

Design Concepts of a Shredder-Extruder Machine in Single Main Mover with Quality Function Deployment (QFD) Approach

Sufiyanto, Adriyan dan Marfizal

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

E-mail: sufiyanto07@gmail.com, adriyan0686@gmail.com, marfizal65@gmail.com

Abstract. The plastic recycling industry is a business that provides solutions in handling plastic waste, besides that it functions as a supplier of plastic raw materials which can reduce dependence on imported raw materials. The plastic recycling business actors still do not have a multi-function machine in reprocessing plastics into raw materials. Therefore it is necessary to have a shredder machine that functions shredding and extruder machine that can melt plastic until extrusion into plastic pellets. So that the machine can be made according to customer needs, the design concept used is the Quality Function Deployment (QFD) method. The steps taken in this QFD method include: preparing customer needs, comparing consumer needs with technical responses, so as to obtain the main components needed. The machine design consists of several concepts then compared to the reference concept. The results obtained of weighting based on the order of design priorities are: the design of a shredder blade that has a small cutting force, Shredder-extruder transmission can be combined and can be separated, the hopper can be closed and opened. The weighting results based on the selection of concepts obtained a shredder and extruder machines design that can be operated alternately or simultaneously using an single electric motor as the main mover.

Abstrak. Industri daur ulang plastik merupakan usaha yang memberi solusi dalam penanggulangan limbah plastik, selain itu juga berfungsi sebagai penyuplai bahan baku plastik yang dapat mengurangi ketergantungan bahan baku impor. Para pelaku usaha daur ulang plastik masih belum memiliki mesin multi fungsi dalam memproses kembali plastik menjadi bahan baku. Oleh karena itu perlu adanya mesin *shredder* yang berfungsi sebagai pencacah serta *extruder* yang dapat melelehkan plastik hingga di ekstrusi menjadi biji plastik. Agar mesin dapat dibuat sesuai kebutuhan konsumen, maka dalam konsep desain digunakan pendekatan metode *Quality Function Deployment* (QFD). Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode QFD ini antara lain: mengidentifikasi kebutuhan konsumen, membandingkan antara kebutuhan konsumen dengan respon teknis sehingga diperoleh prioritas komponen utama yang dibutuhkan. Desain mesin terdiri dari beberapa konsep kemudian dibandingkan dengan konsep referensi. Hasil yang diperoleh dari pembobotan berdasarkan urutan prioritas desain yaitu: desain mata pisau *shredder* yang memiliki gaya potong kecil, transmisi *shredder-extruder* dapat digabungkan dan dapat dipisahkan, *hopper* dapat diatur menutup dan membuka. Adapun hasil pembobotan berdasarkan pemilihan konsep diperoleh suatu desain mesin *shredder* dan *extruder* yang dapat dioperasikan secara bergantian ataupun serentak menggunakan satu buah motor listrik sebagai penggerak utama.

Kata kunci: metode QFD, mesin *shredder-extruder*, konsep desain.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pemerintah Indonesia hingga kini terus berupaya dalam penanggulangan limbah plastik, hingga menetapkan peraturan untuk mengurangi penggunaan kemasan berbahan plastik karena akan berdampak pada pencemaran lingkungan. Kebutuhan akan penggunaan bahan plastik memang tidak dapat dihentikan sepenuhnya akan tetapi perlu adanya upaya gerakan 3R yaitu *reduce*, *reuse* dan *recycle*.

Sebagai akademisi khususnya dibidang Teknik mesin perlu adanya upaya mendukung program pemerintah untuk melakukan proses daur ulang *recycle* plastik. Diantaranya adalah membuat inovasi mesin-mesin pengolah sampah plastik menjadi barang atau produk baru yang bermanfaat.

Polimer jenis termoplastik dapat didaur ulang secara mekanis dengan beberapa tahapan antara lain pencacahan, pencucian, pengeringan dan memproses ulang [1]. Pencacahan dapat dilakukan menggunakan mesin *Shredder*, sedangkan memproses ulang dapat dilakukan menggunakan

mesin *extruder* dengan cara memanaskan polimer hingga meleleh dan dialirkan melalui *screw*.

Desain mesin *shredder* sebagai pencacah plastik sebelumnya telah dilakukan oleh para peneliti dengan mempertimbangkan hubungan kecepatan putaran terhadap prestasi mesin [2, 3]. Desain mesin *extruder* juga telah diteliti secara matematis dan eksperimental tentang sudut heliks *screw* yang optimal terhadap laju aliran polimer [4]. Dari beberapa penelitian terdahulu belum adanya para peneliti yang mempertimbangkan kebutuhan konsumen agar dapat dipasarkan.

Proses dalam mendesain mesin tidak langsung dibuat sesuai keinginan para tim manufaktur. Perlu adanya pertimbangan dari para pengguna atau konsumen [5]. Dalam hal ini konsumen yang dimaksud adalah para pelaku usaha yang bergerak dibidang pengolahan limbah plastik. Sebagaimana tertera dalam Agenda Riset Nasional (ARN) 2016-2019 [6] yang menyatakan perlunya peningkatan kerjasama antar pelaku riset dengan industri.

Oleh karena itu, pengembangan konsep desain pada penelitian ini menggunakan pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Adapun inovasi terbaru yang dikembangkan dalam desain ini adalah menggabungkan antara mesin *shredder* dan *extruder* yang dapat dioperasikan secara bergantian ataupun serentak menggunakan satu buah motor listrik sebagai penggerak utama.

Metode Penelitian

Desain pengembangan konsep mesin *shredder* dan *extruder* dalam penelitian ini menggunakan metode QFD. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Permintaan *Customer*

Identifikasi permintaan *Customer* dilakukan untuk memperoleh informasi kebutuhan para pengguna agar nantinya perwujudan desain mesin dapat diterima dan dipasarkan. Data permintaan awal ini di inventarisasi menjadi *Voice of Customer* (VoC).

2. Pengelompokan Permintaan *Customer*

Pada langkah ini dilakukan pengelompokan masing- masing VoC berdasarkan beberapa kriteria terhadap kesamaan fungsi atau teknisnya.

3. Karakteristik Teknik

Pada tahap ini dilakukan transformasi dari kebutuhan-kebutuhan konsumen yang bersifat non teknis menjadi data yang bersifat teknis guna

memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut. Dengan kata lain bahwa permintaan dari para pengguna yang masih dalam istilah umum diterjemahkan ke dalam *Engineering Characteristic* (EC) [7, 5] untuk dilakukan pertimbangan oleh tim desain dan manufaktur.

4. Membandingkan VoC terhadap EC

Dalam tahapan ini dilakukan optimasi dan matriks dengan cara membandingkan korelasi antara VoC dengan EC sehingga diperoleh peringkat bobot.

5. Prioritas Pengembangan Desain

Berdasarkan peringkat pembobotan EC maka disusun urutan prioritas pengembangan desain dari tertinggi ke terendah.

6. Desain Konsep

Pada tahapan ini dibuat gambar desain konsep mesin *Shredder-Extruder* yang mampu dilakukan oleh tim manufaktur berdasarkan Prioritas pengembangan desain.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi komponen diperoleh berdasarkan kebutuhan para pengguna atau permintaan dari para *customer*, dalam hal ini informasi diperoleh dengan cara peninjauan lapangan dengan berinteraksi kepada para pelaku usaha daur ulang sampah plastik yang ada di kota jambi. Hasil dari permintaan para *customer* sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Permintaan *Customer*

| No | Permintaan <i>Customer</i> (VoC) | Jmlh Pemilih |
|-----|--|--------------|
| 1. | Daya Motor listrik Kecil | 14 |
| 2. | Saluran masuk plastik bisa diatur | 12 |
| 3. | Kapasitas 30 kg/jam | 6 |
| 4. | Mesin dapat dioperasikan secara bersamaan dan bergantian | 14 |
| 5. | Tidak bising | 7 |
| 6. | Penggantian komponen mudah didapat | 4 |
| 7. | Dudukan mesin kokoh | 3 |
| 8. | Bentuk casing bagus | 10 |
| 9. | Ringan dan mudah dipindahkan | 2 |
| 10. | Mudah dalam perbaikan | 10 |
| 11. | Dapat mencacah plastik yang tebal (tutup botol minuman) | 8 |
| 12. | Aman digunakan | 5 |
| 13. | Ukuran hasil cacahan seragam | 4 |
| 14. | Dapat melelehkan plastik dengan cepat | 6 |
| 15. | Suhu bisa diatur | 8 |
| 16. | Harga murah dibawah 10 juta | 6 |

Berdasarkan data permintaan *customer* kemudian dikelompokkan menjadi lima bagian dengan cara meninjau dari kesamaan kebutuhannya yaitu: kemampuan, ekonomi, estetika, ergonomi dan pengoperasian. Selanjutnya agar mempermudah dalam proses manufaktur maka istilah Bahasa keinginan dari para *customer* diterjemahkan dalam karakteristik Teknik (*Engineering Characteristic*) sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengelompokan Permintaan *Customer* dengan Karakteristik Teknik

| Klp | No | Permintaan <i>Customer</i> | Karakteristik Teknik |
|---------------|----|---|--|
| Kemampuan | 1 | Dudukan mesin kokoh; | Desain rangka kokoh; |
| | 2 | Dapat mencacah plastik yang tebal (tutup botol minuman); | Dapat mencacah plastik hingga 3 mm; |
| | 3 | Dapat melelehkan plastik dengan cepat; | Temperatur diatas <i>melting point</i> polimer; |
| | 4 | Kapasitas 30 kg/jam; | Kapasitas 30 kg/jam; |
| Ekonomi | 5 | Harga murah dibawah 10 juta | Harga < 10 Juta; |
| | 6 | Daya Motor listrik Kecil; | Desain mata pisau shredder dengan gaya potong kecil; |
| | 7 | Penggantian komponen mudah didapat; | Part tersedia dipasaran; |
| | 8 | Mudah dalam perbaikan; | Rangka dan Casing bisa dipasang dan dilepas; |
| Estetika | 9 | Bentuk casing bagus; | Desain Casing; |
| | 10 | Ukuran hasi cacahan seragam; | Hasil cacahan disaring; |
| Ergonomi | 11 | Aman digunakan; | Komponen transmisi ditutup casing; |
| | 12 | Tidak bising; | Penggerak utama motor listrik; |
| | 13 | Ringan dan mudah dipindahkan; | Densitas material kecil; |
| Pengoperasian | 14 | Mesin dapat dioperasikan secara bersamaan dan bergantian; | Transmisi <i>Shredder-extruder</i> dapat digabungkan dan dapat dipisahkan; |
| | 15 | Saluran masuk plastik bisa diatur; | <i>Hopper</i> dapat diatur menutup dan membuka; |
| | 16 | Suhu bisa diatur; | Kontrol temperatur; |

Dengan pendekatan metode *Quality Function Deployment (QFD)* dilakukan optimasi melalui matriks hubungan antara permintaan *customer* (VoC) dengan Karakteristik Teknik (EC) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3. Dieter dkk [5] menyatakan bahwa hubungan tersebut dapat berupa simbol atau angka, apabila kuat = 9, sedang=3 dan lemah=1.

Tabel 3. Matriks Hubungan Permintaan *Customer* (VoC) dengan Karakteristik Teknik (EC)

| | Karakteristik Teknik (EC) | | | | | | | | | | | | | | | | Jumlah VoC | Bobot VoC (%) | |
|----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|---------------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| Permintaan <i>Customer</i> (Voc) | 1 | 9 | 9 | 1 | 3 | 1 | 9 | 3 | 9 | 9 | 9 | 3 | 1 | 3 | 9 | 9 | 1 | 3 | 2 |
| | 2 | 9 | 9 | 1 | 3 | 3 | 9 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 8 | 6 |
| | 3 | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 9 | 9 | 6 | 5 |
| | 4 | 3 | 3 | 1 | 9 | 3 | 9 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 9 | 1 | 3 | 6 | 5 |
| | 5 | 1 | 1 | 1 | 3 | 9 | 9 | 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 1 | 3 | 14 | 11 |
| | 6 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 9 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 1 | 3 | 13 | 10 |
| | 7 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 3 | 3 | 3 | 1 | 9 | 3 | 3 | 3 | 9 | 4 | 3 |
| | 8 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 9 | 9 | 3 | 1 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 1 | 10 | 8 |
| | 9 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 3 | 3 | 9 | 1 | 10 | 8 |
| | 10 | 9 | 3 | 1 | 1 | 3 | 9 | 1 | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 4 | 3 |
| | 11 | 9 | 3 | 3 | 1 | 3 | 9 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 5 | 4 |
| | 12 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 6 |
| | 13 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 9 | 9 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| | 14 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 9 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 14 | 11 |
| | 15 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 1 | 12 | 10 |
| | 16 | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 8 | 6 |
| Nilai EC | 363.4 | 193.6 | 207.9 | 198.4 | 287.3 | 611.1 | 358.7 | 301.5 | 382.5 | 206.3 | 282.5 | 438.1 | 350.7 | 569.8 | 509.5 | 387.3 | | | |
| Bobot EC | 6% | 3% | 4% | 4% | 5% | 11% | 6% | 5% | 7% | 4% | 5% | 8% | 6% | 10% | 9% | 7% | | | |
| Ranking | 7 | 16 | 13 | 14 | 10 | 1 | 8 | 11 | 5 | 15 | 12 | 4 | 9 | 2 | 3 | 6 | | | |

Dari optimasi matriks hubungan antara VoC dengan EC maka diperoleh nilai bobot EC. Bobot tersebut disusun menjadi peringkat dari yang tertinggi hingga terendah sebagai acuan prioritas pengembangan desain seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Prioritas Pengembangan Desain Berdasarkan Peringkat.

| Peringkat | No. EC | Karakteristik Teknik (EC) | Spesifikasi Desain |
|-----------|--------|---|--|
| 1 | 6 | Desain mata pisau shredder dengan gaya potong kecil | Luas bidang potong kecil |
| 2 | 14 | Transmisi <i>Shredder-extruder</i> dapat digabungkan dan dipisahkan | Gunakan kopling atau lever transmisi |
| 3 | 15 | <i>Hopper</i> dapat diatur menutup dan membuka | Sambungan <i>Hopper</i> gunakan engsel |
| 4 | 12 | Penggerak utama motor listrik | Motor Listrik |
| 5 | 16 | Desain <i>Casing</i> | Desain <i>Casing</i> |

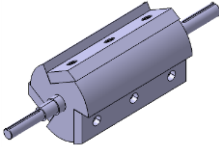
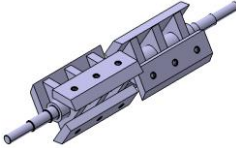
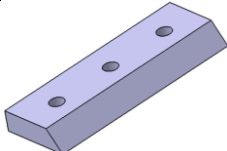
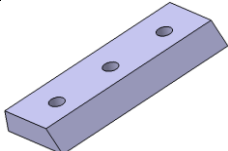
| Peringkat | No. EC | Karakteristik Teknik (EC) | Spesifikasi Desain |
|-----------|--------|---|--|
| 6 | 9 | Kontrol temperatur | Gunakan PID Temperatur Controller |
| 7 | 1 | Desain rangka kokoh | Gunakan Rangka dari Plat 5mm |
| 8 | 7 | Part tersedia dipasaran | Sabuk, Pully dan Roda gigi tersedia |
| 9 | 13 | Densitas material kecil | Material Aluminium |
| 10 | 8 | Harga < 10 Juta | Optimasi biaya komponen dan manufaktur |
| 11 | 5 | Rangka dan Casing bisa dipasang dan dilepas | Sambungan Casing gunakan baut |
| 12 | 11 | Komponen transmisi ditutup casing | Gunakan plat 2 mm untuk casing |
| 13 | 3 | Temperatur diatas melting point polimer | Pilih band heater high temperatur |
| 14 | 10 | Kapasitas 30 kg/jam | Pertimbangkan putaran mesin |
| 15 | 4 | Hasil cacahan disaring | Gunakan Penyaring terpasang di rangka |
| 16 | 2 | Dapat mencacah plastik hingga 3 mm | Daya motor listrik besar |



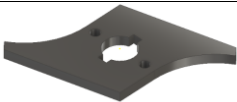

Berdasarkan Tabel 4, maka prioritas utama desain yang akan dikembangkan diambil dari peringkat 1-3. Adapun aplikasi yang digunakan dalam CAD 3D ini menggunakan Autodesk Inventor 2018 dengan lisensi edukasi.

1. Desain Mata Pisau Shredder

Desain mata pisau shredder memperoleh peringkat pertama. Oleh karena itu dibuat beberapa konsep desain sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. Konsep tersebut akan dipilih berdasarkan nilai pembobotan dari beberapa kriteria yang ditetapkan oleh tim manufaktur.

Tabel 5. Desain Konsep Pisau Shredder.

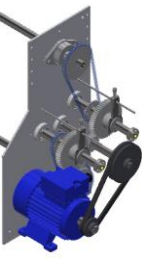
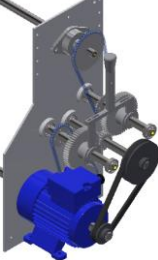
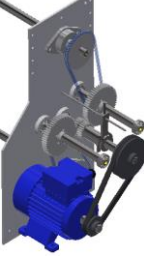
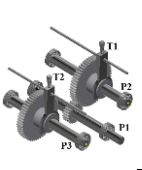
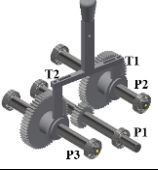
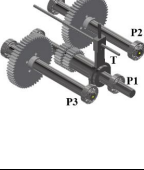
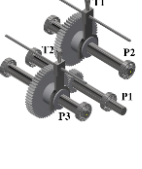
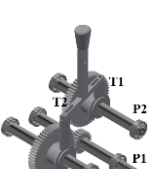
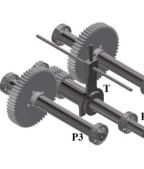
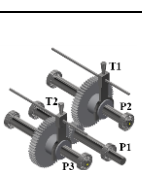
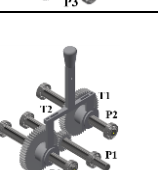
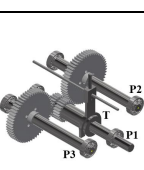
| Posisi | Konsep A | Konsep B |
|--------------------|---|---|
| Terpasang di Poros |  |  |
| Desain Pisau |  |  |

| Posisi | Konsep C | Konsep D |
|--------------------|--|---|
| Terpasang di Poros |  |  |
| Desain Pisau |  |  |

2. Desain Transmisi

Desain Transmisi memperoleh peringkat kedua, yang menyatakan bahwa transmisi mesin shredder dan extruder dapat digabungkan dan dapat dipisahkan. Dengan kata lain bahwa transmisi harus dapat di desain agar mesin dapat dioperasikan baik secara bergantian maupun simultan/ bersamaan. Adapun beberapa pilihan konsep transmisi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Desain Konsep Transmisi.

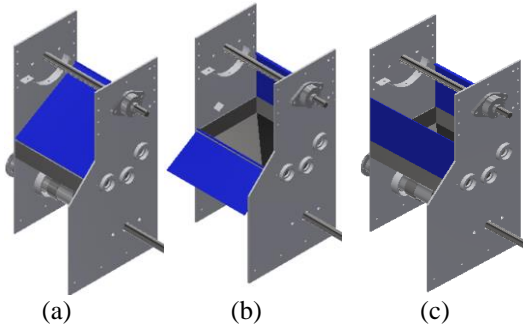
| Posisi | Konsep A | Konsep B | Konsep C |
|-----------------------------|--|---|---|
| Terpasang di rangka |  |  |  |
| Shredder terhubung |  |  |  |
| Extruder terhubung |  |  |  |
| Shredder-Extruder terhubung |  |  |  |

Keterangan:

- P1 = Poros input (penggerak utama dari motor listrik)
- P2 = Poros mesin shredder
- P3 = Poros mesin extruder
- T1 = Tuas pemindah roda gigi mesin shredder
- T2 = Tuas pemindah roda gigi mesin extruder
- T = Tuas yang dapat berfungsi sebagai T1 dan T2

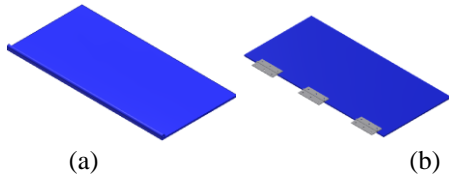
3. Desain Hopper

Desain *hopper* memperoleh peringkat ketiga yang menyatakan bahwa *hopper* dapat diatur menutup dan membuka. *Hopper* dalam hal ini berfungsi bukan hanya sebagai wadah masuknya material plastik saja, akan tetapi dapat diatur membuka dan menutup saat menggunakan mesin *shredder* dan *extruder* baik secara bergantian maupun serentak sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



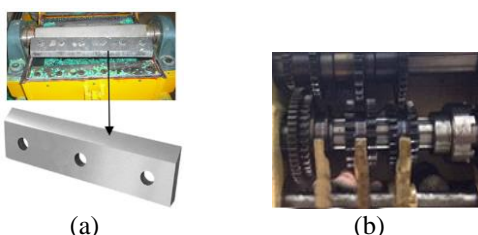
Gambar 1. Posisi *hopper* a) saat mengoperasikan *shredder*, b) saat mengoperasikan *extruder*, c) saat mengoperasikan *shredder-extruder*,

Oleh karena itu desain pemilihan konsep *hopper* menggunakan engsel sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain *Hopper* menggunakan engsel a) Konsep A, b) Konsep B

Setelah dibuat beberapa konsep alternatif, maka dilakukan perbandingan terhadap konsep referensi. Konsep referensi dapat diambil dari salah satu konsep yang diajukan atau berdasarkan produk yang sudah ada (eksisting). Pada penelitian ini, konsep referensi pisau *shredder* diperoleh berdasarkan mesin yang tersedia dipasaran yang digunakan oleh para pelaku usaha daur ulang plastik, sedangkan konsep referensi transmisi diperoleh berdasarkan prinsip *gear box* mesin bubut sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Produk eksisting a) Pisau *shredder*, b) *Trasmisi*

Dalam mengambil keputusan untuk pemilihan beberapa konsep yang diajukan. Tim manufaktur membuat beberapa kriteria yang tidak lagi mengacu pada keinginan konsumen, akan tetapi mengacu kepada keterbuatan (*manufacturability*) dengan menetapkan beberapa kriteria sebagai berikut:

- K1 = Kemampuan (*Ability*)
- K2 = Ergonomi dan *safety*
- K3 = Mudah dimanufaktur
- K4 = Mudah dirakit (*Assembly*)
- K5 = Biaya manufaktur

NA = Nilai Absolut

NR = Nilai Relatif

Adapun angka skala penilaian perbandingan antara beberapa konsep terhadap konsep referensi adalah sebagai berikut:

- 1 = Sangat lebih buruk dari referensi
- 2 = Lebih buruk dari referensi
- 3 = Sama dengan referensi
- 4 = Lebih baik dari referensi
- 5 = Sangat lebih baik dari referensi

Dari beberapa kriteria dan skala penilaian yang sudah ditetapkan, maka untuk desain mata pisau *shredder* yang terpilih adalah konsep C dengan bobot Nilai Absolut (NA) sebesar 3.60 dan Nilai Relatif (NR) sebesar 23% sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pemilihan Konsep Desain Mata Pisau *Shredder*

| No. Kriteria | Bobot | Referensi | | Konsep A | | Konsep B | | Konsep C | | Konsep D | |
|--------------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot |
| K1 | 20% | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 |
| K2 | 20% | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 |
| K3 | 20% | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 |
| K4 | 10% | 3 | 0.3 | 4 | 0.4 | 3 | 0.3 | 2 | 0.2 | 2 | 0.2 |
| K5 | 30% | 3 | 0.9 | 1 | 0.3 | 4 | 1.2 | 4 | 1.2 | 3 | 0.9 |
| NA | | | 3.00 | | 2.30 | | 3.50 | | 3.60 | | 3.30 |
| NR | | | 19% | | 15% | | 22% | | 23% | | 21% |

Adapun dari beberapa konsep desain transmisi yang diajukan maka diperoleh nilai terbesar adalah desain transmisi konsep C dengan NA sebesar 3.40 dan NR sebesar 28% sebagaimana ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Pemilihan Konsep Desain Transmisi

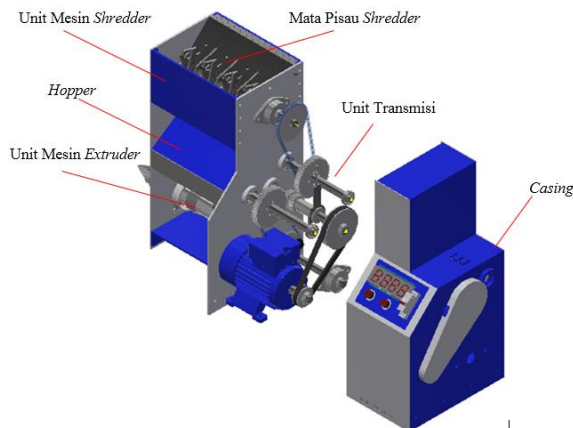
| No. Kriteria | Bobot | Referensi | | Konsep A | | Konsep B | | Konsep C | |
|--------------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot |
| K1 | 20% | 3 | 0.60 | 2 | 0.4 | 2 | 0.4 | 4 | 0.8 |
| K2 | 20% | 3 | 0.60 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 3 | 0.6 |
| K3 | 20% | 3 | 0.60 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 3 | 0.6 |
| K4 | 10% | 3 | 0.30 | 3 | 0.3 | 3 | 0.3 | 5 | 0.5 |
| K5 | 30% | 3 | 0.90 | 4 | 1.2 | 4 | 1.2 | 3 | 0.9 |
| NA | | | 3.00 | | 3.10 | | 2.70 | | 3.40 |
| NR | | | 25% | | 25% | | 22% | | 28% |

Dari beberapa kriteria dan skala penilaian perbandingan dari beberapa konsep desain *hopper* yang diajukan maka diperoleh nilai terbesar adalah desain *hopper* konsep A dengan NA sebesar 3.50 dan NR sebesar 37% sebagaimana ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pemilihan Konsep Desain Hopper

| No. Kriteria | Bobot | Referensi | | Konsep A | | Konsep B | |
|--------------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | Rate | Bobot | Rate | Bobot | Rate | Bobot |
| K1 | 20% | 3 | 0.60 | 4 | 0.8 | 3 | 0.6 |
| K2 | 20% | 3 | 0.60 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 |
| K3 | 20% | 3 | 0.60 | 2 | 0.4 | 3 | 0.6 |
| K4 | 10% | 3 | 0.30 | 5 | 0.5 | 2 | 0.2 |
| K5 | 30% | 3 | 0.90 | 4 | 1.2 | 3 | 0.9 |
| NA | | | 3.00 | | 3.50 | | 2.90 |
| NR | | | 32% | | 37% | | 31% |

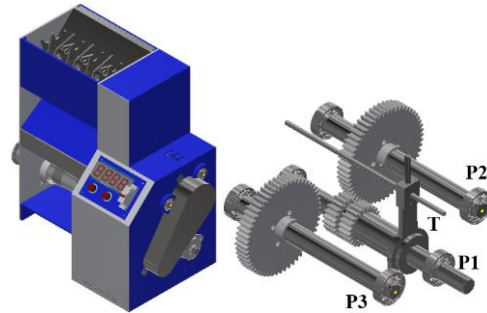
Setelah semua konsep desain terpilih berdasarkan nilai tertinggi, maka dilakukan penggabungan masing-masing komponen menjadi desain unit mesin *shredder* dan *extruder* sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Desain Unit Mesin Shredder-Extruder

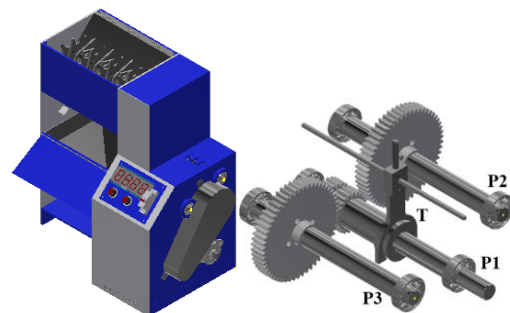
Mesin *shredder-extruder* yang di desain adalah multi fungsi, yaitu dapat dioperasikan secara bergantian maupun bersamaan. Adapun komponen transmisi dan *hopper* dapat diatur sesuai keinginan.

Pada saat ingin mengoperasikan mesin *shredder*, perpindahan daya dan putaran ditransmisikan melalui P1 ke P2 sehingga poros *shredder* berputar, sedangkan *hopper* menutup 45° seperti yang ditampilkan pada Gambar 5. Hasil cacahan dari mesin *shredder* tidak akan jatuh ke mesin *extruder* akan tetapi langsung terbuang keluar.



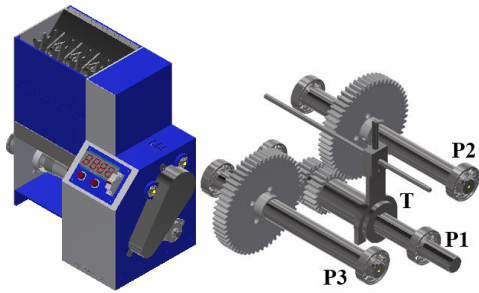
Gambar 5. Posisi *hopper* dan transmisi saat mengoperasikan mesin Shredder

Apabila akan mengoperasikan mesin *extruder*, perpindahan daya dan putaran ditransmisikan melalui P1 ke P3 sehingga poros *extruder* berputar, Adapun *hopper* membuka seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 sehingga operator dapat memasukan material dengan leluasa kedalam *hopper*.



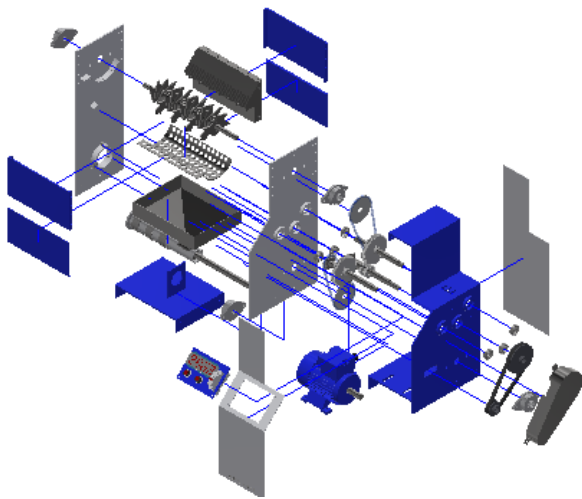
Gambar 6. Posisi *hopper* dan transmisi saat mengoperasikan mesin extruder

Hal yang membuat mesin ini menjadi multi fungsi adalah saat ingin mengoperasikan mesin *shredder* dan mesin *extruder* secara bersamaan. Perpindahan daya dan putaran ditransmisikan melalui P1 ke P2 dan P3. Roda gigi P1 dapat memutar P2 dan P3 secara bersamaan. Adapun *hopper* menutup 90° seperti yang ditampilkan pada Gambar 7. Untuk keterangan P1, P2 dan P3 dapat dilihat dalam Tabel 6.



Gambar 7. Posisi *hopper* dan transmisi saat mengoperasikan mesin *shredder* dan *extruder*

Desain mesin *shredder* dan *extruder* ini terdiri dari beberapa komponen sebagaimana ditampilkan dalam gambar 8. Adapun komponen tersebut sudah dipertimbangkan berdasarkan perbandingan antara permintaan konsumen dan pertimbangan tim manufaktur.



Gambar 8. Komponen mesin *shredder-extruder*

Kesimpulan

Dari penelitian ini diperoleh suatu desain mesin *shredder-extruder* yang dapat dioperasikan multi fungsi dengan menggunakan satu buah motor listrik sebagai penggerak utama. Perwujudan desain ini tidak langsung ditentukan oleh tim desainer maupun tim manufaktur. Akan tetapi diperoleh dari permintaan *customer*. Adapun permintaan *customer* juga tidak dapat diterima sepenuhnya, melainkan dilakukan pertimbangan dengan cara optimasi menggunakan pendekatan QFD.

Penghargaan

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi. Sesuai dengan Kontrak Penelitian Dosen Pemula Tahun

Angaran 2019, Nomor : 064/L10/AK.04/
KONTRAK-PENELITIAN 2019.

Referensi

- [1] Mancini, D.S., Schwartzman.S.S., Nogueira, R.A., Kagohara, A.D., Zanin.M, 2010, Additional Steps in Mechanical Recycling of PET, *Journal of Cleaner Production*, Vol 18, Hal. 92-100.
- [2] Darshan, R., Gururaja, S, 2017, Design and Fabrication of Crusher Machine for Plastic Wastes, *International Journal of Mechanical and Production Engineering* Vol.5, Hal. 55-58.
- [3] Ayo, W.A., Olukunie, J.O., Adelabu, J.D, 2017, Development of a Waste Plastic Shredding Machine, *International Journal of Waste Resources*, Vol. 7, Hal. 2-4.
- [4] Orisaleye, J.I., Adefuye, O.A., Ogundare, A.A., Fadipe, L.O, 2018, Parametric Analysis and Design of a Screw Extruder for Slightly Non-Newtonian (Pseudoplastic) Materials, *International Journal Karabuk University*.
- [5] Dieter, E.G., Schmidt, C.L, 2012, *Engineering Design*, 5th edition, McGraw-Hill.
- [6] Dewan Riset Nasional, 2016, *Agenda Riset Nasional 2016-2019*
- [7] Sivadas, T.S., Pramod, v.R, 2016, Quality Function Deployment in The Design of Custom Made Furnaces, *International journal of Engineering Sciences & Research*, vol. 5, no. 7, hal 190–195.