

Perancangan Produk dan Proses Manufaktur Biodigester Tipe *Fixed Dome* untuk Rumah Mandiri Energi

Agri Suwandi^{1#}, Nicko Deva H.², Rizki Nuryadin³, Eka Maulana⁴, Budhi M. Suyitno⁵

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Srengseng Sawah Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

⁵Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Srengseng Sawah Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

#agrisuwandi@univpancasila.ac.id

Abstrak

Biodigester adalah sistem alami yang memanfaatkan pencernaan *anaerobe* bakteri yang sudah hidup di dalam kotoran untuk mengubahnya menjadi biogas yang menghasilkan gas metana (CH₄) dan karbon dioksida. Tujuan dari penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan produk biodigester tipe *fixed dome* yang tepat dan optimal melalui pengembangan rancangan produk dan rancangan proses manufaktur produk. Perancangan produk dan proses manufaktur biodigester tipe *fixed dome* untuk rumah mandiri energi dilakukan dengan metode Pahl & Beitz dan metode *Design for Manufacturing and Assembly* yang dimana dalam metode ini dibagi menjadi dua bagian yaitu *Design for Manufacturing* dan *Design for Assembly*. Setiap proses pengerjaan alat mengacu pada *standard operation procedure* yang sudah ditentukan dan proses perakitan dikerjakan secara berurutan sesuai dengan *operation process chart*. Dimana terdapat empat fase dalam prosedur perancangannya yaitu, perencanaan dan penjelasan tugas, perancangan konsep produk, perancangan bentuk produk, dan perancangan *detail*. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan, biodigester tipe *fixed dome* yang dipilih adalah konsep varian 1 dengan nilai bobot 3,28, sedangkan estimasi waktu proses manufaktur satu unit biodigester adalah 5 jam 15 menit.

Kata kunci: perancangan produk, perancangan proses manufaktur, biodigester, *fixed dome*

Abstract

A biodigester is a natural system that uses anaerobic digestion to convert faeces bacteria into biogas containing methane (CH₄) and carbon dioxide. This research aims to build the most appropriate and optimal fixed dome type biodigester product through product design and process design. The Pahl & Beitz approach and the Design for Manufacturing and Assembly method are used to design and manufacture a fixed dome type biodigester for energy-independent homes. This method has two sections, Design for Manufacturing and Design for Assembly. The established standard operation procedure performs each action on the tool, and the assembly process is carried out progressively according to the operation process chart. The design technique is divided into four phases: planning and task clarification, product idea design, product form design, and detailed design. The weighting computation indicates that the concept of alternative 1 with a weight value of 3.28 is the preferred fixed dome type biodigester, while the production procedure for a single biodigester unit is predicted to take 5 hours and 15 minutes.

Keywords: product design, manufacturing process design, biodigester, *fixed dome*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah sampah atau limbah padat rumah tangga yang dihasilkan di Indonesia diperkirakan akan bertambah lima kali lipat pada tahun 2020. Produksi sampah tersebut diperkirakan meningkat dari 800 gr per hari per kapita pada

tahun 1995 menjadi sebanyak 910 gr/hari/kapita pada tahun 2000 [1]. Baru sebanyak 11,25% sampah di daerah perkotaan yang diangkut petugas, sedangkan di daerah pedesaan 19%. Sampah sisanya dibakar, dibuat kompos, atau dibuang ke dalam sungai [1].

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan bahwa jumlah timbunan sampah telah mencapai 195.000 ton per harinya atau sebanding dengan 64 juta ton per tahun dengan pengelolaan sebagai berikut diangkut dan ditimbun di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sebanyak 69%, dikubur 10%, dikompos dan akan didaur ulang 7%, dibakar 5%, dan sisanya tidak dikelola 7%. Acuan dari data tersebut tidak melalui proses *reuse*, *reduce*, dan *recycle* (3R) tapi langsung diproses di TPA dengan melibatkan partisipasi masyarakat. Kondisi ini menjadi faktor utama beban TPA menjadi berat dan umur penggunaannya semakin pendek [1].

Berdasarkan data komposisi sampah tahun 2020, maka potensi pengembangan pengolahan sampah organik dari sisa makanan sangat besar. Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional, sebanyak 39,66% sampah pada skala nasional berasal dari sisa makanan, sedangkan untuk wilayah DKI Jakarta tercatat 45,43% [2]. Hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk menjadi bahan sumber energi baru.

Kelangkaan energi juga menjadi permasalahan khusus yang disikapi oleh pemerintah. Permasalahan ini menyebabkan dikeluarkannya kebijakan dalam penggunaan bahan bakar fosil serta meningkatkan pencarian energi baru dan terbarukan, sehingga diperlukannya mencari energi alternatif yang ramah lingkungan [3].

Dari hasil survey yang dilakukan, didapatkan bahwa sampah yang dihasilkan dari rumah tangga sebagian besar tidak dimanfaatkan atau langsung diangkut ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Hal ini tentunya akan berpotensi meluapnya timbunan sampah di TPS seiring dengan kebiasaan masyarakat yang tidak mengolah sampah dengan bijak. Mengingat dampak yang ditimbulkan dari sampah tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh dan lingkungan. Berdasarkan dari permasalahan tersebut perlu adanya suatu tindakan untuk mengolah buangan sampah dari setiap rumah tangga, maka dari itu akan dirancang teknologi pengolahan sampah secara mandiri.

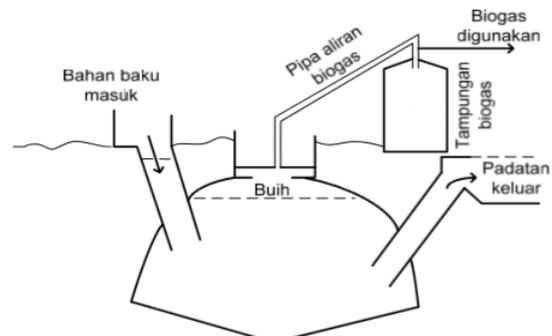
Salah satu pengelolaan sampah yang dikembangkan yaitu dengan memanfaatkan biogas. Biogas adalah gas yang mudah terbakar diperoleh dari penguraian senyawa-senyawa organik dalam biomassa (fermentasi) pada kondisi tanpa udara (*anaerobic*) [4]. Kandungan utama biogas adalah gas Metana (CH_4) dan Karbon Dioksida (CO_2). Sebagian kecil adalah gas Hidrogen Sulfida (H_2S), Nitrogen (N_2), Hidrogen (H_2), dan Oksigen (O_2) [4]. Kehadiran gas Metana yang besar ini membuat biogas mudah terbakar dan dapat dipakai sebagai

sumber energi untuk memasak, penerangan, bahkan pada skala besar dapat menghasilkan energi listrik.

Biogas dapat menjadi solusi karena bahan baku yang digunakan berasal dari sampah organik seperti, sampah manusia, sampah daun-daun ataupun sisa-sisa makanan. Limbah tersebut masuk ke dalam limbah yang ramah lingkungan. Selain bahan bakunya yang ramah lingkungan, biogas dapat dikonversikan menjadi energi listrik dan gas yang dapat berguna untuk rumah tangga. Oleh karena itu, biogas dapat dipertimbangkan sebagai sumber energi yang baik untuk sekarang atau waktu yang akan datang [5].

Biodigester adalah suatu teknologi yang memanfaatkan proses biologis dimana bahan organik oleh mikroorganisme *anaerobik* terurai dalam ketiadaan oksigen terlarut (kondisi anaerob) yang dapat menghasilkan biogas [6]. Mikro organisme anaerobik mencerna bahan masukan organik yang diubah melalui degradasi anaerobik menjadi bentuk yang lebih stabil, sementara gas campuran energi tinggi (biogas) yang terutama terdiri dari Metana (CH_4) dan Karbon Dioksida (CO_2) yang dihasilkan [7].

Biodigester tipe *fixed dome* merupakan jenis digester yang memiliki volume tetap. Dalam konstruksi biodigester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor [8]. Struktur dalam pembuatan digester ini harus kuat karena harus menahan gas agar tidak terjadi kebocoran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Sedangkan pada bagian kubah, merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak atau menetap (*fixed*), untuk gas yang dihasilkan dari campuran bahan organik pada digester akan mengalir dan akan disimpan pada bagian kubah. Pada saat proses pembentukan biogas, dalam reaktor digester terjadi peningkatan tekanan (*pressure*) [9].



Gambar 1. Biodigester tipe *fixed dome* [6]

Selain lebih mudah dikerjakan karena bentuknya sederhana, beberapa keuntungan lain dari biodigester ini adalah dapat diletakkan di dalam permukaan tanah sehingga tidak memakan tempat, tidak terdapat bagian yang bergerak, untuk biaya konstruksinya rendah dan jangka waktu dalam pemakaian bisa dalam jangka waktu yang sangat lama [10].

Adapun beberapa kekurangan dalam biodigester tipe *fixed dome* diantaranya adalah bagian dalam reaktor tidak terlihat (khususnya yang diletakkan di dalam tanah) sehingga jika terjadi kebocoran tidak segera terdeteksi, tidak tetapnya tekanan gas dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi, dan cenderung memiliki temperatur yang rendah [10].

Penelitian sejenis yang telah dilakukan oleh Syafian, dkk [11] serta Iqbal, dkk [12] menyatakan bahwa biodigester yang dikembangkan membutuhkan volume bahan baku yang sangat banyak sehingga tidak cocok untuk skala kecil, selain itu penempatan di atas tanah sangat tidak efisien dilihat dari metode pengisian bahan baku, dimensi biodigester dan sistem instalasi pipa gas. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu adanya optimasi atau pengembangan dari rancangan dan proses manufaktur biodigester tipe *fixed dome* tersebut.

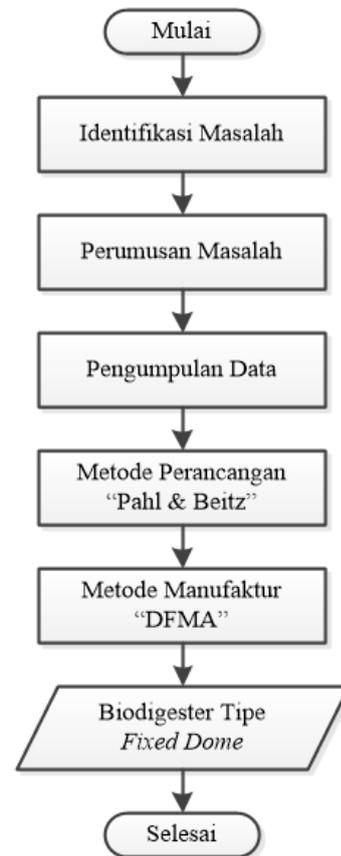
Tujuan dari penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan produk biodigester tipe *fixed dome* yang tepat dan optimal melalui pengembangan rancangan produk dan rancangan proses manufaktur produk.. Dengan metode perancangan Pahl & Beitz diharapkan dapat menghasilkan rancangan yang optimal serta dengan metode *Design for Manufacturing* dan *Design for Assembly* (DFMA) diharapkan dapat menghasilkan tahapan manufaktur yang tepat, sehingga menghasilkan waktu manufaktur yang optimal.

II. METODE PENELITIAN

Metode perancangan yang digunakan untuk merancang biodigester tipe *fixed dome* adalah metode perancangan produk menggunakan metode Pahl & Beitz [13] dan untuk perancangan proses manufaktur menggunakan metode DFMA [14]. Secara umum metode penelitian yang dilakukan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Tahapan dari metode penelitian yang digunakan terdiri dari:

1. Identifikasi masalah. Mengidentifikasi masalah hasil studi sebelumnya tentang biodigester. Hal ini dilakukan agar perancangan mendapatkan hasil yang lebih optimal. Sehingga biodigester yang dihasilkan dapat berguna dan sesuai dengan kebutuhan konsumen [15].



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

2. Perumusan masalah. Pada tahap ini perumusan masalah dilakukan untuk menentukan pokok permasalahan yang ada di latar belakang yang bertujuan untuk menentukan topik dari permasalahan ini yaitu rancang bangun biodigester tipe *fixed dome* yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan pelanggan.
3. Pengumpulan data. Untuk melibatkan konsumen ke dalam penelitian dan dalam proses perancangan untuk mengembangkan produk biodigester tipe *fixed dome*, maka diperlukannya proses pencarian data produk dan kebutuhan akan alat tersebut. Pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuesioner seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.
4. Perancangan menggunakan metode Pahl & Beitz. Metode ini merupakan metode yang sering digunakan untuk mengembangkan produk yang sudah ada. Tahap konsep desain merupakan tahapan terpenting dalam metode Pahl & Beitz ini [13].
5. Perancangan proses manufaktur menggunakan metode DFMA. DFMA terbagi menjadi dua, yaitu: DFM (*Design for Manufacturing*) dan DMA (*Design for Assembly*) [14]. DFM memiliki luaran berupa SOP (*Standard Operational Procedure*) yang berisikan tahapan-tahapan proses pembuatan dari tiap-tiap komponen



Kuesioner Identifikasi Kebutuhan
Perancangan Biodigester Tipe Fixed Dome untuk Rumah Mandiri Energi
Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

Identitas Pengisi:

- Usia :thn
- Jenis Kelamin : P / L (lingkari salah satu)
- Pekerjaan :

Pertanyaan Terbuka:

1. Berapa daya listrik tempat tinggal Anda?
Jawaban:.....
2. Berapa biaya listrik yang Anda keluarkan dalam 1 bulan? (dalam Rupiah)
Jawaban:.....
3. Apakah Anda menggunakan gas untuk keperluan memasak?
Jawaban:.....
4. Berapa banyak tabung gas yang Anda habiskan dalam 1 bulan? (sebutkan ukuran tabung)
Jawaban:.....
5. Berapa biaya yang Anda keluarkan untuk membeli gas? (dalam Rupiah)
Jawaban:.....
6. Apakah Anda tertarik, Jika ada alat atau teknologi yang dapat memberikan solusi terhadap kebutuhan listrik dan gas tempat tinggal Anda?
Jawaban:.....

Gambar 3. Contoh kuesioner



Gambar 4. Sampah organik kantin dan taman

produk yang dibuat. Sedangkan DFA memiliki luaran OPC (*Operational Chart Procedure*) merupakan diagram alir dari tiap-tiap tahapan yang dilakukan pada perakitan dan termasuk didalamnya proses pembuatan produk yang akan dibuat [16].

Spesifikasi dari sampah organik yang dijadikan sebagai bahan baku adalah adalah sampah organik yang dihasilkan oleh Kantin dan Taman Teknik Universitas Pancasila dengan berat rata-rata 30 kg per harinya. Gambar 4 memperlihatkan campuran sampah organik kantin dan taman yang telah dipilah.

Tabel 1. Kebutuhan perancangan biodigester tipe *fixed dome*

No.	Pernyataan Kebutuhan	Tingkat Kepentingan
1	Tangki mampu menahan tekanan gas yang dihasilkan	● ● ●
2	Energi listrik dan gas yang dihasilkan mencukupi rumah sederhana	● ● ●
3	Biaya produksi murah	●
4	Perawatan dan perbaikan mudah	● ●

Keterangan:

● ● ● = Sangat diperlukan

● ● = Diperlukan

● = Perlu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Produk Biodigester

1. Identifikasi Kebutuhan

Tahap pertama dari perancangan produk berdasarkan metode Pahl & Beitz [13] adalah melakukan identifikasi kebutuhan pelanggan berdasarkan observasi, rekapitulasi, dan interpretasi hasil wawancara dan kuesioner.

Berdasarkan hasil tersebut, maka akan dihasilkan tabel kebutuhan perancangan biodigester tipe *fixed dome* (lihat Tabel 1) serta menentukan persyaratan sebagai keinginan (*wishes*) atau keharusan (*demand*) seperti pada Tabel 2.

Demand merupakan persyaratan yang harus diselesaikan dalam kondisi apapun dengan kata lain apabila tidak diselesaikan, maka tidak akan mencapai solusi yang akan diterima. Sedangkan *Wishes* merupakan persyaratan yang diharapkan proses perancangan dan apabila memungkinkan dapat dimasukkan melalui pertimbangan. Agar memudahkan dalam proses penyusunannya, spesifikasi dilakukan dengan meninjau beberapa aspek seperti geometri, material, keamanan, perawatan, dan sebagainya. Tabel 2 memperlihatkan terdapat tujuh aspek persyaratan yang harus dipenuhi untuk dapat menghasilkan rancangan produk biodigester tipe *fixed dome* yang sesuai dengan keinginan dan harapan pengguna atau pelanggan.

Tabel 2. Daftar persyaratan untuk perancangan biodigester tipe *fixed dome*

No.	Aspek	D/W
1.	Geometri • Dimensi proposional • Bentuk dan konstruksi kokoh	W D
2.	Kinematika • Mekanisme mudah dioperasikan	D
3.	Material • Mampu menahan tekanan gas	D
4.	Perakitan • Waktu pemasangan dan pembongkaran relatif cepat	W
5.	Perawatan • Mudah dilakukan pembersihan pada komponen – komponen • Komponen dapat diganti atau diperbaiki • Biaya perawatan relatif murah	W W W
6.	Aplikasi • Dapat dipasarkan secara luas • Umur pemakain yang relatif lama	D D
7.	Biaya • Biaya produksi murah	W

Keterangan:
D = *Demand* (Keharusan)
W = *Wishes* (Keinginan)

2. Perencanaan Konsep Produk

Tahap perancangan produk yang pertama adalah menentukan blok fungsi dan diagram fungsi yang akan digunakan dalam perancangan biodigester tipe *fixed dome* untuk rumah mandiri energi.

a. Blok Fungsi

Pada suatu perancangan tentu diperlukan blok fungsi untuk mendapatkan *input* dan *output* agar proses perancangan dapat bekerja dengan baik dan benar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

b. Diagram Fungsi

Setelah mendapatkan blok fungsi, tahapan selanjutnya adalah menjelaskan diagram fungsi pada perancangan biodigester tipe *fixed dome* seperti yang ditampilkan pada Gambar 6.

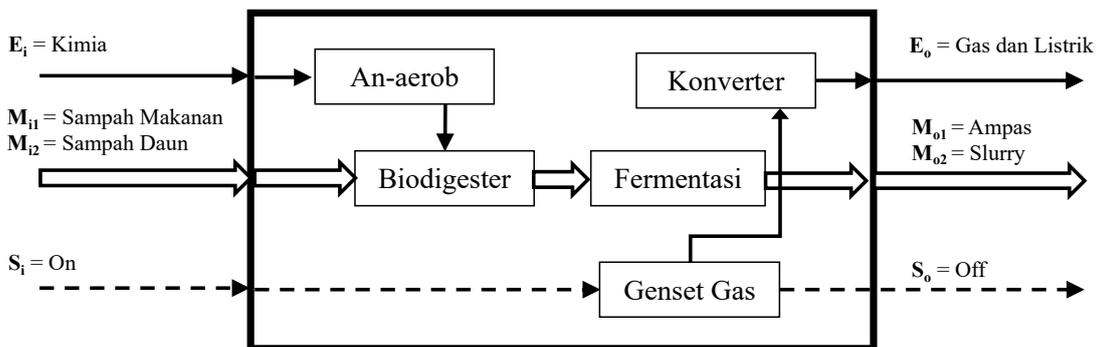
Fungsi biodigester tipe *fixed dome* ini adalah untuk menghasilkan biogas dari bahan baku sampah organik yang diproses dalam tangki biodigester dengan cara memanfaatkan proses biologis dimana sampah organik oleh mikroorganisme terurai dalam kondisi anaerob. Sehingga dari proses tersebut menghasilkan biogas yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik dan gas.



Gambar 5. Blok fungsi biodigester tipe *fixed dome*

Keterangan :

E_i = energi *input*; E_o = energi *output*; M_i = material *input*; M_o = material *output*; S_i = sinyal *input*; S_o = sinyal *output*



Gambar 6. Diagram fungsi biodigester tipe *fixed dome*

3. Perencanaan Bentuk Produk

Perencanaan bentuk produk adalah proses menciptakan ide bentuk dari produk yang akan dibuat dan ditindaklanjuti hingga produk dilakukan proses manufaktur. Agar perancangan sesuai dengan kebutuhan, maka perlu adanya perancangan bentuk produk. Untuk mendapatkan perancangan bentuk perlu dibutuhkan tahap pembuatan *morphologi chart*, pemilihan desain, dan pohon keputusan, sehingga dapat dihasilkan satu penilaian konsep varian terpilih yang nantinya akan dijadikan acuan rancangan yang digunakan untuk dilanjutkan pada tahap rancangan detail dan pembuatan prototipe [13].

a. *Morphology Chart*

Morphology chart adalah suatu daftar atau ringkasan dalam bentuk tabel dari analisis perubahan bentuk secara sistematis untuk mengetahui bagaimana bentuk suatu produk dibuat. Di dalam chart ini dibuat kombinasi dari berbagai kemungkinan solusi untuk membentuk produk-produk yang berbeda atau bervariasi. Kombinasi yang berbeda dari sub solusi dapat dipilih dari chart mungkin dapat menuju solusi baru yang belum teridentifikasi sebelumnya [17]. *Morphology chart* berisi elemen-elemen, komponen, atau sub solusi yang lengkap yang dapat dikombinasikan seperti yang terlihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, *morphology chart* dihasilkan tiga bentuk varian biodigester tipe *fixed dome*, yaitu:

1) Varian 1 : 1-C, 2-B, 3-C, 4-B, 5-B

Konsep varian satu, seperti yang terlihat pada Gambar 7, bahwa varian dengan tangki biodigester berpenampang segi empat dan pada bagian atasnya berbentuk setengah bola menyerupai kubah. Pada bak penampung *inlet* maupun *outlet*nya menggunakan fiber berbentuk kubus. Pipa penghubung dari bak penampung *inlet* menuju tangki biodigester maupun dari tangki biodigester menuju bak penampung *outlet* menggunakan pipa berbahan fiber berbentuk zig-zag. Serta pipa keluar biogas menggunakan pipa berbahan PVC. Keunggulan dari varian ini adalah pada bagian pipa penghubung lebih efisien terhadap laju sampah organik dari bak penampung menuju tangki biodigester.

2) Varian 2 : 1-A, 2-C, 3-A, 4-A, 5-A

Pada konsep varian dua ini (lihat Gambar 8), didapat varian dengan tangki biodigester berbentuk bulat yang masing-masing sisinya dihubungkan dengan bak penampung *inlet* dan *outlet* menggunakan pipa penghubung

Tabel 3. *Morphology chart* biodigester tipe *fixed dome*

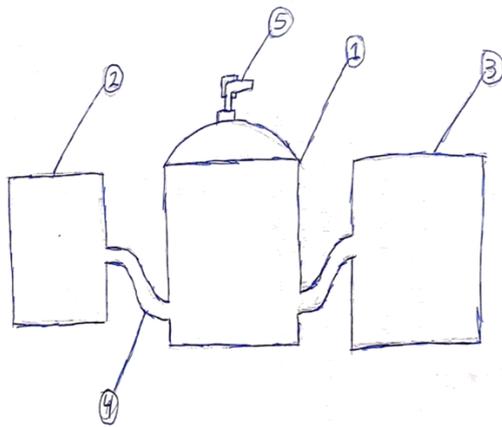
No.	Sub fungsi	Solusi A	Solusi B	Solusi C
1.	Tangki biodigester	 Tangki Bulat	 Tangki Kubus	 Tangki Kubus+Kubah
2.	Bak penampung inlet	 Penampang Lingkaran	 Penampang Segi Empat	 Penampang Kerucut
3.	Bak penampung outlet	 Penampang Kerucut	 Penampang Lingkaran	 Penampang Segi Empat
4.	Pipa Penghubung	 Pipa Sejajar	 Pipa Zig-zag	 Pipa Diagonal
5.	Pipa Keluar Biogas	 Pipa PVC	 Pipa Besi	 Selang Karet



secara horizontal pada bagian bawahnya. Sementara di bagian saluran keluar biogas menggunakan pipa berbahan besi. Keunggulan dari varian ini adalah konstruksi bak penampung *inlet* menjadikan bahan baku sampah organik lebih mudah masuk kedalam tangki biodigester.

3) Varian 3 : 1-B, 2-A, 3-B, 4-C, 5-C

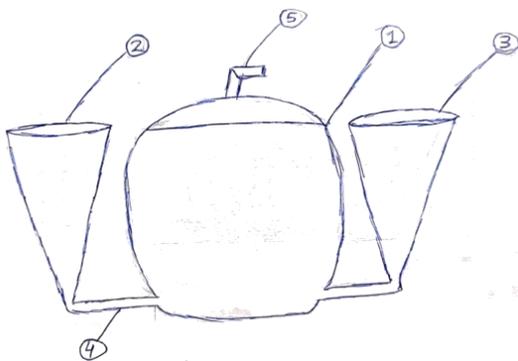
Konsep varian tiga seperti pada Gambar 9, didapat varian dengan tangki biodigester berbentuk kubus yang masing-masing sisinya dihubungkan dengan bak penampung *inlet* dan *outlet* menggunakan pipa penghubung secara diagonal. Pada bak penampung *inlet* dan *outlet* berbentuk tabung dengan penampang lingkaran. Sementara di bagian saluran keluar biogas menggunakan selang berbahan karet. Keunggulan dari varian ini adalah konstruksi tangki biodigester dan pipa penghubung yang lebih mudah dibuat.



No Keterangan

1. Tangki biodigester
2. Bak penampung inlet
3. Bak penampung outlet
4. Pipa penghubung
5. Pipa keluar gas

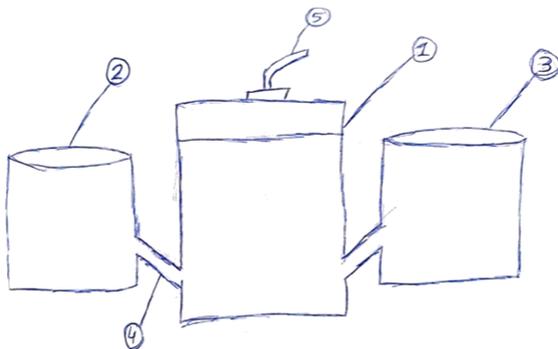
Gambar 7. Varian 1



No Keterangan

1. Tangki biodigester
2. Bak penampung inlet
3. Bak penampung outlet
4. Pipa penghubung
5. Pipa keluar gas

Gambar 8. Varian 2



No Keterangan

1. Tangki biodigester
2. Bak penampung inlet
3. Bak penampung outlet
4. Pipa penghubung
5. Pipa keluar gas

Gambar 9. Varian 3

Tabel 3. Skala penilaian

Angka	Keterangan
1	Kurang
2	Cukup
3	Baik
4	Sangat Baik

Tabel 4. Kriteria produk berkualitas

No.	Kriteria Produk Berkualitas
1	Fungsi
2	Aman
3	Material
4	Biaya
5	Manufaktur

b. Pemilihan Desain

Setelah pemilihan desain dibuat, maka kemudian akan diseleksi dengan beberapa kriteria yang ditentukan untuk dapat lebih menyempurnakan hasil rancangan hingga sesuai dengan apa yang diinginkan pada *demand and wishes*. Berikut adalah beberapa kriteria yang digunakan:

1) Skala penilaian

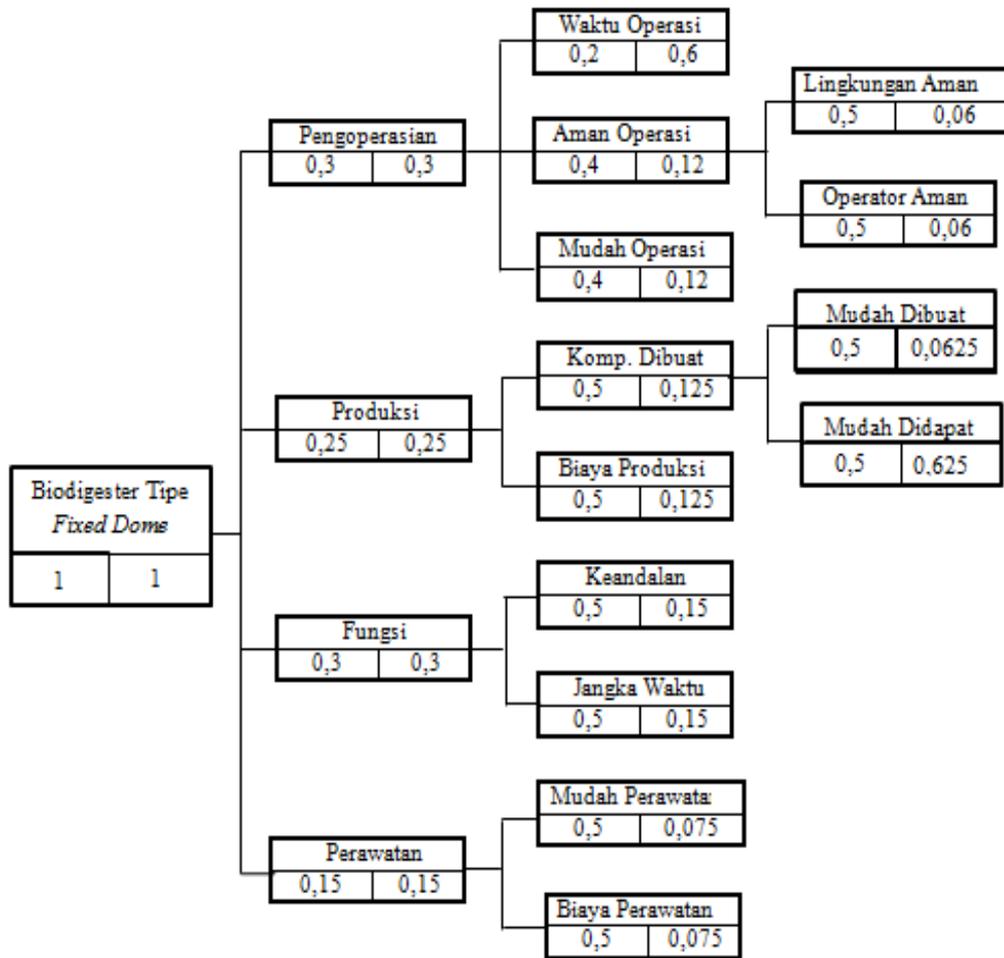
Skala penilaian merupakan parameter untuk menentukan nilai dari pembobotan penilaian sekaligus untuk menentukan besar kecilnya nilai pada suatu kajian dalam penelitian yang dilakukan menggunakan skala penilaian Clickers [18]. Tabel 4 memperlihatkan skala dan keterangan nilai yang digunakan.

2) Kriteria produk berkualitas

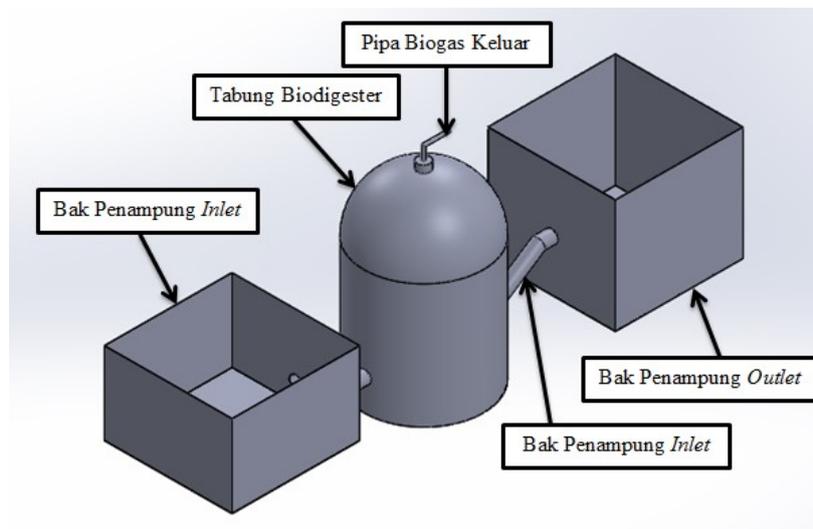
Kriteria produk berkualitas bertujuan untuk mengevaluasi setiap varian yang telah terbentuk dengan menentukan parameter yang akan dinilai berdasarkan pembobotan. Tabel 5, memperlihatkan dasar dari penilaian kriteria produk berkualitas.

3) Pohon keputusan

Tahap selanjutnya dari pemilihan desain adalah pembuatan pohon keputusan (*objectives tree*), jenis klasifikasi dan besar pembobotan dibuat berdasarkan pengembangan dari *demands requirements lists* yang kemudian dijabarkan pada daftar persyaratan yang sebelumnya telah dibuat [19]. Dimana yang bersifat kebutuhan (*demands*) memiliki nilai bobot yang lebih tinggi daripada yang bersifat keinginan (*wishes*). Gambar 10, memperlihatkan pohon keputusan untuk rancangan biodigester tipe *fixed dome*.



Gambar 10. Pohon keputusan



Gambar 11. Desain biodigester tipe fixed dome

c. Pembobotan

Setelah menentukan pohon keputusan yang sesuai dengan pemilihan desain, maka tahap berikutnya adalah memberi pembobotan nilai pada ketiga varian tersebut. Angka pada

pembobotan didapat berdasarkan *evaluation criteria* atau evaluasi kriteria dari ketiga varian yang dilakukan oleh pengguna, kemudian ketiga varian pada tahap selanjutnya akan dilakukan perhitungan.

Dari hasil perhitungan tersebut akan ditentukan varian mana yang akan dipilih untuk tahap selanjutnya dengan menghitung nilai akhir yang paling tinggi. Tabel 6 memperlihatkan hasil penilaian yang dilakukan. Berdasarkan Tabel 6, nilai kriteria hasil pembobotan pada varian 1 yaitu sebesar 3,28; varian 2 sebesar 3,01 dan varian 3 sebesar 2,70. Hasil tersebut didapat dari hasil perkalian antara nilai kriteria dari tiap varian dan nilai bobot yang didapat dari pohon keputusan.

4. Perancangan Detail

Tahapan perancangan detail merupakan tahap dimana hasil desain varian yang sudah dipilih pada perancangan biodigester tipe *fixed dome* untuk rumah mandiri energi dibuat perancangan secara lebih detailnya (lebih detail terdapat di lampiran). Gambar 11, menyajikan desain detail dari varian 1 yang merupakan varian terpilih dari biodigester tipe *fixed dome*. Berikut penjelasan Gambar 11:

- **Tangki Biodigester.** Tangki biodigester berfungsi sebagai tempat proses fermentasi anaerobik mikroorganisme dengan sampah organik hingga menjadi biogas. Biogas yang dihasilkan dari sampah organik tersebut akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.
- **Bak penampung inlet.** Bak ini berfungsi sebagai tempat awal memasukkan sampah organik yang akan diproses sebelum masuk ke ruang digester.
- **Bak penampung outlet.** Bak ini berfungsi untuk menampung lumpur/*slurry* dari tangki biodigester sebagai hasil dari proses fermentasi anaerob yang dapat digunakan sebagai pupuk.
- **Pipa penghubung.** Pipa ini berfungsi sebagai penghubung antara bak penampung dengan

biodigester dengan bentuk tabung berpenampang lingkaran dan ketebalannya 2 mm.

- **Pipa keluar biogas.** Komponen ini berfungsi sebagai saluran gas yang terhubung dari kubah tangki biodigester menuju keran pengatur gas.

B. Perancangan Proses Manufaktur Biodigester

Metode DFMA adalah metode yang digunakan dalam kegiatan merancang suatu proses manufaktur yang dilakukan. Desain suatu produk atau komponen yang mampu membantu dalam suatu proses manufaktur, proses perakitan dengan komponen lain agar menjadi suatu produk. Dengan kata lain pada proses metode DFMA digunakan untuk merancang produk yang mempunyai kualitas tinggi dan biaya yang minimum [14].

Pada tahap ini, yaitu proses penggabungan dari dua metode untuk kelanjutan dalam proses manufacturing, yaitu [14]:

a) *Design for Manufacturing* (DFM)

Design for Manufacturing (DFM) adalah tahap awal pada proses *manufacturing*. Pada tahap ini adalah menentukan spesifikasi dari material yang akan diperlukan, estimasi waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan dan juga estimasi biaya yang akan dikeluarkan untuk pembelanjaan material.

b) *Design for Assembly* (DFA)

Design For Assembly (DFA) yaitu merupakan tahap untuk perakitan komponen. Pada tahap perakitan ini digunakan mur, baut dan pelubangan benda kerja.

Tabel 5. Pembobotan varian

No.	Kriteria		B	Parameter	Varian 1			Varian 2			Varian 3		
	Item	Sub item			K	A	HB	K	A	HB	K	A	HB
1	Fungsi	Keandalan	0,15	Efisiensi	Baik	3	0,45	Cukup	2	0,30	Cukup	2	0,30
		Jangka waktu	0,15	Waktu	Baik	3	0,45	Baik	3	0,45	Baik	3	0,45
2	Pengoperasian	Mudah operasi	0,12	Pengoperasian	Cukup	2	0,24	Cukup	2	0,24	Cukup	2	0,24
		Lingkungan aman	0,06	Ramah lingkungan	Sangat baik	4	0,24	Sangat baik	4	0,24	Sangat baik	4	0,24
		Operator aman	0,06	Keamanan	Baik	3	0,18	Baik	3	0,18	Baik	3	0,18
		Waktu operasi	0,06	Waktu	Cukup	2	0,12	Cukup	2	0,12	Cukup	2	0,12
3	Produksi	Mudah dibuat	0,06	Bentuk	Sangat baik	4	0,24	Cukup	2	0,12	Cukup	2	0,12
		Mudah didapat	0,06	Jumlah dipasaran	Sangat baik	4	0,24	Sangat baik	4	0,24	Baik	3	0,18
		Biaya produksi	0,12	Harga	Sangat baik	4	0,60	Sangat baik	4	0,60	Sangat baik	4	0,50
4	Perawatan	Kemudahan perawatan	0,07	Bentuk	Baik	3	0,22	Baik	3	0,22	Cukup	2	0,15
		Biaya perawatan	0,07	Harga	Sangat baik	4	0,30	Sangat baik	4	0,30	Baik	3	0,22
Jumlah Nilai			1,00										
							3,28			3,01			2,70

Keterangan:

B = Bobot
A = Angka

K = Keterangan
HB = Hasil Bobot

1. Dasar Pemilihan Komponen

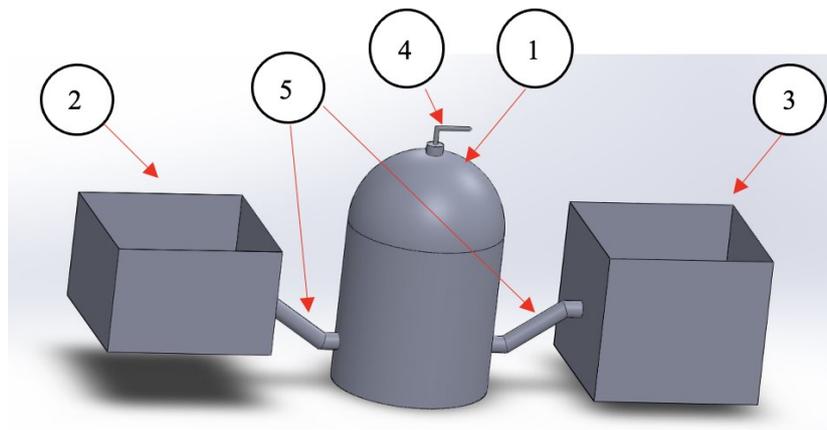
Dasar pemilihan komponen merupakan suatu hal yang sangat penting dalam perancangan proses manufaktur Biodigester *fixed dome*, dari dasar pemilihan komponen dapat menentukan setiap menentukan setiap komponen yang digunakan, material yang digunakan, serta dapat menentukan banyaknya komponen yang digunakan pada saat perancangan proses manufaktur Biodigester *fixed dome*.

Bill of material (BOM) adalah sebuah daftar yang mencantumkan seluruh *sub-assembly*, *part*, dan bahan baku beserta jumlah masing-masing yang diperlukan untuk membuat produk jadi. Gambar 12, menampilkan bagian-bagian unit biodigester tipe *fixed dome*. Sedangkan Tabel 7, menyajikan spesifikasi dari tiap-tiap bagian biodigester yang akan dibuat. Selain spesifikasi material, pada Tabel 7, ditampilkan dimensi dari masing-masing komponen biodigester tipe *fixed*

dome. Dalam perancangan proses manufaktur biodigester *fixed dome* terdapat komponen yang dibeli dan dibuat, detail keterangan disajikan pada Tabel 8.

2. *Standart Operation Procedure* (SOP)

Standard process procedure merupakan suatu serangkaian penyelenggaraan kegiatan, kapan dan bagaimana harus dilakukan, oleh siapa dan dilakukan. *Standar operasional prosedur* atau yang disingkat SOP pada dasarnya merupakan pedoman yang berisi prosedur operasional standar kegiatan yang dijalankan dalam organisasi yang digunakan untuk memastikan bahwa semua keputusan dan tindakan, serta penggunaan fasilitas proses yang dilakukan berjalan konsisten, efisien, dan efektif. Berikut adalah *Standard Operation Procedure* (SOP) manufaktur berdasarkan komponen pada alat Biodigester tipe *fixed dome* yang tersaji pada Gambar 13 – Gambar 16.



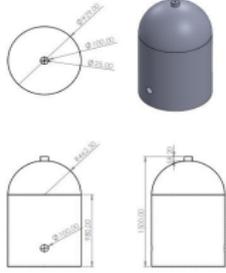
Gambar 12. Komponen-komponen biodigester *fixed dome*

Tabel 7. Penjelasan *bill of material*

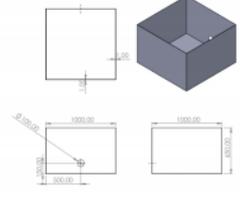
No.	Nama Komponen	Jumlah	Material	Spesifikasi
1.	Tangki Penampung Biogas	1 Set	Fiberglass	1500mm × 5mm × dan Ø929mm
2.	Penampung Masuk (<i>Inlet</i>)	1 Set	Fiberglass	1000mm × 1000mm × 650mm
3.	Penampung Keluar (<i>Outlet</i>)	1 Set	Fiberglass	1000mm × 1000mm × 900mm
4.	Saluran Gas	1 Set	PVC	212mm × 112mm dan Ø 25mm
5.	Pipa Penghubung	2 Set	Fiberglass	Ø100mm × 540mm

Tabel 8. Komponen yang dibeli dan dibuat

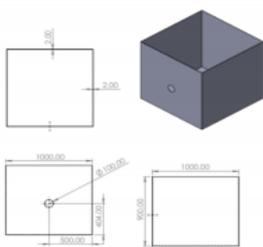
No.	Nama Komponen	Jumlah	Material	Keterangan
1.	Tangki Penampung Biogas	1 Set	Fiberglass	Dibuat
2.	Penampung Masuk (<i>Inlet</i>)	1 Set	Fiberglass	Dibuat
3.	Penampung Keluar (<i>Outlet</i>)	1 Set	Fiberglass	Dibuat
4.	Saluran Gas	1 Set	Pipa Besi	Dibeli
5.	Pipa Penghubung	2 Set	Fiberglass	Dibuat
6.	Mur Dan Baut (M16)	20 Set	Stainless steel	Dibeli

Nama Komponen : Tangki Biodigester			Proses Produksi	
Nomor Komponen : 1			1. Persiapan 1. Menyiapkan cetakan (<i>mold</i>) tangki biodigester dengan dimensi 1500mm x 5mm x dan Ø929mm. 2. Menyiapkan <i>mirror glaze</i> 3. Menyiapkan <i>gel coat</i> (campuran resin dan katalis) 4. Menyiapkan <i>fiberglass</i> . 5. Menyiapkan resin dan katalis 2. Pembuatan 1. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan <i>mirror glazz wax</i> , pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 2. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan cairan <i>gel coat</i> (campuran catalis dan resin), pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 3. <i>Fiberglass</i> diletakan pada sisi luar <i>mold</i> yang telah di <i>coating</i> menggunakan cairan <i>gel coat</i> , proses ini membutuhkan waktu selama 45 menit. 4. Lakukan <i>coating</i> dengan menggunakan resin dan katalis pada <i>fiberglass</i> , dan lakukan sebanyak 3 lapisan pada <i>fiberglass</i> , dalam proses ini di butuhkan waktu 30 menit, lalu dilakukan proses pengeringan dengan waktu 3 jam. 5. Pelepasan komponen dari <i>mold</i> dan dilakukan proses <i>grinding</i> untuk <i>finishing</i> . 3. Pemeriksaan 1. Melakukan pemeriksaan kebocoran 2. Membersihkan sisa – sisa bahan baku yang sudah lama dipakai	
Material / Jenis : <i>Fiberglass</i>				
Alat kerja: Cetakan				
Waktu kerja : 5 Jam 15 Menit				
				
Tgl:	Tgl:	Tgl:		
Dibuat	Diperiksa	Disetujui		
Rizki Nuryadin	Nicko Deva Hardiansyah	Dr. Ir. Agri Suwandi, ST.MT.	 JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PANCASILA	

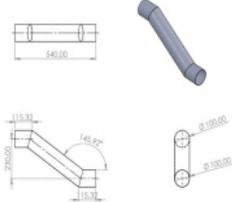
Gambar 13. SOP tangki biodigester

Nama Komponen : Penampung Inlet			Proses Produksi	
Nomor Komponen : 2			1. Persiapan 1. Menyiapkan cetakan (<i>mold</i>) penampung <i>inlet</i> dengan dimensi 1000mm x 1000mm x 650mm. 2. Menyiapkan <i>mirror glaze</i> 3. Menyiapkan <i>gel coat</i> (campuran resin dan katalis) 4. Menyiapkan <i>fiberglass</i> . 5. Menyiapkan resin dan katalis 2. Pembuatan 1. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan <i>mirror glazz wax</i> , pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 2. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan cairan <i>gel coat</i> (campuran catalis dan resin), pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 3. <i>Fiberglass</i> diletakan pada sisi luar <i>mold</i> yang telah di <i>coating</i> menggunakan cairan <i>gel coat</i> , proses ini membutuhkan waktu selama 45 menit. 4. Lakukan <i>coating</i> dengan menggunakan resin dan katalis pada <i>fiberglass</i> , dan lakukan sebanyak 3 lapisan pada <i>fiberglass</i> , dalam proses ini di butuhkan waktu 30 menit, lalu dilakukan proses pengeringan dengan waktu 3 jam. 5. Pelepasan komponen dari <i>mold</i> dan dilakukan proses <i>grinding</i> untuk <i>finishing</i> . 3. Pemeriksaan 1. Melakukan pemeriksaan kebocoran 2. Membersihkan sisa – sisa bahan baku yang sudah lama dipakai	
Material / Jenis : <i>Fiberglass</i>				
Alat kerja: Cetakan				
Waktu kerja : 5 Jam 15 Menit				
				
Tgl:	Tgl:	Tgl:		
Dibuat	Diperiksa	Disetujui		
Rizki Nuryadin	Nicko Deva Hardiansyah	Dr. Ir. Agri Suwandi, ST.MT.	 JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PANCASILA	

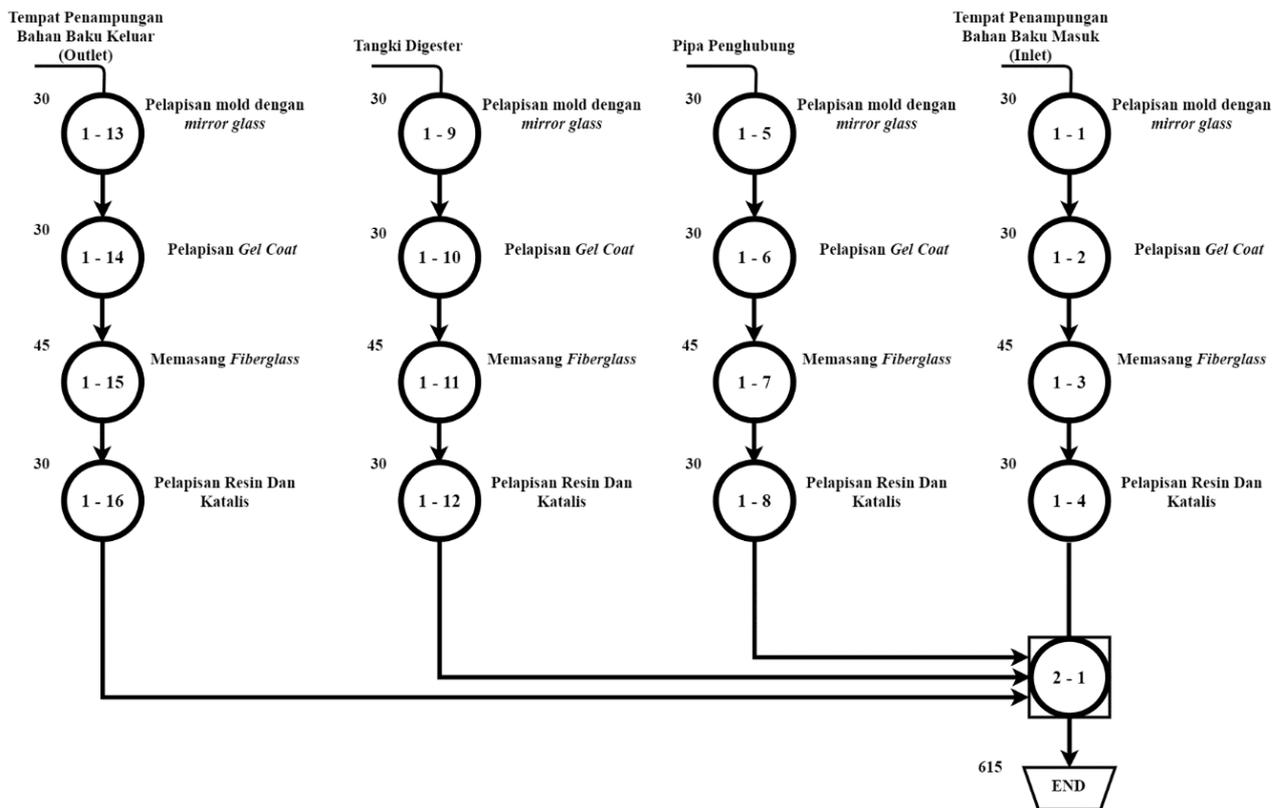
Gambar 15. SOP penampung inlet

Nama Komponen : Penampung outlite			Proses Produksi	
Nomor Komponen : 3			1. Persiapan 1. Menyiapkan cetakan (<i>mold</i>) penampung <i>outlite</i> dengan dimensi 1000mm x 1000mm x 900mm. 2. Menyiapkan <i>mirror glaze</i> 3. Menyiapkan <i>gel coat</i> (campuran resin dan katalis) 4. Menyiapkan <i>fiberglass</i> . 5. Menyiapkan resin dan katalis 2. Pembuatan 1. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan <i>mirror glazz wax</i> , pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 2. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan cairan <i>gel coat</i> (campuran catalis dan resin), pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 3. <i>Fiberglass</i> diletakan pada sisi luar <i>mold</i> yang telah di <i>coating</i> menggunakan cairan <i>gel coat</i> , proses ini membutuhkan waktu selama 45 menit. 4. Lakukan <i>coating</i> dengan menggunakan resin dan katalis pada <i>fiberglass</i> , dan lakukan sebanyak 3 lapisan pada <i>fiberglass</i> , dalam proses ini di butuhkan waktu 30 menit, lalu dilakukan proses pengeringan dengan waktu 3 jam. 5. Pelepasan komponen dari <i>mold</i> dan dilakukan proses <i>grinding</i> untuk <i>finishing</i> . 3. Pemeriksaan 1. Melakukan pemeriksaan kebocoran 2. Membersihkan sisa – sisa bahan baku yang sudah lama dipakai	
Material / Jenis : <i>Fiberglass</i>				
Alat kerja: Cetakan				
Waktu kerja : 5 Jam 15 Menit				
				
Tgl:	Tgl:	Tgl:		
Dibuat	Diperiksa	Disetujui		
Rizki Nuryadin	Nicko Deva Hardiansyah	Dr. Ir. Agri Suwandi, ST.MT.	 JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PANCASILA	

Gambar 14. SOP penampung outlet

Nama Komponen : Pipa penghubung			Proses Produksi	
Nomor Komponen : 5			1. Persiapan 1. Menyiapkan cetakan (<i>mold</i>) pipa penghubung dengan dimensi Ø100mm x 540mm. 2. Menyiapkan <i>mirror glaze</i> 3. Menyiapkan <i>gel coat</i> (campuran resin dan katalis) 4. Menyiapkan <i>fiberglass</i> . 5. Menyiapkan resin dan katalis 2. Pembuatan 1. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan <i>mirror glazz wax</i> , pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 2. <i>Coating</i> seluruh bagian sisi luar <i>mold</i> dengan menggunakan cairan <i>gel coat</i> (campuran catalis dan resin), pengerjaan membutuhkan waktu 30 menit. 3. <i>Fiberglass</i> diletakan pada sisi luar <i>mold</i> yang telah di <i>coating</i> menggunakan cairan <i>gel coat</i> , proses ini membutuhkan waktu selama 45 menit. 4. Lakukan <i>coating</i> dengan menggunakan resin dan katalis pada <i>fiberglass</i> , dan lakukan sebanyak 3 lapisan pada <i>fiberglass</i> , dalam proses ini di butuh waktu 30 menit, lalu dilakukan proses pengeringan dengan waktu 3 jam. 5. Pelepasan komponen dari <i>mold</i> dan dilakukan proses <i>grinding</i> untuk <i>finishing</i> . 3. Pemeriksaan 1. Melakukan pemeriksaan kebocoran pada pipa gas. 1. Pengecekan pipa penghubung.	
Material / Jenis : <i>Fiberglass</i>				
Alat kerja: Cetakan				
Waktu kerja : 5 Jam 15 Menit				
				
Tgl:	Tgl:	Tgl:		
Dibuat	Diperiksa	Disetujui		
Rizki Nuryadin	Nicko Deva Hardiansyah	Dr. Ir. Agri Suwandi, ST.MT.	 JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PANCASILA	

Gambar 16. SOP pipa penghubung



Gambar 17. OPC biodigester tipe *fixed dome*

3. Operation Process Chart (OPC)

Dalam serangkaian proses manufaktur diperlukan OPC berguna untuk menggambar Dalam serangkaian proses manufaktur diperlukannya OPC berguna untuk menggambarkan langkah – langkah proses yang dilalui oleh setiap *part*, serta urutan proses dan pemeriksaan. OPC dibuat sebagaimana mestinya untuk meminimalisir kesalahan dalam proses manufaktur komponen dan menghasilkan produk semaksimal mungkin. Gambar 17, memperlihatkan OPC biodigester tipe *fixed dome*. Berdasarkan proses manufaktur biodigester *type fixed dome* yang dilakukan, total keseluruhan waktu dari *Operation Process Chart* (OPC) ialah selama 5 jam 15 menit.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan 3 varian yang telah dibuat berdasarkan metode perancangan Pahl & Beitz, dihasilkan bahwa varian dengan nilai akhir tertinggi yaitu varian 1 dengan nilai pembobotan akhir 3,28. Sehingga varian 1 menjadi varian terpilih yang dibuat perancangan detailnya. Dari hasil perancangan proses manufaktur biodigester tipe *fixed dome* dengan menggunakan metode DFMA dihasilkan bahwa estimasi untuk memproduksi satu unit biodigester tipe *fixed dome* adalah 5 jam 15

menit. Tahapan selanjutnya dari penelitian ini adalah dengan mewujudkan hasil perancangan yang telah dihasilkan untuk membuktikan apakah hasil rancangan yang ada dapat berfungsi dengan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian, desain dan pengembangan yang dilakukan dalam tulisan ini didukung oleh hibah penelitian Desentralisasi dengan skema “Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi”, dengan kontrak nomor 309/E4.1/AK.04.PT/2021 dari Kementerian Riset dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional dan surat perjanjian penugasan penelitian dari LPPM Universitas Pancasila dengan nomor 4622/LPPM/UP/VII/2021.

REFERENSI

- [1] A. Nugraha, S. H. Sutjahjo, And A. A. Amin, “Analisis Persepsi Dan Partisipasi Masyarakat Terhadap Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Jakarta Selatan,” *J. Pengelolaan Sumberd. Alam Dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.*, Vol. 8, No. 1, Pp. 7–14, 2018.
- [2] Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (Sipsn), “Data Pengelolaan Sampah,” 2021. [Online]. Available: <https://Sipsn.Menlhk.Go.Id/Sipsn/>.

- [3] Y. Hendra, "Perbandingan Sistem Pengelolaan Sampah Di Indonesia Dan Korea Selatan: Kajian 5 Aspek Pengelolaan Sampah," *Aspir. J. Masal. Sos.*, Vol. 7, No. 1, Pp. 77–91, 2016.
- [4] J. Sutrisno, "Pembuatan Biogas Dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung Dan Bayam)," *Waktu J. Tek. Unipa*, Vol. 8, No. 1, Pp. 100–112, 2010.
- [5] S. Wahyuni, *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya Grup, 2013.
- [6] M. I. Yuniar, "Studi Potensi Pemanfaatan Sampah Melalui Perencanaan Biodigester Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Kota Bandung," *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, Vol. 1, No. 1, 2017.
- [7] M. Mappiratu And R. Sikanna, "Kajian Teknologi Produksi Biogas Dari Sampah Basah Rumah Tangga," *Nat. Sci. J. Sci. Technol.*, Vol. 2, No. 1, 2013.
- [8] T. Haryati, "Biogas: Limbah Peternakan Yang Menjadi Sumber Energi Alternatif," *J. War.*, Vol. 16, No. 3, Pp. 160–169, 2006.
- [9] I. H. Gita Puspa Artiani, "Optimalisasi Pengolahan Sampah Organik Dengan Teknologi Biodigester Sebagai Upaya Konservasi Lingkungan," *Kilat*, Vol. 6, No. 2, Pp. 95–105, 2017.
- [10] M. Suyitno And N. Dharmanto, "Teknologi Biogas," *Graha Ilmu, Yogyakarta*, 2010.
- [11] A. M. L. Sanfiyan, Y. A. Amin, And E. Maulana, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Organik Zero Waste Di Kabupaten Tegal (Studi Kasus Di Tpa Penujah Kabupaten Tegal)," *J. Tek. Mesin Mercu Buana*, Vol. 6, No. 4, Pp. 282–289, 2017.
- [12] M. Iqbal, L. O. M. Firman, S. Harahap, And D. Dahlan, "Shell Thickness Design Optimization Of Bio Digester Tank For Organic Waste Power Plants In Tegal Regency," *J. Online Jar. Pengaj. Seni Bina*, Vol. 15, No. 1, Pp. 13–21, 2019.
- [13] G. Pahl And W. Beitz, *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [14] G. Boothroyd, P. Dewhurst, And W. A. Knight, *Product Design For Manufacture And Assembly*. Crc Press, 2010.
- [15] A. Suwandi, I. R. Fadli, And E. Maulana, "Perancangan Konsep Mesin Filling Press Pada Budidaya Jamur Tiram," *Flywheel J. Tek. Mesin Untirta*, Vol. 1, No. 1, 2017.
- [16] W. Libyawati, A. Suwandi, And H. Agustian, "Rancang Bangun Teknologi Modified Atmosphere Storage (Mas) Dengan Kapasitas 4, 77 M3," *J. Teknol.*, Vol. 9, No. 2, Pp. 103–116, 2017.
- [17] F. Sulaiman, "Desain Produk: Rancangan Tempat Lilin Multifungsi Dengan Pendekatan 7 Langkah Nigel Cross," *J. Teknovasi J. Tek. Dan Inov.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 32–41, 2017.
- [18] N. Rahim And T. T. Lee, "Development Of Acid Base E-Learning (E-Pab) Module Using Google Classroom," *J. Sci. Math. Lett.*, Vol. 9, No. 1, Pp. 1–10, 2021.
- [19] A. Suwandi, A. R. Al Afghani, D. L. Zariatn, And R. Rosidi, "Perancangan Mesin Pembuka Kaleng Aerosol Untuk Kategori Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3)," *J. Teknol.*, Vol. 13, No. 2, Pp. 115–128, 2021.

