tentang faktor dan *level* yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Untuk melakukan percobaan ini, efisiensi dan biaya yang dikeluarkan harus benar-benar dipertimbangkan. Oleh karena digunakanlah *Orthogonal array* sesuai dengan standart. *Orthogonal array* ini dapat memberikan informasi yang cukup untuk melakukan percobaan secara menyeluruh dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan *Orthogonal array*, maka terlebih dahulu harus menghitung derajat kebebasan. Berikut ini adalah perhitungan untuk derajat kebebasan:

$$\text{Total } V_{fl} = (\text{Banyaknya faktor}) \cdot (\text{Banyaknya level} - 1) \quad (2.1)$$

b. Matriks ortogonal

Dalam memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari matriks ortogonal adalah:

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

Dimana:

- L = rancangan bujur sangkar latin
- a = banyak baris/eksperimen
- b = banyak level
- c = banyak kolom/faktor

Memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai dengan eksperimen adalah derajat kebebasan pada matriks ortogonal standar harus lebih besara atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen. Pemilihan jenis

matriks ortogonal 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 ortogonal standar dengan 3 level yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Matriks ortogonal standar 3 level (Sumber : Soejanto, 2009)

Matriks ortogonal standar 3 level					
L9(3 <sup>4</sup> )	L27(3 <sup>13</sup> )	L81(3 <sup>40</sup> )	-	-	-

Matriks ortogonal mempunyai beberapa manfaat, diantaranya:

- a) Kesimpulan yang diambil dapat menjangkau ruang lingkup parameter kendali dan masing-masing levelnya secara keseluruhan.
- b) Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena menggunakan prinsip *fractional factorial*. Artinya tidak semua kombinasi level harus dilakukan percobaan, melainkan hanya beberapa saja.
- c) Kemudahan dalam analisis data.

Berikut ini merupakan contoh matriks ortogonal untuk L9(3<sup>4</sup>) standar dengan 3 level yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Contoh matriks ortogonal untuk L9(3<sup>4</sup>) (Sumber : Soejanto, 2009)

Eksperimen	L9(3 <sup>4</sup> )			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

c. Interaksi Antara Faktor

Interaksi antara faktor ini berarti efek satu faktor pada respon tergantung pada level dari faktor lain. Terdapatnya interaksi ini mengakibatkan sistem mejadi tidak *robust*, karena sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan satu faktor.

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

Pada metode *taguchi* ini *S/N Ratio* digunakan untuk mengetahui *level* dari faktor yang optimum. Pada dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai keadaan yang optimum apabila dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio* ini.

*S/N Ratio* merupakan suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Nilai *S/N Ratio* diperoleh berdasarkan nilai respon hasil percobaan pada kombinasi *level* parameter kendali. Pada masing-masing kombinasi percobaan memiliki nilai respon sendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah parameter yang diteliti memberikan pengaruh yang signifikan pada proses percobaan sehingga dapat disebut sebagai sebuah *signal* atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil, sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja.

Apabila target yang didapatkan adalah untuk meningkatkan respon, maka yang harus dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai *S/N Ratio* dari setiap *level*nya memiliki nilai terbesar. *S/N Ratio* dapat dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1) Semakin kecil, semakin baik (*Smaller the Better*)

Memiliki karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negatif. Dimana nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan). Sehingga *signal to noise ratio* dapat dihitung dengan rumus:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2\right) \quad (2.3)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan dari suatu trial

2) Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal the Better*)

Memiliki karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas. Atau dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang di tentukan adalah yang terbaik. Sehingga dapat dihitung dengan rumus:

$$S/N = -10\log V_e$$

$$S/N = -10\log\left(\frac{V_m - V_e}{nV_e}\right) \quad (2.4)$$

3) Semakin besar, semakin baik (*Larger the Better*)

Memiliki karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif. Dimana nilai semakin besar adalah semakin di inginkan. Sehingga dapat dihitung dengan rumus (Soejanto, 2009):

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (2.5)$$

Dimana:

$Y_i$  = nilai massa serbuk alumina hasil pengamatan

$n$  = jumlah replikasi (pengulangan)

e. *Sum of Square*

*Sum of Square* adalah jumlah variasi nilai *S/N Ratio* dari setiap level pada masing masing parameter kendali. Besarnya *Sum of Square* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \quad (2.6)$$

Dimana :

$n$  = jumlah level dari setiap *control factor*

$R_i$  = nilai *S/N Ratio* pada level ke- $n$

$R$  = nilai rata-rata *S/N ratio* dari ke-3 level pada sebuah *control factor*

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode eksperimental. metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi *powder carrier gas flow rate* serta parameter arus terhadap jumlah massa serbuk yang dihasilkan pada proses pembuatan nanopartikel alumina. Eksperimen ini juga dilakukan untuk mencari parameter *powder carrier gas flow rate* dan arus plasma yang paling optimum untuk menghasilkan serbuk dengan massa yang banyak pada proses pembuatan nanopartikel alumina.

Untuk mengetahui hasil yang optimum, pada penelitian ini dilakukan analisa data pengambilan sampel dengan menggunakan metode *taguchi*.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pada penelitian ini proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan bulan Juli 2018 sampai bulan Juni 2019.

### **3.3 Alat dan Bahan**

#### **3.3.1 Alat**

Berikut ini merupakan spesifikasi dari alat *DC Thermal Plasma*:

1. *DC Inverter Plasma Cutting Rhino Cut-70*.
2. Tabung reaktor *Thermal Plasma*.
3. Radiator.
4. Pompa radiator untuk sirkulasi air pendingin.
5. *Air Regulator*.
6. Kompresor.
7. *Vacuum Pump*.
8. Filter nanopartikel.
9. Wadah sampel.
10. Wadah injeksi material.



11. *Pressure gauge*.
12. *Flow meter*.
13. Timbangan digital.

### 3.3.2 Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu serbuk Aluminium ( $M = 26.98 \text{ g/mol}$ ) dengan merk Merck KgaA buatan Jerman. Spesifikasi dari bahan bisa dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Spesifikasi bahan

Unsur	Prosentase (%)
Assay (complexometric)	$\geq 90.0$
Heavy metals (as Pb)	$\leq 0.03$
As (Arsenic)	$\leq 0.0005$
Fe (Iron)	$\leq 1.0$

## 3.4 Tahap 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, dan pemilihan matriks ortogonal.

### 3.4.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka pokok permasalahannya dapat dirumuskan sebagai berikut: “pengaruh faktor *powder carrier gas flow rate* dan arus terhadap massa serbuk alumina”.

### 3.4.2 Tujuan Eksperimen

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Mengidentifikasi pengaruh faktor *powder carrier gas flow rate* dan arus terhadap massa serbuk alumina yang dihasilkan.
- b. Menentukan faktor dan level *powder carrier gas flow rate* serta arus yang paling optimum terhadap massa serbuk alumina yang dihasilkan.

### 3.4.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel tak bebas.

#### a. Variabel tak Bebas

Pada penelitian ini variabel tak bebas yang digunakan yaitu waktu pembakaran serbuk selama 15 detik dan waktu hisap *Vacuum Pump* selama 3 menit.

#### b. Variabel bebas

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti sendiri. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi *powder carrier gas flow rate* 7,08; 9,44; 11,80 l/min dan arus 50, 60, 70 A.

### 3.4.4 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 3.2 dibawah ini.

Tabel 3. 2 Faktor kontrol pada penelitian

No.	Faktor Kontrol
1.	<i>Powder carrier gas flow rate</i>
2.	Arus

### 3.4.5 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 3.3 dibawah ini.

Tabel 3. 3 Penentuan jumlah level dan nilai faktor

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Gas flow rate</i>	7,08 l/min	9,44 l/min	11,80 l/min
B	Arus	50 A	60 A	70 A

### 3.4.6 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:

- Faktor A adalah *Gas flow rate* = 3 level
- Faktor B adalah Arus = 3 level

Dengan adanya faktor (A, B) maka derajat kebebasan total yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3. 4 Perhitungan Derajat Kebebasan Total

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

### 3.4.7 Pemilihan matriks 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  $L_{27}(3^{13})$  karena derajat kebebasannya mencukupi.

#### 3.4.8 Penempatan Kolom untuk Faktor kedalam Matriks Ortogonal

Pada penelitian ini sudah dipilih matriks ortogonal yang digunakan untuk pengambilan data, yaitu  $L_{27}(3^{13})$ . Matriks ortogonal  $L_{27}(3^{13})$  dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3. 5 Matriks Ortogonal  $L_{27}(3^{13})$  (Sumber : Soejanto, 2009)

Matriks Ortogonal $L_{27}(3^{13})$		
Eksperimen	Faktor	
	A	B
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	2
5	1	2
6	1	2
7	1	3
8	1	3
9	1	3
10	2	1
11	2	1
12	2	1
13	2	2
14	2	2
15	2	2
16	2	3
17	2	3
18	2	3
19	3	1
20	3	1
21	3	1
22	3	2
23	3	2
24	3	2
25	3	3
26	3	3
27	3	3

### 3.5 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Setelah melakukan pemilihan matriks ortogonal dan penempatan faktor ke dalam matrik dilakukan, berikutnya adalah melakukan percobaan berdasarkan matrik tersebut. Hasil percobaan ini diperoleh dengan cara menimbang massa serbuk alumina yang dihasilkan dimana sebelumnya dibuat sesuai dengan matriks kombinasi level faktor. Tabel data percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3. 6 Data Percobaan

Eks.	Faktor		Serbuk Awal (g)	Serbuk Akhir (g)
	<i>Gas flow rate</i> (l/min)	Arus (A)		
1	7,08	50	5	
2	7,08	50	5	
3	7,08	50	5	
4	7,08	60	5	
5	7,08	60	5	
6	7,08	60	5	
7	7,08	70	5	
8	7,08	70	5	
9	7,08	70	5	
10	9,44	50	5	
11	9,44	50	5	
12	9,44	50	5	
13	9,44	60	5	
14	9,44	60	5	
15	9,44	60	5	
16	9,44	70	5	
17	9,44	70	5	
18	9,44	70	5	
19	11,80	50	5	
20	11,80	50	5	
21	11,80	50	5	
22	11,80	60	5	
23	11,80	60	5	
24	11,80	60	5	
25	11,80	70	5	
26	11,80	70	5	
27	11,80	70	5	

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

### 3.6 Tahap Analisa

Pada proses analisa dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen yang dipilih.

Selain itu dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan statistik seperti analisis varian, test hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil eksperimen.

Untuk mengetahui faktor-faktor apa sajakah yang signifikan berpengaruh terhadap massa serbuk alumina yang dihasilkan diperlukan analisa dan pengolahan data eksperimen dengan menggunakan perhitungan nilai mean dan ditransformasikan ke bentuk rasio S/N dalam tabel analisis varians. 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 Hipotesa

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

Uji hipotesa 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 :

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

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.

Hipotesa 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.

c. Persen Kontribusi

Ketika Analisis varians telah digunakan pada seperangkat data dan jumlah kuadrat telah dihitung, maka data ini dapat digunakan untuk membagi jumlah kuadrat dengan faktor-faktor yang relevan. Dengan membandingkan nilai ini terhadap jumlah kuadrat total menghasilkan persen kontribusi dari masing-masing faktor.

$$SA' = SA - vA \cdot Ve \quad (3.2)$$

Dimana:

$SA$  = jumlah kuadrat deviasi dari target

$SA'$  = jumlah kuadrat sesungguhnya dari faktor A

$vA$  = derajat kebebasan A

$Ve$  = varian ( $\sigma^2$ )

Bagian dari jumlah kuadrat  $vA \cdot Ve$  harus di tambahkan pada jumlah kuadrat karena *error* untuk meyakinkan bahwa jumlah kuadrat total sudah diperhitungkan

$\rho$  (rho) dapat ditentukan sebagai persentase dari jumlah kuadrat suatu sumber yang sesungguhnya terhadap jumlah kuadrat total, St:

$$\rho_A = \frac{SA'}{St} \times 100\% \quad (3.3)$$

Bagian dari *error* yang berasal dari jumlah kuadrat deviasi untuk suatu sumber harus ditambahkan pada jumlah kuadrat untuk menghemat jumlah kuadrat total St. Dengan demikian persen kontribusi dari semua sumber (termasuk *error*) harus berjumlah 100%.



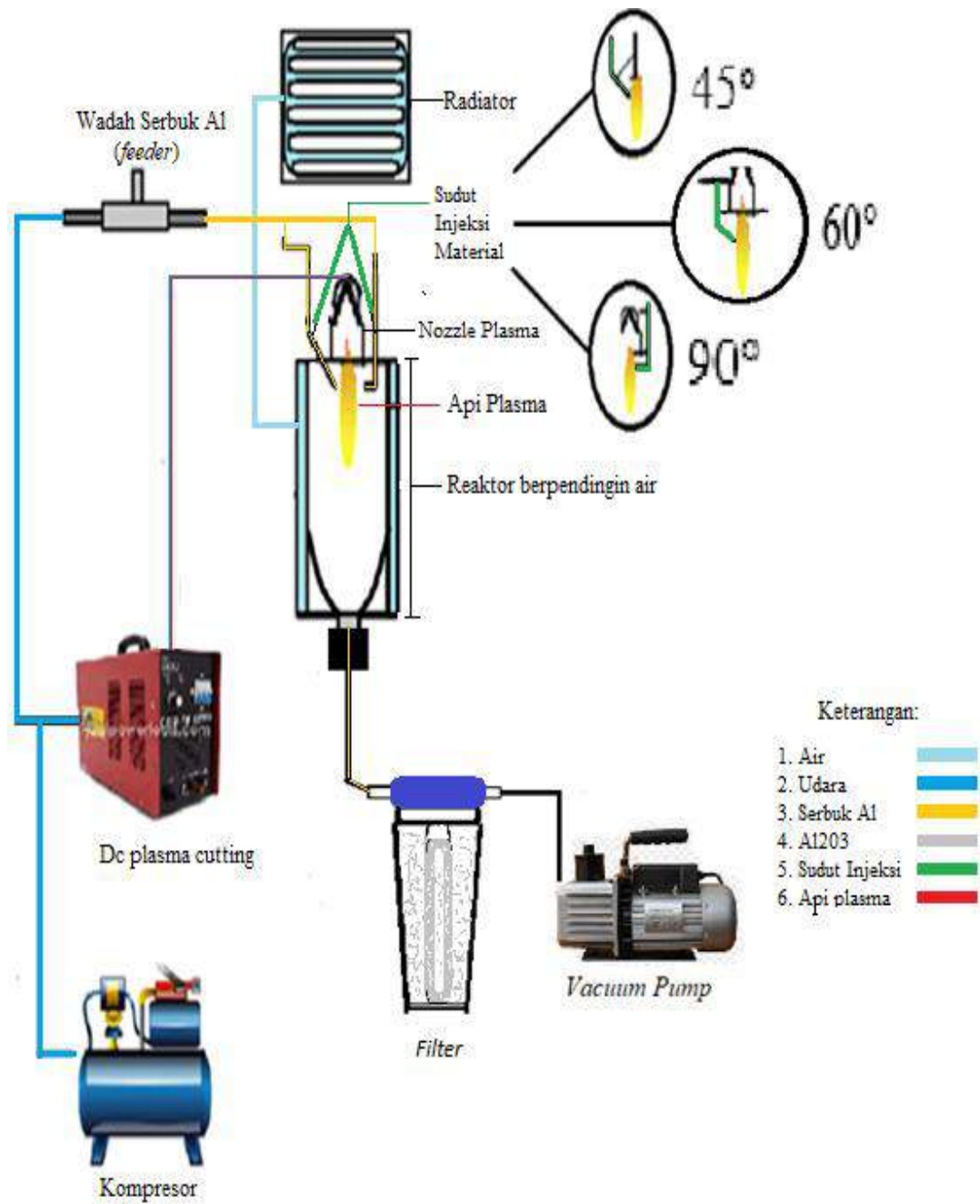
d. Prediksi Rasio S/N dan *Mean* Yang Optimal

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

$$\eta_{\text{Optimum}} = \eta + (\text{nilai faktor} - \eta) \quad (3.4)$$

### 3.7 Prosedur Penelitian

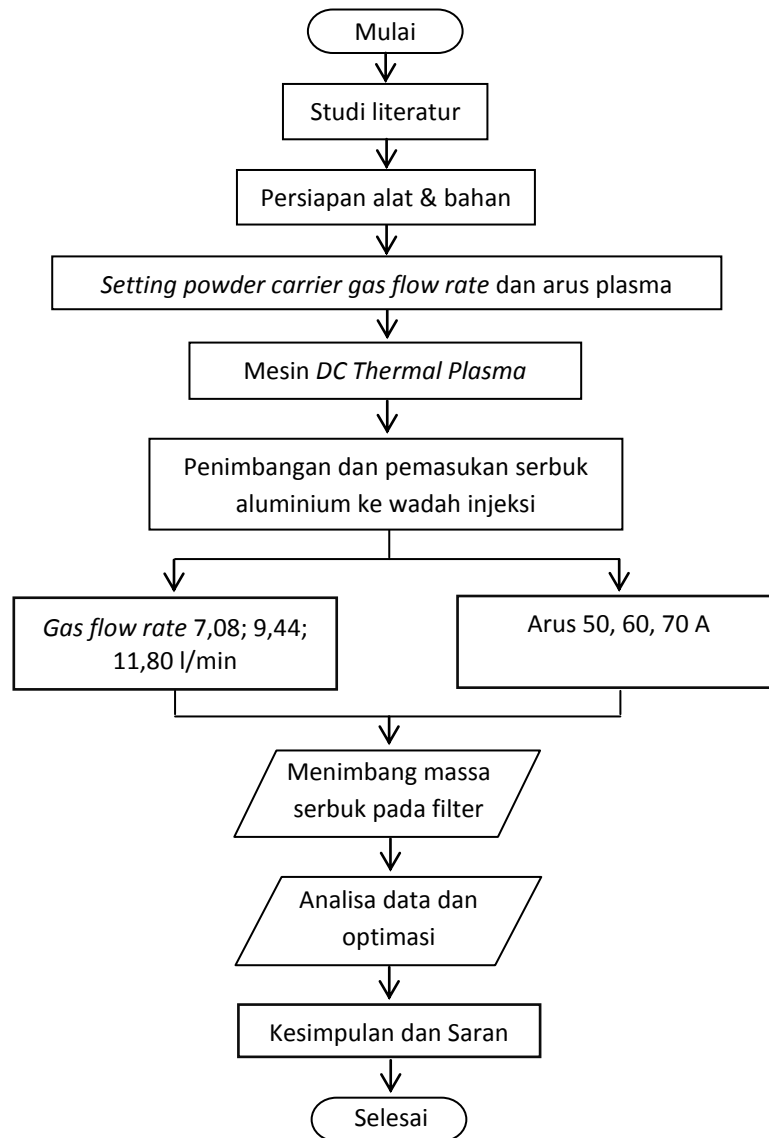
Langkah pertama dalam proses pembuatan nanopartikel alumina yaitu menyiapkan alat dan bahan. Setelah selesai menyiapkan alat dan bahan maka proses selanjutnya yaitu memasang elektroda pada *torch* mesin *DC Thermal Plasma*, *torch* ini akan mengeluarkan api plasma yang nantinya akan digunakan untuk membakar bahan (prekursor) berupa serbuk. Setelah itu langkah berikutnya yaitu mengecek saluran injeksi material atau bahan, sistem saluran ini berfungsi sebagai pembawa serbuk (injektor) ke api plasma. Langkah yang berikutnya yaitu mengecek sistem pendingin pada reaktor plasma, sistem pendingin ini berfungsi sebagai pendingin ketika di dalam reaktor terjadi proses pembakaran sehingga reaktor tidak mengalami panas yang berlebihan. Langkah yang berikutnya yaitu mengecek sistem vakum material dimana sistem vakum ini memiliki filter yang berfungsi sebagai penampung serbuk yang telah terproses, sistem vakum ini berfungsi sebagai penyedot material alumina yang sudah terbentuk di dalam tabung reaktor. Langkah berikutnya yaitu mengatur *powder carrier gas flow rate* pada variasi 7,08; 9,44 dan 11,80 l/min dan arus mesin *DC Thermal Plasma* pada variasi 50, 60 dan 70 A, pada masing-masing variasi *powder carrier gas flow rate* dan arus plasma ini digunakan untuk memproses atau membakar serbuk, dalam waktu ini juga di ikuti dengan menghidupkan mesin *vacuum pump*. Langkah yang berikutnya yaitu mengambil serbuk yang sudah tertampung pada filter kemudian menaruhnya dalam wadah *sample*. Skema lebih jelas dari alat *DC Thermal Plasma* dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Skema mesin DC Thermal Plasma

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini proses penelitian akan disajikan dalam bentuk *flowchart* pada gambar pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 2 *Flowchart* Penelitian

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi *Gas Flow Rate* dan Arus Terhadap Massa Serbuk Alumina Dengan Metode *DC Thermal Plasma*” ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Analisis statistik membuktikan parameter *powder carrier gas flow rate* berkontribusi sebesar 33,83% dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 terbukti berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel alumina, sedangkan parameter arus berkontribusi sebesar 17,83% dan hasil uji F dengan taraf signifikansi 0,05 terbukti berpengaruh terhadap jumlah massa serbuk nanopartikel alumina.
- b. Hasil massa serbuk akhir yang diambil 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 dengan rata-rata S/N rasio 11,738 dan rata-rata serbuk yang dihasilkan 3,956 gram.

### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini hanya dilakukan pembahasan dari pengaruh faktor laju aliran gas pembawa serbuk dan arus pada proses pembuatan nanopartikel alumina. Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya faktor yang lain juga diteliti supaya dapat diketahui pengaruh faktornya. Faktor yang dimaksud yaitu tekanan reaktor plasma.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Y. Virgus, Nirmin, dan Khairurrijal. 2008. Sintesis nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. 1(2): 2-25.
- Akhmad, A. A. 2009. Pemesinan nonkonvensional plasma arc cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 9(2): 1-6.
- Amirsalari, A., S. F. Shayesteh. 2015. Effect of pH and calcination temperature on structural and optical properties of alumina nanoparticles. *Superlattices and Microstructures*. 82: 507-524.
- Ardiansyah, A., dan S. Wahyuni. 2015. Sintesis nanosilika dengan metode sol-gel dan uji hidrofobitasnya pada cat akrilik. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 4(3): 1-4.
- Arifani, M., M. A. Baqiya, dan Darminto. 2012. Sintesis multiferroik BiFeO<sub>3</sub> berbasis pasir besi dengan metode sol gel. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1: 1-4.
- Bora, B., N. Aomoa, R. K. Bordoloi, D. N. Srivastava, H. Bhuyan, A. K. Das, dan M. Kakati. 2011. Free-flowing, transparent g-alumina nanoparticles synthesized by a supersonic thermal plasma expansion process. *Current Applied Physics*. 12: 880-884.
- Cahyono, A. B., 2017. Pengaruh Parameter Proses Pembuatan Nanopartikel Alumina dengan Menggunakan Metode DC Thermal Plasma. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember.
- Hamimah, N. N., 2017. Pengaruh Elektroda Tembaga pada DC Thermal Plasma dan Variasi Waktu Proses Terhadap Laju Produksi Alumina. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember.
- Mohsenian, S., M. S. Esmaili, B. Shokri, dan M. Ghorbanalilu. 2015. Physical characteristics of twin DC thermal plasma torch applied to polymer waste treatment. *Journal of Electrostatics*. 76: 231-237.
- Ningsih, S. K. W. 2016. *Sintesis Anorganik*. Padang: UNP Press Padang.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang.
- Rahmat, S., dan A. Irawan. 2010. Analisa Kerugian Head Akibat Perluasan dan Penyempitan Penampang Pada Sambungan 90°. *Tugas Akhir*. Makassar: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- Seo, J. H., dan B. G. Hong. 2012. Thermal plasma synthesis of nano-sized powders. *Nuclear Engineering and Technology*. 44(1): 1-9.
- Septiyan, I., 2010. Pengaruh Milling Terhadap Peningkatan Kualitas Pasir Besi Sebagai Bahan Baku Industri Logam. *Skripsi*. Jakarta: Progra Studi Fisika Fakultas Sain Dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Shanmugavelayutham, G., V. Salvarajan, P. V. A. Padmanabhan, K. P. Sreekumar, dan N. K. Joshi. 2006. Effect of powder loading on the excitation temperature of a plasma jet in DC thermal plasma spray torch. *Current Applied Physics*. 7: 186-192.
- Shigeta, M., dan A. B. Murphy. 2011. Thermal plasma for nanofabrication. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 44: 2-14.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen Metode Taguchi*. Edisi Pertama. Surabaya: Graha Ilmu.
- Suresh, K., V. Selvarajan, dan M. Vijay. 2007. Synthesis of nanophase alumina, and spheroidization of alumina particles, and phase transition studies through DC thermal plasma processing. *Vacuum*. 82: 814-820.
- Tok, A.I.Y., F. Y. C. Boey, dan X. L. Zhao. 2006. Novel synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano particles by flame spray pyrolysis. *Journal of Materials Processing Technology*. 178: 270-273.
- Widiyanto, A. 2015. Optimasi Waktu Siklus Kemasan Produk Botol 150ml Pada Proses Blow Moulding Menggunakan Metode Taguchi. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember.
- Yanuar, F., dan M. Widawati., 2014. Pemanfaatan Nanoteknologi Dalam Pengembangan Pupuk dan Pestisida organik. *Loka penelitian dan Pengembangan Penyakit Bersumber Binatang Ciamis, Litbang Kesehatan*. 2-10.

## LAMPIRAN

### 6.1 Alat DC Thermal Plasma



Gambar Alat DC Thermal Plasma

## 6.2 Komponen DC Thermal Plasma



*Plasma Cutting*



Filter serbuk alumina



Radiator



Pompa Air





*Panel Box*



*Wadah Injeksi Serbuk*



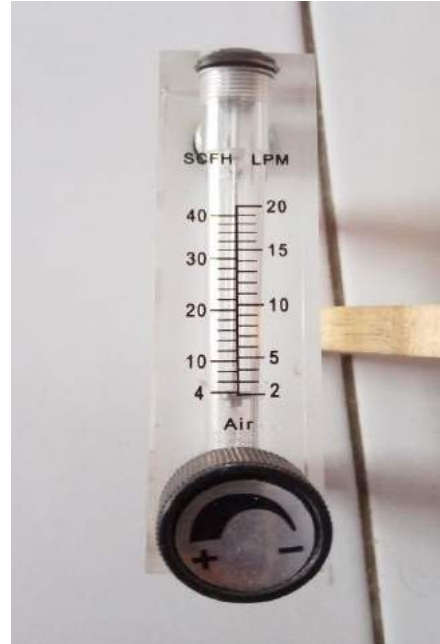
*Nozzle Plasma*



*Vacuum Pump*



Kompresor



Flow Meter

### 6.3 Alat dan Bahan



Timbangan Digital



Wadah Serbuk Alumina



Serbuk Aluminium



Serbuk Aluminium

#### 6.4 Proses Pembuatan Nanopartikel Alumina



Gambar Penimbangan serbuk Aluminium



Gambar *Setting* parameter arus Plasma



Gambar *Setting* parameter tekanan udara



Gambar Proses sintesis Alumina



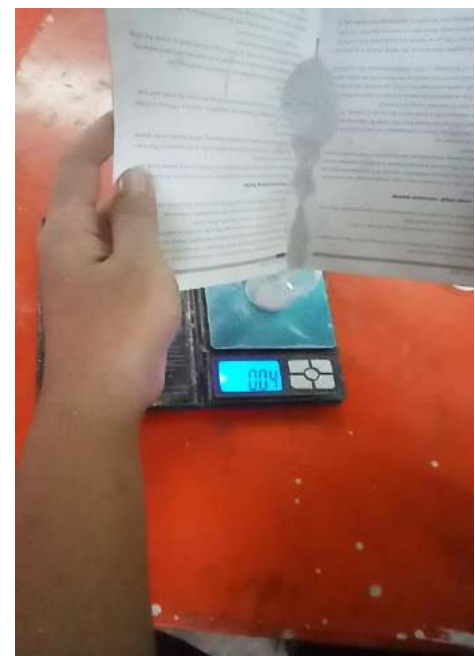
Gambar Proses *vacuum*  
Serbuk alumina



Gambar Proses pembongkaran  
Filter



Gambar Proses Pengambilan  
serbuk alumina



Gambar Proses penimbangan  
Serbuk alumina



Gambar serbuk nanopartikel alumina



Gambar nanopartikel alumina pada dinding reaktor plasma



Gambar serbuk nanopartikel alumina pada piringan *nozzle* plasma

## 6.5 Tabel 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: <https://junaidichaniago.wordpress.com>

## 6.6 Perhitungan S/N Rasio Tiap Eksperimen

Eksperimen 2

$$\begin{aligned} S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\ &= -10\log\left(\frac{1}{3,35^2}\right) \\ &= -10\log 0,089106 \\ &= 10,500 \end{aligned}$$

Eksperimen 3

$$\begin{aligned} S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\ &= -10\log\left(\frac{1}{3,31^2}\right) \\ &= -10\log 0,091273 \\ &= 10,396 \end{aligned}$$

Eksperimen 4

$$\begin{aligned} S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\ &= -10\log\left(\frac{1}{1,16^2}\right) \\ &= -10\log 0,743162 \\ &= 1,289 \end{aligned}$$

Eksperimen 5

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



$$\begin{aligned}
 &= -10\log\left(\frac{1}{2,84^2}\right) \\
 &= -10\log 0,123983 \\
 &= 9,066
 \end{aligned}$$

Eksperimen 6

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{2,57^2}\right) \\
 &= -10\log 0,151402 \\
 &= 8,198
 \end{aligned}$$

Eksperimen 7

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{2,48^2}\right) \\
 &= -10\log 0,162591 \\
 &= 7,889
 \end{aligned}$$

Eksperimen 8

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,91^2}\right) \\
 &= -10\log 0,041479 \\
 &= 13,821
 \end{aligned}$$

Eksperimen 9

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,72^2}\right) \\
 &= -10\log 0,044886 \\
 &= 13,478
 \end{aligned}$$

Eksperimen 10

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,72^2}\right) \\
 &= -10\log 0,044886 \\
 &= 13,478
 \end{aligned}$$

Eksperimen 11

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,89^2}\right) \\
 &= -10\log 0,041819 \\
 &= 13,786
 \end{aligned}$$

Eksperimen 12

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,88^2}\right)
 \end{aligned}$$

$$= -10 \log 0,041991$$

$$= 13,768$$

Eksperimen 13

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

$$= -10 \log \left( \frac{1}{4,12^2} \right)$$

$$= -10 \log 0,058912$$

$$= 12,297$$

Eksperimen 14

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

$$= -10 \log \left( \frac{1}{4,89^2} \right)$$

$$= -10 \log 0,041819$$

$$= 13,786$$

Eksperimen 15

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

$$= -10 \log \left( \frac{1}{2,84^2} \right)$$

$$= -10 \log 0,123983$$

$$= 9,066$$

Eksperimen 16

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{3,47^2}\right) \\
 &= -10\log 0,083050 \\
 &= 10,806
 \end{aligned}$$

Eksperimen 17

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{4,39^2}\right) \\
 &= -10\log 0,051888 \\
 &= 12,849
 \end{aligned}$$

Eksperimen 18

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{2,69^2}\right) \\
 &= -10\log 0,138195 \\
 &= 8,595
 \end{aligned}$$

Eksperimen 19

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

$$\begin{aligned}
 &= -10\log\left(\frac{1}{3,57^2}\right) \\
 &= -10\log 0,078462 \\
 &= 11,053
 \end{aligned}$$

Eksperimen 20

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{3,14^2}\right) \\
 &= -10\log 0,101423 \\
 &= 9,938
 \end{aligned}$$

Eksperimen 21

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{2,51^2}\right) \\
 &= -10\log 0,158727 \\
 &= 7,993
 \end{aligned}$$

Eksperimen 22

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{1,86^2}\right) \\
 &= -10\log 0,289050 \\
 &= 5,390
 \end{aligned}$$

Eksperimen 23

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{1,27^2}\right) \\
 &= -10\log 0,620001 \\
 &= 2,076
 \end{aligned}$$

Eksperimen 24

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{0,68^2}\right) \\
 &= -10\log 2,162629 \\
 &= -3,349
 \end{aligned}$$

Eksperimen 25

$$\begin{aligned}
 S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{Y_i^2}\right) \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{3,18^2}\right) \\
 &= -10\log 0,098888 \\
 &= 10,048
 \end{aligned}$$

Eksperimen 26

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

$$\begin{aligned}
&= -10\log\left(\frac{1}{1,62^2}\right) \\
&= -10\log 0,381039 \\
&= 4,190
\end{aligned}$$

Eksperimen 27

$$\begin{aligned}
S/N &= -10\log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2}\right) \\
&= -10\log\left(\frac{1}{1,27^2}\right) \\
&= -10\log 0,620001 \\
&= 2,076
\end{aligned}$$

### 6.7 Rata-rata S/N Rasio Tiap Level Parameter

Rata-rata S/N rasio parameter laju aliran gas pembawa serbuk level 2

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= \frac{13,478 + 13,786 + 13,768 + 12,297 + 13,786 + 9,066 + 10,806 + \\
&\quad 12,849 + 8,595}{9}
\end{aligned}$$

$$\bar{x} = 12,048$$

Rata-rata S/N rasio parameter laju aliran gas pembawa serbuk level 3

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= \frac{11,053 + 9,938 + 7,993 + 5,390 + 2,076 + (-3,349) + 10,048 + \\
&\quad 4,190 + 2,076}{9}
\end{aligned}$$

$$\bar{x} = 5,490$$

Rata-rata S/N rasio parameter arus level 1

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= \frac{11,953 + 10,500 + 10,396 + 13,478 + 13,786 + 13,768 + 11,058 + \\
&\quad 9,938 + 7,993}{9}
\end{aligned}$$

$$\bar{x} = 11,429$$

Rata-rata S/N rasio parameter arus level 2

$$\bar{x} = \frac{1,289 + 9,066 + 8,198 + 12,297 + 13,786 + 9,066 + 5,390 + 2,076 + (-3,349)}{9}$$

$$\bar{x} = 6,424$$

Rata-rata S/N rasio parameter arus level 3

$$\bar{x} = \frac{7,889 + 13,821 + 13,478 + 10,806 + 12,849 + 8,595 + 10,048 + 4,190 + 2,076}{9}$$

$$\bar{x} = 9,305$$

### 6.8 Menghitung Jumlah Kuadrat Tiap Parameter (*sum of square*)

$$SSB = n_B \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$$

$$SSB = 9 \times [(11,429 - 9,052)^2 + (6,424 - 9,052)^2 + (9,305 - 9,052)^2]$$

$$SSB = 9 \times [5,6500 + 6,9063 + 0,0640]$$

$$SSB = 113,583$$

### 6.9 Menghitung Kuadrat Tengah (*mean of square*)

$$MSB = \frac{SS_B}{df_B}$$

$$MSB = \frac{113,583}{2}$$

$$MSB = 56,791$$

### 6.10 Menghitung MSResidual

$$MS_{Residual} = \frac{SS_{residual}}{df_{residual}}$$

$$MS_{Residual} = \frac{215,483}{22}$$



$$MS_{Residual} = 9,794$$

### 6. 11 Persen Kontribusi Faktor B

$$SS'_B = SS_B - df_B \cdot MS_{Res}$$

$$SS'_B = 113,58 - 2 \times 9,794$$

$$SS'_B = 93,99$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_B = \frac{93,99}{526,94} \times 100\%$$

$$\rho_B = 17,83\%$$

### 6. 12 Perhitungan SSResidual

$$\begin{aligned} SS_{Res} &= SST - SSA - SSB \\ &= 526,948 - 197,874 - 113,583 \\ &= 215,491 \end{aligned}$$

### 6. 13 Perhitungan F-Rasio

F-Rasio A

$$\begin{aligned} F &= \frac{MSA}{MSE_{Error}} \\ F &= \frac{98,937}{9,794} \\ &= 10,10 \end{aligned}$$

F-Rasio B

$$\begin{aligned} F &= \frac{MSB}{MSE_{Error}} \\ F &= \frac{56,791}{9,794} \\ &= 5,79 \end{aligned}$$

### 6. 14 Hasil XRF

Element	norm. C. [wt.%]	Atom C. [at.%]	Compound	Stoich. C [wt.%]	norm. stoich. C [wt.%]
<b>Rhodium</b>	0,00	0,00		0,00	0,00
<b>Iron</b>	0,06	0,02	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,09
<b>Oxygen</b>	46,98	59,97		0,00	0,00
<b>Aluminium</b>	52,78	39,95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,42	99,73
<b>Copper</b>	0,18	0,06		0,08	0,18
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>		<b>42,53</b>	<b>100,00</b>

Gambar kandungan unsur dalam alumina