



**PENGARUH PANJANG API DAN SUDUT INJEKSI TERHADAP  
PRODUKTIVITAS MESIN *DC THERMAL PLASMA* DALAM  
PEMBUATAN NANOPARTIKEL ALUMINA**

**SKRIPSI**

Oleh

**Indra Surya Iwanata**

**NIM 151910101058**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**PENGARUH PANJANG API DAN SUDUT INJEKSI TERHADAP  
PRODUKTIVITAS MESIN *DC THERMAL PLASMA* DALAM  
PEMBUATAN NANOPARTIKEL ALUMINA**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Indra Surya Iwanata**

**NIM 151910101058**

**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 Bpk. Agus Haryanto, Ibu Nur Hayati (Alm.), Ibu Farida Ariani yang telah memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta doa yang diberikan.
2. Kakak laki-laki saya Yudi Candra Kurniawan dan kakak perempuan saya Nindy Riani Prabaningtyas, Riska Fiani Prabaningtyas dan Mahardhika Safanti Prabaningtyas 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 Gaguk Djatisukanto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Bapak Danang Yudistiro, 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 Curah Takir 1, Kebun Kalisanen yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru Sekolah Dasar Negeri Curah Takir 01, Kebun Kalisanen yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Dasar Negeri Wetan 01 Kalibaru, Banyuwangi yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua guru Sekolah Dasar Negeri Kepatihan 1, Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.

10. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Negeri 1, Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
11. Semua guru Sekolah Menengah Akhir Negeri 4, Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
12. Keluarga Gajah Mada X/11 Ibu Sriatun, Mbak Fatma Rahayu dan Ibu Tima untuk semua dukungannya dalam menyelesaikan skripsi.
13. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2015 Universitas Jember.
14. Saudara seluruh angkatan UKMS Kolang Kaling Fakultas Teknik Jember yang sudah membuat saya betah di fakultas yang sangat membosankan ini.
15. Semua teman-teman TIM Mobil Irit Tawangalun Jember.
16. Semua teman-teman tim riset MaGNIFIED yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
17. Semua teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember.
18. Saudara KKN PPM Majulah Karang Tekok, yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
19. Saudara seperjuangan Koming & Friend dan teman-teman bermain pada masa kecil hingga perguruan tinggi.
20. Seluruh pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan yang tentunya memotivasi saya untuk kelancaran skripsi ini.

**MOTTO**

*Apa Yang Kamu Tanam, Apa Yang Kamu Tuai*

(Indra Surya Iwanata)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indra Surya Iwanata

NIM : 151910101058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Panjang Api dan Sudut Injeksi Terhadap Produktivitas Mesin *DC Thermal Plasma* dalam Pembuatan Nano Partikel Alumina” 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, 25 Juni 2019  
yang menyatakan,

Indra Surya Iwanata.  
NIM 151910101058

**SKRIPSI**

**PENGARUH PANJANG API DAN SUDUT INJEKSI TERHADAP  
PRODUKTIVITAS MESIN *DC THERMAL PLASMA* DALAM  
PEMBUATAN NANOPARTIKEL ALUMINA**

Oleh

**Indra Surya Iwanata**

**NIM 151910101058**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.

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



**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Panjang Api dan Sudut Injeksi Terhadap Produktivitas Mesin *DC Thermal Plasma* dalam Pembuatan Nano Partikel Alumina” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 24 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Pembimbing**

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T  
NIP. 196902091998021001

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

**Tim Penguji**

Penguji I

Penguji II

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP. 196812071995121002

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.  
NIP. 198501172012121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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



## RINGKASAN

**Pengaruh Panjang api dan Sudut Injeksi Terhadap Produktivitas Mesin *DC Thermal Plasma* dalam Pembuatan Nanopartikel Alumina;** Indra Surya Iwanata, 151910101058; 50 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Nanopartikel merupakan partikel yang memiliki ukuran  $10^{-9}$  nm dan rentang ukuran 1-100 nano. Partikel ini dibentuk dengan berbagai macam pengolahan, salah satunya menggunakan metode *DC Thermal Plasma*. Penelitian ini menggunakan proses pembuatan serbuk alumina yang memanfaatkan mesin DC Plasma *cutting* 70 ampere sebagai nyala api plasma. Proses pembakaran dilakukan dalam tabung reaktor, dan bahan yang diolah yaitu serbuk Aluminium (Al) dengan kemurnian 92,5%.

Prinsip dari Mesin *DC Thermal Plasma* yaitu membakar serbuk Aluminium pada tabung reaktor yang diinjeksikan melalui sistem injeksi bertekanan udara. Massa *input* serbuk Aluminium yang diinjeksikan sebesar 5 gram. Proses pembakaran dilakukan sesuai selang waktu yang ditentukan (15 detik). Partikel yang menempel di dinding reaktor dihisap dengan bantuan *vacuum pump* sehingga mempermudah proses kolektif pada tabung *filter*. Material yang telah dikolektif diukur massanya menggunakan timbangan digital.

Analisis data yang digunakan yaitu menggunakan metode Taguchi L27. Pengolahan data dengan metode Taguchi bertujuan untuk mengetahui parameter apa yang signifikan dan seberapa besar kontribusi parameter tersebut pada proses pembuatan nanopartikel  $Al_2O_3$ . Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sudut injeksi dengan 3 variasi ( $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ) dan panjang api dengan 3 variasi (2,31 cm; 3,87 cm; 4,28 cm).

Kontribusi parameter permesinan dalam pembuatan nanopartikel alumina yang signifikan yaitu parameter sudut injeksi memiliki kontribusi sebesar 37% dan parameter panjang api sebesar 4,2%. Alat *DC Thermal Plasma* telah

menghasilkan serbuk nanopartikel dengan ukuran terkecil 50 nm tetapi produktivitas yang dihasilkan setiap pengambilan sampel tidak mencapai 100%. Pengambilan sampel sesuai data aktual menunjukkan serbuk yang dihasilkan rata sebesar  $\pm 3$  gram pada setiap penimbangan hasil pembakaran dan *losses* sebesar  $\pm 2$  gram yang disebabkan oleh penyumbatan pada instalasi pipa. Penyumbatan terjadi karena adanya perbedaan diameter instalasi pipa injeksi sehingga gaya turbulen pada pipa aliran fluida terbentuk dan pengaruh sudut belokan pada pipa injeksi yang berakibat pada naiknya tekanan fluida tetapi kecepatan aliran fluida bermuatan serbuk menurun. Produktivitas alat *DC Thermal Plasma* hanya mencapai 60%, dilihat dari serbuk yang dihasilkan yaitu sebanyak  $\pm 3$  gram.

Hasil penelitian secara umum dipengaruhi oleh sudut injeksi. Sudut injeksi optimum yaitu  $45^\circ$  dengan produktivitas rata-rata dari pengambilan 9 sampel sebesar 3,56 gram dan produktivitas paling buruk yaitu parameter sudut injeksi  $90^\circ$  yaitu sebesar 2,17 gram. Parameter panjang api dalam penelitian ini tidak terbukti signifikan, hal itu terjadi karena sebarang panjang api yang digunakan api plasma dengan ukuran terpendek yaitu 2,31 cm sudah dapat meleburkan serbuk aluminium yang memiliki titik lebur  $660,03^\circ\text{C}$ . *Temperature* api plasma mencapai suhu  $9700^\circ\text{C}$  (Lancaster, J., F., 1986). Kesimpulan dari penelitian yaitu semakin besar sudut belokan injeksi material semakin sedikit pula produktivitas dari alat *DC Thermal Plasma* begitupun sebaliknya.

## SUMMARY

*Effect of Flame Length and Injection Angle on The Productivity of Plasma Thermal DC Machines in The Manufacture of Alumina Nanoparticles; Indra Surya Iwanata, 151910101058; 50 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*Nanoparticles are particles that have a size of  $10^{-9}$  nm and a size range of 1-100 nano. These particles are formed by various types of processing, one of which uses the DC Thermal Plasma method. In this study, the process of making alumina powder utilizes 70 ampere DC Plasma cutting machines as plasma flame torches for combustion processes, reactor tubes, filters, vacuum pumps and processed materials, Aluminum (Al) powder with 97% purity.*

*The principle of the DC Thermal Plasma Machine is to burn Aluminum powder on the reactor tube that has been injected through an air pressure injection system. After the freezing process is in accordance with the specified time interval (15 seconds), the finished particles are filtered using a nano-sized filter with the help of a vacuum pump so that the finished particles are easily pulled to collect in the filter tube. This is useful so that the material can weigh later. In this study the input mass of Aluminum powder is 5 gram in the hope that the mass of output produced is 5 gram as well.*

*The data processing used is using the Taguchi L27 method. Processing data with the Taguchi method has the purpose of knowing what parameters are significant and how much the parameters contribute to the process of making Alumina nanoparticles. The parameters used in this study are injection angle with 3 variations ( $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ) and fire length with 3 variations (2.31 cm; 3,87 cm; 4,28 cm).*

*The contribution of machining parameters in the manufacture of alumina nanoparticles is significant, namely the injection angle parameter has a contribution of 37% and a fire length parameter of 4.2%. Although the tool has succeeded in producing the smallest nanoparticle powder size of 50nm, the*

*productivity produced for each sampling did not reach 100%. Sampling according to the actual data shows that the powder produced is equal to  $\pm 3$  gram in each weighing result of combustion. There are  $\pm 2$  gram losses caused by blockages in the pipe installation. This happens because of differences in the diameter of the injection pipe installation so that the turbulent force on the fluid flow pipe is formed and the effect of the angle of the turn on the injection pipe which results in an Increase in fluid pressure but the velocity of the powdered fluid flow decreases. So that the productivity of the tool only reaches 60%, seeing the resulting powder is  $\pm 3$  gram.*

*The results of the study were generally influenced by the most optimum injection angle of  $45^\circ$  with an average productivity of 9 samples of 3.56 grams and the worst productivity, namely the  $90^\circ$  injection angle parameter of 2.17 grams. While the length of fire in this study did not prove significant, it happened because no matter how long the fire used by plasma flames with the shortest size of 2.31 cm was able to melt aluminum powder which had a melting point of  $660.03^\circ\text{C}$ , in other words the temperature of plasma flames itself is more than the melting temperature of aluminum. Lancaster, J., F., (1986) mentions plasma fire reaching temperatures  $9700^\circ\text{C}$  in terms of several colors of fire, while plasma fires are classified as white fire. The conclusion of the study is that the greater the injection angle of material injection, the less quantity of powder produced, the smaller the angle of injection of material the more quantity of powder produced from DC Thermal Plasma devices*



## PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Panjang Api dan Sudut Injeksi Terhadap Produktivitas Mesin *DC Thermal Plasma* dalam Pembuatan Nano Partikel Alumina” 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 Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Bapak Danang Yudistiro, 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 Aris Zainal Mustaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ahmad Adib R., 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, 15 Juli 2019

Indra Surya Iwanata

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN .....	ii
MOTTO .....	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xvii
<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>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Nanopartikel .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Alumina .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Metode Fabrikasi Nanopartikel Alumina.....	6
2.2.2 Efek Parameter Injeksi dan Panjang Api pada Pelepasan Nanopartikel....	11
<b>2.3 Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Software Image J .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Metode Taguchi .....</b>	<b>13</b>
2.5.1 Tahapan Perancangan <i>Eksperimen</i> .....	13
2.5.2 Tahap Pelaksanaan <i>Eksperimen</i> .....	14
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>

<b>3.1. Metode Penelitian .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Tempat Penelitian.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Alat dan Bahan .....</b>	<b>17</b>
3.3.1 Alat.....	17
3.3.2 Bahan .....	18
<b>3.4 Variabel penelitian .....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Variabel Bebas .....	18
3.4.2 Variabel Terikat.....	18
3.4.3 Variabel Kontrol.....	18
<b>3.5 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6 Tahap Perencanaan <i>Eksperimen</i> dengan Metode Taguchi.....</b>	<b>21</b>
3.6.1 Perumusan Masalah.....	21
3.6.2 Tujuan <i>Eksperimen</i> .....	21
<b>3.7 Penentuan Variabel Penelitian.....</b>	<b>22</b>
3.7.1 Variabel Kontrol.....	22
3.7.2 Variabel Bebas .....	22
3.7.3 Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan .....	22
3.7.4 Penentuan Jumlah <i>Level</i> dan Nilai <i>Level</i> Faktor .....	22
3.7.5 Perhitungan Derajat Kebebasan.....	23
3.7.6 Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi Kedalam <i>Matriks</i> <i>Orthogonal</i> .....	24
<b>3.8 Tahap Pelaksanaan <i>Eksperimen</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>3.9 Tahap Analisis .....</b>	<b>26</b>
<b>3.10 Pengamatan sampel.....</b>	<b>29</b>
<b>3.11 Hipotesa.....</b>	<b>29</b>
<b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Data Hasil Percobaan.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Perhitungan S/N Rasio .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 Hasil Optimasi .....</b>	<b>34</b>



<b>4.4</b>	<b><i>Analysis of Varian (ANOVA)</i></b> .....	<b>34</b>
<b>4.5</b>	<b>Prediksi Respon Optimum</b> .....	<b>38</b>
<b>4.6</b>	<b>Pembahasan Pengaruh Parameter</b> .....	<b>40</b>
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....		<b>47</b>
<b>5.1.</b>	<b>Kesimpulan</b> .....	<b>47</b>
<b>5.2.</b>	<b>Saran</b> .....	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>50</b>
	<b>Lampiran 6.1 Hasil Data Pengujian</b> .....	<b>51</b>
	<b>Lampiran 6.2 Perhitungan Rata-Rata Setiap Parameter</b> .....	<b>52</b>
	<b>Lampiran 6.3 Diagram Rata-Rata Setiap Parameter</b> .....	<b>53</b>
	<b>Lampiran 6.4 Tabel Statistik F 0,05</b> .....	<b>54</b>
	<b>Lampiran 6.5 Komponen Alat dan Bahan</b> .....	<b>55</b>
	<b>Lampiran 6.6 Panjang Nyala Api Plasma</b> .....	<b>58</b>
	<b>Lampiran 6.7 Suhu Api Berdasarkan Warna Api.</b> .....	<b>60</b>
	<b>Lampiran 6.8 Foto Hasil Pengujian SEM</b> .....	<b>61</b>

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Pengelompokan dimensi material (Regunadhan, 2018).....	5
Gambar 2.2 Aluminium Oksida (Suresh, dkk., 2018).....	6
Gambar. 2.4 Klasifikasi plasma (RUJ dan Ghosh, 2014) .....	8
Gambar 2.5 Proses pembuatan nanopartikel menggunakan plasma .....	9
Gambar 2.6 Skema busur plasma <i>non transferred</i> (Gomez, dkk., 2009).....	10
Gambar 2.7 Skema busur plasma transfer langsung (Gomez, dkk., 2009).....	10
Gambar 2.8 Skema busur plasma metode RF (Gomez, dkk., 2009).....	11
Gambar 3.1 pengaturan parameter panjang api.....	19
Gambar 3.3 membuka kran kompresor dan obor plasma .....	19
Gambar 3.4 Panjang nyala api 2,31 cm pada arus 50 A .....	19
Gambar 3.5 Panjang nyala api 3,87 cm pada arus 60 A .....	20
Gambar 3.6 Panjang nyala api 4,28 cm pada arus 70 A .....	20
Gambar 3.7 Proses mematikan mesin DC dan menutup kran kompresor.....	20
Gambar 3.8 Proses pembukaan saringan nano dan kolektif serbuk Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	21
Gambar 3. 1 Skema mesin <i>DC thermal plasma</i> .....	30
Gambar 3. 2 Prosedur penelitian <i>Flowchart</i> Penelitian. ....	31
Gambar 4.1 Hubungan antara hambatan dan <i>temperature</i> .....	42
Gambar 4.2 Foto nyala api 2,31 cm, 3,87 cm dan 4,28 cm.....	42
Gambar 4.1. Foto SEM Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan perbesaran 20.000 x.....	61
Gambar 4.2 Foto SEM Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan perbesaran 100.000 x.....	61

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Tabel Faktor Kontrol Taguchi.....	14
Tabel 2.2 Tabel jumlah <i>level</i> dan nilai <i>level</i> faktor.....	14
Tabel 2.3 Tabel <i>Matriks Orthogonal 3 Level</i> .....	15
Tabel 2.4 contoh <i>matriks orthogonal</i> untuk $L_{27}(3^{13})$ .....	16
Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian .....	22
Tabel 3.2 Penentuan jumlah <i>level</i> dan nilai <i>level</i> faktor .....	23
Tabel 3.3 Perhitungan Derajat Kebebasan Total.....	23
Tabel 3.4 <i>Matriks Ortghonal</i> $L_{27}(3^{13})$ .....	24
Tabel 3.5 Perhitungan Derajat Kebebasan Total.....	25
Tabel 3.6 Data Percobaan .....	25
Tabel 4.1 Hasil pengambilan massa serbuk dalam S/N Rasio .....	33
Tabel 4.5 Rata-rata nilai S/N rasio setiap <i>level</i> parameter permesinan.....	34
Tabel 4.6 Kombinasi parameter respon optimum .....	34
Tabel 4.7 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan S/N rasio .....	37
Tabel 4.8 Kondisi hipotesa nol multi respon .....	38
Tabel Hasil Pengambilan Massa Serbuk.....	61

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan ilmu pengetahuan yang memiliki konsentrasi pada pengembangan material pada skala nano dalam dimensi 1-100 nm (Marthen, dkk., 2012). Produk yang dihasilkan nanoteknologi disebut nanopartikel. Aplikasi nanopartikel di dunia mengalami perkembangan di berbagai bidang industri pelapisan logam seperti penerbangan dan otomotif. Karakterisasi nanopartikel umumnya berdasarkan morfologi, muatan permukaan, dan ukuran nanopartikel tersebut. (Paresh, 2018)

Serbuk aluminium merupakan bahan penelitian yang digunakan pada industri pengolahan logam. Bahan hasil produksi dari serbuk aluminium yang mengalami oksidasi dengan oksigen disebut alumina atau  $Al_2O_3$ .  $Al_2O_3$  umumnya diproduksi dalam skala 1-100nm (Kim, dkk., 2016). Aplikasi  $Al_2O_3$  dapat digunakan dalam bidang pelapisan benda kerja (*coating*).  $Al_2O_3$  dapat dibuat menggunakan metode *DC thermal plasma*. (Haidzar, dkk., 2017).

*DC thermal plasma* adalah metode pembuatan nanopartikel dengan cara memanfaatkan panas api untuk evaporasi terhadap serbuk yang diinjeksikan searah jalur busur api. (Gomez, dkk., 2009), mengklasifikasikan metode *DC thermal plasma* menjadi tiga macam yaitu metode *DC arc transferred plasma thorces*, *DC non transferred arc plasma thorces* dan *RF inductively coupled discharged*. Aplikasi *DC thermal plasma* tergolong metode yang mudah dalam pembuatannya yaitu dengan cara menginjeksikan serbuk Aluminium ke arah api plasma sehingga terjadi proses perubahan fasa solid menjadi mold, mold menjadi uap dan material mengalami pendinginan cepat pada tabung reaktor berpendingin air.

Xiong, dkk., (2016) melakukan penelitian tentang nanopartikel yang memvariasikan variabel berupa panjang api dan sudut injeksi material dengan variasi sudut injeksi 10- 20°. Hasil dari penelitian tersebut membuktikan bahwa semakin besar sudut injeksi material semakin besar ukuran material yang dihasilkan.

Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya dengan menggunakan mesin *DC thermal plasma*. Peneliti ingin mengetahui pengaruh panjang api dan sudut injeksi material terhadap kuantitas serbuk nanopartikel yang dihasilkan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka diambil rumusan masalah, sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh parameter sudut injeksi terhadap kuantitas pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ?
- 2) Bagaimana pengaruh parameter panjang api terhadap kuantitas pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ?
- 3) Bagaimana pengaturan parameter yang optimal dalam pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ?

### 1.3 Batasan Masalah

Penentuan batasan masalah bertujuan agar penelitian dapat mencapai hasil yang telah ditetapkan. Batasan masalah penelitian ini antara lain :

- 1) Serbuk Aluminium yang digunakan berukuran  $50 \mu\text{m}$  dengan kemurnian 92,5%.
- 2) Tekanan udara injeksi serbuk aluminium sebesar 2 bar

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh parameter sudut injeksi terhadap kuantitas pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- 2) Untuk mengetahui pengaruh parameter panjang api terhadap kuantitas pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- 3) Untuk mengetahui pengaturan parameter yang optimal dalam pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Memberikan kontribusi dalam hal pengembangan teknologi nanomaterial.
- 2) Memberikan kontribusi pengembangan teknologi manufaktur terutama pada teknologi *spray coating*  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .





## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan partikel yang memiliki rentang ukuran 1 nm sampai 100 nm. Ilmu dan aplikasi dari nanopartikel yang memiliki sifat-sifat materi dan dapat berubah secara dramatis disebut nano teknologi. Aplikasi dari nano teknologi berupa kinerja bahan, kesehatan, produk konsumen, air, teknologi informasi dan energi (Armarego, 2007).

Nanopartikel memiliki ukuran sekitar 1nm sampai 10 nm atau lebih kecil dari panjang gelombang sinar ultraviolet (UV). Sinar yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengukur partikel-partikel nano adalah sinar X. Instrumentasi pada sinar X mengalami pengembangan resolusi yang terus meningkat dan berfungsi untuk mengukur secara akurat parameter dari nanopartikel, seperti ukuran diameter, panjang, dan lebar dari material (Reghunadhan, dkk., 2018).

Nanopartikel dapat diklasifikasikan berdasarkan material pembentuk, dimensi dan bahan yang digunakan sebagai berikut :

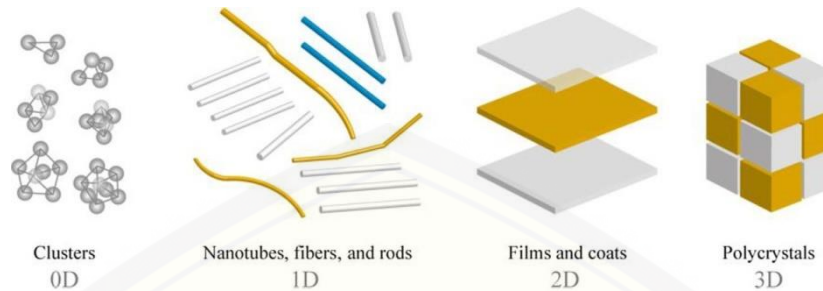
- a. Nanopartikel yang berasal dari alam, misalnya abu vulkanik dan sayap serangga.
- b. Nanopartikel yang dibuat oleh manusia, misalnya sintesis menggunakan peralatan laboratorium seperti *quantum dots*, *nanotubes* dan nanopartikel.

Nano material yang dikelompokkan berdasarkan ukuran dibagi menjadi berbagai macam diantaranya :

- a. Zero dimensi yaitu nano material yang memiliki memiliki tiga arah dalam rentang betuk nanopartikel dan umumnya akan berbentuk *quantum dots*. Misalnya *silver quantum dots*.
- b. Satu dimensi, merupakan ukuran material yang melebihi dari kisaran nanometer, misalnya bentuknya berupa kawat berukuran nano.
- c. Dua dimensi, merupakan ukuran material yang berada dari kisaran nanometer misalnya nanofilm, pelapis, dan lembaran.



- d. Tiga dimensi merupakan ukuran material melebihi atau keluar dari skala nanometer (1-100 nm).



Gambar 2. 1 Pengelompokan dimensi material (Regunadhan, 2018).

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

1. Nanopartikel berbasis karbon, yang menggunakan karbon sebagai komponen dasar misalnya *fullerenes*, karbon *nanotube*, dan *graphene*.
2. Nanopartikel berbasis logam, yang menggunakan logam sebagai komponen dasar misalnya *nanogold*, *nanosilver*, dan oksida logam seperti titanium dioksida, silika, dan alumina.
3. *Dendrimers* adalah makromolekul bercabang yang memiliki ukuran nanometer.
4. Nanokomposit merupakan komponen campuran dari nanomaterial dalam skala nanometer.

## 2.2 Alumina

$\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah bahan berbasis aluminium alami yang banyak ditemui dan berfungsi untuk pembuatan logam aluminium. (Regunadhan, dkk., 2010).  $\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan senyawa stabil berbentuk bubuk putih yang terlihat seperti garam meja. Titik leleh dari senyawa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  berada di atas  $2050^\circ\text{C}$  sehingga memerlukan banyak energi untuk menghasilkan alumina dari aluminium. (Kvande, dkk., 2011).

$\text{Al}_2\text{O}_3$  murni sulit untuk masuk ke proses densifikasi penuh kecuali dengan bantuan sintering yang sesuai atau beberapa teknik pemrosesan khusus dalam

proses pembuatannya. Proses pemanasan konvensional membutuhkan sekitar 1600°C dan dua jam waktu perendaman untuk mencapai tingkat kepadatan yang sama disertai dengan substansial pertumbuhan butir (Agrawal, dkk., 2010).



Gambar 2.2 Aluminium Oksida (Suresh, dkk., 2018)

$\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan salah satu bahan keramik yang digunakan untuk aplikasi industri. Polimorf alumina digunakan untuk pembuatan katalis dan pendukung katalis, bahan adsorben, dan pelapisan. Keramik memberikan kekuatan mekanik dan kekerasan yang tinggi, serta ketahanan panas dan korosi yang tinggi. Produksi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah proses yang sulit dilakukan karena  $\text{Al}_2\text{O}_3$  termasuk polimorf yang paling stabil dan setelah disintering ukuran partikel akan meningkat dengan cepat. Serbuk alumina nanometric diperoleh dengan metode yang berbeda, seperti penggilingan bola, pengendapan, sintesis hidrotermal dan reaksi fase uap. Metode penggilingan bola memiliki kelemahan seperti pada proses menggabungkan beberapa pengotor, reaksi fasa uap dan proses *hidrotermal* yang memerlukan suhu dan tekanan yang tinggi, sementara proses pengendapan yang kompleks, membutuhkan waktu pencucian dan pengendapan yang lama (Ruiz, dkk., 2016).

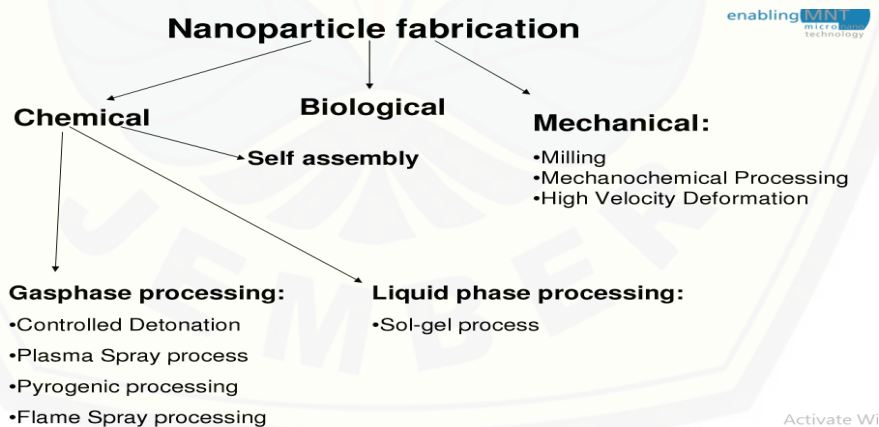
### 2.2.1 Metode Fabrikasi Nanopartikel Alumina

Nanopartikel logam dibuat dengan metode pemecahan atau penumpukan yang dikenal dengan konsep fabrikasi metode *breakdown* dan *buildup*. Metode pemecahan adalah teknik untuk menghancurkan logam curah dengan *mechanical*

*grinding* (MG) atau *mechanical milling* (MM) (Hayashi, dkk., 2008). Gambar 2.3 menjelaskan tentang konsep fabrikasi nano partikel alumina.

Proses pembuatan nanopartikel alumina terdapat kesulitan untuk mengontrol diameter partikel yang seragam, meskipun ini adalah teknik yang mudah, tetapi dalam proses pembuatannya terdapat masalah pada kotoran yang mudah dicampur dengan bahan. Metode penumpukan adalah teknik untuk merakit atom-atom logam dan memiliki banyak variasi, metode ini lebih dikenal dengan metode pengolahan fisik dan kimia (Hayashi, dkk., 2008).

Metode kondensasi gas adalah metode fabrikasi nanopartikel yang paling populer di dunia. Metode kondensasi gas, bahan logam atau anorganik, diuapkan oleh sumber penguapan termal, seperti perangkat penguapan berkas elektron di bawah tekanan rendah, atau gas dipanaskan pada cawan lebur. *Cluster* logam terbentuk di sekitar sumber dengan nukleasi homogen dalam fase gas. Dalam metode ini, ukuran partikel tergantung pada waktu endapan partikel dalam aturan pertumbuhan yang dapat dipengaruhi oleh tekanan gas dan jenis gas lembam, tingkat penguapan, atau tekanan uap sesuai termal yang dihasilkan (Hayashi, dkk., 2008).



Gambar 2.3 Metode Fabrikasi Nanopartikel (Hayasi, dkk., 2008)

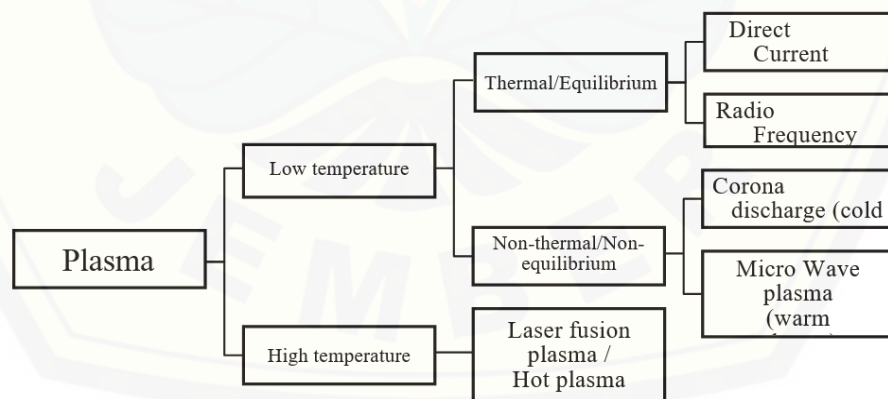
Metode pembuatan nanopartikel yaitu sebagai berikut:

a. *Ball milling*

*Ball milling* adalah metode yang efisien untuk menghasilkan nanopartikel dengan pendekatan *top-down* konvensional. Sifat-sifat nanopartikel yang dihasilkan tergantung pada kondisi penggilingan (misalnya penggilingan kering / basah, suhu, sifat bola, dan aditif kimia). Material bola saling bertabrakan atau turbulensi dalam wadah yang diaduk sehingga mengubah struktur atau sifat permukaan sampel. Selain itu, *ball milling* dapat berfungsi sebagai pendekatan *top-down* yang sesuai untuk menghancurkan nanopartikel. (Lemloh, 2017)

b. *Thermal Plasma*

*Nanofabrication* plasma merupakan cara baru yang menarik untuk mendapatkan struktur yang unik pada skala nano yang tidak dapat dicapai dengan teknik lain dan dengan cara yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Ramiasa, dkk., 2017). Suhu yang terkandung pada plasma dibagi menjadi suhu rendah (*low temperature*) dan suhu tinggi (*high temperature*) yang ditampilkan pada Gambar 2.4.



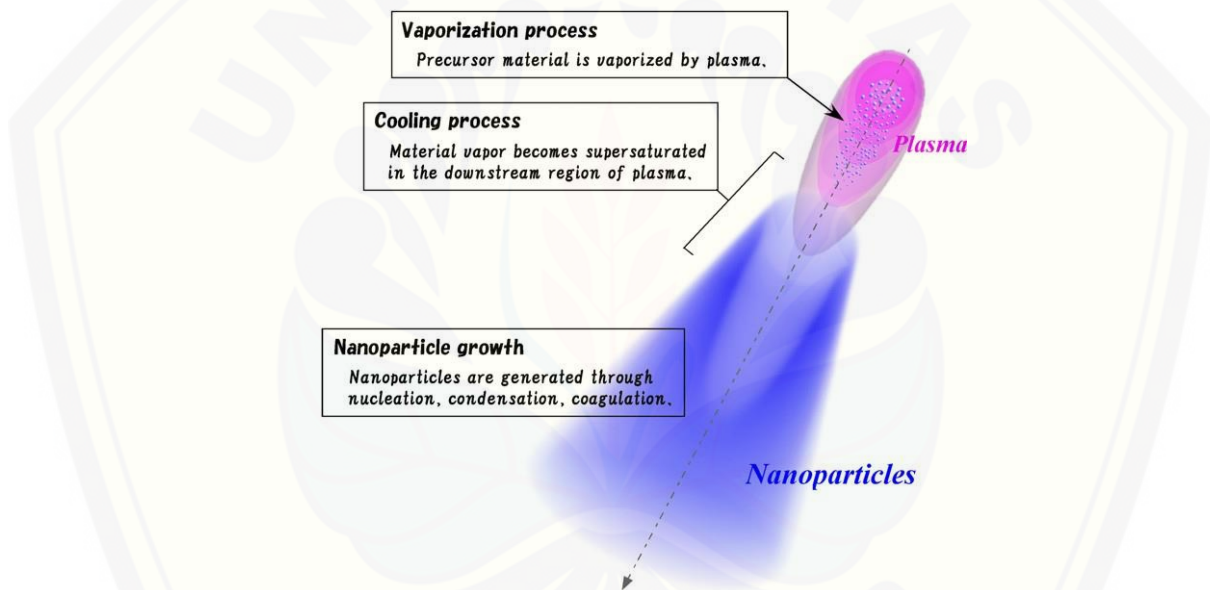
Gambar. 2.4 Klasifikasi plasma (RUJ dan Ghosh, 2014)

Proses termal plasma memiliki beberapa kegunaan yaitu :

- a. Teknik pelapisan, seperti penyemprotan plasma, penyemprotan kawat busur dan deposisi uap kimia plasma termal (TPCVD).

- b. Sintesis serbuk halus, dalam kisaran ukuran nanometer.
- c. Metalurgi, termasuk pencairan bersih dan aplikasi pencairan kembali dalam tungku besar.
- d. Metalurgi ekstraktif termasuk operasi peleburan.
- e. Penghancuran dan pengolahan bahan limbah berbahaya.

Sintesis nanopartikel oleh termal plasma adalah proses perpindahan panas dan massa yang melibatkan konversi fase yang diilustrasikan pada Gambar 2.5. Proses interaksi antara bidang thermo fluida, medan elektromagnetik yang diinduksi dan medan konsentrasi partikel. (Murphy dan Shigeta, 2010).



Gambar 2.5 Proses pembuatan nanopartikel menggunakan plasma (Shigeta, 2011).

Krasimir Vasilev, (2017) melakukan terobosan tentang pemanfaatan proses plasma dalam pembuatan keragaman nanopartikel misalnya kawat nano, *nanotubes*, nanopartikel, dan pelapisan *nanotextured*. Bahan-bahan tersebut tidak dapat diproses secara konvensional karena ukurannya sulit untuk dirubah.

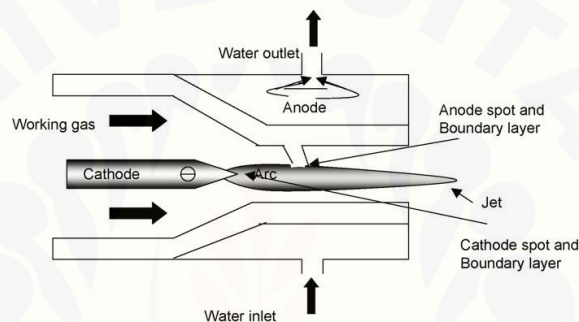
*Thermal Plasma* yang diproduksi oleh daya dan tekanan udara yang tinggi, telah terbukti menjadi alat yang efektif untuk pembuatan nanopartikel. Thermal Plasma mampu menghasilkan material baru dengan titik leleh yang lebih tinggi (Shigeta, M., 2010).



Perkembangan teknologi yang makin maju saat ini mengklasifikasikan beberapa metode termal plasma yang dibagi menjadi tiga yaitu:

1) *DC non-transferred arc plasma torches*

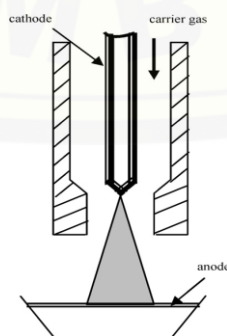
*DC non-transferred arc plasma torches* adalah perangkat yang menghasilkan busur plasma dengan suhu tinggi. Perangkat ini berinteraksi dengan gas yang mengalir sehingga menghasilkan busur api yang kontinyu. Kemudian, material yang akan diproses disemprotkan agar mencair dan mengalami evaporisasi tinggi. Diagram skematik *DC non-transferred arc plasma torches* ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema busur plasma *non transferred* (Gomez, dkk., 2009)

2) *DC transferred arc plasma torches*

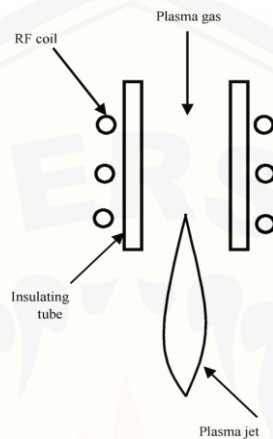
*DC transferred arc plasma torches* merupakan perangkat yang berinteraksi langsung dengan gas yang mengalir sehingga menghasilkan busur api yang kontinyu. Kemudian, material yang akan diproses dibakar secara langsung agar melebur dan menghasilkan evaporisasi tinggi. Diagram skematik *DC non-transferred arc plasma torches* ditunjukkan pada Gambar 2.7)



Gambar 2.7 Skema busur plasma transfer langsung (Gomez, dkk., 2009)

a. *RF inductively coupled discharges*

RF ditandai dengan tidak adanya elektroda, yang menghindari kontaminasi plasma oleh uap logam. Pada prinsipnya Diagram skematik dari fasilitas pembuangan RF induktif ditambah ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2.8 Skema busur plasma metode RF (Gomez, dkk., 2009)

Dalam obor plasma RF-induksi, energi kopling ke plasma dicapai melalui medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh kumparan induksi listrik. Gas plasma tidak bersentuhan dengan elektroda, sehingga menghilangkan kemungkinan sumber kontaminasi, dan memungkinkan untuk operasi mereka dalam berbagai kondisi operasi termasuk *inert*, mengurangi dan mengoksidasi, dan atmosfer korosif lainnya. Kepadatan daya lokal lebih rendah daripada plasma DC.

### 2.2.2 Efek Parameter Injeksi dan Panjang Api pada Pelepasan Nanopartikel

Sudut injeksi adalah kunci parameter atomisasi yang mempengaruhi terbentuknya nanopartikel. Injeksi sudut nol menunjukkan bahwa tetesan semprotan disuntikkan di garis tengah, ketika sudut injeksi menjadi lebih besar, nanopartikel lebih sedikit dilepaskan ke bidang aliran. Alasannya adalah lebih banyak partikel akan didistribusikan di pinggiran bidang aliran dan tidak dapat dipanaskan dengan baik jika sudut injeksi lebih besar. Kecepatan injeksi partikel



juga mempengaruhi persentase pelepasan nanopartikel dan ketika kecepatan injeksi meningkat, terdapat partikel yang lebih besar hal ini terjadi karena partikel berkecepatan tinggi tidak mengalami pemanasan sehingga proses evaporasi tidak sempurna, hal ini disebabkan partikulat berkecepatan tinggi memiliki waktu pemanasan yang pendek di bidang aliran suhu tinggi.(Xiong, dkk., 2016).

### 2.3 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah metode pengujian material yang menggunakan prinsip seperti *microscop electron*. Teknik SEM digunakan untuk menentukan morfologi permukaan adsorben dan cocok untuk permukaan konduktif. Area mulai dari sekitar 1 cm sampai 5  $\mu\text{m}$  lebar dapat dicitrakan dalam mode pemindaian menggunakan teknik SEM konvensional (perbesaran mulai dari 20x hingga sekitar 30.000x dan resolusi spasial 50-100 nm).

SEM mampu melakukan analisis lokasi titik yang dipilih pada sampel; pendekatan ini sangat berguna dalam komposisi kimia penentu kualitatif atau semi kuantitatif (menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), struktur kristal, dan orientasi kristal (menggunakan *Electron Back Scatter Diffraction* (EBSD)). SEM digunakan untuk menghasilkan gambar resolusi tinggi dari bentuk objek.

SEM adalah jenis mikroskop elektron yang memotret sampel dengan memindainya dengan berkas elektron berenergi tinggi dalam pola pemindaian raster. Elektron berinteraksi dengan atom yang membentuk sinyal yang menghasilkan sampel yang mengandung informasi tentang topografi permukaan sampel. Akumulasi muatan listrik pada permukaan spesimen nonmetalik dapat dihindari dengan menggunakan SEM lingkungan di mana spesimen ditempatkan dalam ruang internal pada tekanan yang lebih tinggi dari pada vakum di kolom optik elektron.

*Output* dari *detector* ditampilkan pada layar monitor untuk membentuk gambar yang sesuai dengan raster kecil dan informasi yang berasal dari permukaan spesimen. Pengamatan sampel dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui ukuran diameter pada nanopartikel alumina. (Patel, 2015)

## 2.4 *Software Image J*

Perangkat lunak yang merupakan aplikasi yang berguna sebagai pengolahan data dalam pengukuran secara digital dengan menampilkan beberapa fitur pengukuran material. Data digital hasil karakterisasi menggunakan SEM / TEM dapat diolah lebih lanjut sehingga didapat distribusi ukuran partikelnya melalui sarana media pengolah data digital.

*Image-J* adalah perangkat untuk pengolahan gambar digital berbasis Java yang dibuat oleh Wayne Rasband dari *Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA*. Penggunaan *ImageJ* dalam analisis gambar digital telah digunakan secara luas dalam bidang kesehatan dan biologi. (Kurniawan, dkk., 2011).

## 2.5 **Metode Taguchi**

Metode taguchi adalah sebuah metode statistik yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk bersamaan dengan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini berusaha mencapai sasaran dengan menjadikan produk sebagai proses terhadap berbagai faktor seperti material, tenaga kerja, dan kondisi produksi operasional dengan menjadikan produk atau proses yang sifatnya kokoh terhadap gangguan, metode ini juga disebut *robust design* (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi mempermudah kita untuk mengolah data secara statistik untuk memperoleh kestabilan data sesuai kebutuhan penelitian. Adapun beberapa tahapan dalam menyusun pengolahan data sesuai Metode Taguchi yaitu sebagai berikut:

### 2.5.1 Tahapan Perancangan *Eksperimen*

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

### 2.5.2 Tahap Pelaksanaan *Eksperimen*

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

a) Penentuan Variabel Terikat

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

b) Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Variabel yang perubahannya tidak tergantung dengan variabel lain. Pada tahapan ini akan dipilih faktor-faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabeltak bebas yang bersangkutan pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor yang diamati terbagi menjadi dua yaitu faktor kontrol dan faktor gangguan. Dengan penentuan faktor yang dapat dikendalikan tersebut dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel Faktor Kontrol Taguchi

No	Faktor Kontrol
1	Sudut Injeksi
2	Panjang Api

c) Penentuan Jumlah *Level* dan Nilai *Level* Faktor.

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

Tabel 2.2 Tabel jumlah *level* dan nilai *level* faktor.

Kode	Faktor Kontrol	<i>Level</i> 1	<i>Level</i> 2	<i>Level</i> 3
A	Sudut Injeksi	45°	60°	90°
B	Panjang Api	2,21 cm	4,28 cm	3,91 cm

d) Perhitungan Derajad Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum *eksperimen* yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati, sebagai contoh sebagai berikut:

- Faktor A sudut injeksi = 3 *level*
- Faktor B Panjang api = 3 *level*

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

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

e) Pemilihan *Matriks Orthogonal*

Dalam memilih *matriks orthogonal* yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaandari *matriks orthogonal* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah *level* dan jumlah penguatanyang dilakukan. Berikut adalah bentuk umum dari model *matriks orthogonal*:

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

Dengan :

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyak baris/*eksperimen*

b = banyak *level*

c = banyak kolom

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

Tabel 2.3 Tabel *Matriks Orthogonal 3 Level*

<i>Matriks Orthogonal 3 Level</i>				
L9(3 <sup>4</sup> )	L27(3 <sup>13</sup> )	L81(3 <sup>40</sup> )	-	-

## f) Ortogonalitas

Dasar untuk mendesain *eksperimen* dengan menggunakan metodologi Taguchi adalah *matriks orthogonal*. Arti dari *orthogonal* yaitu keseimbangan yang tidak bercampur. Berikut adalah contoh *matriks orthogonal 3 level* yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 2.4 contoh *matriks orthogonal* untuk  $L_{27}(3^{13})$ 

<i>Matriks Orthogonal</i> $L_{27}(3^{13})$		
<i>Eksperimen</i>	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



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini Serbuk Aluminium kemurnian sebesar 92,5% dibakar dengan api bersuhu 9700°C-16400°C. (Signh, dkk., 2016) dengan takaran sebesar 5 gram menggunakan metode *DC Thermal Plasma*. Serbuk yang sudah di timbang dengan timbangan digital akan diinjeksikan melalui 3 arah injeksi yang berbeda yaitu arah injeksi 45°, 60° dan 90° dari arah api dengan panjang api yang berbeda pula yaitu 2,31 cm, 3,87 cm dan 4,28 cm, serbuk tersebut dibakar secara bergantian dengan sesuai pengambilan data menggunakan metode taguchi yaitu  $L_{27}(3^{13})$ . Pembakaran dilakukan selama 15 detik sekaligus pengumpulan serbuk selama 3 menit. Setelah proses pembakaran dan pengumpulan serbuk sudah dilakukan maka langkah terakhir yaitu penimbangan massa kembali menggunakan timbangan digital.

#### 3.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember dan Laboratorium Uji Material Universitas Negeri Malang.

#### 3.3. Alat dan Bahan

##### 3.3.1 Alat

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

- 1) Mesin *DC Plasma 70 Ampere*.
- 2) *Reactor DC thermal plasma*.
- 3) Kompresor.
- 4) Pengatur Gas *flow meter*.
- 5) Tabung ukur.
- 6) Radiator.
- 7) Pompa air.
- 8) Wadah *sample*.
- 9) Timbangan digital.

- 10) Alat pengamatan SEM.
- 11) Wadah sample
- 12) *Vacuum Pump*
- 13) Wadah injeksi material
- 14) Alat pengukuran SEM
- 15) *Pressure Gauge*

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah serbuk aluminium kemurnian 92,5 %.

## 3.4 Variabel penelitian

### 3.4.1 Variabel Bebas

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

- 1) Sudut injeksi
- 2) Panjang api

### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain yaitu disebut juga variabel respon. Variabel terikat berhubungan dengan variabel bebas (masalah yang diteliti). Variabel terikat pada penelitian ini adalah :

- 1) Mesin *DC Thermal Plasma*
- 2) Material Aluminium kemurnian 92,5%.

### 3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel yang dibuat konstan atau tetap. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu :

- 1) Tekanan kompresor udara 2 bar.
- 2) Waktu proses pembakaran selama 15 detik



### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam pembuatan nanopartikel alumina adalah sebagai berikut :

- 1) Mengatur panjang api 2,31 cm, 3,87 cm dan 4,28 cm.



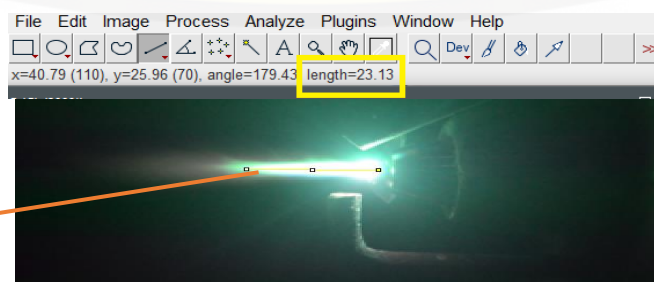
Gambar 3.1 pengaturan parameter panjang api

- 2) Memasukkan serbuk aluminium ke dalam wadah injeksi material yang telah tersambung dengan selang prekursor yang sudah tersedia baik sudut  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $90^\circ$  pada mesin *DC thermal plasma*.
- 3) Membuka keran kompresor dan nyalakan api plasma.

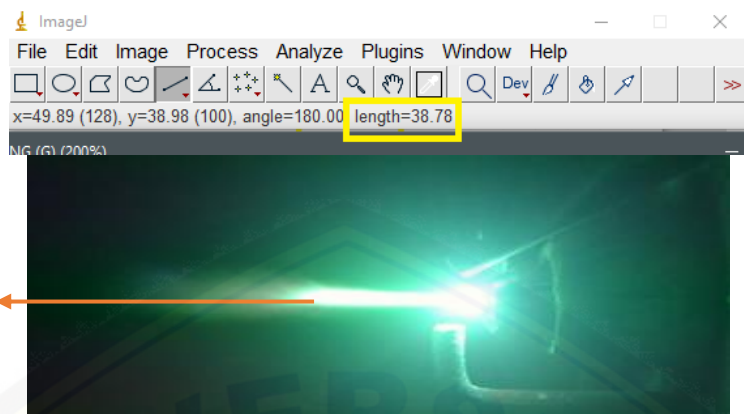


Gambar 3.3 membuka kran kompresor dan obor plasma

- 4) Lakukan pengulangan pengujian dengan 3 variasi panjang api (2,31 cm, 3,87 cm dan 4,28 cm).

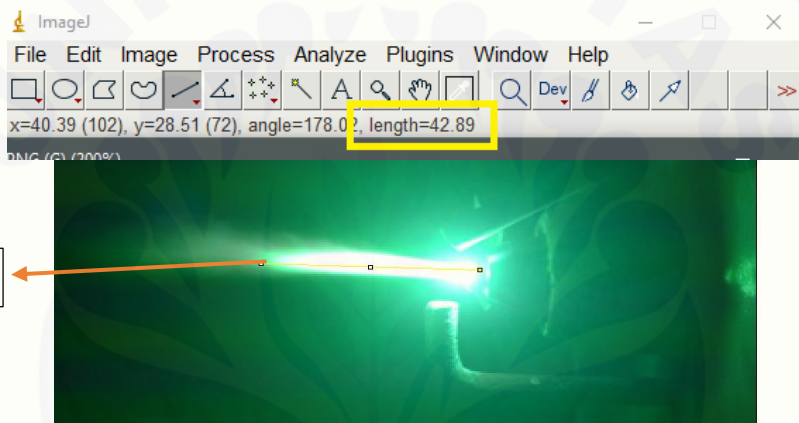


Gambar 3.4 Panjang nyala api 2,31 cm pada arus 50 A



Nyala api plasma kontinyu

Gambar 3.5 Panjang nyala api 3,87 cm pada arus 60 A



Nyala api plasma kontinyu

Gambar 3.6 Panjang nyala api 4,28 cm pada arus 70 A

5) Mematikan mesin dan menutup keran kompresor kemudian mengumpulkan *sample*.



Mengecilkan ampere dengan memutar potensiometer searah CCW

Mematikan tekanan udara

Gambar 3.7 Proses mematikan mesin DC dan menutup kran kompresor

- 6) Mengambil *sample* pada wadah penyaring dan meletakkan ke dalam wadah *sample*.



Gambar 3.8 Proses pembukaan saringan nano dan kolektif serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$

- 7) Lakukan pengujian *SEM*

### 3.6 Tahap Perencanaan *Eksperimen* dengan Metode Taguchi

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, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan dan pemilihan *matriks orthogonal*.

#### 3.6.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang tersebut diatas, maka pokok dari permasalahan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut: “pengaruh parameter sudut injeksi dan panjang api terhadap produktivitas mesin *DC Thermal Plasma* dalam pembentukan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ”.

#### 3.6.2 Tujuan *Eksperimen*

Tujuan dari penelitian saya adalah mengetahui parameter yang paling efisien dari penggunaan sudut injeksi  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $90^\circ$  dan panjang api (2,31 cm, 3,87 cm dan 4,28 cm).

### 3.7 Penentuan Variabel Penelitian

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

#### 3.7.1 Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Variasi penggunaan tekanan udara 2 Bar.
2. Waktu proses pembakaran selama 15 detik
3. Waktu kolekting serbuk selama 3 menit.

#### 3.7.2 Variabel Bebas

Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penggunaan faktor:

1. sudut injeksi 45°,60° dan 90°.
2. Panjang api yaitu 2,31 cm, 2,31 cm dan 4,28 cm.

#### 3.7.3 Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

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

Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian

No	Faktor Kontrol
1	Panjang api
2	Sudut injeksi

#### 3.7.4 Penentuan Jumlah *Level* dan Nilai *Level* Faktor

Penentuan jumlah *level* dan nilai *level* adalah penentuan yang menjelaskan bagaimana faktor tersebut dilakukan pengujian sesuai dengan banyaknya penelitian yang akandilakukan, semakin banyak *level* yang akan diujikan makan semakin banyak pula biaya yang akan tanggung. Banyaknya jumlah *level* dan nilai *level*



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

Tabel 3.2 Penentuan jumlah *level* dan nilai *level* faktor

Kode	Faktor Kontrol	<i>Level</i> 1	<i>Level</i> 2	<i>Level</i> 3
A	Sudut Injeksi	45°	60°	90°
B	Panjang Api	2,31 cm	3,87 cm	4,28 cm

### 3.7.5 Perhitungan Derajat Kebebasan

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

Perhitungan derajat kebebasan dan kombinasi yang diusulkan nantinya akan mempengaruhi pemilihan dalam tabel *matriks orthogonal* yang telah dijelaskan sebelumnya. Terdapat 2 faktor dan tiga *level* dalam penelitian ini.

Tabel 3.3 Perhitungan Derajat Kebebasan Total

Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	(3-1)	2
B	(3-1)	2
Total derajat kebebasan		4

Perhitungan derajat kebebasan pada penelitian ini, diperoleh  $Vfl = 4$  derajat kebebasan, dan masing-masing faktor mempunyai 3 *level*. Dengan begitu maka *matriks orthogonal* yang dipilih adalah yang memiliki derajat kebebasan sama atau lebih besar dengan pilihan *matriks orthogonal* sebagai berikut:

$$L9(3^4) = 4 \times (3-1) = 8 \text{ Derajat kebebasan}$$

$$L27(3^{13}) = 13 \times (3-1) = 26 \text{ Derajat kebebasan}$$

Pada perhitungan total derajat kebebasan dalam *eksperimen* = 8 derajat kebebasan, oleh karena itu matriks *orthogonal* yang dipilih adalah  $L27 = (3^{13})$ .

### 3.7.6 Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi Kedalam *Matriks Orthogonal*

Tabel 3.4 *Matriks Orthogonal*  $L_{27}(3^{13})$ 

<i>Matriks Orthogonal</i> $L_{27}(3^{13})$		
<i>Eksperimen</i>	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

### 3.8 Tahap Pelaksanaan *Eksperimen*

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



Tabel 3.5 Perhitungan Derajat Kebebasan Total

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Sudut Injeksi	45°	60°	90°
B	Panjang Api	2,31 cm	3,87 cm	4,28 cm

Tabel 3.6 Data Percobaan

Eks.	Faktor		Serbuk Awal (g)	Serbuk Akhir (g)
	Sudut Injeksi (°)	Panjang Api (cm)		
1	45°	2,31		
2	45°	2,31		
3	45°	2,31		
4	45°	3,87		
5	45°	3,87		
6	45°	3,87		
7	45°	4,28		
8	45°	4,28		
9	45°	4,28		
10	60°	2,31		
11	60°	2,31		
12	60°	2,31		
13	60°	3,87		
14	60°	3,87		
15	60°	3,87		
16	60°	4,28		
17	60°	4,28		
18	60°	4,28		
19	90°	2,31		
20	90°	2,31		
21	90°	2,31		
22	90°	3,87		
23	90°	3,87		
24	90°	3,87		
25	90°	4,28		
26	90°	4,28		
27	90°	4,28		

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

### 3.9 Tahap Analisis

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

Untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang signifikan dan berpengaruh dalam terhadap produktivitas mesin *DC Thermal Plasma* diperlukan analisa dan pengolahan data *eksperimen* dengan menggunakan perhitungan nilai means dan ditransformasikan ke bentuk S/N Rasio dalam table Anova. Berikut adalah tahapan Analisa dalam metode Taguchi:

#### a. ANOVA

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

b. Uji Distribusi F

Uji distribusi F merupakan uji yang digunakan untuk hasil analisis varian yang tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan. Uji 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. Berikut adalah rumusan yang digunakan pada uji distribusi F:

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

Nilai  $F_{\text{sumber}}$  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 suatu percobaan adalah:

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

$H_a$  : ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu  $\mu_1$  yang tidak sama

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

1) Rasio S/N

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

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

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

## 2) Interpretasi hasil

Dalam tahapan ini hasil yang sudah didapatkan maka akan dilakukan analisa hasil menggunakan perhitungan jumlah kuadrat (ST), S terhadap rata-rata ( $S_n$ ), SRes faktor atau *error* (Se). Interpretasi hasil yang dilakukan adalah persen kontribusi.

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

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

dengan:

SA' = jumlah kuadrat seluruhnya dari faktor A

SA = jumlah kuadrat dari deviasi dari target

$v_A$  = derajat kebebasan A

Ve = varian ( $\sigma^2$ )

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

$$\rho_A = \frac{SA'}{ST} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan:

$\rho_A$  = rho rasio faktor A

SA' = Jumlah kuadrat seluruhnya dari faktor A

ST = Jumlah kuadrat total

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

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

Setelah 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 orthogonal* hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Berikut ini adalah rumus perhitungannya:

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

dimana:

$$\eta = \text{rata-rata nilai } optimum$$

$$\text{nilai faktor} = \text{jumlah nilai faktor}$$

#### 3.10 Pengamatan sampel

Pengamatan sampel dilakukan untuk mengetahui berapa besar partikel yang terbentuk

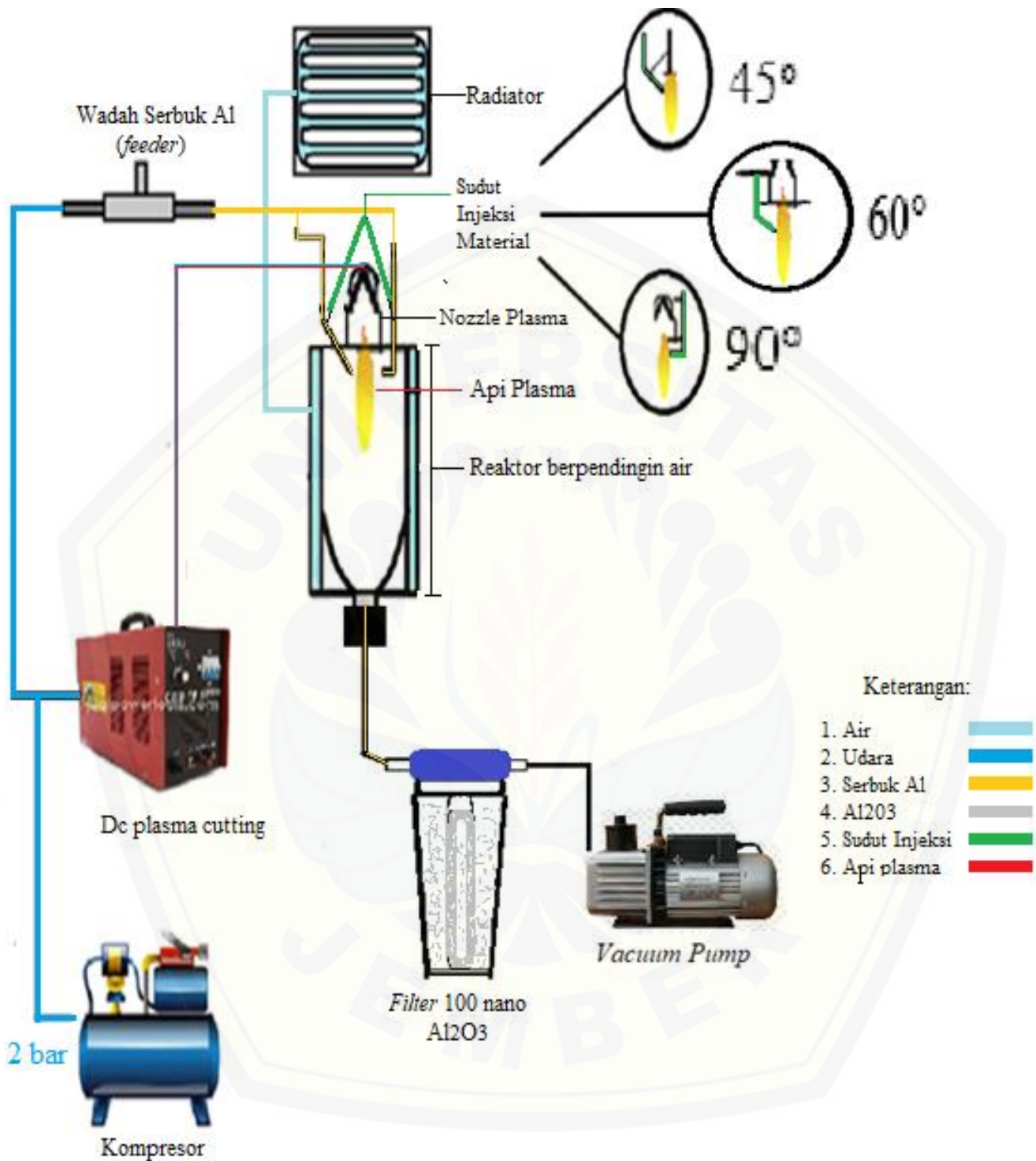
##### a. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Pengamatan sampel dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui ukuran diameter pada nanopartikel alumina. Pengamatan menggunakan SEM dilakukan di Universitas Negeri Malang.

#### 3.11 Hipotesa

Berdasarkan kajian pustaka di atas, maka hipotesa yang dapat diambil yaitu kuantitas pembuatan nano partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dipengaruhi oleh parameter sudut injeksi dan panjang api. Semakin besar sudut injeksi maka kuantitas serbuk yang diperoleh semakin sedikit dan semakin tinggi panjang api maka kuantitas serbuk nano partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  semakin banyak begitu juga sebaliknya.



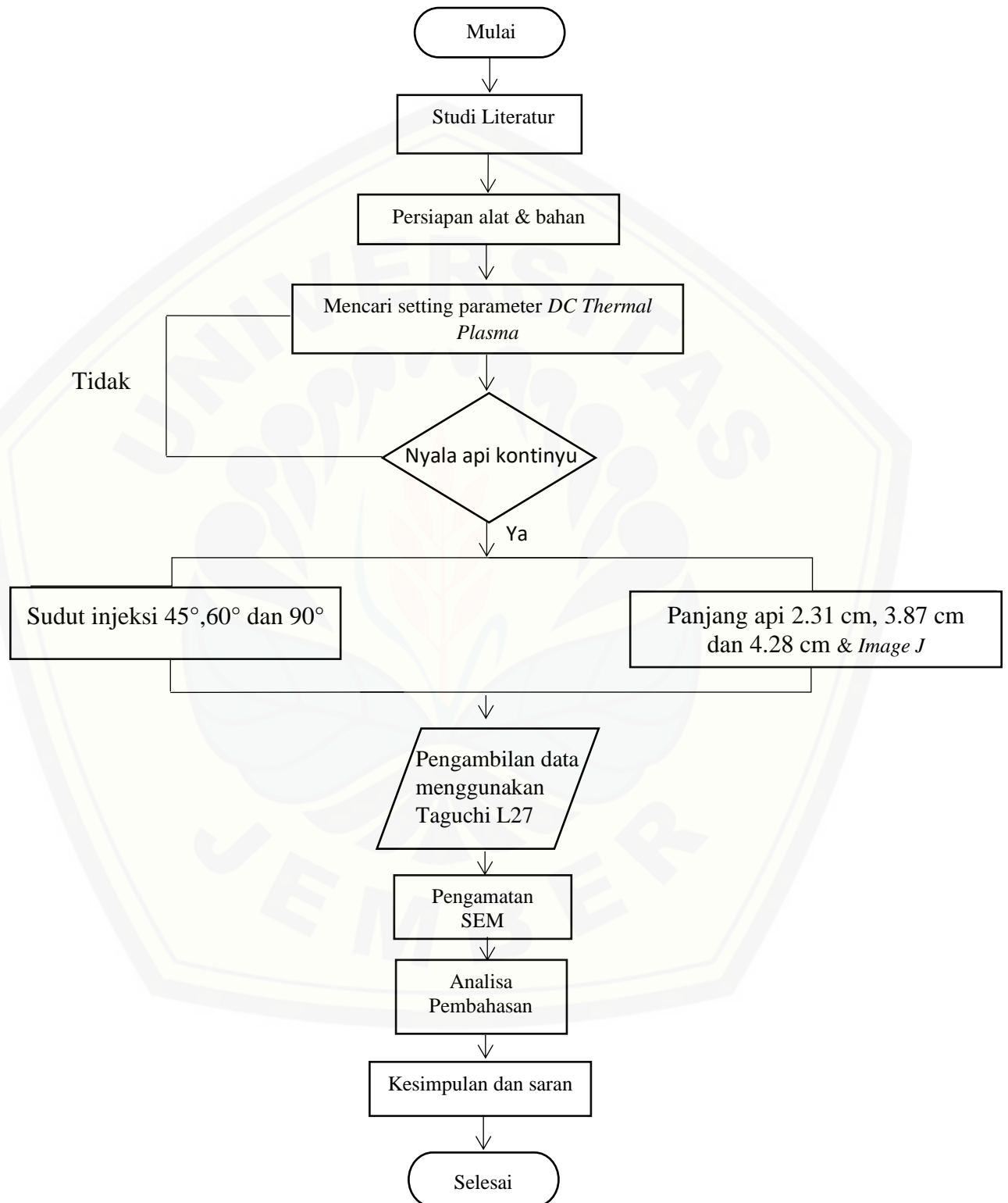


Gambar 3. 1 Skema mesin DC thermal plasma



## b. Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flowchart* pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Prosedur penelitian *Flowchart* Penelitian.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Hasil percobaan, proses optimasi dan sudut injeksi hasil menunjukkan bahwa dari penelitian yang berjudul “Pengaruh Panjang Api dan Sudut Injeksi Terhadap Produktivitas Mesin *DC Thermal Plasma* dalam Pembuatan Nanopartikel Alumina” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a) Parameter sudut injeksi memberi kontribusi sebesar 37% dari 100%. Parameter sudut injeksi yang paling signifikan adalah sudut injeksi 45° dengan kuantitas rata-rata serbuk yang dihasilkan yaitu 3,56 gram. Parameter sudut injeksi 45° signifikan dalam membentuk nanopartikel alumina karena sudut injeksi tersebut paling searah dengan nyala api.
- b) Parameter panjang api memberi kontribusi parameter sebesar 4,2% dari 100%, hal tersebut berarti seberapa panjang nyala api plasma yang digunakan, nanopartikel akan tetap terbentuk karena suhu dari api plasma yang tinggi mencapai 9700°C- 16400°C sudah mampu menguapkan serbuk aluminium yang memiliki titik uap 2500°C.
- c) *Setting* parameter yang optimum adalah menggunakan sudut injeksi serbuk aluminium 45°. Tekanan udara kompresor yang digunakan sebesar 2 bar.

### 5.2. Saran

- 1) Sistem injeksi serbuk yang digunakan memiliki kekurangan yaitu terdapatnya sisa serbuk sebanyak  $\pm 2$  gram pada *feeder* saat proses injeksi serbuk berlangsung, sehingga peneliti menyarankan untuk mengganti sistem injeksi serbuk dengan metode material *handling screwconveyor*.
- 2) Kompresor yang digunakan untuk mendorong serbuk juga digunakan untuk menyalakan api plasma sehingga tekanan injeksi serbuk tidak dapat divariasikan, oleh sebab itu peneliti menyarankan supaya memberi tekanan kompresor yang berbeda dengan tekanan kompresor yang digunakan untuk menyalakan api plasma.

- 3) Suhu api plasma pada penelitian ini tidak dapat diukur menggunakan *thermocouple* yang dikomersialkan secara massal, sehingga disarankan untuk mengukur suhu api plasma berdasarkan warna api menggunakan *spectrum* warna nyala api, supaya perbedaan suhu plasma dapat di analisa.
- 4) Variasi sudut injeksi yang paling optimal dalam pembuatan serbuk nano partikel pada penelitian ini adalah sudut injeksi  $45^\circ$ , tetapi peneliti memberi saran untuk melakukan penelitian kedepannya menggunakan sudut injeksi  $0^\circ$  atau searah busur api, supaya lama waktu tinggal serbuk dalam api plasma bertambah sehingga kuantitas serbuk yang dihasilkan semakin banyak.
- 5) Menimbang berat *filter* sebelum dan sesudah proses kolekting serbuk, hal tersebut disarankan supaya data pengukuran kuantitas massa serbuk dapat diperoleh secara akurat.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Armarego dan Wilfred, L. F., 2017. *Purification of Laboratory Chemicals (Eighth Edition). Chapter 7 - Nanopartikel and Nanotechnology*: Elsevier, Inc.
- Ghosh, S. dan RUJ, B., 2014. *Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste*. Thermal engineering department, CSIR-Central Mechanical Engineering Research Institute, Durgapus, India: Elsevier, Inc.
- Gomez, E., Boccacini, R., Cheesman, C. R., Deegan, D., Rani, D. A. dan Wise, M. A. 2008. *Thermal plasma technology for treatment of wastes*. Department of materials, imperial college. London: Elsevier, Inc.
- Hayashi, Y., Inoue, M., Suganuma, M., dan Takizawa, H., 2008. *Chapter 6 Nanoparticle Fabrication*. Japan: Springer Science & Business Media, LLC.
- Hong, B. G. dan Jun, H. S., 2012. *Thermal Plasma Synthesis of Nano-Sized Powders*. Korea: MDPI
- Julianto, B. dan Supriyadi, 2013. *Pengaruh Suhu Terhadap Hambatan Rangkaian Listrik*. Semarang: 201-204
- Kim, T., H., Marthen, K., Park, D. W. dan Seon, H., 2016. *Synthesis of CeO<sub>2</sub> nanocrystalline powders using DC non-transferred thermal plasma at atmospheric pressure*. Korea: Elsevier, Inc.
- Krasimir, V. dan Ramiasa, M. M., 2016. Plasma Nanoengineering and Nanofabrication. School of Engineering. *Journal of nanomaterials*, Australia: MDPI.
- Kurniawan, C., Sabeyan, P. dan Waluyu, T. B., 2011. *Analisis ukuran partikel menggunakan free software image-j*. Serpong: LIPI.
- Kvande, H. 2011. *Fundamentals of aluminium metallurgy Production of primary aluminium*. Qatar: Elsevier, Inc.
- Lemloh, M., L., Verch, A. dan Weiss, I. M., 2017. *Aqueous ball milling of nacre constituents facilitates directional self gastropod*. *Haliotis glabra*. Netherland: Soc. Interface.
- Nurdiansyah, H. dan Yunus, S., 2017. *Pengaruh Laju Aliran Serbuk Aluminium pada Proses Thermal Plasma terhadap Ukuran Nanopartikel Alumina*. Skripsi. Jember: Repository Unej.
- Paresh, 2018. *Characterization Tools and Techniques for Nanopartikel*. Laxminarayan Institute of Technology, Rashtrasant Tukadoji Maharaj Nagpur University, Nagpur, India: Elsevier, Inc.

- Patel, H dan Vashi, R. T., 2015. *Characterization and Treatment of Textile Wastewater*. London: Elsevier, Inc.
- Primer. 2015. Light and Color. <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/colortemperatureintro.html>. [Diakses pada 21 Juli 2019]
- Regunadhan, A., Karallikar, L. dan Thomas, S., 2018. *Mechanical property analysis of nanopartikels*. Characteristic of nanomaterial. Editor Mahatma. India: Elsevier, Inc.
- Roque, R. R. H. dan López, R. S. Y., 2016. Synthesis of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanopowders at Low Temperature from Aluminum Formate by Combustion Process. *Journal of Material Sciences & Engineering*.
- Sahid, A., 2017. Perbedaan Laju Aliran Massa dan Laju Aliran Volume. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya: ITS Repository.
- Shigeta, M., dan Murphy, A. B., 2011. Thermal plasmas for nanofabrication, *Journal of physics d: applied physics*. 44(2011). pp16.
- Signh, R. 2016. *Applied Welding Engineering*. London: Elsevier. Inc.
- Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Klaten: Graha Ilmu.
- Suresh, K., Mohai, I. dan Selvarajan, V., 2018. Synthesis and characterization of iron aluminide nanoparticles by DC thermal plasma jet. *Journal of Physics*. 82(2008): 482-490
- Xiong, H. B., Shao, X., Zhang, C. dan Zhang, K., 2016. Effects of Atomization Injection on Nanoparticle Processing in Suspension Plasma Spray. *Journal of nanomaterial*. 6(94): 1-16
- Zainudin, D. W. Sayoga dan I. M. Nuarsa. 2012). Analisa Pengaruh Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. *Journal losses pada instalasi pipa*.



## LAMPIRAN

## Lampiran 6.1 Hasil Data Pengujian

Tabel Hasil Pengambilan Massa Serbuk

Eks.	Faktor		Serbuk Awal (g)	Serbuk Akhir (g)
	Sudut Injeksi (°)	Panjang Api (cm)		
1	45°	2,31	5	4,49
2	45°	2,31	5	4,88
3	45°	2,31	5	4,66
4	45°	3,87	5	2,24
5	45°	3,87	5	3,79
6	45°	3,87	5	2,16
7	45°	4,28	5	2,71
8	45°	4,28	5	3,54
9	45°	4,28	5	3,54
10	60°	2,31	5	3,93
11	60°	2,31	5	4,28
12	60°	2,31	5	3,95
13	60°	3,87	5	4,22
14	60°	3,87	5	3,30
15	60°	3,87	5	2,68
16	60°	4,28	5	3,64
17	60°	4,28	5	4,05
18	60°	4,28	5	1,93
19	90°	2,31	5	1,77
20	90°	2,31	5	2,75
21	90°	2,31	5	1,60
22	90°	3,87	5	1,22
23	90°	3,87	5	2,62
24	90°	3,87	5	1,90
25	90°	4,28	5	2,90
26	90°	4,28	5	2,57
27	90°	4,28	5	2,18



**Lampiran 6.2 Perhitungan Rata-Rata Setiap Parameter**

$$\bar{x} = \frac{13,04 + 13,76 + 13,25 + 7,00 + 11,57 + 6,68 + 8,65 + 10,98 + 10,98}{9}$$

$$= 10,65$$

$$\bar{x} = \frac{11,88 + 10,39 + 11,93 + 12,50 + 10,35 + 8,56 + 11,23 + 12,14 + 5,71}{9}$$

$$= 10,52$$

$$\bar{x} = \frac{4,96 + 8,78 + 4,08 + 1,72 + 8,36 + 5,57 + 9,24 + 8,19 + 6,76}{9}$$

$$= 6,40$$

$$\bar{x} = \frac{13,04 + 13,76 + 13,25 + 11,88 + 10,39 + 11,93 + 4,96 + 8,78 + 4,08}{9}$$

$$= 10,23$$

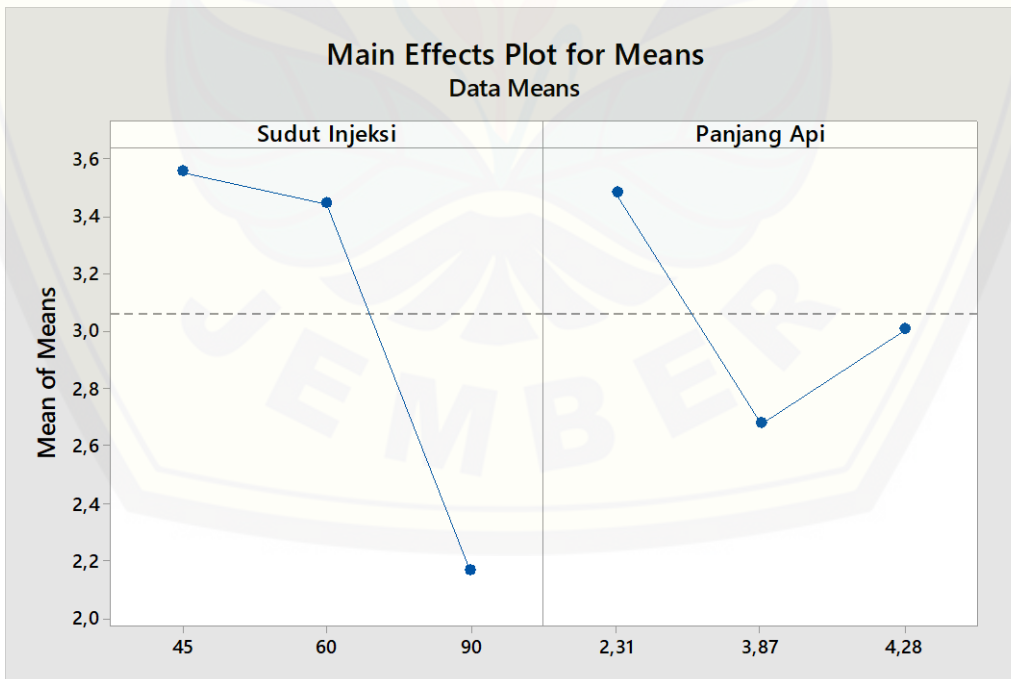
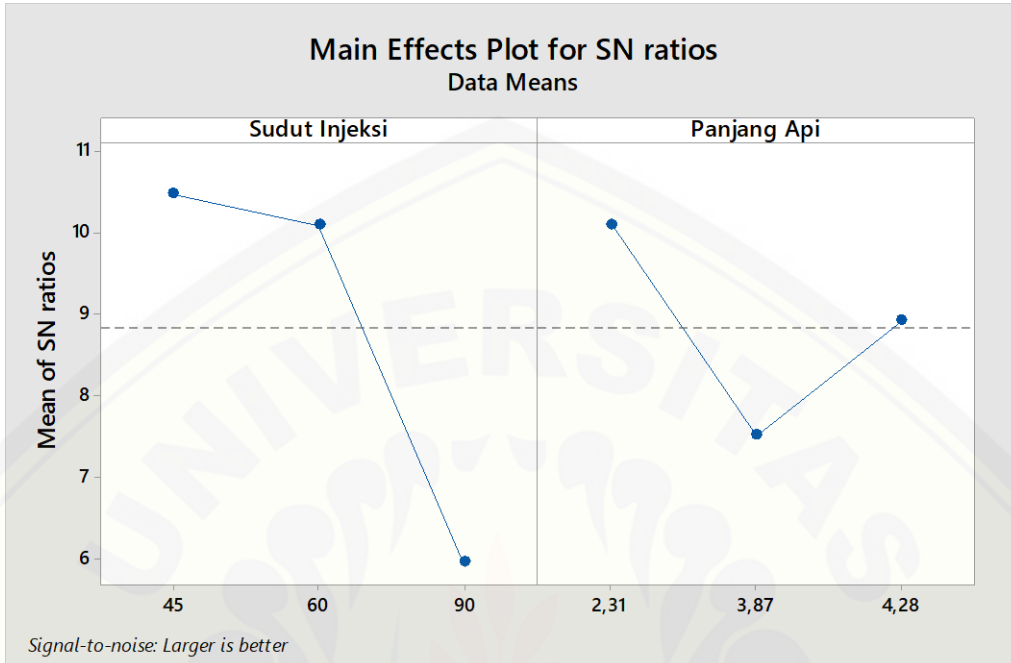
$$\bar{x} = \frac{7,00 + 11,57 + 6,68 + 12,50 + 10,35 + 8,56 + 1,72 + 8,36 + 5,57}{9}$$

$$= 8,03$$

$$\bar{x} = \frac{8,65 + 10,98 + 10,98 + 11,23 + 12,14 + 5,71 + 9,24 + 8,19 + 6,76}{9}$$

$$= 9,32$$

Lampiran 6.3 Diagram Rata-Rata Setiap Parameter



Lampiran 6.4 Tabel Statistik F 0,05

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

Sumber: Jonathan Sarwono book Regresi page 2

**Lampiran 6.5 Komponen Alat dan Bahan**



Gambar Mesin *DC Thermal Plasma*



Gambar *Feeder material*



Gambar *Vacuum Pump*





Gambar sistem pendingin tabung reaktor



Gambar Kompresor udara



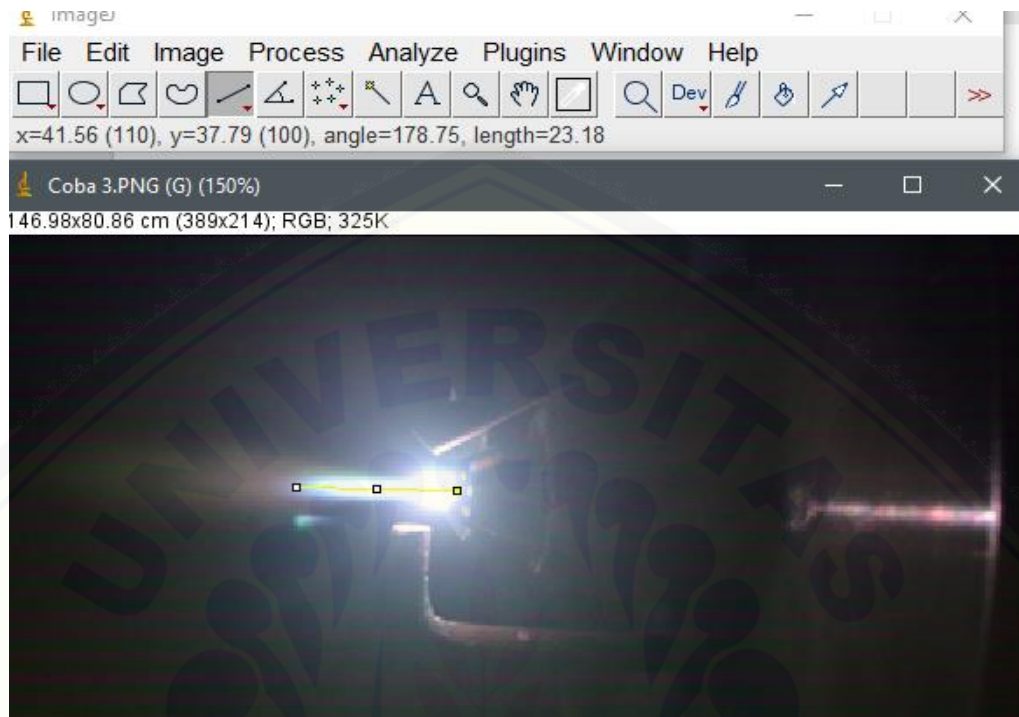
Gambar *Filter* 100 nano



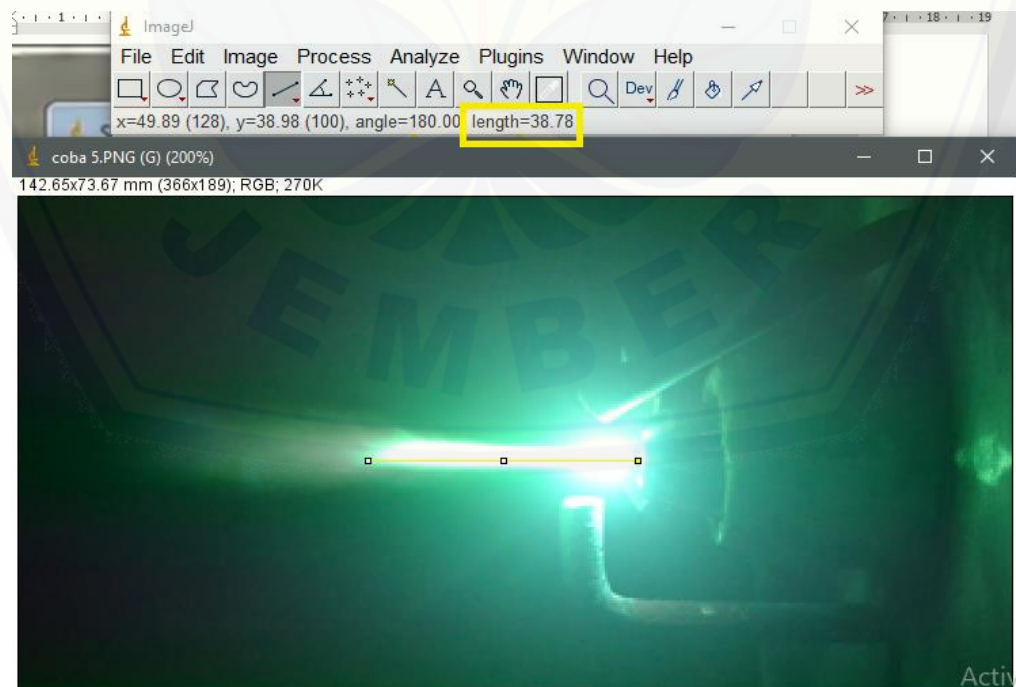


Gambar Aluminium powder

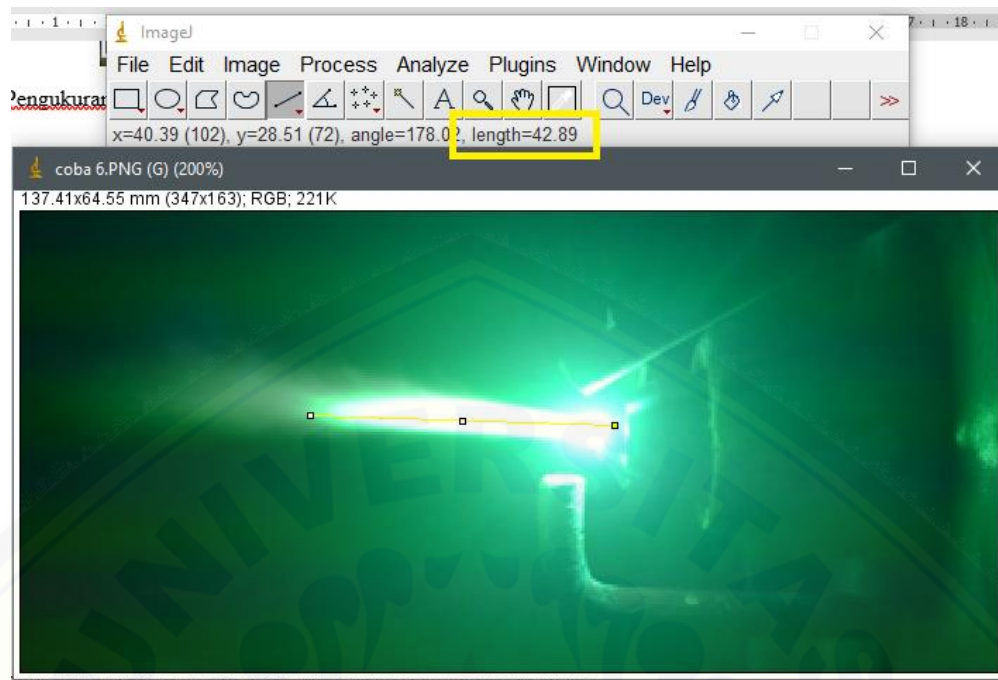
### Lampiran 6.6 Panjang Nyala Api Plasma



Pengukuran menggunakan software *Image J* panjang api 2,31 cm

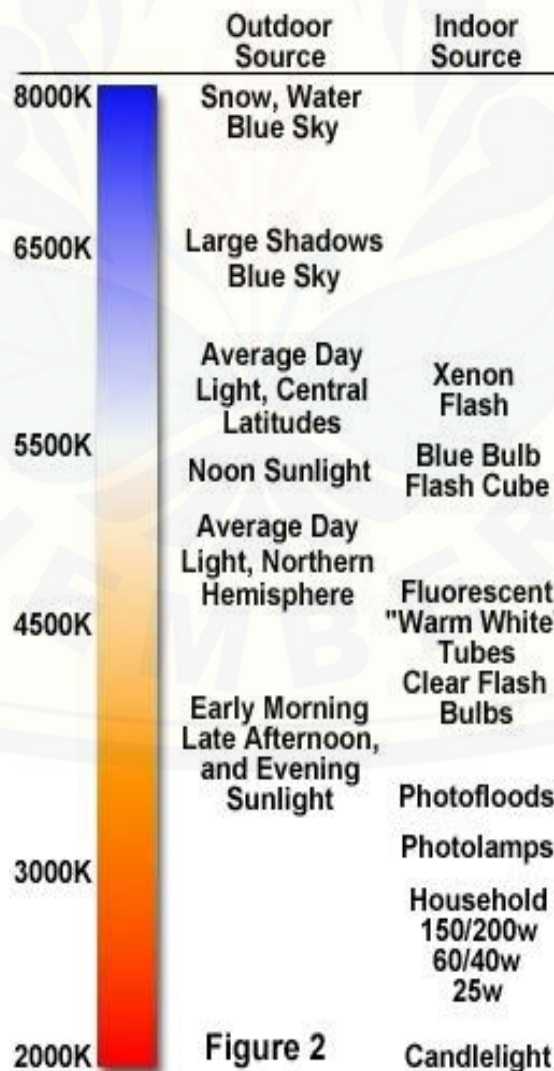
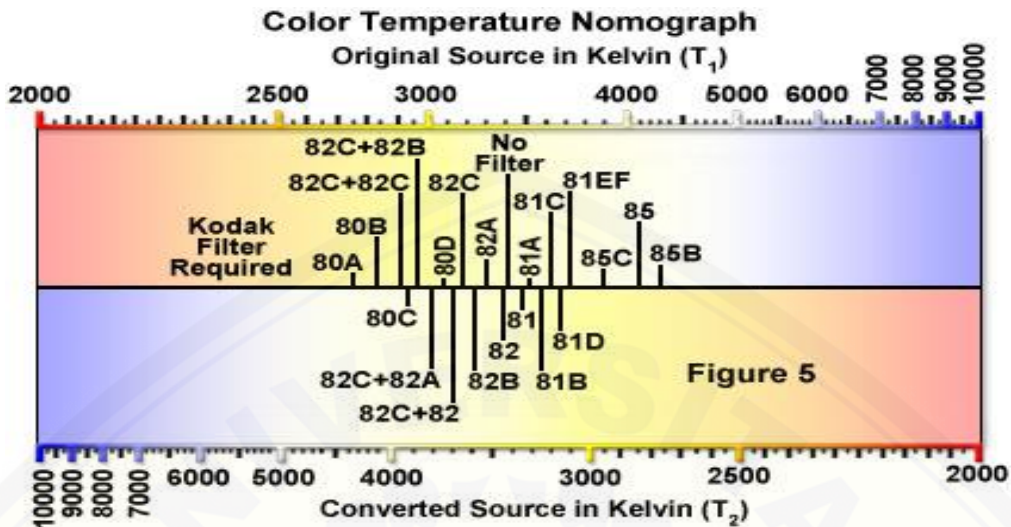


Pengukuran menggunakan software *Image J* panjang api 3,87 cm

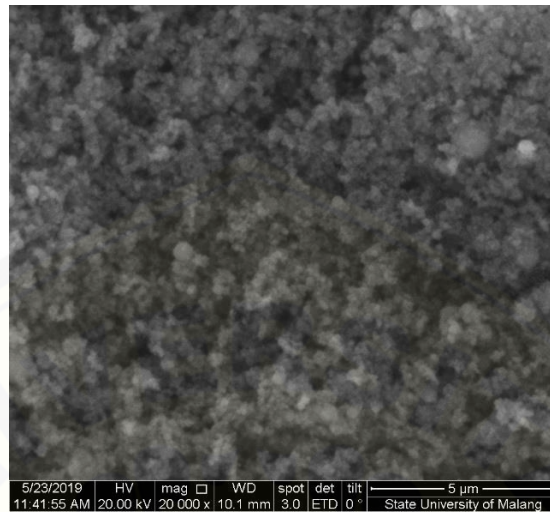


Pengukuran menggunakan software *Image J* panjang api 4,28 cm

Lampiran 6.7 Suhu Api Berdasarkan Warna Api.

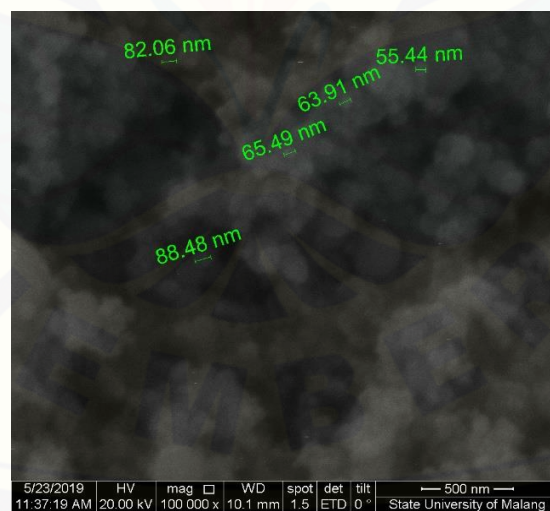




**Lampiran 6.8 Foto Hasil Pengujian SEM**

Gambar 4.1. Foto SEM  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan perbesaran 20.000x.

Gambar tersebut diambil menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dengan perbesaran 20.000x. Menampilkan bentuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang berbentuk bulatan.



Gambar 4.2 Foto SEM  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan perbesaran 100.000x.

Gambar tersebut menunjukkan nano partikel yang terbentuk dengan perbesaran 100.000x dan analisa ukuran terkecilnya yaitu memiliki rentang ukuran 55,44 nm – 88,48 nm.