

PERANCANGAN *FORMING UNIT* PADA MESIN PEMBUAT PENSIL BERBAHAN DASAR KERTAS BEKAS DENGAN MEKANISME EKSTRUSI DAN UJI MATERIAL BATANG PENSIL BERBAHAN DASAR KERTAS BEKAS

Arif Shodiqin¹, Bryan Setiaji Pratama², Julius Dimas Kristanto³, Bondan Wiratmoko Budi Santoso⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin, Politeknik ATMI Surakarta
Jl. Adisucipto Km 9,5, Bluluk, Colomadu, Surakarta.

*Email: Arifshodiq578@gmail.com, bryanpratama871@gmail.com, jdimaskristanto@gmail.com, bondanwiratmoko69@gmail.com

Abstrak

Mesin pembuat pensil dan pensil warna dari kertas bekas berfungsi membuat pensil dan pensil warna dengan memanfaatkan kertas bekas. Mesin ini dirancang dengan kecepatan produksi 3000 batang/hari. Mesin terdiri dari 3 unit utama yaitu Paper Pre-Processing Unit, Forming Unit dan Drying Unit. Input utama mesin adalah air, kertas bekas dan grafit isi pensil ditambah input untuk adonan berupa tepung kanji, lem PVA, minyak goreng dan garam. Bubur kertas kering beserta bahan-bahan adonan yang lain dimasukkan ke dalam mixer pada forming unit. Mixer mengaduk adonan sampai merata lalu shaft extruder akan mengekstrusi adonan. Adonan yang sudah diekstrusi diberi grafit isi pensil. Mesin dapat dijalankan oleh 1 operator.

Kata kunci: ekstrusi, pensil, pensil kertas, pensil lead,

1. PENDAHULUAN

Pensil merupakan suatu benda yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk membuat goresan pada selembar kertas berisi catatan atau membuat hasil karya. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, pensil adalah alat tulis berupa kayu yang berisi arang keras, Industri pensil memiliki pangsa pasar yang besar dan Indonesia menjadi pengeksport pensil nomor 3 terbesar di dunia pada tahun 2014 (ITPC,2015).

Bahan baku yang digunakan untuk membuat batang pensil berkualitas adalah kayu jelutung (*Dyera spp.*). Kayu jelutung dipilih karena mudah diraut, ringan dan aman digunakan oleh anak-anak (Y.I. Mandang, 1996). Sangat disayangkan nilai ekonomis kayu jelutung tidak diimbangi dengan pengelolaan populasinya. Penebangan kayu hutan di Indonesia yang dilakukan secara berlebihan menyebabkan potensi pohon jelutung alam terus menurun (Hesti L. Tata,2015). Selain itu, ketersediaan kayu pohon jelutung yang kian menipis menyebabkan harganya cukup tinggi.

Salah satu cara untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan mengganti bahan baku pensil dan pensil warna dengan kertas bekas. Menurut data yang dirilis oleh Kementerian Perindustrian, konsumsi kertas di Indonesia mencapai 30 kg perkapita/tahun. Jumlah ini terhitung sangat banyak dan akan bermasalah jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah kertas adalah dengan menjadikan kertas bekas sebagai bahan baku batang pensil.

Menurut data yang didapatkan dari 22 kuisioner tentang produk pensil dari kertas bekas yang disebarkan, semua responden menyatakan bahwa belum mengetahui produk pensil dari kertas bekas dan baru mengetahuinya ketika penulis membawakan contoh produk pensil dari kertas bekas. Semua responden menyatakan tertarik terhadap produk ini. Ketertaikan calon konsumen ini menunjukkan bahwa produk pensil dari kertas bekas dapat menjadi peluang usaha yang baik di Indonesia.

Permasalahan yang dihadapi oleh produsen pensil dari kertas bekas antara lain kapasitas produksi yang masih kurang, mesin masih belum sinkron, tingkat kegagalan mesin dalam membuat produk tinggi dan mesin sering mengalami masalah saat proses produksi berlangsung. Kendala-kendala tersebut dapat diatasi melalui perancangan mesin pembuat pensil dan pensil warna dari kertas bekas yang sinkron tiap prosesnya dan memenuhi kapasitas produksi.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu turut serta dalam menjaga turut serta dalam menjaga kelestarian hutan dengan memanfaatkan kertas bekas sebagai pengganti kayu pada produk

pensil dan pensil warna, dan perancangan mesin diharapkan dapat meningkatkan kapasitas produksi pensil dan pensil warna dari kertas bekas.

1.1. Spesifikasi *Input*

Spesifikasi *input* yang dimasukkan ke dalam mesin pembuat pensil dan pensil warna pada rancangan mesin ini adalah potongan kertas bekas, bubur kertas kering 36,5%, grafit isi pensil Ø3 mm x 150 mm hitam atau berwarna, lem PVA 19,05%, tepung kanji 25,4% dan minyak goreng 12,7%.

1.2. Spesifikasi *Output*

Output produk yang dihasilkan oleh mesin yang dirancang memiliki spesifikasi yaitu pensil berbentuk lingkaran berukuran diameter 8mm dengan panjang 150mm dan berisi grafit isi pensil berdiameter 3 mm. Pensil yang dihasilkan oleh mesin ini setengah kering dan butuh proses lanjutan sebelum pensil siap dipakai.

1.3. Batasan Proses

Rancangan mesin pembuat pensil dan pensil warna yang dibuat memiliki batasan dalam proses antara lain:

- a. Pengawasan jalannya mesin dilakukan secara visual oleh operator.
- b. Pemindahan *output* bubur kertas kering ke *mixer* dilakukan manual oleh operator.
- c. Penakaran dan pemasukan bahan-bahan adonan pensil dilakukan manual oleh operator.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan *formig unit* mesin pembuat pensil dari kertas beaks memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah

2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam proses perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil dari kertas bekas antara lain:

1. Laptop/PC
Proses perancangan yang dilakukan membutuhkan laptop/PC dengan jenis *processor* Intel(R) Core(TM) i5-7200 CPU @2.50GHz (4 CPUs) dan memori minimal RAM size 4 GB
2. *Software*
Proses perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil dari kertas membutuhkan AutoCAD 2016 sebagai *software* dalam proses perancangan gambar 2D, *Solidworks 2017 Education Version* untuk proses perancangan gambar 3D. Microsoft Word 2016 untuk proses penyusunan laporan.

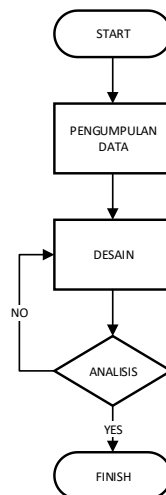
2.2. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai dasar proses perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil dari kertas yaitu:

1. Hasi Wawancara
Hasil wawancara digunakan sebagai dasar materi dalam proses perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil dari kertas. Hasil wawancara didapatkan dari pengguna pensil.
2. Catatan Jurnal
Jurnal biasanya digunakan sebagai pembanding antara analisis perancangan dengan dasar-dasar teori yang sudah ada.

2.3. Metode Pengerjaan

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* dibawah ini



Gambar 1 Flowchart Proses Perancangan

2.3.1. Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam pengerjaan perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil:

1. Metode Wawancara

Sumber referensi yang digunakan untuk pencarian sumber data adalah observasi dan wawancara langsung dengan pengguna pensil. Referensi ini digunakan untuk menentukan kebutuhan konsumen pengguna pensil dan mengetahui ketertarikan konsumen terhadap produk pensil dari kertas bekas.

2. Metode Pustaka

Sumber referensi yang paling sering digunakan untuk pencarian sumber data adalah dari internet dan juga buku-buku. Katalog dan buku referensi dari pembimbing juga merupakan sumber yang penting, jika terjadi kekurangan sumber dari internet dan laporan tugas akhir tahun sebelumnya.

2.3.2. Desain

Setelah semua data yang melengkapi kebutuhan dalam proses perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil terkumpul, dilakukan proses desain yang dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Sebelum melakukan proses desain, beberapa data harus ditentukan keterkaitan antara satu dengan yang lain. Pada proses penentuan matriks kebutuhan, diperlukan beberapa data seperti *requirement list* yang didapatkan berdasarkan permintaan *customer*, *engineer characteristic* yang diperlukan untuk menjawab permintaan dari *customer*, dan matriks kebutuhan untuk menentukan hubungan antara *requirement list* dan *engineer characteristic*.

2. Pemilihan Konsep

Pemilihan konsep dilakukan dengan *morphological metode*. Pemilihan konsep ini dilakukan dengan cara membandingkan antara 3 atau lebih konsep yang dianggap mampu memenuhi *requirement list*.

3. Penilaian Konsep

Penilaian konsep dilakukan berdasarkan kemampuan konsep tersebut dalam memenuhi *requirement list* dan pertimbangan akan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing konsep yang sudah ditentukan

4. Penentuan Konsep Pemenang

Penentuan konsep pemenang dilakukan berdasarkan hasil dari penilaian dengan kriteria pembobotan dan kriteria penilaian. Hasil dari penilaian tersebut merupakan hasil akhir akan desain yang akan dibuat dan dianggap salah satu

konsep terbaik yang mampu memenuhi *requirement list* dibandingkan konsep lainnya.

2.3.3. Analisis

Analisis dilakukan agar rancangan mesin dapat memenuhi kriteria-kriteria yang dibutuhkan dan aman dalam pengaplikasiannya. Analisis yang dilakukan yaitu terdiri dari perhitungan konstruksi, perhitungan dimensi minimum pada bagian kritis, dan perhitungan daya motor.

1. Perhitungan Kekuatan Daerah Kritis

Perhitungan kekuatan daerah kritis diperlukan untuk menentukan ukuran minimal serta membantu dalam pembuktian kekuatan konstruksi dalam sebuah perancangan mesin.

a. Menghitung Diameter Minimum Shaft

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan diameter minimum dari *shaft* yang mengalami pembebanan berdasarkan dengan angka keamanan.

Menghitung Momen Terbesar (1)

Momen terbesar diperlukan untuk menentukan dimana diameter daerah kritis akibat pembebanan.

$$MT = 9550 \cdot \frac{P1}{n1}$$

- MT = Momen puntir
- P1 = Daya motor
- n1 = Jumlah putaran

$$Mv = \sqrt{Mb(RA)^2 + (0,75)(\alpha0 \cdot MT)^2}$$

- Mv = Momen gabungan
- Mb(RA) = Resultan momen tekuk
- $\alpha0$ = Faktor batas tegangan

Menghitung Diameter Sementara (2)

Perhitungan diameter sementara digunakan sebagai acuan dalam keadaan pembebanan ideal tanpa pengaruh dari keadaan tertentu.

$$\sigma_{Sementara} = \frac{\sigma_{bw}}{n1}$$

- $\sigma_{sementara}$ = Tegangan sementara
- σ_{bw} = Tegangan tekuk ganti
- n1 = Angka keamanan (2,5-3,0)

$$dk_{sementara} = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sementara}}}$$

Menghitung Diameter Sebenarnya (3)

Perhitungan diameter sebenarnya didapatkan berdasarkan faktor lain seperti tingkat kekasaran *shaft*, angka keamanan, faktor ukuran, dan faktor efek lekuk.

$$\sigma_{sebenarnya} = \frac{\sigma_{bw} \times b1 \times b2}{\beta_k \times \theta}$$

- $\sigma_{sebenarnya}$ = Tegangan sebenarnya
- b1 = Faktor kekasaran
- b2 = Faktor ukuran
- β_k = Faktor ukuran

$$dk_{sebenarnya} = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sebenarnya}}}$$

b. Menghitung Daya Motor

Perhitungan daya motor diperlukan untuk mengetahui daya berdasarkan torsi motor sesuai dengan beban yang diterima.

Menghitung Torsi Motor (4)

$$T' = \frac{m \times g \times D}{2} \times \theta$$

- T' = Torsi motor dengan angka keamanan
 m = Massa
 g = Kecepatan gravitasi
 D = Diameter *shaft*
 θ = Angka keamanan

Menghitung Torsi Motor Sesuai Rasio (5)

$$TM = \frac{T'}{i}$$

- TM = Torsi motor sesuai rasio
 i = Rasio putaran motor

2. Analisis Material

Material yang digunakan untuk batang pensil merupakan campuran beberapa material. Analisis material bertujuan untuk menguraikan kekuatan, ketangguhan dan sifat campuran material yang digunakan.

3. Analisis dan Evaluasi Morfologi Pasca Desain

Analisis dan evaluasi morfologi pasca desain bertujuan untuk mengetahui ketercapaian desain morfologi yang sudah dibuat dengan rancangan mesin yang sudah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep *forming unit* dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep, kriteria pembobotan, kriteria penilaian, dan penilaian ketiga buah konsep untuk mendapatkan sebuah konsep pemenang yang sesuai dengan kebutuhan.

3.1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Tahap pertama dari penentuan matriks kebutuhan adalah penentuan tingkat kebutuhan *customer (requirement list)* yang dijelaskan dengan tabel 1.

Tabel 1 Tingkat Kebutuhan *Customer*

Requirement List	TK
1 Ukuran dan mutu pensil seragam	5
2 Kapasitas Produksi pensil 2000 batang per hari	4
3 Mudah dalam perawatan	4
4 Listrik yang digunakan maksimal berdaya 10 kW	3
5 Mudah dalam pengoperasian	3
6 Dimensi ruang untuk mesin maksimal 10m x 7m x 3m	3
7 Jumlah pekerja maksimal 3 orang	2

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa data permintaan *customer* yang memiliki tingkat kepentingan paling tinggi (nilai 5) adalah ukuran dan mutu pensil seragam. Sedangkan untuk permintaan *customer* yang bersifat rata-rata (nilai 3) adalah listrik yang digunakan berdaya maksimal 10kW dan mudah dalam pengoperasian.

Untuk mencapai kebutuhan *customer* yang tertera pada tabel 1 diperlukan adanya *engineering characteristic*. *Engineering characteristic* ini memiliki batasan ukur yang jelas dan berpengaruh terhadap kebutuhan *customer*. *Engineering characteristic* untuk perancangan *forming unit* pada mesin pembuat pensil dari kertas bekas dapat dijelaskan dengan tabel 2.

Tabel 2 Engineering Characteristic

Engineering Characteristic	
1	Kecepatan putaran motor (rpm)
2	Jarak antar produk (mm)
3	Pemilihan baut
4	Kekuatan batang pensil menahan beban (kg)
5	Lama waktu pengeringan lem (menit)
6	Suhu untuk pengeringan (°C)
7	Kekerasan batang pensil (HV)
8	Tekanan pada proses cetak (N)
9	Ukuran maksimal pensil (mm)
10	Panjang total unit (m)
11	Ketahanan menahan beban (N/mm ²)

Tabel di atas berisi informasi parameter teknis yang berpengaruh dalam perancangan *forming unit* pada mesin pembuat pensil dari kertas bekas beserta satuan pengukurannya. Langkah selanjutnya adalah membuat hubungan antara *engineering characteristic* dengan tingkat kebutuhan *customer* yang dinamai matriks kebutuhan. Matriks kebutuhan dijelaskan dengan gambar 2.

Customer Needs	Engineering Characteristic	Tingkat Kepentingan Relatif										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nomor		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kapasitas Produksi pensil 2000 batang per hari	4	○	○			○	○	□		△		
Ukuran dan mutu pensil seragam	5				○	○	○	○	○	○		
Listrik yang digunakan maksimal berdaya 10 kW	3					□	○		□			
Jumlah pekerja maksimal 3 orang	2										△	
Mudah dalam perawatan	4			○					□			○
Mudah dalam pengoperasian	3										□	
Dimensi ruang untuk mesin maksimal 10m x 7m x 3m	3						△				○	
Jumlah		36	36	36	45	96	108	61	73	49	41	36
Persentase Kepentingan (%)		5.8	5.8	5.8	7.3	15.6	17.5	9.9	11.8	7.9	6.6	5.8

Gambar 2 Matriks Kebutuhan

Gambar di atas menjelaskan kekuatan hubungan *engineering characteristic* dengan kebutuhan *customer* beserta dengan penilaiannya. Hubungan yang kuat digambarkan dengan simbol lingkaran, hubungan sedang disimbolkan dengan persegi dan hubungan lemah disimbolkan dengan segitiga. Berdasarkan gambar di atas, nilai tertinggi adalah suhu untuk pengeringan, maka hal ini menjadi perhatian lebih dalam perancangan.

3.2. Perancangan Konsep *Forming Unit*

Desain morfologi *forming unit* ini meliputi mekanisme pembentukkan pensil, mekanisme pengisian isi pensil, mekanisme pemotongan pensil, penggerak utama pembentukkan pensil dan penggerak utama pengisian isi pensil. Desain morfologi *forming unit* dapat dijelaskan melalui gambar 3.



Gambar 3 Desain Morfologi Forming Unit

Proses perancangan *forming unit* menghasilkan tiga konsep seperti yang ditunjukkan gambar di atas. Konsep dihasilkan pada desain morfologi di atas dinyatakan dalam garis berhubungan di mana konsep 1 digambarkan dengan garis berwarna merah, konsep 2 dengan garis berwarna hijau, dan konsep 3 dinyatakan dengan garis berwarna biru.

3.3. Penilaian Konsep Forming Unit

Penilaian konsep sistem *forming unit* dilakukan dalam 3 tahap, yaitu pembobotan kriteria penilaian, penentuan kriteria penilaian, dan penilaian konsep.

1. Pembobotan Kriteria Penilaian

Pembobotan kriteria penilaian dilakukan untuk memberikan bobot pada tiap kriteria pemilihan konsep dengan membandingkan kriteria satu sama lain. Pembobotan faktor penilaian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Pembobotan Faktor Penilaian Forming Unit

Bobot Kriteria Penilaian	Kemudahan maintenance	Kerumitan mekanisme	Kesesuaian bentuk dan dimensi pensil tiap batang	Keamanan proses forming	Durability	Kecepatan Produksi	Mesin memenuhi kebutuhan ruang
Kemudahan maintenance	1	2	2	2	1	2	2
Kerumitan konstruksi	0	1	2	2	2	2	2
Kesesuaian bentuk dan dimensi batang pensil	0	0	1	2	0	2	2
Keamanan proses forming	0	0	0	1	0	1	1
Durability	1	0	2	1	1	2	2
Kecepatan produksi	0	0	0	2	0	1	0
Mesin memenuhi kebutuhan ruang	0	0	0	1	0	2	1
Total	2	3	7	11	4	12	10
Bobot	0.17	0.25	0.58	0.92	0.33	1	0.83

Kesimpulan dari tabel 3 di atas adalah kecepatan produksi merupakan faktor yang paling penting.

2. Penentuan Kriteria Penilaian

Kriteria penilaian dari ketiga konsep *forming unit* dijelaskan melalui tabel 4. Tabel kriteria penilaian *forming unit* berisi acuan untuk memberi nilai ketiga alternatif konsep *forming unit*.

Tabel 4 Penentuan Kriteria Penilaian *Forming Unit*

Forming Unit						
No.	Kriteria	Nilai				
		5	4	3	2	1
1	Kemudahan <i>maintenance</i>	<i>Maintenance otomatis</i>	Tidak membutuhkan alat khusus dan alat bantu	Membutuhkan alat bantu tanpa alat khusus	Membutuhkan alat khusus tanpa alat bantu	Membutuhkan alat khusus dan alat bantu
2	Kerumitan konstruksi	Waktu assembly <20 jam, tanpa alat khusus	Waktu assembly 20-30 jam, tanpa alat khusus	Waktu assembly 30-40 jam, tanpa alat khusus	Waktu assembly >40 jam tanpa alat khusus	Waktu assembly >40 jam dengan alat khusus
3	Kesesuaian bentuk dan dimensi batang pensil	Kesesuaian dimensi dan bentuk produk $\geq 95\%$		Kesesuaian bentuk dan dimensi produk 75% - 95%	Kesesuaian bentuk dan dimensi produk $\leq 75\%$	
4	Keamanan proses forming	Terdapat sensor pengaman, bagian berbahaya tertutup cover		bagian berbahaya tertutup cover	Tanpa pengaman	
5	<i>Durability</i>	Umur pakai komponen rata-rata ≥ 10 tahun	Umur pakai komponen rata-rata 8-10 tahun	Umur pakai komponen rata-rata 6-8 tahun	Umur pakai komponen rata-rata 4-6 tahun	Umur pakai komponen rata-rata ≤ 4 tahun
6	Kecepatan produksi	jarak antar produk ≤ 3 detik	jarak antar produk 3-5 detik	jarak antar produk 5-7 detik	jarak antar produk 7-10 detik	jarak antar produk ≤ 10 detik

3. Penilaian Konsep

Penilaian konsep forming unit berisi faktor penilaian, bobot faktor penilaian, nilai konsep, dan nilai total konsep. Penilaian konsep *forming unit* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Penentuan Kriteria Penilaian *Forming Unit*

No.	Kriteria	Bobot	Konsep Merah		Konsep Hijau		Konsep Biru	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Kemudahan <i>maintenance</i>	0.17	3	0.51	3	0.51	2	0.34
2	Kerumitan konstruksi	0.25	5	1.25	2	0.5	3	0.75
3	Kesesuaian bentuk dan dimensi batang pensil	0.58	1	0.58	5	2.9	3	1.74
4	Keamanan proses forming	0.92	3	2.76	3	2.76	5	4.6
5	<i>Durability</i>	0.33	4	1.32	4	1.32	3	0.99
6	Kecepatan produksi	1	4	4	5	5	4	4
7	Mesin memenuhi kebutuhan ruang	0.83	3	2.49	1	0.83	5	4.15
Total		4.08	23	12.91	23	13.82	25	16.57
Peringkat			3		2		1	

Kesimpulan dari tabel 3.12 di atas adalah konsep 3 diambil menjadi konsep yang terpilih karena mendapatkan peringkat 1 dengan total nilai 16,57.

3.4. Deskripsi Konsep *Forming Unit*

Forming unit adalah unit pembuatan batang pensil dan memasukkan isi pensil. Seluruh bahan baku adonan yaitu bubur kertas, lem PVA, tepung kanji, minyak goreng dan garam akan dicampur pada unit ini. Adonan dicampur dengan *double sigma mixer* pada unit ini. *Double sigma mixer* digunakan karena *mixer* jenis ini bisa mencampur fluida dengan viskositas yang tinggi. Adonan akan diekstrusi oleh *extruder* dan membentuk pensil sesuai dengan *dies* yang digunakan. Adonan yang sudah diekstrusi akan diterima oleh *roller* pemutar untuk selanjutnya

dilubang dan ditambahkan isi pensil. Gambar rancangan forming unit dapat dilihat pada gambar 4.



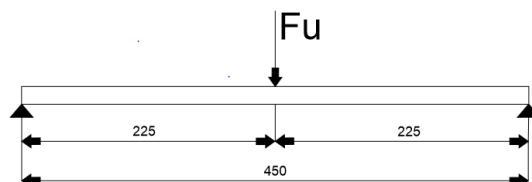
Gambar 4 Konsep Pemenang *Forming Unit*

3.5. Analisis Kekuatan Daerah Kritis

1. Menghitung Diameter Minimal *Shaft*

Diketahui

Material	= Stainless Steel 304
σ_{bw}	= 660 N/mm ²
$V_{s(2,5-3)}$	= 2,5
P	= 60 Watt
N	= 25 rpm
σ_{sch}	= 250 N/mm ²
b_1	= 0,85
b_2	= 0,85
D_0	= 185mm
Bk	= 1,7
V	= 2
m_{load}	= 22,83 kg
m_1	= 8 kg
L1	= 225 mm



Gambar.5 Sebaran Gaya Pada *Shaft Forming Unit*

Mencari Diameter Kritis

$$\begin{aligned} \text{Momen Torsi (Mt)} &= 9550 \times \frac{P}{n} \\ &= 9550 \times \frac{40 \text{ watt}}{20 \text{ rpm}} \\ &= 15.280 \text{ Nmm} \\ \text{Gaya Radial (Fr)} &= m_{load} \times g \\ &= 22,83 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 223,96 \text{ N} \\ \text{Gaya Keliling (Fu)} &= 2 \times Mt / D_0 \\ &= 2 \times 15.280 \text{ Nmm} / 185 \text{ mm} \\ &= 165,19 \text{ N} \\ \text{Momen Bengkok Maks (Mb}_{maks}) & \\ Mb &= F \times L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb (Ax) &= Fr \times L \\
 &= 223,96 \text{ N} \times 225 \text{ mm} \\
 &= 50.391 \text{ Nmm} \\
 Mb (Ay) &= Fu \times L \\
 &= 165,19 \text{ N} \times 225 \text{ mm} \\
 &= 37.167,75 \text{ Nmm} \\
 Mb (Ra) &= \sqrt{Mb(Ax)^2 + Mb(Ay)^2} \\
 &= 62.615,45 \text{ Nmm} \\
 \text{Faktor Batas Tegangan Dinamik } (\alpha_0) & \\
 \alpha_0 &= \frac{\sigma_{bw}}{1,73 \times \sigma_{sch}} \\
 &= \frac{660 \text{ N/mm}^2}{1,73 \times 250 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 1,53 \\
 \text{Momen Gabungan (Mv)} & \\
 Mv &= \sqrt{Mb^2 + 0,75 \times (\alpha_0 \times Mt)^2} \\
 &= \sqrt{62.615,5^2 + 0,75(1,53 \times 15.280)^2} \\
 &= 65.807,39 \text{ N} \\
 \sigma_{sementara} &= \sigma_{bw} / V_{(2,5-3)} \\
 &= 660 \text{ N/mm}^2 / 2,5 \\
 &= 264 \text{ N/mm}^2 \\
 dk_{sementara} &= 3 \sqrt{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sementara}}} \\
 &= 3 \sqrt{\frac{65.807,39 \text{ N}}{0,1 \times 112 \text{ N/mm}^2}} \\
 &= 13,56 \text{ mm} \\
 \sigma_{sebenarnya} &= \frac{\sigma_{bw} \times b_1 \times b_2}{\beta_k \times V} \\
 &= \frac{660 \text{ N/mm}^2 \times 0,85 \times 0,85}{1,7 \times 2} \\
 &= 140,25 \text{ N/mm}^2 \\
 dk_{sebenarnya} &= 3 \sqrt{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sebenarnya}}} \\
 &= 3 \sqrt{\frac{65.807,39 \text{ N}}{0,1 \times 140,25 \text{ N/mm}^2}} \\
 &= 16,74 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan poros di atas, diameter minimal yang diperlukan agar poros dapat bekerja dengan baik adalah 17 mm. Poros yang digunakan pada rancangan paling kritis adalah diameter 20 mm sehingga rancangan poros *forming unit* aman untuk digunakan.

2. Perhitungan Motor *Forming Unit*

Diketahui

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Shaft mixer} &= 8 \text{ kg} \quad (\text{ada dua mixer}) \\
 \text{Massa Roda gigi} &= 4,7 \text{ kg} \quad (\text{ada 2 roda gigi}) \\
 \text{Massa adonan untuk 1 batch} &= 22,83 \text{ kg} \\
 m_{\text{total}} &= 16 \text{ kg} + 9,4 \text{ kg} + 22,83 \text{ kg} \\
 &= 48,23 \text{ kg} \\
 \text{Diameter Mixer (D}_m\text{)} &= 185 \text{ mm} \\
 \text{Diameter Roda Gigi (D}_r\text{)} &= 204 \text{ mm} \\
 n_{\text{shaft}} &= 25 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ motor} &= 1500 \text{ rpm} \\
 i &= n \text{ motor} / n \text{ shaft} \\
 &= 1500 \text{ rpm} / 25 \text{ rpm} \\
 &= 60 \\
 V &= 2 \\
 \text{Gravitasi (g)} &= 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung Torsi Motor

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya (F)} &= m_{\text{total}} \times g \\
 &= 48,23 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 473,14 \text{ N} \\
 \text{Torsi Linear (TL)} &= \frac{F \times D}{2} \\
 &= \frac{473,14 \text{ N} \times 204 \text{ mm}}{2} \\
 &= 48.260,28 \text{ Nmm} \\
 \text{Torsi Linear dengan keamanan (T'L)} &= T'L \times v \\
 &= 48.260,28 \text{ Nmm} \times 2 \\
 &= 96.520,56 \text{ Nmm} \\
 \text{Torsi Motor (TM)} &= \frac{T'L}{i} \\
 &= \frac{96.520,56 \text{ Nmm}}{60} \\
 &= 1608,68 \text{ Nmm} \\
 &= 1,61 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan torsi motor di atas menunjukkan bahwa torsi yang dibutuhkan sebesar 1,61Nm. Berdasarkan perhitungan tersebut, motor yang dicoba adalah *induction motor 1 phase DKM 9IDGE-60FP-T* dengan *gear ratio* 50, daya *output* sebesar 60 watt dan putaran motor 1300rpm.

Pembuktian Daya Motor

$$\begin{aligned}
 n' \text{ motor} &= 1300 \text{ rpm} \\
 i' &= 50 \\
 n' \text{ shaft} &= \frac{n' \text{ motor}}{i'} \\
 &= \frac{1300 \text{ rpm}}{50} \\
 &= 26 \text{ rpm} \\
 T'L &= 96.520,56 \text{ Nmm} \\
 TM' &= \frac{T'L}{i'} \\
 &= \frac{96.520,56 \text{ Nmm}}{50} \\
 &= 1.930,4 \text{ Nmm} \\
 &= 1,93 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pembuktian daya motor di atas, motor induksi *1 phase DKM 9IDGE-60FP* dengan *gear reducer 9PBK50BH* yang memiliki *gear ratio* 50. Motor ini dapat digunakan pada rancangan karena motor tersebut memiliki kecepatan putar 26 rpm yang melebihi kebutuhan yaitu 25 rpm. Motor seri ini pun terbukti memiliki daya yang lebih besar yaitu 1,93 Nm dari daya yang dibutuhkan sebesar 1,61 Nm. Spesifikasi motor tersebut membuat seri motor ini digunakan pada rancangan *forming unit*.

3.6. Analisis Material Pensil dari Kertas

Material yang digunakan untuk batang pensil merupakan campuran beberapa material. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui nilai ketangguhan, kekuatan tarik dan sifat material yang digunakan sebagai bahan pengganti batang pensil. Pengujian material ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk pengujian lanjut untuk menemukan material yang cocok sebagai bahan pengganti kayu sebagai bahan baku batang pensil.



Gambar 6 Adonan Material Batang Pensil

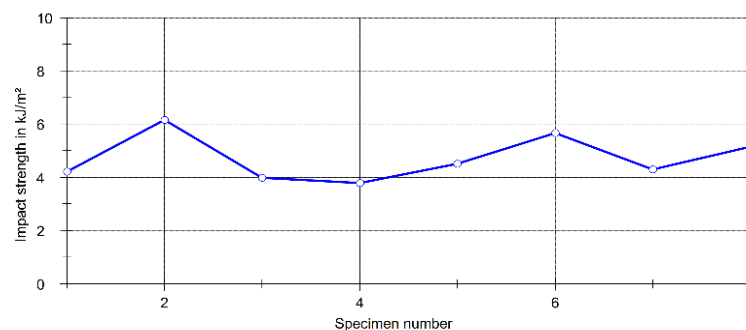
Material yang digunakan sebagai bahan baku batang pensil pada penelitian ini merupakan campuran dari beberapa bahan yaitu bubuk kertas kering, lem PVA, tepung kanji, garam dan minyak goreng. Takaran yang digunakan pada penelitian ini adalah bubuk kertas kering sebanyak 36,5%, lem PVA sebanyak 19,05%, tepung kanji sebanyak 25,4%, minyak goreng sebanyak 12,7% dan garam sebanyak 6,35%. Material batang pensil dibuat dengan cara mencampurkan bahan-bahan tersebut hingga merata kemudian dicetak dan dikeringkan. Karakteristik campuran bahan saat dicampur adalah lengket diawal tetapi lama-lama adonan menjadi tidak lengket, selain itu adonan campuran bahan mudah dibentuk dan tidak cepat kering. Adonan campuran bahan ditunjukkan oleh gambar 6.

Pengujian yang dilakukan terhadap material yang sudah dikeringkan adalah *impact test ISO 179-1* dan *tensile test DIN EN ISO 527-1*. *Impact test* dilakukan untuk menguji ketahanan material terhadap beban kejut karena penggunaan pensil sering sekali jatuh dari ketinggian. *Impact test* pada penelitian ini dilakukan menggunakan mesin *Zwick Roel HIT 5,5P* dengan parameter *angle of release* 107,5° dan *impact velocity* 2,9 m/s. Ukuran specimen material yang digunakan memiliki panjang 80mm, lebar rata-rata 11mm dan tebal rata-rata 2,4mm.



Gambar 7 Ukuran dan Bentuk Spesimen untuk *Impact Test*

Series graph:



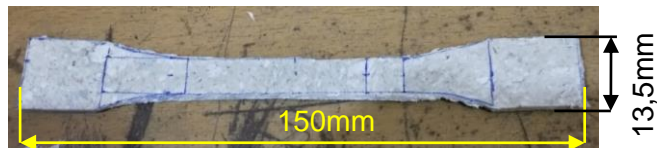
Statistics:

Total/Hinge break n = 8	b mm	h mm	W J	ak kJ/m ²
x	10,97	2,386	0,12448	4,71
s	0,7229	0,1236	0,03085	0,85
v [%]	6,59	5,18	24,79	17,97

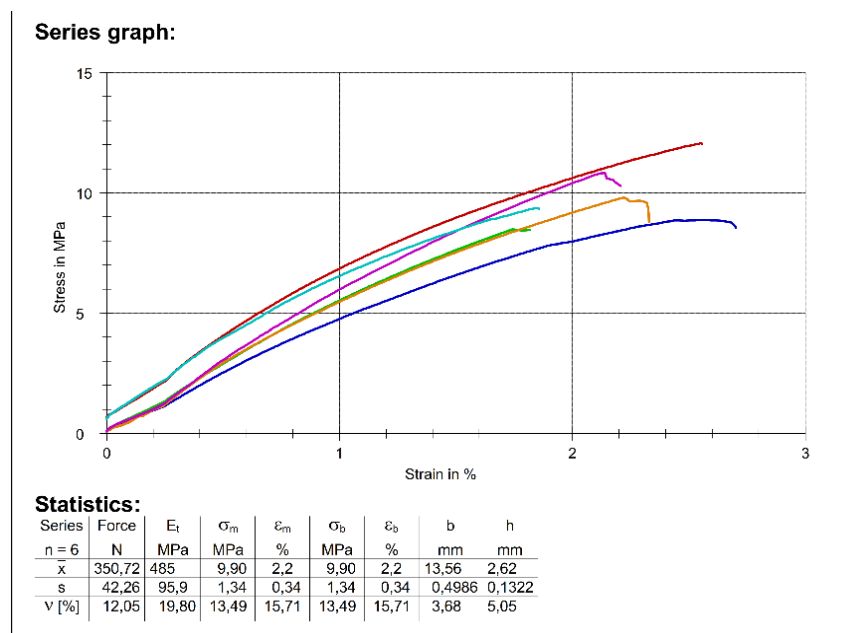
Gambar 8 Hasil Pengujian *Impact*

Hasil dari *impact test* telah ditunjukkan oleh gambar 8. Berdasarkan gambar tersebut, ketangguhan material dalam menerima beban kejut sebesar 4,71 kJ/m².

Tensile test dilakukan untuk menguji kekuatan material. Pengujian ini dilakukan dengan menarik sampai patah. *Tensile test* pada penelitian ini dilakukan menggunakan mesin *Zwick Roel Z020* dengan parameter *pre-load* 5N, *tensile modulus speed* 1mm/min, *test speed* 10mm/min, *grip to grip separation at the start point* 115mm, dan *gage length* 50mm. Gaya yang diberikan pada rata-rata specimen adalah 350N. Ukuran specimen material yang digunakan memiliki panjang 150mm, lebar rata-rata 13,5mm dan tebal rata-rata 2,6mm.



Gambar 9 Ukuran dan Bentuk Spesimen untuk *Tensile Test*



Gambar 10 Hasil Pengujian *Tensile*

Hasil dari *tensile test* telah ditunjukkan oleh gambar 10. Berdasarkan gambar tersebut, material kuat menerima tegangan sebesar 9,9 MPa dan regangan yang terjadi pada material sebesar 2,2%. Grafik di atas menunjukkan bahwa material tidak banyak mengalami regangan dan patah saat mencapai batas patah. Hasil di atas juga menunjukkan bahwa material mempunyai elastisitas sebesar 485.000 Pa.

Material yang dibuat memiliki sifat yang keras, getas, ringan dan mudah dibentuk. Sifat-sifat ini cocok sebagai bahan baku batang pensil yang butuh sifat kuat terutama terhadap beban kejut, ringan dan mudah diraut tetapi butuh penelitian lebih lanjut untuk merealisasikannya dan diharapkan hasil analisis ini dapat menjadi referensi untuk pengujian lanjutan.

3.7. Analisis Pasca Desain

Analisis dan evaluasi morfologi pasca desain bertujuan untuk mengetahui ketercapaian desain morfologi yang sudah dibuat dengan rancangan mesin yang sudah dibuat.

Tabel 6 Tabel Ketercapaian Kebutuhan

DAFTAR KEBUTUHAN				
No.	Spesifikasi Teknik	Tingkat Kepentingan	Ketercapaian (%)	Implementasi dalam Desain
1	Kapasitas Produksi pensil 2000 batang/hari	4	100	Kapasitas produksi yang dihasilkan mesin 3000 batang/hari, lebih dari 2000 batang/hari
2	Ukuran dan Mutu Pensil Seragam	5	100	Pencampuran dipastikan merata sehingga mutu dan ukuran dapat seragam

Tabel 6 Tabel Ketercapaian Kebutuhan (lanjutan)

DAFTAR KEBUTUHAN				
No.	Spesifikasi Teknik	Tingkat Kepentingan	Ketercapaian (%)	Implementasi dalam Desain
3	Listrik yang digunakan maksimal berdaya 10 kW	3	100	Daya yang butuhkan mesin maksimal 2800 watt
4	Dimensi ruang untuk mesin maksimal 10m x 7m x 3m	3	100	Mesin membutuhkan ruangan sebesar 7mx5,5mx3m
5	Mudah dalam perawatan	4	70	Masih terdapat bagian yang sulit dijangkau karena keterbatasan desain
6	Mudah dalam pengoperasian	3	80	Tidak termasuk panduan mesin sehingga operator butuh <i>training</i> terlebih dahulu, tapi terdapat penjelasan tombol dan <i>feedback</i> untuk operator pada <i>control panel</i>
7	Jumlah Operator Maksimal 3 orang	2	100	Operator yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin 1 orang

Berdasarkan tabel di atas, daftar kebutuhan yang sudah dibuat telah diimplementasikan dalam desain. Tabel 6 dapat menunjukkan persentase ketercapaian desain mesin terhadap kebutuhan. Persentase ketercapaian tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Ketercapaian (\%)} = \frac{[(TK_1 \times K_1) + (TK_2 \times K_2) + \dots + (TK_n \times K_n)]}{\text{jumlah tingkat kepentingan}} \times 100\%$$

Keterangan :

TK = tingkat kepentingan

K = Ketercapaian Kebutuhan (%) / 100

Berdasarkan rumus di atas, mesin pembuat pensil dan pensil warna mempunyai tingkat ketercapaian sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Ketercapaian (\%)} &= \frac{[(4 \times 1) + (5 \times 1) + (3 \times 1) + (3 \times 1) + (4 \times 0,7) + (3 \times 0,8) + (2 \times 1)]}{24} \times 100\% \\ &= 92,5\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, mesin pembuat pensil berbahan dasar kertas bekas memiliki ketercapaian 92,5%.

4. KESIMPULAN

Perancangan *forming unit* mesin pembuat pensil bekas turut serta dalam menjaga kelestarian alam karena dapat mengurangi limbah kertas dan mengurangi penggunaan kayu jelutung yang mulai terancam. Perancangan mesin ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengolah limbah kertas, sarana belajar untuk memanfaatkan barang bekas dan meningkatkan produksi pensil dan pensil warna di Indonesia. Konsep mesin dirancang dengan dimensi (PxLxT) 3200x2500x2150mm dan kapasitas mesin 3000 pensil kertas per hari dapat meningkatkan kapasitas produksi pensil dan pensil warna dari kertas bekas. Ukuran mesin yang dirancang sedapat mungkin dengan menyesuaikan ukuran tubuh rata-rata manusia dewasa Asia yaitu 160-170 cm. Tingkat ketercapaian mesin terhadap kebutuhan mencapai angka 92,5% sehingga perancangan mesin ini dapat dikatakan memenuhi kebutuhan yang ada.

Material kertas bekas pengganti kayu sebagai bahan baku batang pensil dibuat dari campuran bubur kertas kering sebanyak 36,5%, lem PVA sebanyak 19,05%, tepung kanji sebanyak 25,4%, minyak goreng sebanyak 12,7% dan garam sebanyak 6,35%. Hasil penelitian terhadap material menunjukkan hasil bahwa material kertas bekas pengganti kayu sebagai batang pensil memiliki sifat yang keras, getas, ringan dan mudah dibentuk. Hasil uji *impact* menunjukkan bahwa ketangguhan material dalam menerima beban kejut sebesar 4,71 kJ/m². Hasil uji *tensile* menunjukkan bahwa material mampu menerima tegangan sebesar 9,9MPa dan regangan yang terjadi pada material sebesar 2,2%. Pengujian ini menunjukkan bahwa material ini mempunyai sifat yang getas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meneliti material batang pensil agar material ini dapat benar-benar menggantikan kayu sebagai bahan baku batang pensil.

Perancangan *forming unit* dalam mesin pembuat pensil dari kertas bekas masih belum sempurna dan masih dibutuhkan pengembangan lebih lanjut diantaranya dengan penambahan sistem otomatisasi untuk penakaran bahan – bahan yang akan dimasukkan ke dalam *mixer* dan proses ekstrusi dibuat dengan sistem *double extruder* agar proses pembuatan pensil dari kertas bekas lebih *efisien*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andreas Schloenhardt. *The Illegal Trade in Timber and Timber Product in The Asia-Pacific Region*. Australian Institute of Criminology, Canberra, 2008.
- Hesti L. Tata, M. Sofiyuddin, Bastoni, Elok Mulyoutami, Aulia Perdana dan Janudianto. Jelutung Rawa : Teknik Budidaya dan Prospek Ekonominya. *World Agroforestry Centre*, Bogor, 2015.
- B. Sudibyo. *Kekuatan dan Tegangan Ijin*. Diktat, Politeknik ATMI Surakarta, Surakarta, 2018.
- B. Sudibyo. *Poros Penyangga dan Poros Transmisi*. Diktat, Politeknik ATMI Surakarta, Surakarta, 2018.
- Politeknik ATMI Surakarta. *Tabel Elemen Mesin*. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Andy Ahmat Fauzi. *Rancang Bangun Mesin Extractor Cassava*. Tugas Akhir, Program Diploma III Mesin Produksi, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2010.
- Y.I. Mandang. "Pencarian Pengganti Kayu Jelutung (*Dyera spp.*) untuk Bahan Baku Batang Pensil." *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, Vol.14 No.6 : 211-230, 996.
- Pencil Market Brief*. Analisis Pasar, Indonesia Trade Promotion Center, Mexico City, 2015.
- Alfin Tofler. *Pensil Faber-Castell Indonesia Tembus Ekspor 35 Negara*. Diakses dari <https://www.viva.co.id/berita/bisnis/416951-pensil-faber-castell-indonesia-tembus-ekspor-35-negara>, 14 Oktober 2018.