

PRODUKSI DAN UJI PERFORMANSI MESIN PEMBUAT BUBUR KERTAS KAPASITAS 960 LITER/JAM

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah memproduksi mesin pembubur kertas dan menganalisis hasil pengujian performansi mesin bubur kertas dengan variasi jenis kertas dan lama waktu produksi. Penelitian ini merupakan penelitian terapan dimana pembuatan mesin menggunakan proses manufaktur sedangkan pengujian performansi mesin menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen dalam penelitian ini dengan melakukan uji coba performansi mesin bubur kertas dimana variabel bebas adalah jenis bahan kertas, dan waktu produksi, sedangkan variabel terikatnya adalah ukuran partikel, dan kapasitas produksi. Hasil uji performansi selanjutnya diamati menggunakan pemeriksaan makroskopik menggunakan aplikasi *infinity analyz*. Hasil penelitian ini mendapatkan *prototype* mesin pembuat bubur kertas kapasitas 6 liter/jam dengan spesifikasi: panjang 1,29 m; lebar 0.646 m; tinggi 1,119 m; daya 1,5 HP. pengujian kapasitas produksi bubur kertas pada variasi waktu 3 menit yaitu sebesar 60 kg/jam, sedangkan hasil pemeriksaan partikel makro didapatkan ukuran partikel besar lebih dari 1 mm hanya terdapat pada beberapa titik (minor) yang mungkin disebabkan dari bubur kertas yang terlempar ke dinding atas tabung sehingga tidak terproses.

Kata kunci: Mesin pembubur kertas; uji performansi; makroskopik

Suprpto^{1*}
Kriswanto²
Ahmad Rozikin³
Muhamad Hasan Fatoni⁴
Fuad Hasyim⁵
Bagus Wijayanto⁶

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Mesin,
Universitas Negeri Semarang
suprpto¹@mail.unnes.ac.id*

PENDAHULUAN

Sampah kertas merupakan sampah anorganik yang sulit terurai oleh alam. Jumlah timbunan sampah kertas dapat mencapai 10% dari jumlah keseluruhan sampah yang berada di alam (Sanchez, 2014). Banyaknya jumlah sampah kertas ini karena hampir 85% manusia di bumi ini melakukan kegiatannya dengan kertas (Arfah, 2017). Penanganan sampah kertas dapat menggunakan 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). Undang-Undang Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah beserta Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 mengamanatkan pada perubahan paradigma mendasar dalam pengelolaan sampah yaitu dari paradigma kumpul – angkut – buang menjadi pengolahan yang bertumpu pada pengurangan sampah dan penanganan sampah. Kegiatan pengurangan dan penanganan sampah dikenal dengan sebutan *Reduce, Reuse* dan *Recycle* (3R).

Proses daur ulang kertas selama ini dilakukan oleh industri-industri besar pembuat kertas. Kertas-kertas bekas dijual pada pengepul barang bekas dan dijual pada industri kertas. Pengolahan sampah kertas melalui kegiatan *recycle* selama ini hanya mampu dilakukan oleh industri besar, karena mesin dan peralatan pengolahan kertas membutuhkan biaya investasi yang sangat tinggi. Kegiatan *recycle* skala Industri Kecil Menengah (IKM) dapat dilakukan dengan mengolah sampah kertas menjadi kertas seni. Pengolahan sampah kertas menjadi kertas seni dilakukan dengan menggunakan mesin *pulper* (pembuat bubur kertas) kemudian dicetak sesuai ukuran kertas yang diinginkan.

Mesin *pulper* yang ada dipasaran memiliki kapasitas yang besar dengan harga jual yang tinggi sehingga hanya dapat dimiliki industri besar. Gambar 1 dibawah ini adalah mesin bubur kertas buatan Cina dengan harga US\$30.000 atau Rp. 427.650.000,- dimana motor penggerak membutuhkan daya 110-560 kW dengan kapasitas 260 ton/d (alibaba.com). Daya motor penggerak mesin 110 kW tidak mampu dijalankan industri kecil menengah karena daya listrik rata-rata menggunakan 1300 s.d. 2000 watt. Mesin bubur kertas sejenis dengan merek Sung dari Cina juga menggunakan daya listrik yang besar yakni 110 kW, dengan harga US\$9.877 atau Rp. 140.060.798,- dengan kapasitas 600 ton (alibaba.com).



Gambar 1. Mesin *pulper* (A) merek Leizhan dan (B) merek Sung (alibaba.com)

Produk mesin bubur kertas buatan lokal Indonesia juga telah ada dipasaran dengan kapasitas 8 kg kertas/jam dengan daya listrik motor 1Hp. Kapasitas 8 kg/jam sangat kecil untuk pengembangan usaha IKM *recycle* kertas. Pada penelitian ini akan memproduksi mesin bubur kertas kapasitas 960 liter/jam atau mesin kapasitas minimal 55 kg kertas kering/jam dengan daya motor listrik 1,5 Hp.

Penelitian tentang mesin *pulper* oleh Kolajo (2013) tentang desain, fabrikasi, dan evaluasi kinerja mesin *pulping* mekanik refiner didapatkan hasil bahwa *pulper* piringan yang difabrikasi mekanik layak untuk pembuatan *pulp* dari bahan bambu. Penelitian berfokus pada kualitas hasil *pulper* bukan pada kapasitas produksi, sehingga tidak diketahui kapasitas mesin tersebut. Penelitian rancang bangun mesin *pulper* Simanjuntak (2015) mendapatkan hasil bahwa mesin memiliki kapasitas efektif sebesar 16,67 kg/jam. Kapasitas mesin tersebut masih rendah untuk satu hari jam kerja (8 jam) baru dapat menghasilkan 133 kg.

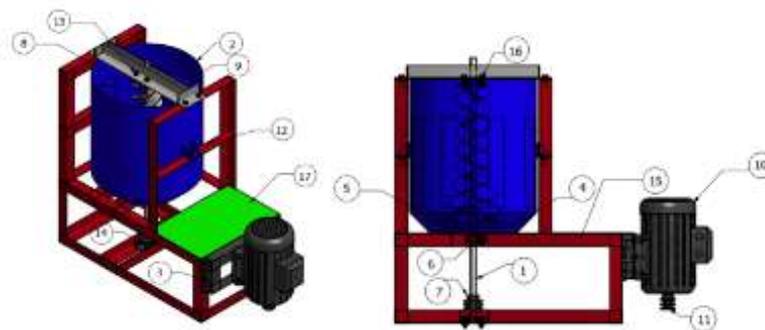
Manik (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah mata pisau terhadap persentase bahan tidak tercacah dan dihasilkan bahwa Persentase bahan yang tidak tercacah tertinggi pada mata pisau berjumlah 2 sebesar 4,48% dengan pemakaian daya sebesar 1,02 Hp sedangkan persentase terendah pada jumlah mata pisau 4 sebesar 1,81% dengan pemakaian daya sebesar 1,91 Hp. Pada penelitian ini kapasitas produksi mesin tidak diketahui, sedangkan daya yang digunakan cukup besar yakni 1,91 HP.

Tujuan penelitian ini adalah memproduksi mesin pembubur kertas *helical screw* rancangan Jurusan Teknik Mesin Unnes dan menganalisis hasil pengujian performansi mesin bubur kertas dengan variasi jenis kertas dan lama waktu produksi.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dimana pembuatan mesin menggunakan proses manufaktur sedangkan pengujian performansi mesin menggunakan metode eksperimen. Proses manufaktur terdiri dari proses pemotongan *blank* (pola) menggunakan mesin plasma *cutting*, proses pengelasan bahan *stainless steel* menggunakan mesin las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), proses pengelasan bahan baja siku menggunakan mesin las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), proses pemesinan untuk membuat komponen penggerak. Metode eksperimen dalam penelitian ini dengan melakukan uji coba performansi mesin bubur kertas dimana variabel bebas adalah jenis bahan kertas, dan waktu produksi, sedangkan variabel terikatnya adalah ukuran partikel, dan kapasitas produksi. Hasil uji performansi selanjutnya diamati menggunakan pemeriksaan makroskopik menggunakan aplikasi *infinity analyz*. Desain mesin pembuat bubur kertas *helical screw* rancangan Jurusan Teknik Mesin Unnes ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain mesin *pulper*

Langkah-langkah proses pembuatan spesimen dari bubur kertas yaitu:

1. Siapkan 1 kg kertas HVS bekas bervariasi
2. potong kertas HVS dan kertas duplex bekas ukuran A4 menjadi 1/8 bagian
3. Menyiapkan mesin pembubur kertas
4. Masukkan potongan kertas 1 kg dan 25 liter air ke dalam tabung mesin menggunakan gelas ukur kedalam tabung
5. Proses mesin sesuai variasi waktu
6. Masukkan hasil bubur kertas kedalam box berisi air 100 liter
7. Cetak bubur kertas menggunakan kasa cetak ukuran T70 mesh

Pemeriksaan makro hasil bubur kertas (spesimen) menggunakan kamera CANON EOS 205D dan software *infinity analyz*. Berikut ini langkah-langkah pengujian spesimen pembuat bubur kertas.

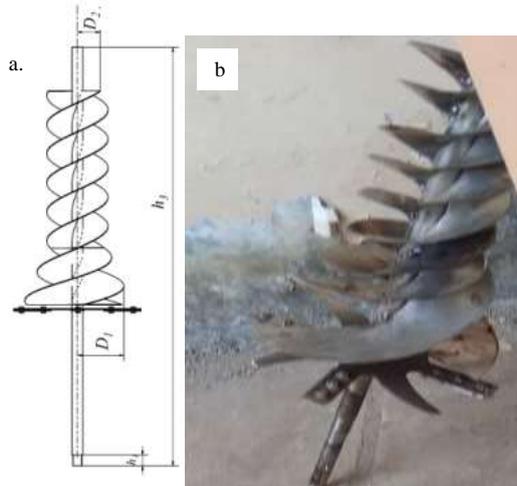
Langkah pengujian makro spesimen:

1. Tempatkan kertas berukuran A3+ pada posisi datar
2. Letakan kamera pada jarak 30,7 cm terhadap kertas spesimen

3. Fokuskan lensa pada spesimen dengan pembesaran antara 18 – 5,5 mm tanpa *zoom*
4. Masukkan hasil foto pada aplikasi *infinity analyz* dan foto di negatifkan
5. Kalibrasi ukuran *infinity analyz*
6. Zoom foto dan ukur partikel terbesar yang terdapat pada foto.

HASIL PENELITIAN

Poros ulir helik menggunakan material stainless steel 201, yang terdiri dari poros vertikal, ulir helik, pisau rotari, dan pisau planner. Dimensi poros ulir helik yaitu $D_1 = 250$ mm, $D_2 = 140$ mm, $h_3 = 105$ mm, $h_4 = 25$ mm dan $pth = 200$ mm. Perakitan poros ulir helik menggunakan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan arus 100 A dan elektroda ukuran 2,6 mm. Desain poros ulir helik ditunjukkan pada Gambar 3(a), dan hasil pembuatan ditunjukkan Gambar 3(b).



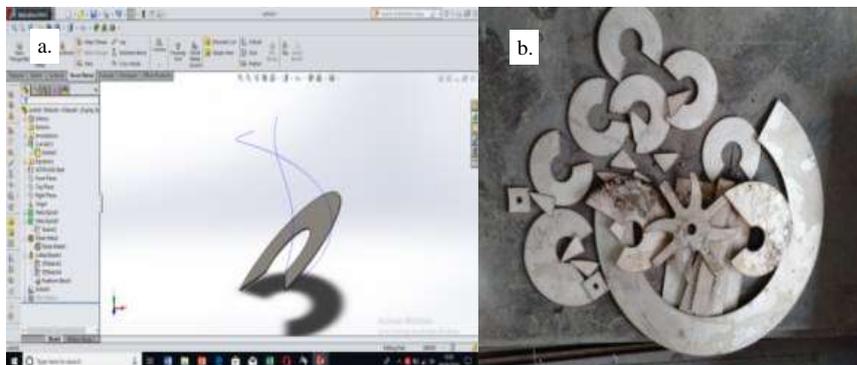
Gambar 3. Poros ulir helik (a) desain (b) aktual

Poros ulir helik diproses mesin bubut dengan parameter kecepatan putar 895,7 rpm, kecepatan pemotongan 90 m/menit, dan Kecepatan makan 895,7 m/menit. Perhitungan parameter menggunakan persamaan 1 s.d. 2, dimana nilai *cs* sebesar 90 m/menit, diameter 32 mm dan kedalaman pemotongan 1mm.

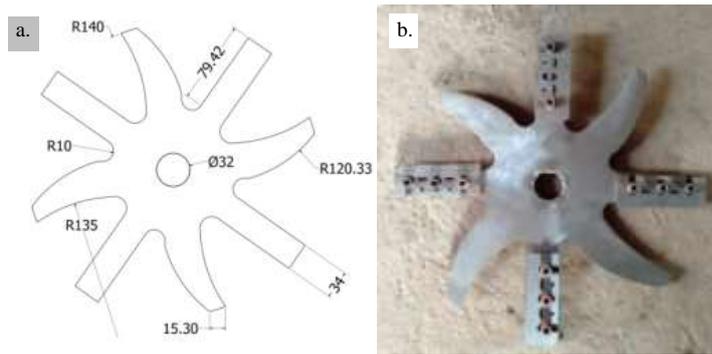
$$n = \frac{1000.CS}{\pi D} \dots\dots\dots(1)$$

$$F = DoC. n \dots\dots\dots(2)$$

Pembuatan *helikal screw* dan pisau rotari, tabung atas, tabung konis, dan plat dasar tabung diawali dengan pembuatan blank (pola) menggunakan software *solid works* menu *sheet metal*. *Blank* dari material SS 201 dipotong menggunakan mesin *cutting* plasma. Pisau rotari dilengkapi dengan 3 lubang baut pada setiap kedudukan pisau planner menggunakan proses drilling. Desain *blank screw* ditunjukkan Gambar 4(a), hasil *cutting* plasma *blank screw* ditunjukkan Gambar 4(b), desain pisau rotari ditunjukkan Gambar 5(a), hasil *cutting* plasma pisau rotari ditunjukkan Gambar 5(b).

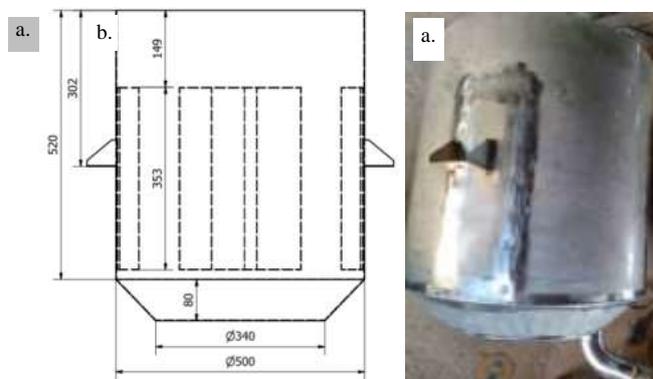


Gambar 4. *blank screw* (a) desain (b) aktual

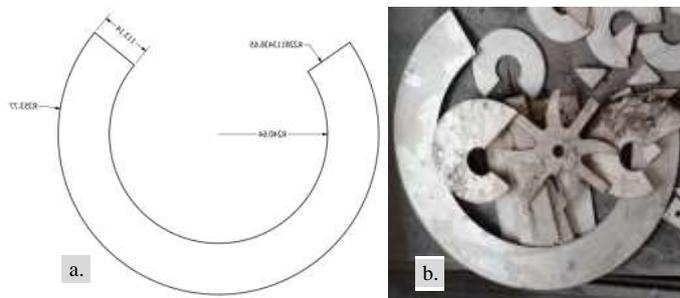


Gambar 5. Pisau rotary (a) desain (b) hasil *cutting* plasma

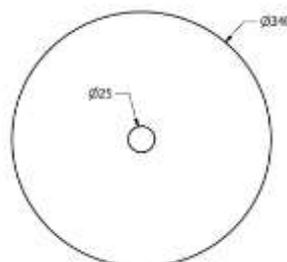
Tabung terdiri dari tabung atas (Gambar 6), tabung konis (Gambar 7), plat dasar tabung (Gambar 8), dan *baffle* (Gambar 9). Perakitan tabung menggunakan pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dengan arus 70 A. Berikut desain tabung ditunjukkan Gambar 6(a) dan hasil aktual tabung 6(b).



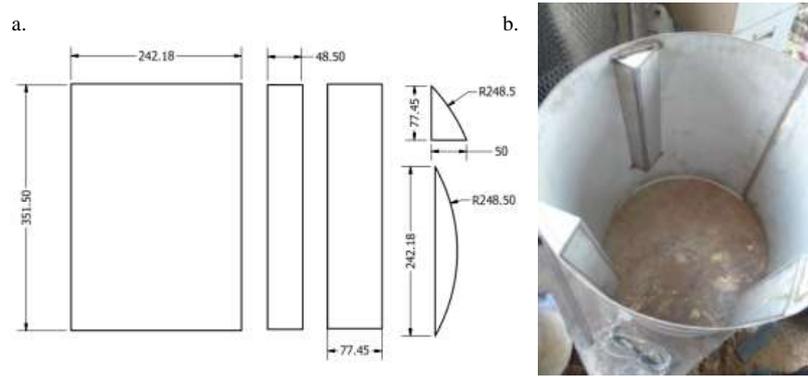
Gambar 6. Tabung (a) desain (b) aktual



Gambar 7. Tabung konis (a) desain (b) aktual

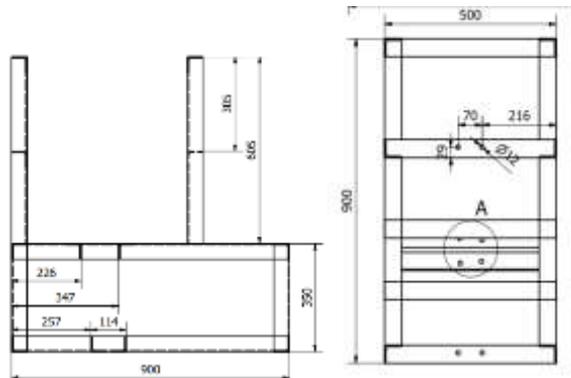


Gambar 8. Desain plat dasar tabung



Gambar 9. Baffel (a) desain (b) aktual

Rangka mesin pulper menggunakan material plat siku ASTM A36 dengan dimensi 50x5x3 mm. Pembuatan rangka menggunakan proses pengelasan SMAW dengan arus 100 A dengan elektroda 2,6 mm. Desain rangka dan hasil perakitan ditunjukkan Gambar 10 s.d. 11.



Gambar 10. Desain rangka



Gambar 11. Hasil aktual rangka

Perakitan komponen-komponen berupa tabung, poros ulir helik, rangka, dudukan poros, pulli, v-belt, bearing, motor listrik, sistem kelistrikan, dan roda menggunakan sambungan mur dan baut sesuai desain Gambar 2. Gambar mesin pembubur kertas yang telah dirakit ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Komponen *Assembly* mesin

Uji coba awal dilakukan untuk mengetahui perbandingan pencampuran air dan kertas yang dapat diproses oleh mesin pembubur kertas. Berdasarkan hasil uji coba perbandingan 1 kg kertas kering: 25liter air merupakan perbandingan terbaik dimana bahan kertas dapat terproses menjadi bubur kertas.



Gambar 13. Uji coba produksi campuran 1:25

Rancangan kemampuan produksi mesin pembubur kertas

$$V_{tbA} = \pi r_1^2 t \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{tbB} = \pi r_2^2 t_1 + \frac{1}{3} \pi r_2^2 t_2 \dots\dots\dots(4)$$

$$MV_{tot} = V_{tbA} + V_{tbB} \dots\dots\dots(5)$$

$$K_m = MV_{tot} \cdot 20 \dots\dots\dots(6)$$

Tabel 1. Kapasitas mesin pembubur kertas

π	$r_1(\text{mm})$	$r_2(\text{mm})$	$t(\text{mm})$	$t_1(\text{mm})$
3,14	170	80	450	370
$t_2(\text{mm})$	$V_{tbA}(\text{m}^3)$	$V_{tbB}(\text{m}^3)$	$V_{tot}(\text{liter})$	$K_m(\text{liter/jm})$
80	0,04	0,008	48	960

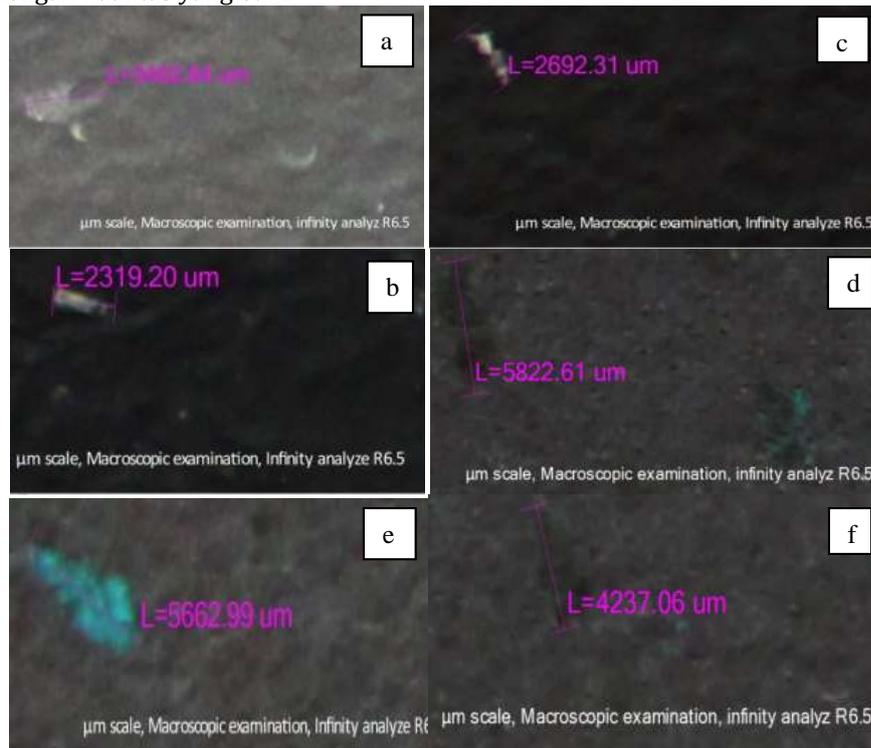
Dimana r_1 adalah jari-jari tabung, r_2 radius tabung konis, t tinggi isi tabung (3/4 tinggi total tabung), t_1 tinggi tabung t dikurangi t konis, t_2 tinggi tabung konis, V_{tbA} dan V_{tbB} adalah volume tabung bagian A dan B, dan K_m adalah kapasitas mesin. Rancangan kapasitas mesin dalam memproduksi bubur kertas selama 1 jam sebanyak 960 liter/jam, dimana dalam satu kali produksi bubur kertas sebanyak 48 liter dalam waktu 3 menit.

Pemeriksaan *makroskopik* partikel kertas cetak melalui foto makro menggunakan kamera CANON EOS 250D, lensa pembesaran 18 mm-5,5 mm pada jarak pengambilan foto 30,7 cm. Hasil foto makro partikel kertas cetak diukur menggunakan aplikasi infinity analyze pada skala mikronmeter. Foto hasil pemeriksaan makro pada kualitas partikel kertas berdasarkan variasi jenis kertas dan lama waktu produksi ditampilkan pada Gambar 14.

Gambar 14.a menunjukkan foto makro variasi kertas HVS dengan lama waktu produksi 3 menit

didapatkan foto partikel terbesar sebesar 3482,84 μm . Gambar 14.b menunjukkan foto makro variasi kertas HVS dengan lama waktu produksi 4 menit didapatkan foto partikel terbesar sebesar 2692,31 μm . Gambar 14.c menunjukkan foto makro variasi kertas HVS dengan lama waktu produksi 5 menit didapatkan foto partikel terbesar sebesar 2319,2 μm .

Gambar 14.d menunjukkan foto makro variasi kertas duplex dengan lama waktu produksi 3 menit didapatkan foto partikel terbesar sebesar 5822,61 μm . Gambar 14.e menunjukkan foto makro variasi kertas duplex dengan lama waktu produksi 4 menit didapatkan foto partikel terbesar sebesar 5662,99 μm . Gambar 14.f menunjukkan foto makro variasi kertas duplex dengan lama waktu produksi 5 menit didapatkan foto partikel terbesar sebesar 4237,06 μm . Ukuran terbesar partikel pada masing-masing variasi menunjukkan bagian minor karena pada pencetakan kertas A3+ hanya terdapat sedikit partikel berukuran besar. Keseluruhan hasil uji coba menunjukkan seluruh variasi lama waktu pada 2 jenis kertas dapat menghasilkan bubur kertas dengan kualitas yang baik.



Gambar 14. Foto *makroskopis* pada variasi (a) A1; (b) A2 (c) A3; (d) B1(e) B2; (f) B3

Tabel 2. Hasil *makroskopis* partikel kertas HVS

Var.	Size (μm)					Kp. (kg/jam)
	1	2	3	4	5	
A1	3482,8	2308,9	2251,9	1889,9	1802,4	60
A2	2692,3	2339,5	2019,1	1815,4	1087,8	45
A3	2319,2	2308,9	2000,0	1943,4	1418,3	36

Berdasarkan tabel ukuran partikel kertas diketahui bahwa ukuran partikel kertas terbesar dihasilkan dari variasi A1 yaitu kertas HVS yang diproses selama 3 menit dengan ukuran 3482,8 μm . Ukuran partikel kertas terbesar yang dihasilkan dari variasi A2 kertas HVS yang diproses selama waktu 4 menit yaitu berukuran 2692,3 μm . Sedangkan ukuran partikel kertas terbesar yang di dihasilkan dari variasi A3 yaitu kertas HVS yang diproses selama 5 menit berukuran 2319,2 μm .

Tabel 3. Tabel *makroskopis* partikel kertas duplex

Var.	Size (μm)					Kp. (kg/jam)
	1	2	3	4	5	
B1	5822,6	5623	4843,7	4267	4237	60

B2	5663	5233,4	4932,2	4757,4	4609,8	45
B3	4237,1	3625,2	3712,8	3131,4	2821,1	36

Berdasarkan tabel ukuran partikel kertas diketahui bahwa ukuran partikel kertas terbesar dihasilkan dari variasi B1 yaitu kertas duplex yang diproses selama 3 menit dengan ukuran 5822,61 μm . Ukuran partikel kertas terbesar yang dihasilkan dari variasi B2 kertas duplex yang diproses selama waktu 4 menit yaitu berukuran 5663 μm . Sedangkan ukuran partikel kertas terbesar yang dihasilkan dari variasi B3 yaitu kertas duplex yang diproses selama 5 menit dengan ukuran 4237 μm . Hasil pemeriksaan partikel makro pada seluruh variasi bubur kertas didapatkan ukuran partikel besar lebih dari 1 mm hanya terdapat beberapa titik sehingga bersifat minor. Ukuran partikel besar ($\geq 1\text{mm}$) dapat disebabkan dari bubur kertas yang terlempar dan menempel di dinding tabung sehingga partikel tersebut tidak hancur, tetapi ikut terbawa proses pencetakan kertas.

Kapasitas produksi (*Kp*) pembuatan bubur kertas menggunakan mesin pulper hasil rancangan jurusan teknik mesin UNNES dari variasi kertas HVS dan kertas duplex dengan lama waktu 3 menit sebesar 60 kg/jam, waktu 4 menit sebesar 45 kg/jam, dan lama waktu 5 menit sebesar 36kg/jam.

Berdasarkan hasil cetakan kertas berbagai variasi lama waktu pada dua macam kertas mendapatkan hasil bahwa kertas tercetak menyatu meski terdapat beberapa titik ukuran $\geq 1\text{mm}$ sehingga seluruh variasi layak digunakan sebagai parameter mesin. Parameter lama waktu yang paling optimal adalah lama waktu 3 menit yang menghasilkan kapasitas produksi 60 kg/jam atau 3 kg kertas kering per 3 menit dengan perbandingan 3 kg kertas kering dengan air sebanyak 45 liter.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Dihasilkan mesin pembuat bubur kertas kapasitas 960 liter/jam dengan spesifikasi: panjang 1,29 m; lebar 0.646 m; tinggi 1,119 m; daya 1,5 HP.
2. Hasil pengujian kapasitas produksi bubur kertas pada variasi waktu 3 menit yaitu sebesar 60 kg/jam, sedangkan hasil pemeriksaan partikel makro didapatkan ukuran partikel besar lebih dari 1 mm hanya terdapat pada beberapa titik (minor) yang mungkin disebabkan dari bubur kertas yang terlempar ke dinding atas tabung sehingga tidak terproses.

Saran dari hasil penelitian ini adalah:

1. Agar mendapatkan kualitas hasil bubur kertas yang baik dapat mengatur waktu produksi lebih lama.
2. Mesin perlu dilengkapi kontrol timer sehingga biaya proses bubur kertas lebih efisien dan dapat ditinggal tanpa perlu pengawasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfah, M. 2017. Pemanfaatan Limbah Kertas Menjadi Kertas Daur Ulang Bernilai Tambah Oleh Mahasiswa. Buletin Utama Teknik Vol. 13, No. 1.
- Kolajo E.T. dan Onilude M.A. 2013. Design, Fabrication and Performance Evaluation of a Refiner Mechanical Pulping Machine. International Journal of Engineering Science Invention. Vol 2 Issue 6. hal.13-18.
- Manik, D.A, Daulay, S.B dan Munir, A.P. 2017, Uji mata pisau pada alat pembuat bubur kertas. J. Rekayasa pangan dan pert., vol.5 No.1 hal. 162-165.
- Sanchez, B., Wirosodarmo, R., dan Suharto, B., 2014. Analisis Finansial Sampah Kertas di Universitas Brawijaya. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan.
- Simanjuntak, J., Daulay, S. B., Munir, A.P., 2017. Rancang Bangun Alat Pembuat Bubur Kertas. Jurnal Rekayasa Pangan dan Pert. Vol.5 No. 2 hal 358-363.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. <http://www.menlh.go.id/DATA/UU18-2008.pdf>.