



TUGAS AKHIR – TL184834

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN PENCAMPURAN
SERBUK JENIS *DOUBLE CONE MIXER* OTOMATIS UNTUK
APLIKASI PRODUKSI *FRANGIBLE BULLET***

**BAGAS DWI PUTRA
NRP. 0251164000064**

**Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

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



TUGAS AKHIR – TL 184834

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN PENCAMPURAN
SERBUK JENIS *DOUBLE CONE MIXER* OTOMATIS
UNTUK APLIKASI PRODUKSI *FRANGIBLE BULLET***

BAGAS DWI PUTRA
NRP. 0251164000064

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti, S.T., 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

**THE DESIGN OF AUTOMATIC DOUBLE CONE TYPE
POWDER MIXER MACHINE FOR FRANGIBLE BULLET
PRODUCTION**

BAGAS DWI PUTRA
NRP. 0251164000064

Supervisor
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti, S.T., 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)

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN PENCAMPURAN
SERBUK JENIS *DOUBLE CONE MIXER* OTOMATIS
UNTUK APLIKASI PRODUKSI *FRANGIBLE BULLET***

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

Oleh:

BAGAS DWI PUTRA
NRP 02511640000064

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si..... (Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



SURABAYA
Juli 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN RANCANG BANGUN MESIN PENCAMPURAN SERBUK JENIS *DOUBLE CONE MIXER* OTOMATIS UNTUK APLIKASI PRODUKSI *FRANGIBLE BULLET*

Nama : Bagas Dwi Putra
NRP : 0251164000064
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Pembimbing II : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstrak

Peluru frangible adalah proyektil yang didesain sedemikian rupa agar saat terjadi impact, proyektil akan hancur. Pembuatan frangible bullet menggunakan metode metalurgi serbuk dengan tahapan pencampuran, kompaksi dan sintering. Untuk mencapai target produksi dari peluru, maka dilakukan perancangan mesin pencampuran dengan standar industri. Pada penelitian ini dilakukan pendesainan mesin pencampuran serbuk otomatis tipe double cone. Spesifikasi mesin didapatkan dari hasil perhitungan dan simulasi. Simulasi pembebanan dilakukan dengan menggunakan software Ansys Workbench. Komponen as disimulasikan untuk mendapatkan defleksi bending dan defleksi torsi. Komponen rangka disimulasikan untuk mendapatkan tegangan maksimal yang terjadi. Dari hasil perhitungan dan simulasi didapatkan hasil yang tidak melebihi batas aman. Untuk simulasi pencampuran dilakukan dengan menggunakan software RockyDEM dan didapatkan kecepatan putar optimal adalah 22,5 rpm.

Kata Kunci: *Peluru frangible, Mesin pencampuran otomatis, Double cone mixer, Desain, Metode elemen hingga, Metode elemen diskrit*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE DESIGN OF AUTOMATIC DOUBLE CONE TYPE POWDER MIXER MACHINE FOR FRANGIBLE BULLET PRODUCTION

Student Name : Bagas Dwi Putra
NRP : 0251164000064
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Co-Supervisor : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstract

Frangible bullet is a type of bullet which is designed to shutter when impact was occurred. Production of frangible bullet uses powder metallurgy method that include powder mixing process. To achieve production targets, the designing of mixing machine with industrial-standard is needed. This study focus on designing double cone type powder mixing machine. Machine specification is obtained through calculation and simulation. Loading simulation is occurs by using Ansys Workbench software. Shaft component is simulated to obtain the value of bending deflection and torsional deflection. Frame component is simulated to obtain the maximum stress that occur. Calculation and simulation results show that the design do not exceed the permissible conditions. For mixing simulation is occurs by using RockyDEM software and obtained that the optimal angular velocity is 22,5 rpm.

Keywords: *Frangible bullet, Automatic mixing machine, Double cone mixer, Design, Finite element method, Discrete element method*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat kepada Allah SWT. karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Desain Rancang Bangun Mesin Pencampuran Serbuk Jenis *Double Cone Mixer* Otomatis untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet**”. Laporan ini dibuat dengan tujuan melengkapi mata kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selain itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. dan Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang memberikan dukungan, bimbingan dan pelajaran yang tidak ternilai.
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen penguji pada sidang proposal tugas akhir yang telah memberikan masukan dan saran
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA. Dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji pada sidang laporan tugas akhir yang telah memberikan masukan dan saran
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini terdapat kekurangan. Sehingga, penulis mengharapkan dan menerima kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, 24 Juli 2020
Penulis

Bagas Dwi Putra

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Projektil <i>Frangible</i>	5
2.2 Komposit Cu-Sn.....	6
2.3 Metalurgi Serbuk.....	6
2.4 Mixing (Pencampuran).....	8
2.4.1 Mekanisme Pencampuran.....	9
2.4.2 Klasifikasi Pencampuran.....	10
2.4.3 Aspek Yang Berpengaruh Terhadap Pencampuran.....	11
2.4.4 Hasil Pencampuran.....	15
2.4.5 Mode Pencampuran.....	17
2.4.6 Jenis Mixer.....	19
2.5 Momen Bending.....	23
2.6 Torsi.....	24
2.7 Kegagalan Kelelahan.....	25
2.8 Mesin Mixer.....	27
2.8.1 Komponen Pencampuran.....	27
2.8.2 Komponen Struktural.....	30
2.8.3 Komponen Elektronik.....	39

2.8.4	Komponen Penggerak	40
2.9	Simulasi Metode Elemen Diskrit	41
2.9.1	Metode Lacey	42
2.10	Penelitian Sebelumnya.....	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir	49
3.1.1	Diagram Alir Perancangan Mesin Pencampuran Serbuk Otomatis	49
3.1.2	Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural.....	50
3.1.3	Diagram Alir Permodelan Komponen Pencampuran	51
3.2	Konsep Desain	52
3.3	Pra Desain Komponen Pencampuran.....	53
3.3.1	Penentuan Kapasitas Perkloter	53
3.3.2	Penentuan Geometri Wadah	53
3.4	Pra Desain Komponen Struktural	55
3.4.1	Penentuan Geometri Frame	55
3.4.2	Penentuan Geometri Shaft.....	56
3.5	Penentuan Komponen Penggerak	57
3.5.1	Penentuan Daya yang Dibutuhkan	57
3.5.2	Penentuan Komponen Penggerak.....	57
3.6	Simulasi dan Analisa Tegangan pada Komponen Struktural.....	58
3.7	Simulasi dan Analisa Performa Pencampuran Serbuk	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Desain Komponen Pencampuran	63
4.1.1	Penentuan Kapasitas Produksi Perkloter	63
4.1.2	Penentuan Geometri Komponen Pencampuran	64
4.2	Desain Komponen Struktural.....	68
4.2.1	Penentuan Geometri Frame Mesin Mixing	68
4.2.2	Penentuan Geometri Shaft Mesin Mixing	70

4.3	Validasi Desain Komponen Struktural menggunakan Metode Elemen Hingga.....	76
4.3.1	Validasi Desain Shaft Mesin Mixing	77
4.3.2	Validasi Desain Rangka Mesin Mixing.....	82
4.4	Penentuan Komponen Penggerak	86
4.5	Assembly Mesin Double Cone Mixer.....	88
4.5.1	Komponen Pencampuran	88
4.5.2	Komponen Struktural	89
4.5.3	Komponen Penggerak	90
4.5.4	Komponen Elektronik	91
4.5.5	Assembly Total	92
4.6	Simulasi Performa Pencampuran Serbuk menggunakan Metode Elemen Diskrit.....	93
4.7	Analisis Desain Mesin	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	103
5.2	Saran	103
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN.....		109
	<i>Lampiran 1: Gambar Teknik.....</i>	109
1.	Komponen Pencampuran	109
2.	Struktural: Rangka.....	110
	<i>Lampiran 2: Spesifikasi Motor Induksi.....</i>	111
	<i>Lampiran 3: Ansys Simulation Report.....</i>	112
1.	Simulasi As: Defleksi Bending	112
2.	Simulasi As: Defleksi Torsional	137
3.	Simulasi Rangka.....	155
UCAPAN TERIMA KASIH.....		173
BIODATA PENULIS.....		175

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sifat Projektil Frangible (Sweeney, 2010).....	5
Gambar 2.2	Proses metalurgi serbuk untuk projektil <i>frangible</i> (ASM Metal Handbook, 1998).....	7
Gambar 2.3	Kurva karakteristik dari proses pencampuran (Masuda, 2006).....	10
Gambar 2.4	Kurva temperatur granular rata-rata pada area aktif dengan fungsi waktu pada putaran dari; drum <i>symmetric double cone</i> , dan <i>asymmetric double-cone</i> . (Volpota, 2016).....	12
Gambar 2.5	Kondisi pencampuran pada waktu 0,6,12 detik dengan perbedaan jumlah partikel yang terlibat (Basinkas, 2016).....	13
Gambar 2.6	Dampak kecepatan putar terhadap <i>mixing index</i> , secara pergerakan <i>axial</i> (kiri) maupun <i>transverse</i> (kanan) (Basinkas, 2016)	14
Gambar 2.7	Dampak jumlah sumbu putaran terhadap waktu pencampuran (Cho, 2012).....	14
Gambar 2.8	Hasil pencampuran; (a) campuran sempurna, (b) campuran acak, (c) campuran tersegregasi (Williams, 1986).....	16
Gambar 2.9	Penggambaran dari hubungan antara berbagai campuran (Stain-forth, 1982)	17
Gambar 2.10	Jenis Beam.....	23
Gambar 2.11	Tanda arah dari momen bending (Budynas, 2010).....	24
Gambar 2.12	Ilustrasi Torsi.....	25
Gambar 2.13	Diagram kriteria kegagalan kelelahan	26
Gambar 2.14	Desain wadah <i>tumbling mixer</i> ; (a) <i>double- cone</i> , (b) <i>v-blender</i> , (c) <i>bin blender</i> .(Paul,2004)	28
Gambar 2.15	Simulasi pencampuran pada (a) & (b) <i>v- blender</i> dan (c) <i>double-cone mixer</i> (Moakher, 1999).....	28

Gambar 2.16	Gambar Teknik mesin pencampuran serbuk jenis <i>double-cone</i> produksi perusahaan manufaktur (a) <i>J.Engelsman AG</i> , (b) <i>Inoxpa</i> , (c) <i>Comasa</i>	31
Gambar 2.17	Dimensi baja hollow persegi (Khurmi, 2005)	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	50
Gambar 3.2	Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural	51
Gambar 3.3	Diagram Alir Permodelan Performa Pencampuran	51
Gambar 3.4	Gambar Teknik <i>double-cone</i> mixer produksi perusahaan <i>J.Engelsman AG</i>	52
Gambar 3.5	Gambar teknik desain <i>double cone</i> mixer.....	54
Gambar 3.6	Desain 3D <i>double cone</i> mixer.....	55
Gambar 3.7	Desain 3D rangka mesin mixer.....	55
Gambar 3.8	Gambar teknik desain rangka mesin mixer.....	56
Gambar 3.9	Ilustrasi Komponen Penggerak.....	58
Gambar 3.10	Logo ANSYS.....	58
Gambar 3.11	Logo RockyDEM.....	59
Gambar 3.12	Lokasi pengambilan sampel	61
Gambar 4.1	Gambar teknik komponen pencampuran	66
Gambar 4.2	Gambar teknik desain rangka mesin mixer.....	69
Gambar 4.3	Baja hollow profil persegi	70
Gambar 4.4	Ilustrasi sistem mesin mixing	70
Gambar 4.5	(a) Sistem momen bending; (b) <i>Free-body diagram</i> momen bending; (c) Diagram momen bending	72
Gambar 4.6	Ilustrasi Sistem Penggerak Mesin.....	73
Gambar 4.7	Flowchart simulasi ansys workbench	77
Gambar 4.8	Simulasi bending deflection; (a) kondisi batas simulasi, (b) hasil simulasi	79
Gambar 4.9	Simulasi bending torsional; (a) kondisi batas simulasi (b) hasil simulasi	81

Gambar 4.10	(a) Sistem pembebanan bagian atas rangka, (b) <i>Free-body diagram</i> bagian atas rangka (c) Diagram momen bending bagian atas rangka.....	83
Gambar 4.11	Simulasi pembebanan rangka; (a) kondisi batas simulasi, (b) hasil simulasi	85
Gambar 4.12	Desain komponen pencampuran.....	89
Gambar 4.13	Desain komponen structural; (a) shaft, (b) frame.....	89
Gambar 4.14	Desain motor induksi 3 fasa	90
Gambar 4.15	Desain panel control.....	91
Gambar 4.16	Desain mesin double cone mixer.....	92
Gambar 4.17	Kondisi pencampuran sebelum berputar	94
Gambar 4.18	Kondisi simulasi pencampuran pada 5 putaran pertama; (a) 7,5 rpm (b) 15 rpm (c) 22,5 rpm	97
Gambar 4.19	<i>Mixing index</i> hasil simulasi	99

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan mode pencampuran.....	18
Tabel 2.2	Perbandingan tipe mixer.....	21
Tabel 2.3	Data operasi hasil <i>benchmarking</i>	29
Tabel 2.4	Dimensi Hasil <i>Benchmark</i> Perusahaan <i>J.Engelsman AG, Inoxpa, dan Comasa</i>	32
Tabel 2.5	Simbol persamaan perhitungan diameter	37
Tabel 2.6	Penelitian sebelumnya.....	43
Tabel 2.7	Penelitian proyektil <i>frangible</i>	47
Tabel 3.1	Dimensi rangka mesin double cone mixer produksi J.Engelsman AG.....	52
Tabel 3.2	Parameeter produksi proyektil frangible	53
Tabel 3.3	Dimensi desain rangka mesin mixer (mm).....	56
Tabel 3.4	Parameter simulasi performa pencampuran serbuk	60
Tabel 4.1	Kapasitas komponen pencampuran	64
Tabel 4.2	Perbandingan Antar Diameter	65
Tabel 4.3	Perbandingan diameter terluar dan tinggi.....	65
Tabel 4.4	Geometri komponen pencampuran.....	66
Tabel 4.5	Perbandingan geometri komponen pencampuran.....	68
Tabel 4.6	Geometri Frame.....	68
Tabel 4.7	Sifat mekanik SS304	69
Tabel 4.8	Sifat mekanik JIS G4051	74
Tabel 4.9	Hasil perhitungan diameter shaft.....	76
Tabel 4.10	Perbandingan nilai defleksi bending.....	78
Tabel 4.11	Perbandingan nilai defleksi torsional	80
Tabel 4.12	Hasil validasi pembebanan desain rangka	84
Tabel 4.13	Spesifikasi mesin double cone mixer	92
Tabel 4.14	Kondisi simulasi performa pencampuran serbuk	94
Tabel 4.15	Analisa mesin pencampuran untuk perbaikan	101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyektil *frangible* adalah proyektil yang didesain sedemikian rupa agar saat terjadi impak dengan permukaan yang keras, proyektil akan pecah atau hancur untuk mengurangi bahaya yang kemungkinan terjadi pada tempat penembakan umum atau fasilitas pelatihan persenjataan. Selain itu, karena tidak mengandung timbal, proyektil *frangible* lebih ramah lingkungan untuk digunakan dalam latihan menembak dibandingkan dengan proyektil konvensional. Material bahan baku yang digunakan dalam proyektil peluru ini terdiri dari komposit matriks logam Cu-Sn yang ramah lingkungan dan minim *backsplash* atau *richoret* disbanding dengan material proyektil peluru konvensional. Proses pembuatan proyektil *frangible* menggunakan metode metalurgi serbuk yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu *mixing*, kompaksi dan *sintering*. Tahapan *mixing* merupakan operasi dimana dua atau lebih serbuk menjadi homogen dengan, jika dibutuhkan, tambahan *liquid*. Dalam beberapa sektor industri, juga disebut sebagai *blending*. Tujuan dari proses *mixing* adalah diapatkannya campuran dengan homogenitas yang optimal, sebelum dilanjutkan proses selanjutnya yaitu kompaksi.

Pada penelitian Azmi (2016) disebutkan bahwa untuk masuk pada taraf industri dibutuhkan jumlah dan laju material yang tidak sedikit, sehingga membutuhkan perancangan desain proses produksi bertaraf industri agar proyektil *frangible* dapat dikomersilkan. Untuk mendukung hal tersebut, maka tidak hanya dari segi proses saja yang direncanakan namun perlu diperhitungkan terkait desain alat yang dapat menunjang produksi proyektil bertaraf industri. Salah satunya adalah mesin pencampuran serbuk. Untuk mendapatkan campuran dengan kondisi yang sama antara satu dengan yang lain, maka dibutuhkan mesin pencampuran serbuk yang otomatis. Parameter – parameter untuk menghasilkan kinerja mesin pencampuran serbuk yang baik

harus diterapkan. Selain itu dilakukan juga pemilihan komponen – komponen untuk merancang mesin pencampuran serbuk untuk menghasilkan produk proyektil *frangible* yang memenuhi standar.

Dari hasil penelitian Anugraha (2014), menyatakan komposisi Sn pada pencampuran serbuk Cu-Sn memiliki dampak terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn. Dengan meningkatnya komposisi Sn, maka nilai densitas *green* dan densitas sinter semakin meningkat dan nilai kekerasan, kekuatan tekan dan modulus elastisitas dari komposit Cu semakin meningkat pada komposit Cu-Sn. Pada komposisi Cu-5wt%Sn, Cu-10wt%Sn dan Cu-15wt%Sn, hasil tersebut telah sesuai dengan standar pada proyektil *frangible*. Dengan proses pencampuran yang optimal, integritas hasil tersebut bisa didapatkan.

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pembuatan mesin pencampuran serbuk otomatis dan pemilihan komponen-komponen yang tepat agar dapat merancang mesin pencampuran serbuk untuk memproduksi amunisi yang sesuai standar dengan efektif dan efisien. Pertama dengan pengumpulan data fisik komponen mesin kompaksi dan dilanjutkan dengan pendesainan. Terakhir dilanjutkan dengan permodelan untuk memastikan kesesuaian dengan operasi yang dibutuhkan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara merancang desain dan spesifikasi mesin pencampuran serbuk otomatis yang optimal?
2. Bagaimana menganalisis kondisi operasi mesin pencampuran serbuk otomatis yang optimal?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Parameter produksi telah ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya
2. Simulasi yang dilakukan merupakan simulasi statis terhadap rangka dan as
3. Daya yang dihasilkan motor tidak mengalami *loss*
4. Sistem elektronik diangkat sudah tetap dan ideal

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain spesifikasi mesin pencampuran serbuk otomatis yang optimal
2. Menganalisis kondisi operasi mesin pencampuran serbuk otomatis yang optimal

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan Mesin Pencampuran Serbuk Terotomasi yang efektif dan efisien dan dapat menghasilkan proyektil yang sesuai standar. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai pengembangan teknologi Mesin Pencampurn Serbuk dalam dunia industri.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Proyektil Frangible*

Proyektil *frangible* adalah proyektil yang didesain sedemikian rupa agar saat terjadi impak dengan permukaan yang keras, proyektil akan pecah atau hancur untuk mengurangi bahaya yang kemungkinan terjadi pada tempat penembakan umum atau fasilitas pelatihan persenjataan. Selain itu, karena tidak mengandung timbal, proyektil *frangible* lebih ramah lingkungan untuk digunakan dalam latihan menembak dibandingkan dengan proyektil konvensional (Mates, 2007).

Menurut Banovic (2007), teknik metalurgi serbuk saat ini digunakan untuk menghasilkan komposit bermatriks metal berbahan besi atau campuran dari tembaga dan timah, dimana komposisi ini paling lazim digunakan di industri. Serbuk ditekan sesuai bentuk dan konfigurasi peluru sesuai yang diinginkan untuk menghasilkan bentuk awal dengan densitas tinggi. Ilustrasi sifat dari proyektil *frangible* terdapat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sifat Proyektil Frangible
(Sweeney, 2010)

Menurut Hansen (2006) yang dikutip oleh Sulistya (2019) densitas yang dimiliki oleh proyektil frangible sebesar 1,75-8,25 g/cm³. Sedangkan untuk proyektil frangible yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1-8,5 g/cm³. Kekerasan yang harus dimiliki oleh proyektil frangible

sebesar 44-119 HV dan memiliki compressive strength sebesar 31-310 MPa (Kruachatturat, 2009).

2.2 Komposit Cu-Sn

Komposit adalah material multifasa yang secara sintesis dibuat, atau terbentuk secara alami. Selain itu, konstituen fasa harus berbeda secara kimiawi dan dipisahkan oleh perbedaan antarmuka (Callister, 2014). Menurut Sulistijono (2012) didalam bukunya, menyatakan bahwa komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik yang berstruktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dapat diklasifikasikan ke dalam 3 macam yaitu: komposit matrik polimer, komposit matrik keramik, dan komposit matrik logam.

Proyektil frangible yang dibahas dalam penelitian ini memiliki komposisi yang terdiri dari serbuk logam Cu, Sn, dan Zinc Stearate dengan persentase berat 89,5% Cu, Sn 10% dan 0,5% Zinc Stearate. Pemilihan material tembaga sebagai material dominan dalam proyektil frangible karena unsur ini tidak beracun dan bersifat lunak sehingga dapat menjadi pelumas ketika proyektil ini diaplikasikan pada senjata api. Sedangkan adanya penambahan unsur timah dalam komposisi proyektil frangible bertujuan untuk menambah kekuatan matriks dari tembaga sehingga mempengaruhi modulus elastisitas komposit Cu-Sn. Timah merupakan unsur yang memiliki melting point (titik leleh) yang rendah sehingga dapat digunakan sebagai pengikat agar lebih mudah membasahi serbuk tembaga (Sulistya, 2019)

2.3 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses dimana padatan logam, paduan atau keramik dalam bentuk partikel atau serbuk kering, dikonversi menjadi komponen teknik dengan bentuk dan sifat yang ditentukan, sehingga dapat digunakan tanpa perlu proses tambahan kembali (Thummler, 1993). Menurut Upadhyaya (2002),

Metalurgi serbuk dirasa lebih kompetitif dari metode pabrikasi lainnya seperti pengecoran, pengecapan dan pemesinan. Metalurgi serbuk menjadi pilihan ketika membutuhkan kekuatan, umur pakai atau temperature operasi tinggi. Proses ini juga menawarkan presisi yang tinggi, tanpa membutuhkan proses finishing seperti pada proses pengecoran. Namun, metalurgi serbuk bersifat ekonomis hanya ketika nilai produksi tinggi dikarenakan peralatan yang digunakan cukup membutuhkan biaya yang tidak sedikit.



Gambar 2.2 Proses metalurgi serbuk untuk proyektil *frangible* (ASM Metal Handbook, 1998)

Adapun deskripsi singkat dari masing-masing proses metalurgi serbuk sebagai berikut:

1. Mixing

Pencampuran atau *mixing* berarti sebuah proses pembauran dari dua atau lebih komposisi kimia yang berbeda. Secara matematis, proses *mixing* dijelaskan sebagai perubahan konsentrasi sementara dari komponen di suatu koordinat local. Perubahan ini disebabkan karena terjadinya transportasi konvektif dan dispartif partikel (Thummler, 1998).

2. Kompaksi

Kompaksi didefinisikan sebagai suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk atau paduan atau campuran dari berbagai macam serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan

mempunyai kekuatan yang cukup untuk proses selanjutnya. Dalam bukunya, Upadhyaya (2002) menyebutkan bahwa kompaksi memiliki fungsi; mengkonsolidasi serbuk menjadi bentuk yang diinginkan, memberikan dimensi akhir yang diinginkan dengan pertimbangan perubahan pada proses sintering, mengontrol *level* dan tipe porositas, dan memberikan kekuatan yang memadai untuk proses selanjutnya.

3. Sintering

Sintering merupakan proses pemanasan produk awal hasil dari proses kompaksi pada temperature tertentu yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk awal meningkat.

2.4 Mixing (Pencampuran)

Pencampuran serbuk (*Powder mixing*) adalah operasi dimana dua atau lebih serbuk menjadi homogen dengan, jika dibutuhkan, tambahan *liquid*. Dalam beberapa sektor industri, juga disebut sebagai *blending*. Ukuran dari serbuk yang akan dicampur memiliki rentang yang luas dan rentang kondisi kelembaban yang luas, mulai dari kondisi kering sampai dengan basah. Karena partikel padatan mengalami berbagai gaya interaktif dan tidak dapat berdifusi dengan sendirinya, partikel padatan tidak bisa bergerak tanpa gaya eksternal seperti agitasi mekanik (Masuda, 2006).

Proses pencampuran serbuk pada produksi proyektil *frangible* memiliki peran menyediakan bahan untuk proses kompaksi dengan kondisi yang berintegritas (*batch integrity*). Hal ini guna menghasilkan produk yang sama pada setiap hasilnya. Pengaruh yang terjadi apabila proses pencampuran serbuk tidak homogen secara optimal adalah berbedanya produk akhir. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kandungan antar jenis serbuk yang akan mengakibatkan sifat dari produk berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Anugraha (2014), variasi komposisi Sn dilakukan untuk mengetahui dampak terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn. Variasi komposisi Sn yang dilakukan

sebesar Cu-5%wtSn, Cu-10%wtSn, dan Cu-15%wtSn. Dengan dilakukannya perbedaan perilaku pada tekanan kompaksi yaitu 300, 400, dan 500 MPa, dan sintering pada temperatur 260°C selama 30 menit, didapatkan produk komposit Cu-Sn yang sesuai dengan standar proyektil *frangible*. Standar pada proyektil *frangible* memiliki densitas dengan rentang 7,1-8,5 g/cm³, kekerasan dengan rentang 33-95 HRF, dan kekuatan tekan dengan rentang 31-310 MPa. Hasil ini harus dijaga dengan cara diawali menyediakan campuran yang homogen sebelum melalui proses-proses metalurgi serbuk selanjutnya.

2.4.1 Mekanisme Pencampuran

Secara kasar, pencampuran serbuk berlangsung melalui 3 tahap pergerakan partikel:

1. *Convective mixing*

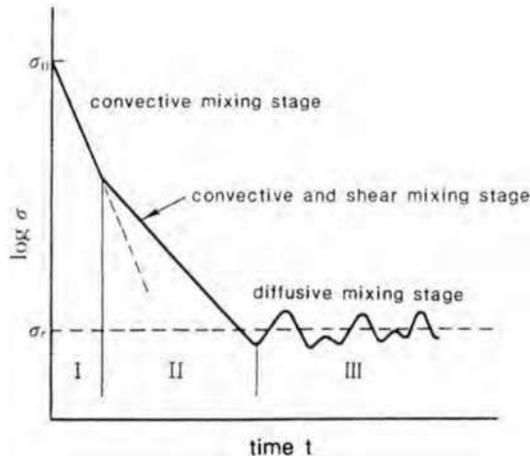
Aliran yang terjadi pada serbuk biasanya disebabkan oleh Gerakan rotasi dari wadah berputar maupun pendorong agitasi seperti *ribbon* atau *paddle*. Aliran yang terjadi meningkatkan pencampuran konfektif dan berkontribusi pada pencampuran makroskopik dari campuran serbuk. Meskipun nilai pencampuran dari mekanisme ini tinggi, kontribusi untuk pencampuran mikroskopik sangat kecil. Pencampuran konfektif berguna untuk mode *batch* tetapi tidak memberikan dampak pada pencampuran mode kontinyu.

2. *Shear mixing*

Shear mixing terjadi karena pertukaran momen antara serbuk yang memiliki kecepatan berbeda. Distribusi kecepatan yang terjadi berkembang disekitar pendorong agitasi dan dinding wadah akibat kompresi dan ekstensi dari serbuk. Hal ini juga dapat berkembang akibat lapisan serbuk pada *mixer* dan pada lubang udara pada *mixer*. Mekanisme ini dapat meningkatkan pencampuran semi-mikroskopik dan berguna untuk pencampuran mode *batch* dan kontinyu.

3. *Diffusive mixing*

Pencampuran difusi diakibatkan pergerakan tak teratur dari serbuk-serbuk sehingga disebut *random walk phenomenon*. Mekanisme ini berguna untuk homogenisasi mikroskopik. Nilai pencampuran dari mekanisme ini sangat kecil dibandingkan dengan 2 mekanisme sebelumnya.



Gambar 2.3 Kurva karakteristik dari proses pencampuran (Masuda, 2006)

2.4.2 Klasifikasi Pencampuran

Menurut German (2016), terdapat dua klasifikasi proses pencampuran:

1. Dry Mixing

Dry mixing adalah proses pencampuran bahan-bahan tanpa dicampurkan cairan dan kondisi membuat bahan pencampuran untuk bergesek satu sama lain. Pembauran terjadi sepanjang permukaan gesek. Partikel yang lebih kecil membutuhkan waktu pencampuran yang lebih lama.

2. Wet Mixing

Wet mixing dilakukan dengan penambahan cairan untuk melapisi partikel.

2.4.3 Aspek Yang Berpengaruh Terhadap Pencampuran

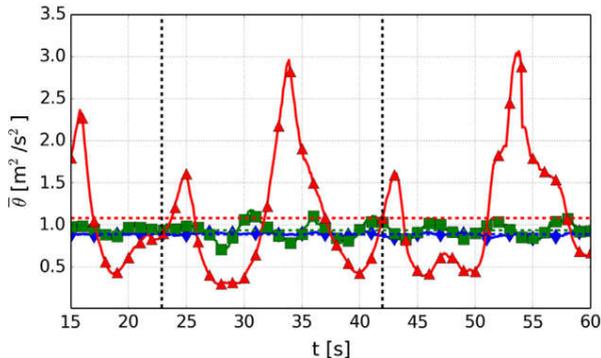
Menurut Hasuner (1982), terdapat berbagai variabel dalam proses pencampuran serbuk sebagai berikut:

1. Tipe *mixer*
2. Volume *mixer*
3. Geometri *mixer*
4. Area permukaan dalam dari *mixer*
5. Material konstruksi dan permukaan akhir dari *mixer*
6. Volume dari serbuk sebelum proses pencampuran
7. Volume dari serbuk setelah pencampuran
8. Ratio volume dari serbuk
9. Ratio volume dari serbuk dan *mixer*
10. Karakteristik serbuk
11. Tipe, lokasi dan jumlah dari perangkat *loading* dan pengeluaran
12. Kecepatan rotasi dari *mixer*
13. Waktu pencampuran
14. Temperatur pencampuran
15. Media Pencampuran
16. Kelembaban, ketika pencampuran di udara terbuka

Secara garis besar, variabel yang mempengaruhi proses pencampuran terbagi menjadi dua aspek, yaitu aspek geometri dan aspek operasi. Aspek geometri seperti tipe *mixer*, geometri *mixer*, dan penambahan *internal baffle*. Aspek operasi yang sangat berpengaruh pada proses pencampuran yaitu rasio volume, kecepatan rotasi dan waktu pencampuran.

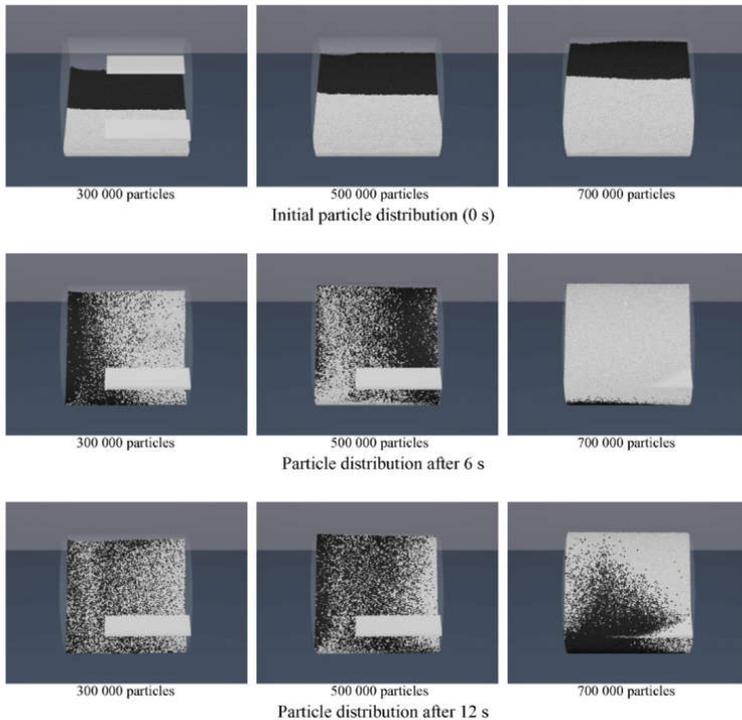
Dalam penelitiannya, Alexander (2000) menyatakan bahwa dengan geometri yang berbeda, kinetika yang terjadi jelas akan berbeda. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Volpato (2016). Volpato melakukan simulasi pencampuran dengan menggunakan 3 geometri yang berbeda; *drum*, *double-cone*, dan *asymmetric double-cone*. Parameter yang digunakan yaitu diameter utama 400mm, *fill level* sebesar 10% dan kecepatan putar sebesar 0,17 rad/s. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa,

dari analisis temperature rata-rata granular dan kecepatan konvektif pada lapisan aktif menunjukkan potensi pencampuran yang lebih baik terjadi di geometri yang asimetris.



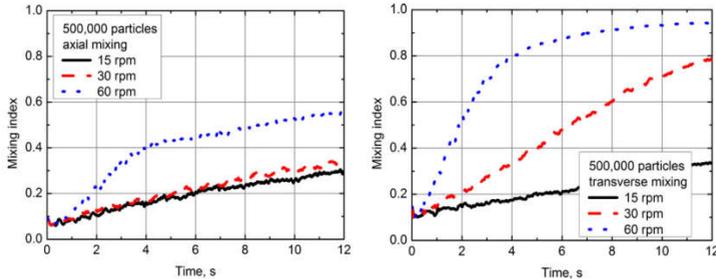
Gambar 2.4 Kurva temperatur granular rata-rata pada area aktif dengan fungsi waktu pada putaran dari; drum *symmetric double cone*, dan *asymmetric double-cone*. (Volpota, 2016)

Pada aspek operasi, *fill level* mempengaruhi proses pencampuran serbuk. Menurut Basinkas (2016), pada penelitiannya, menaiknya *filling ratio* menyebabkan menurunnya performa mixing. Pada penelitian tersebut dilakukan proses pencampuran menggunakan *drum mixer* dengan dimensi 100 x 100 x 100 mm dengan adanya 2 *blade* pada sisi wadah. Parameter proses yang digunakan adalah *filling ratio* dengan variasi 30%, 50%, dan 70%, dan kecepatan rotasi dengan variasi 15 rpm, 30 rpm, dan 60 rpm. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut adalah metode elemen diskrit. Pada Gambar 2.5, diperlihatkan hasil yang menjawab dari kesimpulan dibawah.



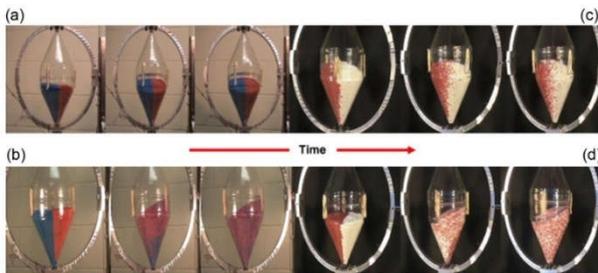
Gambar 2.5 Kondisi pencampuran pada waktu 0,6,12 detik dengan perbedaan jumlah partikel yang terlibat (Basinkas, 2016)

Selain *filling ratio*, pada penelitian tersebut juga menyatakan bahwa kecepatan putar yang semakin meningkat, menyebabkan performa pencampuran yang meningkat. Gambar 2.6 menunjukkan bahwa pada 12 detik proses pencampuran, mixing index tertinggi didapatkan oleh variasi kecepatan rotasi 60 rpm, baik secara pergerakan *axial* maupun *transverse*.



Gambar 2.6 Dampak kecepatan putar terhadap *mixing index*, secara pergerakan *axial* (kiri) maupun *transverse* (kanan) (Basinkas, 2016)

Variable terakhir dalam aspek operasi yang cukup berpengaruh terhadap proses pencampuran adalah waktu pencampuran. Pada penelitian yang dilakukan oleh Cho (2012), pencampuran yang dilakukan 2 sumbu akan mengurangi waktu pencampuran dibandingkan dengan pencampuran yang dilakukan 1 sumbu. Gambar 2.7-a dan 2.7-b menggunakan manik ukuran 1mm dan Gmbar 2.7-c dan 2.7-d menggunakan manik ukuran 3mm. hasil yang berbeda didapatkan karena Gambar 2.7-a dan 2.7-c menggunakan 1 sumbu putar sedangkan Gambar 2.7-b dan 2.7-d menggunakan 2 sumpu putar.



Gambar 2.7 Dampak jumlah sumbu putaran terhadap waktu pencampuran (Cho, 2012)

2.4.4 Hasil Pencampuran

Evaluasi dan interpretasi pencampuran yang baik adalah pengembangan dari pengukuran pencampuran yang dapat diandalkan. Meskipun konsep ini mudah, namun dibutuhkan beberapa perhatian dalam implementasinya. Segala bentuk pengukuran dari pencampuran diperoleh terlebih dahulu dengan mengevaluasi jumlah pengukuran yang relevan, dalam daerah sampel yang ditentukan. Idealnya, agar sampel menjadi representatif, sampel harus diambil secara seragam dari aliran yang seragam dalam sisi ruang dan waktu.

Konsep awal dari gabungan partikel yang homogen adalah partikel terdistribusi dalam keadaan homogen yang sempurna, sedemikian rupa sehingga sampel dengan jumlah yang banyak akan menghasilkan komposisi yang sama. Pencampuran yang terjadi, sayangnya, cenderung menunjukkan setidaknya sedikit keheterogenan, dengan 3 penyebab utama: pencampuran yang tidak selesai, aglomerasi dan segregasi, menyebabkan tekstur pencampuran yang berbeda (Paul, 2004).

Adapun beberapa jenis hasil pencampuran menurut Paul (2004), dalam bukunya, sebagai berikut:

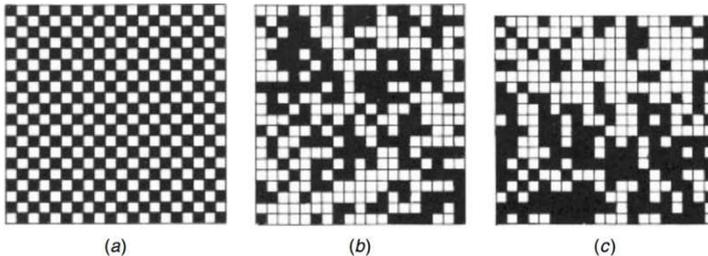
1. Perfect Mixture

Sebuah campuran pada dua jenis partikel adalah dimana sampel yang diambil secara acak pada campuran akan mengandung proporsi yang sama antar partikel dan proporsional dengan campuran secara keseluruhan. Pada Gambar 2.8-a, susunan dari partikel hitam dan putih akan menghasilkan campuran sempurna. Campuran yang sangat sempurna sangat sulit ditemukan di alam.

2. Random or Stochastic Mixture

Ketika dua partikel yang tidak berinteraksi dengan sifat yang sama dicampur dengan menggunakan *mixer*, kualitas dari pencampuran mencapai limit asimtotic dari *random mixing* (Gambar 2.8-b). perpanjangan proses pencampuran tidak menghasilkan peningkatan dari kualitas pencampuran. Pada partikel dengan sifat fisik yang berbeda, pencampuran acak tidak

selalu mungkin terjadi. Pencampuran acak tidak didapatkan dalam kondisi kehadiran dari gaya antarpartikel.



Gambar 2.8 Hasil pencampuran; (a) campuran sempurna, (b) campuran acak, (c) campuran tersegregasi (Williams, 1986)

3. Ordered Mixture

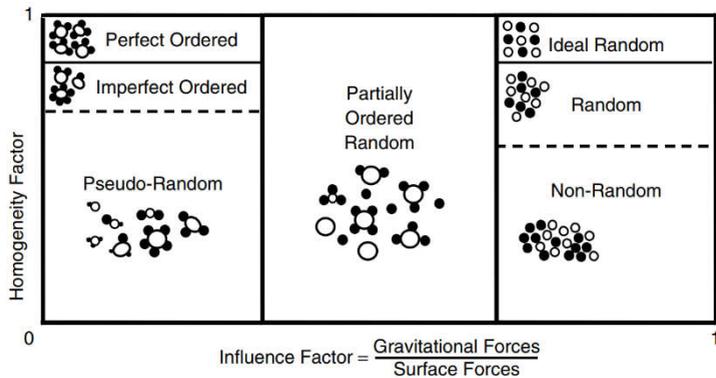
Ketika 2 partikel dicampur Bersama, struktur atau urutan yang rapi akan terbentuk pada campuran. Hal ini dapat diakibatkan dari aglomerasi atau kohesi salah satu partikel terhadap partikel lain. Perlu dicatat bahwa campuran teratur dapat memiliki variasi kurang dari campuran acak. Sebuah campuran teratur yang sempurna memiliki variasi 0.

4. Partially Ordered Random Mixture

Saat fraksi kohesi atau komponen minor jenuh terdapat pada lokasi komponen pembawa, fraksi yang tersisa akan beraglomerasi. Pada campuran acak teratur sebagian, aglomerasi dan unit yang teratur akan tercampur bersama secara acak.

5. Pseudorandom Mixture

Ketika unit teratur mengandung jumlah yang berbeda dari partikel minor dan partikel pembawa tercampur secara acak, campuran tersebut dinamakan campuran *pseudorandom*. Partikel pembawa tidak akan jenuh dengan partikel minordan tidak terjadi aglomerasi pada campuran.



Gambar 2.9 Penggambaran dari hubungan antara berbagai campuran (Stain-forth, 1982)

2.4.5 Mode Pencampuran

Dalam pencampuran atau *mixing*, terdapat 2 mode proses, yaitu *batch* atau kloter dan *continuous* atau kontinyu. Pencampuran kloter adalah pencampuran bahan-bahan dalam jumlah berapa pun dalam satu kloter dalam suatu *mixer* individua atau wadah. Semua bahan dimasukan kedapam *mixer* dan beragitasi pada periode tertentu hingga terdistribusi secara homogen. Hasil dari campuran dikeluarkan dari *mixer*. Parameter penting dalam pencampuran *batch* adalah durasi pencampuran, ukuran dan geometri *mixer*, dan kondisi operasi.

Pencampuran kontinyu digunakan untuk mencampur bahan-bahan secara kontinyu dalam sebuah *mixer* dalam sekali proses. Jumlah bahan yang akan dicampur dapat bervariasi dalam kisaran berapa pun. Namun tidak seperti pencampuran kloter, perhatian penuh harus dilakukan pada proses memasukan bahan kedalam *mixer* dengan cara yang terkontrol. Pencampuran kloter seringkali menyebabkan variasi dalam kualitas pencampuran. Hal ini dapat di control atau hampir dihilangkan oleh pencampuran kontinyu. Meskipun pencampuran kontinyu semakin diminati, pemilihan *mixre* kontinyu tidak semudah dengan kloter, yang dapat dicapai dengan melakukan beberaa uji coba (Paul, 2004)

Tabel 2.1 Perbandingan mode pencampuran

	<i>Batch Mixing</i>	<i>Continuous Mixing</i>
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis serbuk apapun, baik kohesif maupun gerak bebas, dapat dicampur dengan baik • Pemuatan, baik serbuk atau cairan ke dalam <i>mixer</i>, dapat dilakukan dengan mudah • <i>Mixer</i> lebih mudah untuk dirawat dan dibersihkan • Lebih mudah mengidentifikasi kualitas pencampuran untuk tindakan selanjutnya (<i>batch integrity</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas besar • Pencampuran dengan bahan sedikit dapat dilakukan • Waktu tunggu pada proses lebih pendek • Sistem yang sesuai untuk kontrol otomatis • Segregasi terjadi secara minim • Murah biaya dalam aspek mesin <i>mixer</i> • Sedikitnya dibutuhkan tenaga kerja manusia
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak tepat untuk bahan yang sedikit, dikarenakan bahan dapat menempel pada dinding wadah • Segregasi tidak terhindarkan dan memungkinkan meningkat apabila <i>packaging</i> jauh dari <i>mixer</i> • Apabila dilakukan pergantian bahan, maka <i>mixer</i> harus 	<ul style="list-style-type: none"> • Kurangnya fleksibilitas dalam proses • Peralatan yang terikat satu sama lain • Dibutuhkan kalibrasi dan pengecekan dalam proses • Dibutuhkan prosedur <i>sampling</i> yang baik

-
- | | |
|---|---|
| dibersihkan terlebih dahulu pada setiap kloternya | <ul style="list-style-type: none">• Limitasi dalam jumlah jenis bahan yang digunakan• Dibutuhkan pemasukan yang terkendali |
|---|---|
-

2.4.6 Jenis Mixer

Mesin *mixer*, secara besar dibagi menjadi 3 tipe utama, yaitu *rotary vessel*, *stationary vessel*, dan *complex mixer*. *Rotary vessel* memiliki *rate of mixing* yang rendah, namun menghasilkan derajat kecampuran akhir yang baik. Untuk tipe *stationary vessel*, dibagi menjadi 3 jenis; dengan agitasi mekanik, dengan agitasi aliran gas, dan jatuh bebas akibat gravitasi. *Complex mixer* merupakan gabungan sistem dari 2 tipe sebelumnya. Tujuan dari penggabungan ini adalah untuk membuat pergerakan dalam *mixer* sebebaskan mungkin dengan gaya gravitasi untuk meningkatkan *rate of mixing*, derajat pencampuran dan memperluas aplikasi penunggakan mesin *mixer* untuk serbuk yang memiliki perbedaan yang cukup jauh pada sifat fisik.

Salah satu tipe dari mesin pencampuran menggunakan pendorong agitator di dalam wadah seperti, *paddle*, *plow*, *ribbon*, maupun *screw*. Tipe lain dari mesin pencampuran aktif yang tidak menggunakan komponen bergerak didalam wadah, namun wadah secara menyeluruh bergerak untuk menghasilkan pencampuran adalah tipe *tumbling mixer*. Tipe ini seharusnya tidak diisi lebih dari setengah kapasitas wadah untuk menyediakan kebebasan bergerak dari serbuk ketika mesin bekerja (Fayed, 1997).

Agar dapat melihat perbedaan dengan jelas, perbandingan aspek dari tipe *mixer* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Tabel 2.2 Perbandingan tipe mixer

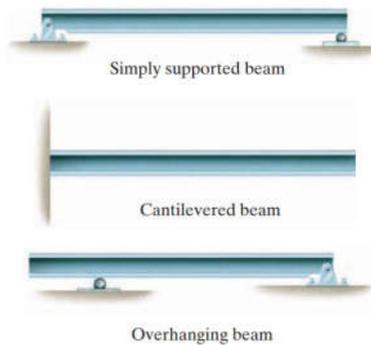
Aspek	<i>Tumbling Mixer</i>	<i>Plow Mixer</i>	<i>Paddle Mixer</i>	<i>Ribbon Mixer</i>	<i>Screw Mixer</i>
Rentang Ukuran Partikel	Cocok untuk aliran bebas sampai partikel kohesif, sampai dengan 10 μ m	Cocok untuk aliran bebas sampai partikel cukup kohesif, sampai dengan 5mm, mampu mengatasi berbagai densitas	Cocok untuk serbuk kohesif	Cocok untuk aliran bebas sampai serbuk kohesif, sampai dengan 5mm, mampu mengatasi berbagai densitas	Cocok untuk aliran bebas sampai serbuk yang sangat kohesif, sampai dengan 500 μ m, tidak mampu mengatasi variasi densitas
Mode Operasi	Kloter atau kontinyu	Kloter atau kontinyu	Kloter atau kontinyu	Kloter atau kontinyu	Kloter
Waktu Pencampuran	Sampai dengan 15 menit	Sampai dengan 5 menit	Sampai dengan 6 menit	Bervariasi sampai 30 menit, tetapi dapat memakan waktu selama 2 jam untuk material berserat	Setidaknya 10 menit
Aplikasi Industri	Makanan, bahan kimia, farmasi, plastik	Makanan, keramik, bahan kimia, bangunan, plastic, farmasi	Pengolahan limbah, pewarna dan pigmen, makanan hewan, bangunan, farmasi	Makanan, bahan kimia, pewarna dan pigmen, makanan hewan, industry kayu dan kertas, farmasi	Makanan, bahan kimia, plastic, farmasi
Masalah Tipikal	Pengosongan sempurna sulit dilakukan	Pengosongan sempurna sulit dilakukan	Pembersihan lebih mudah, pengosongan sempurna bukan masalah	Pembersihan susah dilakukan, pengosongan bukan masalah	Pembersihan tidak mudah ketika padatan lengket
Keuntungan	Variasi operasi mudah dilakukan	-	-	Pengosongan bukan masalah	-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

2.5 Momen Bending

Momen bending adalah hasil gaya dan jarak terpendek arah garis kerja terhadap titik tumpu. Momen bending seringkali juga diberi lambang M (Popov, 1996).

Momen bending biasanya bekerja pada sebuah balok atau *beam*, yang terdiri atas sebuah benda pejal panjang dan penyangga yang ditempatkan tegak lurus dengan sumbu yang dimiliki. Klasifikasi *beam* biasanya tergantung pada penyangga yang



Gambar 2.10 Jenis Beam
(Hibbeler, 2011)

digunakan. Terdapat tiga jenis *beam* yaitu *simply supported beam*, *cantilevered beam* dan *overhanging beam*. Perbedaan visual pada jenis *beam* ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.

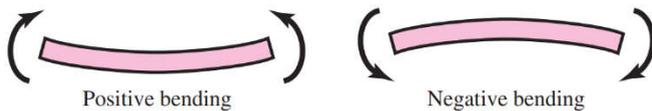
Pada mesin pencampuran *double-cone* yang akan didesain, menggunakan konsep *simply supported beam* dimana terdapat 2 titik tumpu di ujung as dan titik beban ditengah. Sehingga untuk momen bending yang terjadi menggunakan Persamaan dibawah ini:

$$M = \frac{F \cdot x}{2} \quad (2.1)$$

dimana M adalah momen bending (N.m), F adalah beban (N) dan x adalah jarak as dari titik nol (m).

Balok atau beam sering kali digunakan pada elemen-elemen struktural. Menggunakan penyangga pada lantai, jembatan, atau pada sayap sebuah pesawat. Selain itu juga pada as, alat berat dan mesin-mesin lainnya (Hibbeler, 2011)

Kita dapat menyimpulkan analisa struktur dan mesin yang sangat kompleks dengan berturut-turut mengisolasi setiap elemen lalu mempelajari dan menganalisa dengan menggunakan *free-body diagram*. Ketika seluruh bagian sudah dianalisa, hal yang didapatkan bisa disusun menjadi informasi untuk sistem struktur atau mesin tersebut. Jadi *free-body diagram* pada dasarnya adalah cara membagi masalah yang rumit menjadi segmen, menganalisa masalah sederhana, dan menggabungkan informasi kembali. Momen bending dapat bernilai positif maupun negative. Hal ini menandakan arah dari *bending* tersebut. (Budynas, 2010)



Gambar 2.11 Tanda arah dari momen bending (Budynas, 2010)

2.6 Torsi

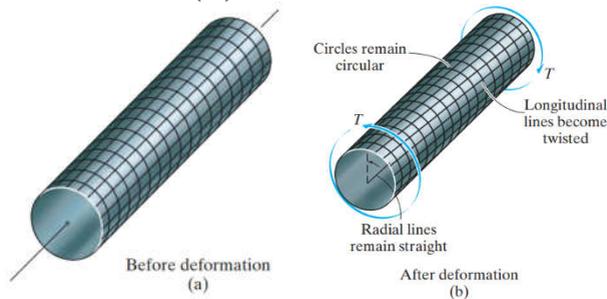
Torsi merupakan momen yang memiliki kecenderungan untuk memutar sumbu yang membujur. Efek utama dari hal tersebut adalah memperhatikan desain dari sebuah as atau as penggerak yang biasa digunakan pada kendaraan dan mesin. Ilustrasi torsi terdapat pada Gambar 2.12. Pada Gambar 2.12(a) merupakan sebuah as tanpa dibebani torsi. Ketika torsi bekerja, garis yang sebelumnya membujur secara horizontal pada as cenderung berubah menjadi pola pada Gambar 2.12(b). Walaupun bentuk penampang tetap lingkaran tetapi terdapat putaran yang terjadi. Maka dari hal ini dapat diasumsikan bahwa jika sudut putar

(*angle of twist*) bernilai rendah, panjang dari shaft dan jari-jari tetap tidak berubah (Hibbeler, 2011)

Untuk mengetahui torsi yang berlaku, dapat menggunakan Persamaan dibawah ini:

$$T = F \cdot d \quad (2.2)$$

dimana T adalah torsi (N.m), F adalah beban (N) dan d adalah diameter beban (m).



Gambar 2.12 Ilustrasi Torsi
(Hibbeler, 2011)

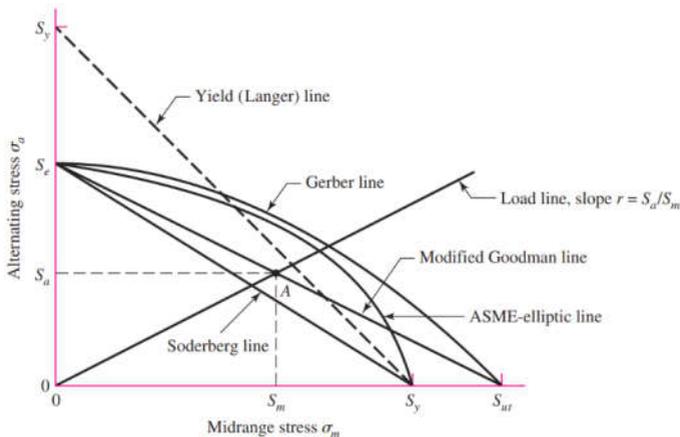
2.7 Kegagalan Kelelahan

Seringkali, bagian-bagian pada mesin ditemukan gagal dalam kondisi yang tegangan berulang atau fluktuatif, terlebih lagi apabila tegangan yang terjadi melebihi kekuatan ultimat dari material atau dengan insentitas yang sering walaupun dibawah kekuatan luluh material. Hal yang paling membedakan dari kegagalan ini adalah tegangan yang terjadi dilakukan secara berulang dengan jumlah yang sangat tinggi. Kegagalan ini disebut dengan kegagalan kelelahan.

Kegagalan kelelahan memiliki penampakan yang sama dengan kegagalan getas, yakni permukaan kegagalan rata dan tegak lurus dengan sumbu tegangan dengan tidak adanya *necking*. Namun, fenomena kegagalan akibat kelelahan berbeda dengan kegagalan getas, dimana pada kegagalan kelelahan memiliki 3

tahapan. Tahap pertama adalah tahap inisiasi dari satu atau lebih retakan mikro akibat deformasi plastis berulang. Biasanya tahap ini tidak dapat dilihat dengan visual manusia. Tahap kedua, retakan mikro berkembang menjadi retakan makro membentuk retakan retakan paralel seperti daratan retak pada permukaan. Permukaan ini dapat berwarna gelap dan terang tergantung pada kondisi. Tahap ketiga terjadi saat siklus tegangan akhir ketika material tidak dapat menahan beban, mengakibatkan patahan yang cepat dan tiba tiba. Tahap terakhir ini bisa getas, ulet maupun gabungan keduanya. Berbagai kondisi dapat mempercepat inisiasi retak termasuk tegangan tarik sisa, naiknya temperature, temperature bersiklus, lingkungan korosif dan siklus berfrekuensi tinggi.

Pada banyak struktur dan mesin, frekuensi kondisi meningkat, bisa diakibatkan oleh variasi tegangan dengan waktu yang konstan maupun fluktuatif di beberapa tahap. Pada kasus ini, beberapa tegangan selalu terjadi pada serat, namun kondisi dari tegangan berfluktuatif. Sehingga pembebanan yang terjadi pada sebuah mesin menghasilkan tegangan yang terdiri atas, tegangan *midrange, repeated* (berulang), *alternating* dan *fluctuating*.



Gambar 2.13 Diagram kriteria kegagalan kelelahan (Budynas, 2010)

Setelah mendefinisikan berbagai macam tegangan yang berkaitan dengan tegangan fluktuatif, variasi dilakukan terhadap tegangan *midrange* dan tegangan *alternating*, untuk mengetahui resistansi kelelahan pada bagian suatu mesin pada kondisi tertentu.

Terdapat 4 kriteria/jenis kegagalan kelelahan, yaitu; *Goodman*, *Gerber*, *ASME-elliptic* dan *Soderberg*. 4 kriteria ini memiliki perbedaan data acuan dan kondisi yang digunakan. Pada kriteria *Goodman* dan *Gerber*, acuan yang digunakan adalah kekuatan ketahanan dan kekuatan tarik maksimum. Sedangkan untuk kriteria *ASME elliptic* dan *Gerber*, acuan yang digunakan adalah kekuatan ketahanan dan kekuatan luluh. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.12 (Budynas, 2010).

2.8 Mesin Mixer

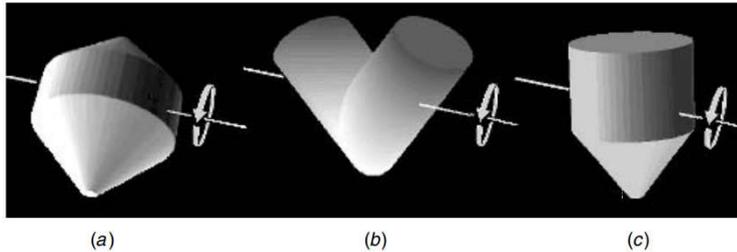
Pada mesin *mixer*, terdapat beberapa komponen yang menjadi penyusun yaitu komponen pencampuran, komponen struktural, komponen elektronik, dan komponen penggerak. Dibawah ini penjelasan lebih lanjut mengenai masing-masing komponen tersebut.

2.8.1 Komponen Pencampuran

Di industri metalurgi serbuk, terdapat 3 geometri umum yang sering ditemui adalah *double-cone*, *V-blender*, dan *bin blender*. Tiap geometri memiliki banyak variasi yang berdampak pada hasil pencampuran yang berbeda, seperti, aspek simetri dapat dihindarkan agar menghasilkan lintas aliran pada *double-cone*, memperpanjang salah satu lengan dari *V-blender*, atau menambahkan *baffles* pada *bin blender* (Paul, 2004)

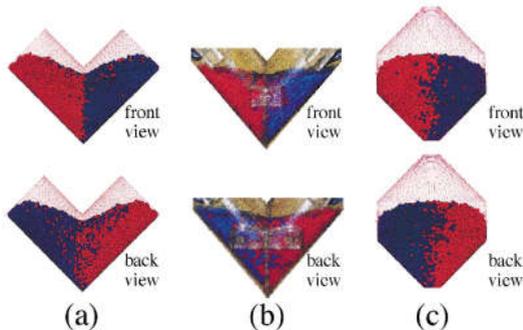
Masing-masing dari tipe *tumbling mixer* memiliki karakteristik sendiri. Menurut Moakher (1999), *V-blender* dan *double-cone mixer* bekerja berbeda. Pada *V-blender*, aliran bekerja dengan menggabungkan, memisahkan dan penggabungan kembali. Sedangkan pada *double-cone mixer* bekerja hamper secara kontinyu dan aliran partikel lebih konstan dikarenakan permukaan yang lebih seragam.

Walaupun memiliki aliran partikel yang lebih stabil, proses pencampuran *double-cone mixer* akan berbeda apabila diterapkan



Gambar 2.14 Desain wadah *tumbling mixer*; (a) *double-cone*, (b) *v-blender*, (c) *bin blender*. (Paul, 2004)

oleh jenis partikel yang berbeda. Sifat fisik dari partikel menjadi salah satu pengaruh hal tersebut. Selain itu kondisi operasi juga mempengaruhi hasil pencampuran. Peneliti merangkum beberapa penelitian yang membahas tentang pengaruh proses pencampuran pada Tabel 2.6.



Gambar 2.15 Simulasi pencampuran pada (a) & (b) *v-blender* dan (c) *double-cone mixer* (Moakher, 1999)

Beban yang dihasilkan dari komponen pencampuran dan juga massa campuran selama operasi mempengaruhi komponen

lainnya. Pada komponen penggerak, dibutuhkan spesifikasi yang mampu menggerakkan mesin sesuai dengan beban kerja yang ada. Untuk mengetahui gaya yang dibutuhkan agar mesin dapat beroperasi, dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan saat beban yang dihasilkan dari komponen pencampuran diaplikasikan. Sedangkan komponen struktural akan dipengaruhi dari segi geometri agar selama proses operasi tidak terjadi deformasi pada komponen tersebut.

Tabel 2.3 Data operasi hasil *benchmarking*

Perusahaan Manufaktur	Model	Kapasitas Operasi	Kecepatan (RPM)	Tenaga	Waktu Pencampuran (Menit)
Guibao Group	W-180	40 kg/batch	12	1,1 kW	4~8
	W-300	60 kg/batch	12	1,1 kW	6~10
	W-500	100 kg/batch	12	2,2 kW	6~10
	W-1000	200 kg/batch	12	4 kW	6~10
	W-1500	300 kg/batch	12	4kW	6~10
Longcheng	HJ-0.3	120 kg/h	12	1,1 kW	6~15
	HJ-0.5	200 kg/h	13	2,2 kW	6~15
	HJ-1.0	400 kg/h	14	4 kW	6~15
	HJ-1.5	600 kg/h	15	4 kW	6~15
	HJ-2.0	800 kg/h	16	5 kW	6~15
Tapasya	SAL-DC-1	20 L	20	2 HP	-
	SAL-DC-2	100 L	21	3 HP	-
	SAL-DC-3	200 L	22	5 HP	-
	SAL-DC-4	350 L	23	5 HP	-
	SAL-DC-5	750 L	24	5 HP	-
J. Engelsman AG	DKM 100	70 L	-	-	-
	DKM 200	140 L	-	-	-
	DKM 400	280 L	-	-	-
	DKM 600	420 L	-	-	-
	DKM 800	540 L	-	-	-

	MBC 160	100 L	-	1 kW	-
Inoxpa	MBC 650	400 L	-	3 kW	-
	MBC 950	600 L	-	4 kW	-

Peneliti melakukan *benchmark* pada *double-cone mixer* yang diproduksi oleh beberapa perusahaan manufaktur dalam aspek operasi. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

2.8.2 Komponen Struktural

Komponen struktural untuk mesin pencampuran serbuk akan mengalami 2 jenis pembebanan, yaitu pembebanan statis dan pembebanan operasi. Kedua pembebanan ini akan terjadi, baik dengan kondisi *mixer* kosong atau kondisi *mixer* berisi bahan pencampuran.

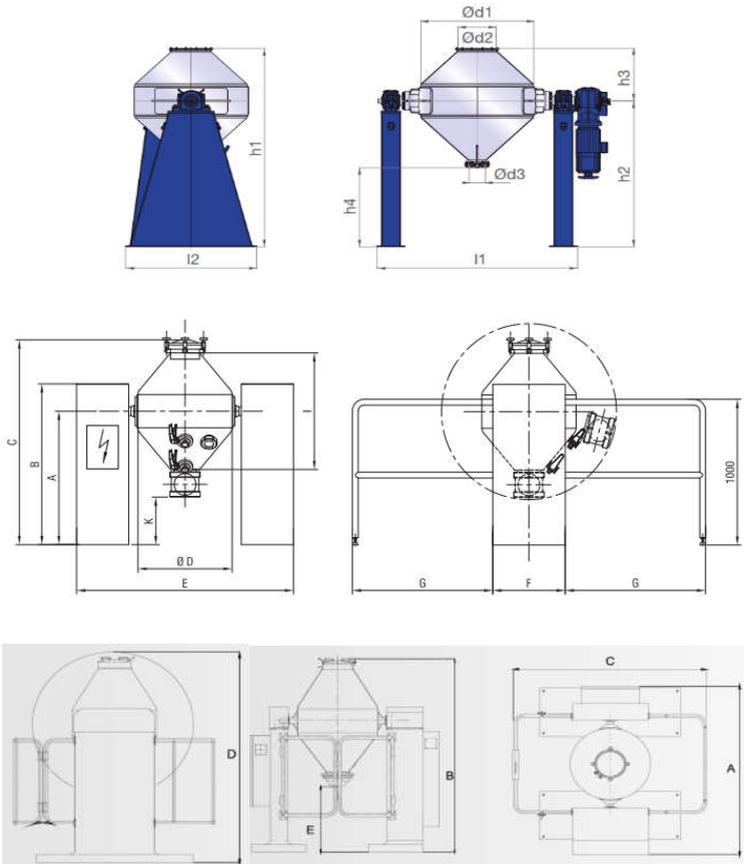
Komponen struktural pada mesin *mixer* terbagi menjadi beberapa komponen yaitu, *frame* dan *shaft*. Komponen struktural dapat dilihat pada bagian dibawah ini.

1. Frame

Frame atau rangka memiliki fungsi sebagai konstruksi dasar dari mesin pencampuran serbuk. Peran dari *frame*, seperti pada umumnya, sangat penting. Selain sebagai induk dari *assembly* komponen lainnya, namun juga harus memiliki kemampuan menahan beban yang terjadi selama operasi dari mesin.

Penulis melakukan *benchmark* terhadap perusahaan manufaktur yang memproduksi mesin *double-cone mixer* yang dijelaskan pada Gambar 2.16 dan Tabel 2.4. Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran dan tambahan informasi terkait desain struktural dalam penelitian mengingat produksi proyektil *frangible* dilakukan dalam skala besar atau industri.

Jenis baja yang digunakan untuk struktur rangka mesin bermacam-macam, seperti pelat strip, pelat siku, besi *hollow* profil



Gambar 2.16 Gambar Teknik mesin pencampuran serbuk jenis *double-cone* produksi perusahaan manufaktur (a) *J.Engelsman AG*, (b) *Inoxpa*, (c) *Comasa*

Tabel 2.4 Dimensi Hasil *Benchmark* Perusahaan *J.Engelsman AG, Inoxpa, dan Comasa*

Perusahaan Manufaktur	Kapitas Kerja (L)	Dimensi (mm)												
		D1	D2	D3	H1	H2	H3	H4	I1	I2				
J.Engelsmann AG	70	600	300	150	1450	950	500	500	1200	730				
	140	780	300	150	1700	1100	600	600	1380	880				
	280	950	400	200	2030	1350	680	600	1660	1000				
	420	1100	400	200	2150	1400	750	600	2540	1100				
	560	1250	400	200	2320	1500	820	800	2960	1100				
Inoxpa	100	A	B	C	D	E	F	G	I	K				
	650	1265	1450	1800	650	1500	500	1000	800	600				
	950	1540	1725	2350	1000	1850	600	1300	1350	600				
Comasa		1630	1850	2550	1200	2000	700	1500	1500	600				
		A	B	C	D	E	F	G	I	K				
	48~105	750	390		1840	2120								
	132~280	1300	600		1950	2230								
	198~420	1580	860		2430	2715								
	330~700	2010	950		2730	3015								
	495~1050	2300	1230		2910	3200								

persegi, dan besi profil H, Pada penelitian ini, rangka mesin mixer menggunakan besi *hollow* profil persegi.

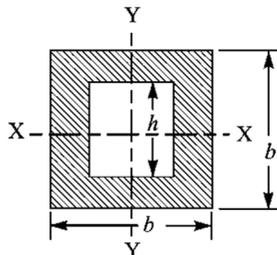
Rangka harus mampu menahan tegangan yang terjadi pada mesin. Untuk mengetahui tegangan maksimal yang terjadi pada rangka, dapat menggunakan Persamaan 2.3 dibawah ini.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} \quad (2.3)$$

dimana M adalah momen bending maksimal dan Z adalah *section modulus*.

Untuk mendapatkan nilai *section modulus* dari baja *hollow* persegi maka dapat menggunakan Persamaan 2.4.

$$Z_{xx} = Z_{yy} = \frac{b^4 - h^4}{6b} \quad (2.4)$$



Gambar 2.17 Dimensi baja hollow persegi
(Khurmi, 2005)

2. Shaft

Istilah *shaft* atau poros diartikan sebagai komponen penampang lingkaran yang berputar dan mentransmisikan daya dari perangkat penggerak, seperti motor atau mesin. Poros dapat membawa roda gigi, katrol dan *sprocket* untuk mnegirimkan Gerakan putar dan daya melalui roda gigi yang bersanding, *belts*, dan rantai. Atau secara mudah, poros dapat terhubung dengan poros lain menggunakan system *coupling*. Sebuah poros dapat

diam dan mendukung komponen lainnya, seperti poros pendek yang mendukung roda mobil yang mendukung toda mobil tidak berputar atau sering disebut sebagai *spindles* (Childs, 2014).

Desain poros atau *shaft* perlu mempertimbangan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Ukuran, jarak antar komponen (pada penggabungan atau *assembly*), dan toleransi
- b. Pemilihan material beserta perilakunya

Untuk mengetahui atau mengevaluasi tegangan yang terjadi pada sebuah *shaft*, tidak dibutuhkan pengevaluasian pada setiap titik, namun dapat dilakukan hanya melalui titik kritis. Biasanya titik kritis terletak pada lokasi permukaan terluar, dimana momen bending yang terjadi besar, lokasi terjadinya torsi dan dimana konsentrasi tegangan terjadi. Titik ini dapat diketahui melalui desain basis suatu sistem. Tegangan-tegangan ini dapat ditemukan melalui persamaan dibawah ini:

$$\sigma = K_f \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.5)$$

$$\sigma = K_f \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.6)$$

I dan J merupakan momen inersia dan momen inersia polar. Secara berurutan, kedua hal tersebut dapat ditemukan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (2.7)$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (2.8)$$

Menurut Budynas, dalam buku *Shigley's Mechanical Engineering Design*, tegangan yang terjadi pada *shaft* dapat berasal

dari bending, torsi, dan tegangan aksial. Bending dan torsi dapat ditemukan menggunakan perhitungan dan *free body diagram* dari sistem. Biasanya tegangan geser terbesar yang diakibatkan oleh torsi terletak pada permukaan paling luar. Apabila terdapat bearing pada salah satu ujung *shaft*, tegangan terbesar akan ditemukan di dekat bearing. Sedangkan untuk tegangan aksial, selalu memiliki nilai yang rendah dibanding tegangan momen bending. Dikarenakan tegangan aksial konstan, maka seringkali beban ini diabaikan.

Tegangan-tegangan ini dapat dikombinasikan untuk aplikasi perhitungan diameter *shaft* menjadi tegangan von Mises. Menggabungkan tegangan-tegangan ini dengan teori kegagalan energi distorsi, serta mensubstitusi Persamaan 2.5 dan 2.6 ke dalam Persamaan 2.3 dan 2.4, maka tegangan von Mises untuk as solid berputar dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_f T}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

Dalam mengkombinasikan tegangan yang terjadi pada *shaft* menggunakan persamaan tegangan von Mises, momen bending dan torsi dibagi menjadi dua jenis yaitu ayun (*alternating*) dan rata-rata (*midrange*). Untuk jenis ayun, didapatkan dengan setengah dari selisih nilai maksimal dan minimal. Sedangkan untuk jenis rata-rata, didapatkan dengan setengah dari jumlah nilai maksimal dan minimal. Namun mayoritas as berputar memiliki torsi yang stabil dan beban yang pasti di kedua arah dan juga besaran. Sehingga tiap putaran masing-masing serat pada permukaan as mengalami pembalikan sempurna dari tegangan akibat momen bending. Karena itu pada kasus ini, $M_m = 0$, $M_a = M$, $T_m = T$, dan $T_a = 0$ (Khurmi, 2005).

Sehingga dengan adanya 4 kriteria kegagalan kelelahan maka terdapat 4 metode perhitungan yang dapat digunakan untuk mencari diameter *shaft* yang dibutuhkan. Dibawah ini persamaan dari metode-metode tersebut.

Goodman

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (2.10)$$

Gerber

$$d = \left(\frac{8n \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[1 + \frac{2 \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} S_e}{\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} S_{ut}} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (2.11)$$

ASME-elliptic

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{1/3} \quad (2.12)$$

Soderberg

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_y} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (2.13)$$

Adapun penjelasan simbol pada persamaan-persamaan diatas terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Simbol persamaan perhitungan diameter

Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
d	Diameter Shaft (m)	T_a	Torsi ayun (N.mm)
n	Safety Factor	T_m	Torsi rata-rata (N.mm)
K_f	Faktor lelah konsentrasi tegangan untuk bending	S_y	Yield Strength (Pa)
K_{fs}	Faktor lelah konsentrasi tegangan untuk torsi	S_{ut}	Ultimate Tensile Strength (Pa)
M_a	Momen bending ayun (N.mm)	S_e	Endurance Strength (Pa)
M_m	Momen bending rata-rata (N.mm)	-	-

Kemampuan *shaft* dapat ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Perilaku defleksi *shaft* terbagi menjadi dua, yakni defleksi bending (*bending deflection*) dan defleksi torsi (*torsional deflection*). Analisa defleksi dapat dilakukan dengan mudah, namun tetapi cukup panjang untuk dilakukan dengan manual, terlebih lagi apabila untuk titik berganda. Karena itu, secara praktik semua defleksi as dapat dievaluasi menggunakan bantuan software. Semua program dasar yang berbasis elemen hingga dapat mengatasi hal ini.

Defleksi bending pada sistem *simply supported beam* dapat ditemukan menggunakan rumus perpindahan (*displacement*). Rumus *displacement* dapat ditemukan menggunakan Persamaan 2.12.

$$Y_{AB} = \frac{Fx}{48EI} (4x^2 - 3l^2) \quad (2.14)$$

Dimana Y_{max} adalah perpindahan defleksi (m), F adalah gaya yang bekerja (N), l adalah panjang *shaft* (m), x adalah titik defleksi yang ingin diuji (m), E adalah modulus elastisitas (Pa), dan I adalah momen inersia (m^4).

Sedangkan defleksi torsi dapat ditemukan menggunakan rumus sudut putar (*angle of twist*). Rumus *angle of twist* dapat ditemukan menggunakan Persamaan 2.13.

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (2.15)$$

Dimana θ adalah sudut putar (radian), T adalah torsi (N.m), l adalah panjang *shaft* (m), G adalah modulus geser (Pa), dan J adalah momen inersia polar (m^4). Nilai putaran yang diizinkan tidak melebihi dari $0,25^\circ$ per meter dari panjang as. Untuk as yang mentransmisikan putaran, defleksi sebesar 2,5 sampai 3 derajat per meter panjang dapat dijadikan nilai limit (Khurmi, 2005).

Defleksi tidak dipengaruhi oleh kekuatan material, akan tetapi dipengaruhi oleh kekakuan yang direpresentasikan oleh *modulus of elasticity*, yang pada dasarnya berlaku konstan pada semua baja. Karena itu, kekakuan (*rigidity*) tidak dapat dikontrol dengan pemilihan material, akan tetapi dengan penentuan geometri. Peningkatan kekuatan melalui perlakuan panas dan kandungan paduan yang tinggi kadang kala juga tidak menjamin. Kegagalan kelelahan berkurang secara sedang dengan naiknya kekuatan, dan hanya beberapa saat saja sebelum efek dari limit ketangguhan dan *notch sensitivity* mulai untuk menetralkan kembali keuntungan dari tingginya nilai kekuatan (Budynas, 2010).

Kapanun ketika komponen mesin berubah bentuk penampangnya, maka distribusi tegangan tidak lagi sama dari sebelumnya. Ketidakbiasaan dalam distribusi tegangan ini disebabkan oleh perubahan yang mendadak disebut *stress*

concentration. Ini terjadi pada semua jenis tegangan yang dihasilkan oleh *fillet*, *notches*, *holes*, *splines*, dan lain lain.

Notches atau takik seringkali terdapat pada komponen machine, terutama as. Sensitifitas takik atau *notch sensitivity* dapat didefinisikan dengan Persamaan 2.15 dan 2.16.

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (2.16)$$

$$q = \frac{K_{fs} - 1}{K_{ts} - 1} \quad (2.17)$$

dimana K_t dan K_{ts} adalah faktor konsentrasi tegangan teoritikal. Apabila sebuah komponen mesin tidak memiliki takik sama sekali maka nilai $q = 0$ sehingga K_f dan K_{fs} bernilai 1.

Ketika as berputar, sentrifugal menyebabkan defleksi gaya, dimana akan diredam oleh kekakuan dari as. Selama nilai defleksi rendah, tidak akan menyebabkan ke bahaya. Masalah lainnya adalah kecepatan kritis (*Critical Speeds*). Pada kecepatan tertentu, as menjadi tidak stabil dengan defleksi semakin bertambah. As, dikarenakan bebannya sendiri, memiliki kecepatan kritikal. Mengestimasikan kecepatan kritikal merupakan tugas seorang yang mendesain. Apabila salah satu ujung as terhubung pada tumpuan dan ujung lainnya terdapat beban, maka kecepatan putar kritikal dapat ditemukan menggunakan Persamaan dibawah ini:

$$N_1 = 187,7 \sqrt{\frac{I}{\Delta_1}} \quad (2.18)$$

dimana N_1 adalah kecepatan putar kritikal (RPM), I adalah momen inersia (m^4), dan Δ_1 adalah defleksi statis (m).

2.8.3 Komponen Elektronik

Adapun komponen-komponen elektronik yaitu:

1. Selector Switch

Selector switch atau biasa disebut *rotary switch* adalah saklar yang dioperasikan/difungsikan dengan cara memutar. Saklar ini digunakan bila diperlukan lebih dari 2 posisi yang dipilih; seperti pada pemutus tegangan, motor kecil, saklar magnetic dan perangkat sejenisnya. Selain itu juga digunakan untuk transfer meter, instrument dan menggerakkan relay. Saklar ini pada umumnya terbuat dari bahan keras, biasanya plastic atau logam.

2. Panel Meter Digital

Panel meter digital digunakan untuk menampilkan sinyal input, dan mengukur arus, tegangan, dan frekuensi. Mereka dilengkapi dengan display LED terang untuk tampilan saja atau menyatel opsi titik kontrol.

3. Time Delay Relay

Time Delay Relay (TDR) adalah suatu piranti yang menggunakan electromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak saklar sering disebut juga relay timer atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi motor terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis.

2.8.4 Komponen Penggerak

Sistem transmisi daya biasanya akan ditentukan dengan kapasitas daya, seperti motor induksi 40-horsepower. Spesifikasi ini merupakan kombinasi dari torsi dan kecepatan yang bisa ditanggung. Dalam kasus yang ideal, daya yang masuk sama dengan daya yang keluar. Sehingga kita dapat menjadikan daya yang terjadi sama dengan daya pada sistem transmisi. Akan tetapi, terdapat kehilangan (*loss*) akibat beberapa factor seperti gesekan antara bantalan dan roda gigi.

Torsi biasanya tidak konstan dengan hasil yang dikeluarkan oleh sistem transmisi. Dikarenakan daya sama dengan hasil perkalian dari torsi dan kecepatan maka daya yang masuk sama dengan daya yang keluar, sehingga didapatkan Persamaan 2.19 dibawah ini:

$$P = \frac{T \cdot 2\pi \cdot N}{60} \quad (2.19)$$

dimana P adalah daya (watt), T adalah Torsi (N.m) dan N adalah putaran per menit (rpm).

Dengan daya yang konstan, ratio roda gigi untuk menurunkan kecepatan putar dapat meningkatkan torsi. Ratio roda gigi, dapat direpresentasikan dengan Persamaan 2.20.

$$e = \omega_o/\omega_i = T_i/T_o \quad (2.20)$$

Permasalahan yang biasanya sering muncul adalah menentukan daya, dengan kondisi tertentu, seperti kecepatan putar input dan kecepatan putar output ataupun torsi input dan torsi output. Toleransi biasanya digunakan untuk menentukan nilai output. Setelah menentukan spesifikasi roda gigi, maka hasil aktual dapat ditentukan (Budynas, 2010).

2.9 Simulasi Metode Elemen Diskrit

Suatu proses pada material tertentu memiliki dampak dalam biaya produksi di berbagai industry. Namun, biaya ini dapat diminimalisir dengan meningkatkan nilai hasil produk, efisiensi produksi, dan mengurangi sisa produk. Sehingga mendorong untuk melakukan suatu inovasi dan teknik operasi. Penghematan dengan jumlah besar dapat diakibatkan hanya dari sedikit peningkatan performa. Metode Elemen Diskrit merupakan salah satu alat untuk permodelan aliran dan proses.

Teknologi metode elemen diskrit adalah teknik numerik untuk model partikel bergerak dengan interaksi dengan partikel lain maupun lingkungan yang ada. Simulasi *Discrete Element Method (DEM)* dari suatu proses tertentu dapat mengakibatkan tercapainya representasi akurasi dari perilaku material dengan mendefinisikan sifat material yang berdampak pada perilaku material tersebut.

Faktanya, untuk memodelkan perilaku partikel dalam wadah mixing, metode elemen diskrit mensimulasikan setiap partikel

secara individu. Lalu secara numerik menghasilkan percepatan atas konsekuensi dari seluruh gaya, termasuk gaya kontak dan gaya gravitasi. Setiap langkah waktu dimulai dengan merekam posisi partikel dan mengevaluasi interaksi partikel. Lalu, semua gaya bekerja yang bekerja pada partikel dihitung dan hukum newton kedua digunakan untuk menghitung percepatan. Setelah itu, percepatan terintegrasi dengan waktu untuk menemukan posisi setiap partikel di kondisi yang baru. Proses ini berlangsung secara berulang sampai simulasi berakhir (Meysam, 2013).

2.9.1 Metode Lacey

Metode Lacey atau Index Lacey adalah salah satu analisis statistik untuk menentukan homogenitas dari suatu pencampuran. Metode ini dikembangkan oleh Lacey (1954). Metode Lacey biasa digunakan untuk pencampuran sistem biner. Berikut adalah persamaan matematis dari metode lacey:

$$M = \frac{VAR_O - VAR}{VAR_O - VAR_R} \quad (2.21)$$

dimana VAR adalah perbedaan dari campuran,

$$VAR = \frac{1}{k} \sum_{Ni}^k \left(\frac{n_i}{N_i} - P \right)^2 \quad (2.22)$$

VAR_O adalah perbedaan dalam sistem tersegregasi sempurna,

$$VAR_O = P(1 - P) \quad (2.23)$$

dan VAR_R adalah perbedaan dalam sistem tercampur sempurna.

$$VAR_R = P(1 - P)/N \quad (2.24)$$

dimana P adalah proporsi keseluruhan dari satu jenis partikel dalam sistem, k adalah jumlah total sel, n_i adalah jumlah salah

satu jenis partikel dalam sel i , N_i adalah jumlah total partikel dalam sel i , dan N adalah rata-rata jumlah partikel dalam sel.

Setelah *mixing index* didapatkan, maka waktu pencampuran untuk kualitas tertentu dapat ditemukan menggunakan Persamaan 2.26.

$$[1 - (M)] = e^{-Kt} \quad (2.25)$$

Untuk menghitung perbedaan campuran, wilayah campuran didiskritkan menggunakan sistem *mesh*, dimana setiap *mesh* merupakan partikel sel kubus dan diasumsikan sebagai sampel (Alian, 2015).

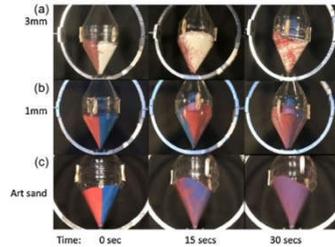
2.10 Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah daftar penelitian sebelumnya terkait pencampuran serbuk untuk menunjang penelitian kali ini:

Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Alexander, Shinbraat, dan Muzzio (2000)	<ul style="list-style-type: none"> • Container menggunakan bahan <i>acrylic</i> berbentuk <i>double-cone</i> • Kecepatan putar dengan rentang 8-40 rpm • Variasi ukuran manik-manik dengan ratio 4,3:1 dan 0,5:1 	 <ul style="list-style-type: none"> • Pola dari segregasi sangat kompleks, dengan transisi yang tergantung secara sensitif pada modifikasi • Dengan geometri dan aliran yang berbeda, kinetika jelas akan berbeda

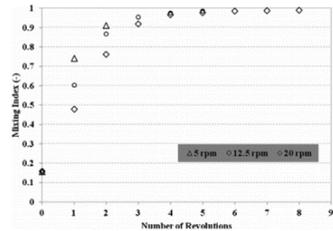
- 2 Cho, Zhu, Lewkowicz, Lee, dan Bergman (2012)
- Penelitian dilakukan dengan *bixial rotary mixer*
 - Variasi ukuran dilakukan dengan rentang 1 mm, 3mm dan 250 μ m



- 3 Volpato, Canu, dan Santomaso (2016)
- Penelitian dilakukan dengan geometri 2D
 - Variasi bentuk *mixer* dilakukan yaitu *drum*, *double-cone* dan *asymetric double-cone*
- Partikel micron dari makro lebih cepat tercampur dibandingkan manik ukuran 1mm dan 3mm karena manik memiliki perilaku kohesif yang ringan
 - Dari analisis temperatur rata-rata granular dan kecepatan konvektif pada lapisan aktif menunjukkan potensi pencampuran yang lebih baik terjadi di geometri yang asimetris

4 Alian,
Mozaffari,
Upreti, dan
Wu (2014)

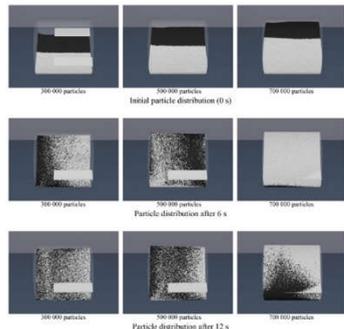
- Penelitian menggunakan Metode Elemen Diskrit
- Variasi kecepatan putar dilakukan dengan rentang 5,12,15, dan 20 rpm



- Kenaikan kecepatan putar dari *mixer* meningkatkan mixing index

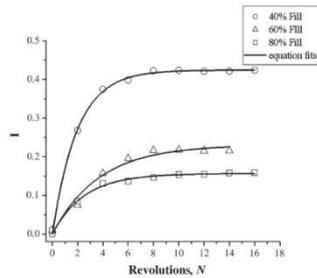
5 Basinkas
dan Sakai
(2016)

- Penelitian menggunakan Metode Elemen Diskrit
- Variasi *filling ratio* dengan rentang 30%, 50%, dan 70%



- Performa pencampuran akan meningkat dengan naiknya kecepatan primer pencampuran dan akan menurun dengan naiknya *filling ratio*

- 6 Aratia, Duang, Muzzio, Godbole, dan Reynolds (2005)
- Penelitian menggunakan Metode Elemen Diskrit
 - Variasi *fill level* dengan rentang 40%, 60%, dan 80%



- 7 Moakher, Shinbrat, dan Muzzio (1999)
- Penelitian menggunakan Metode Elemen Diskrit
 - Variasi geometri dengan bentuk *double-cone* dan *v-blender*
- Intensitas dan nilai segregasi akan lebih tinggi ketika pada *fill level* yang lebih rendah
 - Pelajaran dari penelitian pencampuran fluida adalah sebisa mungkin aspek simetri harus dijauhkan seperti: desain baffle yang tepat, gangguan temporal atau pembentukan kembali geometri tumbler

Penelitian dan pengembangan tentang proyektil *frangible* telah dilakukan sejak 2009 di Laboratorium Fisika Material ITS. Berikut adalah daftar hasil penelitian tersebut yang dapat menunjang penelitian ini:

Tabel 2.7 Penelitian proyektil *frangible*

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Anugraha dan Widyastuti (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Komposisi 5, 10, 15%Sn • P = 300, 400, 500 MPa • T = 260°C • h = 30 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Densitas 7,19-7,44 g/cm³ • Kekerasan 39-83 HRF • Kekuatan tekan 143,86 – 275,72 MPa
2	Firmansyah dan Widyastuti (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Komposisi Cu-12%Sn • Metode wet mixing T = 90°C selama 5 menit • Tekanan kompaksi 600 MPa selama 5 menit • T = 200, 300, 400, 500, 600°C • h = 30 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin tinggi temperatur sinter nilai <i>Frangibility Factor</i> makin rendah • Variasi Trmperatur sintering menghasilkan nilai FF paling besar adalah 200°C yaitu sebesar 9,34
3	Jhony dan Widyastuti	<ul style="list-style-type: none"> • Komposisi 10%Sn • P = 600 MPa • T = 300, 500, 700°C • h = 30,60, 90 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Densitas 7,19-7,44 g/cm³ • Kekerasan 21,33-60,67 HRF • Kekuatan tekan 204,4 – 796,25 MPa
4	Sulistya, F., Widyastuti,	<ul style="list-style-type: none"> • Desain proses produksi dan tata letak pabrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Desain proses produksi proyektil <i>frangible</i>

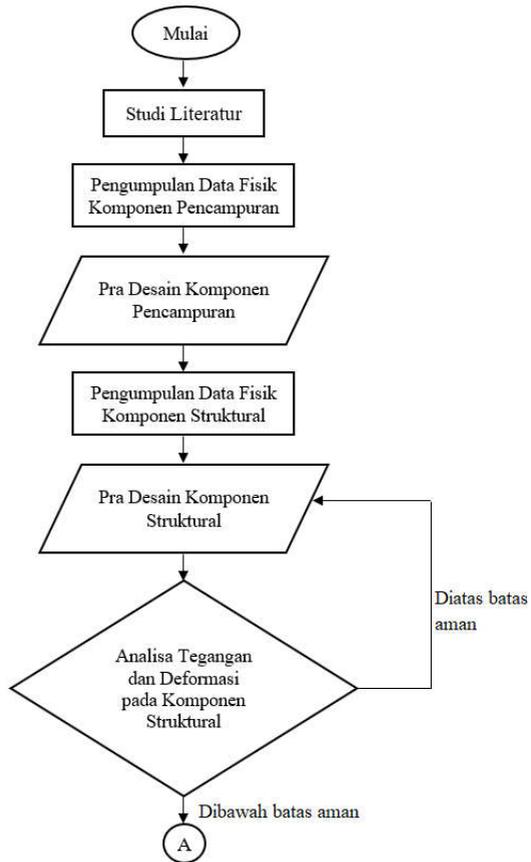
& Pratiwi, V.M. (2019)	proyektil <i>frangible</i> dengan metode metalurgi serbuk berkapasitas 50.000.000 butir/tahun • Metode pendekatan simulasi <i>production line</i> dengan <i>tecnomatix</i> <i>plant</i> <i>simulation</i>	berkapasitas 50.000.000 butir/tahun • Desain tata letak pabrik proyektil <i>frangible</i> berkapasitas 50.000.000 butir/tahun
---------------------------	--	---

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian kali ini yaitu:

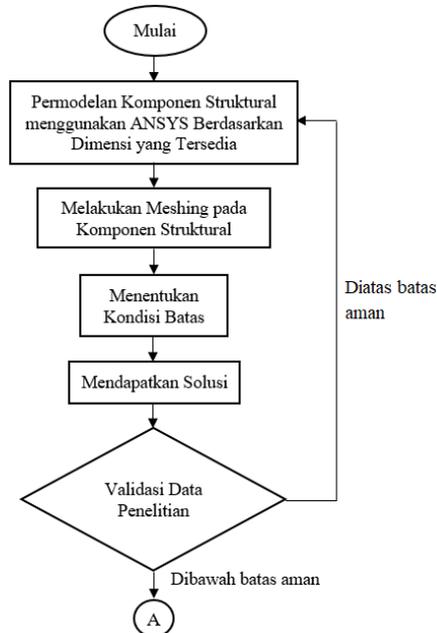
3.1.1 Diagram Alir Perancangan Mesin Pencampuran Serbuk Otomatis

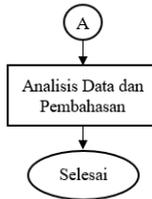




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

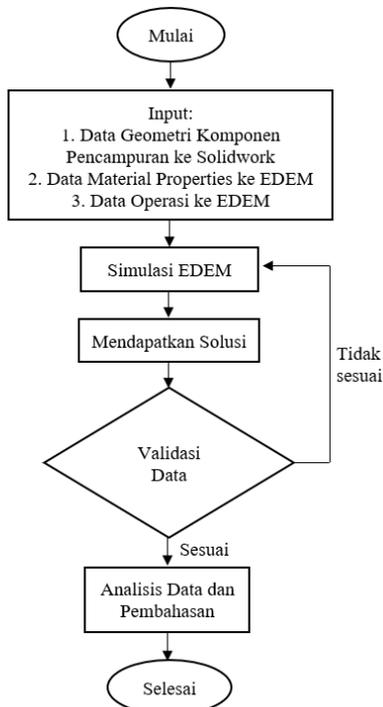
3.1.2 Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural





Gambar 3.2 Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural

3.1.3 Diagram Alir Permodelan Komponen Pencampuran

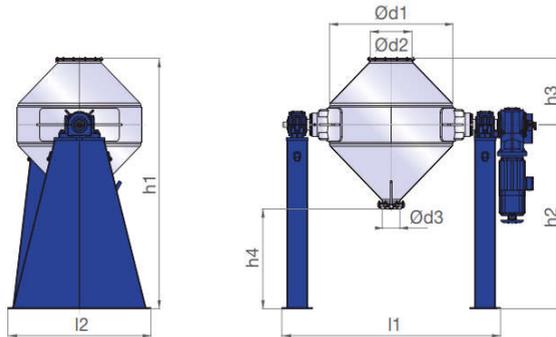


Gambar 3.3 Diagram Alir Permodelan Performa Pencampuran

3.2 Konsep Desain

Basis desain yang peneliti gunakan berdasarkan hasil *benchmarking* yang dilakukan kepada salah satu perusahaan manufaktur mesin pencampuran serbuk jenis *double-cone mixer*, yaitu *J.Engelsman AG*.

Seluruh dimensi atau ukuran yang akan dijadikan acuan penentuan geometri, dijelaskan pada Gambar 3.4 dan Tabel 3.1



Gambar 3.4 Gambar Teknik double-cone mixer produksi perusahaan J.Engelsman AG

Tabel 3.1 Dimensi rangka mesin double cone mixer produksi J.Engelsman AG

Model	Kapasitas Kerja (L)	Dimensi (mm)					
		l1	l2	h1	h2	h3	h4
DKM 100	70	1200	730	1450	950	500	500
DKM 200	140	1380	880	1700	1100	600	600
DKM 400	280	1660	1000	2030	1350	680	600
DKM 600	420	2540	1100	2150	1400	750	600
DKM 800	560	2960	1100	2320	1500	820	800

3.3 Pra Desain Komponen Pencampuran

Double-cone mixer merupakan salah satu jenis *mixer* dengan tipe *rotary vessel*. Prinsip dari tipe ini adalah menggunakan gaya gravitasi untuk menghasilkan campuran yang homogen. Selain itu, *double-cone mixer* memiliki aliran partikel yang lebih konstan dibandingkan jenis lain, dalam permukaan yang lebih seragam dan bekerja hamper secara kontinyu (Moakher, 1999).

3.3.1 Penentuan Kapasitas Perkloter

Penelitian ini dilakukan untuk merancang mesin pencampuran serbuk dalam aplikasi produksi proyektil *frangible*. Produksi proyektil *frangible* ini dilakukan dalam skala industri sehingga terdapat beberapa parameter yang harus ditinjau. Parameter tersebut tercantum dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter produksi proyektil *frangible*

Aspek	Nilai
Target Produksi	30.000.000 peluru/tahun
Hari Kerja	261 hari
Massa Campuran untuk 1 Peluru	5,3 gram
Durasi Operasi	60 menit
Durasi Loading	30 menit
Durasi Unloading	30 menit
Jumlah Operasi perhari	1
Densitas Campuran	8,47 g/cm ³
Fill Level	40%

3.3.2 Penentuan Geometri Wadah

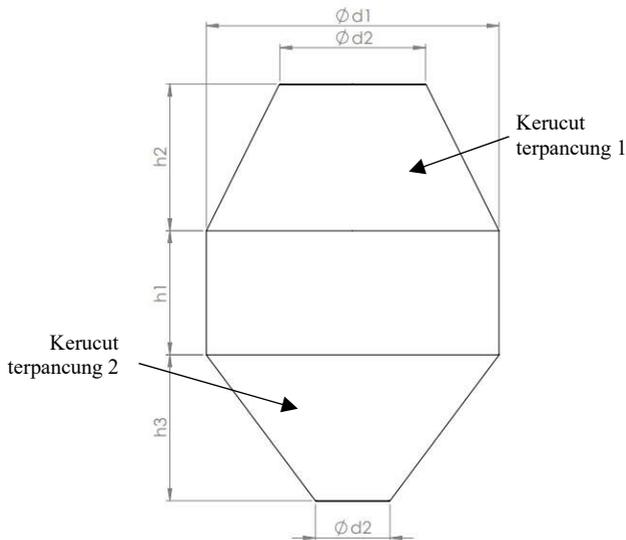
Setelah didapatkan kapasitas produksi perkloter, hasil tersebut menjadi acuan dalam penentuan geometri wadah. Volume *double-cone mixer* akan menyesuaikan kapasitas produksi perkloter. Secara ruang bangun, *Double-cone mixer* terdiri dari 2

kerucut terpancung dan 1 silinder. Volume ketiga ruang bangun tersebut akan menjadi volume *double-cone mixer*.

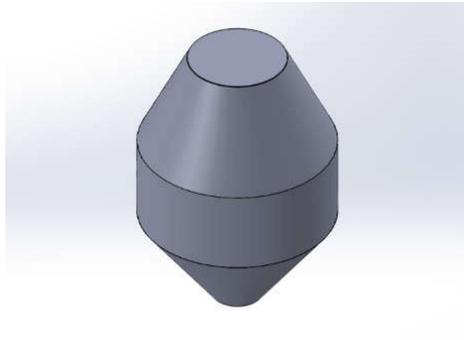
Perhitungan untuk mencari volume kerucut dan silinder, menggunakan rumus dasar ruang bangun, secara berurut, ditunjukkan pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2.

$$V_{\text{kerucut terpancung}} = \frac{1}{3}\pi t(R^2 + Rr + r^2) \quad (3.1)$$

$$V_{\text{silinder}} = \pi r^2 t \quad (3.2)$$



Gambar 3.5 Gambar teknik desain double cone mixer



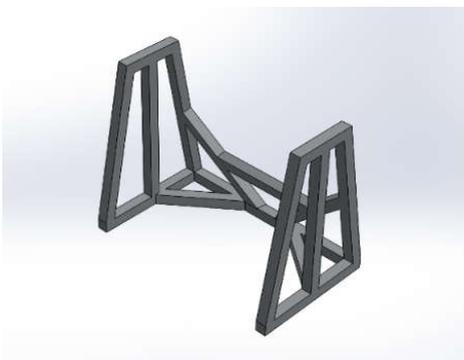
Gambar 3.6 Desain 3D double cone mixer

3.4 Pra Desain Komponen Struktural

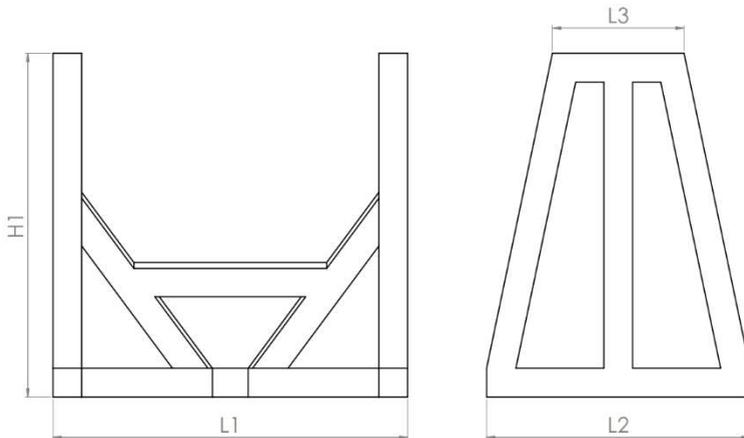
Komponen struktural dari mesin pencampuran serbuk jenis *double-cone mixer* terdiri dari *frame* dan *shaft*.

3.4.1 Penentuan Geometri Frame

Frame yang akan digunakan bergantung pada kapasitas produksi perkloter yang telah didapatkan. Dari hasil kapasitas produksi perkloter, akan ditemukan model yang adaptasi dari mesin pencampuran serbuk yang diproduksi oleh perusahaan *J.Engelsman AG*.



Gambar 3.7 Desain 3D rangka mesin mixer



Gambar 3.8 Gambar teknik desain rangka mesin mixer

Untuk menentukan dimensi dari rangka mesin *mixer*, terdapat penjelasan yang diuraikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Dimensi desain rangka mesin mixer (mm)

Kapasitas Kerja	L1	L2	L3	H1
70L	1200	730	365	950
140 L	1300	880	440	1100
280 L	1660	1000	500	1350
420 L	2540	1100	550	1400
560 L	2960	1100	550	1500

3.4.2 Penentuan Geometri Shaft

Shaft atau as berbentuk silinder pejal yang berfungsi untuk menyambungkan wadah dengan rangka. Dimensi yang dibutuhkan adalah panjang dan diameter. Untuk penentuan panjang dari *shaft*, bergantung pada dimensi rangka yang digunakan. Untuk

penentuan diameter dari *shaft*, dibutuhkan perhitungan dengan tahapan dibawah ini:

Pertama mencari momen bending yang bekerja pada *shaft*, dapat menggunakan Persamaan 2.1. Kemudian mencari torsi yang bekerja pada *shaft*, dapat menggunakan Persamaan 2.2.

Setelah menentukan material untuk shaft, maka perhitungan diameter dapat dilakukan. Terdapat 4 metode sesuai dengan masing-masing kriteria kegagalan kelelahan. Untuk metode *Goodman* menggunakan Persamaan 2.10, metode *Gerber* menggunakan Persamaan 2.11, metode *ASME elliptic* menggunakan Persamaan 2.12, dan metode *Soderberg* menggunakan Persamaan 2.13.

3.5 Penentuan Komponen Penggerak

Untuk menentukan komponen penggerak, membutuhkan perhitungan daya yang dibutuhkan agar *mixer* dapat berputar. Komponen penggerak dikatakan valid ketika daya yang dihasilkan lebih besar dari daya yang dibutuhkan.

3.5.1 Penentuan Daya yang Dibutuhkan

Langkah pertama untuk penentuan daya yang dibutuhkan adalah mengetahui kecepatan putar kritikal yang bekerja. Untuk mengetahui hal tersebut dapat melalui perhitungan menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.18.

Setelah mendapatkan kecepatan putar kritikal, maka dapat ditemukan daya yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan 2.19.

3.5.2 Penentuan Komponen Penggerak

Pada penelitian ini, komponen penggerak primer adalah motor induksi 3 fasa. Pemilihan motor induksi 3 fasa bergantung pada spesifikasi kerja dari motor tersebut. Biasanya, spesifikasi motor induksi terdapat pada motor. Daya menjadi pertimbangan utama untuk menentukan komponen penggerak pada penelitian ini.



Gambar 3.9 Ilustrasi Komponen Penggerak

Secara teori, validasi dilakukan membandingkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan *mixer* dengan daya yang dihasilkan oleh komponen penggerak. Apabila daya yang dihasilkan lebih besar dari daya yang dibutuhkan, maka *mixer* dapat berputar.

3.6 Simulasi dan Analisa Tegangan pada Komponen Struktural

Simulasi pada rangka dengan menggunakan *Ansys Workbench*. Metode Elemen Hingga atau Finite Element Method (FEM) atau Analisa Elemen Hingga atau Finite Element Analysis (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau membag objek yang kompleks kedalam bagian-bagian kecil yang teratur. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan deformasi dari rangka mesin. Setelah proses simulasi, didapatkan data berupa spektrum warna berdasarkan tegangan dan deformasi yang terjadi.

Pada simulasi kali ini kondisi batas yang digunakan adalah:

1. Tidak ada pengaruh eksternal (panas dll.)
2. Material bersifat isotropic
3. Besar dan arah beban bergantung pada gaya dari pembebanan



Gambar 3.10 Logo ANSYS

Untuk mengetahui kelayakan dari geometri yang telah didapatkan maka dilakukan perhitungan defleksi. Defleksi shaft dibagi menjadi 2 jenis yaitu *bending deflection* dan *torsional deflection*. Defleksi bending dapat dilakukan dengan menghitung displacement saat terkena pembebanan. Hal ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.14. Sedangkan untuk defleksi torsional dapat dilakukan dengan mencari sudut putar atau *angle of twist* dari sistem yang bekerja. Hal ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.15. Nilai kedua defleksi ini dapat dibandingkan dengan nilai defleksi yang didapatkan oleh simulasi menggunakan Ansys Workbench. Selain itu simulasi juga dapat mengetahui apakah tegangan yang terjadi melebihi batas tegangan atau tegangan yang diizinkan.

3.7 Simulasi dan Analisa Performa Pencampuran Serbuk

Simulasi performa pencampuran serbuk dilakukan menggunakan software RockyDEM. Metode Elemen Diskrit atau Discrete Element Metode (DEM) adalah salah satu dari metode numerik untuk menghitung gerak dan efek partikel kecil dalam jumlah yang besar. Dalam analisis DEM, objek dikondisikan menyerupai sifat asli dari partikel agar efek yang didapatkan mendekati dengan eksperimen secara langsung.



Gambar 3.11 Logo RockyDEM

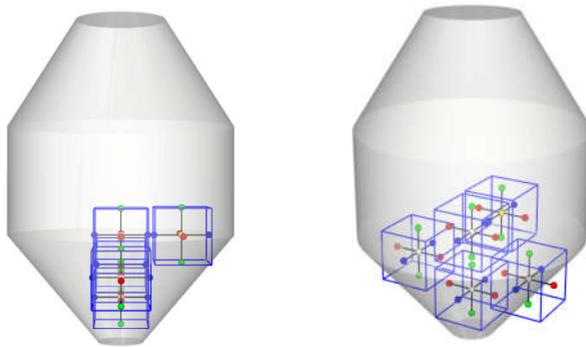
Pencampuran serbuk yang disimulasikan adalah pencampuran Cu, Sn, dan Zinc Stearate. Pada simulasi ini terdapat beberapa parameter yang digunakan agar hasil sesuai dengan pencampuran aktual. Parameter tersebut terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter simulasi performa pencampuran serbuk

Material	Parameter	Nilai
Cu	Ukuran	20 mm
	Densitas	8,96 g/cm ³
	<i>Young's Modulus</i>	110 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,34
Sn	Ukuran	19 mm
	Densitas	7,365 g/cm ³
	<i>Young's Modulus</i>	510 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,08
Zinc Stearate	Ukuran	15 mm
	Densitas	1,1 g/cm ³
	<i>Young's Modulus</i>	100 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,25
SS 304	Densitas	8 g/cm ³
	<i>Shear Modulus</i>	86 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,29

Simulasi dilakukan dengan pengaturan *fill level* sebesar 40% dan metode *initial loading* yang digunakan adalah *top-bottom loading*. Simulasi divariasikan berdasarkan kecepatan putar yang akan digunakan. Variasi kecepatan putar adalah 7,5 ; 15 ; dan 22,5 RPM. Geometri yang digunakan pada simulasi adalah geomtri komponen pencampuran yang telah ditentukan.

Hasil dari simulasi ini berupa kualitas pencampuran yang ditemukan berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 2.21. Kualitas pencampuran ini didapatkan dengan melakukan pengambilan sampel pada 5 titik acak yang sama untuk setiap simulasi. Sampel berbentuk sel persegi berukuran 10x10x10 cm. Lokasi titik sampel digambarkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Lokasi pengambilan sampel

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Komponen Pencampuran

Pendesainan komponen pencampuran mengacu kepada kapasitas produksi yang akan dikerjakan. Hal ini bertujuan untuk mengefektifkan fungsi dari mesin *double cone mixer* itu sendiri. Selain itu, geometri yang akan digunakan mengacu kepada hasil dari *benchmarking* kepada salah satu perusahaan pembuat mesin *double-cone mixer*, yaitu *J.Engelsman AG*.

4.1.1 Penentuan Kapasitas Produksi Perkloter

Untuk melakukan penentuan kapasitas perkloter, digunakan data yang terdapat pada Tabel 3.2 sebagai data awal. Data-data tersebut sebagai berikut:

1. Target produksi : 30.000.000 peluru/tahun
2. Hari kerja : 261 Hari
3. Massa untuk 1 peluru : 5,3 gram
4. Jumlah operasi perhari : 1 kali
5. Densitas Campuran : 8,47 g/cm³
6. Fill level : 40%

Massa campuran yang harus dihasilkan setiap harinya dapat diketahui melalui penurunan massa target produksi dibagi merata pada tiap hari kerja. Massa dari target produksi dapat diketahui melalui massa perpeluru yang dibutuhkan untuk produksi *frangible bullet*. Hal tersebut dijabarkan pada perhitungan berikut dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Target Produksi Perhari} &= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Hari Kerja}} \\ \text{Target Produksi Perhari} &= \frac{30.000.000 \text{ peluru}}{261 \text{ hari}} \\ \text{Target Produksi Perhari} &= 114.943 \text{ peluru} \end{aligned}$$

Dikarenakan jumlah operasi perhari sebanyak 1 kali, maka jumlah massa campuran untuk 1 operasi sama dengan jumlah massa campuran untuk 1 hari.

$$\begin{aligned} & \text{Massa Campuran Perkloter} \\ & = \text{Target Produksi Perhari} \times \text{Massa 1 Peluru} \\ \text{Massa Campuran Perkloter} & = 114.943 \text{ peluru} \times 5,3 \text{ gram} \\ \text{Massa Campuran Perkloter} & = 609.195 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan volume/kapasitas perkloter maka menggunakan rumus dasar densitas. Dibawah ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan kapasitas perkloter:

$$\begin{aligned} \text{Volume Perkloter} & = \frac{\text{Massa Campuran Perkloter}}{\text{Densitas Campuran}} \\ & = \frac{609.195 \text{ gram}}{8,47 \text{ gr/cm}^3} \\ \text{Volume Perkloter} & = 71.918 \text{ cm}^3 = 71,918 \text{ L} \approx 72 \text{ L} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan pengaturan *fill level* sebesar 40% selama operasi, maka kapasitas komponen pencampuran dijabarkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kapasitas komponen pencampuran

Jenis Kapasitas	Volume (L)
Produksi	72
Total	180

4.1.2 Penentuan Geometri Komponen Pencampuran

Untuk menentukan geometri dari komponen pencampuran, penulis menggunakan hasil *benchmarking* basis desain salah satu produsen mesin *double-cone mixer* yaitu *J.Engelsman AG*.

Dari hasil benchmarking tersebut didapatkan beberapa perbandingan untuk menentukan geometri komponen pencampuran yang terdapat pada Tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2 Perbandingan Antar Diameter

Tipe Mesin	Kapasitas Kerja (L)	Perbandingan		
		D1	D2	D3
DKM 100	70	4	2	1
DKM 200	140	5,2	2	1
DKM 400	280	4,75	2	1
DKM 600	420	5,5	2	1
DKM 800	560	6,25	2	1
Rata-rata		5,14	2	1

Tabel 4.3 Perbandingan diameter terluar dan tinggi

Tipe Mesin	Kapasitas Kerja (L)	Perbandingan	
		D1	H
DKM 100	70	1	1,583333333
DKM 200	140	1	1,41025641
DKM 400	280	1	1,505263158
DKM 600	420	1	1,409090909
DKM 800	560	1	1,216
Rata-rata		1	1,42

Dari Tabel 4.2 dan 4.3, yang berasal dari data benchmarking, didapatkan rata-rata perbandingan antar diameter sebesar 5,14 : 2 : 1 dan rata-rata perbandingan diameter terluar dengan tinggi sebesar 1 : 1,42. Dua perbandingan ini menjadi dasar untuk selanjutnya menentukan geometri komponen pencampuran.

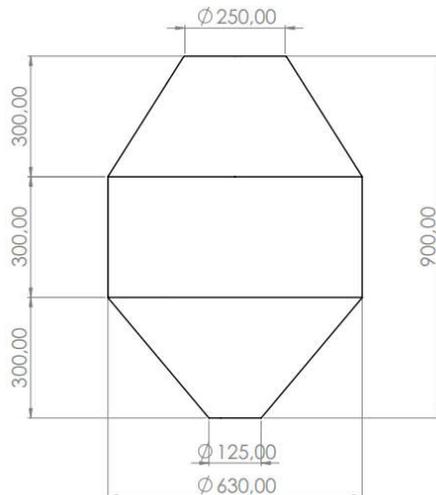
Diketahui pada Tabel 4.1 bahwa kapasitas produksi dan kapasitas total komponen pencampuran yang dibutuhkan sebesar 72 liter dan 180 liter. Secara bangun ruang, *double-cone mixer* dapat dibagi menjadi 3 bangun ruang yaitu 1 silinder dan 2 kerucut

terpancung. Untuk menghitung volume kedua bangun ruang tersebut, dapat menggunakan Persamaan 3.1 dan 3.2.

Dengan Persamaan 3.1 dan 3.2, dan perbandingan yang didapatkan dari hasil *benchmark*, melalui metode *trial-and-error*, maka geometri komponen pencampuran yang dibutuhkan terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Geometri komponen pencampuran

Geometri	Nilai (mm)
Diameter 1	630
Tinggi 1	300
Diameter 2	250
Tinggi 2	300
Diameter 3	125
Tinggi 3	300



Gambar 4.1 Gambar teknik komponen pencampuran

Sebagai validasi, perhitungan volume komponen pencampuran menggunakan Persamaan 3.1 dan 3.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_{\text{silinder}} &= \pi r^2 t \\V_{\text{silinder}} &= \pi(315)^2(300) \\V_{\text{silinder}} &= 93.517.359,32 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{kterpancung}} &= \frac{1}{3}\pi t(R^2 + Rr + r^2) \\V_{\text{kterpancung}_1} &= \frac{1}{3}\pi (300) ((315)^2 + (315)(125) + (125)^2) \\V_{\text{kterpancung}_1} &= 48.451.212,7 \text{ mm}^2 \\V_{\text{kterpancung}_2} &= \frac{1}{3}\pi (300) ((315)^2 + (315)(62,5) + (62,5)^2) \\V_{\text{kterpancung}_2} &= 38.584.648,27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{TOTAL}} &= V_{\text{silinder}} + V_{\text{kterpancung}_1} + V_{\text{kterpancung}_2} \\V_{\text{TOTAL}} &= 93.517.359,32 \text{ mm}^2 + 48.451.212,7 \text{ mm}^2 \\&\quad + 38.584.648,27 \text{ mm}^2 \\V_{\text{TOTAL}} &= 180.053.220,3 \text{ mm}^2 \\V_{\text{TOTAL}} &= 180,0532203 \text{ Liter}\end{aligned}$$

Selain itu, pada Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan antara geometri komponen pencampuran dan geometri basis desain perusahaan *J.Engelsman AG*.

Geometri komponen pencampuran pada Tabel 4.4 telah mendukung penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Volpato (2016), dimana didapatkan hasil bahwa pencampuran lebih baik akan didapatkan pada mixer yang memiliki kecenderungan geometri asimetris dibandingkan dengan geometri simeris.

Tabel 4.5 Perbandingan geometri komponen pencampuran

Geometri	Antar Diameter	Diameter Terluar dengan Tinggi
Basis Desain <i>J.Engelsman</i>	5,14 : 2 : 1	1 : 1,425
Komponen Pencampuran	5,04 : 2 : 1	1 : 1,429

4.2 Desain Komponen Struktural

Komponn struktural terbagi menjadi dua bagian, yaitu *Shaft* (As) dan *Frame* (Rangka). Pendesainan *frame* mengacu kepada hasil *benchmarking J.Engelsman AG*. Sedangkan pendesainan *shaft*, melalui perhitungan teoritis sesuai dengan kondisi yang terjadi.

4.2.1 Penentuan Geometri Frame Mesin Mixing

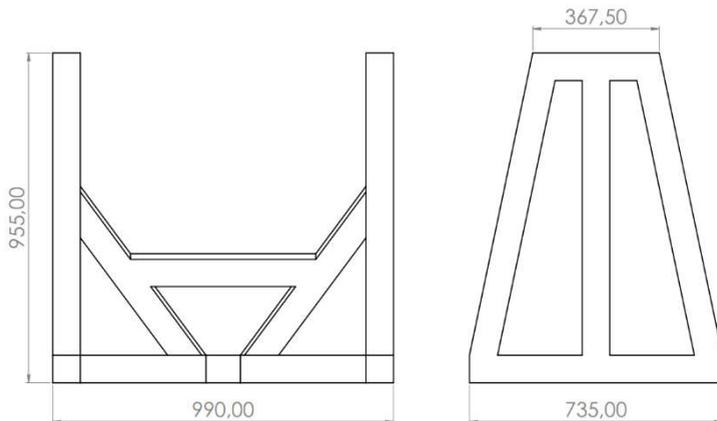
Geometri *frame* yang akan didesain mengacu kepada hasil *benchmark* yang telah dilakukan terhadap perusahaan *J.Engelsman AG*. Hasil *benchmark* terhadap komponen struktural, khususnya *frame*, dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Mesin *mixer* yang akan digunakan memiliki kapasitas kerja sebesar 72 Liter. Untuk mendapatkan dimensi *frame* yang sesuai pada hasil *benchmark*, maka dilakukan interpolasi pada data yang telah didapatkan.

Tabel 4.6 Geometri Frame

Geometri	Nilai (mm)
L1	990
L2	735
L3	367,5
H	955

Pada proses *assembly* nantinya, rangka mesin akan menahan beban komponen pencampuran melalui as yang terkoneksi dengan rangka. Untuk mengurangi kecenderungan momen bending yang terjadi, maka lebar dari rangka diminimalisir dengan mempertimbangkan proses fabrikasi mesin secara utuh. Sehingga didapatkan geometri *frame* yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.



Gambar 4.2 Gambar teknik desain rangka mesin mixer

Dalam rancangan manufaktur, rangka dari mesin *mixer* akan menggunakan bahan baja *stainless steel* 304 (SS304). Jenis baja yang digunakan adalah baja *hollow* profil persegi dengan panjang sebesar 80x80mm dan tebal 2mm. Adapun sifat mekanik dari baja *stainless steel* 304 ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Sifat mekanik SS304

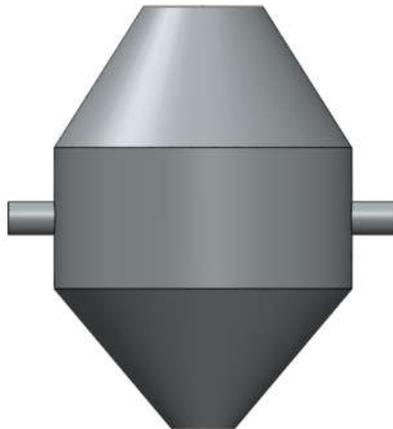
Densitas (g/cm ³)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Shear Modulus (GPa)
8	215	505	193-200	86



Gambar 4.3 Baja hollow profil persegi

4.2.2 Penentuan Geometri Shaft Mesin Mixing

Dalam desain mesin *double-cone mixer*, *shaft* akan menahan komponen pencampuran dengan bertumpu pada *frame*. Sehingga terdapat 2 buah *shaft* yang akan dibutuhkan. Ilustrasi sistem ini terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Ilustrasi sistem mesin mixing

Untuk mendapatkan momen bending dan torsi yang bekerja pada *shaft*, dibutuhkan beban yang dikenakan pada *shaft* itu sendiri. Beban yang dikenakan pada *shaft* terdiri dari 2 beban, yaitu massa campuran serbuk dan massa dari komponen pencampuran itu sendiri. Untuk massa campuran serbuk, penulis menggunakan

kapasitas 80% *fill level* untuk mengoptimalkan kemampuan kerja dari mesin *double-cone mixer*. Sehingga massa campuran serbuk dapat diketahui melalui perhitungan berikut:

$$V_{80\%} = 144 \text{ Liter}$$

$$\text{Massa Campuran Serbuk} = V_{80\%} \times \text{Densitas campuran}$$

$$\text{Massa Campuran Serbuk} = 143.835 \text{ cm}^3 \times 8,47 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Massa Campuran Serbuk} = 1.218390,80 \text{ gram}$$

Sedangkan untuk berat komponen pencampuran dapat diketahui melalui perhitungan berikut:

$$\text{Luas Permukaan Komponen Pencampuran}$$

$$= 15.496,56 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volume Selimut Komponen Pencampuran}$$

$$= 15.496,56 \text{ cm}^2 \times 0,2 \text{ cm}$$

$$\text{Volume Selimut Komponen Pencampuran} = 3099,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa Selimut Komponen Pencampuran}$$

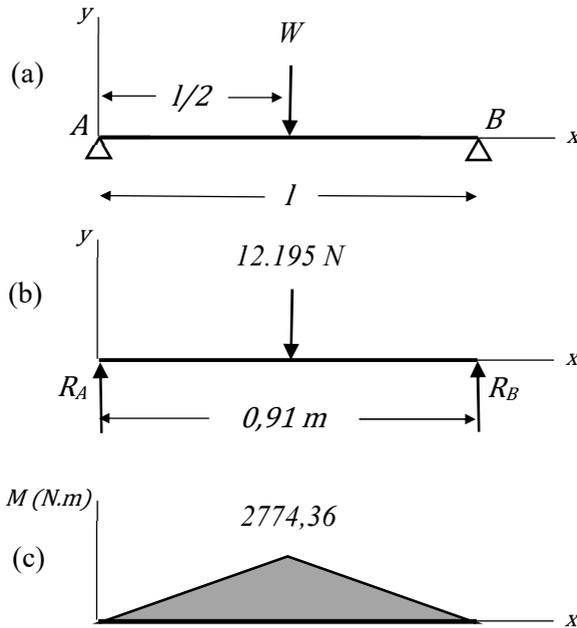
$$= 3099,31 \text{ cm}^3 \times 8 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Massa Selimut Komponen Pencampuran}$$

$$= 24.794,498 \text{ gram}$$

Sehingga berat total yang bekerja adalah 1243,185 kg.

Pada mesin *double-cone mixer* ini, *shaft* akan mendapatkan beban dari berat campuran serbuk dan komponen pencampuran. Pembebanan ini terjadi pada salah satu ujung *shaft*. Sedangkan pada ujung *shaft* lainnya, terdapat bearing yang berguna sebagai titik tumpu *shaft* terhadap rangka. Agar memudahkan perhitungan, maka *free body diagram* yang bekerja pada sistem dijelaskan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 (a) Sistem momen bending; (b) *Free-body diagram* momen bending; (c) Diagram momen bending

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 ; \sum F_x = 0 \\ R_A &= R_B = \frac{F}{2} \\ R_A = R_B &= \frac{\left(1243.185 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}{2} \\ R_A = R_B &= 6.097,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Menggunakan Persamaan 2.1, maka momen bending yang bekerja dapat diketahui melalui perhitungan berikut:

$$M_{AB} = \frac{F \cdot x}{2}$$

$$M_{AB} = \frac{12.195,65 \text{ N} \cdot 0,455 \text{ m}}{2}$$

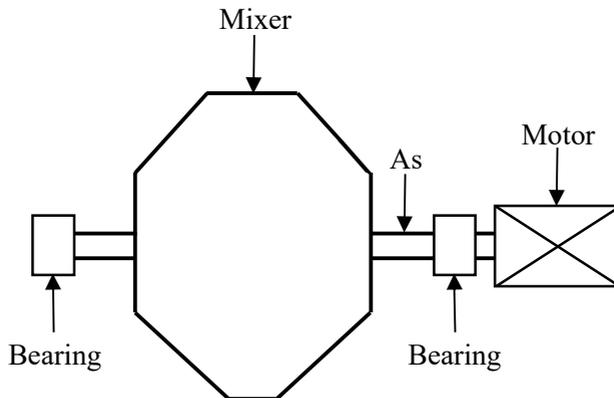
$$M_{AB} = 2.774,50 \text{ N} \cdot \text{m}$$

As yang akan digunakan di kedua sisi *mixer* memiliki panjang sebesar 0,14 m. Sehingga momen bending yang terjadi pada as:

$$M_{as} = \frac{12.195,65 \text{ N} \cdot 0,14 \text{ m}}{2}$$

$$M_{as} = 853,69 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Dalam mesin *double-cone mixer* ini, torsi dibutuhkan untuk memutar komponen pencampuran. Torsi akan diakomodir oleh komponen penggerak dan ditransmisikan oleh *shaft*. Penjelasan ini tergambarakan pada Gambar 4.6 agar memudahkan perhitungan yang dilakukan.



Gambar 4.6 Ilustrasi Sistem Penggerak Mesin

Putaran yang dibutuhkan mengacu kepada hasil *benchmark* sesuai dengan kapasitas kerja *mixer* adalah 20 rpm. Dengan mengasumsikan daya yang dihasilkan motor adalah 4,5 kW, maka torsi yang bekerja pada as:

$$T = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot N}$$

$$T = \frac{(4500 \text{ w}) \cdot 60}{2\pi \cdot (20 \text{ rpm})}$$

$$T = 2148,60 \text{ N.m}$$

Material yang digunakan untuk *shaft* dalam rancangan mesin *mixer* ini adalah JIS G4051. Pemilihan material ini dikarenakan memiliki sifat yang tepat untuk *shaft*, seperti ketahanan pakai, ketangguhan, dan kekerasan. Di industri sendiri, JIS G4051 telah banyak digunakan sebagai bahan manufaktur bola bearing, bola baja, as, dan beberapa bagian mekanik lainnya. Sifat mekanik dari JIS G4051 dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Sifat mekanik JIS G4051

Densitas (gr/cm ³)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Endurance Strength (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Modulus Geser (GPa)
7,85	343	569	284,5	205	80

Dengan menggunakan nilai *factor of safety* sebesar 2,5 dan mengasumsikan faktor konsentrasi kegagalan kelelahan untuk momen bending dan torsi sebesar 2, maka perhitungan untuk menentukan diameter *shaft* dari masing-masing metode sebagai berikut:

$$A = \sqrt{4(K_f \cdot M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$A = \sqrt{4((2) \cdot (853,69 \text{ Nm}))^2 + 3((2) \cdot (0))^2}$$

$$A = 3414,78$$

$$B = \sqrt{4(K_f \cdot M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

$$B = \sqrt{4((2) \cdot (0))^2 + 3((2)(2148,60 \text{ Nm}))^2}$$

$$B = 7442,94$$

Goodman

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{A}{S_e} + \frac{B}{S_{ut}} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16(2,5)}{\pi} \left\{ \frac{(3414,78)}{(284,5 \times 10^6)} + \frac{(7442,94)}{(569 \times 10^6)} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,06836 \text{ m} = 68,36 \text{ mm}$$

Gerber

$$d = \left(\frac{8nA}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{8(2,5)(3414,78)}{\pi(284,5 \times 10^6)} \left\{ 1 + \left[1 + \left(\frac{2(7442,94)(284,5 \times 10^6)}{(69,98)(569 \times 10^6)} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,0638 \text{ m} = 63,80 \text{ mm}$$

ASME-elliptic

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[\frac{A^2}{S_e^2} + \frac{B^2}{S_y^2} \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16(2,5)}{\pi} \left[\frac{(3414,78)^2}{(284,5 \times 10^6)^2} + \frac{(7442,94)^2}{(343 \times 10^6)^2} \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0,0681 \text{ m} = 68,10 \text{ mm}$$

Soderberg

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{A}{S_e} + \frac{B}{S_y} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16(2,5)}{\pi} \left\{ \frac{(3414,78)}{(284,5 \times 10^6)} + \frac{(7442,94)}{(343 \times 10^6)} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,07543 \text{ m} = 75,43 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan diameter dari keempat metode kriteria kegagalan kelelahan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan diameter shaft

Metode	Diameter (mm)	Perbandingan dengan Metode Goodman
Goodman	68,36	-
Gerber	63,80	6,7% lebih beresiko
ASME-elliptic	68,10	0,4% lebih beresiko
Soderberg	75,43	10% lebih aman

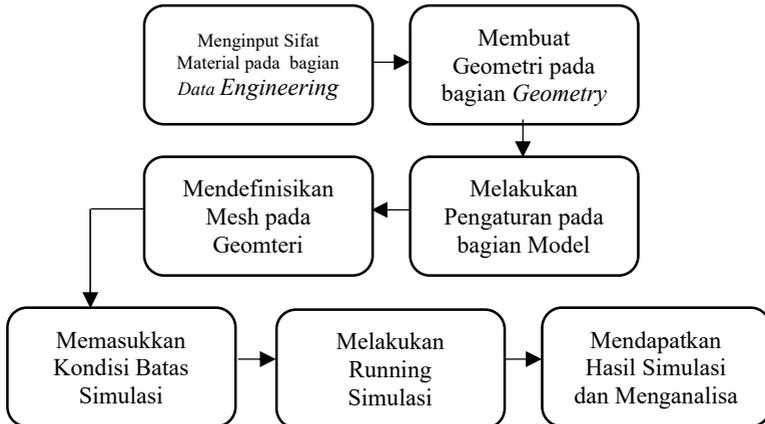
Dari hasil perhitungan diameter yang telah didapatkan, maka diameter *shaft* yang digunakan pada mesin *double-cone mixer* adalah 76 mm.

4.3 Validasi Desain Komponen Struktural menggunakan Metode Elemen Hingga

Setelah didapatkan spesifikasi untuk komponen struktural pada mesin *double-cone mixer*, maka untuk mengetahui kelayakan menggunakan komponen tersebut dibutuhkan validasi desain. Validasi desain komponen struktural pada mesin *double-cone mixer* menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software Ansys Workbench.

Secara keseluruhan, tahapan simulasi menggunakan Ansys Workbench terdapat pada Gambar 4.7. Pada simulasi ini menggunakan kondisi *isotropic* dimana sesuai dengan kondisi riil

mesin, dimana sifat mekanik dan thermal memiliki besar yang sama disegala arah.



Gambar 4.7 Flowchart simulasi ansys workbench

4.3.1 Validasi Desain Shaft Mesin Mixing

Shaft sebagai bagian dari komponen struktural harus memiliki kemampuan menahan beban dan penerus putaran agar komponen pencampuran dapat bekerja. Kedua hal ini menjadikan *shaft* sebagai komponen penting dalam mesin *mixer*. Selain menahan beban saat mesin *mixer* belum berputar, *shaft* juga diharuskan tahan terhadap torsi yang bekerja saat mesin *mixer* bekerja.

Pada komponen *shaft* dapat terjadi perilaku defleksi. Perilaku defleksi tersebut kemudian dianalisa sesuai dengan kelayakan penggunaan atau faktor keamanan yang digunakan. Perilaku defleksi terbagi menjadi dua, yaitu defleksi bending (*bending deflection*) dan defleksi torsi (*torsional deflection*). Perilaku defleksi ini dapat ditemukan dengan 2 cara, yaitu cara perhitungan manual dan metode elemen hingga menggunakan software Ansys Workbench.

Secara perhitungan, defleksi bending dapat ditemukan menggunakan rumus *displacement* pada Persamaan 2.14. Perhitungan ini dijelaskan dibawah sebagai berikut:

$$Y_x = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$Y_x = \frac{(12.195,64 N)(0,14 m)}{48(205 \times 10^9 \text{ Pa})(1,6377 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}(4(0,14 m)^2 - 3(0,91)^2)$$

$$Y_x = 2,5491 \times 10^{-4} \text{ m} = 2,5491 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

Validasi desain terhadap perilaku defleksi dengan cara simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench. Material yang digunakan adalah JIS G4051 dengan sifat mekanik yang sesuai dengan Tabel 4.8. Kemudian menetapkan tumpuan pada kedua ujung as dan titik tengah dikenakan beban dengan arah sumbu y negatif sebesar 12.195,64N. Kondisi simulasi tersebut terdapat pada Gambar 4.8 (a).

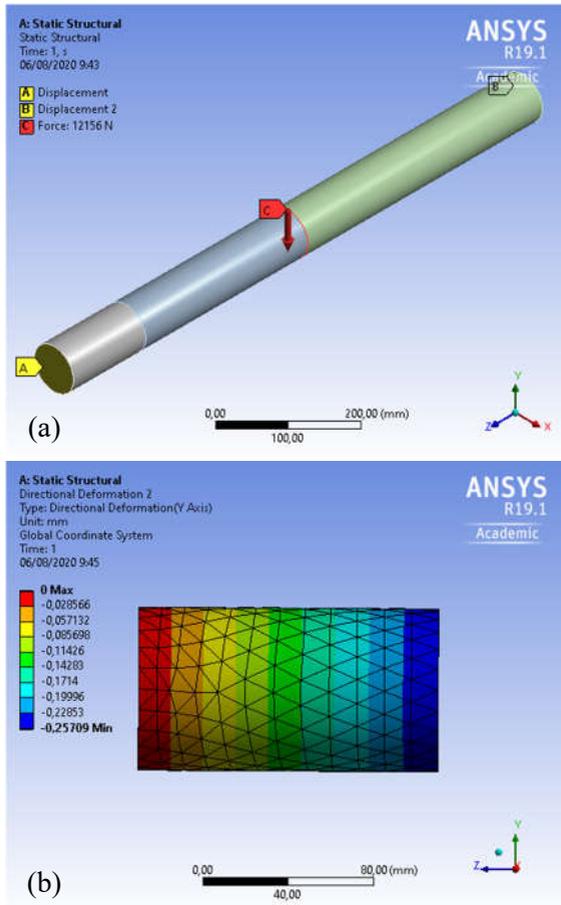
Didapatkan hasil bahwa deformasi pada titik 0,14 m yang terjadi sebesar $2,57 \times 10^{-1}$ mm. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.8 (b).

Setelah defleksi bending disimulasikan, maka perbandingan nilai defleksi secara teoritis dan defleksi secara simulasi terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan nilai defleksi bending

Jenis Defleksi	Hasil Perhitungan (mm)	Hasil Simulasi (mm)	Persentase Selisih (%)
Defleksi Bending	$2,55 \times 10^{-1}$	$2,57 \times 10^{-1}$	1

Dari hasil perhitungan dan simulasi didapatkan bahwa defleksi yang terjadi sangat kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa desain shaft aman dari defleksi bending.



Gambar 4.8 Simulasi bending deflection; (a) kondisi batas simulasi, (b) hasil simulasi

Untuk defleksi torsi (*torsional deflection*), secara perhitungan, dapat ditemukan menggunakan rumus *angle of twist*

pada Persamaan 2.15. Perhitungan ini dijelaskan dibawah sebagai berikut:

$$\theta = \frac{Tl}{GJ}$$

$$\theta = \frac{(2148,60 \text{ N.m})(0,14 \text{ m})}{(80 \times 10^9 \text{ Pa})(3,27 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}$$

$$\theta = 0,00114799 \text{ rad}$$

Validasi desain terhadap perilaku defleksi torsi dengan cara simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench. Material yang digunakan adalah JIS G4051 dengan sifat mekanik yang sesuai dengan Tabel 4.8. Kemudian tumpuan terdapat pada salah satu ujung *shaft* dan ujung lainnya dikenakan beban Torsi sebesar 2148,60 N.m. Kondisi simulasi tersebut terdapat pada Gambar 4.9 (a).

Didapatkan hasil bahwa sudut putar yang terjadi sebesar $4,33 \times 10^{-5}$ m atau apabila dikonversi menjadi 0,00113821 rad. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.9 (b).

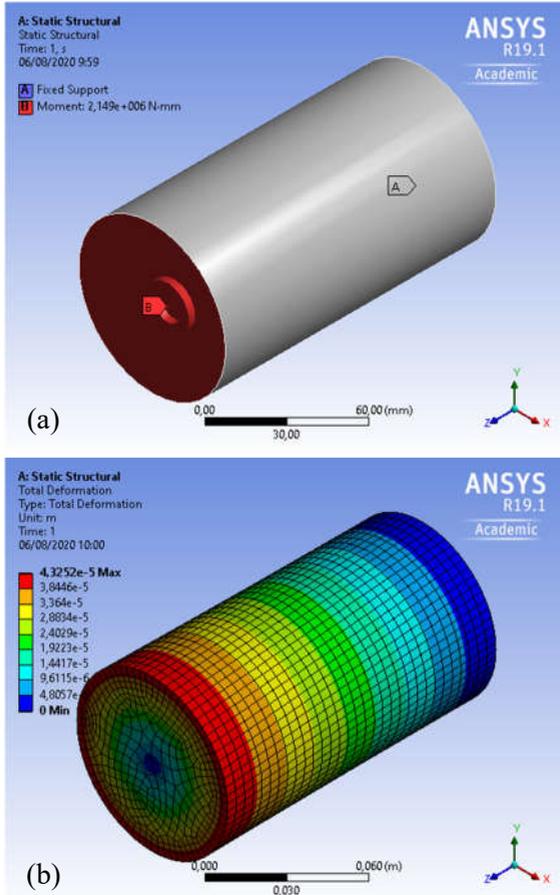
Setelah defleksi torsional disimulasikan, maka perbandingan nilai defleksi secara teoritis dan defleksi secara simulasi terdapat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan nilai defleksi torsional

Jenis Defleksi	Hasil Perhitungan (rad)	Hasil Simulasi (rad)	Persentase Selisih (%)
Defleksi Torsional	0,00114799	0,00113821	1

Sehingga dapat dikatakan bahwa desain shaft aman dari defleksi torsional. Menurut Khurmi (2005), bahwa sebuah as tidak boleh memiliki *angle of twist* sebesar 0,25 derajat atau 0,00436 radian. Dari hasil perhitungan dan simulasi didapatkan bahwa

angle of twist yang terjadi sangat kecil dan tidak melebihi batas aman.



Gambar 4.9 Simulasi bending torsional; (a) kondisi batas simulasi (b) hasil simulasi

4.3.2 Validasi Desain Rangka Mesin Mixing

Rangka merupakan bagian dari komponen struktural yang memiliki fungsi menahan beban saat proses pencampuran. Beban yang harus diatasi oleh rangka terbagi menjadi 4 beban, yaitu beban *pillow block bearing*, *shaft*, komponen pencampuran dan campuran serbuk. Beban campuran serbuk yang menjadi perhitungan adalah beban limit dari campuran dimana sebesar 80% *fill level*.

Secara perhitungan, untuk mengetahui bahwa rangka mampu dapat menahan beban maka harus mengetahui tegangan maksimal yang akan terjadi. Tegangan maksimal yang terjadi dapat diketahui menggunakan Persamaan 2.3 dimana dibutuhkan nilai momen bending maksimum dan *section modulus* dari baja *hollow* profil persegi.

Pembebanan terhadap rangka terjadi pada bagian atas rangka dengan beban sebesar 6168 N. Dengan asumsi bahwa tegangan maksimal didapatkan pada daerah yang terkena beban maksimum dan setiap titik di bagian atas memiliki pembebanan yang sama, maka *free-body diagram* sistem tersebut terdapat pada Gambar 4.10 b. Dari *free-body diagram* tersebut, diketahui momen bending terbesar terdapat pada titik tengah. Perhitungan ini dijabarkan sebagai berikut:

$$M_{max} = \frac{W \cdot x}{2}$$

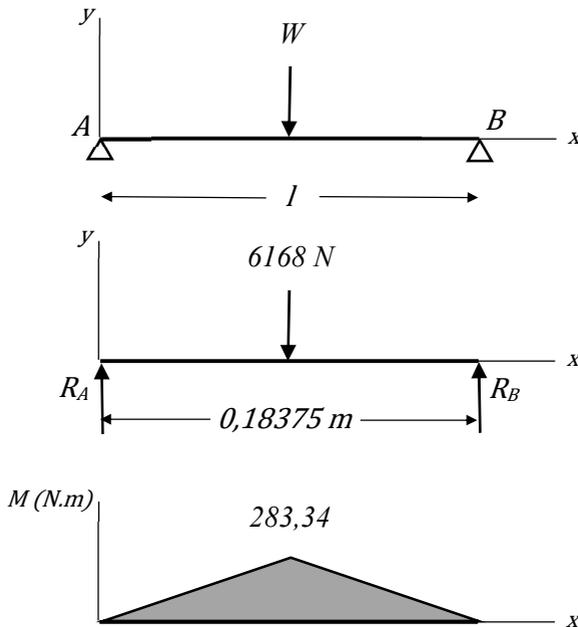
$$M_{max} = \frac{6168 \text{ N} \cdot 0,091875 \text{ m}}{2}$$

$$M_{max} = 283,345 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Perhitungan *section modulus* dari baja *hollow* profil persegi dapat menggunakan Persamaan 2.4.

$$Z = \frac{b^4 - h^4}{6b} = \frac{(0,08)^4 - (0,076)^4}{6(0,08)}$$

$$Z = 1,58 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$



Gambar 4.10(a) Sistem pembebanan bagian atas rangka, (b) *Free-body diagram* bagian atas rangka (c) Diagram momen bending bagian atas rangka

Apabila nilai momen bending maksimal dan *section modulus* dari baja *hollow* profil persegi telah ditemukan, maka tegangan maksimal dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} = \frac{283,34 \text{ N.m}}{1,58 \times 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{max} = 17,900 \text{ Pa} = 17,90 \text{ MPa}$$

Validasi desain rangka terhadap pembebanan ini juga dapat dilakukan dengan cara simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench. Material yang digunakan adalah SS304 dengan sifat mekanik yang sesuai dengan Tabel 4.7. Tumpuan rangka terletak pada sisi bawah rangka dan pembebanan dilakukan pada sisi atas rangka dimana letak bearing akan ditempatkan. Kondisi simulasi ini terdapat pada Gambar 4.11 (a).

Setelah simulasi dilakukan, didapatkan bahwa tegangan maksimal yang diterima sebesar 13,85 MPa. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.11 (b).

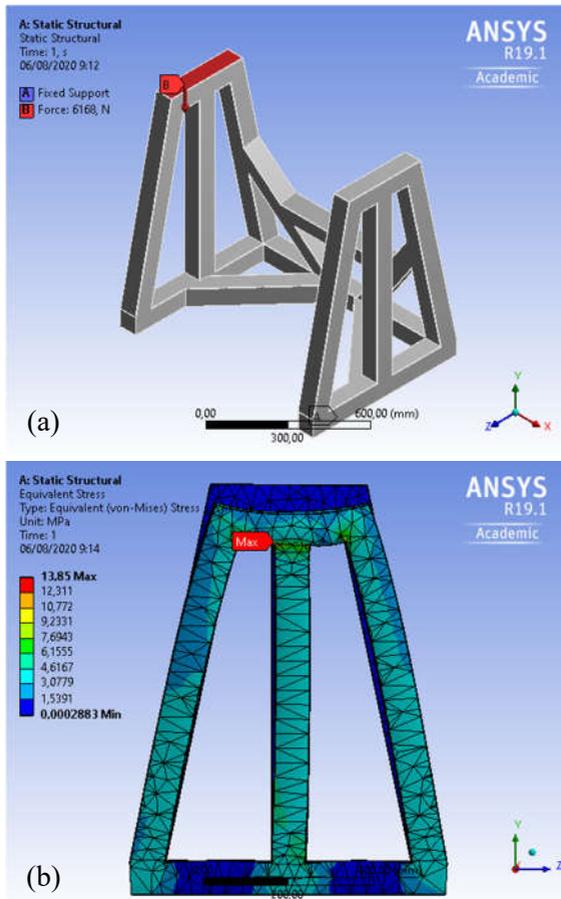
Tabel 4.12 Hasil validasi pembebanan desain rangka

Tegangan maksimal perhitungan (MPa)	Tegangan maksimal simulasi (MPa)	Tegangan yang diizinkan (MPa)	Persentase Selisih (%)
17,90	13,85	86	23 %

Perbedaan hasil dari perhitungan dan simulasi dikarenakan teori yang memiliki perbedaan dengan kondisi simulasi. Pada perhitungan teoritis, penulis menggunakan konsep *free-body diagram* terkecil dari komponen, yaitu setengah dari bagian atas rangka. Sedangkan simulasi dilakukan dengan secara seluruh komponen. Hal ini mengakibatkan perbedaan distribusi beban pada komponen. Selain itu juga, pemilihan *mesh* yang tidak sesuai dapat menghasilkan hasil yang berbeda.

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, tegangan yang terjadi tidak melebihi dari tegangan yang diizinkan dengan safety

factor 2,5. Dengan hal ini dapat dikatakan bahwa desain dari rangka aman atau valid.



Gambar 4.11 Simulasi pembebanan rangka; (a) kondisi batas simulasi, (b) hasil simulasi

4.4 Penentuan Komponen Penggerak

Kecepatan putar merupakan aspek yang mempengaruhi hasil atau kualitas dari pencampuran. Menurut Basinkas (2016), performa pencampuran akan meningkat dengan naiknya kecepatan putar pencampuran. Agar mendapatkan performa pencampuran yang terbaik maka dibutuhkan kondisi operasi dengan kecepatan putar yang tepat. Namun hal ini tidak akan mudah didapatkan, karena kondisi yang berbeda, seperti jenis mixer, material yang dicampurkan, *filling ratio* dapat berpengaruh terhadap sistem yang berlaku. Dikarenakan hal ini, dalam perancangan mesin *mixer*, variasi kecepatan putar sebesar mungkin harus disediakan.

Di sisi lain, kecepatan putar yang bekerja juga harus mempertimbangkan kemampuan komponen-komponen pada mesin mixer, dalam hal ini adalah *shaft*. *Shaft* dalam mesin *mixer*, berfungsi sebagai penahan beban dan penerus putaran dari komponen penggerak sehingga komponen pencampuran dapat berputar. Kecepatan putar memiliki batas kritis tergantung pada kondisi *shaft*, seperti jenis, ukuran dan material yang digunakan. Maka dari itu, dalam perancangan mesin *double-cone mixer* ini, harus diketahui kecepatan putar kritis yang mampu bekerja pada sistem. Untuk menghitung kecepatan putar kritis, dapat menggunakan Persamaan 2.18.

$$N_1 = 187,7 \sqrt{\frac{I}{\Delta_1}}$$
$$N_1 = 187,7 \sqrt{\frac{1,64 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{2,55 \times 10^{-4}}}$$
$$N_1 = 15,04 \text{ RPM} \approx 15 \text{ RPM}$$

Setelah mendapatkan kecepatan putar kritis maka dapat ditentukan kecepatan putar maksimum operasi. Dalam industri, seringkali ditemukan bahwa kecepatan putar maksimum operasi

tidak lebih dari 75% kecepatan putar kritis. Mengacu hal tersebut maka kecepatan putar maksimum operasi sebesar 11,25 RPM.

Dengan kecepatan putar maksimum sebesar 11,25 RPM, maka daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin mixer adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{T n}{9,55}$$
$$H = \frac{(2148,60 \text{ N.m})(11,25 \text{ RPM})}{9,55}$$
$$H = 2531,06 \text{ watt} = 2,54 \text{ kW}$$

Mengetahui daya yang tersedia pada motor induksi dapat dilakukan dengan cara melihat spesifikasi yang tersedia pada komponen ataupun informasi melalui perusahaan pembuat. Seperti pada salah satu jenis perusahaan produksi motor, maka motor induksi yang digunakan yaitu dengan daya 3 kW. Torsi yang dihasilkan adalah 40,87 N.m dan kecepatan putar 700 rpm.

Torsi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin mixer adalah 2148,60 N.m. Untuk meningkatkan torsi, maka dibutuhkan *gearbox* yang berfungsi sebagai menurunkan kecepatan putar dan meningkatkan torsi. Spesifikasi *gearbox* yang dibutuhkan dapat diketahui melalui Persamaan 2.20.

$$e = \omega_o/\omega_i = T_i/T_o$$

$$e = T_i/T_o$$

$$e = \frac{40,87 \text{ Nm}}{2148,60 \text{ Nm}} = 0,0190218$$

$$e = \omega_o/\omega_i$$

$$0,02 = \omega_o/700$$

$$\omega_o = 13,32 \text{ rpm}$$

Maka *gearbox* yang digunakan memiliki spesifikasi ratio gear sebesar 0,02 atau 1:20. Hal ini dikarenakan torsi output dan kecepatan putar yang dibutuhkan operasi mesin telah mampu diakomodir. Pemilihan spesifikasi motor induksi terdapat pada Lampiran 2.

4.5 Assembly Mesin Double Cone Mixer

Setelah perhitungan geometri dan simulasi validasi desain, maka dilakukan *assembly* dari komponen-komponen yang dibutuhkan. Dalam mesin *double-cone mixer* ini, terdapat 4 komponen inti, yaitu komponen pencampuran, komponen struktural, komponen penggerak, dan komponen elektronik.

4.5.1 Komponen Pencampuran

Komponen pencampuran merupakan bagian komponen dimana pencampuran akan terjadi. Sehingga bisa dikatakan sebagai komponen inti dimana fungsional mesin diemban oleh komponen ini. Tipe wadah pencampuran yang digunakan adalah *double-cone*.

Proses manufaktur yang dibutuhkan untuk membuat komponen ini meliputi *cutting*, *rolling* dan *welding*. Material dasar awalnya berbentuk lembaran yang nantinya akan melalui proses *cutting* untuk memudahkan pembentukan komponen. Selanjutnya, material yang sudah di-*cutting*, akan di-*rolling* dengan dimensi yang ditentukan. Penggabungan material-material yang telah di-*rolling* menggunakan proses *welding*

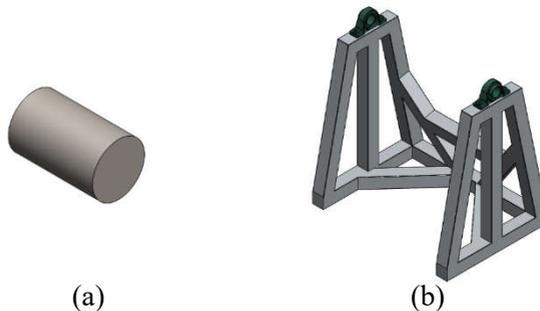
Sebagai tambahan, masing-masing ujung dari cone akan ditambahkan *flange* yang nantinya berfungsi sebagai pengunci atau pengait penutup dari wadah pencampuran. Bagian ini biasa dinamakan *access port* dan *discharge port*. Secara desain 3D, komponen pencampuran diilustrasikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Desain komponen pencampuran

4.5.2 Komponen Struktural

Komponen struktural memiliki fungsi utama menahan dari pembebanan, baik saat mesin tidak bekerja, maupun saat mesin bekerja. Pada mesin *double-cone mixer* ini, terdapat 2 komponen struktural, yaitu *shaft* dan *frame*.



Gambar 4.13 Desain komponen structural; (a) shaft, (b) frame

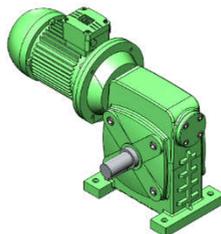
Proses manufaktur yang dibutuhkan untuk *shaft* hanya pemotongan material sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan bentuk silinder seperti *shaft*, mudah didapatkan di pasaran. Sedangkan untuk *frame*, dibutuhkan proses pemotongan dan pengelasan untuk menyatukan bagian satu sama lain.

Selain itu sebagai tambahan, terdapat *pillow block bearing* yang berfungsi sebagai menyambung antara *shaft* dengan rangka. Pemilihan *pillow block bearing* menyesuaikan dengan diameter *shaft* yang digunakan. Dan juga terdapat tempat (*mounting*) komponen penggerak yang lokasinya menyesuaikan dengan cara kerja komponen penggerak. Secara desain 3D, komponen struktural diilustrasikan pada Gambar 4.13.

4.5.3 Komponen Penggerak

Komponen penggerak memiliki tugas sebagai penggerak primer putaran pada mesin. Putaran akan diberikan kepada *shaft*, sehingga nantinya komponen pencampuran akan berputar dan proses pencampuran dapat terjadi.

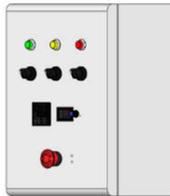
Dari analisa dan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan spesifikasi yang dibutuhkan adalah memiliki daya sebesar 2,54 Kw. Hal ini dikarenakan untuk memnuhi torsi yang bekerja pada sistem. Jenis komponen penggerak yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa. Motor induksi 3 fasa memiliki kelebihan seperti memiliki bentuk yang simple dan kuat, harga yang relative murah, efisiensi tinggi dan tenaga yang baik, dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Sehingga dirasa motor induksi 3 fasa menjadi komponen penggerak yang tepat untuk mesin *double-cone mixer*. Ilustrasi motor induksi 3 fasa terdapat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Desain motor induksi 3 fasa

4.5.4 Komponen Elektronik

Kualitas pencampuran dipengaruhi oleh beberapa aspek. Secara garis besar, aspek-aspek ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu aspek *raw material* dan aspek operasi. Dalam aspek *raw material*, kondisi yang terjadi telah tetap dimana bahan yang digunakan dalam pencampuran sudah ditentukan. Sedangkan untuk aspek operasi, terdapat beberapa aspek yang masih dapat berperan dalam mendapatkan kualitas campuran yang terbaik. Dalam hal ini, aspek tersebut adalah kecepatan putar dan durasi pencampuran. Kedua aspek ini dapat dibantu dengan adanya perangkat untuk mengatur hal tersebut.



Gambar 4.15 Desain panel control

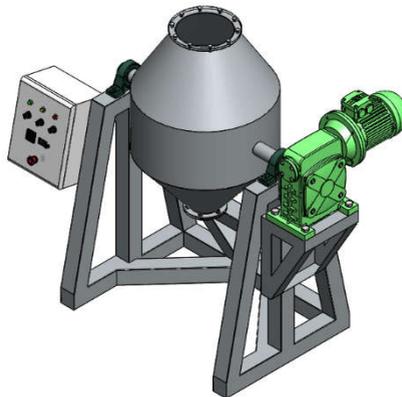
Pada mesin *double-cone mixer* ini, terdapat beberapa komponen elektronik, seperti *selector switch*, *time relay*, panel meter digital dan potensiometer. *Selector switch* memiliki fungsi kerja yaitu mengaktifkan dan menonaktifkan suatu operasi atau tindakan. Dalam panel kontrol, terdapat 3 *selector switch* dimana setiap unit memiliki fungsinya masing-masing. Pertama, mengaktifkan aliran listrik terhadap mesin, kedua mengaktifkan kerja motor sehingga komponen pencampuran akan berputar dan yang terakhir menentukan arah putaran. *Time relay* bertujuan untuk mengatur durasi operasi yang akan dilakukan. Panel meter digital di panel akan menunjukkan kecepatan putar yang terjadi. Sedangkan kecepatan putar yang bekerja diatur menggunakan potensiometer. Selain itu terdapat *emergency button* yang berfungsi menghentikan kerja mesin sebagai pencegahan hal yang tidak diinginkan. Adapun

ilustrasi dari komponen elektronik yang akan digunakan terdapat pada Gambar 4.15.

4.5.5 Assembly Total

Penggabungan dari masing-masing komponen menjadi satu kesatuan mesin membutuhkan beberapa metode penggabungan. Komponen pencampuran dan *shaft* akan digabungkan menggunakan metode pengelasan. Pada salah satu *shaft*, akan disambungkan dengan komponen penggerak. Untuk komponen elektronik, instalasi dilakukan dan menyesuaikan dengan kondisi dan bentuk mesin *double-cone mixer*.

Spesifikasi mesin *double-cone mixer* yang telah dianalisa dan didesain pada penelitian ini memiliki spesifikasi operasi pada Tabel 4.13. Desain 3D mesin *double-cone mixer* secara utuh terdapat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Desain mesin double cone mixer

Tabel 4.13 Spesifikasi mesin double cone mixer

Kapasitas Operasi	Fill Level	Kecepatar Putar
~144 Liter	~80%	~11,25 RPM

4.6 Simulasi Performa Pencampuran Serbuk menggunakan Metode Elemen Diskrit

Mesin pencampuran atau mesin *mixer* memiliki tujuan utama yaitu menggabungkan beberapa jenis partikel atau material menjadi satu kesatuan campuran yang memiliki kesempurnaan homogenitas. Setelah mesin *double-cone mixer* telah didesain secara menyeluruh, tahap selanjutnya adalah menemukan komposisi operasi yang terbaik untuk menghasilkan campuran berkualitas. Sebagai bentuk efisiensi penelitian, maka hal ini dapat ditemukan dengan menggunakan simulasi metode elemen diskrit.

Dalam penelitian ini, pendesainan mesin *mixer* dilakukan untuk aplikasi produksi *frangible bullet*. Bahan campuran yang digunakan adalah Cu (copper), Sn (lead), dan Zinc Stearate. Proporsi ini digunakan karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anugraha (2014), bahwa sifat mekanik yang paling mendekati dengan kriteria *frangible bullet* didapatkan campuran serbuk dengan proporsi tersebut. Proses pencampuran serbuk terjadi pada komponen pencampuran yang telah didesain dan memiliki geometri pada Tabel 4.4. Komponen pencampuran memiliki bahan SS304. Berbagai pengaruh dapat mengakibatkan perbedaan hasil simulasi metode elemen diskrit seperti sifat partikel, sifat mekanik komponen, dan interaksi antara partikel dengan partikel maupun partikel dengan permukaan batas. Parameter simulasi yang akan dilakukan terdapat pada Tabel 3.5.

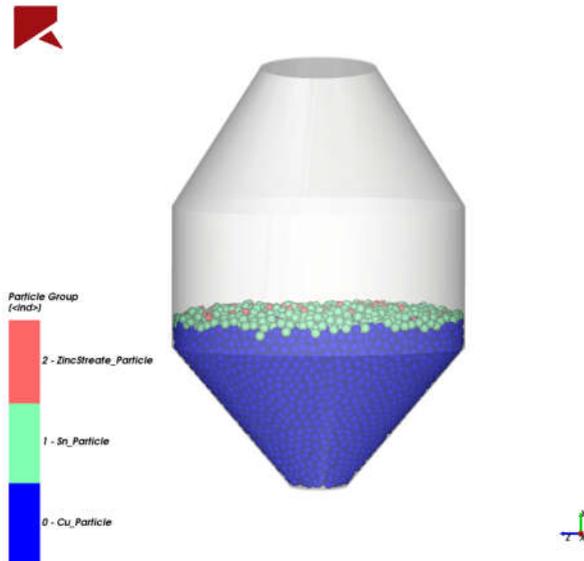
Selain aspek partikel, perbedaan hasil juga akan didapatkan apabila terdapat perbedaan parameter operasi yang dilakukan. Mesin *double-cone mixer* yang telah didesain memiliki variasi operasi yaitu *fill level* dan kecepatan putar. Kedua variasi operasi ini akan menjadi variabel kontrol yang akan dilihat pengaruhnya terhadap hasil pencampuran.

Pada penelitian ini, *fill level* yang digunakan sebesar 40%. Sedangkan variasi kecepatan putar yang digunakan sebesar 7,5; 15; dan 22,5 RPM. Pemilihan nilai variasi mengacu kepada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Kapasitas maksimal operasi adalah 80% dan kecepatan putar maksimal adalah 22,5 RPM.

Seluruh nilai variasi masih dalam batas yang mampu dilakukan oleh mesin *double-cone mixer*. Kondisi masing-masing simulasi terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.14 Kondisi simulasi performa pencampuran serbuk

Simulasi	Fill Level (%)	Kecepatan Putar (RPM)
1	40	7,5
2	40	15
3	40	22,5



Gambar 4.17 Kondisi pencampuran sebelum berputar

Selain itu, terdapat beberapa variabel tetap operasi yang akan digunakan pada simulasi ini. Pengisian bahan pencampuran menggunakan metode *top-bottom loading*. Pemilihan metode pengisian ini dikarenakan penelitian yang dilakukan oleh Alian (2015), bahwa metode *top-bottom loading* merupakan metode yang paling efektif dalam pencampuran serbuk. Hasil dari metode *loading* ini terdapat pada Gambar 4.17.

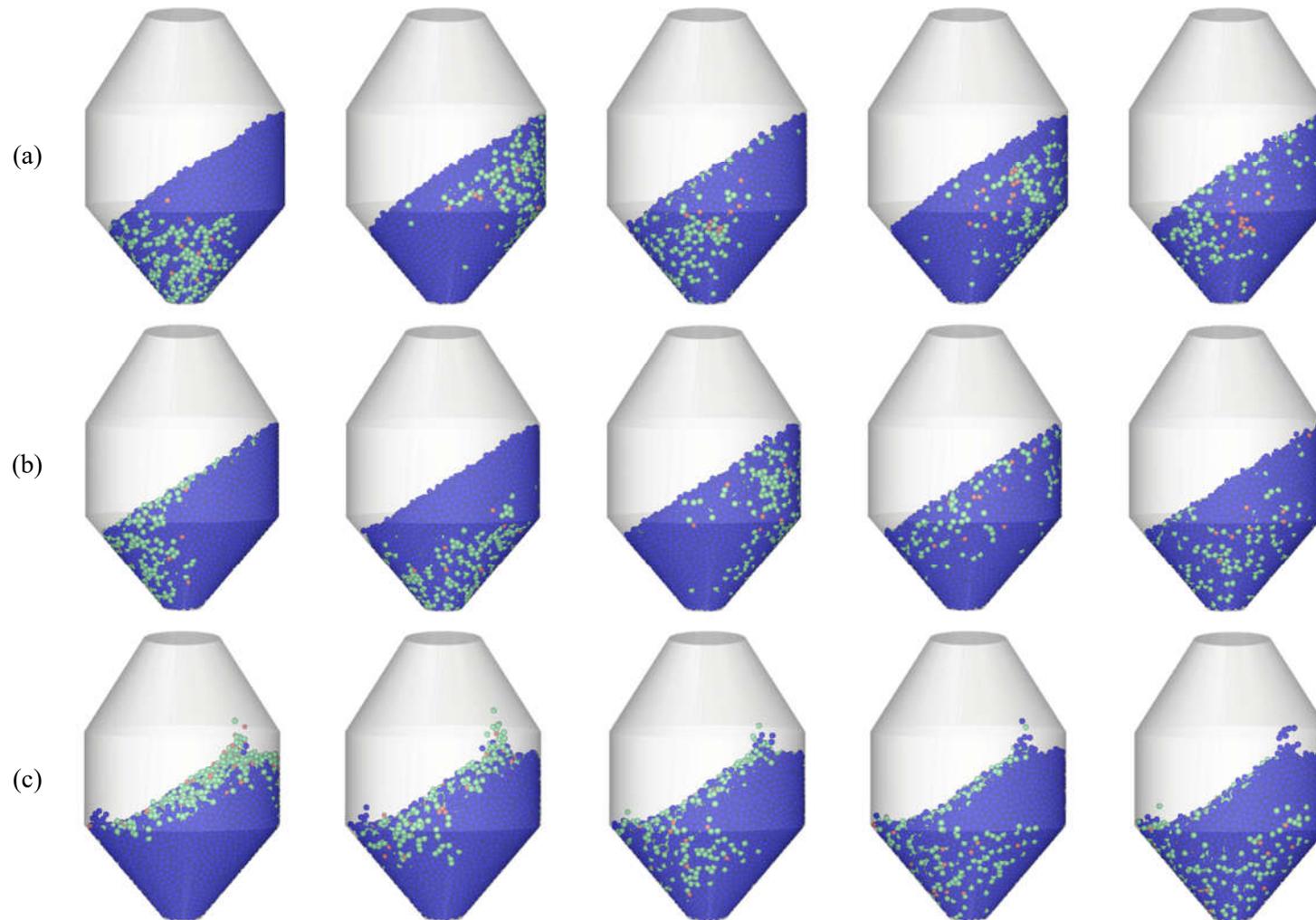
Waktu simulasi bervariasi dengan dasaran agar mendapatkan hasil jumlah putaran yang sama. Untuk kecepatan putar 7,5 rpm, waktu simulasi yang digunakan adalah 44s, kecepatan putar 15,5 rpm, waktu simulasi yang digunakan adalah 24 detik, dan kecepatan putar 22,5 rpm, waktu yang digunakan adalah 17,66 detik. Sehingga jumlah putaran untuk perbandingan antar simulasi berjumlah sama yaitu 5 putaran.

Hasil dari simulasi pencampuran untuk setiap variasi kecepatan putarnya dapat dilihat pada Gambar 4.18. Secara visual, kondisi campuran pada 3 simulasi memiliki perbedaan kondisi. Pada simulasi dengan kecepatan putar 7,5 rpm, partikel-partikel mengalami pergerakan secara teratur dibandingkan dengan simulasi kecepatan putar 15 rpm dan 22,5 rpm. Hal ini disebabkan oleh gaya sentrifugal yang semakin tinggi akibat kecepatan putar yang semakin meningkat.

Partikel *zinc stearate* cenderung mengalami pergerakan kebawah dan partikel Cu cenderung mengalami pergerakan ke atas. Menurut Maschke (2008), hal ini diakibatkan selama proses pencampuran terjadi agitasi. Agitasi ini disebabkan oleh perbedaan densitas dari partikel yang berbeda sehingga pencampuran serbuk dilatar belakangi oleh hal ini. Selain itu, bentuk *double-cone* pada mixer menjadi salah satu faktor penting terjadinya pencampuran. Saat komponen pencampuran berotasi, partikel-partikel membentur dinding komponen pencampuran secara kontinyu dan agitasi dalam pencampuran meningkat.

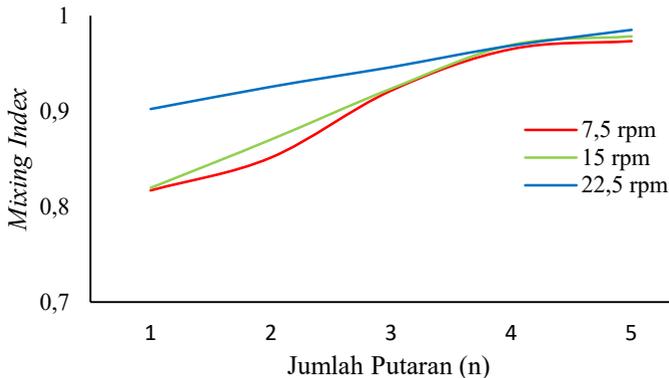
Dengan menggunakan Persamaan 2.21, maka kualitas pencampuran dapat diketahui. Kualitas pencampuran dari ketiga simulasi terdapat pada Gambar 4.19.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.18 Kondisi simulasi pencampuran pada 5 putaran pertama; (a) 7,5 rpm (b) 15 rpm (c) 22,5 rpm

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.19 *Mixing index* hasil simulasi

Dari hasil simulasi selama 5 putaran berturut-turut, nilai *mixing index* pada kecepatan putar 7,5 rpm adalah 0,81; 0,85; 0,92; 0,96; dan 0,97, nilai *mixing index* pada kecepatan putar 15 rpm adalah 0,81; 0,87; 0,92; 0,96 dan 0,97; dan nilai *mixing index* pada kecepatan putar 22,5 rpm adalah 0,90; 0,92; 0,94; 0,966; dan 0,98.

Kualitas pencampuran terbaik didapatkan oleh simulasi dengan kecepatan putar 22,5 rpm dengan nilai 0,98. Dan kualitas pencampuran terendah didapatkan oleh simulasi dengan kecepatan putar 7,5 rpm dengan nilai 0,973. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Basinkas (2016), dimana performa pencampuran meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan primer putaran. Disisi lain, didapatkan nilai kualitas pencampuran yang cukup tinggi di ketiga simulasi yang dilakukan. Hal ini bisa terjadi karena beberapa hal, seperti ukuran partikel, metode dan ukuran sampling.

Namun secara keseluruhan, dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa ketiga simulasi telah mencapai kualitas campuran yang baik dengan waktu 5 putaran dengan nilai diatas 0,95.

4.7 Analisis Desain Mesin

Pendesainan mesin pencampuran *double-cone mixer* pada penelitian ini sudah dilakukan se-optimal mungkin. Data yang digunakan mengacu kepada produksi *frangible bullet* dengan target 30.000.000 butir per tahun. Begitupun dengan material pencampuran dan metode pencampuran. Untuk analisis komponen structural, sudah dilakukan dengan cara perhitungan maupun simulasi dengan menggunakan bantuan software. Namun ada beberapa hal yang sekiranya mampu menjadi optimasi dari mesin pencampuran yang telah didesain.

Pada desain komponen pencampuran, proses perawatan belum menjadi bagian dari pertimbangan. Apabila dilakukan inspeksi sisi dalam komponen pencampuran, maka hal ini sulit untuk dilakukan. Untuk mempermudah inspeksi ini, maka dapat dilakukan penambahan *flange* untuk membagi bagian komponen menjadi dua bagian. Komponen pencampuran terhubung langsung dengan as untuk mesin beroperasi. Untuk proses perawatan seperti melepaskan komponen campuran dari mesin berarti dibutuhkan juga melepas as. Hal ini bisa dipermudah dengan penambahan komponen *coupler* pada as. Sehingga nantinya apabila dibutuhkan perawatan pada komponen pencampuran maka dapat mudah untuk dilakukan. *Coupler* juga berguna untuk meminimalisir ketidaklurusan sumbu putaran yang terjadi. Proses *loading* dan *unloading* material pencampuran dilakukan dengan manual. Untuk memudahkan proses ini, dapat dilakukan penambahan katup otomatis seperti *pneumatic butterfly valve* atau *pneumatic sliding valve*, sehingga dapat mempermudah proses produksi.

Pada desain komponen struktural, faktor keamanan masih belum meninjau faktor keamanan. Dalam industri, mesin mixer biasanya diberikan rangkaian struktural untuk keamanan seperti pagar agar saat mesin beroperasi memberikan keselamatan pada operator yang bekerja di lapangan.

Tabel 4.15 Analisa mesin pencampuran untuk perbaikan

Analisa	Saran Perbaikan
Inspeksi sisi dalam komponen pencampuran	Menambahkan <i>flange</i> di komponen pencampuran agar dapat terbagi dua untuk mempermudah perawatan komponen
<i>Loading</i> dan <i>unloading</i> material masih menggunakan metode manual	Melakukan riset untuk penambahan fitur katup untuk mempermudah proses seperti <i>butterfly valve</i> dan <i>sliding valve</i>
Komponen pendukung operasi masih dapat ditingkatkan	Penambahan komponen pendukung seperti <i>coupler</i> yang memiliki keuntungan untuk aspek perawatan dan operasi
Faktor keamanan pada mesin	Meningkatkan keamanan operasional dengan melakukan penambahan struktur keamanan seperti pagar

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari studi rancang bangun mesin pencampuran serbuk jenis *double cone mixer* otomatis untuk aplikasi produksi *frangible bullet* ini diperoleh kesimpulan:

1. Studi dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan produksi *frangible bullet*. Mesin pencampuran serbuk otomatis memiliki spesifikasi kapasitas maksimal sebesar 180 liter dengan kecepatan putar sebesar 11,25 rpm dan daya minimal yang dibutuhkan sebesar 2,54 kW. Komponen pencampuran memiliki dimensi dengan diameter atas sebesar 250 mm, diameter tengah sebesar 630 mm, diameter bawah sebesar 125 mm dan tinggi total sebesar 900 mm. Diameter as yang dibutuhkan sebesar 76 mm. Rangka mesin memiliki dimensi dengan lebar sebesar 990 mm, lebar rangka samping bagian atas sebesar 367,5 mm, lebar rangka samping bagian bawah sebesar 735 mm, dan tinggi rangka sebesar 955 mm.
2. Desain dari komponen struktural mesin pencampuran valid atau tidak melebihi batas aman. Defleksi bending pada as secara perhitungan sebesar 0,255 mm dan secara simulasi sebesar 0,257 mm. Defleksi torsional pada as secara perhitungan sebesar 0,00114 radian dan secara simulasi sebesar 0,00113 radian. Tegangan yang terjadi pada rangka secara perhitungan didapatkan sebesar 17,91 MPa dan secara simulasi didapatkan sebesar 13,85 MPa. Dari hasil simulasi, didapatkan kecepatan putar optimal yaitu 22,5 rpm dengan nilai *mixing index* sebesar 0,98 selama 5 kali putaran.

5.2 Saran

Dari studi rancang bangun mesin pencampuran serbuk jenis *double cone mixer* otomatis untuk aplikasi produksi *frangible bullet* ini diperoleh saran:

1. Melakukan perhitungan komponen lain untuk mendapatkan spesifikasi mesin mixer yang lebih detail
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan simulasi dinamis untuk komponen struktural mesin mixer
3. Simulasi pencampuran dilakukan dengan unit komputer yang memiliki spesifikasi tinggi agar hasil yang didapatkan optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, Albert W., Troy Shinbrot, dan Fernando J. Muzzio. 2001. "Granular segregation in the double-cone blender: Transitions and mechanisms." *Physics of Fluids* 1070.
- Alian, Meysam, Farhad Ein-Mozaffari, Simant R. Upreti, dan Jiangning Wu. 2015. "Using discrete element method to analyze the mixing of the solid particles in a slant cone mixer." *Chemical Engineering Research and Design* 318-329.
- Anugraha, Vicko Gestantyo, dan Widyastuti. 2014. "Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk." *Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No.1* 2337.
- Arratia, P.E., Nhat-hang Duong, F.J. Muzzio, P. Godbole, dan S.Reynolds. 2006. "A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations." *Powder Technology* 50-57.
- Azmi, M.U. 2016. *Desain Proses Produksi Proyektil Frangible dengan Proses Metalurgi Serbuk*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Banovic, S.W. 2007. "Microstructural characterization and mechanical behavior of Cu-Sn frangible bullets." *Materials Science and Engineering* 428-435.
- Basinskas, Gytis, dan Mikio Sakai. 2016. "Numerical study of the mixing efficiency of a batch mixer using the discrete element method." *Powder Technology* 815-829.
- Budynas, Richard G., dan J. Keith Nisbett. 2010. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2014. *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Chalmers, B.J. 1998. *Electric Motor Handbook*. Butterworth & Co. Ltd.

- Childs, Peter R.N. 2014. *Mechanical Design Engineering Handbook*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Cho, Janet, Yunfeng Zhu, Karol Lewkowicz, SungHee Lee, Theodore Bergman, dan Bodhisattwa Chaudhuri. 2012. "Solving granular segregation problems using a biaxial rotary mixer." *Chemical Engineering and Processing* 42-50.
- Fayed, Muhammad E., dan Lambert Otten. 1997. *Handbook of Powder Science & Technology*. Chapman & Hall.
- German, Randall M. 2016. *Particulate Composites: Fundamentals and Applications*. San Diego: Springer International Publishing.
- Handbook, ASM Metal. 1998. *ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications*. Ohia: ASM International.
- Hausner, H.H., dan M.K. Mal. 1982. *Handbook of Powder Metallurgy*. New York: Chemical Pub. Co. Inc.
- Jhony, Paiman, dan Widyastuti. 2014. *Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering terhadap Ikatan Antar Muka pada Komposit Matrik Logam Cu-10%wtSn dengan Metode Metalurgi Serbuk*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Khurmi, R.S., dan J.K. Gupta. 2005. *A Textbook of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Maschke, A, Meyer-Bohm K, dan Kolter. K. 2008. "Dry Binders Used in Direct Compression." *Excipients & Actives for Pharma*.
- Masuda, Hiroaki, Ko Higashitani, dan Hideto Yoshida. 2006. *Powder Technology Handbook*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Mates, Steven P., Richard Rhorer, Stephen Banovic, Eric Whitenon, dan Richard Fields. 2008. "Tensile strength measurements of frangible bullets using the diametral compression test." *International Journal of Impact Engineering* 511-520.

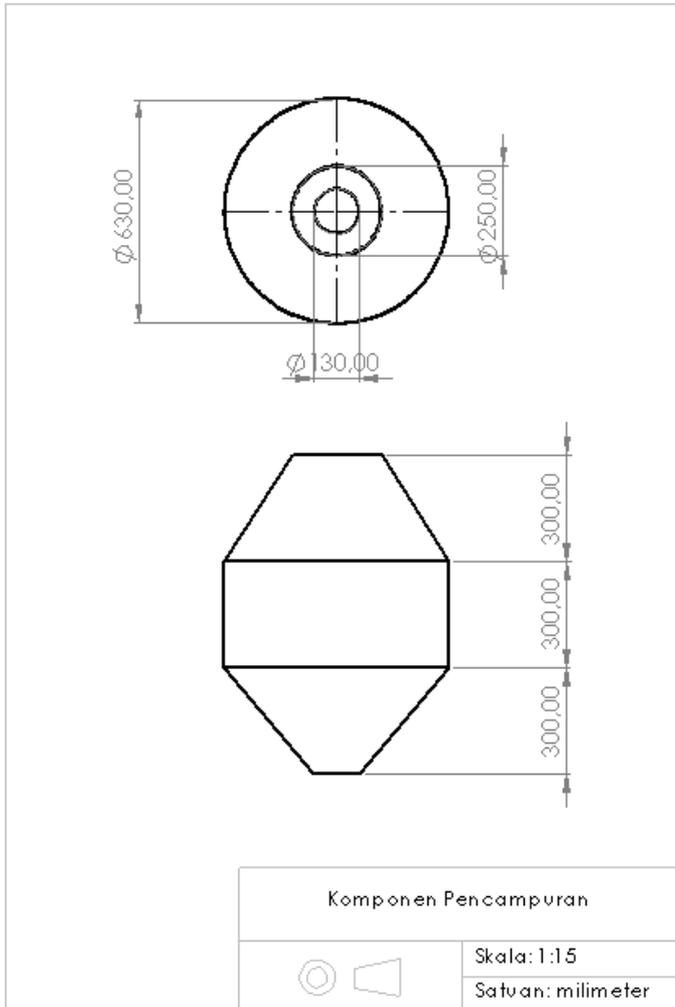
- Meysam, Seyed. 2013. *Analysis of The Mixing of Solid Particles in The Slant Cone and Ploughshare Mixers via Discrete Element Method (DEM)*. Toronto: Ryerson University.
- Moakher, Maher, Troy Shinbrot, dan Fernando J. Muzzio. 2000. "Experimentally validated computations of flow, mixing and segregation of non-cohesive grains in 3D tumbling blenders." *Powder Technology* 58-71.
- Paul, Edward L., Victor A. Atiemo-Obeng, dan Suzanne M. Kresta. 2004. *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Stainforth, J.N. 1986. "Determination and handling of total mixes in pharmaceutical systems." *Powder Technology* 147-159.
- Sulistya, F.F. 2019. *Desain Proses Produksi dan Tata Letak Pabrik Proyektil Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk Berkapasitas 50.000.000 Butir/Tahun*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Thummler, F., dan R. Oberacker. 1998. *An Introduction to Powder Metallurgy*. London: The Institute of Materials.
- Upadhyaya, G.S. 2002. *Powder Metallurgy Technology*. Cambridge: Cambridge International Science.
- Volpato, Silvia, Paolo Canu, dan Andrea C. Santomaso. 2017. "Simulation of free surface granular flows in tumblers." *Advanced Powder Technology*.
- Williams, J.C. 1986. "Mxing of Particulate Solids." *Mixing: Theory and Practice Vol.III* 265-305.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

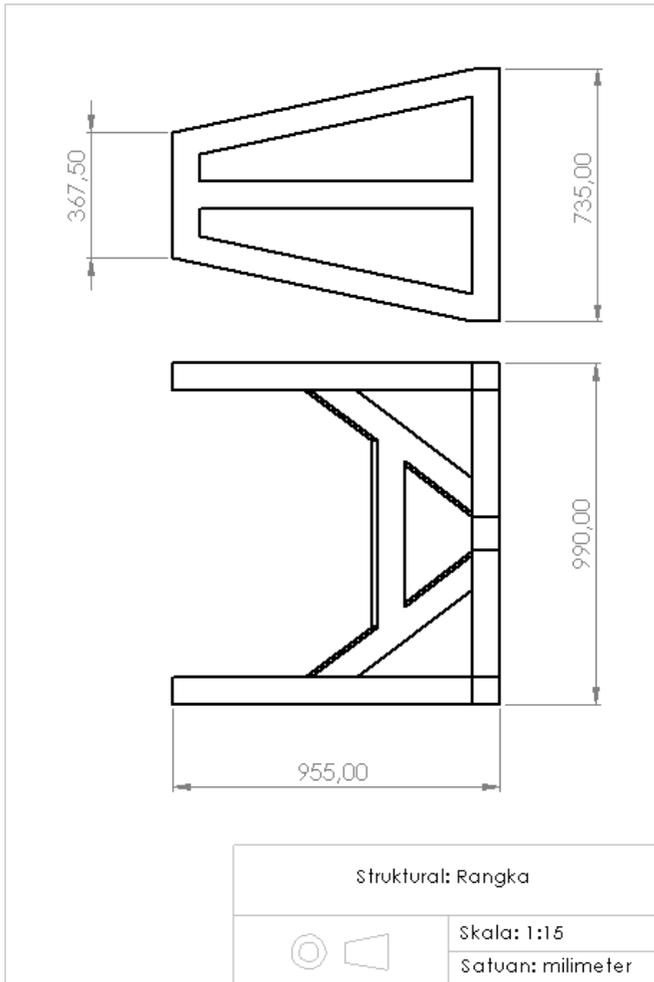
LAMPIRAN

Lampiran 1: Gambar Teknik

1. Komponen Pencampuran



2. Struktural: Rangka



Lampiran 2: Spesifikasi Motor Induksi

TEFC, CLASS F, 40°C AMBIENT TEMP., IEC DESIGN N CONTINUOUS DUTY, S.F. 1.0 400V/50HZ

OUTPUT		FULL LOAD RPM	FRAME NO.	EFFICIENCY				POWER FACTOR				CURRENT		TORQUE				MOTOR WEIGHT kg/m ³	APPROX WEIGHT kg
HP	kW			FULL LOAD (%)	¾ LOAD (%)	½ LOAD (%)	¼ LOAD (%)	FULL LOAD (%)	¾ LOAD (%)	½ LOAD (%)	¼ LOAD (%)	FULL LOAD (A)	LOCKED ROTOR (A)	FULL LOAD (Nm)	LOCKED ROTOR (Nm)	FULL UP (Nm)	BREAK DOWN (Nm)		
0.5	0.37	915	80M	65.5	63.8	57.9	40.5	65.0	55.5	44.0	31.0	1.25	5	3.856	230	215	260	0.009	17.5
		1425	80M	76.1	78.0	75.1	64.1	72.5	62.0	47.5	30.0	1.40	8	3.680	290	260	305	0.010	17.5
0.75	0.55	900	80M	68.5	68.6	64.9	50.2	67.0	57.0	44.0	29.0	1.73	7	5.827	225	220	250	0.012	19.5
		2650	80M	77.4	78.0	76.3	64.3	85.5	78.5	66.0	44.5	1.64	9	2.609	215	180	280	0.005	17.0
1	0.75	1415	80M	79.6	79.5	76.9	66.3	73.5	63.5	49.5	31.0	1.85	11	5.054	300	330	325	0.013	20.5
		935	90S	75.9	76.4	73.9	63.8	69.5	60.0	46.5	29.5	2.06	10	7.649	210	185	260	0.019	25.5
		695	100L	71.6	71.0	68.0	54.0	65.0	56.0	43.5	28.0	2.32	10	10.29	210	175	235	0.046	37.5
		2875	80M	79.6	80.0	78.3	68.5	85.5	79.0	67.0	45.0	2.33	17	3.648	255	200	305	0.007	19.5
1.5	1.1	1445	90S	81.4	81.4	78.9	69.8	76.0	67.0	53.0	33.5	2.57	19	7.259	270	205	325	0.017	25.0
		930	90L	78.1	78.8	76.9	68.2	71.5	62.0	48.5	30.5	2.84	14	11.29	215	190	260	0.026	30.0
		690	100L	74.7	75.0	73.0	61.5	67.5	58.5	45.5	28.0	3.15	14	15.20	210	175	230	0.059	44.5
		2880	90S	81.3	81.8	80.3	73.5	86.5	80.5	69.0	48.0	3.08	24	4.966	260	245	325	0.011	24.5
2	1.5	1435	90L	82.8	83.7	82.6	75.7	81.0	73.0	59.5	38.0	3.23	23	9.967	250	180	300	0.022	28.0
		960	100L	79.8	80.5	78.8	68.5	70.5	61.5	48.5	30.0	3.85	19	15.06	170	140	240	0.048	39.0
		700	112M	76.8	77.0	75.5	63.0	66.0	57.0	45.0	28.0	4.27	18	20.43	200	150	225	0.071	49.5
		2875	90L	83.2	84.3	83.4	77.9	87.5	82.0	70.5	48.5	4.36	35	7.297	285	240	335	0.014	28.0
3	2.2	1460	100L	84.3	85.0	84.1	76.1	81.5	74.0	61.0	39.0	4.62	33	14.47	210	170	300	0.041	37.0
		950	112M	81.9	82.4	81.1	72.6	75.0	68.5	53.0	33.5	5.18	34	22.09	280	255	300	0.071	49.0
		710	132S	79.4	82.0	79.5	69.0	64.5	55.0	42.0	25.0	6.20	31	29.55	240	235	300	0.138	65.5
		2895	100L	84.6	85.9	85.7	80.4	88.0	83.0	73.0	50.0	5.82	49	9.88	245	225	310	0.022	37.6
4	3	1445	100L	85.5	85.9	84.8	77.3	82.0	75.0	62.5	40.0	6.18	44	19.80	210	170	300	0.050	40.0
		960	132S	83.3	84.1	83.2	76.8	78.0	71.0	58.0	37.0	6.66	37	29.90	190	165	300	0.103	61.0
		700	132M	81.3	83.0	81.5	72.0	69.0	59.5	46.0	28.0	7.72	37	40.87	215	210	270	0.162	71.0
		2880	112M	85.6	86.9	86.6	81.4	91.0	88.0	81.0	61.5	7.99	63	13.24	235	240	335	0.042	48.0
5.5	4	1460	112M	86.6	87.6	87.5	83.2	85.0	80.5	71.0	48.0	7.84	58	26.30	220	200	300	0.083	54.0
		960	132M	84.6	85.6	85.1	79.3	79.0	72.5	60.0	38.5	8.64	53	39.73	210	180	300	0.131	69.0
		715	160M	83.0	84.0	82.0	73.5	71.5	63.0	51.0	31.0	9.73	55	53.34	185	160	270	0.343	110
		2925	132S	87.0	87.2	86.2	81.0	86.0	82.5	74.5	55.5	10.6	82	17.93	240	180	300	0.063	68.0
7.5	5.5	1465	132S	87.7	88.7	88.6	84.5	85.5	80.5	70.0	47.0	10.6	81	36.04	255	210	305	0.123	72.0
		960	132M	86.0	86.9	86.5	81.2	79.5	72.5	60.5	38.5	11.6	78	54.63	230	195	300	0.188	81.0
		715	160M	84.5	84.0	82.5	74.0	71.0	63.0	51.0	31.0	13.2	70	73.35	185	160	265	0.343	111

Lampiran 3: Ansys Simulation Report

1. Simulasi As: Defleksi Bending



First Saved	Thursday, August 6, 2020
Last Saved	Thursday, August 6, 2020
Product Version	19.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No

1. Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [SYS](#)
 - [Parts](#)
 - [Materials](#)
 - [JIS G4051](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [Probes](#)
- [Material Data](#)
 - [JIS G4051](#)

2. Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

3. Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\budia\Documents\ITS\AKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\ansys\shaft\bending_deflection_revisi\bending_deflection_revisi_files\dp0\SYS\DM\SYS.scdoc
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	7,6e-002 m
Length Y	7,6e-002 m
Length Z	0,91 m
Properties	

Volume	4,1282e-003 m ³
Mass	32,406 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	3
Active Bodies	3
Nodes	10664
Elements	5289
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes

Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate	Yes

Systems	
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import	None

Resolution	
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Body Groups

Object Name	SYS
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Suppressed	No
Assignment	JIS G4051
Coordinate System	Default Coordinate System
Bounding Box	
Length X	7,6e-002 m
Length Y	7,6e-002 m
Length Z	0,91 m
Properties	
Volume	4,1282e-003 m ³
Mass	32,406 kg

Centroid X	2,4035e-019 m
Centroid Y	7,6262e-019 m
Centroid Z	0,455 m
Moment of Inertia Ip1	2,2434 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	2,2434 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	2,2868e-002 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10664
Elements	5289
Mesh Metric	None
CAD Attributes	
PartTolerance:	0,00000001
Color:143.175.143	

TABLE 4
Model (A4) > Geometry > SYS > Parts

Object Name	<i>Solid11</i>	<i>Solid1</i>	<i>Solid</i>
State	Meshed		
Graphics Properties			
Visible	Yes		
Transparency	1		
Definition			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
Behavior	None		
Material			
Assignment	JIS G4051		
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		

Bounding Box			
Length X	7,6e-002 m		
Length Y	7,6e-002 m		
Length Z	0,14 m	0,315 m	0,455 m
Properties			
Volume	6,351e-004 m ³	1,429e-003 m ³	2,0641e-003 m ³
Mass	4,9856 kg	11,218 kg	16,203 kg
Centroid X	9,0653e-019 m	1,4486e-019 m	1,0148e-019 m
Centroid Y	5,9407e-018 m	-1,5302e-019 m	-1,9674e-019 m
Centroid Z	0,84 m	0,6125 m	0,2275 m
Moment of Inertia Ip1	9,8095e-003 kg·m ²	9,5657e-002 kg·m ²	0,28207 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	9,8095e-003 kg·m ²	9,5657e-002 kg·m ²	0,28207 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	3,5182e-003 kg·m ²	7,9159e-003 kg·m ²	1,1434e-002 kg·m ²
Statistics			
Nodes	2033	3683	5254
Elements	964	1784	2541
Mesh Metric	None		

Coordinate Systems

TABLE 5
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, m

Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 6
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

Mesh

TABLE 7
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default

Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	0,91633 m
Average Surface Area	2,7062e-002 m ²
Minimum Edge Length	0,23876 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	10664

Elements	5289
----------	------

TABLE 8
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Hex Dominant Method</i>	<i>Refinement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	3 Bodies	3 Faces
Definition		
Suppressed	No	
Method	Hex Dominant	
Element Order	Use Global Setting	
Free Face Mesh Type	Quad/Tri	
Control Messages	No	
Refinement		3

4. Static Structural (A5)

TABLE 9
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	

Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled

Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\budia\Documents\ITS\AKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\ansys\shaft\bending_deflection_revisi\bending_deflection_revisi_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None

Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Displacement</i> 2	<i>Force</i>
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		1 Edge

Definition		
Type	Displacement	Force
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0, m (ramped)	0, N (ramped)
Y Component	0, m (ramped)	-12156 N (ramped)
Z Component	Free	0, N (ramped)
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Displacement

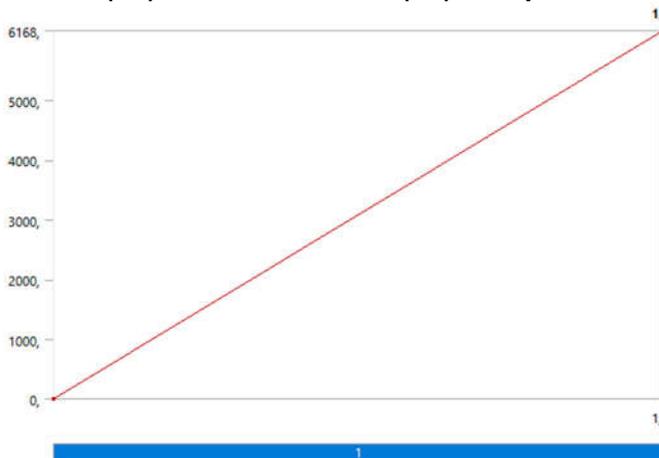


FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Displacement 2

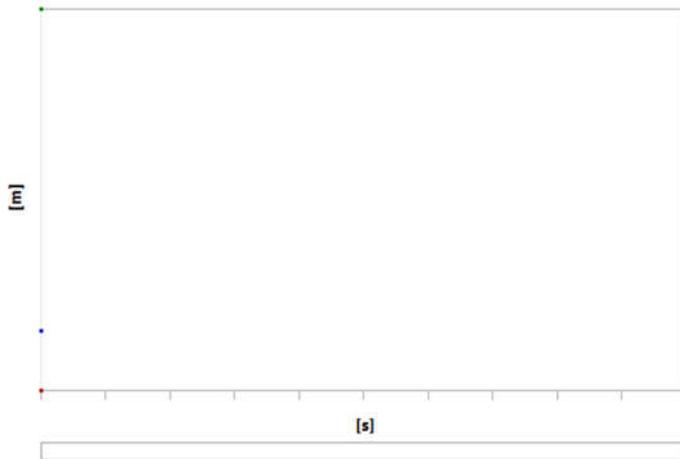
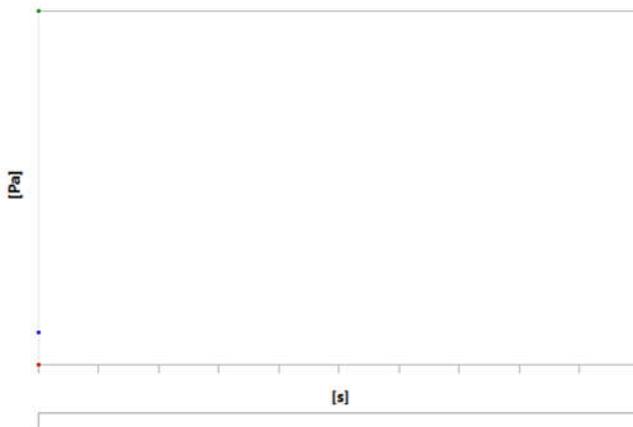


FIGURE 3
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force



Solution (A6)

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	5, s
MAPDL Memory Used	109, MB
MAPDL Result File Size	4,5625 MB
Post Processing	
Beam Section Results	Yes
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes

Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Directional Deformation 2</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	1 Body
Definition		
Type	Directional Deformation	
Orientation	Y Axis	
By	Time	
Display Time	Last	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	-5,7884e-004 m	-2,5709e-004 m
Maximum	0, m	
Average	-3,4289e-004 m	-1,3068e-004 m
Minimum Occurs On	Solid1	Solid11
Maximum Occurs On	Solid11	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	

Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 4
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) >
Directional Deformation

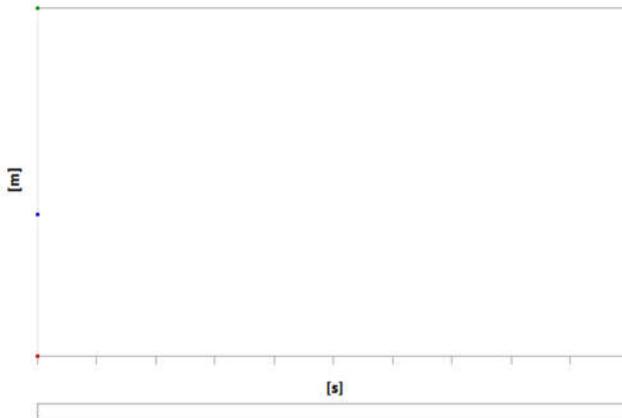


TABLE 15
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) >
Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	-5,7884e-004	0,	-3,4289e-004

FIGURE 5
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) >
Directional Deformation 2

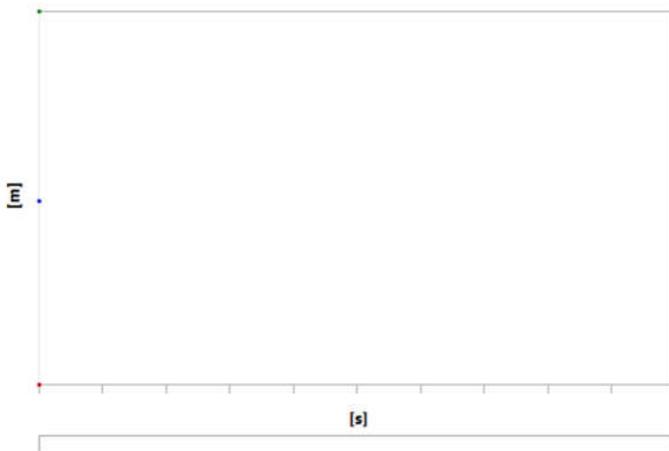


TABLE 16
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) >
Directional Deformation 2

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	-2,5709e-004	0,	-1,3068e-004

TABLE 17
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Probes

Object Name	<i>Force Reaction</i>	<i>Force Reaction 2</i>
State	Solved	
Definition		
Type	Force Reaction	
Location Method	Boundary Condition	
Boundary Condition	Displacement	Displacement 2
Orientation	Global Coordinate System	
Suppressed	No	
Options		
Result Selection	All	
Display Time	End Time	

Results		
X Axis	-1,3036e-004 N	1,8643e-006 N
Y Axis	6078, N	
Z Axis	0, N	
Total	6078, N	
Maximum Value Over Time		
X Axis	-1,3036e-004 N	1,8643e-006 N
Y Axis	6078, N	
Z Axis	0, N	
Total	6078, N	
Minimum Value Over Time		
X Axis	-1,3036e-004 N	1,8643e-006 N
Y Axis	6078, N	
Z Axis	0, N	
Total	6078, N	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

FIGURE 6
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Force Reaction

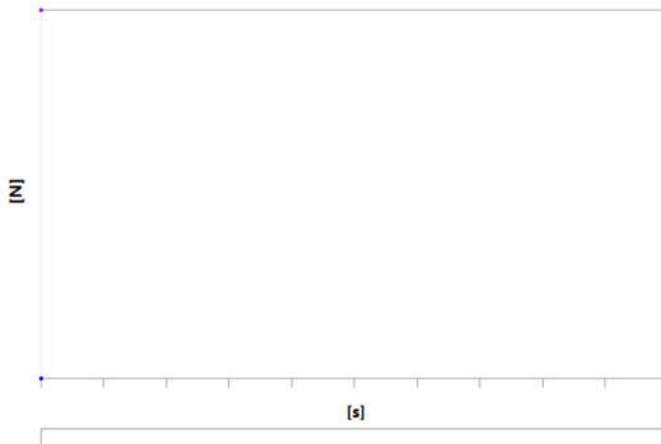


TABLE 18
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Force Reaction

Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1,	-1,3036e-004	6078,	0,	6078,

FIGURE 7
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Force Reaction 2

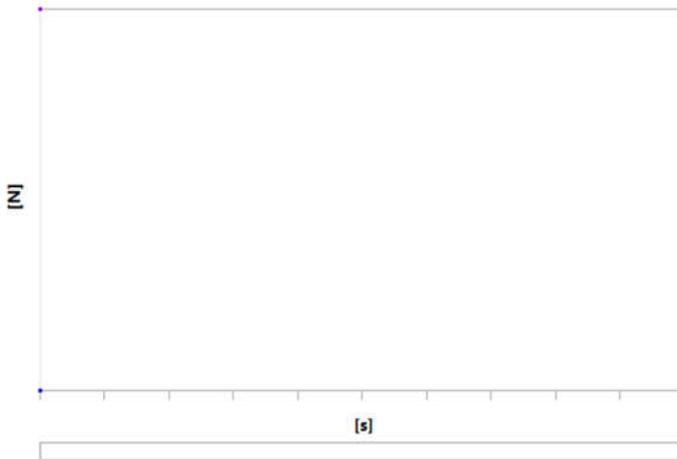


TABLE 19
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Force Reaction 2

Time [s]	Force Reaction 2 (X) [N]	Force Reaction 2 (Y) [N]	Force Reaction 2 (Z) [N]	Force Reaction 2 (Total) [N]
1,	1,8643e-006	6078,	0,	6078,

5. Material Data

JIS G4051

TABLE 20
JIS G4051 > Constants

Density	7850, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 21
JIS G4051 > Color

Red	Green	Blue
161,	209,	255,

TABLE 22
JIS G4051 > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2,05e+011	0,27	1,4855e+011	8,0709e+010	

TABLE 23
JIS G4051 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
3,43e+008

TABLE 24
JIS G4051 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5,69e+008

2. Simulasi As: Defleksi Torsional



First Saved	Thursday, August 6, 2020
Last Saved	Thursday, August 6, 2020
Product Version	19.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No

1. Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Solid](#)
 - [Materials](#)
 - [JIS G4051](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Edge Sizing](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Total Deformation](#)
- [Material Data](#)
 - [JIS G4051](#)

2. Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

3. Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\budia\Documents\ITS\AKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\ansys\shaft\torsional_deflection_revisi\torsional_deflection_revisi_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	7,6e-002 m
Length Y	7,6e-002 m
Length Z	0,14 m
Properties	

Volume	6,351e-004 m ³
Mass	4,9856 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	58411
Elements	13454
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	

Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode	No

Save s Upda ted File	
Use Insta nces	Yes
Smar t CAD Upda te	Yes
Com pare Parts On Upda te	No
Analy sis Type	3-D
Deco mpos e Disjoi nt Geo metry	Yes
Enclo sure and Sym metry Proc essin g	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
Material	
Assignment	JIS G4051
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	7,6e-002 m
Length Y	7,6e-002 m
Length Z	0,14 m
Properties	
Volume	6,351e-004 m ³
Mass	4,9856 kg
Centroid X	-2,3738e-019 m
Centroid Y	1,5918e-018 m
Centroid Z	7,e-002 m
Moment of Inertia Ip1	9,8834e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	9,8834e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	3,5632e-003 kg·m ²
Statistics	
Nodes	58411
Elements	13454

Mesh Metric	None
-------------	------

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Mesh

TABLE 5
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)

Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	0,1765 m
Average Surface Area	1,4137e-002 m ²
Minimum Edge Length	0,23876 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No

Statistics	
Nodes	58411
Elements	13454

TABLE 6
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Edge Sizing</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
Number of Divisions	75
Advanced	
Behavior	Soft
Bias Type	No Bias

4. Static Structural (A5)

TABLE 7
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 8
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	

Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled

Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\budia\Documents\ITS\AKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\ansys\shaft\torsional_deflection_revisi\torsional_deflection_revisi_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None

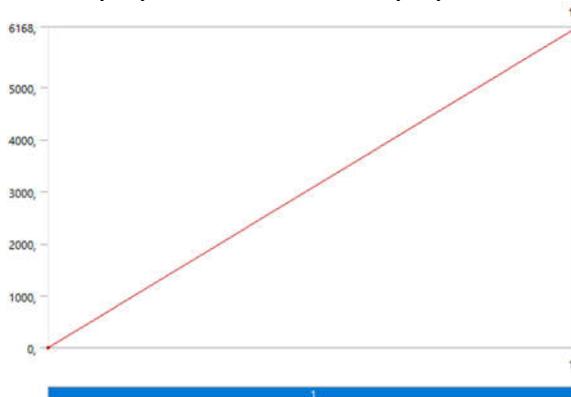
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 9
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Moment</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		

Type	Fixed Support	Moment
Suppressed		No
Define By		Vector
Magnitude		2149, N·m (ramped)
Direction		Defined
Behavior		Deformable
Advanced		
Pinball Region		All

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Moment



Solution (A6)

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	

Status	Done
MAPDL Elapsed Time	20, s
MAPDL Memory Used	275, MB
MAPDL Result File Size	19,25 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>
State	Solved
Scope	

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
Minimum	0, m
Maximum	4,3252e-005 m
Average	1,5985e-005 m
Minimum Occurs On	Solid
Maximum Occurs On	Solid
Information	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

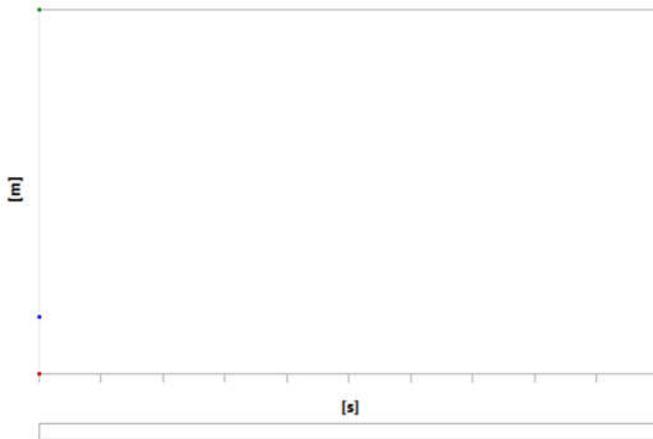


TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	0,	4,3252e-005	1,5985e-005

5. Material Data

JIS G4051

TABLE 14
JIS G4051 > Constants

Density	7850, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 15
JIS G4051 > Color

Red	Green	Blue
161,	209,	255,

TABLE 16
JIS G4051 > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2,05e+011	0,27	1,4855e+011	8,0709e+010	

TABLE 17
JIS G4051 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
3,43e+008

TABLE 18
JIS G4051 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5,69e+008

3. Simulasi Rangka



First Saved	Monday, July 20, 2020
Last Saved	Thursday, August 6, 2020
Product Version	19.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No

1. Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Part 1](#)
 - [Materials](#)
 - [SS304](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Patch Conforming Method](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SS304](#)

2. Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

3. Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\budia\Documents\ITSAKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\3dmodellframe_pejal_80_filletted_shelled.SLDPRT
Type	SOLIDWORKS
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0,99596 m
Length Y	0,955 m
Length Z	0,735 m
Properties	
Volume	6,1971e-003 m ³
Mass	49,577 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	1

Active Bodies	1
Nodes	38574
Elements	20237
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes

Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 1</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
Material	
Assignment	SS304
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	0,99596 m
Length Y	0,955 m
Length Z	0,735 m
Properties	
Volume	6,1971e-003 m ³
Mass	49,577 kg
Centroid X	0,495 m
Centroid Y	0,35186 m
Centroid Z	-0,44149 m
Moment of Inertia Ip1	6,5907 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	10,111 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	12,676 kg·m ²
Statistics	
Nodes	38574
Elements	20237

Mesh Metric	None
-------------	------

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Mesh

TABLE 5
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Quadratic
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)

Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	1,5634 m
Average Surface Area	3,262e-002 m ²
Minimum Edge Length	4,3627e-005 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No

Statistics	
Nodes	38574
Elements	20237

TABLE 6
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Patch Conforming Method</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Conforming
Element Order	Use Global Setting

4. Static Structural (A5)

TABLE 7
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 8
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate	Program Controlled

Restart Points	
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes

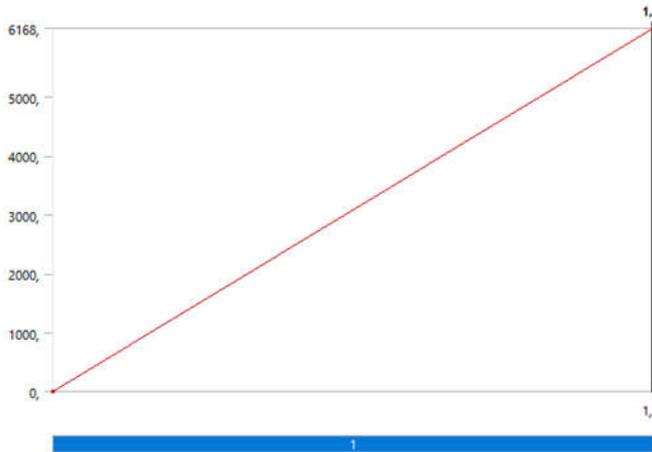
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\budia\Documents\ITS\AKADEMIK\TUGAS AKHIR\running\permodelan\ansys\frame\frame_load\frame_load_files\dp0\SYSMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No

Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 9
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Force
Suppressed	No	
Define By		Vector
Magnitude		6168, N (ramped)
Direction		Defined

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force



Solution (A6)

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	10, s
MAPDL Memory Used	434, MB
MAPDL Result File Size	16,25 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	

Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0, m	288,3 Pa
Maximum	2,8035e-005 m	1,385e+007 Pa
Average	4,4161e-006 m	1,2644e+006 Pa
Minimum Occurs On	Part 1	
Maximum Occurs On	Part 1	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

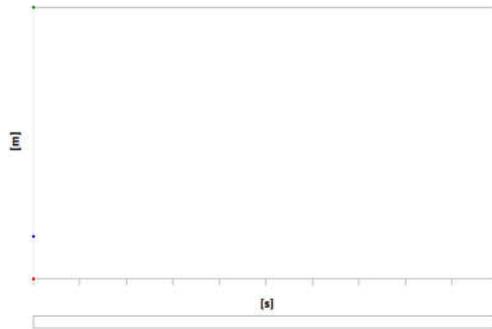


TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	0,	2,8035e-005	4,4161e-006

FIGURE 3
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress

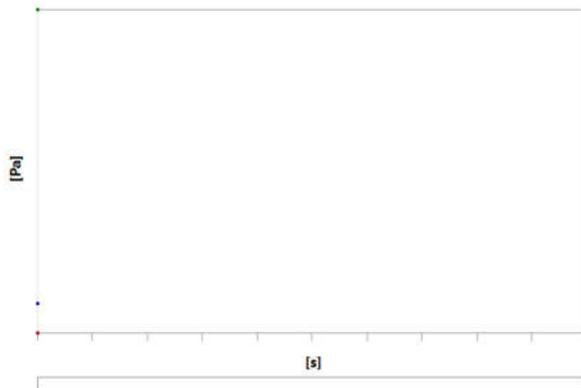


TABLE 14
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) >
Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	288,3	1,385e+007	1,2644e+006

5. Material Data

SS304

TABLE 15
SS304 > Constants

Density	8000, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 16
SS304 > Color

Red	Green	Blue
181,	194,	156,

TABLE 17
SS304 > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2,e+011	0,29	1,5873e+011	7,7519e+010	

TABLE 18
SS304 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa	2,15e+008
---------------------------	-----------

TABLE 19
SS304 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa	5,05e+008
------------------------------	-----------

UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung secara moril maupun materil serta do'a yang selalu dicurahkan selama masa studi penulis.
2. Kakak penulis yang selalu memberikan support selama penulis melakukan studi dan pengerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah memberikan ilmu dan hal baru selama penulis melakukan studi
4. Girsang Garsiman dan Dimas Setyawan selaku mentor dalam Tim Lini Produksi Frangible Bullet yang telah memberikan wawasan yang berkaitan dengan tugas akhir yang dilakukan penulis.
5. Seluruh anggota Tim Frangible Bullet (Adhy, Iyando, Afrizal, Mulyajati, Fadhel, Ninik, Salma dan Nadya) yang telah membantu dan menemani dalam pengerjaan tugas akhir.
6. Ninik Safrida selaku partner tugas akhir yang selalu membantu, bekerja sama baik tenaga dan pikiran sampai tugas akhir ini selesai.
7. Ferginia Stany yang selalu hadir memberikan motivasi dan dukungan yang diluar ekspektasi, dan juga mendengarkan keluh kesah penulis selama pengerjaan tugas akhir ini berlangsung.
8. Najib Hibatullah, Radite Surya dan Naufal Muzakki selaku penghuni kontrakan yang telah menemani dimasa baik maupun buruk dan berbagi kehidupan selama masa studi penulis.
9. Andri, Ilham, Aden, Wira, Aman, Alif, dan Wibi selaku rekan diskusi dan berbagi cerita yang selalu memberikan

- support, terutama secara mental, selama pengerjaan tugas akhir ini di tengah situasi pandemi.
10. Seluruh rekan kerja penulis pada kepengurusan HMMT 18/19, baik Pengurus Inti maupun Fungsionaris Departemen PSDM yang telah memberikan warna dan selalu memberikan dukungan satu sama lain selama masa studi penulis dan pengerjaan tugas akhir ini.
 11. Seluruh mahasiswa Angkatan 2016 atau MT18 yang telah memberikan apa yang layak untuk diberikan kepada penulis selama masa studi.
 12. Seluruh anggota HMMT FTI-ITS, baik berstatus aktif maupun alumnus, dan lingkungannya yang telah mengajarkan banyak hal dan memberikan banyak nilai kehidupan kepada penulis selama masa studi.
 13. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Bagas Dwi Putra**, lahir di Tangerang pada tanggal 17 Juni 1998. Penulis ini merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Budianto dan Ade Rosmiati. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri Sukasari 4, SMP Negeri 1 Tangerang, dan SMA Negeri 1 Tangerang. Setelah lulus SMA pada tahun 2016 penulis diterima di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti organisasi bidang manajerial di dalam kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTIRS-ITS 2017/2018 dan menjadi anggota *Steering Committee* Kaderisasi 2018. Pada tahun ketiga, penulis pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTIRS-ITS 2018/2019. Selain itu, penulis juga pernah menjadi bagian dari kepanitiaan masa orientasi studi mahasiswa baru GERIGI 2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. ANTAM (Persero) Tbk. UBPN Sultra pada bulan Juli 2019. Selama kerja praktek, penulis ditempatkan pada Divisi Processing and Engineering. Selain itu, penulis juga menangani masalah pembakaran *rotary kiln 3* pada lini produksi pembuatan ferronikel di PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPN Sultra.

Tugas Akhir yang diambil oleh penulis dalam topik Material Inovatif yang berjudul “Desain Rancang Bangun Mesin Pencampuran Serbuk Jenis *Double Cone Mixer* Otomatis untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet”.

Email: budianto.bagas@gmail.com