



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

**REVIEW: PENGARUH PENGGUNAAN MESIN PENCAMPURAN
SERBUK JENIS DOUBLE CONE DAN V-CONE TERHADAP
HOMOGENITAS CAMPURAN DAN SIFAT FISIK PADA
FABRIKASI KOMPOSIT LOGAM MATRIKS COPPER**

**NINIK SAFRIDA
NRP. 0251164000022**

**Dosen Pembimbing
Dr Widyastuti S.Si., M.Si
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**REVIEW: PENGARUH PENGGUNAAN MESIN
PENCAMPURAN SERBUK JENIS DOUBLE CONE DAN
V-CONE TERHADAP HOMOGENITAS CAMPURAN DAN
SIFAT FISIK PADA FABRIKASI KOMPOSIT LOGAM
MATRIKS COPPER**

NINIK SAFRIDA
NRP. 0251164000022

Dosen Pembimbing
Dr Widyastuti S.Si., M.Si
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**REVIEW: THE EFFECT OF USING MIXING MACHINE
TYPE OF DOUBLE CONE AND V-CONE ON
HOMOGENEITY MIXTURE AND PHYSICAL
PROPERTIES ON FABRICATION OF COPPER METAL
MATRIX COMPOSITE**

NINIK SAFRIDA
NRP. 0251164000022

Supervisors
Dr Widyastuti S.Si., M.Si
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**REVIEW: PENGARUH PENGGUNAAN MESIN
PENCAMPURAN SERBUK JENIS DOUBLE CONE DAN
V-CONE TERHADAP HOMOGENITAS CAMPURAN DAN
SIFAT FISIK PADA FABRIKASI KOMPOSIT LOGAM
MATRIKS COPPER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

NINIK SAFRIDA
NRP 0251164000022

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widyastuti S.Si., M. Si (Pembimbing I)
2. Dr. Eng Hosta Ardhyananta, ST., M.Sc..... (Pembimbing II)



**SURABAYA
AGUSTUS 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**REVIEW: PENGARUH PENGGUNAAN MESIN
PENCAMPURAN SERBUK JENIS DOUBLE CONE DAN
V-CONE TERHADAP HOMOGENITAS CAMPURAN DAN
SIFAT FISIK PADA FABRIKASI KOMPOSIT LOGAM
MATRIKS COPPER**

Nama : Ninik Safrida
NRP : 0251164000022
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Pembimbing II : Dr Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

Abstrak

Proses pencampuran serbuk dalam fabrikasi komposit logam matriks copper merupakan salah satu proses yang penting untuk mencapai homogenitas campuran. Homogenitas tersebut sangat mempengaruhi pada sifat fisik dan sifat mekanik pada komposit logam matriks copper. Pada metode metalurgi serbuk, penggunaan mesin pencampuran serbuk jenis double cone dan v-cone mampu mengurangi segregasi terhadap hasil pencampuran dan memberikan homogenitas yang tinggi untuk fabrikasi komposit logam matriks copper. Pada review kali ini, dilakukan analisis mengenai pengaruh dari penggunaan mesin pencampuran serbuk jenis double cone dan v-cone terhadap homogenitas campuran yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanik dalam fabrikasi komposit logam matriks copper. Untuk menunjang analisis tersebut dilakukan pengumpulan data dari sebelas jurnal dan dilakukan analisa homogenitas ditinjau dari uji SEM dan mikroskop optik dengan identifikasi ukuran serbuk dan parameter proses pencampuran. Selanjutnya dilakukan analisa sifat fisik yang ditinjau dari nilai densitas dan porositas. Dari hasil uji SEM dan mikroskop optic menunjukkan adanya homogenitas campuran dan degradasi ukuran serbuk menjadi irregular pada kedua mesin pencampuran. Penggunaan double cone mixer lebih efektif dalam menghomogenkan campuran dengan penggunaan ukuran serbuk

20,6-125 μm , rentang perbedaan antar ukuran serbuk $\leq 1: 2$, proporsi serbuk reinforce 10-40%, variasi 2 serbuk, proses pencampuran serbuk selama 15-45 menit. Dari homogenitas tersebut, terdapat peningkatan nilai densitas sebesar 5,66%-13% dan penurunan nilai porositas sebesar 35-57%.

Kata Kunci: *Densitas, Homogenitas, Pencampuran, Porositas.*

**REVIEW: THE EFFECT OF USING MIXING MACHINE
TYPE OF DOUBLE CONE AND V-CONE ON
HOMOGENEITY MIXTURE AND PHYSICAL
PROPERTIES ON FABRICATION OF COPPER METAL
MATRIX COMPOSITE**

Student Name : Ninik Safrida
NRP : 0251164000022
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr Widyastuti, S.Si., M. Si.
Co-Supervisor : Dr Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

Abstract

The process of mixing powder in fabrication of copper metals matrix composite is one of the important processes for achieving mixed homogeneity. This homogeneity greatly influences the physical and mechanical properties of copper metal matrix composites. In the powder metallurgy method, the use of double cone and v-cone powder mixing machines can reduce segregation of the mixing results and provide high homogeneity for fabrication of copper metal matrix composite. In this review, an analysis of the using mixing powder machine type of double cone and v-cone on homogeneity of mixtures that can affect on physical and mechanical properties in the fabrication of copper metal matrix composites. To support this analysis, eleven journals was collected and doing analysis of homogeneity in terms of SEM tests and optical microscopes by identyfication of powder sizes and mixing process parameters. Furthermore, physical characteristics were analyzed in terms of density and porosity. From the SEM test and optical microscopy showed the homogeneity of the mixture and the degradation of powder size became irregular in both mixing machines. The use of double cone mixer is more effective in homogenizing the mixture with the using of a powder size of 20.6-125 μm , the range of differences between powder sizes $\leq 1: 2$, the proportion of powder reinforce 10-40%, variation of 2 powders mixture, and, powder mixing process for 15-45 minutes . From this

homogeneity, there are increasing of density value of 5.66% -13% and a decrease in porosity value of 35-57%.

Keywords: *Density, Homogeneity, Mixing, Porosity.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Review: Pengaruh Penggunaan Mesin Pencampuran Serbuk Jenis Double Cone Dan V-Cone Terhadap Homogenitas Campuran dan Sifat Fisik Pada Fabrikasi Komposit Logam Matriks *Copper*”** yang mana telah terlaksana dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya.

Terselesaikannya Laporan Tugas Akhir tidak luput dari dukungan dan bantuan dari semua pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kasih kepada:

1. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si dan Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M. Si selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
3. Bapak Ir. Mohammad Farid, DEA selaku dosen wali penulis yang mana telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik maupun saran yang membangun dari pembaca. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 23 Juli 2020
Penulis

Ninik Safrida

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan <i>Review</i>	3
1.3 Batasan <i>Review</i>	3
1.4 Tujuan <i>Review</i>	4
1.5 Manfaat <i>Review</i>	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Copper Metal Matrix Composite</i>	5
2.2 Metalurgi Serbuk.....	10
2.3 Proses Pencampuran Serbuk.....	13
2.3.1 Karakteristik Serbuk.....	19
2.3.2 Segregasi Serbuk.....	24
2.3.3 Pengaruh Lubrikan terhadap Proses Pencampuran.....	26
2.3.4 Macam-Macam Proses Pencampuran Serbuk.....	27
2.3.5 Karakteristik Visual dan Statistik Homogenitas Serbuk.....	29
2.3.6 Aglomerasi Campuran Serbuk.....	33
2.4 <i>Tumbling Mixer</i>	36
2.4.1 <i>Double cone mixer</i>	41
2.4.2 <i>V-cone mixer</i>	42
BAB III METODOLOGI REVIEW	
3.1 Diagram Alir.....	45
3.2 Parameter Penelitian.....	46
3.2.1 Parameter Respon.....	47

3.2.2	Parameter Proses dan Faktor Pembanding	47
3.2.3	Parameter Konstan	50
3.3	Jenis dan Sumber Data.....	50
3.3.1	Jenis Review Jurnal	51
3.3.2	Sumber Data	51
3.4	Pengumpulan Data Eksperimental Jurnal	51
3.4.1	Klasifikasi Jurnal	52
3.4.2	<i>State of the Art / Road Map</i>	54
3.5	Penentuan Ruang Lingkup Bahasan	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Penggunaan <i>Double cone mixer</i> pada Pencampuran Serbuk dalam Fabrikasi <i>Copper Metal Matrix</i>	64
4.1.1	Morfologi Dispersi Serbuk	66
4.1.2	Densitas dan Porositas	79
4.1.3	Nilai Kekerasan (<i>Hardness</i>)	86
4.1.4	Analisa Jurnal	89
4.2	Penggunaan <i>V-cone mixer</i> pada Pencampuran Serbuk dalam Fabrikasi <i>Copper Metal Matrix</i>	91
4.2.1	Morfologi Dispersi Serbuk	92
4.2.2	Densitas dan Porositas	102
4.2.3	Nilai Kekerasan (<i>Hardness</i>)	107
4.2.4	Analisa Jurnal	111
4.3	Perbandingan Mesin Pencampuran Serbuk.....	112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	115
5.2	Saran	116
DAFTAR PUSTAKA		117
UCAPAN TERIMA KASIH		127
BIODATA PENULIS		129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Jenis-jenis <i>reinforce</i> yang digunakan dalam fabrikasi komposit.....	6
Gambar 2. 2	Ilustrasi skema elemen penyusun komposit.....	6
Gambar 2. 3	Nilai ekspansi termal pada MMCs.....	8
Gambar 2. 4	Skema proses manufaktur Komposit logam dengan matriks copper dengan proses metalurgi serbuk	11
Gambar 2. 5	Ilustrasi proses kompaksi serbuk	12
Gambar 2. 6	Hubungan antara kecepatan putar dengan waktu pencampuran serbuk dan <i>fill level</i> saat operasi.....	15
Gambar 2. 7	Ilustrasi mekanisme pencampuran serbuk secara umum	17
Gambar 2. 8	Ilustrasi mekanisme pencampuran serbuk dengan representasi skema dalam kurva	18
Gambar 2. 9	Skema proses pencampuran serbuk	19
Gambar 2. 10	Ilustrasi segregasi antar partikel kecil dan besar dan grafik distribusi ukuran terhadap diameter partikel serbuk.....	21
Gambar 2. 11	Bentuk partikel serbuk.....	23
Gambar 2. 12	Ilustrasi segregasi pada proses pencampuran serbuk	25
Gambar 2. 13	Hubungan antara penambahan lubrikan terhadap (a) waktu pencampuran serbuk dengan <i>apparent density</i> dan (b) waktu alir serbuk.....	27
Gambar 2. 14	Ilustrasi variasi homogenitas dua serbuk dengan (a), tingkat homogenitas yang rendah (b) partikel masih teraglomerasi (c) partikel terdispersi dan bercampur antar dua komposisi partikel serbuk menunjukkan homogenitas campuran.....	30

Gambar 2. 15	Ilustrasi kualitas homogenitas hasil pencampuran	30
Gambar 2. 16	Skematik ilustrasi dari jenis serbuk (a) aglomerasi (b) agregat.....	34
Gambar 2. 17	hasil pengujian (a) SEM dan (b) TEM pada W-nano Cu komposit.....	35
Gambar 2. 18	Klasifikasi mesin pencampuran berdasarkan energi yang dibutuhkan.....	38
Gambar 3. 1	Diagram alir penelitian pembahasan jurna.....	46
Gambar 3. 2	Keterkaitan antara parameter respon, parameter proses, dan faktor pembanding.....	50
Gambar 4. 1	<i>Milestone</i> pembahasan <i>review</i> jurnal	63
Gambar 4. 2	hasil uji SEM komposit <i>Copper-SiO₂-Fe</i> pada permukaan kontak pada temperature sintering 950 °C	67
Gambar 4. 3	Hasil uji mikroskop optic terhadap mikrostruktur komposit <i>cu/silica ceramic</i> dengan lubrikan (a) graphite (b) h-BN (c) MoS ₂ ((1) silica, (2) graphite flake, (3) h-BN	68
Gambar 4. 4	Hasil uji SEM pada (a) dan (b) <i>Cu-as received</i> SiC 600 grit serta (c) dan (d) <i>Cu-as received</i> SiC 400 grit	69
Gambar 4. 5	Hasil karakterisasi Cu-12,5% campuran serbuk dengan metode <i>dry mixing</i> menggunakan <i>double cone mixer</i> (a) dan (b) hasil uji SEM dengan perbesaran yang berbeda (lingkaran merah menyatakan adanya aglomerasi pada Al ₂ O ₃)	71
Gambar 4. 6	Hasil uji SEM terhadap Cu-Al ₂ O ₃ setelah sintering dengan tiga metode yang berbeda (a) <i>dry mixing</i>	71
Gambar 4. 7	Hasil pengamatan menggunakan mikroskop optic pada specimen hasil	

	sintering (a) Cu- <i>as received</i> grit 600 dan (b) Cu- <i>as received</i> grit 40073
Gambar 4. 8	Hasil uji mikroskop optic setelah melalui proses <i>hot pressing</i> pada specimen (a) Cu- <i>as-received</i> SiC _p (b) Cu/SiC _p yang telah dilapisi Y ₂ O ₃ dan (c) Cu/SiC _p yang telah dilapisi NiP ₂74
Gambar 4. 9	Mikrostruktur pada MMCs dengan parameter produksi yang berbeda pada (a) 350°C, 820 MPa 20%wt dari <i>reinforce</i> , (b) 400°C, 640 MPa 30%wt dari <i>reinforce</i> (c) 450°C, 820 MPa 10%wt dari <i>reinforce</i> (d) 350°C, 480 MPa 40%wt dari <i>reinforce</i>75
Gambar 4. 10	Hasil pengujian morfologi mikrostruktur menggunakan SEM pada paduan Cu-W93
Gambar 4. 11	Hasil uji mikroskop optic pada deposisi lapisan OHSN menggunakan elektroda Cu-CrB ₂94
Gambar 4. 12	Cu-MMC pada mikroskop optic (a) parallel pada permukaan gesekan (b) menjalar secara perpendicular pada permukaan gesekan95
Gambar 4. 13	Mikrostruktur hasil sintering pada <i>pallets</i> (a) Cu 100% (b) Cu 90%- SiC 10% (c) Cu 85%- SiC 15% (d) Cu 80%- SiC 20% dengan perbesaran 1000x.....96
Gambar 4. 14	Hasil uji visual mikrografi komposit Cu/GC dengan variasi kandungan grafit (a) 2wt% (b) 3wt% (c) 4wt% (d) 5wt%98

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tipe ikatan <i>Interatomic</i>	6
Tabel 2. 2	Perbandingan <i>physical properties</i> pada tembaga	7
Tabel 2. 3	Karakteristik mekanik dari tembaga	7
Tabel 2. 4	Perbandingan mekanisme proses pencampuran serbuk	19
Tabel 2. 5	Perbandingan proses batch dan kontinyu pada pencampuran serbuk	29
Tabel 2. 6	Ringkasan jenis campuran	31
Tabel 2. 7	Perbandingan klasifikasi mesin pencampuran serbuk berdasarkan jenis aliran yang terjadi dalam mesin pencampuran serbuk jenis tumbling	37
Tabel 2. 8	Perbedaan dan masalah yang terjadi pada <i>vessel fixed mixer</i> dan <i>tumbling mixer</i>	39
Tabel 2. 9	Perbandingan operasi dan mekanisme mesin pencampuran serbuk (Lamotte, 2018)	40
Tabel 3. 1	Variabel yang digunakan dalam pembahasan review jurnal	48
Tabel 3. 2	Faktor pembanding yang mempengaruhi dalam variabel	48
Tabel 3. 3	Klasifikasi jenis mesin pencampuran serbuk pada <i>tumbling mixer</i>	53
Tabel 3. 4	Klasifikasi material atau elemen unsur dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan <i>double cone mixer</i> dan <i>v-cone mixer</i>	54
Tabel 3. 5	<i>State of the art</i> dari klasifikasi mesin <i>double cone mixer</i> pada material dengan karakteristik serbuk dan parameter proses yang digunakan	55

Tabel 3. 6	<i>State of the art</i> dari klasifikasi mesin <i>v-cone mixer</i> pada material dengan karakteristik serbuk dan parameter proses yang digunakan	56
Tabel 3. 7	Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan mesin <i>v- cone mixer</i>	56
Tabel 3. 8	Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan mesin <i>double cone mixer</i>	57
Tabel 3. 9	Material dan Mesin Pencampuran Serbuk.....	58
Tabel 3. 10	Ruang lingkup pembahasan.....	59
Tabel 4. 1	Karakteristik serbuk elemen unsur dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks <i>copper</i> komposit menggunakan <i>double cone mixer</i>	65
Tabel 4. 2	Perubahan bentuk pada partikel serbuk pada morfologi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan fabrikasi mesin <i>double cone mixer</i>	77
Tabel 4. 3	Limitasi karakteristik serbuk terhadap disperse serbuk dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks <i>copper</i> komposit menggunakan mesin <i>double cone mixer</i>	78
Tabel 4. 4	Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin <i>double cone mixer</i>	80
Tabel 4. 5	Nilai porositas pada komposit logam dengan matriks <i>copper</i> dengan menggunakan <i>double cone mixer</i>	82
Tabel 4. 6	Nilai densitas pada fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin <i>double cone mixer</i>	85
Tabel 4. 7	Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin <i>double cone mixer</i>	88

Tabel 4. 8	Nilai kekerasan pada komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin <i>double cone mixer</i>	88
Tabel 4. 9	Kelengkapan sajian data jurnal pada fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan mesin <i>double cone mixer</i>	91
Tabel 4. 10	Karakteristik serbuk elemen unsur dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan <i>v-cone mixer</i>	92
Tabel 4. 11	Perubahan bentuk pada partikel serbuk pada morfologi komposit Komposit logam dengan matriks <i>copper</i> komposit menggunakan fabrikasi mesin <i>v-cone mixer</i>	100
Tabel 4. 12	Limitasi karakteristik serbuk terhadap disperse serbuk dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks <i>copper</i> komposit menggunakan mesin <i>v-cone mixer</i>	101
Tabel 4. 13	Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin pencampuran <i>v-cone mixer</i>	103
Tabel 4. 14	Nilai porositas pada Cu komposit metal matriks dengan menggunakan <i>v-cone mixer</i>	104
Tabel 4. 15	Nilai densitas pada komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan <i>v-cone mixer</i>	105
Tabel 4. 16	Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> pada penggunaan mesin <i>v-cone mixer</i>	108
Tabel 4. 17	Nilai kekerasan pada Cu komposit metal matriks dengan menggunakan <i>v-cone mixer</i>	109
Tabel 4. 18	Kelengkapan sajian data jurnal pada fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i> menggunakan mesin <i>v- cone mixer</i>	112
Tabel 4. 19	Perbandingan morfologi dari penggunaan mesin <i>double cone mixer</i> dan <i>v-cone mixer</i>	

	untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks <i>copper</i>	113
Tabel 4. 20	Perbandingan sifat fisik dan mekanik pada komposit logam dengan matriks <i>copper</i>	113

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade ini, komposit dengan matriks logam lambat laun memiliki *trend* tersendiri dalam bidang material lanjutan. Salah satu jenis material tersebut adalah komposit logam dengan matriks *copper* (Jamwal, A., dkk, 2020). Pada umumnya komposit tersebut menggunakan metode fabrikasi metalurgi serbuk karena mudah dan murah yang mana memiliki tahapan fabrikasi yaitu pencampuran serbuk, pemadatan campuran serbuk, dan proses sintering serbuk serta dilanjutkan proses *finishing* (ASM Handbook Volume 7, 1998). Komposit logam dengan matriks *copper* memiliki keunggulan yaitu memiliki ketangguhan yang tinggi, kekuatan dan kekerasan yang tinggi, sebagai material penghantar panas yang baik dan memiliki nilai koefisien termal ekspansi yang rendah, serta memiliki daya tahan keausan yang tinggi (Gautam, Y. K., 2018). Selain itu, juga digunakan sebagai material *machinability*. Namun dalam suatu kasus saat pengaplikasian sebagai material *machinability*, komposit logam dengan matriks *copper* mengalami patah atau retak sebelum dilakukan proses *machining* sehingga mengurangi sifat mekaniknya (Salur, E, dkk, 2019). Hal ini dikarenakan ketidakhomogenan campuran serbuk saat proses fabrikasi yang mana berkaitan dengan proses pencampuran serbuk. Proses ini dipengaruhi oleh karakteristik serbuk berupa ukuran, bentuk, dan densitas serbuk serta parameter proses pencampuran serbuk berupa *fill level*, kecepatan pencampuran (rpm), dan waktu pencampuran serbuk (German, 1984).

Dalam proses pencampuran serbuk perlu adanya mesin pencampuran serbuk yang menunjang ketercapaian homogenitas campuran dengan didukung oleh parameter yang ada. Adanya homogenitas tersebut dapat meningkatkan sifat fisik maupun sifat mekanik dari komposit logam dengan matriks *copper*. Menurut Oka, S, dkk (2017), proses pencampuran serbuk jenis batch efektif

dalam pencampuran serbuk logam karena dapat mengurangi adanya segregasi sehingga tingkat homogenitas campuran tinggi. Dari segi mesin pencampuran, Hitesh, dkk (2011) dan Upadhyaya (2002) menyatakan bahwa dalam fabrikasi menggunakan metalurgi serbuk pada skala industri, cocok menggunakan mesin pencampuran serbuk jenis *tumbling* yaitu *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Selain itu, penggunaan mesin pencampuran serbuk jenis ini dapat digunakan untuk pencampuran partikel kering dan memudahkan dalam menghomogenkan serbuk serta proses pengeluaran campuran serbuk. Hal ini ditunjang dengan desain mesin yang memiliki bentuk *conical* dengan sudut. Pada penelitian Volpato, dkk (2017), menjelaskan bahwa dalam desain geometri mesin *tumbling* khususnya *double cone mixer* memiliki aliran pencampuran serbuk yang efisien yaitu lapisan aktif (*active layer*) yang berfungsi untuk menghomogenkan campuran serbuk. Hal ini ditunjang dengan adanya parameter proses pencampuran serbuk yang optimum sesuai dengan jenis mesin pencampuran serbuk dan karakteristik serbuk yang dicampurkan.

Dalam melakukan proses pencampuran serbuk menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*, perlu adanya identifikasi karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran. Hal ini berkaitan dengan penggunaan dari kedua mesin tersebut, maka dapat diketahui homogenitas dan distribusi campuran serbuk yang mana berkaitan dengan sifat fisik dan sifat mekanik komposit. Adanya identifikasi karakteristik serbuk tersebut, dikarenakan mempengaruhi parameter proses pencampuran serbuk yang digunakan dari segi waktu pencampuran dan kecepatan pencampuran (Seyed-Salim, S-M, 2013). Sehingga dari review jurnal kali ini diharapkan dapat menjadi acuan atau referensi dalam melakukan proses pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* dengan identifikasi karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran serbuk untuk homogenitas campuran serbuk dan sifat fisiknya.

1.2 Perumusan *Review*

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

1. Bagaimana morfologi dispersi hasil pencampuran serbuk dari penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dengan identifikasi karakterisasi serbuk dan parameter proses pencampuran serbuk dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* ?
2. Bagaimana pengaruh homogenitas atau dispersi serbuk dalam campuran serbuk terhadap sifat fisik yaitu nilai porositas dan nilai densitas pada komposit logam dengan matriks *copper* ?
3. Bagaimana efektifitas dari penggunaan mesin pencampuran serbuk antara *double cone mixer* dan *v-cone mixer* ditinjau dari hasil homogenitas serbuk dan peningkatan sifat fisik komposit logam dengan matriks *copper* ?

1.3 Batasan *Review*

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran serbuk yang digunakan dianggap homogen sesuai dengan data sekunder atau data eksperimental yang didapatkan dari beberapa jurnal
2. Jenis mesin *mixer* yang digunakan yaitu *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dengan dimensi mesin yang ditetapkan ideal sebagai *mixer* standar untuk penelitian pada laboratorium
3. Temperatur dan *humidity* saat proses pencampuran sama dengan kondisi vakum
4. Hanya membahas mengenai proses pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dalam *komposit logam dengan matriks copper* dengan *reinforce* yang berbeda dengan mengidentifikasi pada

ukuran serbuk dan parameter proses khususnya waktu pencampuran serta rpm yang digunakan dalam tiap-tiap jurnal

5. Metode yang digunakan adalah metalurgi serbuk dengan standar proses untuk fabrikasi *copper metal matrix composite*

1.4 Tujuan Review

Dengan adanya beberapa rumusan masalah yang telah tertulis di atas, terdapat tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis morfologi dispersi hasil pencampuran serbuk dari penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dengan identifikasi karakterisasi serbuk dan parameter proses pencampuran serbuk dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*.
2. Menganalisis pengaruh homogenitas atau dispersi serbuk dalam campuran serbuk terhadap sifat fisik yaitu nilai porositas dan nilai densitas pada komposit logam dengan matriks *copper*.
3. Menganalisis efektifitas dari penggunaan mesin pencampuran serbuk antara *double cone mixer* dan *v-cone mixer* ditinjau dari hasil homogenitas serbuk dan peningkatan sifat fisik komposit logam dengan matriks *copper*.

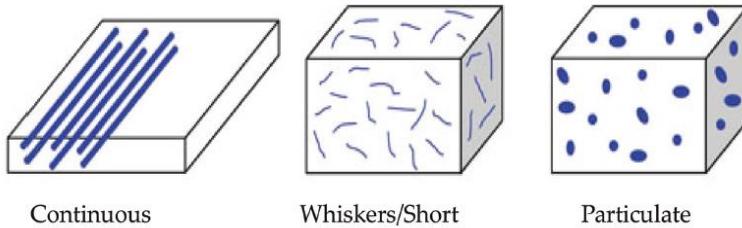
1.5 Manfaat Review

Pada review kali ini diharapkan dapat menjadi acuan atau referensi dalam melakukan proses pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*. Sehingga dalam proses pencampuran yang akan dilakukan, dapat menyesuaikan karakteristik dan parameter proses pencampuran serbuk dari setiap mesin pencampuran untuk mendapatkan homogenitas campuran dan peningkatan sifat fisik dari komposit logam dengan matriks *copper*.

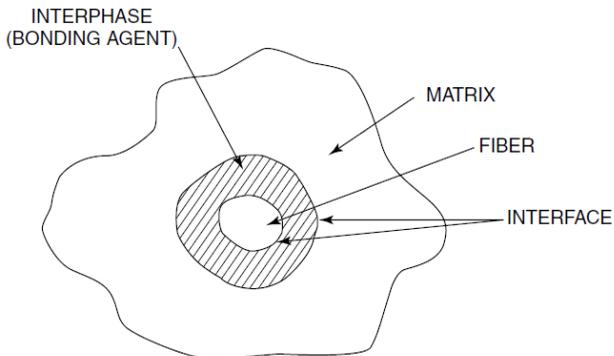
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Copper Metal Matrix Composite*

Komposit logam dengan matriks *copper* merupakan salah satu komposit dengan matriks logam dengan memadukan dua atau lebih unsur yang memiliki karakteristik fisik dan kimia dengan tujuan untuk meningkatkan sifat unggul dari suatu material jika dibandingkan dengan material yang berdiri sendiri. Dalam membentuk komposit tersebut terdapat elemen penyusun berupa matriks, *reinforce*, dan *interface* (lapisan antar muka) serta interfasa (lapisan antar fasa). *Reinforce* memiliki peranan yang penting yang mengharuskan memiliki sifat kekuatan, kekerasan, dan kekakuan yang lebih tinggi dari matriks yang digunakan. *Reinforce* dapat berupa partikulat, *whisker* atau serat pendek dimana ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.1. *Reinforce* dengan bentuk partikulat dibatasi penggunaannya dalam fabrikasi komposit sebesar 30-40% dari volume karena akan menyebabkan kegetasan dan fabrikasi yang sulit (Prashantha, K, H, G & Anthony, X, M, 2018). Matriks memiliki peran sebagai pengikat dengan bentuk yang tidak teratur. Sedangkan interfasa memiliki kegunaan untuk mendistribusikan beban kepada matriks dan *reinforce* (Schwartz, M, 1992). Dalam komposit logam dengan matriks *copper* diklasifikasikan menjadi *continuous fiber-reinforced copper composite* dan *discontinuous fiber reinforced composite* (Gen, L & Wu, K, 2018). Ilustrasi mengenai elemen penyusun komposit logam dengan matriks *copper* terdapat pada Gambar 2.2. Pada komposit logam dengan matriks *copper* memiliki ikatan metalik yang mana terlampir dalam Tabel 2.1.



Gambar 2. 1 Jenis-jenis *reinforce* yang digunakan dalam fabrikasi komposit (Prashantha, K, H, G & Anthony, X, M, 2018)



Gambar 2. 2 Ilustrasi skema elemen penyusun komposit (Schwartz, M, 1992)

Tabel 2. 1 Tipe ikatan *Interatomic* (Mitchell, B, S, 2004)

Tipe Ikatan	Kandungan	Energi ikatan (kJ/mol)	Titik Leleh (°C)	Karakteristik
Metallic	Na	109	97,5	Konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, mudah terdeformasi, dan buram
	Al	311	660	
	Cu	340	1083	
	Fe	407	1535	
	W	844	3370	

Unsur tembaga (Cu) adalah logam non ferrous yang memiliki karakteristik warna kemerahan dan memiliki struktur kristal *face centered cubic* (fcc) serta memiliki sifat ulet dan mudah difabrikasi (Habashi, 1997). Selain itu, unsur Cu memiliki ketahanan dan kekuatan terhadap *fatigue* yang baik sehingga berpotensi sebagai matriks dalam komposit matrik logam (MMCs). Tembaga murni rentan terhadap porositas, keretakan permukaan, dan pembentukan pada celah, sehingga perlu ditambahkan sejumlah elemen paduan (ASM Metal Handbook, 1992). Dari segi aplikasi nilai ketahanan dan kekuatan komposit logam dengan matriks *copper* dapat dijadikan sebagai peluru *frangible* sebagai pengganti unsur timbal yang kurang ramah lingkungan dan termasuk unsur yang *toxic* (Nadkarni, 2003).

Dalam pembuatan Komposit logam dengan matriks *copper* komposit, perlu adanya analisis karakteristik serbuk sehingga dalam proses manufaktur dapat diidentifikasi hasil dan proses yang sesuai standar. Pada Tabel 2.1 dijelaskan mengenai karakteristik fisik tembaga dan pada Tabel 2.2 mengenai karakteristik mekanik.

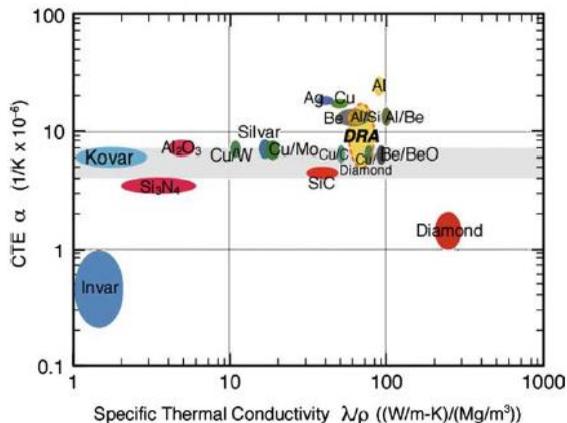
Tabel 2. 2 Perbandingan *physical properties* pada tembaga (ASM Metal Handbook, 1992)

Sifat	Cu
Nomor atom	29
Struktur kristal	FCC
Massa atom	63,546 g/mol
Densitas	8,96 g/cc
Melting point	1083 °C
Modulus young	128 Gpa

Tabel 2. 3 Karakteristik mekanik dari tembaga (Habashi, 1997)

Sifat	Cu
Kekerasan	40-50 HRB
Yield Strength	40-120 Mpa
Tensile Strength	200-250 Mpa
Poisson ratio	0.35

Komposit logam dengan matriks *copper* tidak hanya memiliki nilai kekuatan, konduktivitas termal, dan konduktivitas elektrik yang tinggi, namun juga mempunyai sifat tahan aus dan tahan korosi. Unsur Cu memiliki nilai koefisien ekspansi termal mencapai diatas $10 \times 10^{-6}/K$ sehingga biasanya dipadukan dengan unsur tungsten, SiC, invar, maupun unsur lainnya sehingga dapat mencapai nilai ekspansi termal yang optimum yaitu $4-7 \times 10^{-6} / K$. Sedangkan untuk nilai konduktivitas termal dari Cu yang dipadukan dengan unsur yang lain mencapai rentang 10-100 (W/m-k)/(Mg/m³). Tingginya nilai konduktivitas termal pada unsur Cu, memberikan peluang untuk menjadikan komposit logam dengan matriks *copper* diaplikasikan sebagai *thermal management* yang mana sering digunakan dalam pesawat, perangkat elektronik, dan elektrik serta *micro motor* (Geng, L & Wu, K., 2018). Sebagai material *thermal management*, nilai koefisien ekspansi termal pada komposit logam dengan matriks *copper* sama dengan nilai koefisien ekspansi termal pada semikonduktor atau substrat keramik (Bukhari, dkk, 2011). Pada Gambar 2.1, terlampir grafik nilai koefisien ekspansi termal pada *komposit logam dengan matriks copper* dengan beberapa paduan.



Gambar 2.3 Nilai ekspansi termal pada MMCs (Miracle, D B., 2005)

Dalam pembuatan *metal matrix composite* terdapat teori yaitu *role of mixture* yang digunakan untuk mengetahui sifat komposit dan rasio komposisi yang akan digunakan. Perhitungan *role of mixture* dinyatakan dengan persamaan 2.1

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (2.1)$$

Untuk mengetahui densitas dari masing-masing unsur dapat menggunakan persamaan 2.2

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

Setelah mengetahui densitas dari masing-masing unsur, maka akan diperoleh fraksi massa dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4

$$m_m = a \cdot m_c \quad (2.3)$$

$$m_f = b \cdot m_c \quad (2.4)$$

Sedangkan massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *reinforce* untuk pembuatan komposit dapat dicari menggunakan persamaan 2.5 dan 2.6

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \quad (2.5)$$

$$m_f = b \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \quad (2.6)$$

Dimana :

ρ_c = densitas komposit (gr/cm^3)

ρ_m = densitas matriks (gr/cm^3)

ρ_f = densitas penguat (*reinforce*) (gr/cm^3)

V_m = Fraksi volume matriks

V_f = Fraksi volume penguat

V_c = Volume komposit (cm^3)

ρ = Densitas (gr/cm^3)

m = massa (gr)

V = Volume (cm^3)

m_m = massa matriks (gr)

m_f = massa penguat (gr)

m_c = massa komposit (gr)

a = fraksi massa matrik

b = Fraksi massa penguat

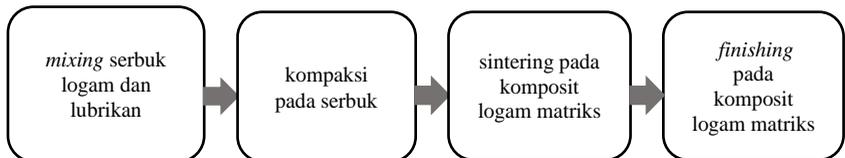
2.2 Metalurgi Serbuk

Sifat dari produk metalurgi serbuk sangat bergantung pada karakteristik awal serbuk, sifat kimia dan kemurnian serbuk, ukuran partikel, distribusi partikel, bentuk partikel, dan kualitas permukaan dari partikel (Black & Kohser, 2007). Metode metalurgi serbuk merupakan metode manufaktur dengan cara memadatkan material serbuk dengan karakteristik partikel halus. Proses pembentukan dimulai dengan memasukkan serbuk ke dalam cetakan dan dikompaksi dengan menghasilkan *green body compact* yang selanjutnya dilakukan proses sintering. Ilustrasi proses manufaktur dengan metode metalurgi serbuk dapat dijelaskan pada Gambar 2.2.

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak kelebihan dalam manufaktur komposit logam dengan matriks *copper*. Beberapa kelebihan tersebut antara lain:

1. Efisiensi dalam penggunaan bahan sangat tinggi dan hampir 100%
2. Tingkat segregasi dan kontaminasi tergolong sangat rendah sehingga meminimalisir cacat pada produk
3. Stabilitas dimensi tergolong tinggi
4. Mudah dalam proses otomatisasi dan standarisasi produk
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk
6. Besar butir mudah dikembalikan

7. Dalam pembuatan produk dapat dimanufaktur dengan mudah contohnya beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran
8. Porositas dari produk mudah dikontrol
9. Pada material dengan kemurnian tinggi sangat cocok
10. Cocok dalam pembuatan material komposit dengan matriks logam



Gambar 2. 4 Skema proses manufaktur Komposit logam dengan matriks copper dengan proses metalurgi serbuk (Black & Kohser, 2007)

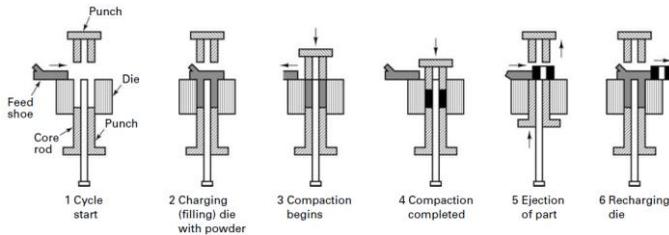
Dari Gambar 2.2, tahapan proses dalam pembuatan komposit logam dengan matriks *copper* dengan metode metalurgi serbuk adalah sebagai berikut:

1. Proses Pencampuran Serbuk

Pencampuran serbuk adalah proses yang digunakan untuk mencampurkan lebih dari satu jenis serbuk dengan memadukan dengan sehingga didapatkan kehomogenan atau distribusi serbuk yang seragam serta nilai *apparent density* (densitas campuran) yang ingin dicapai (Upadhyaya, 2002).

2. Kompaksi

Salah satu tahapan yang yang kritis dalam proses metalurgi serbuk (P/M) adalah kompaksi. Campuran serbuk hasil proses pencampuran, selanjutnya dikompaksi dalam suhu kamar membentuk *green compact*. Tingginya densitas dan keseragaman produk merupakan karakteristik yang ingin dicapai dalam proses kompaksi.



Gambar 2.5 Ilustrasi proses kompaksi serbuk (Black & Kohser, 2007)

Pada Gambar 2.5, menunjukkan proses kompaksi campuran serbuk yang mana densitas rata-rata hasil kompaksi bergantung pada nilai tekanan yang diberikan dengan respon spesifik berdasarkan karakteristik serbuk yang dikompaksi (ukuran, bentuk, tekstur permukaan, sifat mekanik, dan lain-lain) (Black & Kohser, 2007). Parameter proses kompaksi adalah sebagai berikut:

a. Penambahan lubrikan

Dalam proses kompaksi penambahan lubrikan pada dinding *dies* dapat mengurangi gesekan ketika terjadi gaya tekan pada serbuk. Gesekan tersebut dapat terjadi antar serbuk dan dinding cetakan. Ketika lubrikan yang diberikan lebih banyak, maka akan mengurangi *green strength* dari produk yang mana berpengaruh pada sifat mekanik akhir dari produk.

b. Kecepatan penekanan dalam kompaksi

Kecepatan penekanan dalam proses kompaksi dapat bervariasi. Biasanya menggunakan penekanan mekanis yang dengan rasio 100 buah per menit. Dengan gerakan *bulk movement* dari partikel, menyebabkan adanya deformasi dari partikel tersebut dan terjadi fragmentasi partikel. Kompaksi mekanik dapat meningkatkan densitas serbuk hingga 80%. Proses kompaksi mempengaruhi sifat dan distribusi porositas yang tersisa dalam produk. (Black & Kohser, 2007)

3. Sintering

Sintering merupakan proses memanaskan *green compact* pada temperatur tertentu dibawah *melting point* hingga terjadi proses difusi dalam keadaan *solid-state* dengan waktu tahan yang cukup untuk terbentuknya ikatan partikel. Suhu yang digunakan dalam proses sintering adalah suhu terendah dari salah satu unsur yang dipadukan sehingga unsur tersebut dapat memasuki rongga-rongga antar partikel yang tersisa dalam bentuk *liquid phase* (Black & Kohser, 2007). Dalam hal ini biasanya akan menimbulkan suatu porositas dan berpengaruh pada densitas akhir produk (Upadhyaya, 2002).

2.3 Proses Pencampuran Serbuk

Pencampuran serbuk (*mixing*) merupakan tahapan *pre-compaction* yang biasanya digunakan untuk mengetahui sifat spesifik material serbuk dan untuk memudahkan proses selanjutnya yaitu *handling*, pembentukan, kompaksi dan sintering (German, 1984). Secara khusus, dalam buku Neikov (2019) menjelaskan bahwa proses pencampuran serbuk merupakan proses untuk mempersiapkan homogenitas serbuk yang terdiri dari dua atau lebih jenis komposisi serbuk. Proses *mixing* sering disamakan dengan *blending* meskipun secara teknis sama namun terdapat perbedaan antara keduanya. Perbedaan tersebut adalah pada proses *mixing* menggunakan serbuk yang memiliki ukuran serbuk dan sifat kimia yang berbeda, sedangkan proses *blending* menggunakan ukuran serbuk yang berbeda namun memiliki sifat kimia yang sama sehingga proses *blending* dilakukan secara *batch process*.

Dalam proses pencampuran serbuk skala makroskopik, perlu adanya desain aliran geser (*shear flow*) yang mempengaruhi proses pencampuran serbuk. Selain itu, proses ini juga harus melibatkan proses pemecahan aglomerasi pada partikel serbuk khususnya adalah nanopartikel sehingga dapat terjadi disperse serbuk yang merata dan terstruktur pada campuran serbuk (Wei, D., dkk., 2002). Disperse ini terjadi karena adanya segregasi natural yang

terjadi saat proses pencampuran (German, 2016). Ketercapaian dalam disperse serbuk dari campuran, maka dapat memberikan sifat fisik maupun mekanik yang diinginkan (Anugraha & Widyastuti, 2015)

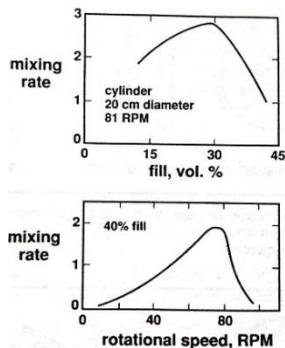
Parameter proses dalam pencampuran serbuk adalah sebagai berikut;

1. Waktu pencampuran

Dalam proses pencampuran serbuk, tingkat homogenitas dan karakteristik campuran dipengaruhi oleh waktu pencampuran. Proses pencampuran dengan waktu yang lama akan meningkatkan *apparent density* dari serbuk (Upadhyaya, 2002). Optimum waktu pencampuran akan berbeda-beda tergantung pada jenis pengaduk mixer yang digunakan. Ketika waktu pencampuran terlalu rendah maka tingkat homogenitas dari hasil pencampuran tidak akan tercapai maksimal. Sedangkan ketika waktu pencampuran lebih lama maka akan menyebabkan partikel serbuk akan mengalami degradasi ukuran dan perubahan bentuk menjadi lebih halus. Selain itu waktu pencampuran yang lama akan menyebabkan tingkat segregasi dalam serbuk akan semakin meningkat. Pada umumnya waktu pencampuran dalam industri dilakukan selama satu jam. (German, 2016)

2. Kecepatan pencampuran

Kecepatan pencampuran serbuk akan berbeda-beda mengikuti jenis mixer yang digunakan. Jika kecepatan yang digunakan terlalu rendah maka tidak terjadinya mekanisme dispersi pada *mixing* sehingga menyebabkan partikel tidak dapat bergerak atau tidak terjadi aliran turbulensi (German, 2016). Namun ketika kecepatan pencampuran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan partikel serbuk hancur dan tergerus sehingga berubah karakteristik sifatnya (Sulistya, 2019). Selain itu, akan menyebabkan segregasi campuran serbuk yang tinggi sehingga tidak tercapainya homogenitas (German, 2016). Pada Gambar 2.6 dapat diketahui hubungan antara parameter pada proses pencampuran serbuk.



Gambar 2. 6 Hubungan antara kecepatan putar dengan waktu pencampuran serbuk dan *fill level* saat operasi (Masuda, dkk, 2016)

3. *Fill level*

Nilai volume pengisian serbuk terhadap volume mesin pencampuran yang digunakan dalam sekali proses. *Fill level* berkaitan dengan intensitas sirkulasi serbuk untuk bercampur yang mana menginterpretasikan laju pencampuran proses *mixing*. Proses pencampuran dilakukan dengan nilai *fill level* kurang dari 50% karena ketika berlebih maka akan menghambat konveksi dan laju pencampuran serbuk akan lebih lambat. Selain itu, ketika berlebih menyebabkan aliran *tumbling* (jatuh) tidak dapat terjadi dengan optimal. Dalam dunia industri *fill level* optimum dan yang paling efektif adalah 20% sampai 40% (German, 2016 ; Mechscience, 2016). Dengan adanya penggunaan *fill level* yang optimum maka akan mempengaruhi pada *mixing rate* dalam proses pencampuran sehingga dapat meminimalisir *dead zone* (zona yang tidak mengalami pencampuran atau aliran pencampuran rendah) (Singhai, dkk, 2010). Keadaan didalam internal kontainer mixer harus diperhatikan dalam proses pencampuran untuk mencegah pembentukan oksida pada permukaan partikel serbuk.

Selain dipengaruhi oleh parameter proses, pencampuran serbuk juga dipengaruhi oleh waktu pencampuran, ukuran serbuk, bentuk dan densitas serta jenis serbuk yang berkaitan dengan desain mixer yang digunakan dalam proses pencampuran serbuk

(Barbosa-Canovas, G. V., dkk, 2005). Sebagian besar serbuk memiliki komposisi dengan ukuran serbuk, bentuk, densitas, dan karakteristik yang berbeda. Selama proses pencampuran serbuk, perbedaan partikel akan menampilkan hasil yang berbeda dan menyebabkan adanya fenomena *mixing and demixing* pada setiap aliran proses dalam pencampuran serbuk (Berk, Z., 2008). Barbosa-Canovas, G. V., dkk, (2005) menyatakan bahwa *bulk density* dan porositas dapat menjadi tolok ukur dari hasil pencampuran serbuk.

Dalam buku German (1984), proses pencampuran serbuk (*mixing*) bertujuan untuk:

1. Distribusi ukuran serbuk pada campuran sehingga memudahkan proses selanjutnya
2. Menghasilkan paduan baru dari pencampuran dua material serbuk atau lebih
3. Menyiapkan campuran serbuk-binder untuk proses pembentukan
4. Menghasilkan paduan dengan tingkat homogenitas yang tinggi

Dalam proses pencampuran serbuk (*mixing*) terdapat tiga mekanisme umum yaitu sebagai berikut:

1. Konveksi

Pencampuran serbuk terjadi karena adanya gerakan rotasi dengan menggunakan pengaduk *impeller* seperti ribbon atau paddle, aliran gas maupun gerakan yang menyebabkan serbuk tersebut berpindah sehingga dapat bercampur dengan material serbuk yang lain.

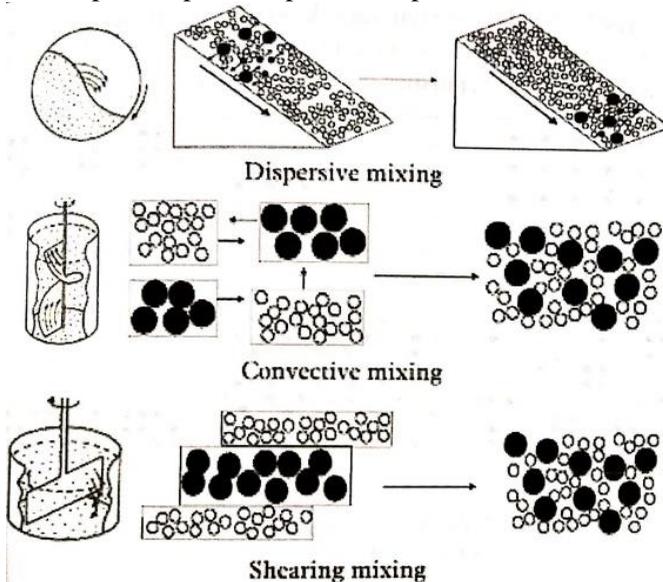
2. *Shear Mixing*

Pencampuran serbuk terjadi karena adanya pertukaran momentum partikel serbuk dengan kecepatan yang berbeda. Dalam proses ini terdapat distribusi kecepatan yang terjadi disekitar agitator dan dinding *mixer* sehingga menyebabkan adanya penekanan pada serbuk dan *extension* dari *bulk powder*. Pada pencampuran ini juga terdapat pembentukan *layer* distribusi antar serbuk.

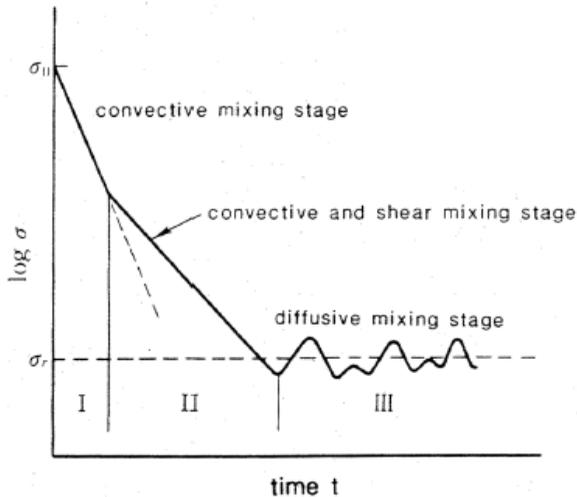
3. *Diffusive mixing*

Diffusive mixing merupakan mekanisme pencampuran yang disebabkan karena adanya gerakan acak yang terdapat pada campuran serbuk dalam bejana mesin pencampuran serbuk.

Berdasarkan penjelasan diatas, ilustrasi mengenai mekanisme pencampuran dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Ilustrasi mekanisme pencampuran serbuk secara umum (Hongming, 2005)



Gambar 2.8 Ilustrasi mekanisme pencampuran serbuk dengan representasi skema dalam kurva (Masuda, dkk, 2006)

Dalam buku Neikov (2019), setiap mekanisme pencampuran serbuk memiliki tingkatan nilai homogenitas terhadap fungsi waktu yang telah diintrepetasikan dalam Gambar 2.6, yaitu sebagai berikut:

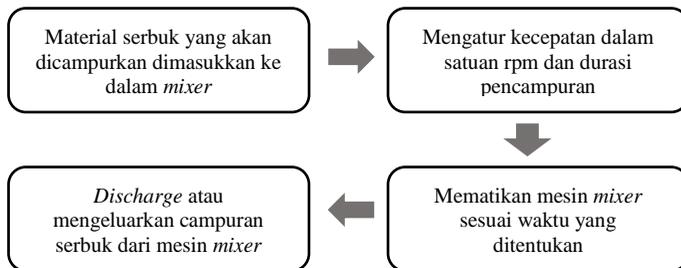
1. Pada *stage* (I), proses pencampuran serbuk terjadi dengan mekanisme konveksi
2. Pada *stage* (II), proses pencampuran serbuk terjadi secara *steady-state* pada saat proses mekanisme konveksi selanjutnya terdapat tahap transisi dengan mekanisme *shear*
3. Pada *stage* (III) proses pencampuran serbuk terjadi secara difusi sehingga antara tingkat pencampuran dan segregasi dapat seimbang.

Secara garis besar mekanisme proses pencampuran serbuk memiliki perbedaan yang mana dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Perbandingan mekanisme proses pencampuran serbuk (Neikov, 2019)

Parameter Pembeding	Konveksi <i>Mixing</i>	<i>Shear Mixing</i>	<i>Diffusive Mixing</i>
Mode campuran	Batch Mode	Batch dan Kontinyu	Batch Mode
Kontrol Homogenitas	Mikroskopik	Semimikroskopik	Mikroskopik
Alat pendukung	√	√	×
Tingkat Homogenitas	Tinggi	Tinggi	Rendah

Dalam melakukan proses pencampuran serbuk untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* dengan metode metalurgi serbuk terdapat beberapa tahapan yang mana dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Skema proses pencampuran serbuk (Anugraha & Widyastuti, 2015)

2.3.1 Karakteristik Serbuk

Serbuk yang digunakan dalam proses pencampuran serbuk memiliki beberapa variabel yang kompleks yang mana dapat mempengaruhi pada kualitas hasil campuran. Faktor yang mempengaruhi karakteristik serbuk adalah ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel, densitas, mampu alir serbuk, bentuk dan karakteristik permukaan dari serbuk. Karakteristik fisik serbuk khususnya ukuran partikel serbuk dan densitas menjadi hal yang

utama dalam terjadinya segregasi saat proses pencampuran serbuk untuk menuju pada pendistribusian serbuk yang lebih merata. (Barbosa-Canovas, G. V, dkk., 2005; Nienow, A. W, dkk, 1997). Jika serbuk yang dicampur memiliki ukuran, bentuk, dan kerapatan yang serupa, kecenderungan untuk memisahkan atau segregasi secara natural dan mencapai keadaan kesetimbangan antara tahap pencampuran dan degradasi ukuran serbuk dalam menghasilkan campuran akhir (Barbosa-Canovas, G. V, dkk., 2005).

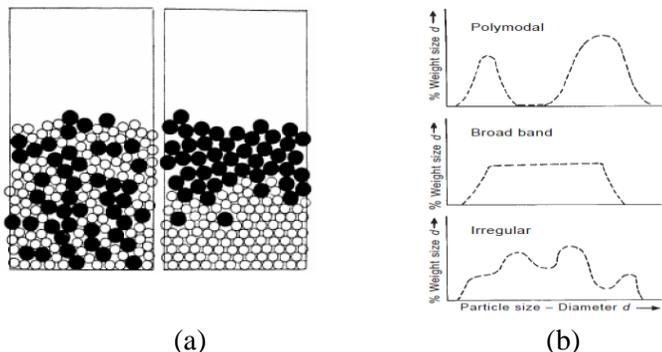
Meskipun perbedaan dalam kepadatan dan bentuk partikel diketahui menyebabkan pemisahan dalam campuran, sering kali perbedaan dalam ukuran partikel sejauh ini dianggap sebagai parameter paling penting (Barbosa-Canovas, G. V, dkk., 2005 ; Tang, P & Puri, V. M, 2007 ; Williams, J. C, 1976). Distribusi ukuran partikel yang digunakan dalam campuran bubuk adalah salah satu faktor kunci yang menentukan homogenitas campuran (Chowhan, Z. T & Linn, E. E, 1979). Partikel kecil menunjukkan kecenderungan untuk jatuh ke bawah yang mengarah ke pemisahan (Axe, D. E, 1995; Graversen, M. B., 2012). Sebuah studi oleh Drahun, J. A & Bridgwater. J (1983) menunjukkan bahwa rasio kepadatan partikel mempengaruhi segregasi yang dapat diminimalkan dengan mempertahankan keseimbangan yang tepat antara ukuran dan rasio kepadatan atau densitas. Distribusi ukuran partikel juga mempengaruhi sifat bubuk lainnya seperti kerapatan ruang, kemampuan mengalir dan kompresibilitas (Barbosa-Canovas, G. V, dkk., 1987; Peleg, M., 1978). Perbedaan ukuran partikel dapat menyebabkan pemisahan dalam campuran bubuk yang mengalir bebas (Barbosa-Canovas, G. V., dkk, 1985).

1. Ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel

Ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel sangat mempengaruhi pada keseragaman campuran hasil dari proses pencampuran (Venables, 2001). Pada partikel pencampuran serbuk kering, gaya kohesi dan adhesi terjadi diantara partikel berdasarkan pada gaya *molecular*, dan akan berkurang ketika meningkatnya ukuran partikel (Wei, D., dkk., 2002). Dalam jurnal V, Landilon., dkk (2008) menyatakan bahwa pada pengurangan partikel serbuk

maka akan memberikan peningkatan kontak antar partikel dengan adanya penguatan gaya *intermolecular* dan mengurangi aliran serbuk yang menyebabkan adanya segregasi (Chandrawan & Ariati, 1999). Namun ketika gaya intermolekulnya terlalu besar maka akan menyebabkan aglomerasi (Leuenerberber, 2002) yang berhubungan dengan kualitas densitas dan porositas (Chandrawan & Ariati, 1999). Ilustrasi pencampuran serbuk dengan grafik distribusi ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Perbedaan yang cukup besar antara partikel satu dengan yang lainnya dapat mempengaruhi distribusi ukuran partikel sehingga terjadi proses segregasi atau pemisahan antar partikel yang mana partikel yang lebih kecil mengalir melalui celah antara partikel yang lebih besar. Segregasi yang terjadi karena perbedaan ukuran antar partikel dapat dihindari dengan mencampurkan partikel serbuk yang memiliki rasio perbedaan tidak lebih dari 1:2 (Leuenerberger, 2002).



Gambar 2.10 Ilustrasi segregasi antar partikel kecil dan besar (Rosato, dkk, 1987) dan grafik distribusi ukuran terhadap diameter partikel serbuk (Upadhyaya, 2002)

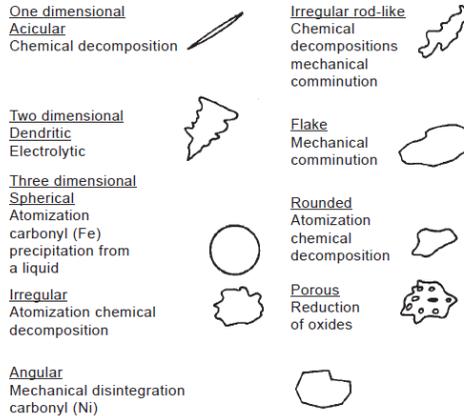
2. Bentuk partikel serbuk

Partikel serbuk yang memiliki bentuk bulat dan halus lebih mudah bercampur daripada partikel serbuk yang memiliki bentuk yang tidak beraturan dan kasar yang mana mempengaruhi pada

proses pencampuran (Venables & Wells, 2001). Partikel yang memiliki bentuk bulat akan membentuk rongga kecil antar partikel yang dicampurkan dibandingkan dengan partikel yang memiliki bentuk asimetri yang mana menyebabkan rongga antar partikel yang dicampurkan lebih besar karena memungkinkan adanya sudut pada antar partikel (Carstensen & Patel, 1977). Bentuk partikel juga akan mempengaruhi pada luas permukaan serbuk dan gesekan yang terjadi antar partikel serbuk yang dicampurkan. Meningkatnya luas permukaan serbuk ditunjukkan dengan serbuk dengan ukuran yang kecil, bentuk partikel yang tidak beraturan dan permukaan yang kasar akan menyebabkan adanya peningkatan reaktivitas kimia antar serbuk (Ekawati, 2008). Pada Gambar 2.11 dijelaskan mengenai ilustrasi beberapa jenis bentuk partikel.

3. Densitas serbuk

Densitas serbuk mempengaruhi pada proses pencampuran serbuk yang mana ketika terjadi proses pencampuran serbuk terdapat gaya gravitasi yang menyebabkan partikel serbuk jatuh dan bercampur dengan serbuk yang lain. Densitas serbuk tersebut berpengaruh ketika partikel serbuk yang memiliki densitas yang lebih besar akan berada dibawah dan partikel serbuk yang memiliki densitas yang lebih kecil akan berada diatasnya sehingga dapat meningkatkan adanya segregasi atau pemisahan antar partikel serbuk (Fan, dkk., 1970 ; Hsiau & Chen, 2002). Selain itu partikel serbuk yang memiliki densitas yang lebih besar akan meningkatkan waktu pencampuran. Untuk mengurangi atau meminimalisir adanya segregasi antar partikel, maka partikel yang dicampurkan mempunyai rasio 1:3 (Campbell & Bauer, 1966 ; Fan, dkk, 1970). Densitas serbuk dipengaruhi oleh ukuran partikel, bentuk partikel, kondisi permukaan dan struktur partikel. Pada metalurgi serbuk, berat jenis campuran atau *apparent density* merupakan berat persatuan volume suatu serbuk (Chandrawan & Ariati, 1999).



Gambar 2.11 Bentuk partikel serbuk (Upadhyaya, 2002)

4. *Flowability*

Sifat mampu alir serbuk sangat berpengaruh pada proses pencampuran serbuk. *Flowability* merupakan kemampuan partikel untuk dapat mengalir dengan cara yang diinginkan dalam *vessel* atau bejana tertentu. Sifat partikel serbuk seperti ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel, ukuran partikel, morfologi dan densitas serbuk, kondisi saat proses berlangsung dan kondisi disekitar (dalam *vessel* atau bejana) dapat mempengaruhi pada sifat aliran (Jones, dkk., 2003). Aliran serbuk saat pencampuran dapat diamati yang mana dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu serbuk yang tidak mengalami interaksi dengan serbuk yang lain, dapat mengalir bebas dan interaktif, serta serbuk bersifat kohesif. Campuran serbuk dapat diklasifikasikan dengan serbuk yang interaktif dan tidak interaktif yang mana hal tersebut dipengaruhi oleh sifat dari partikel serbuk. Kemampuan alir dari partikel serbuk erat hubungannya dengan aliran massa. Pada partikel yang memiliki ukuran dan densitas partikel yang berbeda dapat menyebabkan adanya segregasi ketika aliran antar partikel serbuk ada yang interaktif dan non interaktif (Harnby, 2000). Mampu alir

juga serbuk berkaitan dengan gaya gesek antar partikel serbuk yang dipengaruhi oleh bentuk, ukuran dan densitas dari partikel serbuk (Chandrawan & Ariati, 1999)

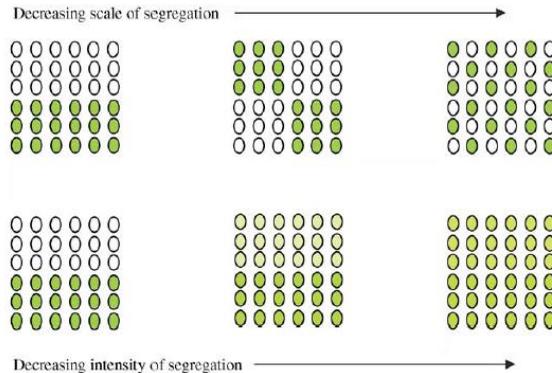
2.3.2 Segregasi Serbuk

Dalam proses pencampuran serbuk, serbuk mempunyai karakteristik yang berbeda meskipun dalam sifat kimia tidak ada perbedaan. Hal tersebut yang menyebabkan adanya pergerakan serbuk secara relatif ketika dalam proses pencampuran. Pergerakan secara relatif tersebut cenderung acak untuk skala mikroskopik dan secara makroskopik terdapat beberapa serbuk yang terkumpul menjadi satu dan melokalisasi sebagian area dalam proses pencampuran yang dinamakan dengan segregasi. Dalam proses pencampuran serbuk, mekanisme segregasi ini tidak dapat dihindarkan apalagi dalam pencampuran tersebut serbuk memiliki perbedaan sifat karakteristik yang sangat signifikan. Dalam proses manufaktur komposit logam dengan matriks *copper*, segregasi akan sangat berpengaruh pada kekuatan mekanik serbuk pada proses selanjutnya yaitu proses kompaksi (Masuda, dkk, 2016). Pada Gambar 2.12 dapat diketahui ilustrasi mengenai segregasi pada partikel serbuk campuran yang sudah melalui proses pencampuran. Pada proses segregasi serbuk dalam proses pencampuran, terdapat beberapa mekanisme yang menyebabkan adanya segregasi, yaitu sebagai berikut (Masuda, dkk, 2016):

1. Efek lintasan (*trajectory effect*)

Mekanisme segregasi terjadi ketika campuran dikeluarkan melalui bidang miring yang menyebabkan terjadi pemisahan antara partikel yang halus dan kasar. Serbuk yang memiliki permukaan yang halus cenderung akan turun terlebih dahulu dan selanjutnya permukaan yang lebih kasar akan cenderung memisah. Hal tersebut dikarenakan serbuk dengan permukaan yang halus dapat masuk ke sela-sela permukaan yang kasar sehingga partikel dengan permukaan yang kasar cenderung akan melebar di daerah bidang miring. Dalam pengoperasian pencampuran serbuk, hal kritis untuk menghindari mekanisme segregasi adalah pada saat campuran

serbuk tersebut dikeluarkan dari mesin mixer. Dengan adanya *hopper* dapat membantu serbuk partikel untuk meminimalisir segregasi.



Gambar 2. 12 Ilustrasi segregasi pada proses pencampuran serbuk (Pernenkil & Cooney, 2006)

2. Efek *Rolling*

Segregasi terjadi saat partikel dengan gaya gesek yang lebih besar atau permukaan yang halus memiliki aliran massa yang lebih cepat dibandingkan dengan partikel dengan permukaan yang kasar. Hal ini dinamakan segregasi karena pengaruh aliran geser atau *sliding* yang didukung dengan perbedaan densitas yang sangat jauh. Partikel yang halus dan berukuran kecil akan berkumpul pada *feed point*.

3. Efek *Stumbling*

Partikel yang lebih besar akan lebih mudah untuk mengalir jatuh dari sebuah ketinggian yang memiliki jarak yang cukup jauh dari corong keluar pada mesin pencampuran dengan besarnya aliran tersebut dapat diketahui dari besarnya kecepatan angular partikel serbuk

4. Efek *Push Away*

Diameter lingkaran dan densitas dari dua partikel yang ditempatkan dalam satu tempat akan menekan salah satu dari

diameter dan densitas yang ada dibawahnya dengan arah terbalik terhadap gaya geseknya. Partikel yang lebih besar cenderung lebih bergulir dengan cepat.

5. *Percolation*

Pada partikel yang memiliki ukuran yang lebih kecil dapat dengan mudah masuk melalui celah antara partikel yang lebih besar. Segregasi dapat terjadi saat terjadinya aliran bahkan pada rasio terkecil yaitu 1,53 ukuran tersebut terjadi di bawah regangan geser atau saat mengalir, bahkan untuk rasio ukuran sekecil 1,53.

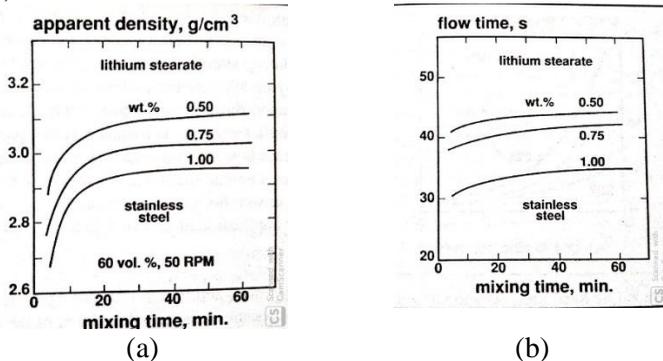
6. Efek campuran

Kemampuan partikel kasar untuk dapat mengalir turun dipengaruhi karena adanya energi potensial yang mana serbuk yang dicampurkan memiliki perbedaan karakteristik serbuk yang sangat jauh.

2.3.3 Pengaruh Lubrikan terhadap Proses Pencampuran

Lubrikan atau pelumas kering biasanya ditambahkan pada pencampuran serbuk logam yang bertujuan untuk mengurangi gesekan antara partikel serbuk dan memberikan pengaruh aliran serbuk untuk terdispersi secara merata. Lubrikan yang biasa digunakan adalah zinc stearate, besi, dan barium. Lubrikan memiliki densitas yang rendah berdasarkan volume sebelum pencampuran. Semakin banyak lubrikan yang digunakan maka semakin rendah densitas bebas pori sebelum pencampuran (Selvakumar, 2017). Batas konsentrasi lubrikan yang diberikan pada proses pencampuran serbuk adalah antara 0.5 hingga 1.5% wt. Lubrikan memiliki rantai molekul dengan rentang 12 sampai 22 karbon atom. Rantai molekular menunjukkan permukaan aktif dan titik leleh yang cenderung pada temperatur yang rendah. Stearate ditambahkan sedikit ke serbuk logam untuk membentuk serbuk bundar. Efek dari penambahan lubrikan yaitu berpengaruh pada kecepatan pencampuran serbuk dan *apparent density* (densitas nyata) dimana bisa dilihat pada Gambar 2.13. *Apparent density* pada serbuk akan menurun seiring bertambahnya konsentrasi lubrikan. Karena penambahan volume diikuti dengan penurunan

densitas lubrikan. Sedangkan pada waktu alir serbuk dapat berkurang ketika jumlah dari lubrikan semakin banyak. (German, 1984)



Gambar 2.13 Hubungan antara penambahan lubrikan terhadap (a) waktu pencampuran serbuk dengan *apparent density* dan (b) waktu alir serbuk (German, 1984)

2.3.4 Macam-Macam Proses Pencampuran Serbuk

1. Metode Pencampuran Serbuk

Metode Pencampuran serbuk terdapat dua jenis yaitu pencampuran basah dan pencampuran kering:

a. Metode pencampuran kering

Metode pencampuran kering merupakan metode pencampuran yang mencampurkan beberapa material serbuk tanpa *liquid* dan terdapat *shear force* yang terjadi antar partikel serbuk yang mana gaya tersebut menyebabkan partikel antar serbuk bercampur dalam satu tempat mengikuti aliran dan geometri dari *mixer* (German, 2016). Metode pencampuran jenis ini biasanya digunakan untuk pencampuran material yang tidak mudah mengalami oksidasi sehingga pencampuran jenis ini dapat digunakan di tempat yang terbuka (German, 1984)

b. Metode pencampuran basah

Metode pencampuran basah merupakan metode pencampuran yang menggunakan pelarut atau *liquid* yang

ditambahkan dengan fungsi untuk melapisi dari partikel serbuk (German, 2016). Serbuk matriks dan filler terlebih dahulu dicampur dengan pelarut polar. Metode ini digunakan untuk material serbuk yang mudah teroksidasi sehingga dalam proses pencampuran, pelarut polar melapisi material serbuk tersebut agar tidak terjadi kontak dengan udara luar yang mana akan menyebabkan oksidasi pada serbuk (German, 1984).

2. Proses Pencampuran Serbuk Berdasarkan Mode Operasi Pencampuran

a. *Batch process*

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan batch process yaitu campuran serbuk dimasukkan kedalam *mixer* selanjutnya dapat dilakukan pemanasan atau penguapan dengan *mixer* yang tetap berotasi. Setelah waktu yang ditentukan sudah cukup maka campuran tersebut dikeluarkan atau *discharge* dari *vessel* mesin pencampuran serbuk dan ditambahkan serbuk untuk proses selanjutnya (German, 2016).

b. *Continuous process*

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan continuous process yang mana komposisi dari campuran tersebut mengalami *shear force*, pemisahan antar partikel serbuk terjadi karena terdapat perbedaan densitas dan ukuran partikel, penggabungan antar partikel serbuk dan pepadatan campuran serbuk yang mana partikel satu dengan yang lainnya saling berdampungan untuk menuju pada homogenitas yang tinggi (German, 2016). Perbandingan antara kedua mode pencampuran dapat dilihat pada Tabel 2.5

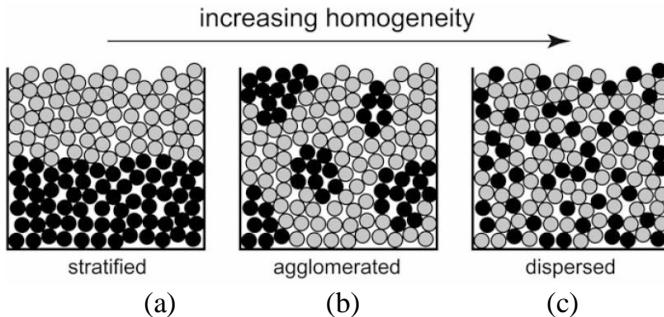
Tabel 2.5 Perbandingan proses batch dan kontinyu pada pencampuran serbuk (Ennis, dkk, 2008)

Aspek Yang Dibandingkan	Batch	Kontinyu
Variasi Bahan	Simple to Complex	2-10 (harus melalui premix)
Frekuensi Perubahan Menuju Homogen	High (Beberapa kali per jam)	Low (Tidak berubah untuk beberapa jam)
Idle time atau frekuensi pembersihan	Beberapa waktu dalam sehari Ada, perlu adanya <i>short transportation & few intermediate silos</i>	Sekali dalam sehari Low risk, material langsung ke proses selanjutnya
Risk of Separation	<i>Any rate</i>	>100 kg/h
Production Throughput	High (Bergantung pada dimensi vessel, Throughput >5000kg/h)	Low
Persyaratan Spasial	Pengisian Mudah, Persyaratan tinggi	Harus akurat, persyaratan rendah
Requirement Place on the Equipment	Simpel (tergantung tingkat variabel)	Kompleks (Mengikuti proses)
Otomatisasi	Mudah (percobaan dahulu)	Tidak mudah
Pengoperasian	Besar	Lebih besar dari batch
Kapasitas	Setiap batch	Sekali pencampuran
Validasi Proses	Tinggi	Rendah
Segregasi	Tinggi	Rendah
Requirement Layout	Tinggi	Rendah

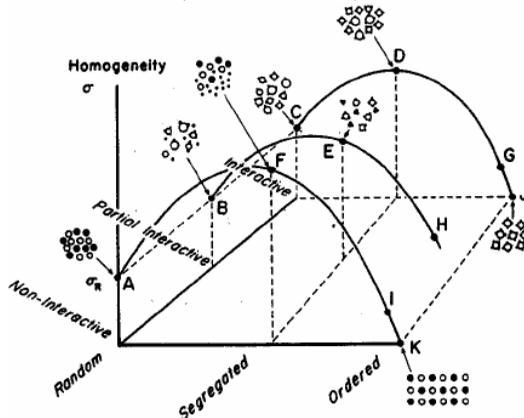
2.3.5 Karakteristik Visual dan Statistik Homogenitas Serbuk

Homogenitas campuran menunjukkan kesamaan antara rasio komposisi pada semua daerah *mixer*. Ketidakhomogenan campuran memiliki nilai variasi komposisi antar bagian. Pada gambar 2.14 menunjukkan ilustrasi dua dimensi dari campuran serbuk yang mana pada gambar 2.14 (a) merupakan campuran yang tidak homogen karena terdapat perbedaan antar bagian partikel serbuk yang menunjukkan perbedaan karakteristik partikel yang berbeda. Selanjutnya pada gambar 2.14 (b) menunjukkan pada terdapat homogen parsial yang ditunjukkan dengan adalah beberapa bagian campuran serbuk yang homogen di spot-spot tertentu.

Sedangkan homogenitas sepenuhnya menunjukkan komposisi dan karakteristik yang berbeda bercampur menjadi satu seperti yang ditunjukkan pada 2.14 (c) (German, 2016).



Gambar 2.14 Ilustrasi variasi homogenitas dua serbuk dengan (a), tingkat homogenitas yang rendah (b) partikel masih teraglomerasi (c) partikel terdispersi dan bercampur antar dua komposisi partikel serbuk menunjukkan homogenitas campuran (German, 2016)



Gambar 2.15 Ilustrasi kualitas homogenitas hasil pencampuran (Meyer, 2008)

Beberapa campuran memiliki keterkaitan antara satu dengan yang lain, yang mana dapat dilihat pada Gambar 2.15 menunjukkan hubungan antara beberapa jenis campuran. Dari gambar tersebut terdapat tingkat kehomogenan campuran yang direpresentasikan dengan peningkatan grafik. Semakin naik tingkatan disperse serbuk menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat homogenitas yang tinggi. Pada Tabel 2.6 merupakan perbandingan antara jenis hasil campuran terhadap tingkat kehomogenan. Sedangkan pada Gambar 2.15 menunjukkan ilustrasi dari Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Ringkasan jenis campuran (Paul, dkk, 2003)

Jenis Campuran	Homogenitas	Tingkat Terstruktur Campuran
Terstruktur Ideal (Sempurna)	σ setara dengan 0	Ya
Terstruktur (<i>Ordered</i>)	σ lebih kecil dari σ_R	Ya
Pseudorandom Acak (Random)	σ sama dengan σ_R	Ya
Belum Sempurna (Incomplete)	σ lebih tinggi dari σ_R	Tidak Ya

Dimana:

σ = Standar deviasi campuran

σ_R =Standar deviasi sampel campuran

Menurut (Neikov, 2019), secara kuantitatif, sifat homogen dari sebuah campuran dapat ditentukan dengan statistik analisis dari pengambilan beberapa sampel secara acak pada area yang berbeda di dalam *mixer*. Perbedaan nilai indeks homogenitas pada suatu campuran didapatkan dari perhitungan nilai varians S^2 dengan pengambilan dari beberapa sampel suatu campuran. Hal tersebut dapat dibandingkan dengan varians yang memiliki

campuran acak yang sempurna pada sampel yang telah diambil yaitu S_R^2 dan varian yang menunjukkan sampel yang tidak tercampur atau dalam tahap segregasi awal S_I^2 , sehingga untuk mengetahui tingkat homogenitas dari suatu sampel dapat dikuantitatifkan dengan persamaan 2.7

$$M = \frac{(S_I^2 - S^2)}{(S_I^2 - S_R^2)} \quad (2.7)$$

Pada rumus diatas, variasi campuran homogen M dengan nilai dari 0 sampai 1 menyatakan campuran ideal yang mengasumsikan dalam skala kecil. Uji variasi presisi atau keakuratan dapat menggunakan kuadrat dari jumlah sampel yang dihitung sebagai varian yang mana semakin banyak sampel yang diujikan maka dapat membantu dalam keakuratan hasil homogenitas. Pada proses pencampuran serbuk, komposisi serbuk yang tersegregasi dengan variasi awal pencampuran dapat dihitung dengan persamaan 2.8

$$S_I^2 = X_p(1 + X_p) \quad (2.8)$$

Varians yang digunakan pada serbuk homogen dan sistem yang tercampur dengan sempurna memiliki nilai 0, sehingga idealnya $S_R^2 = 0$. Maka dari itu persamaan tingkat homogenitas dapat disederhanakan pada persamaan 2.9

$$M = 1 - \frac{S^2}{S_I^2} \quad (2.9)$$

Selama proses pencampuran serbuk, daerah *shear plane* pada aliran partikel dapat menyebabkan interdifusi antar partikel yang nantinya akan mengarah pada homogenisasi pencampuran serbuk. Campuran homogenitas awal M dapat ditingkatkan dengan eksponensial terhadap waktu dengan menghitung melalui persamaan 2.10

$$M = M_1 + \alpha \exp[C + Kt] \quad (2.10)$$

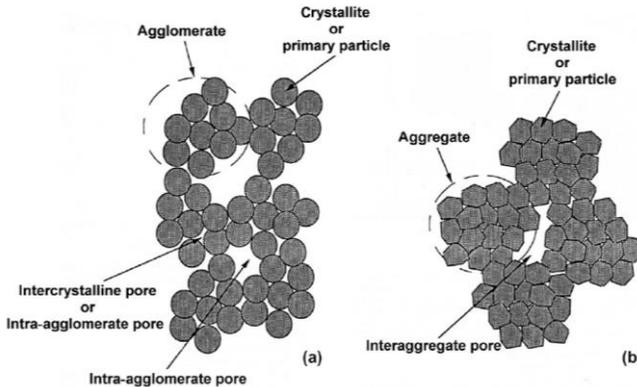
Dimana :

- M = Indeks Homogenitas
 S_t^2 = Varians campuran dalam segregasi awal
 S^2 = Varians sampel campuran
 S_R^2 = Varians sampel campuran terdispersi sempurna
 X_p = Konsentrasi campuran keseluruhan
 M_1 = homogenitas awal campuran
 α, C, K = Konstanta tergantung operasi desain
 t = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai homogen (s)

2.3.6 Aglomerasi Campuran Serbuk

Aglomerasi adalah proses dimana partikel padat mengalami fenomena mengelompok dan membentuk unit yang lebih besar lagi, begitu pula dengan agregat. Namun terdapat perbedaan antara agregat dengan aglomerasi yang tidak dapat didefinisikan dengan pakem, tetapi secara general kristalin pada agregat lebih keras dan memiliki ikatan bersama yang kuat dengan sedikitnya porositas interkristalin dibandingkan dengan kristalinitas dalam aglomerasi (Trunec, M dan Maca, K.. 2014). Untuk mengetahui lebih menggambarkan perbedaan antara agregat dengan aglomerasi, terdapat ilustrasi pada Gambar 2.16.

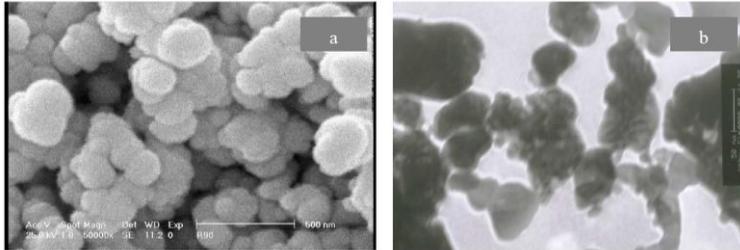
Pada partikel serbuk awal yang memiliki bentuk yang tidak sama akan cenderung membentuk aglomerasi dengan unit yang lebih besar karena adanya adhesi (interaksi fisik yang lemah). Dalam aglomerasi terjadi ketika adanya pembasahan cairan (*wetting liquid*), adanya aliran pada saat proses pencampuran serbuk, pada saat kompaksi, dan pada saat sintering. Fenomena tersebut terjadi terlebih pada saat proses pencampuran serbuk dimana terdapat *cold welding* pada kontak partikel dan akan memberikan pengaruh pada saat annealing pada ikatan saat proses sintering dimana sering terjadi pada partikel yang kecil. Selain itu dari segi aliran, aliran tersebut terjadi karena adanya gaya van der Waals, pengisian elektrostatik (*electrostatic charges*), ikatan kimia (*chemical bonding*), gaya kapilaritas pada likuid, serta gaya magnetik (German, R., 1984).



Gambar 2. 16 Skematik ilustrasi dari jenis serbuk (a) aglomerasi (b) agregat (Mayo, M.J., 1996)

Dalam jurnal review oleh Wei, D., dkk pada tahun 2002, menyatakan bahwa pada pencampuran serbuk dalam ukuran nanopartikel, maka gaya partikel serbuk saat pencampuran harus melebihi gaya yang terjadi pada interpartikel dimana gaya tersebut meliputi gaya van der Waals, elektrostatik dan magnetic attraction, mechanical interlocking dan kimia, serta gaya kapilaritas dan jembatan likuid yang tidak bergerak (*immobile liquid bridge*). Aglomerasi juga terjadi ketika adanya peningkatan area permukaan yang memiliki ukuran serbuk yang kecil dan halus. Namun aglomerasi dapat dihindari dan dikurangi dengan dengan cara milling atau penggilingan dan *surface treatment* (German, R., 1984). Dalam fabrikasi komposit, aglomerasi yang disebabkan adanya gaya Van Der Waals akan menyebabkan beberapa kelemahan yang berakibat pada sifat mekanik dari komposit tersebut, dimana hal tersebut dipengaruhi karena adanya sifat pelumasan atau pembasahan yang buruk antara matriks dengan *reinforce*, lemahnya ikatan antar muka (*interfacial bonding*) pada metal matriks (Vanin, M., dkk, 2010). Hal ini juga dipengaruhi oleh terjadinya ketidakhomogenan dalam distribusi partikel serbuk

pada matriks sehingga menyebabkan permasalahan yang sangat rumit (Darvishi, M., dkk, 2016).



Gambar 2.17 hasil pengujian (a) SEM dan (b) TEM pada W-nano Cu komposit (Dehghnian, C & Takestani, M., 2012)

Pada Gambar 2.17 menunjukkan contoh dari aglomerasi pada komposit W-nano Cu melalui pengujian SEM dan TEM dengan dilakukan pemisahan menggunakan getaran ultrasonik selama 2 menit dalam air sebelum dilakukan pengujian TEM. Dalam Gambar 2.17 (a) menunjukkan bahwasanya terdapat aglomerasi ukuran partikel sekitar 70 nanometer sedangkan pada Gambar 2.17 (b) merupakan hasil dari pemisahan ukuran partikel sekitar 30 nanometer (Dehghnian, C dan Takestani, M., 2012). Dalam penelitian lain mengenai pemisahan aglomerasi pada fabrikasi komposit metal matriks yaitu pada Al-5wt% Al₂O₃ oleh Toozandehjani, M., dkk, (2017) dengan variasi lama proses *milling* menyatakan bahwasanya semakin meningkatnya waktu yang digunakan dalam pemisahan aglomerasi melalui proses *milling* maka akan meningkatkan densitas dan menurunkan nilai porositas. Ciri-ciri mikrostruktur ini menyebabkan regangan plastis yang lebih tinggi di daerah teraglomerasi dan mendukung pembentukan rongga atau porositas dan retakan, dan mengakibatkan penurunan sifat mekanik. Adanya partikel Al yang teraglomerasi dan pengelompokkan pada partikel Al₂O₃ akan mempengaruhi pada distribusi homogenitas campuran serbuk sehingga menyebabkan

reinforce mengalami perlambatan dalam pembentukan ikatan dengan matriks dan tingkat difusifitas semakin menurun.

2.4 *Tumbling Mixer*

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan alat mekanik yang terdiri dari vessel yang dapat berotasi atau vessel tetap dengan agitator, unit penggerak, dan alat yang membantu aliran serbuk untuk bergerak secara gravitasi. Beberapa desain mesin pencampuran serbuk memiliki desain rangka dengan penyangga vessel yang terletak di tengah axis y dan beberapa mesin pencampuran memiliki alat agitator yang dinamakan blade yang terletak di bagian dalam vessel mesin pencampuran serbuk sehingga terjadi aliran yang menyebabkan serbuk bercampur. Mesin pencampuran serbuk memiliki desain yang dapat meminimalisir proses segregasi yang dapat terjadi ketika proses memasukkan serbuk, pencampuran serbuk dan ketika proses pengambilan serbuk atau discharge meskipun segregasi sendiri tidak dapat dihindari karena serbuk yang dicampurkan memiliki karakteristik yang berbeda dari segi densitas, bentuk, dan ukuran. (Neikov, 2019).

Mesin pencampuran serbuk jenis *tumbling mixer* merupakan salah satu mesin pencampuran serbuk yang memiliki desain vessel tetap dan memiliki aliran gerak jatuh bebas dengan bantuan gaya gravitasi dan adanya gaya sentrifugal. Mesin mixer jenis ini memiliki tingkat homogenitas pencampuran serbuk berdasarkan pengulangan rotasi yang terjadi pada proses pencampuran serbuk. Mode pencampuran yang dapat dilakukan yaitu *batch process*. Pada tabel 2.7 dijelaskan mengenai klasifikasi mesin pencampuran serbuk berdasarkan parameter limitasi yang ada.

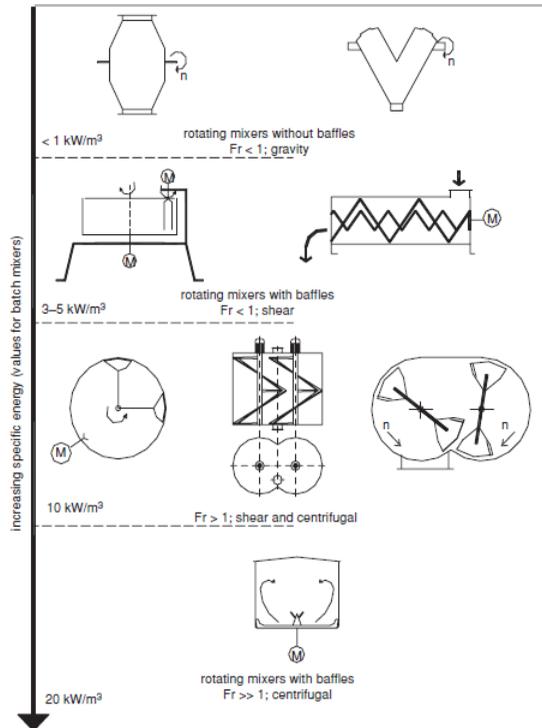
Tabel 2.7 Perbandingan klasifikasi mesin pencampuran serbuk berdasarkan jenis aliran yang terjadi dalam mesin pencampuran serbuk jenis tumbling (Neikov, 2019)

Complex Internal Rotating		Rotary Vessel dengan Horizontal axis			Jenis	
Double cone	V-type	Continuous V-type	Cubic	V-type	Horizontal cylinder	Desain Mixer
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Batch
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Kontinyu
◦	◦	◦	◦	◦	◦	≥ 1.0
◦	◦	◦	◦	◦	◦	1.0-0.1
◦	◦	◦	◦	◦	◦	0.1-0.01
◦	◦	◦	◦	◦	◦	≤ 0.01
◦	◦	◦	◦	◦	◦	≤ 35
◦	◦	◦	◦	◦	◦	35-45
•	•	•	•	•	•	≥ 45
						kohesi
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Kecil
•	•	•	•	•	•	Besar
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Abrasif
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Dry
◦	◦	◦	◦	◦	◦	Wet

Keterangan =

◦ = Cocok

• = dapat digunakan



Gambar 2.18 Klasifikasi mesin pencampuran berdasarkan energy yang dibutuhkan (Ennis, dkk, 2008)

Setiap mesin pencampuran serbuk memiliki energy yang berbeda-beda yang digunakan untuk menghomogenkan campuran serbuk. Pada Gambar 2.18 menunjukkan klasifikasi dari mesin pencampuran serbuk dengan energy yang digunakan. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwasanya penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* memiliki nilai energi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan mesin pencampuran serbuk jenis lain dengan nilai *Froude number* yang sama. Pada penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* atau dinamakan jenis *tumbling mixer* memiliki perbedaan dibandingkan dengan mesin

pencampuran serbuk dengan vessel tetap dimana terlampir dalam Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Perbedaan dan masalah yang terjadi pada *vessel fixed mixer* dan *tumbling mixer* (Kuo & Huang, 2014)

Vessel Fixed Mixer		
Menggunakan agitator (Blade)	Menggunakan Pelaarut sebagai <i>transport</i>	Tumbling Mixer
Memerlukan layout yang tidak lebar	Memerlukan layout yang tidak lebar	Memerlukan layout yang lebar
Bisa dengan metode pencampuran basah	Pemisahan berdasar densitas bisa terjadi	Mudah dibersihkan, rendah kontaminasi saat mode batch
Mengatur serbuk yang bersifat kohesi	Pemilihan kompresor bergantung pada tekanan yang akan diberikan pada saat operasi	Aksial dan radial segregasi dapat terjadi
Memungkinkan ada dead spot	Nozzle untuk granulasi mudah untuk ditampung	Desain asimetri membantu mengurangi segregasi aksial
Geometri agitator berpengaruh pada performa pencampuran		Dapat sebagai <i>transport</i> atau penampungan campuran serbuk
Mempertimbangkan ukuran agitator terhadap zona pencampuran		Agitator blade terletak pada shaft yang berotasi ketika serbuk bersifat kohesi
Kontaminasi dapat terjadi pada operasi mode batch		Nozzle untuk granulasi mudah untuk ditampung

Dari beberapa kendala dan operasi mesin pencampuran serbuk berdasarkan beberapa jenis mesin, untuk pencampuran serbuk dengan metode metalurgi serbuk dapat menggunakan mesin tumbling dengan geometri asimetri yang mana dapat mengurangi segregasi dari axis aksial maupun horizontal. Mesin tumbling tersebut adalah jenis double cone dan jenis V (Upadhyaya, 2002). Menurut Volpato, dkk., (2017), pada mesin pencampuran serbuk tipe tumbling digunakan untuk proses pencampuran serbuk material dengan operasi kering (dry). Proses pencampuran serbuk dapat digunakan pada metode batch. Pada pencampuran tersebut terjadi jenis aliran yang ada pada proses. Keterangan operasi dari tiap mesin pencampuran serbuk terlampir dalam Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Perbandingan operasi dan mekanisme mesin pencampuran serbuk (Lamotte, 2018)

Tipe Mesin Pencampuran Serbuk	Prinsip Pencampuran Serbuk	Waktu Operasi	Froude Number	Kecepatan Pencampuran
<i>Tumbling mixer</i>	Difusi	10-15 menit	<1	15-25 rpm
Ribbon Blender	Konveksi	5-10 menit	<1	50 rpm
Double Shaft Paddle Mixer	Konveksi	30-12-menit	1-1,1	Berdasarkan ukuran mixer untuk mencapai Fr=1

Aliran material pada proses pencampuran mesin tumbling terdiri dari slipping, tumbling, dan cataracting. Antara tingkat pengisian dan koefisien gesekan dinding dapat dibedakan dengan adanya froude number, Fr. Proses pencampuran ini sangat baik karena menggunakan mekanisme shear atau geser yang dapat memperlancar pencampuran serbuk. Dalam dunia industri mekanisme ini sangat bagus dalam proses pencampuran serbuk yang mana memiliki dua zona dalam pencampuran serbuk yaitu lapisan pasif dan lapisan aktif. Berikut merupakan penjelasan mengenai zona pasif dan aktif:

1. Zona Aktif

Zona Aktif merupakan zona dimana serbuk yang dicampurkan selalu dalam aliran pencampuran yang interaktif sehingga kecepatan dan distribusi ukuran partikel dapat terbentuk. Pada zona ini menunjukkan adanya bentuk aliran dari proses pencampuran serbuk dan berkaitan dengan performa pencampuran serbuk.

2. Zona pasif

Zona pasif merupakan zona yang berada tepat dibawah zona aktif. Dimana partikel serbuk ikut bercampur karena adanya gerakan rotasi dari dinding mesin pencampuran serbuk.

Dari kedua zona tersebut dapat diketahui bahwa perbandingan ketinggian pada zona aktif lebih diperhitungkan karena menunjukkan partikel serbuk tersebut interaktif untuk bercampur.

Menurut Lee, dkk pada tahun 2019, mesin pencampuran serbuk dengan ukuran partikel $<63\mu\text{m}$ memiliki pengoperasian pencampuran serbuk dengan aksis aksial dengan pengambilan sampel homogenitas di setiap sumbu rotasi karena lebih efektif. Pencampuran tersebut efektif menggunakan mesin jenis double cone yang mana dapat memiliki bentuk asimetri sehingga dapat mengurangi segregasi dan mempercepat proses pencampuran karena bentuk aliran yang terjadi.

2.4.1 Double cone mixer

Mesin *Double cone mixer* merupakan mesin mixer dengan sistem batch mode yang mana pengisian dilakukan secara berkala sesuai dengan kuantitas yang ditentukan. Mesin ini umum digunakan ada industri yang menggunakan proses pencampuran partikel serbuk. Waktu pencampuran biasanya dilakukan satu sampai dua jam dalam sekali pencampuran serbuk. Dari segi perawatan, kegiatan perawatan mesin *double cone mixer* tidak terlalu kompleks dan simpel. Gesekan yang terjadi pada saat pencampuran cenderung sedang namun dapat terjadi segregasi ketika partikel dipindahkan atau dilanjutkan ke proses selanjutnya (discharge) (Blackwood, 2015)

Double cone mixer adalah salah satu alat yang umum digunakan dalam proses pencampuran karena performanya yang unggul. Proses pencampuran menggunakan alat ini membutuhkan waktu lebih cepat dan efisiensi pencampurannya tinggi. Mekanisme pencampuran yang terjadi pada alat ini adalah difusi, yang menghasilkan homogenitas yang baik pada tiap bagian campuran. Parameter dalam pemilihan alat ini adalah :

a. Kapasitas Volume

Kapasitas adalah volume maksimal yang bisa ditampung oleh *mixer* dalam satu kali proses

b. Daya Motor Listrik

Perlu diketahui daya motor listrik sehingga dapat diketahui besar daya yang dibutuhkan alat tersebut untuk beroperasi dan menjadi data penunjang dalam desain pabrik.

Mesin *double cone mixer* sangat efisien sebagai mesin pencampuran serbuk dengan metode pencampuran serbuk kering dan untuk mencapai kehomogenan partikel serbuk. Beberapa tambahan dapat digunakan untuk mengoptimasi mesin *double cone mixer* yaitu sebagai berikut (Hitesh, dkk., 2011) :

1. Pencampuran serbuk dengan agitator dapat digunakan ketika bahan agitator tersebut stainless steel sehingga dapat terjaga dari kontaminasi serbuk yang kemungkinan masih tertinggal.
2. Geometri mesin *double cone mixer* dapat meningkatkan keseragaman dalam proses pencampuran dan dapat mengurangi segregasi
3. Perhitungan mengenai gearbox dan motor perlu diperhatikan agar tidak melebihi beban dari serbuk yang akan dicampur

2.4.2 V-cone mixer

Mesin pencampuran jenis *v-cone* merupakan mesin pencampuran yang efisien dan serbaguna untuk pencampuran serbuk dan lubrikan dengan metode *dry mixing*. *V-cone mixer* cocok dalam penggunaan kecepatan yang medium dan memiliki container atau *vessel* yang berbentuk V. Dalam proses pencampuran terdapat bantuan dari gaya gravitasi yang disebabkan karena adanya perputaran dari *vessel*. Selain itu juga dalam pencampuran serbuk, *v-cone mixer* memberikan parameter proses pencampuran yang efisien dengan waktu pencampuran yang lebih cepat dan efisien (Singhai, S. K., dkk, 2010).

Mekanisme dalam proses pencampuran menggunakan *v-cone mixer* adalah mekanisme difusi. Pencampuran difusi ditandai dengan gerakan acak skala kecil dari partikel serbuk. Ketika pencampuran serbuk ditingkatnya kecepatan perputarannya maka

partikel didalamnya akan mengikuti mobilitas yang terjadi akibat adanya gaya gravitasi dan menjadikan adanya pencampuran difusi. Selain itu juga, dalam pencampuran ini terjadi distribusi partikel dan menghasilkan tingkat homogenitas yang tinggi karena minim adanya segregasi. Pencampuran serbuk biasanya dapat dicapai homogenitas dalam 5-15 menit tergantung pada karakteristik partikel serbuk yang dicampurkan (Singhai, S. K., dkk, 2010).

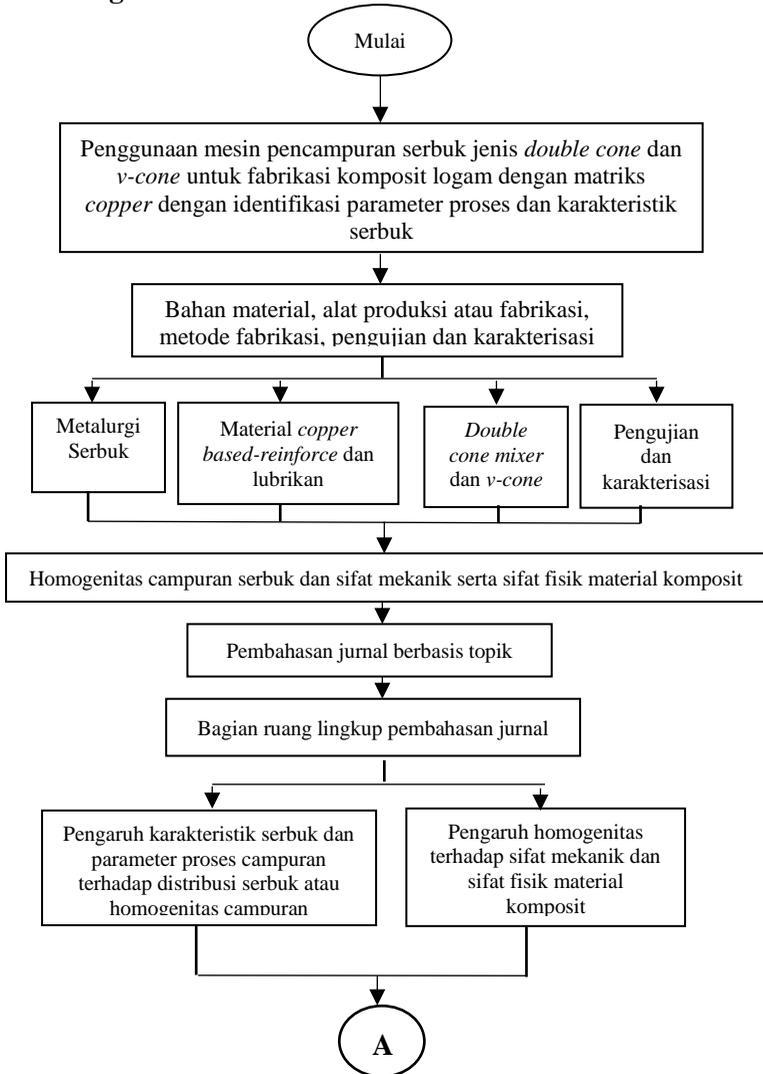
Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan *v-cone mixer* yaitu sebagai berikut:

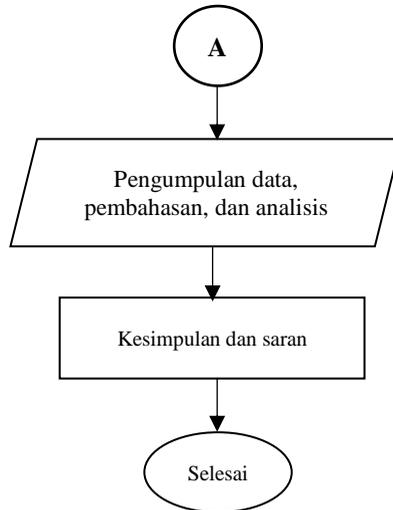
1. Kelebihan
 - a. Minimnya reduksi ukuran partikel dan terjadinya erosi
 - b. *Charging* dan *discharging* sangat mudah
 - c. Memberikan pencampuran serbuk yang baik pada *dry powder* dan produk granular
 - d. Dengan desain *vessel* yang ada, memberikan kemudahan untuk *discharge material*.
 - e. Minim adanya kontaminan
 - f. Mudah untuk dibersihkan
2. Kelemahan
 - a. Membutuhkan ruangan operasi yang luas
 - b. Tidak cocok dalam pencampuran serbuk dengan perbedaan ukuran partikel dan densitas dengan rentang yang jauh karena akan mengakibatkan adanya segregasi saat *discharge*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI REVIEW

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian pembahasan jurnal

Dalam review jurnal kali ini secara general bertujuan untuk mengetahui morfologi dan sifat mekanik serta sifat fisik dalam komposit logam matriks *copper* dari hasil fabrikasi menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Dalam identifikasi morfologi dan sifat mekanik tersebut, dikaitkan dengan faktor yang mempengaruhi dalam proses pencampuran serbuk yaitu karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran serbuk. Sehingga nantinya ditemukan limitasi ukuran serbuk yang digunakan dalam masing-masing mesin pencampuran serbuk yang digunakan dan rentang waktu pencampuran dalam menghasilkan dispersi serbuk yang homogen berdasarkan jurnal yang di review pada fabrikasi komposit logam matriks *copper*.

3.2 Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan dalam review jurnal kali ini didasarkan pada teori yang sudah ada dimana terangkum dalam bab sebelumnya serta pembaharuan dalam parameter dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

3.2.1 Parameter Respon

Parameter respon adalah parameter yang dipengaruhi dari penggunaan atau perlakuan yang diberikan dimana antara parameter respon dengan parameter yang lain dimana hasil dari parameter respon didapatkan setelah adanya eksperimen. Parameter respon yang dianalisis dalam pembahasan review jurnal kali ini adalah :

1. Morfologi dispersi serbuk

Hasil morfologi dispersi serbuk yang telah dilakukan berdasarkan sebelas jurnal dari fabrikasi komposit logam matriks *copper* menjadi fokus mendasar dari analisa penggunaan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* terhadap hasil pencampuran serbuk sehingga diharapkan nantinya dapat diketahui hasil morfologi optimum dan limitasi nilai yang mempengaruhi dari hasil morfologi tersebut.

2. Nilai densitas dan nilai porositas

Nilai densitas dan nilai porositas dari material komposit logam dengan matriks *copper* yang telah difabrikasi bertujuan untuk mengetahui keterikatan dari dispersi serbuk yang ada dalam komposit sehingga akan didapatkan nilai peningkatan nilai densitas dan penurunan nilai porositas dari hasil penggunaan mesin fabrikasi *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Dalam pembahasan review jurnal kali ini, ditambahkan pemaparan mengenai nilai kekerasan dari komposit logam dengan matriks *copper* untuk menyatakan bahwa homogenitas campuran dapat memberikan peningkatan nilai kekerasan pada komposit logam dengan matriks *copper* dengan variabel jurnal yang dibandingkan.

3.2.2 Parameter Proses dan Faktor Perbandingan

Parameter proses adalah parameter yang digunakan dan divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan analisa pengaruh terhadap parameter respon. Sedangkan faktor perbandingan merupakan faktor yang terdapat dalam parameter proses yang nilainya digunakan sebagai perbandingan untuk mendapatkan prakiraan nilai atau rentang nilai yang optimum. Untuk mengetahui

variabel dan faktor pembanding yang berpengaruh dalam proses pencampuran maka harus dilakukan identifikasi terlebih dahulu melalui studi literature. Variabel-variabel dan faktor pembanding terhadap hasil pencampuran serbuk yaitu morfologi disperse serbuk dan sifat mekanik ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variabel yang digunakan dalam pembahasan review jurnal

No	Variabel	Sumber
1	Mesin Tumbling Double cone	Hitesh, dkk, 2011 &
2	V-cone	Upadyaya, 2002

Tabel 3.2 Faktor pembanding yang mempengaruhi dalam variabel

No	Nama Faktor Pembanding	Sumber
Karakteristik Serbuk		
1	Ukuran Serbuk	Venables, 2001 Leuenberger, 2002 Venables & Wells, 2001
	Bentuk Serbuk	Ekawat, 2008
Parameter Proses Pencampuran		
2	RPM	Masuda, dkk., 2016 Sulistya 2019
	Waktu Pencampuran	Upadyaya, 2002 German, 2016

Parameter proses yang digunakan dalam analisa pembahasan review jurnal kali ini adalah:

1. *Double cone mixer*

Penggunaan *double cone mixer* akan berpengaruh pada hasil pencampuran serbuk yaitu morfologi dan berhubungan dengan sifat mekanik yang didapatkan.

2. *V-cone mixer*

Penggunaan *v-cone mixer* akan berpengaruh pada kualitas dari morfologi dispersi serbuk dan berhubungan dengan hasil sifat mekanik.

Faktor pembanding dalam parameter proses yang digunakan adalah sebagai berikut:

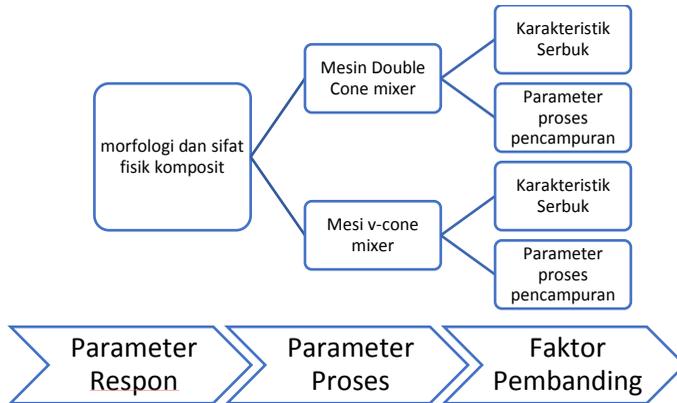
1. Karakteristik Serbuk

Karakteristik serbuk meliputi nilai ukuran serbuk, densitas dan bentuk dari partikel serbuk yang digunakan. Rentang ukuran dari penggunaan serbuk akan memberikan hasil yang berbeda sebagaimana penggunaan rentang ukuran serbuk elemen unsur akan memberikan hasil yang berbeda dengan rentang ukuran serbuk yang mendekati sama satu dengan elemen unsur lain. Sedangkan bentuk serbuk yang digunakan akan berpengaruh pada hasil morfologi dan disperse serbuk dari tiap-tiap elemen unsur. Nilai densitas serbuk berhubungan dengan *flowability* saat proses pencampuran serbuk.

2. Parameter proses pencampuran serbuk

Parameter proses pencampuran serbuk meliputi nilai rpm dan waktu pencampuran serbuk. Besar kecilnya rpm yang digunakan akan mempengaruhi pada hasil pencampuran serbuk yang mana berkaitan dengan ukuran serbuk yang dihasilkan serta kemampuan dalam segregasi serbuk. Sedangkan waktu pencampuran serbuk memiliki pengaruh yang sama dengan rpm yang digunakan karena saling berkaitan.

Antara parameter proses dengan respon dapat ditunjukkan dengan Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Keterkaitan antara parameter respon, parameter proses, dan faktor pembeding

3.2.3 Parameter Konstan

Parameter konstan adalah parameter yang nilainya dibuat sama dan tidak divariasikan. Dari review jurnal kali ini parameter konstan yang digunakan adalah :

1. Dimensi mesin pencampuran serbuk

Dimensi mesin pencampuran serbuk berhubungan dengan *flowability* dari diperser serbuk. Sudut pada dinding mesin pencampuran serbuk memberikan pengaruh segregasi dari perbedaan ukuran serbuk dan densitas serbuk.

2. Suhu dan humidity dalam proses pencampuran serbuk

Suhu dan humidity dari proses pencampuran serbuk berpengaruh pada adanya aglomerasi dalam proses pencampuran serbuk namun adanya atau tidaknya aglomerasi dipengaruhi dengan bentuk serbuk yang dihasilkan dari proses pencampuran serbuk yang berkaitan dengan ukuran serbuk yang digunakan.

3.3 Jenis dan Sumber Data

Data adalah bukti atau fakta secara empiris mengenai suatu pemecahan masalah atau jawaban dalam sebuah penelitian yang telah dilakukan (Siyoto & Sodik, 2015) dimana pemecahan masalah tersebut berupa rangkaian hipotesis terhadap suatu model

(Soeratno & Arsyad, 1993). Dalam melakukan pembahasan jurnal kali ini, menggunakan salah jenis data sebagai intrepertasi dari sumber data yang telah dikumpulkan sehingga nantinya memberikan ulasan yang runtut dan sesuai dalam pembahasan review jurnal. berikut jenis data dan sumber data yang diperoleh.

3.3.1 Jenis Review Jurnal

Dalam review jurnal kali ini menggunakan data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif didapatkan dari hasil morfologi dari pencampuran komposit komposit logam dengan matriks *copper* sesuai dengan jenis mesin pencampuran serbuk sedangkan nilai kuantitatif didapatkan dari nilai sifat mekanik yang dihasilkan terhadap hasil morfologi serbuk. Dalam penelitian ini menggunakan variabel mesin pencampuran serbuk yaitu *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dengan faktor perbandingan yaitu karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran serbuk.

3.3.2 Sumber Data

Sumber data merupakan segala sesuatu yang dapat memberikan analisa dan informasi mengenai data hasil eksperimen. Dalam review jurnal kali ini menggunakan data hasil eksperimen dari sebelas jurnal mengenai fabrikasi Komposit logam dengan matriks copper menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* yang telah terpublikasi dalam laman *science direct* maupun *google scholar*.

3.4 Pengumpulan Data Eksperimental Jurnal

Dalam melakukan pembahasan review jurnal mengenai penggunaan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* terhadap morfologi dan sifat mekanik serta sifat fisik dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*, digunakan data hasil eksperimen oleh beberapa peneliti yang telah dijelaskan dalam sebelas jurnal eksperimen. Pengumpulan jurnal diawali dengan penurunan tema besar yaitu fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Terdapat tiga tahapan dalam pengumpulan data

eksperimental jurnal yaitu mengklasifikasikan jurnal berdasarkan jenis mesin *tumbling* dan berdasarkan material fabrikasi komposit Komposit logam dengan matriks copper selanjutnya melakukan pembuatan *state of the art* dengan melakukan identifikasi berdasarkan karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran, kemudian menentukan ruang lingkup bahasan dengan mengidentifikasi pengujian yang ada dalam jurnal dan mengelompokkan sesuai dengan respon dalam pembahasan review jurnal.

3.4.1 Klasifikasi Jurnal

Klasifikasi jurnal digunakan untuk mengelompokkan jurnal yang didapatkan berdasarkan penggunaan mesin *tumbling mixer* jenis *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dan merincikan material komposit logam dengan matriks *copper* yang telah difabrikasi dengan cara mendata dan mengurutkan. Dalam pembahasan review jurnal kali ini, hasil eksperimen jurnal berupa morfologi dispersi serbuk terukur secara kualitatif dengan tingkatan homogen dan aglomerasi, sedangkan sifat mekanik dan sifat fisik terukur secara kuantitatif dengan tetap mengaitkan pada hasil kualitatif morfologi dispersi serbuk.

Hasil dari klasifikasi jurnal berdasarkan jenis mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* serta klasifikasi rincian material komposit logam dengan matriks *copper* yang telah difabrikasi yaitu sebagai berikut :

1. Klasifikasi Mesin Pencampuran Jenis *Tumbling*

Pengelompokkan jurnal dalam pembahasan review diawali dengan melakukan pengelompokkan jenis mesin pencampuran serbuk yaitu *tumbling mixer* yang digunakan dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*. Berikut pada Tabel 3.3 merupakan pengelompokkan jurnal pada mesin pencampuran serbuk jenis *tumbling*.

Tabel 3.3 Klasifikasi jenis mesin pencampuran serbuk pada *tumbling mixer*

Jenis <i>tumbling mixer</i>	Sumber
<i>Double cone mixer</i>	Gyimah, K, G, dkk., (2014)
	Prabhu, T., R (2015)
	Shetty, R., dkk (2016)
	Wagih, A., & Fathy, A., (2017)
	Salur, E., dkk, (2019)
<i>V-cone mixer</i>	Kavithaa, T, S., dkk, (2019)
	Xu, L., dkk (2014)
	Kumar, P, M., dkk, (2018)
	Xiao, Yelong, dkk. (2018)
	Nalin, Somania, (2018)
	Xu, E., dkk (2019)

2. Klasifikasi Berdasarkan Material

Hasil pengelompokkan dari penggunaan *tumbling mixer* selanjutnya dilakukan pengelompokkan sebagai pengembangan dari pendataan penggunaan *tumbling mixer* dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*. Pengelompokkan ini sebagai pendataan elemen unsur khususnya elemen unsur matriks dengan *reinforce* yang digunakan dalam fabrikasi komposit. Berikut pada Tabel 3.4 hasil dari pengelompokkan bahan yang menggunakan mesin pencampuran serbuk jenis *tumbling mixer*.

Tabel 3. 4 Klasifikasi material atau elemen unsur dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer*

Material Komposit	Lubrikan	<i>Futures</i>	Sumber
<i>Double cone mixer</i>			
<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	Graphite, MoS ₂	<i>Wear Resistance</i>	Gyimah, K, G, dkk. (2014)
<i>Cu/Silica</i>	Graphite, MoS ₂ , h-BN	<i>Wear Resistance</i>	Prabhu, T, Ram., (2015)
<i>Cu/SiC</i>	-	<i>thermal management</i>	Shetty, R., dkk (2016)
<i>Copper-Alumina</i>	-	<i>Machinability</i>	Wagih, A., & Fathy, A., (2017)
<i>Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron</i>	-	<i>Machinability</i>	Salur, Emin, (2019)
<i>Cu/SiC</i>	-	<i>thermal management</i>	Kavithaa, T, S., dkk, (2019)
<i>V-cone mixer</i>			
<i>Copper-Tungsten</i>	-	Elektroda deposisi	Xu, L., dkk (2014)
<i>Copper-Chromium di Boride</i>	-	Elektroda deposisi	Kumar, P, M., dkk, (2018)
<i>Copper-Iron-Graphite</i>	MoS ₂ ,ZrO ₂	<i>Wear resistance</i>	Xiao, Yelong, dkk. (2018)
<i>Copper-Silica Carbide</i>	-	Elektroda Deposisi	Nalin, Somania, (2018)
<i>Copper-Graphite Cluster</i>	-	<i>Wear Resistance dan Self Lubricating</i>	Xu, E., dkk (2019)

3.4.2 *State of the Art / Road Map*

Dalam tahap ini dilakukan pembuatan *state of the art* dari jurnal yang didapatkan. *State of the art* dalam pembahasan review jurnal kali ini meliputi dua tinjauan. Yang pertama adalah pemaparan mengenai ukuran serbuk, rpm, dan waktu pencampuran yang mana sebagai faktor pembanding dalam pembahasan proses pencampuran serbuk dan hasil pencampurannya dari jurnal yang didapatkan. Yang kedua adalah pemaparan variabel yang digunakan dalam jurnal dan mengerucutkan pada variabel yang terbaik. Kedua bagian *state of the art* meliputi variabel review

jurnal kali ini yaitu mesin pencampuran serbuk jenis *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Pemaparan mengenai *State of the art* dari kedua tinjauan tersebut, bertujuan untuk memudahkan dalam membandingkan parameter proses yang sesuai untuk selanjutnya dilakukan pembahasan pada Bab selanjutnya. *State of the art* dari tinjauan yang pertama, terlampir pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6. Sedangkan tinjauan kedua terlampir pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

Tabel 3.5 *State of the art* dari klasifikasi mesin *double cone mixer* pada material dengan karakteristik serbuk dan parameter proses yang digunakan

Sumber	Komposit	Rentang Ukuran Serbuk (μm)	RPM	Mixing Time
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	-	150	9 jam
Prabhu, T, Ram., (2015)	<i>Cu/Silica</i>	50-160	-	-
Shetty, R., dkk (2016)	<i>Cu/SiC</i>	13-45	-	15 menit
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	<i>Copper-Alumina</i>	0,3-50	180	45 menit
Salur, Emin, (2019)	<i>Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron</i>	10000-20000	-	20 menit
Kavithaa, T, S., dkk, (2019)	<i>Cu/SiC</i>	13-45	-	15 menit

Tabel 3. 6 *State of the art* dari klasifikasi mesin *v-cone mixer* pada material dengan karakteristik serbuk dan parameter proses yang digunakan

Sumber	Komposit	Rentang Ukuran Serbuk (μm)	RPM	Mixing Time
Xu, L., dkk (2014)	Copper-Tungsten	9,63-21,97	-	2-4 jam
Kumar, P, M., dkk, (2018)	Copper-Chromium di Boride	44	-	5 jam
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	Copper-Iron-Graphite	6,5-150	-	8 jam
Nalin, Somania, (2018)	Copper-Silica Carbide	45	60	30 menit
Xu, E., dkk (2019)	Copper-Graphite Cluster	74-122	-	3 jam

Tabel 3. 7 Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Variabel Proses yang Digunakan			
		Proporsi Serbuk	Mixing	Kompaksi	Sintering
Xu, L., dkk (2014)	Copper-Tungsten	5 %, 8%, 20%	2-4 jam	40 MPa	1200°C, 3 jam
Kumar, P, M., dkk, (2018)	Copper-Chromium di Boride	-	5 jam	14 ton	-
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	Copper-Iron-Graphite	40-55 % Cu 10-12 % Fe, 17-19 % Graphite, 2-3 % MoS ₂ , 6-8 % ZrO ₂ , 6-8 % FeCr, elemen unsur lain 4-10%	8 jam	650 MPa	970°C, 180 menit
Nalin, Somania, (2018)	Copper-Silica Carbide	0%, 10%, 15%, dan 20% SiC	60 rpm, 30 menit	250 Mpa, 30 menit	950 °C, 60 menit
Xu, E., dkk (2019)	Copper-Graphite Cluster	2wt%, 3wt%, 4wt% dan 5wt% Graphite Cluster	3 jam	600 MPa selama 1 menit	920°C

Tabel 3. 8 Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Variabel Proses yang Digunakan			
		Proporsi Serbuk	Mixing	Kompaksi	Sintering
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	8-10% SiO ₂ , 10-12% Fe, 5-10% Graphite, 10-15% MoS ₂ , 1-5% Mn dan 1-2% Sn	150 rpm, 9 jam	650 MPa	800 °C, 900 °C, 950° C (1,5 jam)
Prabhu, T, Ram., (2015)	<i>Cu/Silica</i>	10% Silica, 10% h-boron nitride, graphite dan MoS ₂	-	600 kN	900 °C, 6 jam
Shetty, R., dkk (2016)	<i>Cu/SiC</i>	60% Cu, 40% SiC	10, 15, 20, 30 menit	3000 bar, 800 bar	1173 k, 2 jam
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	<i>Copper-Alumina</i>	2,5% ; 7,5% ; 12,5% Al ₂ O ₃	180 rpm, 45 menit	600 Mpa, 2 menit	950°C, 2 jam
Salur, Emin, (2019)	<i>Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron</i>	10%, 20%, 30%, dan 40%. GGG40	20 menit	480 Mpa, 640 Mpa, dan 820 Mpa	350 °C, 400 °C, dan 450 °C
Kavithaa, T, S., dkk, (2019)	<i>Cu/SiC</i>	-	15 menit	3000 bar, 800 bar	1173 K, 2 jam. 1123 K, 30 menit

3.5 Penentuan Ruang Lingkup Bahasan

Dalam menentukan ruang lingkup bahasan dilakukan pendataan mengenai pengujian yang menunjang homogenitas disperse serbuk dan morfologi, sifat fisik yang ditinjau dari nilai densitas dan nilai porositas dimana ketiga hal ini menjadi respon. Hasil pendataan tersebut terlampir dalam Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Material dan Mesin Pencampuran Serbuk

Sumber	Jenis Mesin <i>Tumbling</i>	Komposit	Pengujian
Gyimah, K. G, dkk. (2014)		<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	SEM, D, H
Prabhu, T, Ram., (2015)		<i>Cu/Silica</i>	MO, D, H
Shetty, R., dkk (2016)	<i>Double cone mixer</i>	Cu/SiC	SEM, MO, D
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)		<i>Copper-Alumina</i>	SEM, MO, D, H
Salur, Emin, (2019)		<i>Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron</i>	MO, P
Kavithaa, T, S., dkk, (2019)		Cu/SiC	SEM, MO, D, P
Xu, L., dkk (2014)		<i>Copper-Tungsten</i>	SEM, MO, P
Kumar, P, M., dkk, (2018)		<i>Copper-Chromium di Boride</i>	MO
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	<i>V-cone mixer</i>	<i>Copper-Iron-Graphite</i>	MO, D, H
Nalin, Somania, (2018)		<i>Copper-Silica Carbide</i>	SEM, D, H
Xu, E., dkk (2019)		<i>Copper-Graphite Cluster</i>	SEM, MO, D, H

Keterangan :

MO = Mikroskop Optik

SEM = *Scanning Electron Microscope*

P = Porositas

D = Densitas

H = *Hardness*

Setelah dilakukan pendataan, maka selanjutnya dilakukan ringkasan mengenai ruang lingkup bahasan dari penggunaan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*. Hasil dari ringkasan ruang lingkup bahasan terlampir dalam Tabel 3.10. Pada Tabel 3.10, menunjukkan bahwa untuk mengetahui respon atau pengaruh dari

penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v—cone mixer* terhadap fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* yaitu morfologi dan homogenitas campuran serbuk dapat ditinjau dari pengujian SEM dan mikroskop optic. Selanjutnya dari pengaruh homogenitas campuran tersebut, dilakukan tinjauan mengenai sifat fisik komposit yang telah difabrikasi yaitu ditinjau dari nilai porositas dan densitas serta sifat mekanik yang dapat ditinjau dari nilai kekerasannya sehingga nantinya dapat diketahui keterkaitan antara homogenitas terhadap sifat fisik maupun mekanik dari komposit logam dengan matriks *copper*.

Tabel 3. 10 Ruang lingkup pembahasan

Jenis Mesin Pencampuran	SEM	MO	P & D	H
<i>Double cone mixer</i>	√	√	√	√
<i>V-cone mixer</i>	√	√	√	√

Keterangan :

- √ = Data analisa lengkap
- MO = Mikroskop Optik
- SEM = *Scanning Electron Microscope*
- P = Porositas
- D = Densitas
- H = *Hardness*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

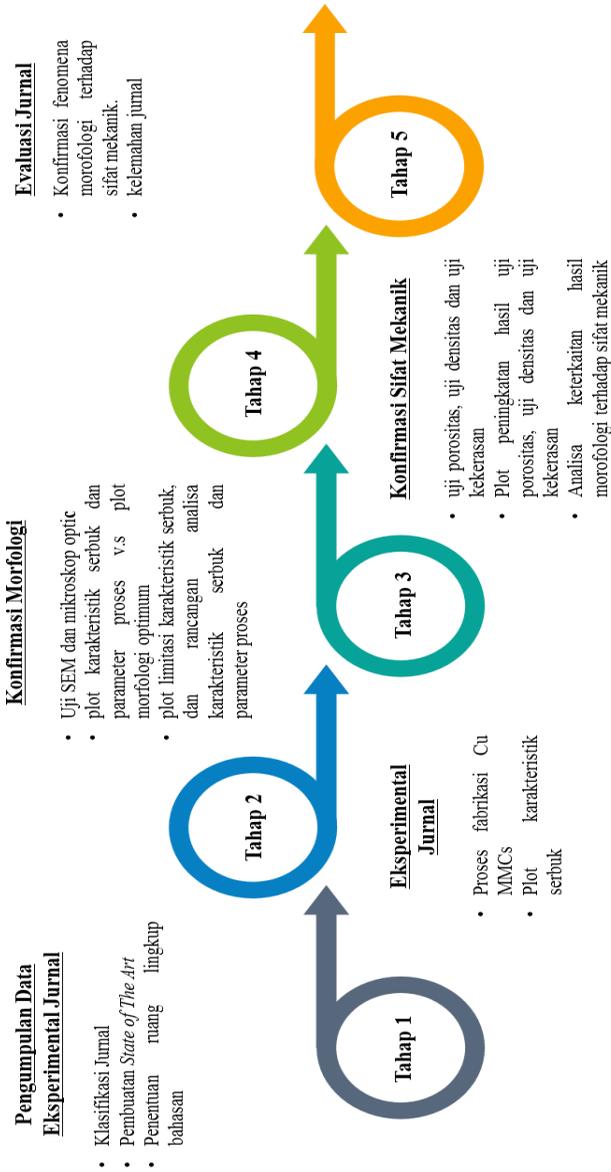
Dalam melakukan analisa dan review mengenai jurnal fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan jenis mesin *tumbling* yaitu mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* bertujuan untuk mengetahui hasil morfologi disperse serbuk dan sifat mekanik komposit sifat sebagai hasil dari penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dengan mengaitkan pada karakteristik serbuk elemen unsur dan parameter proses pencampuran serbuk sebagai faktor yang mempengaruhi proses pencampuran serbuk. Tahapan utama dalam melakukan pembahasan review jurnal kali ini ada lima tahapan. Tahapan yang pertama adalah pengumpulan data eksperimental jurnal dengan aktivitas mengklasifikasikan jurnal berdasarkan jenis mesin *tumbling* dan berdasarkan fabrikasi material komposit logam dengan matriks *copper* selanjutnya melakukan pembuatan state of art dengan melakukan identifikasi berdasarkan karakteristik serbuk dan parameter proses pencampuran, kemudian menentukan ruang lingkup bahasan dengan mengidentifikasi pengujian yang ada dalam jurnal dan mengelompokkan sesuai dengan respon dalam pembahasan review jurnal. Hasil dari tahapan pertama ini telah dijelaskan pada Bab III dengan sub bab 3.4 hingga sub bab 3.5.

Pada tahapan yang kedua, yaitu eksperimental jurnal dengan aktivitas memaparkan fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* atau preparasi specimen pada masing-masing jurnal dengan mengidentifikasi elemen penyusun komposit beserta dengan proporsi serbuk yang digunakan dan parameter proses pencampuran serbuk serta melakukan plot karakteristik serbuk sesuai dengan elemen unsur. Pada tahap kedua ini, pembahasan terangkum dalam Sub bab 4.1 untuk mesin *double cone mixer* sedangkan sub bab 4.2 untuk *v-cone mixer* dengan judul penggunaan mesin *double cone mixer* pada pencampuran serbuk dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*.

Pada tahapan ketiga, yaitu konfirmasi morfologi dengan aktivitas memaparkan hasil pengujian SEM dan mikroskop optic dari sebelas jurnal yang digunakan, selanjutnya melakukan plot karakteristik serbuk dan parameter proses v.s plot morfologi optimum yang didapatkan, kemudian melakukan plot limitasi karakteristik serbuk, dan rancangan analisa karakteristik serbuk dan parameter proses untuk penggunaan *double cone mixer* maupun *v-cone mixer*. Pembahasan mengenai tahap ketiga, terangkum dalam sub sub bab 4.1.1 pada mesin *double cone mixer* sedangkan sub sub bab 4.2.1 pada mesin *v-cone mixer* dengan judul morfologi.

Pada tahap yang ke empat, yaitu konfirmasi sifat mekanik dengan aktivitas pemaparan hasil uji porositas, uji densitas dan uji kekerasan, selanjutnya dilakukan plot peningkatan hasil uji porositas, uji densitas dan uji kekerasan, kemudian analisa keterkaitan hasil morfologi terhadap sifat mekanik. Pada tahapan keempat, terangkum dalam sub sub bab 4.1.2 pada mesin *double cone mixer* sedangkan sub sub bab 4.2.2 pada mesin *v-cone mixer* dengan judul densitas dan nilai kekerasan.

Pada tahapan yang kelima yaitu evaluasi jurnal dengan aktivitas konfirmasi fenomena morfologi terhadap sifat mekanik dan menjelaskan kelemahan jurnal. pada tahapan kelima terangkum dalam sub sub bab 4.1.3 dan 4.2.3 pada masing-masing mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Alur besar dalam pembahasan review jurnal mengenai hasil morfologi dan sifat mekanik komposit hasil fabrikasi menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* dijelaskan dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 *Milestone pembahasan review jurnal*

4.1 Penggunaan *Double cone mixer* pada Pencampuran Serbuk dalam Fabrikasi *Copper Metal Matrix*

Penelitian mengenai fabrikasi *komposit logam dengan matriks copper* menggunakan mesin *double cone mixer* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian tersebut salah satunya dilakukan oleh Gyimah, K, G, dkk. (2014) mengenai fabrikasi komposit Cu-SiO₂-Fe, Prabhu, T, Ram (2015) mengenai fabrikasi komposit Cu-Si dengan lubrikan, Shetty, R., dkk (2016) dengan melakukan fabrikasi komposit Cu-SiC, Wagih, A. & Fathy, A., (2017) mengenai fabrikasi Cu-nano Al₂O₃, Kavithaa, T, S., (2019) mengenai fabrikasi Cu-SiC, dan pada tahun 2019, Salur, E melakukan fabrikasi *Cu-spheroidal cast iron*. Dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* tersebut menggunakan mesin *double cone mixer* dimana bertujuan untuk mengetahui hasil morfologi dari komposit dan nilai densitas, porositas serta nilai kekerasan.

Berikut merupakan data karakteristik serbuk dari keenam jurnal yang terlampir dalam Tabel 4.1. Dalam Tabel 4.1, karakteristik serbuk yang digunakan sangat penting dalam mengidentifikasi parameter proses pencampuran yang digunakan untuk mencapai homogenitas campuran. Setelah dilakukan proses pencampuran sehingga terdapat distribusi serbuk campuran selanjutnya dilakukan proses kompaksi dan sintering. Proses kompaksi dan sintering digunakan untuk membentuk ikatan interfacial yang ada pada komposit logam dengan matriks *copper* sehingga didapatkan nilai densitas, porositas, dan kekerasan dari serangkaian fabrikasi yang telah dilalui.

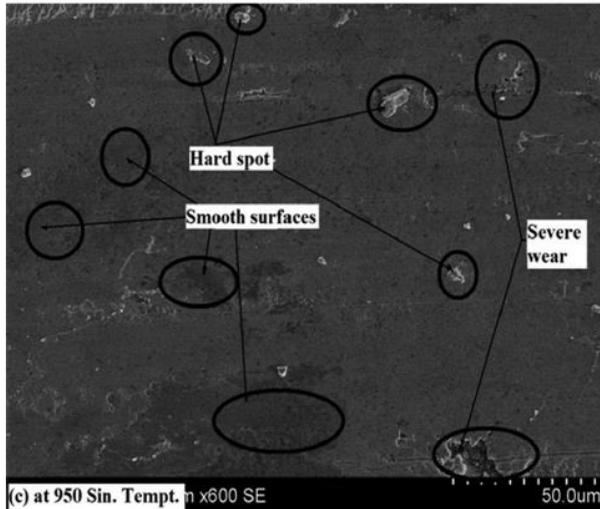
Tabel 4. 1 Karakteristik serbuk elemen unsur dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks copper komposit menggunakan *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Elemen unsur	Ukuran serbuk (μm)	Apparent Density (g/cc)	Grade
Gyimah, K, G, dkk., (2014)	Cu-SiO ₂ -Fe	Cu	-	-	-
		SiO ₂	-	-	-
		Fe	-	-	-
		Graphite	-	-	-
		MoS ₂	-	-	-
		Mn	-	-	-
		Sn	-	-	-
Prabhu, T, Ram (2015)	Cu-Si	Cu	75-106	2-2,4	Eletrolytic
		MoS ₂	44-60	-	-
		h-BN	106-150	0,78	Hexagonal type
		Graphite	150-160	2,2	Natural (flaky)
Shetty, R., dkk (2016)	Cu-SiC _p	Silica	50-125	-	Fused Silica
		Cu	45	-	-
		α - SiC _p	20,6-23,6 dan 13,0-16,0	-	-
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	Cu- nano Al ₂ O ₃	Cu	50 μm	-	Spherical
		Al ₂ O ₃	0,3 μm	-	Iregular
		Cu	45	-	Spherical
(Kavithaa, T, S., dkk, 2019)	Cu-SiC _p	α - SiC _p	20,6-23,6 dan 13,0-16,0	3,208	-
		α - SiC _p as treated NiP ₂	-	3,6987	-
		α - SiC _p as treated Y ₂ O ₃	-	3,3657	-
		CuSn10	10000	-	-
Salur, E, dkk (2019)	CuSn10-GGG40	GGG-40 (spheroidal graphite cast iron)	20000	-	-

4.1.1 Morfologi Dispersi Serbuk

Dari penelitian yang dilakukan oleh Gyimah, K, G, dkk. Pada tahun 2014 mengenai fabrikasi komposit *Copper-SiO₂-Fe* menggunakan mesin *double cone mixer* dengan kecepatan putar 150 rpm dengan waktu pencampuran selama 9 jam. Dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*, Gyimah, K, G, dkk (2014) menggunakan tekanan kompaksi sebesar 650 Mpa dengan memvariasikan temperatur sintering yaitu 850 ° C, 900° C, dan 950° C. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur optimal yang mampu memberi ikatan ikatan yang kuat antara matriks dan *reinforce* yaitu pada temperatur 950° C. Ditinjau dari hasil pencampuran tersebut, didapatkan hasil distribusi yang merata pada serbuk elemen unsur penyusun komposit *Copper-SiO₂-Fe* sebagaimana terlampir dalam Gambar 4.2. Perubahan morfologi dari partikel serbuk dari fabrikasi menggunakan mesin *double cone mixer* memberikan struktur hasil campuran yang terdispersi secara merata dan memberikan penampakan permukaan yang halus dan seperti terlarut dalam matriks.

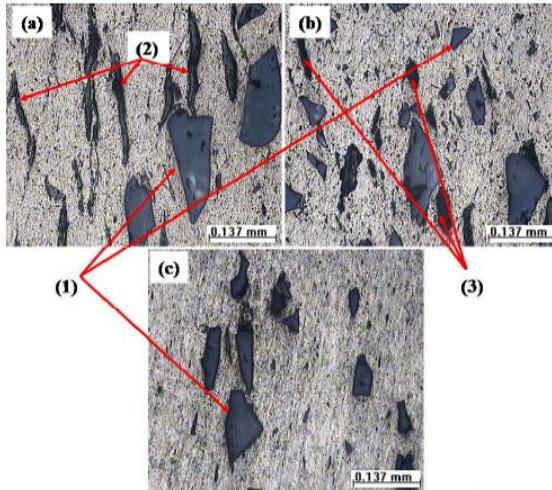
Dalam Gambar 4.2, Gyimah, K, G, dkk. pada tahun 2014 juga menyatakan bahwa pada permukaan specimen yang telah melalui proses sintering dan pengujian ketahanan aus, memiliki permukaan yang halus dan sedikit adanya kekasaran permukaan yang ditunjukkan pada *smooth surface* dan *hard spot* dan adanya ikatan yang kuat antara matriks dengan *reinforce*.



Gambar 4. 2 hasil uji SEM komposit *Copper-SiO₂-Fe* pada permukaan kontak pada temperature sintering 950 °C (Gyimah, K, G, dkk., 2014)

Kemudian penelitian mengenai fabrikasi komposit Cu-Si yang telah dilakukan oleh Prabhu, T, Ram., (2015) dengan variasi penambahan lubrikan yaitu graphite, MoS₂, dan h-BN dengan proporsi serbuk pada masing-masing lubrikan adalah 10%. Pada proses pencampuran serbuk, Prabhu, T, Ram., (2015) menggunakan mesin *double cone mixer* yang mana memiliki hasil dispersi serbuk terlampir dalam Gambar 4.3 untuk masing-masing variasi lubrikan yang digunakan. Dalam karakterisasi material menggunakan mikroskop optic untuk mengidentifikasi mikrostruktur pada komposit dengan elemen unsur Cu dengan ukuran 75-106 μm dengan serbuk silika pada ukuran serbuk 50-125 μm serta penambahan lubrikan MoS₂, h-BN, dan Graphite dengan ukuran serbuk masing-masing yaitu 44-60 μm , 106-150 μm , 150-160 μm menunjukkan bahwa partikel *silica ceramic* terdistribusi dan memiliki karakteristik ikatan pada komposit. Distribusi secara seragam ditunjukkan dengan adanya partikel

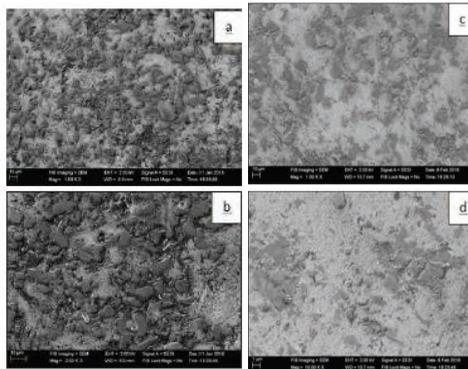
silica bentuk yang tidak teratur atau iregular ada pada komposit dan adanya sifat isotropic dengan tegangan yang terdistribusi secara seragam pada komposit



Gambar 4.3 Hasil uji mikroskop optik terhadap mikrostruktur komposit *cu/silica ceramic* dengan lubrikan (a) graphite (b) h-BN (c) MoS_2 ((1) silica, (2) graphite flake, (3) h-BN) (Prabhu, T, Ram., 2015)

Pada Gambar 4.3 (a), (b), dan (c), partikel lubrikan terdistribusi dengan seragam baik pada lubrikan graphite (Gambar 4.3 (a)), lubrikan h-BN (Gambar 4.3 (b)), dan lubrikan MoS_2 (Gambar 4.3 (c)). Dari hasil mikroskop optik dapat diketahui bahwa partikel lubrikan yang digunakan memiliki bentuk yang lebih mengecil dan iregular. Partikel serbuk Cu terdispersi secara merata. Pada Gambar 4.3 (c) terlihat bahwa dengan adanya partikel MoS_2 yang memiliki ukuran serbuk yang cenderung halus yaitu 44-60 μm menyebabkan tidak bisanya dibedakan dengan matriks karena memiliki kontras yang sama dengan matriks. Sedangkan jika dibandingkan dengan h-BN dan graphite yang memiliki yang memiliki ukuran bentuk masing-masing 106-150 μm dan 150-160

μm cenderung masih memiliki bentuk yang sama dan cenderung mengecil namun tetap lebih kecil pada partikel MoS_2 sehingga menyebabkan adanya larut dalam matriks dan mengurangi adanya void atau porositas. Hal tersebut menandakan bahwasanya dengan rentang ukuran serbuk yang tidak jauh dan memiliki bentuk yang cenderung lebih kecil maka akan mengurangi adanya porositas dan memberikan kehomogenan dalam komposit.

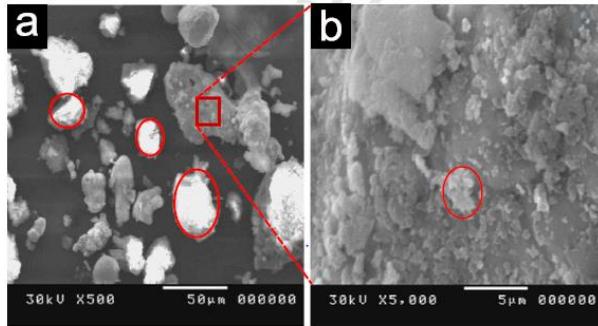


Gambar 4.4 Hasil uji SEM pada (a) dan (b) Cu-as received SiC 600 grit serta (c) dan (d) Cu-as received SiC 400 grit (Shetty, R., dkk, 2016)

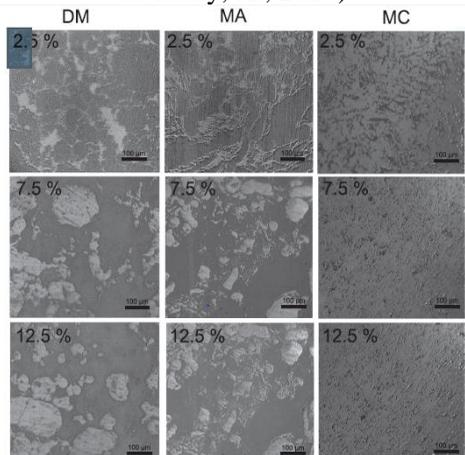
Selanjutnya hasil morfologi dari pengujian SEM pada komposit Cu-SiC telah dilakukan oleh Shetty, R., dkk, (2016). Dalam penelitiannya, Shetty, R., dkk, (2016) menggunakan variasi waktu pencampuran serbuk yaitu 10, 15, 20, 30 menit dengan mesin pencampuran yaitu *double cone mixer*. Dari penelitian tersebut didapatkan waktu pencampuran optimal adalah 15 menit. Dari segi ukuran serbuk yang digunakan yaitu Cu sebesar $45 \mu\text{m}$ dan memvariasikan ukuran serbuk SiC dengan ukuran $20,6\text{-}23,6\mu\text{m}$ dan $13,0\text{-}16,0 \mu\text{m}$ dengan proporsi serbuk 60% Cu dan 40% SiC. Sedangkan untuk parameter proses kompaksi pada Cu-as received SiC ($20,6\text{-}23,6\mu\text{m}$) dengan tekanan 3000 bar selama 2 menit sedangkan pada Cu-as received SiC ($13,0\text{-}16,0 \mu\text{m}$)

menggunakan tekanan 800 bar selama 5 menit dengan temperatur sintering antara keduanya yaitu 1173 K selama 2 jam. Dari pengujian SEM pada spesimen Cu-*as received* SiC (20.6-23.6 μ m) yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (a) dan (b) didapatkan distribusi yang seragam pada *second phase* namun masih terdapat porositas. Selain itu, terdapat perubahan bentuk sphere dan flake dengan ukuran yang lebih kecil yang tersebar secara merata. Pada Cu-*as received* SiC (13,0-16,0 μ m) yang ditunjukkan dengan Gambar 4.3 (c) dan (d) menunjukkan adanya formasi aglomerasi pada *reinforce* dalam matriks Cu dan terdapat porositas yang terdistribusi pada *second phase* pada matriks dengan perubahan bentuk partikel serbuk yang memiliki bentuk flake dengan ukuran besar dan irregular.

Penelitian mengenai fabrikasi komposit Cu-nano Al₂O₃ menggunakan mesin *double cone mixer* dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., pada tahun 2017 dengan kecepatan pencampuran 180 rpm selama 45 menit. Ukuran serbuk yang digunakan adalah Cu sebesar 50 μ m dan nano Al₂O₃ sebesar 0,3 μ m dengan memvariasikan proporsi serbuk nano Al₂O₃ 2,5wt%, 7,5 wt%, dan 12,5 wt%. Sedangkan parameter kompaksi menggunakan tekanan 600 Mpa selama 2 menit dan sintering dengan temperatur 950^oC sebagaimana terlampir dalam Tabel 4.2. Dari pengujian SEM yang telah dilakukan pada proporsi serbuk nano Al₂O₃ 12,5wt% menunjukkan adanya aglomerasi dengan perubahan partikel menjadi berbentuk irregular dan lebih kecil serta tidak teratur atau berhamburan yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil karakterisasi Cu-12,5% campuran serbuk dengan metode dry mixing menggunakan *double cone mixer* (a) dan (b) hasil uji SEM dengan perbesaran yang berbeda (lingkaran merah menyatakan adanya aglomerasi pada Al₂O₃) (Wagih, A., & Fathy, A., 2017)

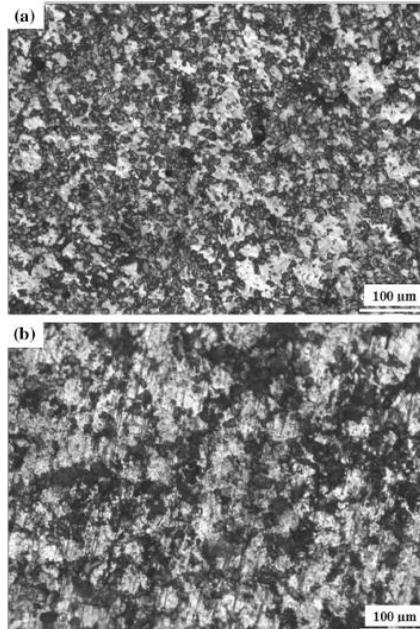


Gambar 4.6 Hasil uji SEM terhadap Cu-Al₂O₃ setelah sintering dengan tiga metode yang berbeda (a) dry mixing (Wagih, A., & Fathy, A., 2017)

Dari hasil pengujian SEM pada komposit Cu-nano Al₂O₃ yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 menunjukkan, distribusi atau keseragaman homogenitas yang paling optimum yaitu pada

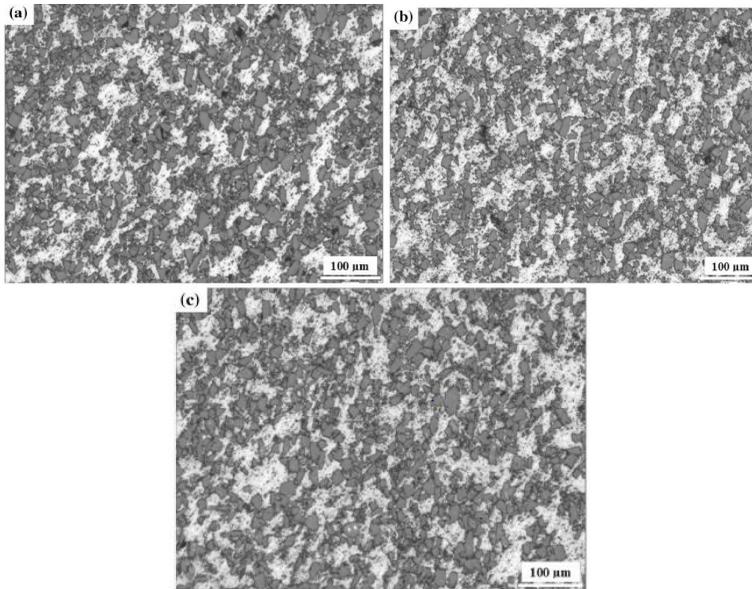
proporsi Al_2O_3 sebesar 2,5%, sedangkan pada Al_2O_3 proporsi 7,5% dan 12,5% mulai terjadi ketidakhomogenan antara distribusi *reinforce* dengan matriks yang menunjukkan adanya aglomerasi. Perubahan bentuk partikel Cu-nano Al_2O_3 dengan proporsi 2,5% yaitu bentuk partikel yang cenderung lebih kecil dan halus dengan bentuk flake yang terdegradasi menjadi bentuk yang lebih kecil dengan matriks Cu yang melapisi partikel nano Al_2O_3 .

Kemudian pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kavithaa, T, S., dkk, (2019) mengenai fabrikasi komposit Cu-SiC menggunakan mesin *double cone mixer* dilakukan variasi waktu pencampuran serbuk yaitu 10, 15, 20, dan 30 menit dimana waktu optimal dalam menghasilkan campuran serbuk yang homogen yaitu 15 menit. Ukuran serbuk yang digunakan yaitu Cu sebesar 45 μm dengan variasi serbuk SiC dengan ukuran 20,6-23,6 μm dan 13,0-16,0 μm . Fabrikasi komposit Cu-SiC juga dilakukan dengan serbuk SiC yang telah dilapisi oleh lapisan Y_2O_3 dan SiC yang telah dilapisi oleh NiP_2 . Proses kompaksi pada komposit pada Cu-*as received* SiC (20,6-23,6 μm) dengan tekanan 3000 bar selama 2 menit sedangkan pada Cu-*as received* SiC (13,0-16,0 μm) menggunakan tekanan 800 bar selama 5 menit dengan temperatur sintering antara keduanya yaitu 1173 K selama 2 jam. Selain menggunakan proses sintering, pada komposit pada Cu-*as received* SiC (20,6-23,6 μm), Cu-*as received* SiC (13,0-16,0 μm), Cu dengan serbuk SiC yang telah dilapisi oleh lapisan Y_2O_3 dan Cu dengan SiC yang telah dilapisi oleh NiP_2 juga dilakukan proses *hot pressing* dengan temperatur 1123 K selama 30 menit sebagaimana terlampir dalam Tabel 4.2.



Gambar 4.7 Hasil pengamatan menggunakan mikroskop optic pada specimen hasil sintering (a) *Cu-as received* grit 600 dan (b) *Cu-as received* grit 400 (Kavithaa, T, S., dkk, 2019)

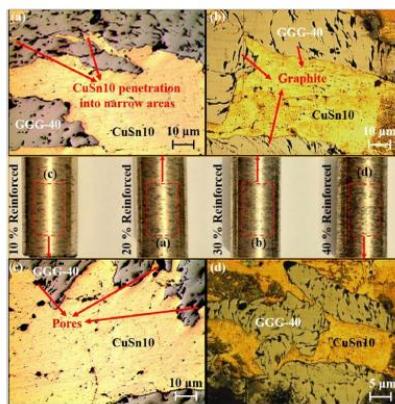
Dari pengujian mikroskop optic yang telah dilakukan, pada komposit *Cu-as received* SiC (20,6-23,6 μm) yang ditunjukkan dengan Gambar 4.7 (a) bahwasanya terdapat distribusi yang merata pada fasa kedua dengan perubahan morfologi partikel yaitu ukuran serbuk yang lebih seragam meskipun masih memiliki bentuk yang irregular. Sedangkan pada Gambar 4.7 (b) menunjukkan bahwa pada komposit *Cu-as received* SiC (13.0-16.0 μm) terdapat porositas dengan aglomerasi pada *reinforce* dalam matriks Cu dengan ukuran partikel yang jauh lebih tidak teratur dibandingkan dengan komposit *Cu-as received* SiC (20.6-23.6 μm). Perubahan morfologi terjadi pada kedua komposit hasil kompaksi yaitu perubahan ukuran partikel yang lebih kecil dan terdegradasi dengan area gelap yang menunjukkan area *reinforce* SiC.



Gambar 4.8 Hasil uji mikroskop optic setelah melalui proses *hot pressing* pada specimen (a) Cu-as-received SiC_p (b) Cu/ SiC_p yang telah dilapisi Y_2O_3 dan (c) Cu/ SiC_p yang telah dilapisi NiP_2 (Kavithaa, T, S., dkk, 2019)

Pengujian mikroskop optic juga dilakukan pada komposit Cu-as-received SiC_p hasil proses *hot pressing* mengindikasikan bahwasanya terdapat dua fasa mikrostruktur yang terbentuk dengan aglomerasi dan ketidakmerataan distribusi SiC_p yang mana ditunjukkan Gambar 4.8 (a). Selain itu, terdapat ukuran pori yang signifikan namun distribusinya tidak seragam dengan adanya aglomerasi dari dua fasa yang terbentuk. Gambar 4.8 (b) pada komposit Cu/ SiC_p yang telah dilapisi Y_2O_3 menunjukkan bahwa terdapat porositas yang lebih rendah dibandingkan dengan Gambar 4.8 (a). Selain itu, distribusi *reinforce* lebih seragam dengan bentuk partikel yang lebih halus dengan tersebar merata. Sedangkan pada Gambar 4.8 (c) yang mana merupakan campuran serbuk dengan SiC yang dilapisi dengan NiP_2 menunjukkan bahwa terdapat

porositas yang rendah meskipun masih terdapat aglomerasi yang lebih halus dan sedikit dibandingkan dengan campuran serbuk *Cu-as received* SiC. Namun aglomerasi pada komposit *Cu-as treated* SiC dengan pelapisan NiP₂ menunjukkan aglomerasi dengan ukuran yang lebih besar daripada Cu/SiC_p yang telah dilapisi Y₂O₃. Dari ketiga komposit tersebut memiliki partikel yang lebih kecil dan terdegradasi.



Gambar 4.9 Mikrostruktur pada MMCs dengan parameter produksi yang berbeda pada (a) 350°C, 820 MPa 20% wt dari *reinforce*, (b) 400°C, 640 MPa 30% wt dari *reinforce* (c) 450°C, 820 MPa 10% wt dari *reinforce* (d) 350°C, 480 MPa 40% wt dari *reinforce* (Salur, E, dkk., 2019)

Selanjutnya dalam penelitian yang dilakukan oleh Salur, E, dkk., pada tahun 2019 mengenai fabrikasi komposit Cu-GGG40 menggunakan mesin *double cone mixer* dengan waktu pencampuran selama 20 menit dengan ukuran serbuk CuSn10 dengan ukuran serbuk 1 mm dan GGG40 (*spheroidal cast iron*) dengan ukuran 2 mm. Dalam penelitian tersebut dilakukan variasi proporsi serbuk yang digunakan adalah 10%, 20%, 30%, dan 40%. Selain itu juga dilakukan variasi temperatur kompaksi sebesar 480 Mpa, 640 Mpa, dan 820 Mpa serta variasi temperatur *hot pressing*

yaitu 350 °C, 400 °C, dan 450 °C. Hasil fabrikasi yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 4.9 yang mana dengan bertambahnya proporsi serbuk yang digunakan terdapat aglomerasi dan terjadi perubahan partikel elemen unsur GGG40 memiliki bentuk yang sama dimana berbentuk irregular flake lateral memanjang. Karena adanya aglomerasi tersebut, pemanjangan dari partikel *reinforce* mengalami penambahan endapan dengan meningkatnya proporsi serbuk dan terdapat pembentukan porositas yang semakin meningkat.

Dari pengujian yang dilakukan oleh beberapa peneliti dalam jurnal yang sudah didapatkan menunjukkan bahwasanya terdapat perubahan bentuk yang signifikan dan cenderung irregular dengan bentuk yang lebih kecil tersebar secara merata dalam matriks. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Gyimah, K, G, dkk., (2014), Prabhu, T, Ram (2015), Shetty, R., dkk (2016), Wagih, A., & Fathy, A., (2017), Kavithaa, T, S., dkk, (2019), dan Salur, E, dkk (2019). Adanya degradasi menjadi bentuk yang lebih kecil terjadi karena adanya gesekan yang ada pada partikel serbuk yang digunakan. Selain itu dengan adanya sudut pada dinding mesin *double cone mixer* memberikan efek adanya pencampuran karena pengaruh gaya sentrifugal saat pencampuran serbuk. Dengan adanya *angle of repose* memberikan adanya disperse serbuk dan segregasi sehingga mencapai campuran serbuk yang homogen.

Berdasarkan hasil uji SEM dan mikroskop optic terhadap morfologi komposit yang telah dilakukan, salah satunya pada fabrikasi komposit Cu-SiC yang dilakukan oleh Kavithaa, T, S., dkk, pada tahun 2019 menunjukkan bahwa partikel serbuk antara Cu dan SiC sedikit adanya degradasi partikel *reinforce* yang tersebar seara merata dalam matriks Cu yang mana rentang ukuran serbuk Cu dan SiC adalah 20,6-45µm dan dengan pencampuran selama 15 menit. Berbeda dengan fabrikasi Cu-Al₂O₃ yang dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., pada tahun 2017 dengan rentang ukuran serbuk 0,3-50 µm, yang mana serbuk Cu mengalami degradasi mengikuti serbuk Al₂O₃. Hal ini juga didasarkan pada rpm dan waktu pencampuran yang digunakan,

yaitu 180 rpm selama 45 menit. Antara komposit Cu—SiC dengan Cu-Al₂O₃ memiliki variasi serbuk yang sama yaitu dua variasi dengan komposisi partikel serbuk Cu dan partikel serbuk *reinforce*. Pendataan mengenai perubahan serbuk yang terjadi pada komposit dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perubahan bentuk pada partikel serbuk pada morfologi komposit logam dengan matriks copper menggunakan fabrikasi mesin *double cone mixer*

Sumber	Material Komposit	Ukuran Serbuk (μm)	Mixing Time (menit)	RPM	Distribusi Serbuk	Perubahan Bentuk
Gyimah, K, G, dkk., (2014)	Cu-SiO ₂ -Fe	-	540	150	Homogen	Partikel serbuk halus dan terlarut dalam matriks
Prabhu, T, Ram (2015)	Cu-Si-MoS ₂	44-75	-	-	Homogen	Bentuk memipih dan seragam dan bentuk pipihan yang kecil Memiliki bentuk sphere yang berukuran kecil dan besar dan bentuk flake yang tersebar
Shetty, R., dkk (2016)	Cu-SiC _p	20,6-45	15	-	Homogen	Partikel serbuk Al ₂ O ₃ halus dan memiliki bentuk irregular dengan ukuran yang lebih kecil
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	Cu-nano Al ₂ O ₃	0,3-50	45	180	Homogen	Bentuk serbuk yang halus dan tersebar merata
(Kavitha a, T, S., dkk, 2019)	Cu-SiC _p	20,6-45	15	-	Homogen	Terdapat bentuk partikel yang menjalar dan terdapat aglomerasi
Salur, E, dkk (2019)	CuSn10-GGG40	(1-2)x10 ⁴	20	-	Aglomerasi	

Ringkasan mengenai karakteristik serbuk serta parameter proses yang digunakan untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan *double cone mixer* terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Limitasi karakteristik serbuk terhadap disperse serbuk dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks copper komposit menggunakan mesin *double cone mixer*

DCN							Jenis Mixer	
Cu-Al ₂ O ₃	CuSn-GGG40	Cu-SiO ₂ -Fe	Cu-Si	Cu-SiC	Cu-SiC	Cu-SiC	Komposit	
0,3-50	1000-2000	-	44-75	20-45	13-45		Rentang Ukuran Serbuk (µm)	
2	6	7	3	2	2		Variasi Serbuk	
Sphere	-	-	Electrolitik & Fused Silica	-	-		Bentuk Serbuk	
Irregular spherical	-	-	2,4	-	3,208-3,365		Densitas Serbuk	
180	-	150	-	-	-		RPM	
45	20	540	-	15	15		Waktu Pencampura	
√	x	√	√	√	√		Homogenitas	

Dari penelitian yang dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., pada tahun 2017 menunjukkan ketika semakin bertambahnya proporsi serbuk yang digunakan dalam campuran komposit dengan rentang serbuk yang cukup jauh, maka akan menyebabkan adanya

aglomerasi. Begitu juga pada penelitian oleh Salur, E, dkk pada tahun 2019 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya proporsi serbuk GGG40 yang digunakan, maka akan memberikan aglomerasi yang semakin meningkat. Jika dihubungkan dengan kesenjangan dalam ukuran serbuk, maka hal ini dapat menjadikan suatu alasan keterikatan dari hasil disperse serbuk dalam komposit. Karena ketika semakin tinggi rentang penggunaan ukuran serbuk maka akan memberikan aglomerasi pada komposit karena perbedaan ukuran serbuk tersebut dapat memberikan efek solitary pada *reinforce* kepada matriks. Dengan adanya aglomerasi tersebut maka akan memberikan ketidakseragaman dalam disperse serbuk dan menimbulkan ikatan yang lemah karena ketika aglomerasi terjadi maka partikel matriks kurang maksimal dalam melakukan adhesi dan wettability.

Pada pendataan hasil penelitian yang dilakukan terhadap sebelas *paper* yang telah *direview* didapatkan hasil bahwa partikel serbuk dengan rentang ukuran serbuk yaitu **20,6-125 μ m** dan **rentang perbedaan antar ukuran serbuk $\leq 1: 2$** dengan pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer* memiliki keseragaman campuran serbuk yang baik dengan **variasi 2** serbuk dapat dilakukan proses pencampuran serbuk selama **15-45 menit** dengan **proporsi serbuk *reinforce* 10%-40%**. Rentang ukuran partikel serbuk sesuai dengan buku Neikov (2019) yang menyatakan bahwa dalam rentang ukuran 0,01-diatas 1,0 mm proses pencampuran serbuk dapat dilakukan menggunakan mesin *double cone mixer*.

4.1.2 Densitas dan Porositas

Dalam melakukan fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* erat kaitannya dengan pengujian sifat fisik maupun mekanik untuk mengetahui kualitas disperse atau kehomogenan dari komposit yang telah difabrikasi. Salah satu pengujian tersebut adalah uji densitas dan porositas. Kedua pengujian ini saling berkaitan satu dengan yang lain. Pada Tabel 4.4 menunjukkan parameter proses yang digunakan dalam melakukan fabrikasi

komposit logam dengan matriks *copper* yang mana menunjukkan nilai yang paling optimal dari segi porositas dan densitas dengan parameter proses yang optimal juga. Selanjutnya mengerucutkan analisis dari nilai optimal dengan membandingkan dengan nilai yang kurang optimal berdasarkan data yang telah dipaparkan oleh masing-masing jurnal. Perbandingan ini dihubungkan dengan karakteristik serbuk dan homogenitas serbuknya. Nilai perbandingan peningkatan densitas dengan porositas ini terlampir dalam Tabel 4.5. Pembahasan dari Tabel 4.5 ini dikaitkan juga dengan perubahan bentuk partikel dari komposit yang dapat mempengaruhi nilai densitas dan porositasnya.

Tabel 4.4 Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Nilai Densitas	Nilai Porositas
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	6,85 g/cc (950° C)	2,88 (950° C)
Prabhu, T, Ram., (2015)	<i>Cu/Silica</i>	7,629 g/cc (10% MoS ₂)	2,88 (10% MoS ₂)
Shetty, R., dkk (2016)	Cu/SiC	55% (15 menit, 3000 bar)	-
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	<i>Copper-Alumina</i>	89 % (2,5% Al ₂ O ₃)	-
Salur, Emin, (2019)	<i>Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron</i>	-	2,02 (10% GGG40, 20 menit., 640 Mpa, 400 °C)
Kavithaa, T, S., dkk, (2019)	Cu/SiC	-72% (15 menit, 3000 bar, 1173 K, 2 jam) -99,7% (15 menit, 3000 bar, 1123 K, 30 menit) (<i>Hot pressing</i>)	1,22 (15 menit, 3000 bar, 1123 K, 30 menit) (<i>Hot pressing</i>)

Penelitian mengenai pengujian densitas terhadap komposit logam dengan matriks *copper* telah dilakukan oleh Gyimah, K, G, dkk. (2014), Prabhu, T, Ram., (2015), Shetty, R., dkk, (2016), Wagih, A., & Fathy, A., (2017), dan Khavita, T, S., dkk (2019).

Selain melakukan uji porositas, Gyimah, K, G, dkk. (2014), Prabhu, T, Ram., (2015), Wagih, A., & Fathy, A., (2017), dan Salur, E, dkk., (2019) juga melakukan pengujian porositas. Pengujian porositas dan densitas dilakukan dengan mengaplikasikan hukum Archimedes untuk menghitung nilai densitas dan porositas dari komposit yang telah difabrikasi. Pada penelitian Gyimah, K, G, dkk. (2014) dengan melakukan variasi temperatur sintering, menghasilkan temperatur sintering optimal yaitu 950°C , 1.5 jam dengan menghasilkan nilai porositas sebesar 2.88. Pada pengujian porositas yang telah dilakukan oleh Prabhu, T, Ram., (2015) dan Kavithaa, T, S., dkk, (2019) menunjukkan adanya penurunan nilai porositas seiring dengan homogenya campuran serbuk. Dalam penelitian Prabhu, T, Ram., (2015), dengan memvariasikan lubrikan graphite, MoS_2 , dan h-BN dengan mengkombinasikan Cu-Si- MoS_2 dengan ukuran serbuk $44\text{-}75\mu\text{m}$ memiliki distribusi serbuk yang paling seragam sehingga menyebabkan adanya penurunan nilai porositas sebesar 35%. Jika dibandingkan dengan Cu-Si-Graphite yang memiliki ukuran serbuk sebesar $50\text{-}150\mu\text{m}$, terdapat aglomerasi campuran serbuk sehingga nilai porositasnya lebih besar daripada komposit Cu-Si- MoS_2 .

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kavithaa, T, S., dkk, (2019) dengan mencampurkan serbuk dan melakukan kompaksi dengan tekanan kompaksi sebesar 3000 bar dengan proses *hot pressing* pada temperatur 1123 K, serta ukuran serbuk $20.6\text{-}45\mu\text{m}$ pada komposit Cu-SiC *coated* Y_2O_3 memiliki nilai penurunan yang lebih besar yaitu mencapai 57% dibandingkan dengan Cu-SiC *coated* NiP_2 dengan ukuran yang sama dan parameter proses yang sama. Namun terdapat perbedaan dari segi luas permukaan dimana SiC *coated* Y_2O_3 memiliki nilai luas permukaan sebesar $1,0816\text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan SiC *coated* NiP_2 memiliki nilai luas permukaan yaitu $0,952\text{ m}^2/\text{g}$. Adanya peningkatan luas permukaan ini memberikan kontak antar partikel yang lebih besar sehingga pada saat proses pencampuran tersebut

terdapat ikatan secara fisik antara matriks dan *reinforce*. Ikatan ini yang menjadikan distribusi serbuk lebih seragam dan terstruktur.

Tabel 4.5 Nilai porositas pada komposit logam dengan matriks *copper* dengan menggunakan *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Ukuran Serbuk (μm)	Proporsi Serbuk (%)	Dispersi Serbuk	Porositas	Penurunan
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	Cu-SiO ₂ -Fe	-	8-12%	Homogen	2,88	0%
Prabhu, T, Ram., (2015)	Cu-Si-Graphite	50-150	20%	Aglomerasi	4,457	0%
	Cu-Si-MoS ₂	44-75	20%	Homogen	2,88	-35%
Salur, E, dkk., 2019	<i>Copper-Tin-Spheroidal</i>	(1-2)x10 ⁴	10		2,02	0%
	<i>Graphite</i>	(1-2)x10 ⁴	20		2,80	38,61%
	<i>Cast Iron</i>	(1-2)x10 ⁴	30	Aglomerasi	2,83	40%
	<i>Cu-SiC as received</i>	(1-2)x10 ⁴	40		3,52	74%
Kavithaa, T, S., dkk. (2019)	<i>Cu-SiC coated NiP₂</i>	13-45	-	Aglomerasi	2,9	0
	<i>Cu-SiC coated Y₂O₃</i>	20-45	-	Aglomerasi	1,72	-40%
		20-45	-	Homogen	1,22	-57%

Adanya aglomerasi campuran terjadi pada fabrikasi komposit *Copper-Tin-Spheroidal Graphite Cast Iron* yang telah dilakukan oleh Salur, E, dkk., (2019) dengan ukuran serbuk masing-masing yaitu 1 mm dan 2 mm serta penggunaan parameter proses terlampir dalam Tabel 4.5 dimana dari variasi tekanan kompaksi 480, 640, 820 Mpa dan temperatur *hot pressing* yaitu 350 °C, 400 °C, dan 450 °C menunjukkan penurunan porositas dengan proporsi serbuk 10% dengan tekanan kompaksi sebesar 640 Mpa dan temperatur *hot pressing* 400 °C. Aglomerasi ini menyebabkan adanya peningkatan porositas secara berkala hingga mencapai 74%

karena graphite memiliki kecenderungan memiliki sifat *solitary effect*.

Komposit Cu-SiC *coated* Y_2O_3 yang telah difabrikasi oleh Kavithaa, T, S., dkk, (2019) menunjukkan adanya penurunan nilai porositas yang lebih signifikan dibandingkan dengan komposit Cu-Si-MoS₂ (Prabhu, T, Ram., 2015), meskipun memiliki karakteristik disperse yang sama yaitu homogen. Perubahan morfologi antara keduanya pun juga sama, yaitu memiliki perubahan partikel serbuk yang terdegradasi lebih kecil dan membentuk partikel yang irregular serta lebih halus sebagaimana yang telah dijelaskan pada sub sub bab sebelumnya dan terlampir dalam Tabel 4.2. Namun terdapat perbedaan dari segi ukuran serbuk yang digunakan. Sebagaimana telah dijelaskan dipaparkan sebelumnya mengenai ukuran serbuk dari kedua komposit, pada Cu-SiC *coated* Y_2O_3 memiliki ukuran serbuk yang lebih kecil dibandingkan dengan Cu-Si-MoS₂. Dengan adanya distribusi serbuk yang seragam, memberikan distribusi ukuran serbuk juga dalam campuran sehingga ukuran serbuk yang kecil tersebut dapat memberikan penguatan dan mampu memasuki ruang difusi sehingga dapat mengurangi adanya porositas. Berbeda dengan aglomerasi, yang mana terjadi anomaly struktur campuran serbuk karena adanya pengelompokan partikel serbuk yang sama. Partikel tersebut selanjutnya membentuk kelompok baru yang memiliki ukuran yang lebih besar, sehingga menyebabkan adanya ruang antar struktur campuran serbuk dan menyebabkan adanya porositas.

Nilai porositas pada suatu komposit akan berhubungan dengan nilai densitas, yang mana ketika terdapat penurunan porositas maka akan memberikan nilai densitas yang lebih meningkat. Uji densitas terhadap fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *double cone mixer* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6. Pada penelitian yang dilakukan oleh Prabhu, T, Ram (2015) dengan ukuran serbuk sebesar 44-75 μ m, menunjukkan adanya peningkatan sebesar 5.66% pada Cu-Si-MoS₂ yang lebih homogen dari pada Cu-Si-*Graphite* dengan

proporsi serbuk yaitu 20% *reinforce*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kavithaa, T, S., dkk, (2019) dengan ukuran serbuk 20-45 μm menunjukkan adanya peningkatan pada komposit Cu-SiC coated Y_2O_3 sebesar 13% dibandingkan dengan Cu-SiC coated NiP_2 yang teraglomerasi. Namun pada Cu-SiC (20-45 μm) dimana menunjukkan kehomogenan berdasarkan pengujian SEM yang dilakukan pada pembahasan sub bab sebelumnya terjadi penurunan sebesar 22%. Namun, dalam penelitian yang telah dilakukan, Kavithaa, T, S., dkk, (2019) tidak memberikan penjelasan mengenai penurunan sifat mekanik komposit terutama nilai densitas. Kasus penurunan nilai densitas juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Shetty, R., dkk (2016), meskipun terdapat distribusi yang lebih homogen pada komposit Cu-SiC (20-45 μm) daripada Cu-SiC (13-45 μm).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., (2017) dengan ukuran serbuk 0,3-50 μm , menunjukkan adanya penurunan densitas pada proporsi serbuk mulai dari 2,5% hingga 12,5% dibandingkan dengan proporsi serbuk 0% pada nano Al_2O_3 . Meskipun pada campuran serbuk menunjukkan homogen pada proporsi serbuk 2,5%, namun terjadi penurunan nilai densitas dikarenakan bentuk partikel serbuk yang memiliki perubahan bentuk dan degradasi ukuran serbuk yang cukup seragam sehingga pada saat proses sintering maupun kompaksi masih terdapat celah maupun porositas. Pada proporsi serbuk 7.5% dan 12.5% menunjukkan adanya aglomerasi pada komposit sehingga memberikan penurunan nilai densitas sebesar 6-14.73%.

Tabel 4. 6 Nilai densitas pada fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Dispersi Serbuk	Ukuran Serbuk (μm)	Proporsi Serbuk Reinforce (%)	Densitas	Peningkatan
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	Cu-SiO ₂ -Fe	Homogen	-	8-12%	6,85 g/cc	-
Prabhu, T, Ram., (2015)	Cu-Si-Graphite	Aglomerasi	50-150	20%	7,22 g/cc	0%
	Cu-Si-MoS ₂	Homogen	44-75	20%	7,629 g/cc	5,66%
Shetty, R., dkk (2016)	Cu-SiC grit 400	Aglomerasi	13-45	40%	80%	0%
	Cu-SiC grit 600	Homogen	20-45	40%	55%	-45%
		Homogen	0,3-50	0%	95 %	0%
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	Cu-Al ₂ O ₃	Homogen	0,3-50	2,5%	89 %	-6%
		Aglomerasi	0,3-50	7,5%	83 %	-12,6%
		Aglomerasi	0,3-50	12,5%	81 %	-14,73%
Kavithaa, T, S., dkk, (2019)	Cu-SiC grit 400	Aglomerasi	13-45	-	88%	0%
	Cu-SiC grit 600	Homogen	20-45	-	72%	-22%
	Cu-SiC coated NiP ₂	Aglomerasi	20-45	-	98,21%	11,6 %
	Cu-SiC coated Y ₂ O ₃	Homogen	20-45	-	99,7%	13%

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gyimah, K, G, dkk., (2014), Prabhu, T, Ram (2015), dan Kavithaa, T, S., dkk, (2019) menunjukkan adanya peningkatan nilai densitas yang ada pada komposit logam dengan matriks copper. Seperti halnya porositas, peningkatan ini terjadi karena adanya homogenitas kimia yang terdapat pada campuran serbuk yang menunjukkan performa mulai

dari pengisian serbuk pada cetakan atau *dies*, morfologi ukuran porositas, dan hasil dari sifat mekanik material pada metode metalurgi serbuk. Dengan meningkatnya kadar homogenitas dalam campuran serbuk maka akan memberikan ikatan yang kuat antara matriks dengan *reinforce*. Ikatan *interfacial* yang baik dan kompatibilitas yang baik akan memberikan hasil sifat mekanik yang sesuai dengan yang diinginkan. Adanya disperse penguatan akan memberikan efek peningkatan nilai kekerasan pada material komposit. Dengan adanya aglomerasi yang ada pada struktur komposit akan memberikan tegangan yang terpusat dan porositas dalam komposit.

Dari hasil yang didapatkan mengenai nilai densitas, porositas dan nilai kekerasan dari enam jurnal, didapatkan hasil bahwa dengan adanya distribusi serbuk yang merata pada komposit Komposit logam dengan matriks copper dengan proporsi serbuk *reinforce* sebesar **Nilai densitas meningkat sebesar 5,66%-13% dengan proporsi serbuk *reinforce* sebesar 12%-20%** dalam fabrikasi komposit Cu-Si-MoS₂ dan Cu-SiC coated Y₂O₃ dengan masing-masing ukuran serbuk elemen penyusun komposit adalah 44-125µm dan 13,0-45 µm. **Nilai porositas menurun sebesar 35%-57% dengan proporsi serbuk sebesar 20%** pada komposit Cu-Si-MoS₂ dan Cu-SiC coated Y₂O₃ dengan masing-masing ukuran serbuk elemen penyusun komposit adalah 44-125µm dan 13,0-45 µm.

4.1.3 Nilai Kekerasan (*Hardness*)

Gyimah, K, G, dkk. (2014) telah melakukan uji kekerasan menggunakan Hardness Vicker pada komposit *Copper-SiO₂-Fe* yang telah melalui proses sintering dengan parameter proses optimal yaitu 950°C selama 2 jam dari variasi yang digunakan yaitu 850 °C, 900 °C, dan 950°C sebagaimana telah terlampir dalam Tabel 3.8. Selanjutnya, Prabhu, T, Ram., (2015) juga melakukan pengujian yang sama menggunakan uji Hardness Brinell pada komposit Cu-Si-h-BN, Cu-Si-Graphite dan Cu-Si-MoS₂ dengan tekanan kompaksi sebesar 600 kN dengan temperatur sintering

900°C selama 6 jam. Hal serupa juga dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., (2017) dengan memvariasikan proporsi serbuk nano Al_2O_3 dengan proses kompaksi dengan tekanan 650 Mpa selama 2 menit dan temperatur sintering 950°C selama 2 jam yang dilanjutkan dengan uji kekerasan menggunakan uji Rockwell Hardness dengan standar ASTM E-1842. Ketiga jurnal memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dan keterkaitan homogenitas campuran serbuk dari penggunaan *double cone mixer* terhadap peningkatan dari nilai kekerasan pada fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* yang mana data mengenai perubahan bentuk partikel dalam komposit akibat proses pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dalam pembentukan nilai kekerasan ini tentunya juga didukung dengan proses kompaksi dan sintering dalam pembentukan ikatan dari struktur campuran yang homogen dimana parameter proses fabrikasinya terlampir dalam Tabel 4.7. Selanjutnya dari perubahan partikel dalam Tabel 4.2, dilakukan analisa terhadap homogenitas dan nilai kekerasan dari pengujian yang terlampir dalam Tabel 4.8.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Prabhu, T, Ram., (2015) menggunakan ukuran serbuk 44-75 μm pada komposit Cu-Si-MoS₂ menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan sebesar 23% yang mana lebih besar daripada Cu-Si-Graphite yang mengalami aglomerasi. Proporsi serbuk yang digunakan dalam proses pencampuran serbuk yaitu 20%. Peningkatan nilai kekerasan juga terjadi pada penelitian yang telah dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., (2017) pada komposit Cu-Al₂O₃ dengan ukuran serbuk 0,3-50 μm . peningkatan tersebut mencapai 26,3%. Namun ketika terjadi penambahan proporsi serbuk sebesar 5%, terjadi penurunan nilai kekerasan. Penurunan ini juga didasari dengan hasil pencampuran serbuk yang teraglomerasi. Dari segi perubahan morfologi partikel, kedua jurnal tersebut mengalami degradasi ukuran setelah dilakukannya proses pencampuran serbuk menggunakan mesin *double cone mixer*. Selain terjadi degradasi, bentuk partikel setelah dilakukan pengujian SEM dan mikroskop

optic menunjukkan perubahan bentuk yang cenderung irregular dan halus pada distribusi serbuk yang seragam.

Tabel 4. 7 Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Nilai Kekerasan
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	304 HV (950° C)
Prabhu, T, Ram., (2015)	<i>Cu/Silica</i>	104±3 BHN ((10% MoS ₂)
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	<i>Copper-Alumina</i>	48 RHF(2,5% Al ₂ O ₃)

Tabel 4. 8 Nilai kekerasan pada komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin *double cone mixer*

Sumber	Komposit	Ukuran Serbuk (µm)	Proporsi Serbuk (%)	Dispersi Serbuk	Nilai Kekerasan	Peningkatan
Gyimah, K, G, dkk. (2014)	<i>Copper-SiO₂-Fe</i>	-	8-12%	Homogen	304 HV	0%
Prabhu, T, Ram., (2015)	Cu-Si-Graphite	50-150	20%	Aglomerasi	80±7 BHN	0%
	Cu-Si-MoS ₂	44-75	20%	Homogen	104±3 BHN	23%
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)		0,3-50	0%	Homogen	38 RHF	0%
		0,3-50	2,5%	Homogen	48 RHF	26,3%
	Cu-Al ₂ O ₃	0,3-50	7,5%	Aglomerasi	32 RHF	-15%
		0,3-50	12,5%	Aglomerasi	28 RHF	-26,31%

Terjadinya peningkatan nilai kekerasan pada komposit Cu-Si-MoS₂ yang telah diteliti oleh Prabhu, T, Ram., (2015) karena pada pencampuran serbuk antara Cu dengan Silika terdispersi dengan seragam sehingga menghasilkan adanya pembentukan reaksi antarmuka pada fasa Cu dengan Silika serta adanya mechanical bonding yang kuat antara matriks dengan particle

reinforce dengan lubrikan. Adanya ikatan antara matriks dengan *reinforce* yang kuat, memberikan nilai densitas dan nilai kekerasan yang meningkat daripada pencampuran serbuk antara Cu, silica dengan graphite dimana setelah proses pencampuran dan proses kompaksi, memiliki bentuk yang tidak jauh berbeda yaitu berbentuk flake sehingga mengakibatkan adanya porositas yang mengelompok dengan partikel elemen unsur silica yang memiliki bentuk yang irregular atau tidak teratur. Wagih, A., & Fathy, A., (2017) juga menyatakan bahwa peningkatan kekerasan pada komposit Cu-nano Al_2O_3 dipengaruhi oleh terdistribusinya *reinforce* yang mana berguna sebagai penguat dalam komposit tersebut, memberikan fungsi yang maksimal karena kekuatan ikatan antara partikel Cu dengan Al_2O_3 . Berbeda dengan Cu-nano Al_2O_3 yang memiliki campuran serbuk yang teraglomerasi, ikatan tersebut digantikan dengan adanya porositas atau *voids* yang ada pada batas ikatan antara Cu dengan Al_2O_3 . Sehingga ketika adanya beban yang diberikan pada *reinforce* maka akan terjadi slip antara partikel matriks dan *reinforce* beserta dengan deformasi dari butir-butir partikel. Selain itu pada saat proses sintering, maka tingkat difusivitasnya lebih lambat daripada campuran serbuk yang homogen.

Dari hasil yang didapatkan mengenai nilai densitas, porositas dan nilai kekerasan dari enam jurnal, didapatkan hasil bahwa dengan adanya distribusi serbuk yang merata pada komposit Komposit logam dengan matriks copper dengan proporsi serbuk *reinforce* sebesar **Nilai kekerasan meningkat sebesar 23%-26,3% dengan proporsi serbuk sebesar 2,5% dan 20%** pada komposit Cu- Al_2O_3 dan Cu-Si-MoS₂ dengan masing-masing ukuran serbuk elemen penyusun komposit adalah 0,3-50 dan 44-125 μ m..

4.1.4 Analisa Jurnal

Dalam pembahasan jurnal yang telah didapatkan pada pengaruh penggunaan mesin *double cone mixer* sebagai mesin pencampuran untuk fabrikasi Komposit logam dengan matriks

copper komposit memberikan hasil bahwasanya terdapat perubahan bentuk yang signifikan pada partikel serbuk yang digunakan dalam proses pencampuran dimana secara general perubahan bentuk dari morfologi serbuk yaitu cenderung memiliki bentuk yang lebih kecil atau adanya degradasi pada serbuk dan cenderung irregular sesuai dengan karakteristik ukuran bentuk partikel serbuk. Adanya degradasi yang sangat ekstrim akan memberikan struktur yang teraglomerasi seperti halnya pada penelitian yang dilakukan oleh Wagih, A., & Fathy, A., (2017) sehingga ketika adanya peningkatan proporsi serbuk yang digunakan maka akan memberikan menambah kesenjangan dalam ukuran serbuk yang digunakan. Sedangkan adanya homogenitas yang ada pada pencampuran serbuk memberikan adanya peningkatan sifat mekanik yaitu densitas dan nilai kekerasan dan penurunan dari nilai porositas.

Dari enam jurnal yang digunakan sebagai review pembahasan jurnal, terdapat beberapa data yang kurang lengkap sehingga dapat menyulitkan pembaca dalam melakukan review. Berikut pada Tabel 4.9 merupakan ringkasan dari kelengkapan sajian data yang ditinjau dari segi karakteristik serbuk, proporsi dan penjelasan.

Tabel 4.9 Kelengkapan sajian data jurnal pada fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *double cone mixer*

Referensi	Penjelasan	Proporsi Serbuk	Ukuran Serbuk	Bentuk Partikel Serbuk	Densitas Serbuk
Gyimah, K. G., dkk, (2014)	√	√	x	x	x
Prabhu, T, Ram (2015)	√	√	√	√	√
Shetty, R., dkk (2016)	x	√	√	x	x
Wagih, A., & Fathy, A., (2017)	√	√	√	x	x
(Kavithaa, T, S., dkk, 2019)	x	x	√	x	x
Salur, E, dkk (2019)	√	√	√	x	x

Keterangan :

√ = Data Lengkap

x = Data tidak dicantumkan

4.2 Penggunaan *V-cone mixer* pada Pencampuran Serbuk dalam Fabrikasi *Copper Metal Matrix*

Beberapa penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti mengenai fabrikasi Komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *v-cone mixer* mengalami perkembangan. Salah satunya adalah penelitian mengenai fabrikasi paduan *copper-tungsten* oleh Xu, L., dkk (2014), fabrikasi Cu-CrB₂ oleh Kumar, P, M., dkk (2018), fabrikasi Cu-Fe-Graphite oleh Xiao, Yelong, dkk. (2018), fabrikasi mengenai Cu-SiC oleh Nalin, Somania (2018) dan fabrikasi Cu-graphite cluster dalam penelitian oleh Xu, E., dkk (2019). Dalam penelitian tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu bertujuan untuk mengetahui morfologi dan sifat mekanik dan sifat fisik dari masing-masing komposit yang telah difabrikasi. Beberapa parameter proses dalam fabrikasi komposit

logam dengan matriks *copper* terdapat pada Tabel 4.10 sedangkan karakteristik serbuk yang digunakan terlampir dalam Tabel 4.11.

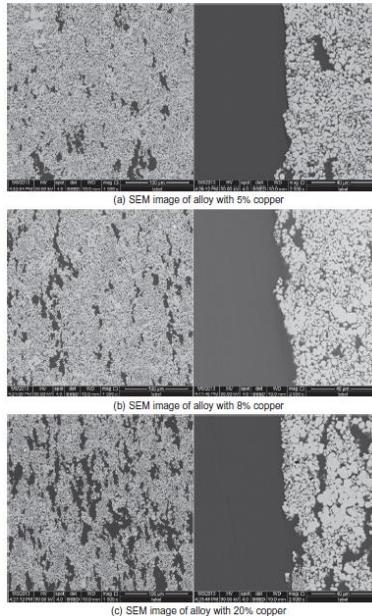
Tabel 4. 10 Karakteristik serbuk elemen unsur dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks copper menggunakan *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Elemen unsur	Ukuran serbuk (μm)	Apparent Density (g/cc)	Grade
(Xu, L., dkk (2014)	Cu-W	Cu	21,97	-	-
		W	9,63	-	-
Kumar, P., M., dkk, (2018)	Cu- CrB ₄	Cu	44	-	-
		CrB ₄	44	-	-
		Cu	<74	-	-
Xiao, Yelong, dkk., (2018)	Cu-Fe- Graphite	Fe	<74	-	-
		Graphite	150-600	-	-
		MoS ₂	<6,5	-	-
		ZrO ₂	100-250	-	-
		FeCr	<74	-	-
Nalin, S., dkk (2018)	Cu-SiC	Lain-lain	-	-	-
		Cu	45	-	-
		SiC	45	-	-
		Cu	-	-	-
(Xu, E., dkk, 2019)	Cu- Graphite Cluster	Flake	74 ($\leq 0,074$ mm)	-	-
		Graphite	74 ($\leq 0,074$ mm)	-	-
		Fe	74 ($\leq 0,074$ mm)	-	-
		Graphite Cluster	122 (100 mesh)	-	-

4.2.1 Morfologi Dispersi Serbuk

Penelitian mengenai fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *v-cone mixer* dengan pencampuran serbuk selama 2-4 jam telah diteliti oleh Xu, L., dkk, pada tahun 2014. Dalam penelitian tersebut, menggunakan elemen unsur Cu dengan ukuran 21,97 μm dan tungsten dengan ukuran 9,63 μm , dimana menggunakan variasi kandungan Cu sebesar 5%, 8%, dan 20 %. Setelah dilakukan proses pencampuran dan kompaksi selama 40 Mpa, dilanjutkan proses sintering dengan suhu 1200°C selama 3 jam dan proses karakterisasi SEM. Pada

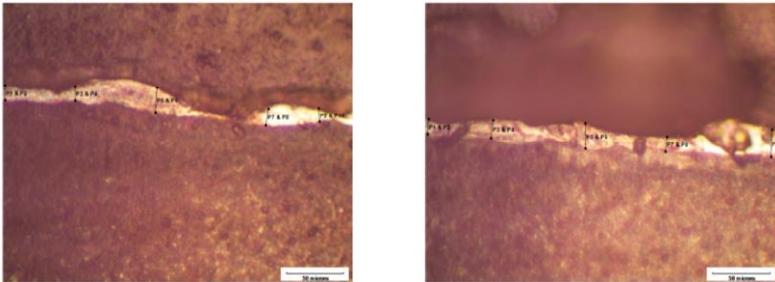
paduan Cu dan *Tungsten*, dilakukan karakterisasi untuk mengetahui morfologi dari paduan Cu-W melalui pengujian SEM dengan jenis JSM-5610LV, JEOL, Ltd., dari Kyoto Jepang dan melalui pengujian mikroskop optic dengan jenis Leica DM 4000M. Hasil pengujian menggunakan uji SEM dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Hasil pengujian morfologi mikrostruktur menggunakan SEM pada paduan Cu-W (Xu, L., dkk, 2014)

Pada hasil pengujian mikrostruktur menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.11 yang mana menunjukkan karakteristik distribusi serbuk antara *copper* dan *tungsten*. Pada Gambar 4.11 (a) dengan Cu 5%, serbuk *copper* dan *tungsten* terdistribusi lebih merata. Partikel *tungsten* terdispersi pada fasa Cu dengan area agregat pada Cu yang lebih kecil. Namun tidak terlihat adanya ikatan *interface*. Pada Gambar 4.11 (b) dengan Cu

8%, menunjukkan bahwa partikel *tungsten* terdistribusi lebih merata pada fasa Cu yang mana terdapat dalam area longitudinal. Dibandingkan dengan 5% Cu, distribusi mikrostruktur pada Cu-W sangat kurang seragam namun ikatan *interface* pada proses sintering lebih kompak dan rapi. Pada Gambar 4.11 (c) dengan Cu 20%, menunjukkan bahwa terdapat partikel *copper* yang lebih terkonsentrasi dalam suatu area dan partikel tungsten terdispersi secara merata pada fasa komponen Cu. Terdapat bentuk partikel serbuk yang terdegradasi dengan bentuk irregular. Ikatan antar muka pada paduan dan Cu likuid yang telah tersisipi hilang sehingga terjadi disipasi partikel tungsten pada pembasahan *copper*.

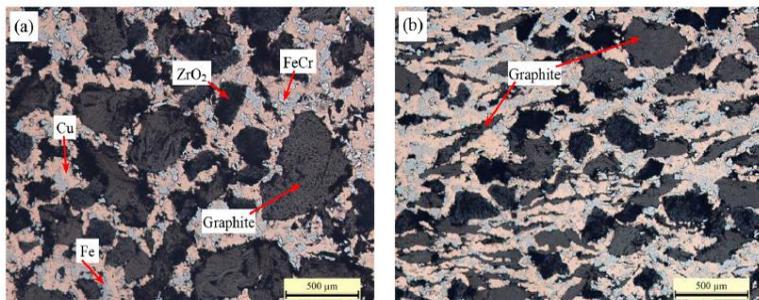


Gambar 4. 11 Hasil uji mikroskop optic pada deposisi lapisan OHSN menggunakan elektroda Cu-CrB₂ (Kumar, P, M., dkk, 2018)

Pada tahun 2018, Kumar, P, M., dkk juga melakukan fabrikasi komposit Cu-CrB₂ menggunakan mesin *v-cone mixer* selama 5 jam dengan ukuran serbuk dari keduanya adalah 44 μm . setelah proses pencampuran serbuk, dilanjutkan dengan kompaksi dengan beban 40 ton. Dari hasil pengujian mikroskop optic pada Gambar 4.11 pada material OHSN yang telah terdeposisi, Kumar, P, M., dkk menyatakan bahwa partikel dari komposit Cu-CrB₂ yang terdeposisi memiliki penampakan partikel yang seragam. Komposit Cu-CrB₂ mulai larut dalam material OHSN sebagai

material terdeposisi dengan partikel serbuk dengan ukuran yang kecil dan halus.

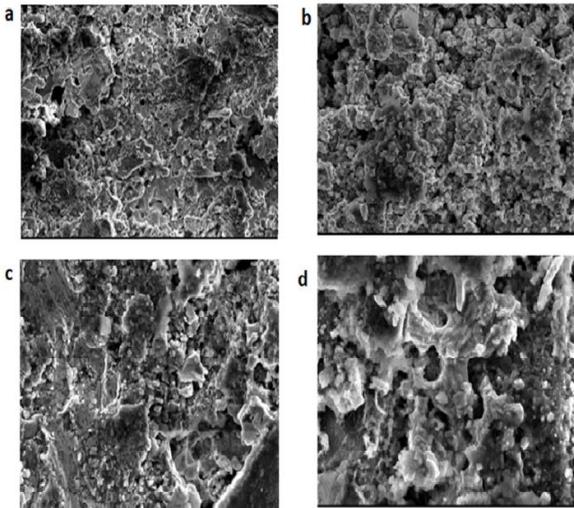
Selanjutnya pada penelitian mengenai fabrikasi Cu-Fe-Graphite yang dilakukan oleh Xiao, Yelong, dkk., pada tahun 2018 menggunakan mesin *v-cone mixer* dengan pencampuran serbuk selama 8 jam. Dari proses pencampuran ini dilanjutkan dengan kompaksi dengan tekanan 650 Mpa dan suhu sintering 970°C selama 180 menit. Dalam fabrikasi tersebut, memadukan elemen unsur 40-55 % Cu pada ukuran serbuk <74 μm , dengan elemen unsur 10-12 % Fe dengan ukuran <74 μm , 17-19 % Graphite dengan ukuran 150-600 μm , 2-3 % MoS₂ dengan ukuran <6,5 μm , 6-8 % ZrO₂ dengan ukuran 100-250 μm , 6-8 % FeCr dengan ukuran <74 μm , dan elemen unsur lain dengan proporsi 4-10%..



Gambar 4.12 Cu-MMC pada mikroskop optic (a) parallel pada permukaan gesekan (b) menjalar secara perpendicular pada permukaan gesekan (Xiao, Y, dkk., 2018)

Untuk mengetahui morfologi disperse serbuk pada komposit, maka dilakukan pengujian pengujian mikroskop optic menggunakan jenis Leica DM4500P, Germany dimana hasil mikroskop optic terlampir pada Gambar 4.12. Dalam Gambar 4.12 (a), Xiao, Yelong, dkk., menjelaskan bahwa terdapat konstituen unsur yang terdistribusi secara homogen dengan warna orange terang yang menunjukkan pada matriks Cu. Selain itu, terdapat kelarutan padat pada Fe dalam Cu, dan munculnya warna abu-putih

yang menunjukkan Fe. Pada hasil mikrostruktur tersebut, terlihat bahwasanya elemen unsur Cu, Fe dan FeCr memiliki bentuk yang sama dan lebih halus karena memiliki ukuran serbuk yang sama. Sedangkan pada elemen unsur graphite dan ZrO_2 memiliki bentuk cenderung beragam yaitu berbentuk flake dan elektrolitik. Elemen unsur ZrO_2 memiliki bentuk yang lebih kecil karena terjadi degradasi ukuran yang ditunjukkan dengan morfologi yang kasar dan gelap serta FeCr yang halus berwarna putih.

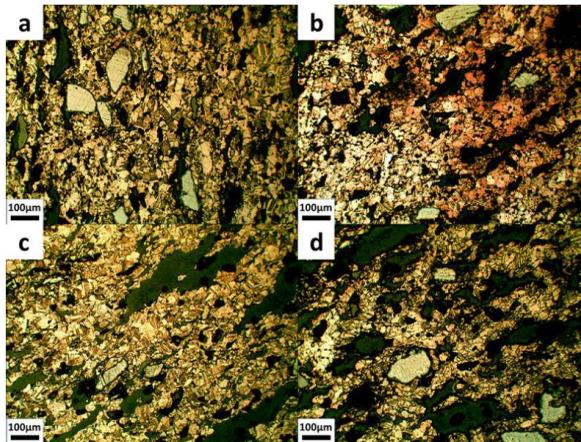


Gambar 4.13 Mikrostruktur hasil sintering pada *pallets* (a) Cu 100% (b) Cu 90%- SiC 10% (c) Cu 85%- SiC 15% (d) Cu 80%- SiC 20% dengan perbesaran 1000x (Nalin, S., dkk, 2018)

Selanjutnya, Nalin, S, dkk., (2018) telah melakukan fabrikasi Cu-SiC menggunakan mesin *v-cone mixer* dengan kecepatan putar 60 rpm selama 30 menit dan ukuran serbuk masing-masing sebesar $45\mu\text{m}$. Dalam karakterisasi menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) dengan komposisi yang berbeda pada Gambar 4.13, Nalin, S., dkk menjelaskan bahwa partikel serbuk silicon carbide terdistribusi secara sempurna pada

Cu matriks. Pada komposit tanpa penambahan SiC yang ditunjukkan dengan Gambar 4.13 (a) menunjukkan adanya bentuk partikel flake dan memanjang. Sedangkan dengan penambahan 10% SiC bentuk partikel serbuk semakin lebih kecil dengan tetap berbentuk flake. Sedangkan pada penambahan 15% SiC bentuk partikel serbuk cenderung memiliki bentuk flake yang lebih memanjang namun tetap lebih besar pada bentuk partikel serbuk tanpa penambahan SiC. Sedangkan pada penambahan SiC 20% memberikan hasil bentuk partikel serbuk yang lebih seragam. Pada Cu80%-SiC20% pada Gambar 4. 13 (d) dengan perbesaran 1000x didapatkan bahwa muncul sangat sedikit porositas antara partikel Cu-SiC. Bentuk serbuk dalam komposit cenderung memiliki bentuk irregular yang seragam dan memiliki bentuk yang lebih kecil dan membentuk spherical.

Kemudian studi mengenai fabrikasi Cu-graphite cluster menggunakan mesin *v-cone mixer* dengan lama pencampuran selama 3 jam dengan ukuran serbuk graphite cluster 122 μm dan Graphite flake sebesar 74 μm telah diteliti oleh Xu, E., dkk (2019). Dalam fabrikasi tersebut, terdapat variasi proporsi serbuk graphite cluster yang digunakan dalam komposit yaitu 2wt%, 3wt%, 4wt% dan 5wt%. Dari proses pencampuran yang telah dilakukan dilanjutkan proses kompaksi dengan tekanan 600 Mpa selama 1 menit dan dilanjutkan proses sintering dengan suhu 920°C. Dari komposit yang telah difabrikasi tersebut, selanjutnya dilakukan proses karakterisasi menggunakan mikroskop optic dengan merk MR5000. Hasil pengujian SEM terlampir dalam Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Hasil uji visual mikrografi komposit Cu/GC dengan variasi kandungan grafit (a) 2wt% (b) 3wt% (c) 4wt% (d) 5wt% (Xu, E., dkk, 2019)

Dari hasil pengamatan menggunakan mikroskop *optic* pada specimen uji yang ditunjukkan pada Gambar 4.14, didapatkan bahwa tidak terjadi segregasi dalam campuran serbuk yang telah melewati proses sintering dengan fasa yang terbentuk adalah *supersaturated solid solution* fasa paduan α -Cu-Sn. Selain itu, ukuran batas butir pada sampel sekitar 20-25µm dan tidak ada perbedaan antar specimen uji yang mana telah dilakukan variasi pada kandungan graphite yang telah dicampurkan. Ukuran graphite cluster sesuai dengan penyusunnya yaitu flaky graphite, serbuk Fe, dan resin. Graphite cluster pun terdistribusi dengan seragam pada matriks begitu juga dengan partikel serbuk krom yang terdispersi dalam matriks sebagai fasa *hardening* dan penguat dari sifat fisik GC/Cu komposit. Dalam Gambar 4. 14 tersebut, graphite yang mana berfungsi sebagai *reinforce* atau penguat dalam jaringan komposit, memiliki bentuk yang sama namun lebih kecil dan tersebar serta terdispersi secara merata dalam matriks Cu.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Xu, L., dkk (2014), Kumar, P, M., dkk, 2018), Xiao, Yelong, dkk., 2018), Nalin, S.,

dkk (2018), dan (Xu, E., dkk, 2019) memberikan analisa mengenai fenomena dari hasil pencampuran serbuk yang dilakukan berdasarkan pada hasil morfologi komposit. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa partikel serbuk dengan rentang ukuran serbuk yang cukup dekat maupun jauh antara matriks dengan *reinforce* mengalami hasil bentuk yang terdegradasi secara teratur dengan bentuk yang tetap irregular karena perbedaan dalam bentuk elemen unsur masing-masing komposit dengan mempengaruhi juga pada proporsi serbuk yang akan digunakan mengenai degradasi pada saat pencampuran serbuk. Hasil dari proses pencampuran serbuk dan karakteristik serbuk yang dapat digunakan dalam *v-cone mixer* terlampir dalam Tabel 4.11 dan 4.12. Dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 menunjukkan adanya limitasi dari penggunaan serbuk untuk pencampuran serbuk dalam *v-cone mixer* dan perubahan bentuk partikel dalam komposit sebagai respon dari penggunaan mesin pencampuran serbuk jenis V-cone.

Sebagaimana hasil penelitian pada komposit Cu-CrB₂ yang dilakukan oleh Kumar, P, M., dkk, (2018) dengan rentang ukuran serbuk 44 µm dan komposit Cu-SiC pada penelitian yang dilakukan oleh Nalin, S., dkk (2018) dengan rentang ukuran serbuk yaitu 45 µm. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nalin, S., dkk (2018) memiliki penampakan morfologi yang berbentuk irregular flake dengan sedikit adanya bentuk sphere seragam dengan bentuk yang lebih kecil. Sedangkan pada komposit Cu-CrB₂ yang diteliti oleh Kumar, P, M., dkk, (2018) memiliki bentuk partikel serbuk yang halus dengan terdispersi secara merata. Hal ini bisa terjadi karena adanya pengaruh dari kecepatan putar dan waktu yang digunakan dalam proses pencampuran. Dimana pada komposit Cu-SiC menggunakan waktu pencampuran yang lebih sedikit yaitu 30 menit dibandingkan dengan fabrikasi komposit Cu-CrB₂ yang menggunakan waktu pencampuran selama 5 jam.

Tabel 4. 11 Perubahan bentuk pada partikel serbuk pada morfologi komposit Komposit logam dengan matriks copper komposit menggunakan fabrikasi mesin *v-cone mixer*

Sumber	Material Komposit	Ukuran Serbuk (μm)	Mixing Time (menit)	RPM	Distribusi Serbuk	Perubahan Bentuk
Xu, L., dkk (2014)	Cu-W	9,63-21,97	120-240	-	Homogen	Partikel serbuk bentuk irregular terdistribusi merata dan lebih kecil tersebar secara merata
Kumar, P, M., dkk, (2018)	Cu- CrB ₄	44	300	-	Homogen	Partikel serbuk berbentuk halus dan kecil dan terdispersi merata
Xiao, Y., dkk., (2018)	Cu-Fe-Graphite	74-150	480	-	Homogen	Irregular flake melebar pada partikel serbuk yang memiliki ukuran serbuk yang besar dan seragam
Nalin, S., dkk (2018)	Cu-SiC	45	30	60	Homogen	Irregular flake memanjang dengan sedikit ada bentuk sphere seragam dengan bentuk yang lebih kecil
(Xu, E., dkk, (2019)	Cu-Graphite Cluster	74-122	180	-	Homogen	Partikel serbuk berubah menjadi lebih irregular namun tetap dalam bentuk flake dengan ukuran yang lebih kecil tersebar merata

Adanya pencampuran serbuk yang digunakan menggunakan mesin *v-cone mixer* memberikan disperse serbuk dengan bantuan dinding dalam mesin pencampuran dan dimensi mesin yang asimetri. Sama dengan mesin *double cone mixer*, adanya sudut dari desain mesin pencampuran serbuk memberikan gaya sentrifugal yang dikombinasikan dengan kecepatan pencampuran serbuk dan waktu pencampuran serbuk yang digunakan. Dalam partikel

serbuk yang memiliki ukuran serbuk dalam rentang 74-600 μm pada penelitian oleh Xiao, Yelong, dkk., (2018) mengenai fabrikasi Cu-Fe-Graphite, pada elemen unsur graphite yang memiliki ukuran serbuk 150-600 μm memiliki hasil pencampuran serbuk yang masih memiliki bentuk flake irregular yang cukup besar dibandingkan dengan elemen unsur yang lain. hal tersebut menunjukkan bahwa degradasi dalam pencampuran serbuk menggunakan *v-cone mixer* tidak terlalu ekstrim hingga menyebabkan perubahan bentuk yang sangat jauh signifikan.

Tabel 4. 12 Limitasi karakteristik serbuk terhadap disperse serbuk dalam fabrikasi Komposit logam dengan matriks copper komposit menggunakan mesin *v-cone*

<i>V-cone mixer</i>					Jenis Mixer	
Cu-SiC	Cu-Fe-Graphite	Cu-CrB ₂	Cu-W	Cu-CG	Komposit	
45	74-150	44	9,63-21,97	74-122	Rentang Ukuran Serbuk (μm)	
2	7	2	2	3	Variasi Serbuk	
-	-	-	-	Flake & Sphere	Bentuk Serbuk	
3,96-8,9	-	-	-	-	Densitas Serbuk	
-	60	-	-	-	RPM	
30	480	300	240	180	Waktu Pencampura	
√	√	√	√	√	Homogenitas	

Dari hasil pendataan parameter serbuk dan parameter proses dari *v-cone mixer*, dapat diketahui bahwa partikel serbuk dengan rentang ukuran serbuk yaitu **21,97-122 μm** dan rentang perbedaan

ukuran antar serbuk yang digunakan $\leq 1:2$ dengan proporsi serbuk *reinforce* 2-20% dan variasi 2 serbuk memiliki waktu pencampuran selama 2-5 jam dengan hasil pencampuran serbuk dengan bentuk yang irregular dan terdegradasi namun tetap memberikan distribusi serbuk yang merata serta tidak adanya segregasi dan aglomerasi.

4.2.2 Densitas dan Porositas

Pengujian mengenai sifat fisik berupa densitas dan porositas selalu dikaitkan dengan validasi dari morfologi disperse serbuk serta perubahan bentuk partikel. Homogenitas dari sebuah komposit memberikan dampak yang signifikan untuk pengoptimalan dari densitas dan porositas. Untuk mendapatkan analisis keterkaitan antara homogenitas serbuk dan perubahan bentuk partikelnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 yang mana selanjutnya menghubungkan analisa homogenitas dan perubahan bentuk partikel dengan nilai densitas dan porositas yang terlampir dalam Tabel 4.14 dan Tabel 4.15. Pada pembahasan mengenai hasil proses pencampuran serbuk, dilakukan pemaparan data mengenai hasil optimal dari variabel yang digunakan oleh jurnal dengan tetap memperhatikan segi variabel dan respon dari review kali ini yang mana terlampir dalam Tabel 4.13. Pada Tabel 4.13 ini juga memaparkan mengenai parameter proses fabrikasi hingga menjadi komposit logam dengan matriks *copper* dengan nilai densitas maupun porositas yang optimal sehingga dapat membantu dalam menganalisis peningkatan densitas maupun penurunan porositas. Dari Tabel 4.13, maka selanjutnya diturunkan dengan pemaparan perbandingan nilai densitas dan porositas pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15

Tabel 4. 13 Parameter proses fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin pencampuran *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Proporsi Serbuk	Nilai Porositas	Nilai Densitas
Xu, L., dkk (2014)	Copper-Tungsten	-5 %, 8%, 20% -2-4 jam -40 MPa -1200°C, 3 jam	1.23 (20%)	-
Kumar, P, M., dkk, (2018)	Copper-Chromium di Boride	-5 jam 14 ton	-	-
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	Copper-Iron-Graphite	-40-55 % Cu 10-12 % Fe, 17-19 % Graphite, 2-3 % MoS ₂ , 6-8 % ZrO ₂ , 6-8 % FeCr, elemen unsur lain 4-10% -8 jam -650 MPa -970°C, 180 menit	4,8	4,8 g/cm ³
Nalin, Somania, (2018)	Copper-Silica Carbide	-0%, 10%, 15%, dan 20% SiC -60 rpm, 30 menit -250 Mpa, 30 menit -950 °C, 60 menit -2wt%, 3wt%, 4wt% dan 5wt%	-	7,5 (20%)
Xu, E., dkk (2019)	Copper-Graphite Cluster	Graphite Cluster -3 jam -600 MPa selama 1 menit -920°C	-	7,955 (2wt%)

Xu, L., dkk (2014) melakukan fabrikasi komposit Cu-W menggunakan *v-cone mixer* selama 2-4 jam dengan ukuran serbuk 9.63-21.97 μm . Setelah dilakukan proses pencampuran dan kompaksi selama 40 Mpa, dilanjutkan proses sintering dengan suhu 1200°C selama 3 jam. Dari pencampuran serbuk yang telah dilakukan terdapat distribusi yang seragam dengan perubahan ukuran partikel penyusun dalam komposit lebih kecil serta memipih dan berbentuk irregular atau tidak beraturan. Setelah dilakukan fabrikasi terdapat pengujian porositas dengan

mengaplikasikan hukum Archimedes dan melakukan perhitungan berat. Nilai porositas hasil uji terlampir dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Nilai porositas pada Cu komposit metal matriks dengan menggunakan *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Ukuran Serbuk (μm)	Proporsi Serbuk Reinforce (%)	Dispersi Serbuk	Porositas	Penurunan
Xu, L., dkk (2014)	Cu-W	9,63-21,97	5%	Aglomerasi	3,40	0%
		9,63-21,97	8%	Aglomerasi	2,57	-24%
		9,63-21,97	20%	Homogen	1,23	-63,8 %

Dari pengujian porositas yang telah dilakukan oleh Xu, L., dkk (2014), menunjukkan bahwa terdapat penurunan porositas seiring dengan homogenya distribusi serbuk dalam komposit. Dimana penurunan terjadi pada proporsi serbuk 8% dengan penurunan sebesar 24% dan puncaknya yaitu pada proporsi serbuk *reinforce* dengan proporsi serbuk sebesar 63.8%. Adanya penurunan nilai porositas menunjukkan bahwasanya dengan terdistribusinya serbuk yang seragam memberikan ikatan yang kuat dengan meningkatnya wettability antara matriks dengan *reinforce*. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa **nilai optimum penurunan porositas** dalam komposit Komposit logam dengan matriks copper dengan fabrikasi menggunakan *v-cone mixer* yaitu sebesar **24%-63,8% dengan proporsi serbuk 8% dan 20%** pada fabrikasi komposit Cu-W dengan ukuran serbuk 9,63 μm -21,97 μm .

Pengujian porositas memiliki keterkaitan dengan pengujian densitas dimana antara kedua pengujian menggunakan perhitungan mengikuti hukum Archimedes dengan tahapan standar terlampir dalam ASTM D792. Setelah dilakukan fabrikasi mengenai komposit logam dengan matriks *copper* dengan telah melalui uji

porositas selanjutnya dilakukan pemaparan dari hasil uji densitas yang mana terlampir dalam Tabel 4.15. Ketika suatu pencampuran serbuk telah memberikan distribusi yang seragam, maka akan memberikan hasil yang maksimal pada nilai densitas komposit. Namun dalam hal pembentukan ikatan, perlu adanya proses kompaksi maupun sintering. Parameter proses dalam kompaksi dan sintering yang digunakan dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* terdapat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 15 Nilai densitas pada komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Ukuran Serbuk (μm)	Proporsi Serbuk Reinforce (%)	Dispersi Serbuk	Densitas (g/cm ³)	Peningkatan
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	<i>Copper-Iron-Graphite</i>	-	45%	Homogen	4,48	0%
		74-150			4,8	7%
Nalin, S., dkk (2018)	<i>Copper-Silica Carbide</i>	45	10	Homogen	8,3	0%
		45	15		7,8	-6%
		45	20		7,5	-9,6%
Xu, E., dkk. (2019)	<i>Copper-Graphite Cluster</i>	74-122	2	Homogen	7,955	0%
		74-122	3		7,804	-2%
		74-122	4		7,542	-5 %
		74-122	5		7,263	-8,7 %

Sebagaimana yang telah dilakukan oleh Xiao, Y, dkk. pada tahun 2018 mengenai fabrikasi *Copper-Iron-Graphite* menggunakan mesin pencampuran serbuk jenis V-cone dengan ukuran serbuk 74-150μm dan dilanjutkan dengan kompaksi dengan tekanan sebesar 650 Mpa dan temperatur sintering yaitu 970°C selama 180 menit menunjukkan adanya peningkatan nilai densitas sebesar 7% dengan proporsi serbuk *reinforce* 45%. Peningkatan ini terjadi karena distribusi yang merata pada komposit terhadap elemen unsur yang digunakan memberikan penguatan pada saat komposit tersebut mengalami deformasi

secara lateral dengan elemen *reinforce* maupun lubrikan yang digunakan telah memberikan hasil ikatan yang kuat dan seragam sehingga celah atau porositas dapat dikurangi. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Nalin, S., dkk (2018) dalam fabrikasi komposit *Copper-Silica Carbide* dengan hasil pencampuran serbuk yang homogen dengan penggunaan ukuran serbuk yang sama yaitu 45 μm , menunjukkan adanya penurunan hasil nilai densitas. Dari segi parameter proses kompaksi dan sintering menggunakan nilai parameter yang sama yaitu tekana kompaksi 250 Mpa selama 30 menit dan temperatur sintering 950 $^{\circ}\text{C}$ selama 60 menit. Nalin, S., dkk (2018) dalam jurnalnya, menyatakan bahwa hal ini terjadi karena adanya penurunan dari kuantitas proporsi serbuk dengan adanya penambahan pada *reinforce* dimana densitas Cu lebih besar daripada SiC sehingga meskipun distribusi dari serbuk telah seragam namun memiliki nilai densitas dengan trend semakin menurun.

Penurunan juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Xu, E., dkk, (2019) pada fabrikasi komposit *Copper-Graphite Cluster* dengan variasi proporsi serbuk *reinforce* pada ukuran serbuk yaitu 74-122 μm , menunjukkan adanya penurunan dari nilai densitas yang telah diuji meskipun memiliki hasil campuran serbuk yang homogen. Dari segi parameter proses pada kompaksi dan sintering memiliki nilai yang sama yaitu dengan tekanan kompaksi sebesar 600 Mpa selama 1 menit dan temperatur sintering 920 $^{\circ}\text{C}$. Penurunan ini dapat terjadi karena dari segi perubahan yang signifikan yaitu terdegradasi semakin lebih kecil dan memiliki bentuk yang irregular masih terdapat celah yang dapat diisi oleh *void*. Selain itu, hal tersebut dapat dipicu karena kurang cepatnya proses pembasahan pada saat proses sintering sehingga struktur dari campuran dan komposit menghasilkan nilai densitas yang lebih rendah dengan semakin meningkatnya proporsi serbuk yang digunakan. Dari hasil yang telah didapatkan, dapat diketahui bahwa **nilai densitas meningkat sebesar 7% dengan proporsi**

serbuk *reinforce* sebesar 0-45% dalam fabrikasi komposit Copper-Iron-Graphite dengan ukuran serbuk komposit sebesar 74-150 μm .

4.2.3 Nilai Kekerasan (*Hardness*)

Nilai kekerasan memiliki keterkaitan dengan nilai densitas dan nilai porositas yang mana berhubungan dengan ikatan yang membentuk penguatan dari komposit ketika dilakukan pembebanan secara berulang. Tentu saja hal ini berkaitan juga dengan disperse serbuk dari hasil campuran dengan dibantu oleh proses kompaksi dan proses sintering dalam pembentukan ikatan. Selain itu, bentuk partikel yang tersusun dari hasil proses pencampuran serbuk diyakini memiliki pengaruh juga terhadap nilai kekerasan, densitas dan porositas. Sehingga dalam pembahasan nilai kekerasan, dilakukan analisa mengenai hasil pencampuran serbuk dengan perubahan bentuk partikel yang terlampir dalam Tabel 4.11 dengan mengaitkan terhadap peningkatan nilai kekerasan dari komposit yang telah difabrikasi. Untuk parameter proses kompaksi dan sintering telah terlampir dalam Tabel 4.16 yang digunakan sebagai parameter proses pembentukan dalam ikatan komposit.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Xiao, Y, dkk. pada tahun 2018 mengenai fabrikasi *Copper-Iron-Graphite* menggunakan mesin pencampuran serbuk jenis V-cone dengan ukuran serbuk 74-150 μm dengan proporsi serbuk *reinforce* 45% menunjukkan adanya peningkatan dari nilai standar kekerasan aplikasi pada komposit *Copper-Iron-Graphite* sebagai material sliding pantograph. Peningkatan ini dapat mencapai 50% dari nilai kriteria kekerasan. Hal ini dapat terjadi karena adanya disperse serbuk yang seragam sehingga konstituen pada material logam sebagai penyusun *Copper-Iron-Graphite* memiliki ikatan yang kuat dan memiliki kestabilan terhadap temperature. Nilai kekerasan ini juga berhubungan dengan meningkatkan nilai densitas dan menurunnya nilai porositas. Keterkaitan tersebut berkaitan dengan proses pembentukan ikatan dan adhesi antar

partikel serbuk. Nilai kekerasan dari komposit logam dengan matriks *copper* telah terlampir dalam Tabel 4.17.

Tabel 4. 16 Parameter proses dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* pada penggunaan mesin *v-cone mixer*

Sumber	Komposit	Nilai Kekerasan
Xiao, Yelong, dkk. (2018)	Copper-Iron-Graphite	15 HBW
Nalin, Somania, (2018)	Copper-Silica Carbide	88 HV (20%)
Xu, E., dkk (2019)	Copper-Graphite Cluster	90.27 HRB (2wt%)

Sedangkan pada penelitian Nalin, S., dkk (2018) pada fabrikasi komposit *Copper-Silica Carbide* dengan ukuran serbuk sebesar 45 μm memberikan peningkatan pada proporsi serbuk 15% dengan peningkatan sebesar 11,42% dan pada proporsi serbuk 20% menunjukkan adanya peningkatan sebesar 25,7%. Pengujian kekerasan menggunakan standar uji Hardness Vicker yang mana menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan tersebut didominasi dengan distribusi serbuk yang seragam pada komposit dan penambahan proporsi serbuk SiC yang digunakan yang mana memiliki kekhasan yang bersifat keras. Adanya disperse penguatan akan memberikan efek peningkatan nilai kekerasan pada material komposit begitu juga dengan adanya homogenitas dalam mikrostruktur material. Peningkatan nilai kekuatan pada komposit, terjadi karena adanya ikatan *interface* yang kuat antara Cu matriks dengan *metal reinforce* yang akan memberikan transfer dan distribusi beban secara seraga dari matriks ke *reinforce*. Sehingga akan adanya peningkatan keuletan yang terhubung dengan tingginya regangan plastis terhadap kapasitas beban.

Tabel 4. 17 Nilai kekerasan pada Cu komposit metal matriks dengan menggunakan *v-cone mixer*

Komposit	Dispersi Serbuk	Ukuran Serbuk	Proporsi Serbuk Reinforcece (%)	Nilai Kekerasan	Peningkatan	Sumber
<i>Copper-Iron-Graphite</i>	Homogen	-		10 HBW	0%	Xiao, Yelong, dkk. (2018)
		74-150	45%	15 HBW	50%	
<i>Copper-Silica Carbide</i>	Homogen	45	10	70 HV	0%	Nalin, S., dkk (2018)
		45	15	78 HV	11,42%	
		45	20	88 HV	25,7 %	
		74-122	2	90,27 HRB	0%	
<i>Copper-Graphite Cluster</i>	Homogen	74-122	3	81,75 HRB	-9,4%	Xu, E., dkk, (2019)
		74-122	4	77,16 HRB	-14,5 %	
		74-122	5	71,12 HRB	-21,21 %	

Namun penurunan nilai kekerasan terjadi pada penelitian Xu, E., dkk, (2019) pada fabrikasi komposit *Copper-Graphite Cluster* dengan ukuran serbuk sebesar 74-122 μm pada proporsi serbuk 3wt%, 4wt%, dan 5wt% masing-masing sebesar 9,4%, 14,5% dan 21,12%. Pengujian kekerasan ini didasarkan pada uji kekerasan Hardness Brinnel dengan standar ASTM E-1842. Dijelaskan dalam jurnalnya, Xu, E., dkk, (2019) menyatakan bahwa perubahan bentuk dari graphite dengan ukuran yang lebih kecil menyebabkan komposit tidak tahan ketika terjadi pemberian beban. adanya penurunan nilai tersebut terjadi pada peningkatan proporsi graphite cluster yang digunakan, dimana adanya perubahan dalam bentuk elemen unsur graphite cluster yang cenderung lebih kecil menjadikan kurangnya penguatan saat pembebanan dalam pengujian mekanik. Adanya bentuk elemen unsur graphite cluster yang cenderung lebih besar dan berbentuk flake memanjang yang akan memberikan hasil penguatan beban yang lebih baik meskipun serbuk graphite yang digunakan telah tersebar dan terdispersi secara seragam. Xu, E., dkk, (2019) juga

menjelaskan bahwasanya ketika graphite memiliki bentuk flake maka akan memberikan penguatan yang lebih dalam pembebanan pada saat uji kekerasan.

Ditinjau dari segi ukuran serbuk yang digunakan, pada fabrikasi Copper-Iron-Graphite dengan ukuran serbuk sebesar 74-150 μ m memiliki nilai yang lebih besar peningkatannya dibandingkan dengan peningkatan nilai kekerasan pada komposit Copper-Silica Carbide dengan ukuran 45 μ m. Sedangkan ditinjau dari segi perubahan morfologi partikel serbuk, pada komposit Copper-Iron-Graphite memiliki bentuk yang irregular dengan bentuk flake dan memiliki bentuk yang lebih kecil. Serupa dengan komposit Copper-Iron-Graphite, komposit Copper-Silica Carbide (Cu-SiC) memiliki bentuk partikel yang lebih kecil dan irregular flake namun terdapat sedikit bentuk sphere yang tersebar secara merata. Hal ini menunjukkan bahwasanya, penggunaan partikel serbuk yang lebih kecil dengan bentuk yang sama khususnya bentuk flake dari hasil pencampuran serbuk, memberikan penguatan ikatan antar partikel yang maksimal jika dibandingkan dengan komposit yang memiliki bentuk partikel yang berbeda. distribusi ukuran maupun bentuk partikel yang merata dapat memberikan penguatan pada ikatan fisik yaitu mechanical interlocking pada komposit, yang mana nantinya ikatan fisik tersebut dapat menjadi ikatan kimia saat terjadinya difusi antar matriks dengan *reinforce*. Karena ketika hanya satu jenis ikatan saja yang digunakan dalam fabrikasi komposit, kurang memberikan hasil penguatan yang maksimal terlebih dengan pemberian beban secara berkala.

Dari pemaparan yang telah dijelaskan, didapatkan kesimpulan bahwa dengan penggunaan *v-cone mixer* yang memberikan distribusi serbuk yang merata, memiliki peningkatan nilai kekerasan yaitu 11%-50% dengan proporsi serbuk 15%-45% *reinforce* dalam fabrikasi komposit Copper-Iron-Graphite dan Copper-Silica Carbide dengan ukuran serbuk masing-masing komposit sebesar 74-150 μ m dan 45 μ m. Namun untuk nilai

kekerasan sendiri memiliki nilai yang masuk dalam range sesuai aplikasi dalam jurnal yang digunakan.

4.2.4 Analisa Jurnal

Penelitian yang dilakukan oleh Xu, L., dkk (2014), Xiao, Yelong, dkk., (2018), Nalin, S., dkk (2018), dan Kumar, P, M., dkk (2018) menunjukkan adanya perubahan bentuk partikel yang cenderung lebih kecil dan irregular membentuk bentuk flake. Namun meskipun terjadi perubahan bentuk yang lebih mengecil tetap memberikan struktur yang homogen dan terdispersi dalam fasa matriks Cu. Homogenitas yang terjadi dalam komposit memberikan adanya peningkatan nilai dari sifat mekanik pada komposit Komposit logam dengan matriks copper . Namun dalam jurnal fabrikasi komposit Cu-SiC oleh Nalin, S., dkk (2018) menunjuk adanya penurunan nilai densitas dikarenakan adanya penurunan dari proporsi Cu dimana Cu memiliki nilai densitas yang lebih tinggi daripada Cu. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Xu, E., dkk, (2019) dimana terjadi penurunan nilai kekerasan, memberikan penjelasan bahwa terjadinya perubahan bentuk partikel graphite memberikan penurunan dalam fungsi penguatan pada saat pembebanan. Xu, E., dkk, (2019) menjelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa dengan tetap mempertahankan bentuk flake yang lebih memanjang akan memberikan penguatan pada matriks.

Dalam pembahasan dari beberapa jurnal, didapatkan kekurangan kelengkapan data mulai dari karakteristik serbuk yang digunakan dan pengujian pada partikel serbuk sebelum dilakukan fabrikasi yang mana dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Kelengkapan sajian data jurnal pada fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan mesin *v-cone mixer*

Referensi	Penjelasan	Proporsi Serbuk	Ukuran Serbuk	Bentuk Partikel Serbuk	Densitas Serbuk
Xu, L., dkk (2014)	√	√	√	x	x
Kumar, P, M., dkk (2018)	x	x	√	x	x
Xiao, Y., dkk (2018)	√	√	√	x	x
Nalin, S., dkk (2018)	√	√	√	√	√
(Xu, E., dkk, 2019)	√	√	√	x	x

4.3 Perbandingan Mesin Pencampuran Serbuk

Dalam penggunaan mesin pencampuran serbuk jenis *double cone mixer* dengan *v-cone mixer*, memiliki pengaruh terhadap morfologi disperse serbuk pada komposit logam dengan matriks *copper* yang telah difabrikasi. Morfologi disperse tersebut mempengaruhi dari segi ukuran dan bentuk dari partikel serbuk yang dicampurkan dimana dapat memberikan efek pada sifat fisik yaitu porositas dan densitas serta sifa mekanik yaitu kekerasan. Antara kedua mesin pencampuran serbuk, memiliki kekhasan masing-masing dalam memberikan hasil pencampuran serbuk, yang mana terlampir dalam Tabel 4.19 berikut ini.

Tabel 4. 19 Perbandingan morfologi dari penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* untuk fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper*

Ukuran serbuk (µm)	Double Cone		V-cone	
	Dispersi Serbuk	Perubahan Bentuk	Dispersi Serbuk	Perubahan Bentuk
1-50	Homogen	Partikel berbentuk flake lebih kecil dan halus serta iregular	Homogen	Partikel berbentuk <i>sphere</i> dan <i>flake</i> iregular serta lebih kecil
50-100	Homogen	Partikel memipih dengan pipihan yang lebih halus dan kecil	Homogen	Partikel berbentuk <i>flake</i> melebar dan iregular
>100	Aglomerasi	Partikel iregular yang menjalar dengan endapan.	-	

Tabel 4. 20 Perbandingan sifat fisik dan mekanik pada komposit logam dengan matriks *copper*

Sifat Fisik	<i>Double cone mixer</i>		<i>V-cone mixer</i>	
Nilai Porositas	-(35%-57%)	1,22	-(24%-63,8%)	1,23
Nilai Densitas	5,66%-13%	99,7%	7%	4,8

Dari hasil yang didapatkan pada Tabel 4.20 menunjukkan bahwa penggunaan mesin *double cone mixer* dalam fabrikasi komposit logam dengan matriks *copper* memiliki perubahan bentuk yang lebih halus dan kecil serta bentuk partikel yang seragam yaitu flake iregular. Sedangkan penggunaan mesin *v-cone mixer* memiliki bentuk yang beragam yaitu flake dan sphere dengan ukuran partikel yang melebar jika dibandingkan dengan penggunaan mesin *double cone mixer*. Perubahan bentuk ini berpengaruh terhadap sifat mekanik pada material komposit logam

dengan matriks *copper* yang telah difabrikasi yang mana terlampir dalam Tabel 4.21. Penggunaan mesin *double cone mixer* memiliki nilai porositas yang lebih rendah yaitu 1,22 dengan penurunan hingga 57% dibandingkan *v-cone mixer* dengan nilai porositas 1,23 dengan penurunan mencapai 63,8%. Dari segi densitas dan nilai kekerasan, penggunaan *double cone mixer* memiliki nilai yang jauh lebih unggul yaitu 99,7% pada nilai densitas dan 48 RHF pada nilai kekerasan komposit. Peningkatan nilai densitas dan kekerasan serta penurunan nilai porositas tersebut dipengaruhi oleh hasil pencampuran serbuk yang cenderung memiliki bentuk yang kecil dan halus. Dimana dengan bentuk tersebut dapat meningkatkan kontak antar partikel serbuk sehingga terjadi penguatan gaya intermolekular (Landilon, V., dkk, 2008). Adanya pengurangan ukuran tersebut juga memberikan peningkatan ikatan interfacial atau ikatan antar muka dari matriks dengan *reinforce* sehingga terjadi distribusi beban yang merata dari matriks dengan *reinforce* (Uddin, S. M., dkk, 2010).

Pengikisan atau degradasi ukuran partikel tersebut dipengaruhi dengan adanya gaya sentrifugal dan gerak rotasi secara aksial dari campuran serbuk menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer*. Pada *double cone mixer* sendiri terjadi pengikisan serbuk yang cenderung halus. Hal ini terjadi karena adanya gaya gesek dan sudut dari mesin pencampuran serbuk (Wagih, A & Fathy, A, 2017). Adanya distribusi serbuk ini juga dipengaruhi dengan aliran yang terbentuk dari mesin pencampuran. Pada mesin pencampuran serbuk jenis *double cone mixer* memiliki aliran yang kontinyu dan konstan secara aksial dibantu dengan sudut dari vessel sedangkan pada *v-cone mixer* memiliki aliran yang intermiten atau dinamakan penggabungan-pemisahan yang mana aliran ini didukung oleh sudut dan bentuk geometri vessel yang berbentuk V. Aliran serbuk yang kontinyu dapat memberikan aliran yang seragam sehingga memberikan pencampuran serbuk yang lebih optimal (Moakher, M., dkk, 2000). Aliran aktif menyebabkan terjadinya distribusi serbuk yang beragam dan dapat menghindari area deadzone (Volpato, dkk, 2017).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pembahasan mengenai pengaruh penggunaan mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* pada fabrikasi komposit Komposit logam dengan matriks copper adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil morfologi disperse serbuk pada komposit logam dengan matriks *copper* menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer* memberikan hasil yang homogen dengan bentuk yang irregular dan lebih kecil, dengan kriteria yaitu :
 - a. *Double cone mixer* : ukuran serbuk 20,6-125 μ m, rentang perbedaan antar ukuran serbuk $\leq 1: 2$, proporsi serbuk *reinforce* 10-40%, variasi 2 serbuk, proses pencampuran serbuk selama 15-45 menit
 - b. *V-cone mixer* : ukuran serbuk 21,97-122 μ m, rentang perbedaan antar ukuran serbuk $\leq 1: 2$, proporsi serbuk 2-20%, variasi 2 serbuk, proses pencampuran serbuk selama 2-5 jam
2. Terjadi peningkatan nilai densitas dan penurunan nilai porositas pada komposit hasil fabrikasi menggunakan *double cone mixer* dan *v-cone mixer*, yaitu :
 - a. Mesin *double cone mixer*
 - I. Nilai densitas meningkat sebesar 5,66%-13% dengan proporsi serbuk *reinforce* sebesar 12%-20%.
 - II. Nilai porositas menurun sebesar 35%-57% dengan proporsi serbuk sebesar 20%
 - b. Mesin *v-cone mixer*
 - I. Nilai densitas meningkat sebesar 7% dengan proporsi serbuk *reinforce* sebesar 0-45%
 - II. Nilai porositas mengalami penurunan sebesar 24%-63,8% dengan proporsi serbuk 8% dan 20%

- a. Penggunaan *double cone mixer* efektif dalam pencampuran serbuk untuk fabrikasi dengan perubahan partikel serbuk yang seragam yaitu irregular flake dengan ukuran yang kecil dan halus yang mana memberikan nilai optimum densitas sebesar 99.7% dengan nilai porositas sebesar 1,22

5.2 Saran

Adapun saran dari dan bagi penulisan review kali ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memperbanyak tinjauan maupun jurnal analisa mengenai dimensi mesin dan sudut yang digunakan dalam mesin *double cone mixer* dan *v-cone mixer* untuk mendapatkan gaya sentrifugal dan segregasi campuran yang berguna dalam homogenitas campuran serbuk.
2. Dapat memperbanyak tinjauan maupun jurnal analisa mengenai perangkat atau *assesment* yang cocok untuk mendeteksi kestabilan campuran serbuk ketika telah homogen pada saat proses pencampuran serbuk misalnya meninjau dari segi ketercapaian dalam nilai efusifitas termal tiap elemen penyusun dengan perangkat C-Therm untuk fabrikasi komposit Komposit logam dengan matriks *copper* yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugraha, G. V. & Widyastuti, 2015. **Analisa Karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Komposit Cu-Sn terhadap Frangibilitas Peluru Frangible Cu-Sn**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASM Metal Handbook, 1992. **ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection : Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International.
- Barbosa-Canovas, G.V., Malave-Lopez, J., dan Peleg, M. 1985. "Segregation In Food Powders". **Biotechnology Programm**. 1 : 140–146.
- Barbosa-Canovas, G.V., Malave-Lopez, J., dan Peleg, M. 1987. "Density And Compressibility Of Selected Food Powders Mixtures". **Food Process Engineering**. 10 : 1–19.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, Yan, P., H. 2005. **Mixing, Food Powders —Bulk properties, Food Powders -Physical Properties, Processing and Functionality**. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Berk, Z. 2008. **Food Process Engineering and Technology**. United State of America : Elsevier Inc. (ISBN: 978-0-12-373660-4)
- Black, J. T. & Kohser, R. A., 2007. **Material and Processes in Manufacturing**. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Blackwood, T., 2015. **Master Your Mixing**. Dalam: *Mixing Handbook*. Northcase Parkway SE Wilmington: IKA Works, Inc.
- Buxbaum, G., dan Pfaff, G. 2005. **Industrial Inorganic Pigments**. Weinheim : Wiley-VCH Verlag.
- Campbell, H. dan Bauer, W. C. 1966. "Cause and Care of Demixing in Solid-Solid Mixers". **Chemical Engineering**. 73: 179.

-
- Carstensen, J. T. dan Patel, M. R. 1977. "Blending of Irregularly Shaped Particles". **Powder Technology**. 17 : 273-282.
- Chandrawan, D. & Ariati, M., 1999. **Metalurgi Serbuk : Teori dan Aplikasi Jilid 1**. Depok: Universitas Indonesia.
- Chowhan, Z.T., dan Linn, E.E. 1979. "Mixing Of Pharmaceutical Solids-Effect Of Particle Size On Mixing In Cylindrical Shear And V-Shaped Tumbling Mixers". **Powder Technology**. 24 : 237-244.
- D. Kudashov, H. Baum, U. Martin, M. Heilmaier, dan H. Oettel. 2004. "Microstructure And Room Temperature Hardening Of Ultra-Fine-Grained Oxide-Dispersion Strengthened Copper Prepared By Cryomilling". **Materials Science Engineering**. A 387 618 768-771.
- Darvishi, M., dan Seyed-Yazdi, J. 2016. "Effect Of Microwave Power On Created Defects In Graphene Sheet Of Synthesized TiO₂/Graphene Nanocomposite With Enhanced Photocatalytic Performance". **Surface Interfaces**. 4 : 1-8.
- Dehghnian, C & Takestani M. 2012. "A Comparison Of 85% W-15%Cu Composites Synthesized By Nano And Micro Powders". **International Journal of Modern Physics: Conference Series**. 5 : 574-580
- Dirk dan Axe E. 1995. "Factors Affecting Uniformity Of Amix, Anim". **Feed Science Technology**. 53 : 211-220.
- Drahn, J.A., Bridgwater, J. 1983. "The Mechanisms Of Free Surface Segregation". **Powder Technology**. 36 : 39-53.
- Ekawati, D., 2008. **Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium Grafit dengan Wetting Agent Tembaga**. Depok: Universitas Indonesia.
- Ennis, B. J. dkk., 2008. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 8th. States of America: The McGraw-Hill Companies .
- Fan, L. T., Chen, S. J. dan Watson, C. A., 1970. "Solids Mixing". **Industrial Engineering and Chemistry**, 62. 7 : 53-69.
- Gautam, Y. K., Somani, N., Kumar, M., dan Sharma, S. K. 2018. "A Review On Fabrication And Characterization Of Copper
-

-
- Metal Matrix Composite (CMMC)”. **AIP Conference Proceedings-020017**. American Institute of Physics
- Gen, L dan Wu, K. 2018. **Composite Material Engineering Volume 2**. Beijing : Springer Nature Singapore Pte Ltd and Chemical Industry Press
- German, R. M., 2016. **Particulate Composites Fundamental and Application**. Switzerland: Springer International .
- German, R., 1984. **Powder Metallurgy Science**. USA: Metal Powder Industries Federation.
- Graversen, M.B. 2012. **Segregation of Particulate Solids’**. **Powder Info News**. <<http://powderinfonews.com/tema-artikler/segregation-particulate-solids/2012>>
- Grook, G. B. & Brandes, A. E., 1992. **Smithells Metals Reference Book Seventh Edition**. Oxford: Bath Press.
- Gyimah, K, G, Huang, P., Chen, D. 2014. “Dry Sliding Wear Studies of Copper-Based Powder Metallurgy Brake Materials”. **Journal of Tribology**, 136. 041601-1 – 041601-6
- Habashi, F., 1997. **Handbook of Extractive Metallurgy**. Germany: Wiley-Vch.
- Halidan, M., 2014. **Particle Mixing Study in Different Mixers**. Australia: University of New South Wales.
- Harnby, N., 2000. An Engineering View of Pharmaceutical Powder Mixing. **Pharmaceutical Science and Technology Today**, 3(9), pp. 303-309.
- Hitesh, S., Swati, M. & Darshana, J., 2011. Process Optimization for Double-Cone Blender and Application of Statistics. **International Journal of Pharmaceutical Research**, 3. 4 : 18-23.
- Hongming, L. 2005. **Impact of Cohesion Forces on Particle Mixing and Segregation**. Pennsylvania: University of Pittsburgh.
- Hsiau, S. S. & Chen, W.-. C., 2002. “Density Effect Of Binary Mixtures On The Segregation Process In A Vertical Shaker”. **Advanced Powder Technology**, 13. 3 : 301-315.
-

-
- Hwang, S.J dan Lee, J.H. 2005. “Mechanochemical Synthesis Of Cu–Al₂O₃ Nanocomposites”. **Material Science Engineering A**, 405. 1 : 140–146.
- Jones, R., Pollock, H. M., Geldart, D. & Verlinden, A., 2003. “Inter-Particle Forces In Cohesive Powders Studied By AFM: Effects Of Relative Humidity, Particle Size And Wall Adhesion”. **Powder Technology**, 132. 196-210.
- Kavithaa ,T, S., Rangaraj, L., Avadhani, S, S., 2019. “Significance of Interface Design Aspects and Characteristics in Cu/SiCp Composites Fabricated by the Powder Metallurgy Route”. **Mettalurgical and Material Tranactions A**.
- Kaw, A. K., 2006. **Mechanics of Composite Materials Second Edition**. USA: CRC Press.
- Kumar, P, M., Sivakumar, K., dan Jayakumar, N. 2018. “Surface Modification on OHNS Steel Using Cu-CrB₂ Green Compact Electrode in EDM”. **Material Today: Proceeding 5**. Session 17389-17395.
- Kuo, H.-P. dan Huang, A.-N., 2014. “Development in the Tools For the Investigation of Mixing in Particulate System-A Review”. **Advanced Powder Technology**, 25. 163- 173.
- Kwabena, G, G., Huang, P., dan Chen, D. 2014. “Dry Sliding Wear Studies of Copper-Based Powder Metallurgy Brake Materials”. *Journal of Tribology*, 136. 4 : 041601.
- Landillon, V., Cassan, D., Morel, M.-H., dan B. Cuq. 2008. “*Flowability*, Cohesive, and Granulation Properties of Wheat Powders”. **Journal of Food Engineering**, 86. 178–193.
- Leuenberger, H., 2002. **Martin Physikalische Pharmazie, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH**. Stuttgart: Auflage.
- M. Schwartz. 1992. **Composite Materials Handbook 2nd Edition**. London : McGraw-Hill.
- Masuda, H., Higashitani, K. & Yoshida, H., 2006. **Powder Technology Handbook. 3rd**. Amerika Serikat: CRC Press Taylor & Francis Group.
-

-
- Mayo, M.J. 1996. "Processing Of Nanocrystalline Ceramics From Ultrafine Particles". **International Material Revolution** 41, 3 : 85–115
- Mechscience, 2016. **Blending and Mixing of the Powders & Compaction | Powder Metallurgy**, s.l.: <URL:<http://www.mechscience.com/blending-and-mixing-of-the-powders-compaction-powder-metallurgy/>>.
- Meyer, T. A., 2008. **Novel Determination of Powder Mixing Qualities and Study of Dry Coated Particles**, Swiss: University Basel.
- Mitchell, B, S. 2004. **An Introduction to Materials Engineering and Science : for Chemical and Materials Engineers**. Canada : John Wiley & Sons, Inc
- Moakher, M., Shinbrot, T., dan Muzzio, F. J. 2000. "Experimentally Validated Computations Of Flow, Mixing And Segregation Of Non-Cohesive Grains In 3D Tumbling Blenders". **Powder Technology**, 109. 1-3 : 58–71.
- Nadkarni, A. V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. Amerika Serikat: Paten : US 6,536,352 B1.
- Neikov, O. D., 2019. **Processing of Powders and Processing Equipment**. Dalam: Handbook of Non-Ferrous Metal Powders. Ukraine: Frantsevich Institute for Problems of Materials Science (IPMS). 403–455.
- Nienow, A.W., Harnby, N., dan Edwards, M.F. 1997. **Introduction To Mixing Problems, Mixing In The Process Industries, Second Edition**. Butterworth-Heinemann. ISBN: 0750637609.
- Oka, S., Sahay, A., Meng, W. & Muzzio, F. 2017. "Diminished Segregation in Continuous Powder Mixing". **Powder Technology**, Issue S0032-5910(16)30830-0, pp. 1-43.
- Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A. dan Kresta, S. M., 2003. **Handbook Of Industrial Mixing**. America: A John Wiley & Sons, INC.,.
-

-
- Peleg, M. 1978. “*Flowability Of Food Powders And Methods For Its Evaluation—A Review*”. **Food Process Engineering**. 1 : 303–328.
- Pernenkil, L. & Cooney, C. L., 2006. A Review On The Continuous Blending of Powders. **Chemical Engineering Science**, 61. 2 : 720-742.
- Prabhu, T. R. 2015. “Effects Of Solid Lubricants, Load, And Sliding Speed On The Tribological Behavior Of Silica Reinforced Composites Using Design Of Experiments”. **Materials & Design**. 77, 149–160.
- Prashantha, K, H, G dan Anthony, X, M. 2018. **Processing of Graphene/CNT-Metal Powder** in Cavalheiro, A. A. (Ed). **Powder Technology**. London : IntechOpen
- Rosato, J. R., Standburg, K. J., Prinz, F. dan Swendsen, R. H. 1987. “Why The Brazil Nuts Are On Top: Size Segregation Of Particulate Matter By Shaking”. **Phy. Rev. Letters**, 58. 1038-1040.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoglu, M., Gunes, A., dan Sahin, O. S. 2019. “Experimental Study And Analysis Of Machinability Characteristics Of Metal Matrix Composites During Drilling. **Composites Part B: Engineering**. doi:10.1016/j.compositesb.2019.02.023
- Selvakumar, N., 2017. **Particulate Processing (Powder Metallurgy)**. India: Mepco Schlenk Engineering College.
- Seyed-Alian, S-M. 2013. **Analysis of the Mixing of Solid Particles in the slant Cone and Ploughshare Mixer via Discrete Element Method (DEM) : Thesis**. Toronto : B.Sc., Amirkabir University of Technology
- Shetty, R., Kavithaa, S., Udayakumar, A., Avadhani, S. S., Mohan, B. K., Murugan, A. dan Usha, S. 2016. “Interfacial Design and Development of Cu/SiC MMCs for Thermal Management Applications by PM route”. **Transactions of Powder Metallurgy Association of India**, 42. 42, 108-115. ISSN : 0377-9416
-

- Singhai, S. K., Chopra, V. S., Nagar, M., Jain, N., dan Trivedi, P. 2010. "Scale Up factor determination of V Blender: An overview". **Scholars Research Library**, 2. 2 : 408-433.
- Siyoto, Sandu dan Muhammad Ali Sodik. 2015. **Dasar Metodologi Penelitian**. Yogyakarta: Literasi Media Publishing
- Soeratno & Arsyad, L. 1993. **Metode Penelitian untuk Ekonomi dan Bisnis**. Yogyakarta: UPP Akademi Manajemen Perusahaan YKPN.
- Somani, N., Sharma, N., Sharma, A., Gautam, Y, K., Khatri, P., Solomon, J A A. 2018. "Fabrication of Cu-SiC Composites using Powder Metallurgy Technique". **Material Today : Proceedings**. 5 : 28136-28141
- Statistika Non Minyak dan Gas Bumi 2013-2018. **Katalog Statistika Pertambangan Badan Pusat Statistik**. Jakarta
- Sulistya, F. F., 2019. **Desain Proses Produksi dan Tata Letak Pabrik Projektil Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk Berkapasitas 50.000.000 Butir/Tahun**, Surabaya: ITS.
- Tang, P., Puri, V.M. 2007. Segregation Quantification Of Two-Component Particulate Mixtures: Effect Of Particle Size, Density, Shape, And Surface Texture, **Part : Science Technology**. 25, 6 : 571-588.
- Toozandehjani, M., Matori, K. A., Ostovan, F., Aziz, S. A., dan Mamat, M. S. 2017. "Effect of Milling Time on the Microstructure, Physical and Mechanical Properties of Al-Al₂O₃ Nanocomposite Synthesized by Ball Milling and Powder Metallurgy". **Materials**, 10. 11 : 1232.
- Trunec, M & Maca, K. 2014. **Advanced Ceramic for Dentistry**. Czech Republic : Brno University of Technology
- Uddin, S. M., Mahmud, T., Wolf, C., Glanz, C., Kolaric, I., Volkmer, C., Höller, H., Wienecke, U., Roth, S., dan Fecht, H.-J. 2010. "Effect Of Size And Shape Of Metal Particles To Improve Hardness And Electrical Properties Of Carbon Nanotube Reinforced Copper And Copper Alloy

-
- Composites”. **Composites Science and Technology**, 70. 16 : 2253–2257.
- Upadhyaya, G. S., 2002. **Powder Metallurgy Technology**. Kanpur, India: Department of Materials and Metallurgical Engineering, Indian Institution of Technology.
- Vanin, M., Mortensen, J.J., Kelkkanen, A.K., Garcia-Lastra, J.M., Thygesen, K.S., Jacobsen, K.W. 2010. “Graphene On Metals: A Van Der Waals Density Functional Study”. **Physic.Revolution**, B 81. 8 : 081408.
- Venables, H. J. & Wells, J. I. 2001. “Powder Mixing”. **Pharmacy Drug Development and Industrial**, 27. 7 : 599-612.
- Volpato, S., Canu, P. & Santomaso, A. C. 2017. “Simulation of Free Surface Granular Flows in Tumblers”. **Advanced Powder Metallurgy**, 28. 3 : 1028–1037.
- Volpato, S., Scanferla, L. & Santomaso, A. C., 2018. “Experimental and Computational Investigation of Segregation During Tumblers Unloading”. **Powder Technology**. 338, 538-547.
- Wagih, A., & Fathy, A. (2017). “Experimental Investigation And FE Simulation Of Spherical Indentation On Nano-Alumina Reinforced Copper-Matrix Composite Produced By Three Different Techniques”. **Advanced Powder Technology**, 28. 8 : 1954–1965.
- Wei, D., Dave, R., dan Pfeffer, R. 2002. “Mixing And Characterization Of Nanosized Powders: An Assessment Of Different Techniques”. **Journal of Nanoparticle Research**. 4, 21-41.
- Williams, J.C. 1976. “The Segregation Of Particulate Materials. A Review*”. **Powder Technology**. 15 : 245–251.
- Xiao, Y., Zhang, Z., Yao, P., Fan, K., Zhou, H., Gong, T., Zhao, L., dan Deng, M., 2018. “Mechanical and Tribological Behaviour of Copper Metal Matrix Composites for Brake Pads Used in High-Speed Trains”. **Tribology International**. 119 : 585—592
-

-
- Xu, E., Huang, J., Li, Y., Zhu, Z., Cheng, M., Li, D., Zhong, H., Liu, J., dan Jiang, Y. 2019. "Graphite Cluster/Copper Based Powder Metallurgy Composite for Pantograph Slider with Well-Behaved Mechanical and Wear Performance". **Powder Technology**. PII : S0032-5910(18)31096-9
- Xu, L., Yan, M., Xia, Y., Peng, J., Li, W., Zhang, L., Liu, C., Chen, G., dan Li, Y. 2014. "Influence Of Copper Content On The Property Of Cu–W Alloy Prepared By Microwave Vacuum Infiltration Sintering". **Journal Of Alloys And Compound**. 592 : 202-206

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung secara moril maupun materil serta do'a yang selalu tercurahkan kepada saya setiap waktu untuk kesehatan, kelanaran, dan keselamatan saya demi menempuh dan menyelesaikan studi.
2. Keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa yang selalu tercurahkan kepada saya dan memberikan perhatian untuk kesehatan saya selama diperantauan.
3. Kakak-Kakak saya yaitu Lailatul Badriyah, Aga tara Dini Ago, dan M. T Safi'I yang selalu merindukan saya untuk pulang dari bercengkerama bersama dan menjadi penyemangat serta memberikan pinjaman laptop.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membantu Tugas akhir penulis baik seara langsung dan tidak langsung
5. Tim Lini Produksi Mesin Mixing *Frangible Bullet* khususnya Mas Faisal, Mas Girsang, Mas Dimas yang telah membantu dan mencurahkan semua pikiran dan tenaga dalam pengerjaan proyek mesin mixing *frangible*.
6. Bagas Dwi Putra *partner* penulis yang senantiasa selalu membantu dan bekerja sama mencurahkan semua pikiran dan tenaga dalam pembuatan mesin mixing ini.
7. Adhy, Anggi, Salma, Triska, Riska, Rizki, Ria dan Arif yang telah membantu dan memberikan dukungan saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini
8. Vio, Novica, dan Kristin sebagai sahabat penulis yang telah memberikan dukungan moril dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

-
9. Teman-teman fungsio (Gary, Tadeus, Kevin, Adit) dan staff Riset dan Teknologi HMMT 18/19 (Anggra, Urva, Omet, Abel, Baim, Akbar) yang memberikan pengalaman dan mewarnai kehidupan kampus penulis.
 10. Keluarga MT18 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material
 11. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ninik Safrida. Lahir dari pasangan Jumono dengan Mistun di Kota Ponorogo pada tanggal 22 Juni 1998. Penulis merupakan anak tunggal. Penulis menempuh Pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri Karang, Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Ponorogo, Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Ponorogo. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri tepatnya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS pada tahun 2016 melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis sempat menjadi Staff Divisi *Event and Program* dalam organisasi Nasional Young on Top cabang Surabaya 2017/2018. Penulis juga sempat menjadi Wakil Ketua Divisi Internal Badan Kinerja Majelis Wali Amanat Wakil Mahasiswa 2018/2019. Selain itu penulis juga menjadi Kopidep Keilmuan dalam Ashabul Kahfi Departemen Teknik Material dan Metalurgi 2018/2019.. Pada tahun terakhir, penulis sempat menjabat menjadi Sekretaris Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS 2018/2019. Dalam bidang akademik, penulis pernah menjadi finalis dalam Lomba MME National Exposition yang telah diselenggarakan oleh Universitas Indonesia pada tahun 2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Badak Natural Gas Liquefaction selama kurang lebih satu setengah bulan. Penulis mengakhiri studi S1-nya dengan mengambil bidang Material Komposit khususnya Copper Metal Matrix Composite. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* dan nomor telepon : nisasafrida@gmail.com dan 082231789726

