

# Perancangan Mesin Pengaduk Komposit Partikel Sistem Vakum Kapasitas 2 Liter

Muhammad Faiq Nurmajid<sup>1</sup>, Adi Pamungkas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : muhammad.faiq.tpkn17@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : adi.pamungkas@polban.ac.id

## ABSTRAK

Material komposit merupakan jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya. Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit yang memiliki penguat berbentuk seperti partikel yang tersebar merata pada matriknya. Saat ini, pada pembuatan komposit partikel umumnya masih menggunakan cara pengadukan konvensional yaitu proses tanpa menggunakan vakum, sehingga komposit yang dihasilkan masih memiliki gelembung udara dan perlu di vakum pada alat yang terpisah. Maka dibutuhkan rancangan mesin pengaduk komposit partikel dilengkapi dengan sistem vakum. Metode perancangan menggunakan metode Pahl and Beitz yang terdiri dari tahapan perencanaan, perancangan konsep, perancangan detail dan dokumentasi. Mesin dirancang untuk mengaduk material *reinforcement* berukuran partikel 40 hingga 200 mesh dengan resin epoxy. Mesin dilengkapi dengan pompa vakum ¼ HP untuk membuat keadaan vakum serta pemanas PTC 220V 200 watt untuk menaikkan suhu pengadukan hingga 120°C. Gaya pengadukan sebesar 223,59 N dengan torsi pengadukan sebesar 16,7 Nm. Rangka dari mesin menggunakan besi hollow dengan ukuran 40x40x2 mm. Hasil akhir yang dicapai yaitu desain dari mesin pengaduk komposit partikel sistem vakum berupa gambar kerja dan *bill of material*. Mesin menggunakan motor listrik berdaya 1 HP dengan transmisi sabuk V dan puli. Dimensi dari mesin adalah 669x526x361 mm dengan bobot ± 30kg.

## Kata Kunci

Komposit partikel, sistem vakum, resin epoxy, metode Pahl and Beitz

## 1. PENDAHULUAN

Teknologi rekayasa material serta berkembangnya tuntutan lingkungan mendorong untuk membuat terobosan baru dalam menciptakan material berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Salah satu metode rekayasa material yaitu dengan membuat material komposit yaitu jenis bahan baru hasil rekayasa terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya [1]. Komposit tersusun atas 2 material utama, yaitu matriks yang merupakan fasa dalam komposit, mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar pada komposit yang berfungsi sebagai perekat serta pelindung, dan *reinforcement* yang merupakan bagian komposit yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit [2].

Komposit partikel adalah salah 1 jenis komposit yang memiliki *reinforcement* berbentuk serbuk atau partikel dan terdistribusi merata di dalam matriksnya. Saat ini proses pembuatan komposit partikel masih dengan proses pengadukan tanpa menggunakan sistem vakum, sehingga komposit yang dihasilkan memiliki *void* yang disebabkan oleh udara terjebak. Alat pengaduk komposit yang ada saat ini memiliki fitur sederhana yang hanya berfungsi sebagai pengaduk saja, sehingga *void* dari udara yang diakibatkan oleh pengadukan tidak dapat diminimalisir. Oleh karena itu diperlukan alat yang mampu meminimalisir kekurangan tersebut

sehingga material komposit partikel yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Adi Pamungkas [3] dimana dalam penelitian tersebut dijelaskan tahapan tahapan cara membuat campuran komposit partikel dengan pemvakuman. Namun pada tahapan pembuatan tersebut, proses pengadukan dan pemvakuman dibuat terpisah, sehingga memerlukan waktu dalam pemindahannya yang mengakibatkan suhu campuran turun. Turunnya suhu campuran ini dapat mempengaruhi kualitas komposit. Penelitian lain dilakukan oleh Supardi [4] membahas pengaruh kecepatan putar terhadap *void* dan kualitas komposit partikel.

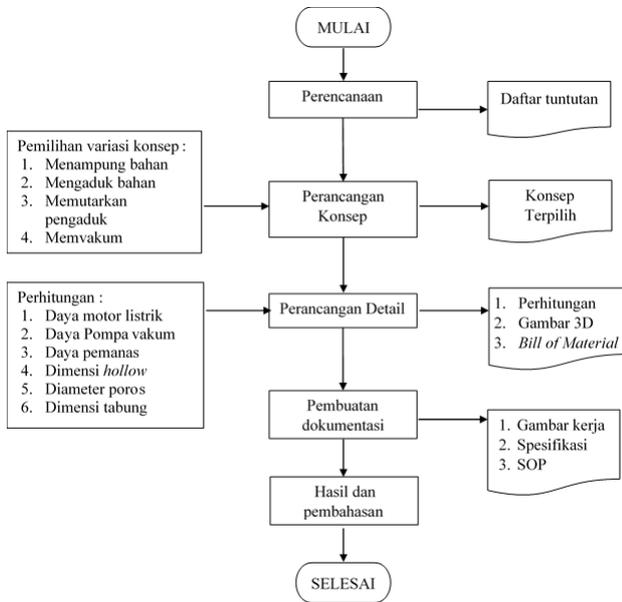
Tabel 1. Pengaruh kecepatan putar terhadap *void* dan kekuatan tarik

Suhu (°C)	Kec. Putar (Rpm)	Void (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Standar Deviasi (%)
120	150	3.134	46	13.208
120	250	4.212	51	11.507
120	350	5.522	55	5.373
120	450	14.284	50	11.763

Data penelitian digunakan sebagai acuan untuk spesifikasi mesin yang akan dirancang, khususnya kecepatan putar dan suhu.

## 2. METODOLOGI

Metode perancangan menggunakan metode *Pahl and Beitz* yang terdiri dari 4 tahapan perancangan [5]. Tahapan perancangan tersebut dijelaskan oleh *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Metodologi

Perencanaan merupakan tahapan awal dalam melakukan proses perancangan. Tahapan perencanaan ini dilakukan pengkajian terkait fungsi alat, cara pengoperasian alat, kajian kebutuhan, dan kajian dampak lingkungan. Hasil akhir dari tahapan perencanaan adalah daftar tuntutan yang harus dicapai sebagai ukuran keberhasilan perancangan.

Tahap perancangan konsep dimulai dengan membuat fungsi utama dan fungsi bagian dengan metode *blackbox*. Fungsi bagian yang dibuat dituliskan dalam bentuk tabel morfologi berupa alternatif solusi bagian, yang digabungkan hingga terbentuk variasi konsep. Variasi konsep ditentukan oleh penilaian dilihat dari kriteria *user* dan kriteria manufaktur. Hasil penilaian ini berupa konsep terpilih yang nantinya akan dirancang pada tahapan perancangan detail.

Tahap perancangan detail pada konsep terpilih dimulai dengan perhitungan dalam pemilihan komponen standar dan komponen non standar. Perhitungan motor dilakukan untuk memilih besaran daya yang digunakan untuk motor listrik. Besarnya gaya pengadukan didekati oleh persamaan gaya drag, dihitung dengan persamaan [6] :

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (1)$$

$F_D$  = Gaya pengadukan (N)

$C_D$  = Koefisien drag

$\rho$  = Massa Jenis Fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan putar (m/s)

$A$  = Luas penampang yang menabrak fluida ( $\text{m}^2$ )

Torsi dihitung dengan persamaan :

$$T = F_D \cdot r \quad (2)$$

$T$  = Torsi (Nm)

$F_D$  = Gaya pengadukan (N)

$r$  = radius (m)

Sehingga daya motor dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = T \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (3)$$

$P$  = Daya motor (Kw atau HP)

$T$  = Torsi (Nm)

$N$  = kecepatan putar (rpm)

Daya pompa vakum dihitung untuk mengetahui besaran daya yang diperlukan untuk pompa, dapat dihitung menggunakan persamaan [7]:

$$W = \frac{m \times k}{k - 1} \times P_s \times Q \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{m \times k}} - 1 \right] \quad (4)$$

$W$  = Daya pompa vakum (watt)

$m$  = Jumlah tingkat kompresi

$Q$  = Kapasitas isap pada pompa vakum ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$P_s$  = Tekanan isap ( $\text{N/m}^2$ )

$P_d$  = Tekanan Keluar ( $\text{N/m}^2$ )

Daya pemanasan dihitung untuk mengetahui besaran daya yang diperlukan untuk elemen pemanas, dengan persamaan [8]:

$$H = \frac{k A}{L} \Delta T \quad (5)$$

$H$  = Daya pemanasan (watt)

$k$  = Koefisien konduksi termal ( $\text{W/m.K}$ )

$A$  = Luas penampang benda ( $\text{m}^2$ )

$L$  = Panjang benda (m)

$\Delta T$  = Perbedaan suhu (K)

Diameter poros diperlukan perhitungan terhadap beban puntir dan lentur, sehingga dimensi poros minimal dihitung dengan persamaan [9]:

$$D_1 = \left[ 5,1 / \tau_a \cdot \sqrt{(Cb \cdot M) + (Kt \cdot T)} \right]^{1/3} \quad (6)$$

$D_1$  = Diameter poros minimal (mm)

$\tau_a$  = Tegangan geser yang diizinkan ( $\text{kg/mm}^2$ )

$Kt$  = Faktor karena puntiran dan tumbukan ringan

$Cb$  = Faktor karena beban dan tumbukan ringan

$T$  = Momen Rencana (Kgmm)

Tabung pengadukan harus mampu menampung minimal 2 liter material. Jika diketahui diameter tabung, tinggi tabung minimal dihitung dengan persamaan [10]:

$$t = \frac{V}{\pi r^2} \quad (7)$$

$t$  = Tinggi tabung (mm)

$V$  = Volume tabung ( $\text{mm}^3$ )

$r$  = Radius tabung (mm)

Selanjutnya membuat model 3D. Evaluasi model tersebut dari aspek manufaktur, ekonomi, ergonomi, dan perawatan. Analisis dari aspek ergonomi menggunakan

metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*) dan REBA (*Rapid Entiree Body Assesment*). Analisis CAE dilakukan sebagai pendukung data perhitungan manual. Analisis CAE juga diterapkan pada komponen dengan bentuk rumit, dimana perhitungan manual sulit dilakukan.

Tahap dokumentasi merupakan tahapan pembuatan dokumen dari hasil yang didapat pada perancangan detail. Dokumen harus dibuat lengkap karena dibutuhkan dalam realisasi hasil rancangan. Dokumen yang dimaksud seperti gambar 3D dan gambar kerja 2D yang diperlukan dalam pembuatan komponen mesin. Dokumen lain yang dibuat seperti *bill of material* (BOM) dan standar operasional prosedur (SOP).

### 3. PROSES DAN HASIL

#### 3.1 Daftar Tuntutan

Dalam menentukan daftar tuntutan, perlu dilakukan identifikasi terhadap produk eksisting yang ada, serta masalah yang dihadapi saat ini. Hal hal mengenai produk eksisting dari mesin pengaduk seperti dibawah ini :

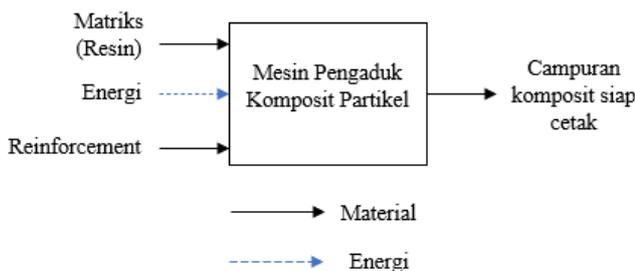
- Mesin yang terdapat dipasaran berukuran besar dengan bobot lebih dari 100 kg.
- Kapasitas mesin besar untuk skala industri, sehingga harga mesin menjadi mahal, diatas Rp.30.000.000,-.
- Tidak ada mesin pengaduk yang dikhususkan untuk pembuatan komposit partikel.

Parameter lain yang diperlukan dalam pembuatan komposit partikel, yaitu kecepatan putar dan suhu pengadukan. Setelah diidentifikasi, maka dapat ditentukan daftar tuntutan dari mesin yaitu :

- Kecepatan putar pengadukan dapat diatur.
- Suhu operasi pengadukan dapat diatur.
- Kapasitas pengadukan sebesar 2 liter.
- Dilengkapi proses pemvakuman.
- Dimensi lebih kecil (skala lab)

#### 3.2 Konsep terpilih

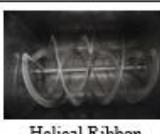
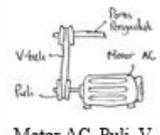
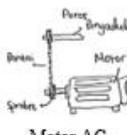
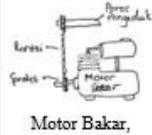
Untuk pemilihan konsep, dibuat fungsi utama dalam bentuk *blackbox* yang selanjutnya akan dikembangkan lagi menjadi fungsi bagian.



Gambar 2. *Blackbox* fungsi utama

Selanjutnya fungsi utama tersebut dikembangkan menjadi fungsi bagian. Fungsi bagian dibuat dalam bentuk tabel morfologi yang berisi alternatif solusi bagian. Alternatif solusi bagian merupakan solusi yang dapat memenuhi dan menggambarkan fungsi bagian.

Tabel 2. Morfologi fungsi bagian

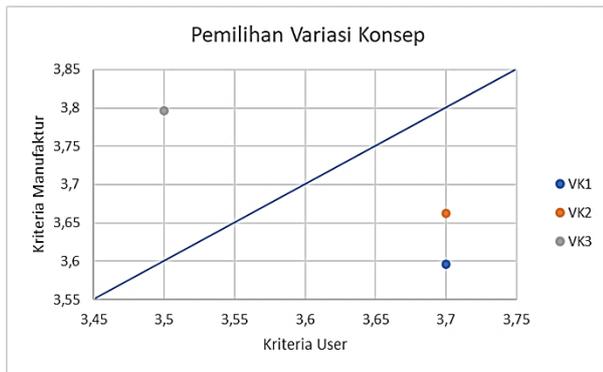
Fungsi Bagian	Alternatif Solusi		
	A	B	C
Fungsi Menampung bahan	 Tabung		
Fungsi Mengaduk bahan	 Helical Ribbon	 Turbin	 Paddle
Fungsi Memutarakan pengaduk	 Motor AC, Pulley, V-belt, Poros pengaduk	 Motor AC, Sproket, Rantai, Poros Pengaduk	 Motor Bakar, Sproket, Rantai, Poros Pengaduk.
Fungsi Memvakum	 Pompa vakum		
Fungsi Memanaskan	 Elemen pemanas		

Pada tabel tersebut terdapat beberapa alternatif solusi dari fungsi bagian yang sama. Alternatif solusi ini digabungkan antara 1 dengan yang lainnya untuk mendapatkan variasi konsep. Untuk mempermudah pemilihan variasi konsep, dilakukan penilaian dengan mempertimbangkan aspek kriteria *user* dan kriteria manufaktur.

Tabel 3. Penilaian Variasi Konsep

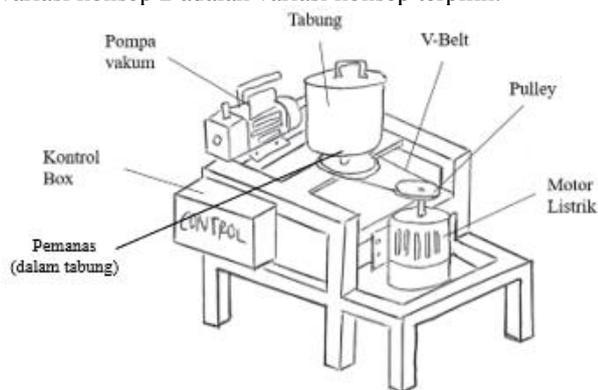
No	Kriteria User	Bobot	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
			Nilai	Tot	Nilai	Tot	Nilai	Tot
1	Biaya Operasional	13,3%	4	0,532	4	0,532	4	0,532
2	Produktivitas	20%	3	0,6	4	0,8	4	0,8
3	Kemudahan Penggunaan	20%	3	0,6	4	0,8	3	0,6
4	Harga	13,3%	4	0,532	3	0,399	4	0,532
5	Kehandalan	20%	4	0,8	3	0,6	4	0,8
6	Maintenance	13,3%	4	0,532	4	0,532	4	0,532
Total				3,596		3,663		3,796
No	Kriteria Manufaktur	Bobot	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
			Nilai	Tot	Nilai	Tot	Nilai	Tot
1	Ketersediaan bahan	20%	4	0,8	4	0,8	4	0,8
2	Waktu Pengerjaan	20%	3	0,6	4	0,8	3	0,6
3	Kemudahan Pembuatan	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3
4	Kemudahan Asembli	20%	4	0,6	3	0,6	3	0,6
5	Biaya Pembuatan	30%	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Total				3,7		3,7		3,5

Tabel 3 merupakan hasil penilaian tiap variasi konsep dilihat dari kriteria *user* dan kriteria manufaktur. Hasil penilaian ini dibandingkan dengan nilai mesin ideal, dimana variasi yang paling mendekati ideal akan menjadi variasi konsep terpilih.



Gambar 3. Grafik nilai variasi konsep

Gambar 3 menunjukkan bahwa variasi konsep ke 2 memiliki nilai paling mendekati garis ideal, sehingga variasi konsep 2 adalah variasi konsep terpilih.



Gambar 4. Konsep terpilih

### 3.3 Pemilihan komponen

Gaya pengadukan diperlukan untuk mengetahui daya motor minimal menggunakan persamaan gaya drag. Koefisien drag penampang sebesar 2,05. Massa jenis resin sebesar 1130 kg/m<sup>3</sup>. Kecepatan putar sebesar

16,33 m/s. Luas penampang dari pengaduk sebesar 0,00852 m<sup>2</sup>. Data tersebut dihitung dengan persamaan (1) menghasilkan gaya sebesar 223,59 N. Hasil perhitungan gaya pengadukan dikalikan dengan radius sebesar 75 mm pada persamaan (2) dan menghasilkan torsi sebesar 16,7 Nm. Torsi dikalikan dengan kecepatan putar pada persamaan (3) sehingga daya motor minimal sebesar 0,6 kW.

Daya minimal pompa vakum dihitung dengan data jumlah tingkat kompresi 1 karena pemvakuman termasuk kompresi ringan (tidak ada kompresi). Eksponen adiabatik sebesar 1,4. Mempertimbangkan volume tabung, kapasitas isap pompa 6,6.10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s. Pada suhu 120°C, tekanan isap sebesar 2.10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>. Pada suhu kamar, tekanan keluar sebesar 101325 N/m<sup>2</sup>. Setelah dilakukan perhitungan sesuai persamaan (4) daya pompa vakum minimal sebesar 81,577 watt.

Daya pemanasan dihitung untuk menentukan elemen pemanas. Material tabung menggunakan SS304 dengan koefisien konduksi termal sebesar 16,2 W/mK. Luas penampang tabung sebesar 0,002 m<sup>2</sup>. Tebal tabung sebesar 0,07 m. Diasumsikan suhu tabung sama dengan suhu ruang 25°C (298 K). Suhu elemen pemanas mencapai 120°C (393 K) sehingga beda suhu sebesar 95°C (368 K). Data tersebut dihitung dengan persamaan (5) sehingga menghasilkan daya pemanasan sebesar 170,33 Watt.

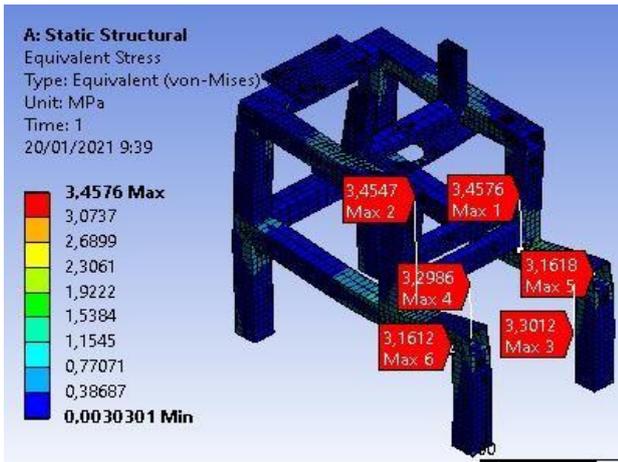
Besi *hollow* dengan ukuran 40x40x2 mm, menggunakan material ASTM A500 dengan kekuatan tarik 400 MPa dan *safety factor* sebesar 3. Momen sebesar 20802 Nmm dan resultan gaya sebesar 238,66 N. Inersia penampang *hollow* sebesar 14378,66 mm<sup>4</sup>. Data tersebut dikalikan dengan  $y$  sebesar 20 pada persamaan (6) sehingga dihasilkan tegangan kerja sebesar 28,93 MPa. Tegangan izin material dihitung dengan persamaan (7) dan hasil perhitungan sebesar 133,3 MPa. Tegangan kerja < tegangan izin, maka *hollow* memenuhi syarat aman.

Poros pengaduk dihitung untuk mendapat dimensi minimal yang diperlukan. Material poros menggunakan S30C dengan tegangan tarik sebesar 48 kgf/mm<sup>2</sup>, *safety factor* sebesar 2 dan 6. Setelah dihitung menggunakan persamaan (8) maka dimensi poros minimal sebesar 17,3 mm. Poros yang dipilih berukuran 20 mm.

Tabung pengadukan direncanakan berdiameter 100 mm dan memiliki kapasitas 2 liter. Setelah dihitung menggunakan persamaan (9) maka tinggi tabung minimal sebesar 254,6 mm. Ukuran tabung harus lebih besar dari hasil perhitungan, sehingga dipilih tabung dengan ukuran Ø150x280 mm.

### 3.4 Analisis CAE

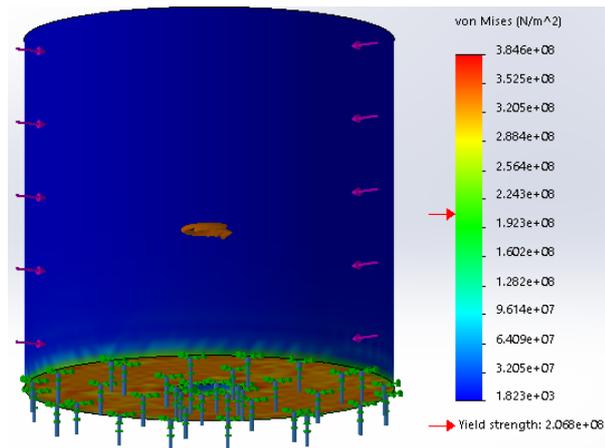
Analisis dilakukan untuk mengevaluasi desain dari rangka yang dibuat. Penampang *hollow* berukuran 40x40x2 mm dengan material ASTM A500 yang memiliki kekuatan tarik sebesar 400 MPa. *Safety factor* yang ditetapkan sebesar 3, sehingga tegangan tarik izin sebesar 133,3 MPa.



Gambar 5. Hasil simulasi CAE rangka

Deformasi yang terjadi sebesar  $\pm 1$ mm dengan tegangan maksimal sebesar 3,5 MPa pada rangka tengah, sehingga *hollow* memenuhi syarat aman.

Dilakukan juga simulasi CAE pada tabung pengadukan. Material menggunakan SS304 dengan kekuatan tarik 515 MPa. *Safety factor* yang ditetapkan sebesar 3.



Deformasi yang terjadi  $\pm 1$ mm dengan tegangan maksimal sebesar 3,846 MPa sehingga tabung memenuhi syarat aman.

### 3.5 Harga Pokok Produksi

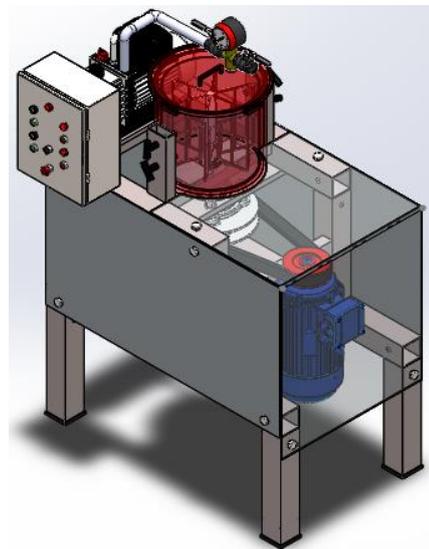
Harga Pokok Produksi (HPP) merupakan biaya yang diperlukan untuk membuat 1 unit mesin pengaduk komposit partikel sistem vakum. HPP ditunjukkan oleh Tabel 4.

Cost	Harga Per Unit	Standar Pemakaian	Kebutuhan	Harga Per Kebutuhan
Plat Besi 1220x2440x2 mm	Rp 1.100.000	Per Lembar	0,25 Lembar	Rp 275.000
Besi Hollow 40x40x2 mm	Rp 80.000	Per 4 Meter	4 Meter	Rp 80.000
Besi Hollow 40x20x2 mm	Rp 60.000	Per 4 Meter	1 Meter	Rp 15.000
As Besi Ø20mm	Rp 70.000	Per Meter	0,05 Meter	Rp 3.500
Pompa Vakum	Rp 700.000	Per Buah	1 Buah	Rp 700.000
Pressure Gauge	Rp 50.000	Per Buah	1 Buah	Rp 50.000
Motor Listrik 0.5 Kw	Rp 800.000	Per Buah	1 Buah	Rp 800.000
Puli bore 15mm	Rp 30.000	Per Buah	1 Buah	Rp 30.000
Sabuk V A40	Rp 35.000	Per Buah	1 Buah	Rp 35.000
Puli + Gearbox	Rp 50.000	Per Buah	1 Buah	Rp 50.000
Tabung Stainless 17 cm	Rp 225.000	Per Buah	1 Buah	Rp 225.000
Tabung Stainless 15 cm	Rp 200.000	Per Buah	1 Buah	Rp 200.000
As Stainless Ø10mm	Rp 60.000	Per Meter	0,08 Meter	Rp 4.800
Besi Dural	Rp 70.000	Per Kilogram	750 gr	Rp 52.500
Plat Pemanas	Rp 30.000	Per Buah	2 Buah	Rp 60.000
Selang Ø10mm	Rp 20.000	Per Meter	0,3 Meter	Rp 6.000
Ball Bearing ISO 15 ABB	Rp 40.000	Per Buah	1 Buah	Rp 40.000
Mur M10	Rp 500	Per Buah	28 Buah	Rp 14.000
Baut M10	Rp 1.000	Per Buah	28 Buah	Rp 28.000
Ring	Rp 200	Per Buah	28 Buah	Rp 5.600
Modul Kontrol	Rp 50.000	Per Set	1 Set	Rp 50.000
Biaya Las	Rp 8.000	Per Busur	20 Busur	Rp 160.000
Biaya Milling	Rp 15.000	Per Jam	1 Jam	Rp 15.000
Biaya Bubut	Rp 15.000	Per Jam	1 Jam	Rp 15.000
Lain Lain	Rp 200.000	Per Unit	1 Unit	Rp 200.000
<b>Total</b>				<b>Rp 3.114.400</b>

Berdasarkan Tabel 4 tersebut, biaya produksi 1 mesin pengaduk komposit partikel sistem vakum membutuhkan dana sebesar Rp.3.114.400.-

### 3.6 Model 3D hasil rancangan

Berikut ini merupakan hasil render model 3D dari mesin pengaduk komposit partikel sistem vakum :



Gambar 6. Mesin pengaduk komposit partikel

### 3.7 Gambar Kerja

Berikut ini merupakan gambar kerja dari mesin pengaduk komposit partikel sistem vakum.

Tabel 4. Harga Pokok Produksi



- Jun. 16, 2021).
- [9] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. 2004.
- [10] Dosenpendidikan, “Rumus Volume Tabung.” <https://www.dosenpendidikan.co.id/rumus-volume-tabung/> (accessed Jun. 19, 2021).