

# OPTIMASI BENTUK PISAU PENGHANCUR LIMBAH TEMPURUNG KELAPA BERBENTUK PIRINGAN BERTAKIK UNTUK MENDAPATKAN BERAT OPTIMUM

Oleh:

Aji Gumilar<sup>1</sup>, Gianti Puspawardhani<sup>2</sup>, Wiwin Widaningrum<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin UNJANI, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri UNJANI

## ABSTRAK

*Pisau pada penghancur adalah komponen utama yang bersentuhan dengan objek yang dihancurkan. Dengan menerapkan metode optimasi perancangan, diharapkan dapat diperoleh rancangan pisau yang optimum yang memiliki fungsi menghancurkan dan kemampuan yang baik. Parameter yang mempengaruhi karakteristik pisau penghancur adalah tegangan yang diterimanya. Rangkaian penelitian pengolahan limbah tempurung kelapa yang telah dilakukan sebelumnya adalah perancangan mesin penghancur limbah tempurung kelapa, dengan menggunakan pisau pengancur berbentuk piringan bertakik, pisau penghancur tersebut belum memperhitungkan optimasi bentuknya.*

*Penelitian pada penulisan ini adalah melakukan optimasi bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa berbentuk piringan bertakik sebagai variabel perancangannya dengan menjaga ketebalan piringan yang tetap. Prosedur optimasi yang digunakan menggunakan metode optimasi first-order dan menggunakan algoritma SUMT (Sequential Unconstrained Minimization Techniques). Pada penelitian ini dilakukan beberapa studi kasus parameter geometri sebagai variabel perancangan untuk memperoleh fungsi objektif yang minimum. Fungsi objektif yang diminimumkan adalah berat dan tegangan yang diterima pisau penghancur, pemberian kendala disesuaikan dengan masing-masing kasus yang dianalisis.*

*Berdasarkan hasil optimum yang diperoleh dari berbagai studi kasus yang telah dilakukan, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut: pertama, optimasi bentuk terbukti dapat memberikan alternatif untuk memperoleh bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa dengan berat yang optimum, kedua, proses optimasi untuk semua studi kasus, dapat dilihat dari urutan nilai variabel disain menuju optimum, ketiga, pemilihan variabel disain berperan cukup dominan dalam menentukan bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa yang optimum, keempat, dalam penentuan kriteria disain harus memperhitungkan aspek keterbuatannya yang telah dimasukkan pada kriteria disain ini.*

**Kata kunci:** Optimasi bentuk, pisau penghancur, tempurung kelapa.

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah tempurung kelapa pada dasarnya dibagi menjadi dua, yaitu dibakar dan tidak dibakar. Pemanfaatan tempurung yang dibakar berupa braket (arang) dan dijadikan bahan penjernihan air, pemanfaatan yang tidak dibakar berupa kerajinan tangan dan dapat dijadikan bahan baku mebel dan tegel. Bahan baku tegel dan mebel dari tempurung kelapa diperlukan tempurung yang sudah hancur untuk mendapatkan sifat dari tegel dan mebel yang diharapkan (rata dan mudah dibentuk).

Berdasarkan penelitian yang kami lakukan sebelumnya adalah merancang mesin penghancur limbah tempurung kelapa sebagai bahan dasar mebel atau tegel. Mesin penghancur tersebut menggunakan pisau berbentuk piringan bertakik.

Parameter yang mempengaruhi karakteristik fungsi menghancurkan pada pisau penghancur adalah bentuk dan kekuatannya. Rangkaian penelitian pengolahan limbah tempurung kelapa yang telah dilakukan sebelumnya adalah perancangan mesin penghancur limbah tempurung kelapa, dengan menggunakan pisau pengancur berbentuk piringan bertakik, pisau penghancur tersebut belum memperhitungkan optimasi bentuknya.

Kegiatan yang dilakukan sebelumnya pada tahun pertama (tahun 2013) yaitu merancang mesin penghancur limbah tempurung kelapa, mesin pengolahan limbah tempurung kelapa di sini adalah menghancurkan tempurung kelapa untuk dijadikan bahan baku tegel dan mebel.

Hasil dari penelitian sebelumnya, yaitu berupa gambar kerja (*blueprint*) mesin penghancur limbah tempurung kelapa tersebut

dijadikan sebagai dasar untuk persiapan pembuatan mesinnya, dalam pembuatan mesin ini, digunakan metode Ibrahim Zeid. Kegiatan pada pembuatan mesin ini dibagi menjadi 3 kegiatan utama, yaitu: 1) kegiatan proses perencanaan, dan 2) kegiatan proses membuat/memproduksi mesin, dan 3) kegiatan proses pengujian.

Pada kegiatan proses pertama, mengalami kesulitan pada pembuatan komponen pisau penghancurnya. Piringan tersebut berbentuk bulat bertakik yang dapat dilihat pada gambar 1, dimana dalam proses pembuatan bulatan dan takikan tersebut diperlukan keahlian dan peralatan yang khusus.

Pisau penghancur ini adalah komponen utama yang bersentuhan dengan tempurung kelapanya. Dengan menerapkan metode optimasi perancangan, diharapkan dapat diperoleh rancangan pisau yang optimum yang memiliki fungsi menghancurkan dan kemampuan yang baik. Hal itulah yang melatarbelakangi penulisan ini.

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Tegangan (Stress)**

Pada umumnya tegangan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal dapat disebabkan oleh gaya aksial yang menyebabkan tegangan normal murni (tegangan tarik atau tekan), dan dapat pula disebabkan oleh momen lentur (tegangan normal lentur). Tegangan geser dapat disebabkan oleh gaya lintang (tegangan geser murni, *shear stress*), dan dapat pula disebabkan oleh momen punter atau torsi (tegangan puntir).

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Gaya aksial ( $F_a$ ) akibat gaya tarik atau tekan yang menyebabkan tegangan normal ( $\sigma_a$ ) di setiap titik dari sebuah penampang A.

$$\sigma_l = \frac{M_l}{W_l} \text{ karena } W_l = \frac{I_l}{y} \text{ maka } \sigma_l = \frac{M_l}{I_l} y \dots\dots (2.2)$$

Momen lentur ( $M_l$ ) sebuah batang poros inersia utama, misalnya  $M_l$  dari poros x, menimbulkan tegangan lentur.  $I_l$  adalah bidang momen inersia untuk lenturan dari sekeliling poros x. Tegangan terus bertambah dari  $y=0$  sampai mencapai maksimum pada  $y=e_1$  pada bagian tarik dan  $y=e_2$  pada bagian tekan.

$$\tau_l = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Umumnya gaya lintang timbul berbarengan dengan momen lentur. Pembebanan lentur sebuah batang untuk jangka lama akan timbul gaya lintang yang terjadi, di mana momen lentur tidak besar dan secara serempak ukuran penampang

tetap dijaga kecil. Hal ini dijumpai pada ujung poros dan pada ujung balok lintang bila penampangnya mengecil.

Tegangan-tegangan geser tersebar tidak merata di atas penampang. Untuk penampang yang tidak simetris dengan arah gaya, gaya lintang tidak melalui pusat gravitasi S melainkan melalui titik pusat geser T. Gaya lintang melalui pusat gravitasi digantikan dengan gaya lintang melalui T yang sama besar ditambah dengan momen putar.

$$\tau_p = \frac{M_p}{W_p} \text{ karena } W_p = \frac{I_p}{y} \text{ maka } \tau_p = \frac{M_p}{I_p} y \dots\dots (2.4)$$

Momen punter ( $M_p$ ) mengakibatkan tegangan di dalam penampang yang disebut tegangan punter atau torsi. Hukum distribusinya lebih rumit bila dibandingkan dengan tegangan normal karena momen lentur.

Untuk penampang cincin:

$$I_p = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4), W_p = \frac{\pi d_o^3 - d_i^3}{16 d_o}$$

Untuk penampang lingkaran:

$$I_p = \frac{\pi}{32} d^4, W_p = \frac{\pi}{16} d^3$$

Untuk penampang persegi empat:

$$I_p = k_1 b^3 h, W_p = k_2 b^2 h$$

Koefisien  $k_1, k_2, k_3$  tergantung dari perbandingan  $h/b$  dan ditabulasikan di tabel 1.

Tabel 1. Koefisien  $k_1, k_2, k_3$  untuk penampang persegi empat

$h/b$	1	1,5	2	3	4	6	8	10	
$k_1$	1,000	0,858	0,796	0,753	0,743	0,743	0,743	0,743	0,743
$k_2$	0,208	0,231	0,246	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	0,333
$k_3$	0,140	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,307	0,313	0,333

Tegangan kombinasi

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots (2.5)$$

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

**2.2 Optimasi Perancangan**

**2.2.1 Konsep Optimasi**

Optimasi dalam *engineering* digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan perancangan sehingga mendapat hasil yang diinginkan dengan waktu yang ekonomis. Optimasi akan membantu melakukan pencarian perancangan terbaik (*best design*) sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Optimasi ini sangat membantu ketika perancangan melibatkan banyak variable dengan berbagai kombinasi. Dengan demikian, disain terbaik akan segera dapat diperoleh tanpa harus membuang waktu banyak.

Perancangan tidak selalu didefinisikan sebagai proses menemukan minimum atau maksimum suatu parameter perancangan yang disebut fungsi objektif. Perancangan harus

memenuhi spesifikasi yang diinginkan atau tidak melanggar kendala (*constraints*) yang ada.

Berdasarkan ada tidaknya kendala, optimasi dibedakan menjadi dua, yaitu optimasi tanpa kendala dan optimasi dengan kendala. Pada optimasi tanpa kendala tidak ada batasan (limitasi) yang diberikan pada variable perancangan dan tidak ada persyaratan lain yang harus dipenuhi pada perancangan. Sedangkan pada optimasi dengan kendala diberikan batasan-batasan yang merupakan kriteria perancangan yang harus dipenuhi.

### 2.2.2 Perumusan Umum Persoalan Optimasi

Perumusan umum persoalan optimasi ini dibagi menjadi 3 faktor utama, yaitu:

1. Fungsi Ojektif,  $F(X)$ , merupakan fungsi yang diminimalkan, pada umumnya dijadikan tujuan utama dalam perancangan,
2. Kendala (*Constraint*), merupakan batasan perancangan yang pada umumnya kriteria perancangan yang diinginkan,
3. Variabel Disain (*Design variable*), merupakan parameter yang diubah-ubah untuk mendapatkan kombinasi perancangan yang paling baik.

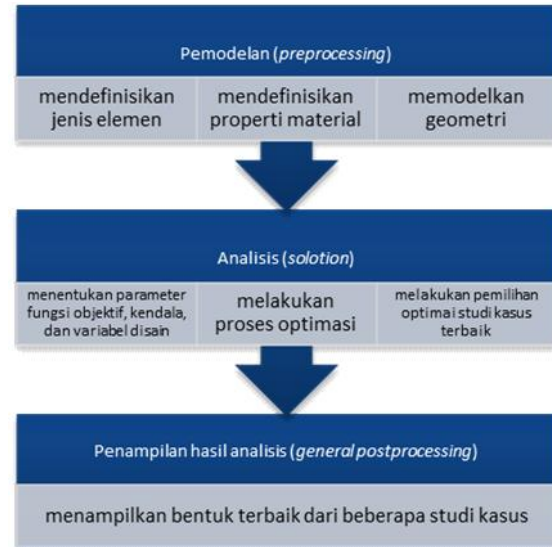
### 2.2.3 Sequential Unconstrained Minimization Techniques (SUMT)

SUMT adalah suatu strategi untuk mencari solusi dari persoalan optimasi berkendala melalui optimasi tanpa kendala. Cara ini dilakukan dengan memberikan suatu penalti pada setiap pelanggaran fungsi kendala. Pemberian penalty sering memberikan kondisi ill-conditioned secara numeric. Untuk itu biasanya parameter penalti diberikan secara bertahap. Hal ini menuntut agar penyelesaian persoalan optimasi tanpa kendala harus dilakukan secara bertahap. Metode ini disebut dengan SUMT. Formulasi persoalan optimasi yang umum, adalah:

1. Meminimumkan  $F(X)$ ,
2. Kendala (*Constraint*),  $g_i(X)$ ,  $h_x(X)$ ,
3. Variabel desain (*Design variable*),  $X$ .

## III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi tiga kegiatan utama, yaitu: 1) pemodelan (*preprocessing*) pisau penghancur tempurung kelapa, 2) Analisis (*solution*) proses optmasi, dan 3) penampilan hasil analisis (*general postprocessing*), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Metode penelitian optimasi bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa

### 3.1 Pemodelan (*preprocessing*)

Pemodelan ini dilakukan dengan 3 tahap, yaitu:

1. mendefinisikan jenis elemen, apakah elemen ini pejal atau tidak, apakah satu dimensi, dua dimensi, atau tiga dimensi, apakah elemen ini dapat menerima beban tarik saja, beban geser saja, atau keduanya,
2. mendefinisikan properti material, meliputi kekuatan, modulus elastisitas, dan massa jenis material yang digunakan,
3. memodelkan geometri, yaitu membuat gambar pisau penghancur dengan bentuk dan dimensi yang dapat digunakan pada proses optimasi.

### 3.2 Analisis (*solution*)

Pada tahapan ini dilakukan 3 tahap pengerjaan, yaitu:

1. menentukan parameter dari fungsi objektif  $F(X)$ , kendala  $g(X)$ ,  $h(X)$ , dan variabel disain  $(X)$ , pada optimasi bentuk pisau ini,
2. melakukan proses optimasi, proses ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai variabel disain sampai didapat nilai fungsi objektif yang paling optimum, dari beberapa studi kasus yang digunakan. Dalam menentukan beberapa studi kasus yang digunakan, biasanya dengan memvariasikan variabel disain.
3. melakukan pemilihan optimasi studi kasus terbaik, tahap ini melakukan penetapan kriteria disain, pembobotan kriteria disain, dan penilaian pada studi kasus yang digunakan, langkah terakhir pada tahapan ini adalah memilih bentuk terbaik pada pisau penghancur tempurung kelapa ini dari studi kasus yang telah ditetapkan.

**3.3 Penampilan Hasil Analisis (General Postprocessing)**

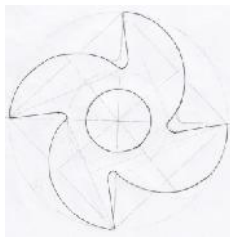
Tahapan ini adalah menampilkan dan menyajikan bentuk optimum dari beberapa studi kasus yang digunakan.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Model Pisau Penghancur**

Telah diketahui, bahwa kekuatan tarik tertinggi pada tempurung kelapa adalah 2,55 kgf/mm<sup>2</sup>, kekuatan geser tempurung diasumsikan 0,8 kekuatan tariknya, maka kekuatan geser tempurung adalah 2,04 kgf/mm<sup>2</sup>. Tegangan yang terjadi pada pisau penghancur limbah tempurung kelapa yang diijinkan harus dikalikan dengan faktor tumbuknya, sehingga tegangan tarik yang diijinkan adalah 5,1kgf/mm<sup>2</sup> dan tegangan geser yang diijinkan adalah 4,08 kgf/cm<sup>2</sup>.

Bahan pisau penghancur dipilih St37 yang banyak tersedia di pasaran dan mempunyai kekuatan tarik berkisar antara 37 kg/mm<sup>2</sup> s.d. 45 kg/mm<sup>2</sup>.



Gambar 2. Model pisau penghancur limbah tempurung kelapa yang akan dioptimasi

**4.2 Optimasi Bentuk Pisau Penghancur**

**4.2.1 Target Tegangan Untuk Optimasi Pisau Penghancur**

Nilai kekuatan tarik maksimum yang dimiliki tempurung kelapa, dijadikan target tegangan yang akan diterima oleh pisau tempurung kelapa, yaitu 5,1 kgf/mm<sup>2</sup>. Pisau penghancur pada saat menghancurkan tempurung kelapa, mengalami kombinasi tegangan, yaitu tegangan lentur ( $\uparrow_l$ ) dan tegangan geser ( $\uparrow_g$ ). Momen lentur  $M_l=FL$ , Inersia lentur  $I_l=1/12bh^3$ , dan  $y=1/2h$ , maka tegangan lentur yang terjadi adalah  $\sigma_l = \frac{6FL}{bh^2}$  dan jika  $A=bh$ , maka tegangan geser yang terjadi adalah  $\tau = \frac{F}{bh}$ .

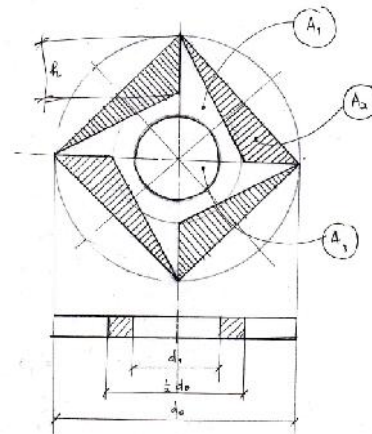
Variabel geometri yang dipertahankan (tetap) adalah  $L=450$  mm,  $b=10$  mm, dan variabel perancangan (yang akan diubah) untuk mendapatkan bentuk yang optimum adalah  $h$ . Dari target tegangan di sepanjang  $L$ , dari  $L_1$  s.d.  $L_{10}$ , maka target tegangan maksimum di setiap  $L_1$  s.d.  $L_{10}$  (penampang pisau penghancur yang akan dioptimumkan) dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Target nilai tegangan maksimum

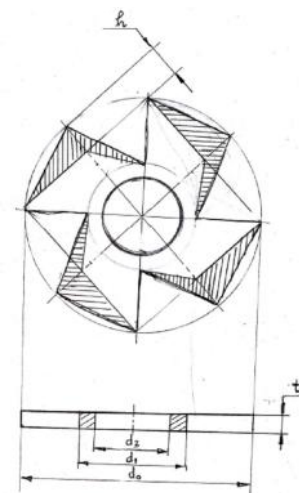
L ke-	L (mm)	$\uparrow_l$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\uparrow_g$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\uparrow_l$ maks (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\uparrow_g$ maks (kgf/mm <sup>2</sup> )
1	4	1.68	2.81	3.85	3.01
2	8	3.37	2.81	5.03	3.34
3	12	5.05	2.81	6.36	3.84
4	16	6.73	2.81	7.80	4.43
5	20	8.42	2.81	9.31	5.10
6	24	10.10	2.81	10.87	5.82
7	28	11.78	2.81	12.45	6.56
8	32	13.46	2.81	14.06	7.33
9	36	15.15	2.81	15.68	8.11
10	40	16.83	2.81	17.31	8.90

**4.2.2 Variabel Perancangan**

Geometri pada pisau penghancur ini dijadikan sebagai variabel perancangan. Variabel yang dipilih adalah tinggi penampang pencabik ( $h$ ) dari pisau penghancur ini. Pada penelitian ini, ditentukan 2 varian bentuk pisau penghancur untuk dioptimasi, yang dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4, untuk kedua gambar variabel perancangan ini, dimensi pada  $d_0=160$  mm,  $d_1=50$ mm,  $t=10$  mm.



Gambar 3. Variabel perancangan (h) varian 1



Gambar 4. Variabel perancangan (h) varian 2

**4.2.3 Side Constrains**

Pada penelitian ini, side constrains yang ditentukan adalah tegangan normal maksimum 37kgf/mm<sup>2</sup>,  $g(x) \leq 37$ , panjang maksimum dari disain perancangan (h) adalah 40mm,  $x \leq 40$ .

**4.2.4 Fungsi Objektif, F(X)**

Fungsi objektif yang dipilih adalah fungsi tegangan yang diterima pada pisau penghancur pada saat menghancurkan untuk mendapatkan berat dari yang minimum.

$$F(X) = [(F_1 - F_{1target})^2 + (F_2 - F_{2target})^2 + (F_3 - F_{3target})^2 + (F_4 - F_{4target})^2 + (F_5 - F_{5target})^2 + F_6 - F_{6target})^2 + (F_7 - F_{7target})^2 + (F_8 - F_{8target})^2 + (F_9 - F_{9target})^2 + (F_{10} - F_{10target})^2]^{1/2}$$

Berat pisau penghancur (Wp) pada kedua varian pisau mempunyai persamaan yang berbeda, adalah sebagai berikut:

$$W_{p1} = \rho_t V_{p1}$$

$$W_{p2} = \rho_t V_{p2}$$

$$W_{p1} = \rho_t (A_{p1} t_p)$$

$$W_{p1} = \rho_t \left( \frac{1}{4} d_0^2 - \frac{1}{4} \pi d_1^2 + d_0 x \right) t_p$$

$$W_{p2} = \rho_t (A_{p2} t_p)$$

$$W_{p2} = \rho_t \left( \frac{3}{16} \sqrt{2} d_0 x + \frac{3}{32} d_0^2 - \frac{1}{16} \pi d_1^2 \right) t_p$$

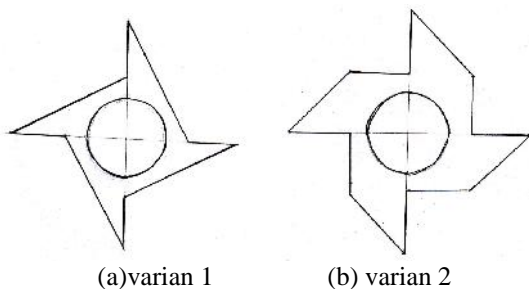
Dari hasil proses optimasi menggunakan bantuan perangkat lunak, dengan menjalankan fungsi objektif dan persamaan berat pisau, maka hasil optimasi bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa dengan variabel perancangan yang dipilih dapat tercapai dengan berat yang minimum.

Tabel 3. Hasil optimasi berat pisau penghancur limbah tempurung kelapa

No.	Parameter	Varian 1	Varian 2
1	Berat (kg)	0.151	0.456

**4.2.5 Penampilan Hasil Analisis**

Setelah dilakukan proses optimasi, maka kedua varia dapat ditampilkan.



(a) varian 1 (b) varian 2  
Gambar 5. Bentuk optimum pisau penghancur limbah tempurung kelapa

**4.3 Pembahasan**

Pemilihan varian terbaik dapat dilakukan dengan menentukan kriteria perancangan, menentukan bobot kriteria perancangan, dan menilai varian yang telah dihasilkan pada bentuk optimum pisau penghancur limbah tempurung kelapa yang telah ditetapkan. Pembobotan kriteria perancangan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pembobotan kriteria perancangan pisau penghancur limbah tempurung kelapa

No. Kriteria	Bobot (%)	Kasus 1		Kasus 2	
		N	N*B	N	N*B
Hasil fungsi objektif	20	2	0.4	2	0.4
Ke-feasible-an batas tegangan	40	4	1.6	4	1.6
Kemampubuatan dan kesederhanaan Bentuk	20	2	0.4	4	0.8
Berat	20	4	0.8	3	0.6
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>3.2</b>	<b>13</b>	<b>3.4</b>

Berdasarkan nilai bobot pada tiap varian, maka perancangan terbaik adalah varian ke-2. Walaupun demikian, varian ke-1 bisa dijadikan alternatif pilihan, dikarenakan nilai dari kedua varian tersebut tidak jauh berbeda, dan mempunyai nilai yang sama pada 2 kriteria dari 4 kriteria yang ditetapkan.

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari berbagai studi kasus yang telah ditentukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Optimasi bentuk terbukti dapat memberikan alternatif untuk memperoleh bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa berbentuk piringan bertakik,
2. Dari proses optimasi, dapat dilihat kekuatan yang baik,
3. Pemilihan variabel perancangan berperan cukup dominan dalam menentukan bentuk pisau penghancur limbah tempurung kelapa,
4. Berdasarkan nilai bobot pada tiap varian, maka perancangan terbaik adalah varian ke-2. Walaupun demikian, varian ke-1 bisa dijadikan alternatif pilihan, dikarenakan nilai dari kedua varian tersebut tidak jauh berbeda, dan mempunyai nilai yang sama pada 2 kriteria dari 4 kriteria yang ditetapkan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Gumilar, Aji, 2004, "*Optimasi Bentuk Struktur Gong Untuk Mendapatkan Karakteristik Spektrum Frekuensi Yang Optimum*", Tesis, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, Indonesia.
- [2]. Gumilar, Aji, dan Puspawardhani, G., 2013, "*Perancangan Bentuk Mesin Penghancur Limbah Tempurung Kelapa Untuk Industri Kecil*", Prosiding Seminar Nasional, Jurusan Teknik Mesin, Unjani, Cimahi, Indonesia.
- [3]. Gumilar, Aji, dan Puspawardhani, G., 2013, "*Perancangan Mesin Pengolah Limbah Tempurung Kelapa Untuk Industri Kecil*", Laporan Penelitian, Unjani, Cimahi, Indonesia.
- [4]. Haryanto, A., 2008, "*Karakteristik Tempurung Kelapa ditinjau dari Aspek Kekuatan Tarik dan Impak*" <http://publikasiilmiah.ums.ac.id>.
- [5]. Niemann, G., 1999, "*Elemen Mesin*", Edisi ke-2, Jilid ke-1, Edisi ke-2, Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- [6]. Vanderplaats, G. N., 1984, "*Numerical of Optimization Techniques for Engineering Design*", McGraw-Hill", New York.