



**PENGARUH ARUS LISTRIK MESIN PLASMA DAN *POWDER CARRIER*
GAS FLOW RATE TERHADAP KARAKTERISASI PARTIKEL NANO
ALUMINA DENGAN METODE DC PLASMA**

SKRIPSI

Oleh

Vito Mironda

NIM 161910101053

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH ARUS LISTRIK MESIN PLASMA DAN *POWDER*
CARRIER GAS FLOW RATE TERHADAP KARAKTERISASI
PARTIKEL NANO ALUMINA DENGAN METODE DC 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

Vito Mironda

NIM 161910101053

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

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Arus Listrik Mesin Plasma Dan *Powder Carrier Gas Flow Rate* Terhadap Karakterisasi Partikel Nano Alumina Dengan Metode DC 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 Ir. F.X. Kristianta, M.Eng. selaku pembimbing utama dan bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, 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 Dr. Mochammad Asrofi, S.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Dr. Muh. Nurkoyim K., S.T., MT. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
3. Bapak Dr. Ir. 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.

MOTTO

“Tetaplah berbuat baik kepada semua orang dan jangan berharap bahwa
kebaikanmu akan mereka balas”

(Vito Mironda)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vito Mironda

NIM : 161910101053

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Arus Listrik Mesin Plasma Dan *Powder Carrier Gas Flow Rate* Terhadap Karakterisasi Partikel Nano Alumina Dengan Metode DC 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, 14 September 2020
Yang menyatakan,

Vito Mironda
NIM 161910101053

SKRIPSI

**PENGARUH ARUS LISTRIK MESIN PLASMA DAN *POWDER CARRIER*
GAS FLOW RATE TERHADAP KARAKTERISASI PARTIKEL NANO
ALUMINA DENGAN METODE DC PLASMA**

Oleh

Vito Mironda

NIM 161910101053

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

: Ir. F.X. Kristianta, M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota

: Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Arus Listrik Mesin Plasma Dan *Powder Carrier Gas Flow Rate* Terhadap Karakterisasi Partikel Nano Alumina Dengan Metode DC Plasma” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. F.X. Kristianta, M.Eng.

NIP 196501202001121001

Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T

NIP 197510062002121002

Penguji,

Penguji I

Penguji II

Dr. Mochamad Asrofi, S.T.

NIP 760019035

Dr. Muh. Nurkoyim K., S.T., MT.

NIP 196911221997021001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Pengaruh Arus Listrik Mesin Plasma dan *Powder Carrier Gas Flow Rate* terhadap Karakterisasi Partikel Nano Alumina dengan Metode DC Plasma; Vito Mironda, 161910101053; 2020; 46 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan nanoteknologi dalam beberapa dekade terakhir telah menjadi salah satu bidang yang paling diminati dalam dunia ilmu maupun dunia industri. Nanoteknologi adalah bidang yang berkaitan dengan fabrikasi serta pemanfaatan partikel berukuran nanometer. Partikel dikatakan telah berukuran nanometer bila memiliki ukuran berkisar 1-100nm. Salah satu nanopartikel yang telah dikembangkan saat ini adalah nanopartikel alumina (Al_2O_3). Luasnya penelitian tentang alumina disebabkan oleh berbagai aplikasi yang digunakan di banyak bidang dikarenakan alumina memiliki ukuran partikel yang halus, luas permukaan yang tinggi, dan aktivitas permukaan yang tinggi. Alumina terdiri dari delapan polimorf yang berbeda-beda, tujuh diantara adalah alumina fase metastabil (γ , δ , κ , ρ , η , θ , dan χ) dan satu sisanya adalah alumina fase α -alumina yang stabil secara termal.

Salah satu metode yang sering digunakan untuk mensintesis nano alumina yaitu metode DC *thermal plasma*. Metode DC *thermal plasma* memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya yaitu memiliki temperatur yang tinggi, densitas yang tinggi didalam tabung reaktor dan laju pendinginan yang tinggi. Proses sintesis partikel nano alumina dimulai dengan menginjeksikan serbuk alumunium berukuran mikro ke dalam tabung reactor menggunakan kompresor. Serbuk alumunium tersebut terkena api plasma di dalam tabung reaktor yang kemudian meleleh dan terjadi reaksi oksidasi dengan oksigen di dalam reaktor. Tingkat pendinginan yang tinggi pada tabung reaktor mendukung nukleasi homogen yang menghasilkan partikel nano alumina berbentuk *spherical*.

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap karakterisasi partikel nano alumina yang dihasilkan. Parameter yang

diteliti yaitu arus listrik mesin plasma (60 dan 70 *Ampere*) dan *powder carrier gas flow rate* (8 dan 13 liter per menit). Karakterisasi partikel nano alumina dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Hasil analisa menunjukkan bahwa hasil SEM pada variasi 60 A dan 8 lpm memiliki ukuran rata-rata partikel sebesar 0,161 μm . Sedangkan pada variasi 70 A dan 8 lpm ukuran rata-rata partikel yang dihasilkan sebesar 60 nm. Terjadi penurunan ukuran partikel seiring dengan meningkatnya arus listrik plasma yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi arus listrik plasma yang digunakan, maka semakin panjang pula nyala api plasma yang diikuti dengan semakin meningkatnya suhu api plasma. Hasil SEM variasi 70 A dan 13 lpm menghasilkan ukuran rata-rata partikel sebesar 79 nm. Terjadi peningkatan ukuran partikel seiring meningkatnya *powder carrier gas flow rate*. Semakin tinggi *powder carrier gas flow rate* yang digunakan maka akan mengurangi panjang nyala api plasma yang berdampak pada waktu tinggal serbuk pada api yang terlalu singkat. Suhu api plasma juga akan menurun sehingga proses sintesis tidak berjalan dengan baik.

Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa partikel nano alumina yang dihasilkan merupakan fasa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Ukuran rata-rata kristal yang dihitung menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* pada variasi 60 A dan 8 lpm adalah 24 nm, sedangkan pada variasi 70 A dan 13 lpm adalah 23 nm. Struktur kristal $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ berbentuk *cubic* dengan konstanta kisi $a = b = c = 0,793$ nm.

SUMMARY

Effect Of Electric Current Plasma Machine And Powder Carrier Gas Flow Rate On Characterization Of Nano Alumina Particles With DC Plasma Method; Vito Mironda, 161910101053; 2020; 46 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of nanotechnology in the last few decades has become one of the most diminishing fields in both science and industry. Nanotechnology is a field that deals with the fabrication and utilization of nanometer-sized particles. Particles are nanometer-sized if they range in size from 1-100nm. One of the nanoparticles that has been developed at this time is alumina nanoparticles (Al_2O_3). The extensive research on alumina is due to the wide variety of applications used in many fields because alumina has a fine particle size, high surface area and high surface activity. Alumina consists of eight different polymorphs, seven of which are metastable alumina phases (γ , δ , κ , ρ , η , θ , and χ) and the other one is the thermally stable α -alumina alumina phase.

One method that is often used to synthesize nano alumina is DC thermal plasma method. The DC thermal plasma method has advantages over other methods, namely having a high temperature, high density in the reactor tube and a high cooling rate. The synthesis process of alumina nanoparticles begins by injecting micro-sized aluminum powder into the reactor tube using a compressor. The aluminum powder is exposed to a plasma flame in the reactor tube which then melts and an oxidation reaction occurs with oxygen in the reactor. The high cooling rate in the reactor tube supports homogeneous nucleation which produces spherical alumina nanoparticles.

Data processing was carried out to see the effect of the parameters on the characterization of the alumina nanoparticles produced. The parameters studied were the electric current of the plasma engine (60 and 70 Ampere) and the flow rate of the powder carrier gas (8 and 13 liters per minute). The characterization of

alumina nanoparticles was carried out by means of Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) testing.

The analysis showed that the SEM results at variations of 60 A and 8 lpm had an average particle size of 0.161 μm . Whereas in the 70 A and 8 lpm variations, the average size of the particles produced was 60 nm. There is a decrease in particle size as the plasma electric current is used increases. This is because the higher the plasma electric current is used, the longer the plasma flame will be, followed by the increasing of the plasma flame temperature. SEM results with 70 A and 13 lpm variations resulted in an average particle size of 79 nm. There is an increase in the particle size as the powder carrier gas flow rate increases. The higher the powder carrier gas flow rate used, the lower the flame length of the plasma which has an impact on the residence time of the powder in the flame which is too short. The temperature of the plasma flame will also decrease so that the synthesis process does not go well.

The XRD analysis results showed that the nanoparticles produced were in the $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ phase. The average size of the crystals calculated using the Debye-Scherrer equation in the 60 A and 8 lpm variations is 24 nm, while the 70 A and 13 lpm variations are 23 nm. The crystal structure of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ is cubic with a lattice constant $a = b = c = 0.793$ nm.

PRAKATA

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 Rusiyanto dan Sri Estuningsih yang telah memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Untuk kakak-kakak saya Deni Estianto dan Reza Septian yang sangat saya sayangi.
3. Bapak Dr. Ir. 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 Ir. F.X. Kristianta, M.Eng. selaku pembimbing utama dan bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, 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 Sekolah Dasar Negeri Kepanjen 2 Jombang yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Jombang yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Jombang yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua teman-teman tim riset MaGNIFIED yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
10. Semua teman-teman tim DC Thermal Plasma yang telah memberikan segalanya selama riset dan penulisan skripsi.

11. Teman-teman XSCIVE SMADAJOE, khususnya Armanda Beta, Syahrony, Daniel Farikhi, Nazila Banie Assyifa, Aulia Rahmawati, Ade Ana Pratiwi, dan Firdaus Ayu yang telah memberikan dukungan kepada saya dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
12. Teman-teman KKN 94 Sekarputih yang telah memberikan dorongan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
13. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2018/2019 yang telah memberikan saran dan dukungan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.

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

Jember, 14 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	viii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 . PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesa	4
BAB 2 . TINJUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nanoteknologi	5
2.1.1 Klasifikasi Nanomaterial	6
2.2 Bahan Penyusun Nano Alumina (Al₂O₃).....	8
2.2.1 Alumina (Al ₂ O ₃).....	8
2.2.2 Fasa Nano Alumina (Al ₂ O ₃).....	10
2.3 Metode Sintesis Nano Alumina (Al₂O₃).....	12
2.3.1 Fabrikasi Nano Alumina (Al ₂ O ₃)	13
2.3.2 DC Thermal Plasma.....	17
2.4 Karakterisasi Nano Alumina (Al₂O₃).....	19
2.4.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	19

2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	21
2.5 Aplikasi Nanomaterial	22
2.6 Fishbone Diagram.....	25
BAB 3 . METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Metodologi Penelitian.....	26
3.2 Tempat Penelitian.....	26
3.3 Alat dan Bahan	26
3.3.1 Alat	26
3.3.2 Bahan	29
3.4 Tahap Perencanaan Eksperimen	29
3.4.1 Perumusan Masalah.....	29
3.4.2 Tujuan Eksperimen.....	29
3.4.3 Variabel Penelitian	29
3.4.4 Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor.....	30
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.6 Prosedur Pengujian Nano Alumina (Al₂O₃).....	32
3.6.1 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM).....	32
3.6.2 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD).....	32
3.7 Diagram Alir Penelitian	33
BAB 4 . HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Hasil Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	34
4.1.1 Pengaruh Variasi Arus Listrik Plasma.....	34
4.1.2 Pengaruh Variasi <i>Powder Carrier Gas Flow Rate</i>	39
4.2 Hasil Pengamatan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	42
4.2.1 Pengaruh Variasi Arus Listrik Plasma dan <i>Powder Carrier Gas Flow Rate</i>	42
4.2.2 Ukuran Kristal	44
4.2.3 Struktur Kristal	45
BAB 5 . KESIMPULAN	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran	48

DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skala panjang ukuran nanomaterial dibandingkan dengan komponen biologis dan definisi ukuran "nano" dan "mikro"(Buzea, 2007)..... 5

Gambar 2.2 Klasifikasi Nanomaterial Berdasarkan Dimensinya (Buzea dkk., 2007) 7

Gambar 2.3 Serbuk Nano Alumina (Singh, 2016)..... 9

Gambar 2.4 (a) Struktur korundum dalam α -alumina, (b) Tampilan atas struktur korundum, dan (c) struktur oktahedral dari α -alumina (Shirai dkk., 2009)..... 11

Gambar 2.5 Struktur Fasa γ -alumina (Cahyono, 2017) 11

Gambar 2.6 Struktur Fasa δ -alumina (Cahyono, 2017) 12

Gambar 2.7 Sel Satuan Monoklinik θ -alumina (Shang-Di Mo dan W. Y. Ching, 1997) 12

Gambar 2.8 Skema pendekatan *top-down*, *bottom-up* dan *bottom-to-bottom* (Dolez, 2015)..... 13

Gambar 2.9 Skema Fabrikasi Nano-alumina dengan Metode Mechanical Milling (Alagarasi, 2011)..... 14

Gambar 2.10 Skema Fabrikasi Nano-alumina dengan Metode Sol-Gel (Alagarasi, 2011) 15

Gambar 2.11 Ilustrasi Fase Material (Nur, 2011) 16

Gambar 2.12 Skema Fabrikasi Nanoalumina dengan Metode *Thermal Plasma* (Suresh dkk., 2008) 17

Gambar 2.13 Skema DC non-transferred arc plasma torches (Gomez dkk., 2009) 18

Gambar 2.14 Skema DC transferred arc plasma torches (Gomez dkk., 2009) 18

Gambar 2.15 Skema RF *inductively coupled discharges* (Gomez dkk., 2009) 19

Gambar 2.16 Skema Alat SEM (Pratama, 2017) 20

Gambar 2.17 Tabung Sinar-X (Rahman, 2008)..... 21

Gambar 2.18 Difraksi Radiasi Sinar-X dalam Struktur Kristal (Rahman, 2016) . 22

Gambar 2.19 Aplikasi Nanomaterial di Bidang Industri Mobil (Dwandaru, 2012) 23

Gambar 2.20 Aplikasi Nanomaterial Dalam Berbagai Bidang (Riwayati, 2007).	24
Gambar 2.21 Area penampang lapisan semprotan: (a) film menggunakan bubuk alumina mentah dan (b) film menggunakan bubuk alumina dengan metode DC <i>Thermal Plasma</i> (Lee dkk., 2013).....	25
Gambar 2.22 Fishbone Diagram	25
Gambar 3.1 Skema mesin DC <i>Thermal Plasma</i>	31
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian	33
Gambar 4.1 Hasil pengujian SEM variasi arus listrik plasma 60 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 8 lpm	34
Gambar 4.2 Distribusi partikel alumina pada variasi arus listrik plasma 60 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 8 lpm	35
Gambar 4.3 Hasil pengujian SEM variasi arus listrik plasma 70 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 8 lpm	36
Gambar 4.4 Distribusi partikel alumina pada variasi arus listrik plasma 70 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 8 lpm	36
Gambar 4.5 Grafik ukuran partikel pada pengaruh penggunaan arus listrik plasma sebesar 60 A dan 70 A	37
Gambar 4.6 Panjang nyala api plasma pada penggunaan arus listrik plasma a) 60 A dan b) 70 A (Iwanata, 2019).....	38
Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM dengan metode DC thermal plasma; (a) menggunakan arus listrik plasma 45 A dan (b) menggunakan arus listrik plasma 70 A (Suresh dkk., 2008)	39
Gambar 4.8 Hasil pengujian SEM variasi arus listrik plasma 70 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 13 lpm	40
Gambar 4.9 Distribusi partikel alumina pada variasi arus listrik plasma 70 A dan <i>powder carrier gas flow rate</i> 13 lpm	40
Gambar 4.10 Grafik ukuran partikel pada pengaruh penggunaan <i>powder carrier gas flow rate</i> sebesar 8 lpm dan 13 lpm.....	41
Gambar 4.11 Hasil pengujian XRD; (a) menggunakan variasi 70 A dan 13 lpm dan (b) menggunakan variasi 60 A dan 8 lpm	42
Gambar 4.12 Grafik XRD γ -Al ₂ O ₃ (Alviany dkk., 2018).....	43

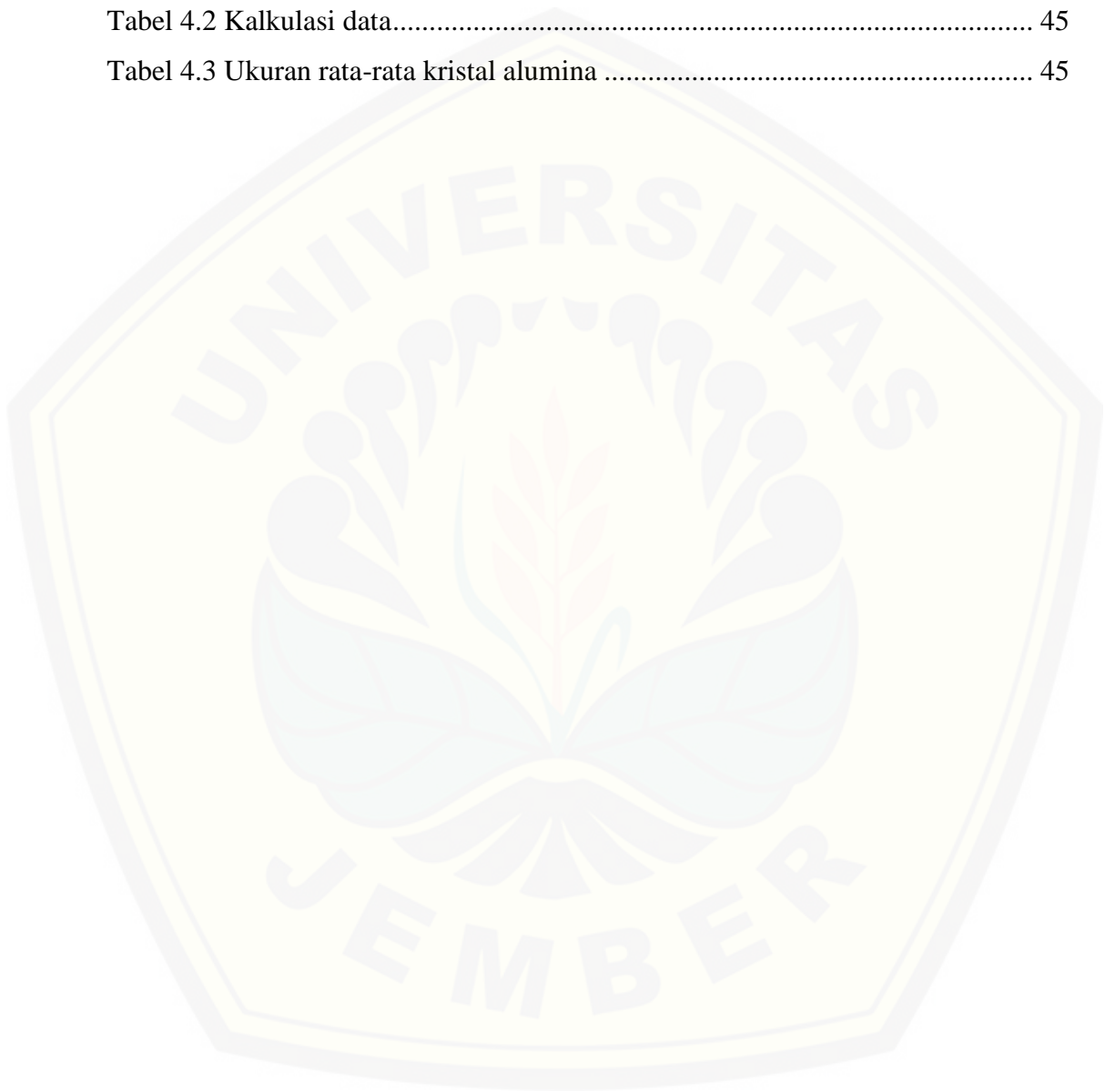
Gambar 4.13 Formasi struktur kristal γ -Al₂O₃ dengan aplikasi VESTA (*Student Version*)..... 46

Gambar 4.14 Struktur γ -Al₂O₃ (Gangwar dkk., 2015)..... 47



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penentuan jumlah level dan nilai faktor.....	30
Tabel 4.1 Perbedaan kandungan γ -Al ₂ O ₃ dan serbuk Al.....	44
Tabel 4.2 Kalkulasi data.....	45
Tabel 4.3 Ukuran rata-rata kristal alumina	45



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan nanoteknologi dalam beberapa dekade terakhir telah menjadi salah satu bidang yang paling diminati dalam dunia ilmu maupun dunia industri. Nanoteknologi adalah bidang yang berkaitan dengan fabrikasi serta pemanfaatan partikel berukuran nanometer. Nanometer (nm) adalah partikel yang memiliki ukuran sepermilyar meter atau 10^{-9} meter (Poole dkk., 2003). Partikel dikatakan telah berukuran nanometer bila memiliki ukuran berkisar 1-100nm. Nanopartikel memiliki banyak manfaat diberbagai bidang, misalnya dibidang industri pembuatan ban yang memanfaatkan sifat partikel karbon yaitu tahan aus. Dibidang kesehatan digunakan sebagai bahan dalam penciptaan alat untuk terapi dan diagnostik serta penggunaan nanopartikel juga dimanfaatkan sebagai perangkat elektronik berbasis semikonduktor (Pokropivny dkk., 2009).

Salah satu nanopartikel yang telah dikembangkan saat ini adalah nanopartikel alumina (Al_2O_3). Luasnya penelitian tentang alumina disebabkan oleh berbagai aplikasi yang digunakan di banyak bidang dikarenakan alumina memiliki ukuran partikel yang halus, luas permukaan yang tinggi, dan aktivitas permukaan yang tinggi. Alumina terdiri dari delapan polimorf yang berbeda-beda, tujuh diantara adalah alumina fase metastabil (γ , δ , κ , ρ , η , θ , dan χ) dan satu sisanya adalah alumina fase α -alumina yang stabil secara termal. Alumina fase metastabil sering diaplikasikan secara luas dalam industri sebagai adsorben, katalis, pelapis, dan abrasif. γ -alumina digunakan sebagai bahan pendukung katalis dalam industri otomotif, sebagai katalis dalam pemurnian minyak bumi, dan lapisan oksida elektrolitik pada aluminium (Kumar dkk., 2008).

Sintesis nano alumina dapat menggunakan berbagai metode, misalnya *thermal evaporation*, metode elektrokimia, metode *ball milling*, *laser ablation* dan metode DC *thermal plasma*. Salah satu metode yang sering digunakan yaitu metode DC *thermal plasma*. Metode DC *thermal plasma* memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya yaitu memiliki temperatur yang tinggi,

densitas yang tinggi didalam tabung reaktor dan laju pendinginan yang tinggi (Suresh dkk., 2008). Metode *DC thermal plasma* berhasil diterapkan untuk menghasilkan serbuk berbentuk bulat dari berbagai macam serbuk logam dan keramik. Temperatur tinggi yang tersedia dalam jet plasma dapat melelehkan dan menguapkan hampir semua bahan tahan api. Tingkat pendinginan yang tinggi mendukung nukleasi homogen yang menghasilkan partikel berbentuk *spherical* (Chaturvedi dkk., 2014).

Faktor utama pada proses sintesis nano alumina adalah tingkat penguapan dan kondisi pendinginan yang terjadi di dalam reaktor sehingga ada beberapa parameter yang harus diperhatikan, diantaranya: arus listrik plasma, media pendingin, laju aliran gas plasma dan laju aliran gas serbuk (Seung-Min Oh dkk., 2000). Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya telah dibahas mengenai pembuatan nano alumina dengan variasi arus 30 ampere dan 58 ampere yang menunjukkan bahwa penggunaan arus 30 ampere tidak dapat melelehkan serbuk alumunium sedangkan penggunaan arus 58 ampere dapat melelehkan serta menguapkan serbuk alumunium sehingga nano partikel alumina berbentuk bulat. Itu dikarenakan temperatur panas yang tinggi dari plasma dibutuhkan untuk melelehkan serbuk alumunium (Lee dkk., 2013).

Pada penelitian berikutnya membahas mengenai pembuatan nano alumina dengan variasi *powder carrier gas flow rate* sebesar (2, 5, 10, 15, 20, 25) lpm. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa seiring meningkatnya *powder carrier gas flow rate*, maka ukuran partikel alumina yang dihasilkan akan semakin besar. Peningkatan ukuran partikel seiring dengan meningkatnya *powder carrier gas flow rate* disebabkan oleh menurunnya suhu plasma dan waktu tinggal serbuk dalam api plasma (Bora dkk., 2012).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan tujuan untuk mengetahui parameter arus listrik plasma dan *powder carrier gas flow rate* yang optimum untuk menghasilkan serbuk alumina dalam ukuran nano pada mesin *DC thermal plasma*. Dalam penelitian ini arus yang digunakan untuk proses pengolahan material yaitu

60 ampere dan 70 ampere serta *powder carrier gas flow rate* yang digunakan 8 lpm dan 13 lpm.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas diperoleh perumusan masalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi arus listrik plasma 60 A dan 70 A serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi SEM nano-alumina dengan metode *DC Thermal Plasma*?
2. Bagaimana pengaruh variasi arus listrik plasma 60 A dan 70 A serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi XRD nano-alumina dengan metode *DC Thermal Plasma*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dianalisa, maka pada penelitian ini suhu pada api plasma dan suhu pendinginan (*quench*) pada reactor tidak dihitung.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi arus listrik plasma 60 A dan 70 A serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi SEM nano-alumina dengan metode *DC Thermal Plasma*.
2. Mengetahui pengaruh variasi arus listrik plasma 60 A dan 70 A serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi XRD nano-alumina dengan metode *DC Thermal Plasma*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, yaitu:

1. Menambah pengetahuan mengenai proses pembuatan nano-alumina menggunakan metode *DC Thermal Plasma* dengan parameter yang optimum.

2. Berkontribusi dalam pengembangan teknologi nanomaterial terutama pembuatan nanopartikel alumina.

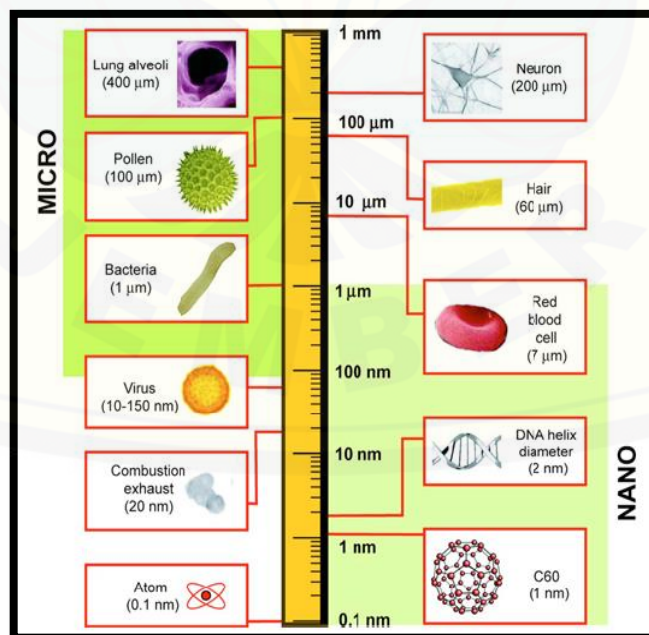
1.6 Hipotesa

Proses sintesis nano alumina dengan metode *DC Thermal Plasma* melibatkan arus plasma sebagai salah satu faktor terpenting dalam terbentuknya alumina. Arus listrik plasma berdampak pada panjang api plasma, semakin besar arus listrik plasma maka panjang api akan bertambah pula yang secara otomatis meningkatkan suhu api plasma. Faktor lainnya adalah *powder carrier gas flow rate*, semakin besar *powder carrier gas flow rate* maka waktu tinggal serbuk aluminium pada api plasma tidak akan lama serta akan menurunkan suhu pada api plasma.

BAB 2. TINJUAN PUSTAKA

2.1 Nanoteknologi

Nanoteknologi adalah ilmu interdisiplin dari ilmu fisika, kimia, biologi, ilmu pengetahuan bahan, dan keteknikan yang mempelajari tentang proses pengecilan ukuran bahan/material (*top-down*) menjadi bentuk nanometer (10^{-9} nm) dan juga proses penyusunan (*assembly/bottom up*) menjadi ukuran nano dengan struktur yang telah diatur sedemikian rupa sehingga produk yang dihasilkan memiliki sifat sesuai dengan tujuan sifat produk yang diinginkan (Ariningsih, 2016). Nanoteknologi juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk mendesain, sintesis, dan aplikasi bahan/material yang ukuran dan bentuknya telah direkayasa pada skala nano. Sifat kimia, fisik, listrik, dan mekanik yang unik dapat muncul ketika material terstruktur pada skala nano. Nanomaterial merupakan bahan/material yang setidaknya memiliki satu dimensi lebih kecil dari 1 mikro, dan berpotensi memiliki panjang sekecil skala atom dan molekul ($\sim 0,2$ nm) (Buzea, 2007).



Gambar 2.1 Skala panjang ukuran nanomaterial dibandingkan dengan komponen biologis dan definisi ukuran "nano" dan "mikro" (Buzea, 2007)

2.1.1 Klasifikasi Nanomaterial

Nanomaterial dapat dibedakan berdasarkan material pembentuknya menjadi 4, yaitu:

a. *Carbon-based nanomaterials*

Nanomaterial ini umumnya mengandung karbon, dan ditemukan dalam morfologi seperti tabung berongga, ellipsoid, atau bola. *Fullerene* (C60), *carbon nanotube* (CNTs), *carbon nanofibers*, *carbon black*, *graphene* (Gr), dan *carbon onions* termasuk dalam kategori nanomaterial berbasis karbon. Metode fabrikasi nanomaterial berbasis karbon yang sering digunakan adalah laser ablasi, pelepasan busur, dan deposisi uap kimia (CVD).

b. *Inorganic-based nanomaterials*

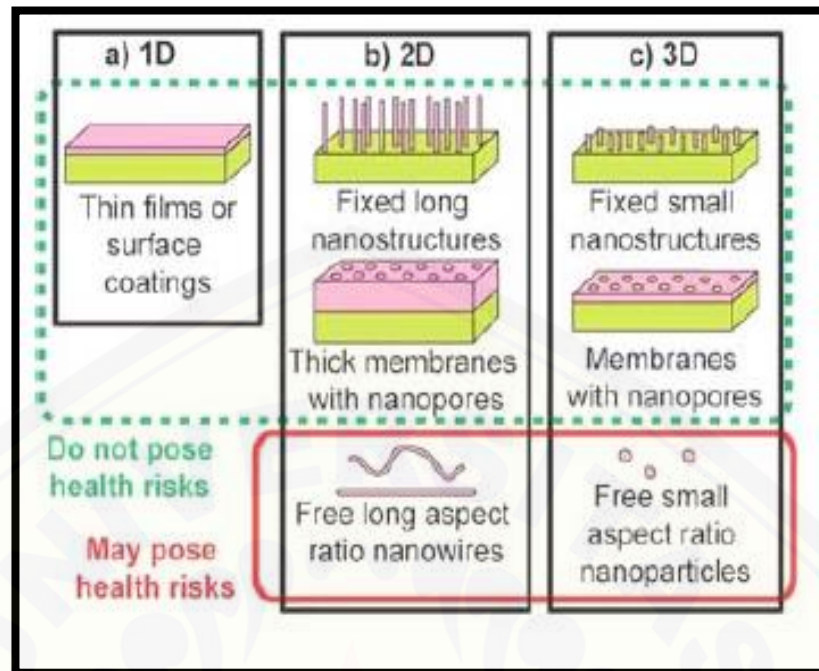
Nanomaterial ini terdiri dari material logam dan oksida logam. Logam yang dapat disintesis menjadi nanomaterial seperti Au atau Ag, sedangkan oksida logam yang dapat disintesis menjadi nanomaterial seperti TiO₂ dan ZnO, dan material semikonduktor yang dapat disintesis menjadi nanomaterial seperti silikon dan keramik.

c. *Organic-based nanomaterials*

Nanomaterial ini sebagian besar terbuat dari bahan organik, tidak termasuk karbon berbasis karbon atau inorganik. Pemanfaatan interaksi non-kovalen (lemah) untuk *self-assembly* dan desain molekul membantu mengubah nanomaterial organik menjadi struktur yang diinginkan seperti dendrimer, misel, liposom, dan nanopartikel polimer.

d. *Composite-based nanomaterials*

Nanomaterial komposit adalah nanomaterial multi-fase dengan satu fase pada dimensi skala nano yang dapat menggabungkan nanomaterial dengan nanomaterial lain atau nanomaterial yang dikombinasikan dengan bahan yang lebih besar atau dengan jenis massal misalnya *nanofibers hibrid* atau struktur yang lebih rumit, seperti sebagai kerangka metalorganik. Komposit dapat berupa kombinasi dari nanomaterial berbasis karbon, berbasis logam, atau berbasis organik dengan segala bentuk logam, keramik, atau bahan curah polimer (Jeevanandam dkk., 2018).



Gambar 2.2 Klasifikasi Nanomaterial Berdasarkan Dimensinya (Buzea dkk., 2007)

Nanomaterial dikategorikan menjadi 3 berdasarkan dimensinya, diantaranya yaitu:

1) 1D nanomaterial

Material dengan satu dimensi dalam skala nanometer biasanya berupa film tipis atau pelapis permukaan, dan termasuk sirkuit chip komputer. Film tipis telah dikembangkan dan digunakan selama beberapa dekade di berbagai bidang, seperti elektronik, kimia, dan teknik. Film tipis juga dapat disimpan dengan berbagai metode dan dapat ditanam secara terkontrol menjadi satu lapisan atom tebal, yang disebut monolayer.

2) 2D nanomaterial

Nanomaterial dua dimensi adalah material yang memiliki dua dimensi dalam skala nanometer. Ini termasuk film berstruktur nano 2D, dengan struktur nano melekat erat pada substrat, atau filter nanopore yang digunakan untuk pemisahan dan penyaringan partikel kecil. Partikel bebas dengan rasio aspek besar, dengan dimensi dalam rentang skala nano, juga

dianggap sebagai material nano 2D. Serat asbes adalah contoh nanopartikel 2D.

3) 3D nanomaterial

Material yang berskala nano dalam ketiga dimensi dianggap sebagai bahan nano 3D. Ini termasuk film tipis yang disimpan dalam kondisi yang menghasilkan porositas skala atom, koloid, dan partikel nano bebas dengan berbagai morfologi (Buzea dkk., 2007).

2.2 Bahan Penyusun Nano Alumina (Al₂O₃)

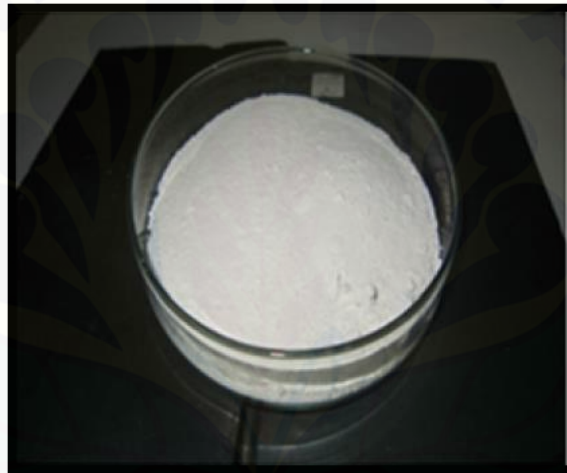
Alumina atau aluminium oksida dengan struktur kimia Al₂O₃ merupakan sebuah senyawa dari aluminium dan oksigen. Alumina bersifat sebagai isolator atau penghambat panas, kekerasan yang tinggi, ketahan karat yang baik, ketahanan aus yang baik dan juga memiliki densitas sebesar 3,95 g/cm³ sehingga banyak dimanfaatkan dalam bidang industri logam maupun bidang kesehatan (Suwarno, 2015). Nano alumina terbentuk dari reaksi oksidasi antara aluminium dan oksigen akibat penguapan partikel pada suhu tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Field, 1989):



2.2.1 Alumina (Al₂O₃)

Alumina (aluminium oksida atau Al₂O₃) tergolong salah satu jenis keramik oksida atau keramik teknik yang aplikasinya cukup luas, misalnya di bidang elektronik, termal, kimia katalis dan mekanik. Alumina merupakan polimorfi, yang berdasarkan struktur kristalnya dapat digolongkan menjadi γ -alumina, β -alumina, δ -alumina, θ -alumina, κ -alumina, χ -alumina dan α -alumina Al₂O₃ atau disebut korundum. Sebagai bahan paling tahan suhu tinggi yang berkisar sampai temperatur 1700°C, juga merupakan material yang sangat keras dan kuat sehingga sering dipakai sebagai bahan di bidang teknik misal bahan pada struktur pesawat. Di samping itu, konduktivitas listriknya sangat rendah sehingga cocok digunakan sebagai bahan isolator listrik (Wardani dan Pratapa, 2014).

Alumina memiliki beberapa struktur seperti fasa α -, γ -, η -, δ -, θ -, κ -, dan χ -. Masing – masing fasa tersebut mempunyai sifat fisis yang berbeda dan diantara struktur transisi tersebut fasa γ - Al_2O_3 merupakan material yang paling luas digunakan sebagai substrat katalis dalam otomotif dan industri petroleum, komposit struktural untuk pesawat luar angkasa, serta pelapis tahan panas (*thermal wear coatings*) . Hal ini disebabkan karena γ - Al_2O_3 memiliki struktur kubik yang higroskopis dan larut dalam asam, sedangkan α - Al_2O_3 memiliki struktur oktahedral seperti corundum/sapphire yang sangat keras karena memiliki sifat kesetabilan yang sangat tinggi sehingga tidak mudah larut dalam asam (Yanuar dkk., 2018).



Gambar 2.3 Serbuk Nano Alumina (Singh, 2016)

Ada beberapa metode untuk mensintesis nano alumina yang dikategorikan ke dalam metode fisik dan kimia. Metode fisik meliputi *mechanical milling*, *laser ablation*, *flame spray*, dan dekomposisi termal dalam plasma. Metode kimia termasuk pemrosesan sol-gel, *solution combustion decomposition* dan *vapour deposition*. Sebagian besar metode kimia telah menghasilkan nano-alumina dengan tingkat hasil yang sangat rendah, dan karenanya tidak dapat diterapkan untuk pembuatan massal. Metode fisik seperti penggilingan mekanik tidak efisien karena ukuran partikel nano tidak dapat dengan mudah dikontrol, dan metode ini hanya terbatas pada bahan tertentu. Metode lain seperti ablasi laser, *vapour deposition* dan sol-gel sangat mahal karena memerlukan peralatan khusus seperti

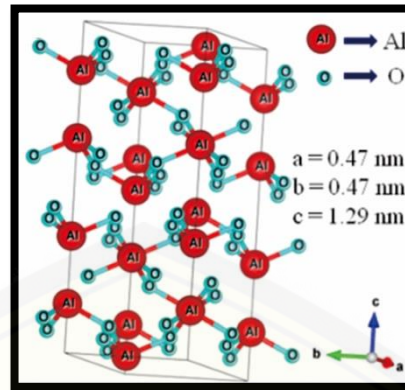
sistem vakum, laser daya tinggi, serta bahan kimia prekursor yang mahal. Akhirnya, sebagian besar metode hanya mungkin untuk rentang material tertentu (A.I.Y. Tok dkk., 2006).

2.2.2 Fasa Nano Alumina (Al_2O_3)

Alumina (Al_2O_3) terbagi dalam delapan polimorf yang berbeda, tujuh fasa metastabil yang terdiri dari γ , δ , κ , ρ , η , θ , dan χ dan satu fase yang stabil secara termal yaitu fasa α -alumina. Pada saat ini α -alumina sering digunakan untuk bahan keramik modern sebagai substrat yang penting untuk pertumbuhan superkonduktor dan semikonduktor oleh epitaksi berkas molekul. Penerapan alumina metastabil, yaitu polimorf γ , δ , κ , ρ , η , θ , dan χ juga tak kalah pentingnya. Semua fasa metastabil memiliki struktur kristal yang dapat direproduksi dan stabil pada suhu kamar. Khususnya γ -alumina yang menjadi perhatian luas dengan digunakannya sebagai katalis dalam produksi bahan kimia dalam jumlah besar dan digunakan untuk mengkonversi hidrokarbon pada penyulingan minyak bumi (Suresh dkk., 2008). Berikut adalah uraian dari beberapa fasa yang sering digunakan aplikasinya pada industri:

a. Fasa α -alumina

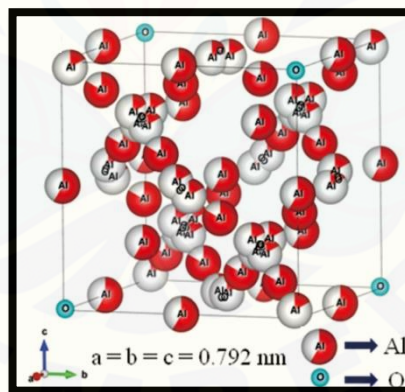
Fasa α -alumina merupakan fasa paling stabil, sehingga dapat digunakan sebagai lapisan untuk menjaga agar permukaan material tetap aman dari keausan dan juga dapat digunakan sebagai keramik struktural karena memiliki sifat mekanik yang baik dan juga sifat *thermal* yang sangat baik pada suhu tinggi. Struktur kristal α -alumina, yang disebut struktur korundum, idealnya terdiri dari bidang padat (bidang A dan B) dari anion oksigen besar (jari-jari 0,14 nm) yang ditumpuk secara berurutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini (Shirai dkk., 2009).



Gambar 2.4 Struktur fasa α -alumina (Gangwar dkk., 2015)

b. Fasa γ -alumina

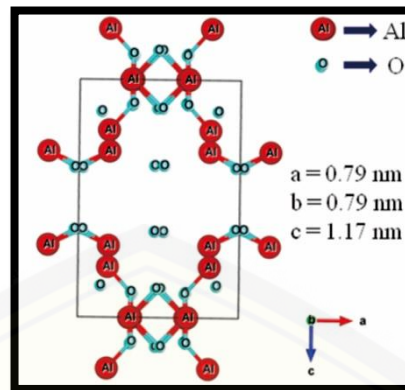
Fasa γ -alumina merupakan bahan yang sangat penting dengan banyak aplikasi dalam keramik dan pendukung katalitik serta digunakan terutama sebagai penyerap, bahan pendukung area permukaan tinggi untuk otomotif dan proses adsorptif. Fasa γ -alumina adalah oksida logam yang berpori dan digambarkan sebagai struktur spinel yang cacat/terdistorsi dengan beberapa kekosongan kationik (Junus dkk., 2019).



Gambar 2.5 Struktur fasa γ -alumina (Gangwar dkk., 2015)

c. Fasa δ -alumina

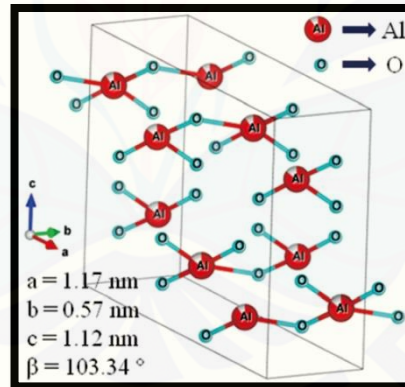
Polymorph δ -alumina adalah senyawa penting dari keluarga Al_2O_3 . δ -alumina merupakan tahap peralihan dari transisi fasa γ - ke θ -alumina sebelum transformasi akhir menjadi α -alumina yang paling stabil. δ -alumina dapat diproduksi dengan pemanasan prekursor hidroksida dalam kisaran suhu 600°C hingga 900°C (Gangwar dkk., 2015).



Gambar 2.6 Struktur fasa δ -alumina (Gangwar dkk., 2015)

d. Fase θ -alumina

Fasa θ -alumina adalah salah satu bentuk yang paling stabil dari beberapa fase metastabil dengan simetri kristal monoklinik. Struktur θ -alumina memiliki grup ruang $C2/m$ dan terdiri dari 20 ion dengan pembagian kation: 50% $\text{Al}^{3+} : [\text{O}^{2-}]_6$ dan 50% $\text{Al}^{3+} : [\text{O}^{2-}]_4$. Fasa θ -alumina memiliki sifat photoluminescence elektronik dan optik yang unggul (Gangwar dkk., 2015).

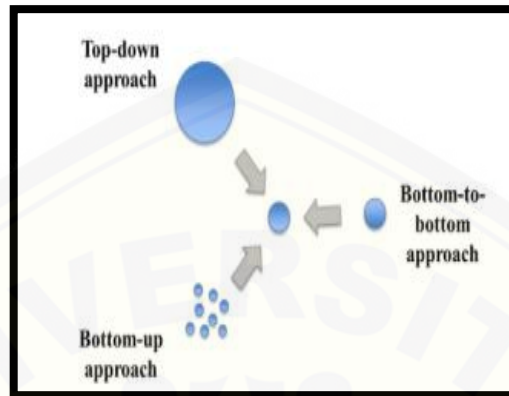


Gambar 2.7 Struktur fasa θ -alumina (Gangwar dkk., 2015)

2.3 Metode Sintesis Nano Alumina (Al_2O_3)

Nanomaterial umumnya diproduksi dengan metode pendekatan *top-down* atau *bottom-up*. Prinsip kerja metode pendekatan *top-down* adalah mereduksi ukuran material secara massal menjadi berskala nano dengan metode mekanik, kimia, atau fisik. Prinsip kerja metode pendekatan *bottom-up* adalah komponen atom atau molekul dirakit melalui reaksi kimia atau proses fisik untuk menghasilkan struktur skala nano berskala nano. Terdapat metode pendekatan lain

yang masih dikembangkan dengan konsep kimia mekanosintetik atau manufaktur molekuler yang dapat memungkinkan atom merakit diri menjadi berstruktur skala nano, yaitu metode pendekatan *bottom-to-bottom* (Dolez, 2015).



Gambar 2.8 Skema pendekatan *top-down*, *bottom-up* dan *bottom-to-bottom* (Dolez, 2015)

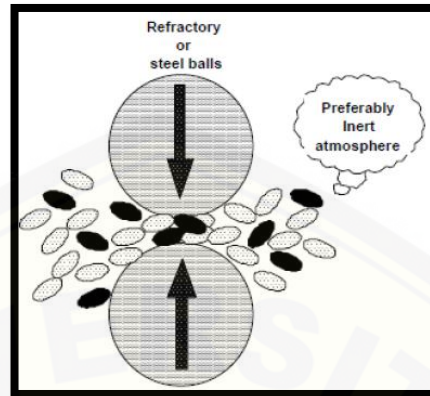
Keunggulan pendekatan *top-down* adalah kemampuannya untuk menghasilkan sifat/kesatuan pada suatu lokasi yang tepat. Akan tetapi, pendekatan tersebut mempunyai kekurangan/ kelemahan, yaitu menyebabkan terjadinya tekanan internal, di samping kerusakan permukaan dan kontaminasi. Sebaliknya, pendekatan *bottom-up* menjanjikan kesempatan yang lebih baik untuk memperoleh struktur nano dengan cacat lebih sedikit dan komposisi kimia yang lebih homogen (Ariningsih, 2016).

2.3.1 Fabrikasi Nano Alumina (Al_2O_3)

a. *Mechanical Milling*

Mechanical milling adalah salah satu metode sintesis *top-down* dari nanomaterial, di mana material disiapkan bukan dengan perakitan kluster tetapi dengan dekomposisi struktural dari struktur berbutir kasar sebagai hasil dari deformasi plastis. *Mechanical milling* menjadi metode yang populer untuk membuat bahan nanokristalin karena kesederhanaannya, peralatan yang dibutuhkan relatif murah, dan penerapan metode bisa dilakukan untuk semua kelas bahan. Keuntungan menggunakan metode *mechanical milling* adalah dapat meningkatkan jumlah produksi untuk berbagai aplikasi. Namun terdapat kerugian dalam menggunakan metode

ini, yaitu kontaminasi dari media penggilingan atau atmosfer (Alagarasi, 2011).

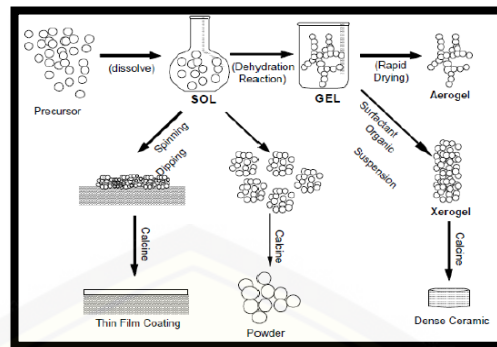


Gambar 2.9 Skema Fabrikasi Nano-alumina dengan Metode Mechanical Milling (Alagarasi, 2011)

b. *Sol-gel process*

Proses sol-gel merupakan salah satu metode *bottom-up* yang melibatkan evolusi jaringan anorganik melalui pembentukan suspensi koloid (sol) dan gelasi sol untuk membentuk jaringan dalam fase cair kontinu (gel). Prekursor untuk mensintesis koloid ini biasanya terdiri dari unsur logam atau metaloid yang dikelilingi oleh berbagai ligan reaktif. Bahan awal diproses untuk membentuk oksida yang dapat terdispersi dan membentuk sol yang bersentuhan dengan air atau asam encer. Penghapusan cairan dari sol menghasilkan gel, dan transisi sol/gel mengontrol ukuran dan bentuk partikel. Kalsinasi gel menghasilkan oksida.

Metode sol-gel untuk mensintesis bahan nano sangat populer di kalangan ahli kimia dan banyak digunakan untuk menyiapkan bahan oksida. Proses sol-gel dapat ditandai dengan serangkaian langkah berbeda.

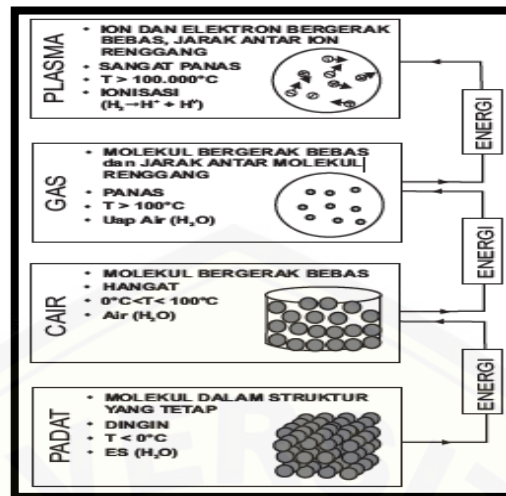


Gambar 2.10 Skema Fabrikasi Nano-alumina dengan Metode Sol-Gel (Alagarasi, 2011)

Kesulitan utama yang harus diatasi dalam mengembangkan pendekatan bottom-up yang sukses adalah mengendalikan pertumbuhan partikel dan kemudian menghentikan partikel yang baru terbentuk dari aglomerasi. Masalah teknis lainnya adalah memastikan reaksi selesai sehingga tidak ada reaktan yang tidak diinginkan yang tersisa pada. Kekurangan dalam menggunakan metode ini adalah tingkat produksi bubuk nano yang sangat rendah sedangkan keuntungan menggunakan metode ini adalah bisa mendapatkan partikel nano *monosized* (Alagarasi, 2011).

c. *Thermal Plasma*

Plasma adalah suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan berubah wujud dari padat ke cair, dan jika diberikan kalor berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika Uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah menjadi wujud plasma. Jika air ditambah sejumlah energi kalor maka air tersebut akan menguap dan mengurai menjadi dua gas yakni oksigen dan hidrogen. 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, yang memiliki efek konduktifitas yang sangat tinggi terhadap listrik karena banyak elektron bebas yang tersebar dan berpotensi untuk menyerap arus listrik (Akhmad, 2009).



Gambar 2.11 Ilustrasi Fase Material (Nur, 2011)

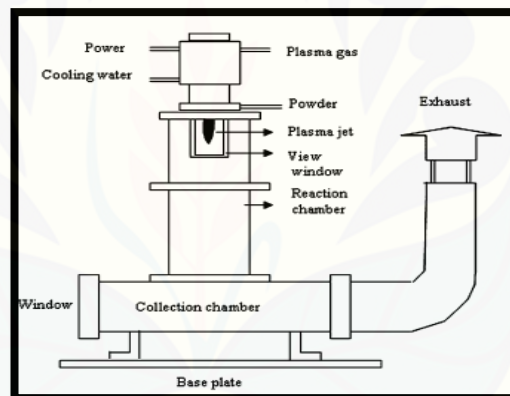
Plasma dikategorikan menjadi 3 berdasarkan temperturnya, yaitu:

- 1) Plasma Dingin, merupakan plasma yang terjadi dalam keadaan ketidaksetimbangan termal (*non-thermal equilibrium*) antara temperatur elektron dan gas. Pada plasma dingin ion dan atom-atom atau molekul-molekul netral tetap dalam suhu sekitar 1000 K. Elektron-elektron dalam plasma jenis ini mempunyai temperatur cukup tinggi sekitar 50000 K. Plasma dingin sering digunakan dalam bidang mikroelektronik, pembentukan materi baru dan pembersihan polutan.
- 2) Plasma Termik, merupakan plasma jenis ini tergolong plasma dalam keadaan ketidaksetimbangan termal (*non-thermal equilibrium*). Partikel-partikel berat di dalam plasma bersuhu lebih tinggi dari 3000 K. Elektron dalam plasma termik ini mempunyai temperatur cukup tinggi lebih besar dari 10^5 K. Plasma jenis ini sering digunakan untuk pengelasan, pemotongan logam, pembersihan polutan dan lain-lain.
- 3) Plasma Panas, terjadi dalam keadaan kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*). Pada pembangkitan plasma panas distribusi energi elektron dan molekul gas mendekati sama, karena frekuensi tumbukan antara elektron dan molekul gas lebih besar. Plasma panas adalah plasma yang tersusun dari molekul gas yang bertemperatur tinggi. Plasma jenis ini

memiliki temperatur di atas 10^6 K. Plasma panas digunakan untuk memproduksi energi listrik (Nur, 2011).

2.3.2 DC Thermal Plasma

Thermal Plasma merupakan metode untuk sintesis bahan nano yang memiliki keunggulan spesifik dibandingkan metode lainnya. Proses *thermal plasma* menghasilkan entalpi tinggi dan suhu tinggi pada tabung reaktor. Entalpi yang sangat terkonsentrasi yang terdapat dalam jet plasma dapat menguapkan hampir semua bahan tahan api asalkan bahan tersebut disuntikkan dengan benar ke dalam plasma dan memiliki waktu tinggal yang cukup. Tingkat pendinginan yang tinggi mendukung nukleasi homogen yang menghasilkan partikel berukuran nano. Waktu pemrosesan yang relatif singkat membuat metode ini sangat cocok untuk proses produksi skala besar (Suresh dkk., 2008).



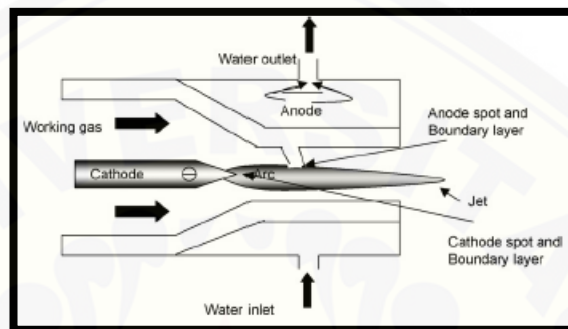
Gambar 2.12 Skema Fabrikasi Nanoalumina dengan Metode *Thermal Plasma* (Suresh dkk., 2008)

Proses sintesis nanomaterial mayoritas menggunakan generator busur plasma tipe DC daripada AC karena pengoperasian yang lebih stabil, kontrol yang lebih baik, konsumsi elektroda yang lebih rendah, keausan refraktori yang sedikit lebih rendah dan konsumsi daya yang lebih rendah (Gomez dkk., 2009). DC *thermal plasma* dikategorikan menjadi 3 berdasarkan letak elektrodanya, yaitu:

a. DC *non-transferred arc plasma torches*

DC *non-transferred arc plasma torches* adalah metode penghasil plasma yang lebih umum digunakan dalam pemrosesan sintesis material. DC *non-transferred arc plasma torches* menghasilkan busur plasma suhu tinggi yang

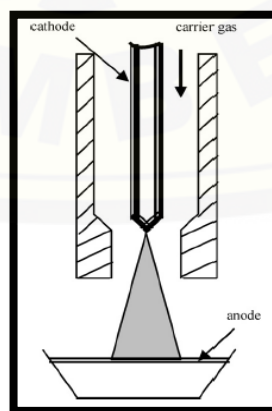
berinteraksi dengan gas yang mengalir untuk menghasilkan jet panas ke material yang akan diproses dapat dengan disuntikkannya material tersebut sehingga terjadi penguapan. Pada DC *non-transferred arc plasma torches* sebuah busur dibentuk antara katoda dan anoda. Kelemahan dari jenis metode ini adalah dapat mencemari produk dan memiliki efisiensi energi yang sangat rendah.



Gambar 2.13 Skema DC non-transferred arc plasma torches (Gomez dkk., 2009)

b. DC *transferred arc plasma torches*

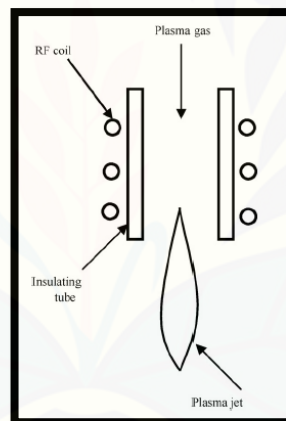
Dalam DC *transferred arc plasma torches* dicirikan oleh pemisahan elektroda yang relatif besar antara katoda dan anoda berkisar dari beberapa sentimeter hingga hampir 1 m. DC *transferred arc plasma torches* dapat menghasilkan fluks termal yang sangat tinggi karena busur plasma terbentuk di luar badan obor yang didinginkan dengan air. Ini berarti mereka secara inheren lebih efisien daripada DC *non-transferred arc plasma torches* karena kehilangan transfer panas radiasi.



Gambar 2.14 Skema DC transferred arc plasma torches (Gomez dkk., 2009)

c. *RF inductively coupled discharges*

RF inductively coupled discharges ditandai dengan tidak adanya elektroda, yang menghindari kontaminasi plasma oleh uap logam. Dalam *RF inductively coupled discharges*, kopling energi ke plasma dilakukan melalui medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh koil induksi listrik. Gas plasma tidak bersentuhan dengan elektroda, sehingga menghilangkan kemungkinan sumber kontaminasi, dan memungkinkan untuk beroperasi dalam berbagai kondisi operasi meskipun dalam atmosfer yang lembam, teroksidasi, dan korosif sekalipun. *RF inductively coupled discharges* sering digunakan pada industri-industri terutama di bidang analisis spektrokimia, sintesis silikon dengan kemurnian tinggi atau pigmen titanium dioksida, dan sintesis bubuk ultra-halus dan ultra-murni (Gomez dkk., 2009).



Gambar 2.15 Skema *RF inductively coupled discharges* (Gomez dkk., 2009)

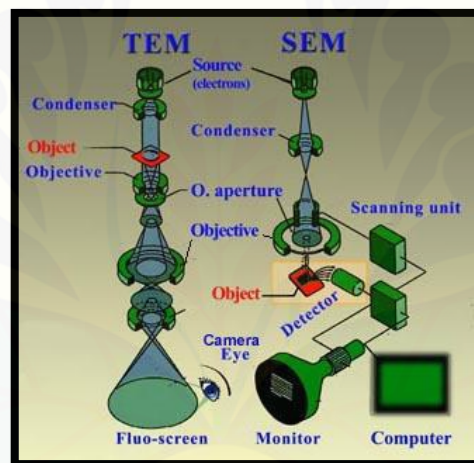
2.4 Karakterisasi Nano Alumina (Al_2O_3)

2.4.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy adalah mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mempelajari detail arsitektur permukaan material dengan rentang perbesaran sekitar 100-300.000 kali. SEM merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisa dengan menggunakan elektron sebagai sumber penitran dan medan elektromagnetik sebagai lensanya (Dirgantara, 2016). Kelebihan SEM dapat menghasilkan berkas elektron dengan ukuran sampai 5-10 nm dan memiliki lensa fokal yang lebih panjang sehingga memungkinkan jarak kerja terhadap

spesimen lebih efisien dalam pengambil gambar yang direkam oleh detektor pada ujung lensa (Cahyono, 2017).

SEM memiliki komponen-komponen utamanya yang terdiri dari penembak elektron, lensa magnetik dan lensa objektif, fine probe, detektor, spesimen, dan monitor CRT. Penembak elektron berfungsi untuk menembakkan elektron ke sampel. Lensa magnetik dan lensa objektif berfungsi membengkokkan dan memfokuskan berkas elektron. *Fine probe* berfungsi membaca permukaan sampel. Detektor berfungsi menangkap hamburan elektron. *Speciment* berfungsi untuk meletakkan sampel yang akan diuji. Monitor *cathode ray tube* (CRT) berfungsi untuk mengamati struktur sampel antara lain berupa topografi, morfologi, dan komposisi unsur atau senyawa yang terkandung di dalam objek.



Gambar 2.16 Skema Alat SEM (Pratama, 2017)

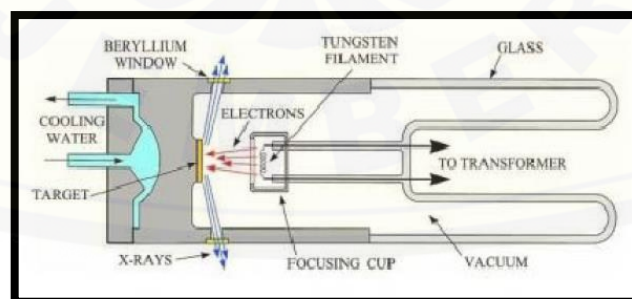
Prinsip kerja SEM adalah berkas elektron yang dihasilkan oleh *electron gun* difokuskan pada ruang vakum sehingga membentuk *fine probe*. Berkas elektron dilewatkan melalui lensa magnetik dan lensa objektif. Lensa objektif berfungsi sebagai pembelok berkas elektron secara horizontal dan vertikal, sehingga berkas dapat membaca seluruh permukaan sampel. Berkas elektron yang sampai ke permukaan sampel mengalami interaksi dengan elektron pada permukaan sampel. Tumbukan elektron dengan permukaan sampel menghasilkan beberapa sinyal. Sinyal tersebut diantaranya *secondary electrons*, *backscattered electrons* (BSE) dan *diffracted backscattered electrons* (EBSD). *Secondary electrons* memberikan informasi morfologi dan topologi pada sampel. *Backscattered electrons* biasanya

digunakan untuk memberikan gambaran kontras pada sampel. Selanjutnya, sinyal-sinyal tersebut diperkuat dan besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada monitor CRT. Pada layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar dapat diamati (Pratama, 2017).

2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun nonkristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal. Tahapan kerja XRD terdiri dari empat tahap, yaitu preparasi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya, XRD dilengkapi dengan komponen-komponen penting seperti tabung sinar-X, *monochromator*, dan detektor (Erlangga dkk., 2016).

Tahapan kerja XRD yang pertama adalah produksi, pada tahap ini elektron yang dihasilkan ketika filamen (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan antara filamen (katoda) dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan logam target tumbukan tersebut menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang akan diuji (Rahman, 2008).



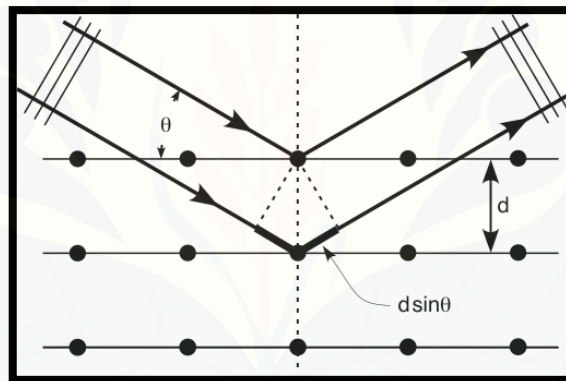
Gambar 2.17 Tabung Sinar-X (Rahman, 2008)

Tahapan yang kedua adalah radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material tersebut harus berada dalam fasa padat karena pada kondisi tersebut

kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang kristal. Ketika sinar-X diarahkan pada bidang kristal tersebut maka akan timbul pola difraksi dimana pola-pola difraksi tersebut menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola yang terang terbentuk ketika terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu (Rahman, 2008). Interferensi konstruktif terjadi sesuai hukum Bragg berikut ini:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2.2)$$

Dimana, n = urutan difraksi; λ = panjang gelombang sinar-X; d = jarak antar bidang kristal; dan θ = sudut difraksi .



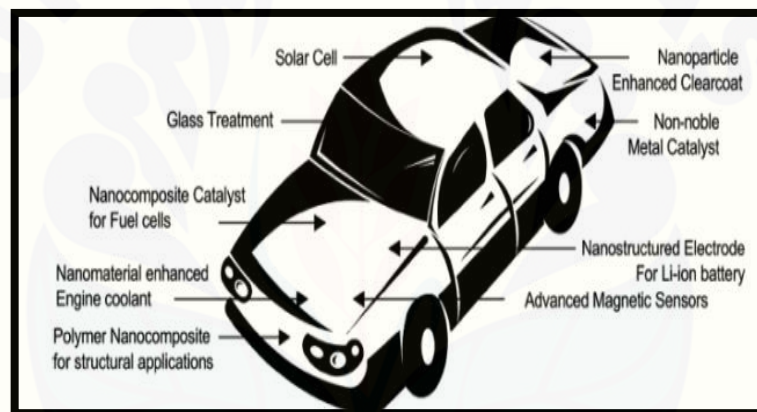
Gambar 2.18 Difraksi Radiasi Sinar-X dalam Struktur Kristal (Rahman, 2016)

Tahapan yang ketiga adalah deteksi, interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal yang diuji akan dideteksi oleh detektor. Kemudian tahapan yang terakhir adalah interpretasi yaitu interferensi konstruktif radiasi sinar-X yang telah dideteksi oleh detektor selanjutnya akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan *amplifier*. Lalu interferensi konstruktif sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh komputer (Rahman, 2008).

2.5 Aplikasi Nanomaterial

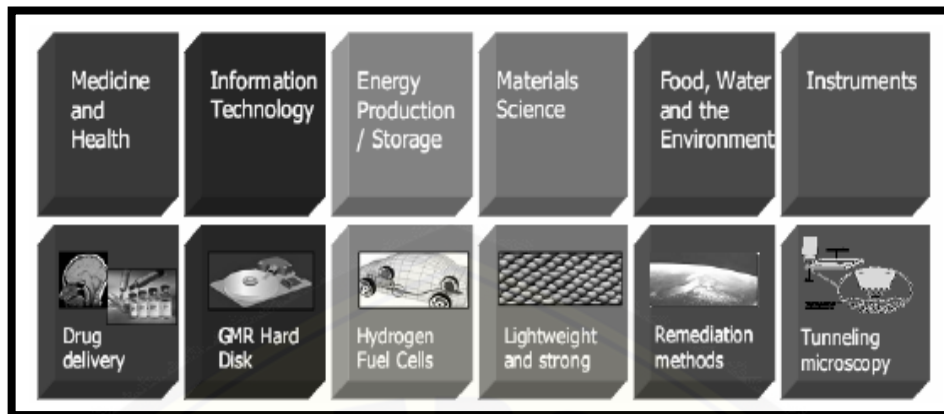
Pemanfaatan nanomaterial sudah dikenal baik diantaranya di bidang elektronika, industri mobil, dan dibidang lainnya. Pada bidang elektronika

khususnya komputer, transistor pada prosesor komputer menggunakan tabung nano karbon yang memiliki arus dengan nilai dua kali lipat arus sebelumnya. Aplikasi lain yang digunakan pada komputer adalah memori komputer yang dirancang menggunakan nanodot (titik nano) berbasis nikel yang mengakibatkan kapasitas penyimpanannya dapat mencapai orde terabyte. Sedangkan pada bidang industri mobil, nanomaterial telah diaplikasikan salah satunya pada pelapisan (*coating*) badan mobil. Pelapisan pada body mobil menggunakan nanomaterial akan memberikan berbagai keuntungan di antaranya, tiga kali lebih tahan terhadap goresan dan kecemerlangan yang lebih lama. Aplikasi nanomaterial lainnya pada bidang industri mobil adalah aplikasi struktural, pelapisan *windshield*, dan pendingin mesin (Dwandaru, 2012).



Gambar 2.19 Aplikasi Nanomaterial di Bidang Industri Mobil (Dwandaru, 2012)

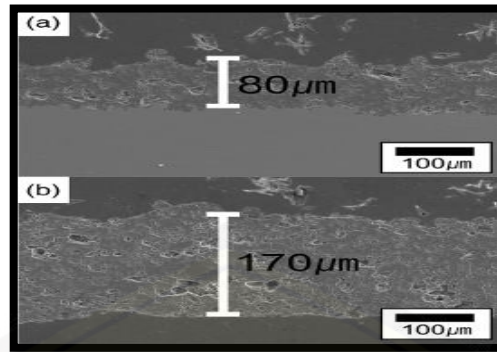
Walaupun telah diketahui banyak manfaat yang dapat diperoleh dengan penerapan nanomaterial tetapi resiko potensial dengan penerapan tersebut perlu dikaji lebih jauh lagi. Berikut ini beberapa contoh penerapan teknologi nano dalam berbagai bidang: *delivery drug* (suatu cara untuk mengirim obat-obatan ke dalam bagian tubuh yang sakit secara efektif dan efisien), *GMR Hard disk*, *hydrogen fuel cell*, pengembangan material yang lebih ringan dan lebih kuat menggunakan komposit, *remedy mathodes* (pengembangan metode-metode perbaikan dalam bidang-bidang tersebut), *tunneling microscopy* (Riwayati, 2007).



Gambar 2.20 Aplikasi Nanomaterial Dalam Berbagai Bidang (Riwayati, 2007)

Nano alumina memiliki merupakan bahan paling tahan terhadap suhu tinggi hingga 1700°C , juga merupakan material yang sangat keras, kuat dan memiliki konduktivitas listrik sangat rendah sehingga baik digunakan untuk bahan isolator listrik. Itulah mengapa nano alumina banyak diaplikasikan di berbagai industri contohnya digunakan sebagai matriks pada komposit, komponen isolator dan yang paling umum digunakan sebagai material Thermal Barrier Coatings (TBC) (Judenta dkk, 2017). Thermal Barrier Coatings (TBC) melindungi logam dasar terhadap korosi panas, oksidasi, dan kerusakan aus (Sharafat dkk., 2002).

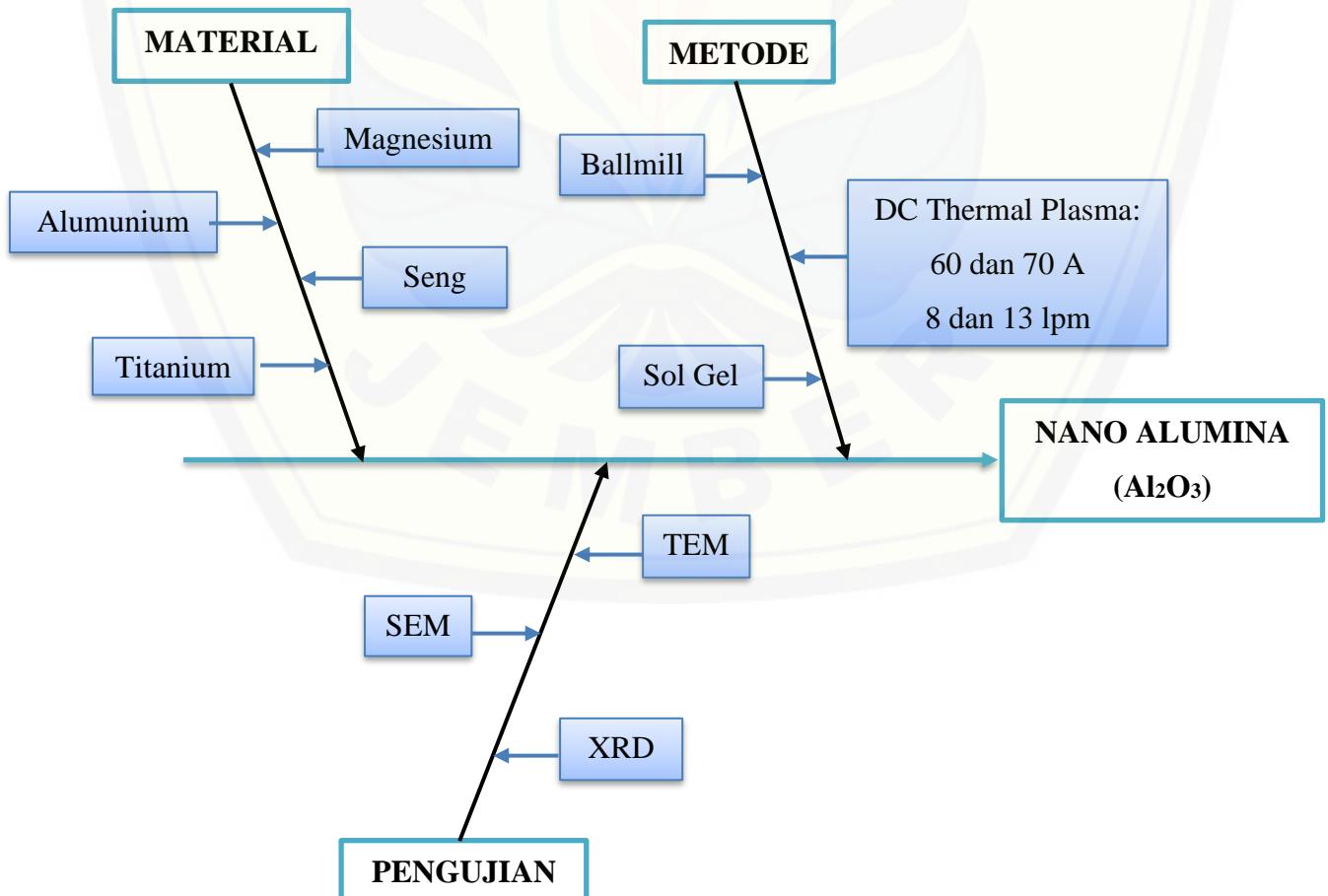
Jenis material yang digunakan sebagai material TBC sangat terbatas karena tidak semua material dapat memenuhi persyaratan untuk menjadi material TBC. Persyaratan tersebut antara lain memiliki titik lebur yang tinggi, memiliki tahan terhadap korosi dan memiliki kekerasan yang tinggi. Oleh karena itu, alumina termasuk kedalam material yang dapat dijadikan sebagai material TBC (Cao dkk, 2004). Pelapisan menggunakan alumina yang telah disintesis menggunakan metode DC *thermal plasma* menghasilkan lapisan dengan densitas 45% lebih tinggi dan porositas sekitar 56% lebih rendah dari pelapisan yang menggunakan serbuk aluminium mentah dikarenakan alumina dapat dengan mudah dilelehkan. Selain itu, apabila menggunakan alumina yang telah diproses menggunakan metode DC *thermal plasma*, lapisan semprotan akan lebih tebal (Lee dkk., 2013).



Gambar 2.21 Area penampang lapisan semprotan: (a) film menggunakan bubuk alumina mentah dan (b) film menggunakan bubuk alumina dengan metode DC *Thermal Plasma* (Lee dkk., 2013)

2.6 Fishbone Diagram

Berikut adalah diagram fishbone dari penelitian pengaruh variasi arus listrik plasma dan *powder carrier gas flow rate* terhadap karakteristik nano alumina dengan metode DC *Thermal Plasma*:



Gambar 2.22 Fishbone diagram penelitian

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini serbuk alumunium dengan takaran sebesar 5 gram disintesis menggunakan metode *DC Thermal Plasma*. Serbuk yang sudah di timbang dengan timbangan digital akan diinjeksikan melalui injektor dengan *powder carrier gas flow rate* yang berbeda yaitu 8 lpm dan 13 lpm dari arah api dengan arus listrik plasma yang berbeda pula yaitu 60 ampere dan 70 ampere. Pembakaran dilakukan selama 20 detik sekaligus pengumpulan serbuk selama 3 menit. Setelah proses pembakaran dan pengumpulan serbuk sudah dilakukan maka langkah terakhir yaitu pengujian SEM dan XRD.

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 pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) *DC Inverter Plasma Cutting Rhino Cut-70*

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

<i>Rated input voltage</i>	= 220 volt – 1 Phase
<i>No-load voltage</i>	= 240 volt
<i>Current range</i>	= 20 – 70 A
<i>Rate duty cycle</i>	= 60 %

Input power = 1000 W

Dimension = 59 x 27 x 42 cm

2) Tabung reaktor *Thermal Plasma*

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

3) Radiator

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

4) Pompa radiator untuk sirkulasi air pendingin

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

Type = Shimizu PS135E

Volatage = 220 volt / 50 Hz 1 phase

Input power = 300 W

Capacity = 10-28 l/mnt

Pipe input = 25 mm

Pipe output = 25 mm

Weight = 11,5 kg

5) *Air Regulator*

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

6) Kompresor

Kompresor merupakan alat yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida berupa udara. Udara yang dihasilkan dari kompresor digunakan sebagai gas

plasma dan gas pendorong serbuk. Pada penelitian ini kompresor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

<i>Input power</i>	= 550 W
<i>Voltage</i>	= 180 – 220 volt
<i>Flow</i>	= 80 l/mnt
<i>Pressure</i>	= 8 bar
<i>Volume</i>	= 24 liter
<i>HP</i>	= 0,75 HP
<i>Weight</i>	= 26 kg

7) *Vacuum Pump*

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

<i>Model</i>	= KW 19-535
<i>Voltage</i>	= 220 / 50Hz
<i>Power</i>	= 3/4 HP
<i>Vacuum capacity</i>	= 5 Pa
<i>Oil capacity</i>	= 890 ml

8) *Filter nanopartikel*

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

9) *Wadah sampel*

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

10) *Powder feeder*

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

11) *Flow meter*

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

12) Timbangan digital

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

3.3.2 Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu serbuk alumunium komersil Merck KgaA buatan Jerman (nomor katalog 1.01056.0250) dengan kemurnian 97,1%.

3.4 Tahap Perencanaan Eksperimen

3.4.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka pokok permasalahannya dapat dirumuskan sebagai berikut: “pengaruh variasi arus listrik plasma dan *powder carrier gas flow rate* terhadap karakteristik nano alumina”

3.4.2 Tujuan Eksperimen

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Mengidentifikasi pengaruh variasi arus listrik plasma 60 ampere dan 70 ampere serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi SEM nano-alumina yang dihasilkan.
- b. Mengidentifikasi pengaruh variasi arus listrik plasma 60 ampere dan 70 ampere serta *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm terhadap karakterisasi XRD nano-alumina yang dihasilkan.

3.4.3 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel yang berubahannya 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. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti sendiri. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi arus listrik plasma 60 ampere dan 70 ampere sedangkan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm dan 13 lpm.

b. Variabel Kontrol

Variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variable bebas dan terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak sedang diteliti. Pada penelitian ini variabel kontrol yang digunakan yaitu tekanan udara pada kompresor sebesar 2 bar, waktu pembakaran serbuk selama 20 detik dan waktu hisap *vacuum pump* selama 3 menit.

3.4.4 Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

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

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

Tabel 3.1 Penentuan jumlah level dan nilai faktor

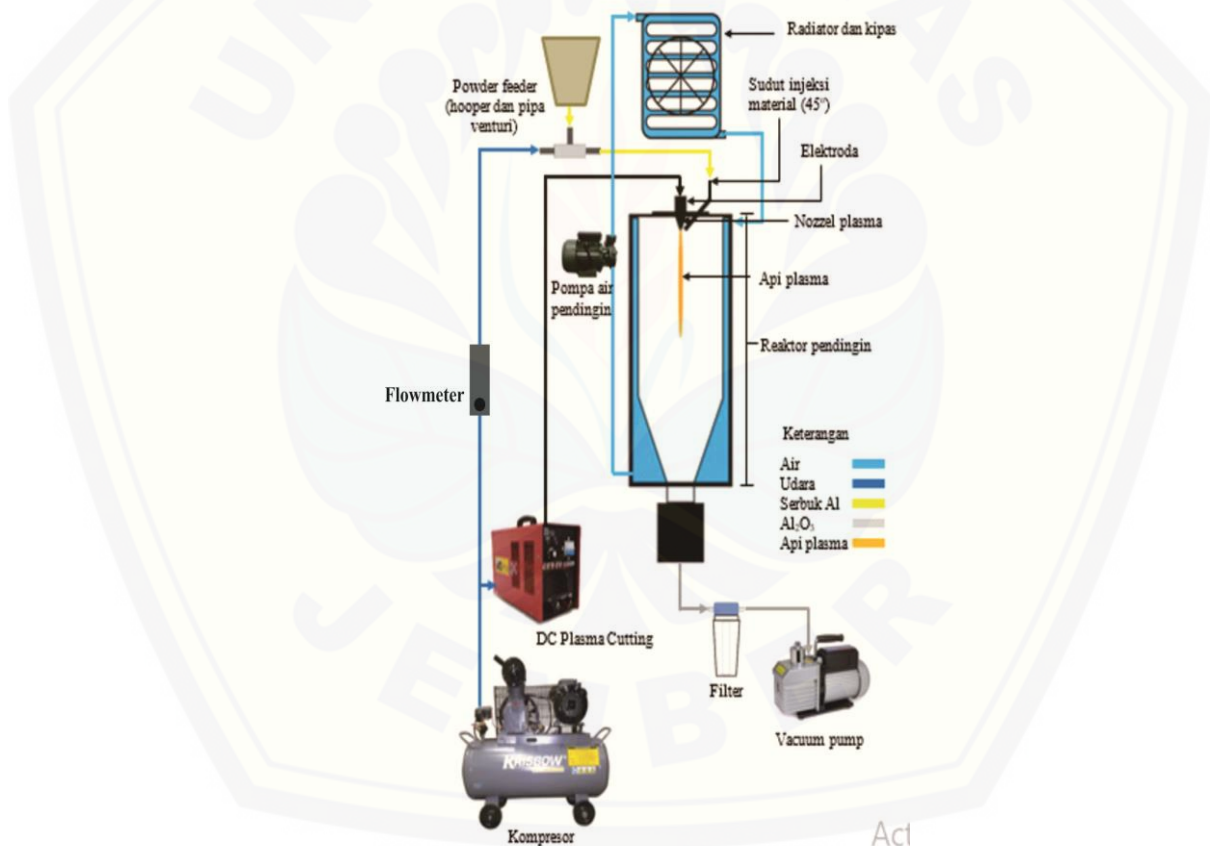
Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2
A	Arus listrik plasma	60 A	70 A
B	<i>Powder carrier gas flow rate</i>	8 lpm	13 lpm

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam pembuatan nanopartikel alumina adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan alat dan bahan.
- 2) Mengatur arus plasma pada 60 A dan 70 A.
- 3) Mengatur laju aliran gas kompresor pada 2 bar.

- 4) Mengatur powder carrier gas flow rate pada 8 lpm dan 13 lpm dengan menggunakan flowmeter.
- 5) Memasukkan serbuk alumunium (Al) ke dalam hopper yang akan diinjeksikan ke dalam tabung reaktor.
- 6) Menyalakan api plasma, kompresor, pompa air dan vacuum pump secara bersamaan. Proses pembakaran terjadi selama 20 detik dan waktu pengumpulan serbuk selama 3 menit.
- 7) Mengambil sampel yang telah tertampung pada *filter* dan meletakkannya ke dalam wadah sampel.
- 8) Kemudian dilakukan uji SEM dan XRD.



Gambar 3.1 Skema mesin DC Thermal Plasma

3.6 Prosedur Pengujian Nano Alumina (Al_2O_3)

3.6.1 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)

Alat uji SEM yang digunakan adalah alat uji NDT SEM FEI merk *Impact S50* di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang. Prosedur uji SEM adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat pengujian NDT SEM FEI merk *Impact S50*.
- 2) Preparasi sampel serbuk nano alumina (Al_2O_3) ditempat yang telah disediakan.
- 3) Melapisi sampel serbuk nano alumina (Al_2O_3) dengan bahan konduktif (misal dalam uji kali ini menggunakan emas (Au)).
- 4) Menaruh sampel yang sudah siap diuji pada *stage*.
- 5) Memasukkan *stage* kedalam alat NDT SEM FEI merk *Impact S50*.
- 6) Kemudian sampelsiap diuji dengan pembesaran yang dikehendaki dan gambar ditampilkan pada layar monitor

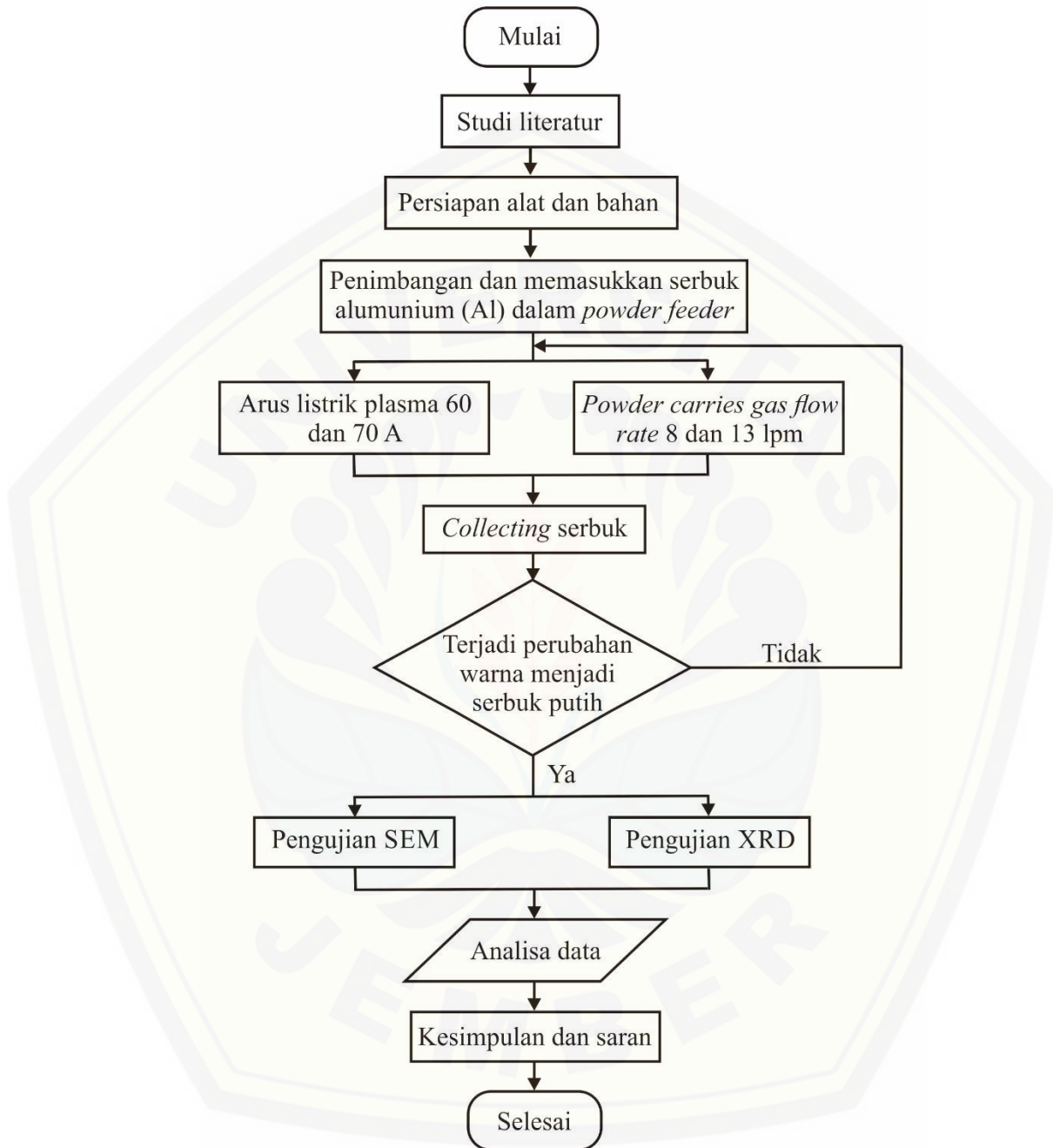
3.6.2 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Alat uji XRD yang digunakan adalah alat uji XRD merk *PanAnalytical, Tipe: Expert Pro* di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang. Prosedur uji XRD adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan sampel serbuk yang akan dianalisis.
- 2) Golongkan sampel serbuk nanopartikel yang akan dianalisis guna menentukan panjang gelombang yang dipakai.
- 3) Ambil sampel serbuk dan letakkan kedalam kaca preparat untuk sampel serta beri nama atau kode pada setiap sampel.
- 4) Letakkan kaca preparat yang berisi sampel terserbut kedalam mesin XRD.
- 5) Sampel siap ditembak dan dianalisa dengan mesin XRD merk *PanAnalytical, Tipe: Expert Pro*.

3.7 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.2 *Flowchart* Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Karakteristik nano alumina yang diproses dengan metode DC *thermal plasma* ditunjukkan oleh hasil pengamatan SEM bahwa morfologi alumina berbentuk bulat dan terjadi aglomerasi. Ukuran rata-rata partikel alumina yang dihasilkan pada variasi 60 A dan 8 lpm adalah 0,161 μm , sedangkan pada variasi 70 A dan 8 lpm adalah 60 nm. Penggunaan variasi 70 A dan 13 lpm menghasilkan ukuran rata-rata partikel sebesar 79 nm.
- 2) Karakteristik nano alumina yang diproses dengan metode DC *thermal plasma* ditunjukkan oleh hasil pengamatan XRD bahwa partikel nano alumina yang dihasilkan merupakan fasa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Ukuran rata-rata kristal yang dihitung menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* pada variasi 60 A dan 8 lpm adalah 24 nm, sedangkan pada variasi 70 A dan 13 lpm adalah 23 nm. Struktur kristal $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ berbentuk *cubic* dengan konstanta kisi $a = b = c = 0,793$ nm.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dikembangkan lagi untuk menghasilkan nanopartikel *Aluminium Oxide* (Al_2O_3) dengan karakteristik yang optimum, maka:

- 1) Penggunaan arus listrik plasma dan *powder carrier gas flow rate* yang tepat agar nanopartikel yang dihasilkan optimum.
- 2) Penggunaan mesin *vaccum pump* yang lebih baik agar proses *collecting* serbuk menjadi lebih optimum.
- 3) Penambahan uji *Transmission Electron Microscope* (TEM) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) agar karakteristik nanopartikel alumina yang dihasilkan lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, A. A. 2009. Pemesinan Nonkonvensional Plasma Arc Cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 9: 2.
- Alagarasi, A. 2011. Introduction To Nanomaterials. D. G. Vaishnav college.
- Alviandy, R., M. P. Marbun, F. Kurniawansyah dan A. Roesyadi. 2018. Proses Produksi Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Menggunakan Metode Impregnasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 12: 2.
- Ariningsih, E. 2016. Prospek Penerapan Teknologi Nano Dalam Pertanian Dan Pengolahan Pangan Di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*. 34: 1-20.
- Balakrishnan, A., P. Pizette, C.L. Martin, S.V. Joshi, dan B.P. Saha. 2010. Effect of particle size in aggregated and agglomerated ceramic powders. *Acta Materialia*. 58: 802–812.
- Bora, B., N. Aomoa, R. K. Bordoloi, D. N. Srivastava, H. Bhuyan, A. K. Das, dan M. Kakati. 2011. *Free-Flowing, Transparent γ -Alumina Nanoparticles Synthesized By A Supersonic Thermal Plasma Expansion Process*. *Current Applied Physics*. 12: 880-884.
- Buzea, C., Ivan I. Pacheco, dan Kevin Robbie. 2007. *Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity*. *Biointerphases*. 2: MR17-MR172.
- Chaturvedi, V., P.V. Ananthapadmanabhan, Y. Chakravarthy, S. Bhandari, Nirupama Tiwari, A. Pragatheeswaran, dan A.K. Das. 2014. *Thermal plasma spheroidization of aluminum oxide and characterization of the spheroidized alumina powder*. *Ceramics International*. 40: 8273–8279.
- Dolez, P. 2015. *Nanoengineering : Global Approaches to Health and Safety Issues*. CTT group, St-Hyacinthe, QC, Canada.
- Dwandaru, W. S. B. 2012. Aplikasi Nanosains Dalam Berbagai Bidang Kehidupan: Nanoteknologi. Laboratorium Fisika Teori dan Komputasi, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, UNY Karangmalang, Yogyakarta.
- E. Gomez, E., Rani, D. A., Cheeseman, C.R., Deegan, D., Wise, M., dan Boccaccini, A. R. 2009. *Thermal Plasma Technology For The Treatment Of Wastes: A Critical Review*. *Journal of Hazardous Materials*. 161: 614–626.

- Erlangga, B. D., Mulyadi, D., dan Cahyarini, s. Y.. 2016. Analisis Petrografi Dan *X-Ray Diffraction* Untuk Deteksi Kalsit Non Destruktif Dari Fosil Karang *Porites* Endapan Terumbu Kuarter Kendari, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambang*. 26: 15 -21.
- Field, D. J. 1989. *Oxidation of Aluminum and Its Alloys. Treatise on Materials Science & Technology*. 31: 523-537.
- Gangwar, J., Bipin Kumar Gupta, Surya Kant Tripathi, dan Avanish Kumar Srivastava. 2015. *Phase Dependent Thermal And Spectroscopic Responses Of Al₂O₃ Nanostructures With Different Morphogenesis*. *Nanoscale*. 7: 13313–13344.
- Jeevanandam, J., Ahmed Barhoum, Yen S. Chan, Alain Dufresne, dan Michael K. Danquah. 2018. *Review On Nanoparticles And Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity And Regulations*. *Beilstein J. Nanotechnol*. 9: 1050-1074.
- Junus, S., A. Zulfia, E. Tanoto, dan L. Mariani. 2013. The Influence of Various Percentage of Al₂O₃ by Using Vortex Method to Tensile Strength and The Distribution of Al₂O_{3p} Composite. *Advanced Materials Research*. 8-11.
- Junus, S., Sumarji, Haidzar, dan R. Sidartawan. 2019. The Effect Of Copper Electrode And Hss Type Electrode On Dc Thermal Plasma Methode On The Characteristics Of The Nanoparticle Al₂O₃. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 14: 1.
- Junus, S., Sumarji, R. Sidartawan, dan D. Riyanto. 2019. Influence of Magnesium on Hardness and Microstructure of ADC 12 Alloy Produced by Gravity Casting Method. *Materials Science Forum*. 951: 101-105.
- Khairani, R., H. Setiawan, dan B. Sunendar. 2016. Sintesis Dan Karakterisasi γ -Al₂O₃ Nanopartikel Dari Garam Nitrat Dengan Variasi Penambahan Polietilen Glikol. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*. 25: 89-95.
- Kumar, S., Kicheol Kang, Gyuyeol Bae, V. Selvarajan, dan Changhee Lee. 2008. *Synthesis And Characterization Of Alumina Nano-Powders By Oxidation Of Molten Aluminium In A Thermal Plasma Reactor: Comparison With Theoretical Estimation*. *Materials Chemistry and Physics*. 112: 436-441.
- Lee, W., Sooseok Choi, Seung-Min Oh, dan Dong-Wha Park. 2013. *Preparation Of Spherical Hollow Alumina Particles By Thermal Plasma. Thin Solid Films*. 529: 394-397.

- Munasir, Triwikantoro, M. Zainuri, dan Darminto. 2012. Uji Xrd Dan Xrf Pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ DAN SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. 2: 1.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang.
- Pokropivny, V., Rynno Lohmus, Irina Hussainova, Alex Pokropivny, dan Sergey Vlassov. 2007. *Introduction To Nanomaterials And Nanotechnology*. Ukraine: University of Tartu.
- Poole, Charles P, Jr., dan Frank J. Owens. 2003. *Introduction To Nanotechnology*. New Jersey.
- Pratama, B. W. 2017. Uji Karakteristik Morfologi, Fisis, Dan Kimia Butiran Sub Mikron Nanomaterial Dengan Variasi Sumber Karbon Sebagai Alat Filtrasi Sederhana. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahman, S. dan Toifur, M. 2016. Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *JRKPF UAD*. 3: 1.
- Riwayati, I. 2007. Analisa Resiko Pengaruh Partikel Nano Terhadap Kesehatan Manusia. *Momentum*. 3: 17-20.
- Seung-Min Oh dan Dong-Wha Park. 2000. *Preparation of ultra-fine alumina powders by D.C. plasma jet*. *Korean J. Chem. Eng.* 17: 299-303
- Shanmugavelayutham ,G., V. Selvarajan, dan P.V.A. Padmanabhan. Effect of powder loading on the excitation temperature of a plasma jet in DC thermal plasma spray torch. *Current Applied Physics*. 7: 186–192.
- Sharafat, S., Kobayashi, A., Chen, Y., dan Ghoniem, N. M. 2002. *Plasma spraying of micro-composite thermal barrier coatings*. *Vacuum*. 65: 415–425.
- Shirai, T., Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, dan Minoru Takahashi. 2009. *Structural Properties and Surface Characteristics on Aluminum Oxide Powders*. 9: 23-31.
- Singh, I. B., Akanksha Gupta, Swati Dubey, M. Shafeeq, P. Banerjee, dan A. S. K. Sinha. 2016. *Sol–Gel Synthesis Of Nanoparticles Of Gamma Alumina And Their Application In Defluoridation Of Water*. *J Sol-Gel Sci Technol*. 77:416–422.

- Sumadiyasa, M., dan I B. S. Manuaba. 2018. Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot dan Ukuran Partikel dengan SEM. *Buletin Fisika*. 19: 28-35.
- Suresh, K., V. Selvarajan, dan I. Mohai. 2008. *Synthesis And Characterization Of Iron Aluminide Nanoparticles By Dc Thermal Plasma Jet*. *Vacuum*. 82: 482-490.
- 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.
- Suwarno, S. P. 2015. Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al_2O_3) Untuk Aplikasi Alternatif Phantom Tulang Kortikal. Skripsi. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Tok, A.I.Y., F. Y. C. Boey, dan X. L. Zhao. 2006. *Novel Synthesis Of Al_2O_3 Nano Particles By Flame Spray Pyrolysis*. *Journal of Materials Processing Technology*. 178: 270-273.
- Wardani, D., dan S. Pratapa. 2014. Identifikasi Fasa pada Sintesis Al_2O_3 dengan Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 3: 2337-3520.
- Xiong, H.B., C. Zhang, K. Zhang dan X. Shao. 2016. Effects of Atomization Injection on Nanoparticle Processing in Suspension Plasma Spray. *Nanomaterials*. 6: 94.
- Yanuar, E., Zulkifli, Wirya Sarwana, dan Eka Putra Ramdhani. 2018. Sintesis γ - Al_2O_3 Dari Zeolit Alam Sumbawa *Synthesis Of γ - Al_2O_3 From Sumbawa Natural Zeolite*. *Jurnal Zarah*. 6: 59-62.
- Zeng, Y., S.W. Lee dan C.X. Ding. 2002. Plasma spray coatings in different nanosize alumina. *Materials Letter*. 57: 495-501.

LAMPIRAN

Alat DC Thermal Plasma



Gambar alat DC *Thermal Plasma*

Komponen DC Thermal Plasma



DC generator



Tabung reaktor



Panel control



Radiator



Pompa



Vacuum pump



Kompresor



Filter



Powder Feeder



Flow meter

JEMBER

Alat Dan Bahan

Serbuk aluminium



Serbuk aluminium



Timbangan digital



Wadah sampel

Proses Pembuatan Nanopartikel Alumina



Penimbangan serbuk awal



Mengatur parameter penelitian



Proses sintesis alumunium menjadi alumina



Proses vakum (menghisap nanopartikel yang terbentuk)



Proses *collecting* nanopartikel pada filter



Partikel nano alumina yang terbentuk



Gambar partikel nano alumina pada piringan *nozzle* plasma



Gambar partikel nano alumina pada dinding reaktor plasma

Perhitungan Ukuran Kristal

- 1) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 60 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,2362}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,002060 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,002060 \cdot \cos 16,335} \\ &= 35,05 \text{ nm}\end{aligned}$$

- 2) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 60 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,4723}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,004119 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,004119 \cdot \cos 18,255} \\ &= 17,71 \text{ nm}\end{aligned}$$

- 3) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 60 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,7085}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,006179 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,006179 \cdot \cos 22,845}\end{aligned}$$

$$= 12,17 \text{ nm}$$

- 4) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 60 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,2755}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,002403 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,002403 \cdot \cos 30,7} \\ &= 33,54 \text{ nm}\end{aligned}$$

- 5) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 60 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 8 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,3936}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,003433 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,003433 \cdot \cos 33,515} \\ &= 24,21 \text{ nm}\end{aligned}$$

- 6) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 70 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 13 lpm

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,1968}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,001716 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,001716 \cdot \cos 16,375}$$

$$= 42,07 \text{ nm}$$

- 7) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 70 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 13 lpm

$$\beta = \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= \frac{0,3936}{2} \times \frac{3,14}{180}$$

$$= 0,003433 \text{ radian}$$

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,003433 \cdot \cos 18,265}$$

$$= 21,25 \text{ nm}$$

- 8) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 70 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 13 lpm

$$\beta = \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= \frac{0,5510}{2} \times \frac{3,14}{180}$$

$$= 0,004806 \text{ radian}$$

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,004806 \cdot \cos 22,78}$$

$$= 15,64 \text{ nm}$$

- 9) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 70 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 13 lpm

$$\beta = \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= \frac{0,4723}{2} \times \frac{3,14}{180}$$

$$= 0,004119 \text{ radian}$$

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,004119 \cdot \cos 30,7} \\ &= 19,56 \text{ nm} \end{aligned}$$

- 10) Perhitungan ukuran kristal partikel nano alumina variasi arus listrik plasma 70 ampere dan variasi *powder carrier gas flow rate* 13 lpm

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{FWHM}{2} \times \frac{\pi}{180} \\ &= \frac{0,4723}{2} \times \frac{3,14}{180} \\ &= 0,004119 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \cdot 0,15406}{0,004119 \cdot \cos 33,57} \\ &= 20,19 \text{ nm} \end{aligned}$$