

STUDI KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT KERTAS DAN THERMOPLASTIC RESIN DENGAN VARIASI UKURAN KERTAS $0,3 \times 0,3$ MM, $0,6 \times 0,6$ MM, $1,2 \times 1,2$ MM

*Daffa Hafiz Zaidan¹, Susilo Adi Widyanto², Agus Suprihanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: daffahafizzaidan17@gmail.com

Abstrak

Proses daur ulang kertas saat ini masih menggunakan metode konvensional dengan menggunakan air sebagai media pelarutan dan pemecahan serat. Kegiatan daur ulang kertas atau industri pulp dan kertas merupakan salah satu sektor industri yang paling banyak berhubungan dengan air serta salah satu yang paling banyak mengonsumsi energi. Pengembangan Dry Paper Recycle Technology menjadi metode daur ulang kertas alternatif yang menarik dibandingkan dengan metode daur ulang konvensional. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat kertas daur ulang dari campuran potongan kertas dan thermoplastic resin dengan proses hot pressing, serta untuk mengetahui pengaruh ukuran potongan kertas dan variasi massa kertas yang digunakan terhadap struktur makrografi. Variasi ukuran potongan kertas yang digunakan adalah $0,3 \times 0,3$ mm, $0,6 \times 0,6$ mm, dan $1,2 \times 1,2$ mm. Variasi fraksi massa kertas yang digunakan adalah 33,3 %, 37,5 %, 40%, 50%, 60%, dan 66,67%. Spesimen kertas berhasil dibuat, namun tekstur permukaan belum sempurna. Hasil pengujian makrostruktur menunjukkan bahwa ketiga jenis ukuran potongan kertas yang digunakan belum bisa menghasilkan distribusi serat kertas yang homogen dalam campuran kertas dan thermoplastic resin, di mana serat kertas yang tersebar hanya berkumpul pada daerah tertentu. Hal ini yang kemudian akan menciptakan rongga-rongga pada spesimen.

Kata kunci: *dry paper recycle technology; kertas hvs; makrografi; thermoplastic resin*

Abstract

The current paper recycling process still uses conventional methods by using water as a medium for dissolving and breaking fibers. Paper recycling activities or the pulp and paper industry is one of the most water-related industrial sectors and one of the most energy-consuming. The development of Dry Paper Recycle Technology is an attractive alternative paper recycling method compared to conventional recycling methods. The purpose of this research is to make recycled paper from a mixture of paper scraps and thermoplastic resin by hot pressing process, and to determine the effect of paper scrap size and paper mass variations used on macrography structure. The paper cut size variations used were 0.3×0.3 mm, 0.6×0.6 mm, and 1.2×1.2 mm. The paper mass fraction variations used were 33.3%, 37.5%, 40%, 50%, 60%, and 66.67%. The results of macrostructure testing show that the three types of paper cut sizes used have not been able to produce a homogeneous distribution of paper fibers in a mixture of paper and thermoplastic resin, where the dispersed paper fibers only gather in certain areas. This will then create voids in the specimen.

Keywords: *dry paper recycle technology; hvs paper; macrography; thermoplastic resin*

1. Pendahuluan

Kertas adalah lembaran yang berasal dari serat selulosa dengan proses penyatuhan serat-serat selulosa dengan bantuan bahan pengikat tambahan. Dalam kehidupan sehari-hari, kertas digunakan untuk menulis, menggambar, mencetak, dan lain-lain. Kertas juga biasa digunakan sebagai media untuk berkomunikasi satu sama lain. Dengan pentingnya peran kertas, konsumsi kertas semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Meskipun teknologi berkembang secara pesat dan operasi paperless semakin banyak digunakan, kertas masih banyak diproduksi dan digunakan. Hal itu terjadi karena beberapa keistimewaan dari kertas, seperti lebih mudah dibaca, dipahami dan ditemukan kesalahannya dibandingkan dengan media elektronik. Ada juga keuntungan lainnya dari kertas yaitu hanya membawa informasi yang diperlukan dan dapat menulis pada saat itu juga. Produksi kertas dan papan pada tahun 2018 berjumlah 420.000.000 ton. Perkiraaan menunjukkan bahwa, konsumsi kertas global pada tahun 2025 akan berjumlah 500 juta ton, yang berarti pertumbuhan sekitar 1,6% per tahun [1]. Untuk memenuhi permintaan banyaknya konsumsi kertas, proses daur ulang kertas menjadi solusi untuk menghasilkan kertas dengan tetap menjaga sumber daya alam yang ada.

Proses daur ulang kertas saat ini masih menggunakan metode konvensional dengan menggunakan air sebagai media pelarutan dan pemecahan serat. Kegiatan daur ulang kertas atau industri pulp dan kertas merupakan salah satu sektor industri yang paling banyak berhubungan dengan air serta salah satu yang paling banyak mengonsumsi energi. Industri pulp dan kertas membutuhkan air dalam jumlah besar. Air yang digunakan di pabrik pulp dan kertas berkisar antara 5 hingga 100 m³/ton kertas yang diproduksi tergantung pada karakteristik substrat, jenis kertas yang diproduksi, dan jumlah penggunaan kembali air [2]. Penggunaan air dan energi yang besar ini tidak hanya mengakibatkan dampak lingkungan yang signifikan, tetapi juga meningkatkan biaya produksi. Di samping dari segi konsumsi energi, proses daur ulang kertas konvensional juga memerlukan mesin-mesin yang cukup besar dan memerlukan tempat yang cukup luas. Proses pemindahan limbah kertas dari kantor atau perusahaan ke pabrik daur ulang kertas seringkali melibatkan dokumen atau bahan yang berisi informasi rahasia atau data pribadi. Terdapat risiko kebocoran data yang dapat terjadi selama proses transportasi ini. Oleh karena itu, diperlukan metode daur ulang kertas alternatif yang lebih ramah lingkungan, efisien, dan tingkat keamanan data yang tinggi.

Pengembangan Dry Paper Recycling Technology menjadi metode daur ulang kertas alternatif yang menarik dibandingkan dengan metode daur ulang konvensional. Teknologi daur ulang kertas alternatif ini memiliki beberapa keunggulan, seperti: konsumsi daya yang rendah, ukuran yang *compact*, dan mengamankan kualitas kertas daur ulang yang dapat digunakan sebagai *Office Copy Paper*. Teknologi daur ulang kertas ini terdiri dari tiga proses utama, yaitu: Defibration Technology, Sheet Forming Technology, dan Pressing and Binding Technology [3].

Penggunaan bahan binder pada proses binding serat kertas merupakan salah satu aspek penting dalam pembuatan kertas daur ulang tanpa menggunakan air. Bahan *binder* tersebut digunakan sebagai media pengganti air untuk merekatkan serat-serat kertas yang terpisah. *Bonding agent* yang digunakan berbentuk bubuk yang terdiri dari *thermoplastic resin*, *surface treatment agent*, dan *pigments* [4].

Thermoplastic resin digunakan karena sifat materialnya yang akan meleleh ketika pada suhu tertentu. Thermoplastic resin adalah jenis bahan polimer yang dapat meleleh ketika dipanaskan dan membeku kembali menjadi padat ketika dinginkan. Proses ini dapat diulang tanpa mengalami perubahan kimia yang permanen, sehingga material ini dapat diletekkan, dicetak, dan dibentuk ulang berulang kali. Thermoplastic resin memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi, dan dapat didaur ulang. Namun, mereka cenderung lebih lembut daripada thermosetting resin dan memiliki batasan dalam hal suhu operasi yang tinggi. Ketika meleleh, thermoplastic resin akan merekatkan serat kertas dan akan kembali ke wujud solid pada suhu kamar. Melting point dari thermoplastic resin yaitu pada suhu 175°C [5]. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana komposisi campuran bahan-bahan tersebut untuk menghasilkan powder binder untuk serat kertas yang baik.

Berdasarkan uraian di atas, penulis akan melakukan penelitian yang berjudul “Studi Karakteristik Material Komposit Kertas dan Thermoplastic Resin dengan Variasi Ukuran Kertas 0,3 × 0,3 mm, 0,6 × 0,6 mm, 1,2 × 1,2 mm”. Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit dari campuran serat kertas dan thermoplastic resin sebagai bonding agent. Dengan demikian, penelitian ini akan membantu memahami bagaimana pembuatan binder serat kertas yang dapat memengaruhi kualitas sifat kertas hasil proses ini.

2. Bahan dan Metode Penelitian

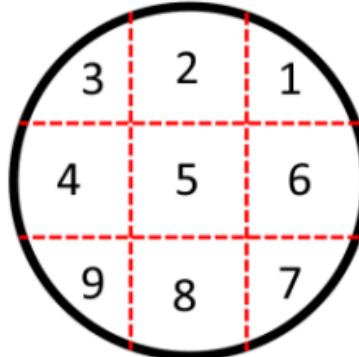
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah potongan kertas dengan ukuran 0,3 × 0,3 mm, 0,6 × 0,6 mm, 1,2 × 1,2 mm dan *Thermoplastic Resin* dengan jenis ABS resin. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya : *paper shredder*, gunting, lumpang batu, *cotton candy maker*, *chopper*, alat *hot press*, *Imada force gauge*, dan alumunium foil. Variabel penelitian yang digunakan berupa variasi ukuran potongan kertas (0,3 × 0,3 mm, 0,6 × 0,6 mm, 1,2 × 1,2 mm) dan variasi fraksi massa kertas (33,3%, 37,5%, 40%, 50%, 60%, 66,67%).

Pembuatan spesimen komposit kertas dan *thermoplastic resin* dalam penelitian ini mengadaptasi pada teknologi *Dry Paper Recycle Technology*. Dalam teknologi tersebut, terdapat tiga proses, yaitu : *Defibration Process*, *Binding Process*, dan *Forming Process*. Pada *Defibration Process*, kertas hvs bekas dihancurkan menggunakan *crushing part* hingga berbentuk menjadi serat-serat kertas yang kecil. Setelah itu, pada *Binding Process*, serat kertas tersebut dicampurkan dengan bubuk *thermoplastic resin* sampai tercampur merata. Lalu, pada *Forming Process*, campuran serat potongan kertas dan *thermoplastic resin* dibentuk menjadi lembaran kertas dengan menggunakan mesin *hot pressing*. Setelah itu, lembaran-lembaran kertas yang telah jadi dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

Tahapan dalam pembuatan spesimen komposit kertas dan *thermoplastic resin* diawali dengan menyiapkan potongan-potongan kertas sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan dan bubuk *thermoplastic resin*. Untuk membuat potongan-potongan kertas, kertas hvs bekas dimasukkan ke dalam *paper shredder*. Kemudian hasil potongan dari *paper shredder* digunting kembali sampai mencapai ukuran yang ditentukan. Sedangkan untuk membuat bubuk *thermoplastic resin*, pertama-tama masukkan biji *thermoplastic resin* ke dalam alat *cotton candy maker*. Kemudian ambil serabut *thermoplastic resin* hasil dari alat *cotton candy maker* dan masukkan ke dalam *chopper* untuk dihancurkan lagi. Lalu, ukur berat potongan kertas dan bubuk *thermoplastic resin* menggunakan timbangan digital sesuai dengan variasi yang akan digunakan. Kemudian campurkan serat kertas dan *thermoplastic resin* yang telah ditimbang pada selembar Aluminium Foil sesuai dengan variasi komposisi yang digunakan. Lalu, buat spesimen dengan susunan lima *layer* dengan susunan lapisan terbawah dari *thermoplastic resin*, lalu diselingi lapisan serat kertas dan berselingan hingga

lapisan paling atas. Setelah itu, masukan aluminium foil ke dalam alat *hot press*. Atur suhu alat *hot press* menjadi 160°C dan *press* selama 1,5 menit. Kemudian ambil spesimen dari alat *hot press*, lalu tunggu hingga kembali ke suhu ruangan.

Setelah spesimen dibuat, maka dilakukan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui struktur makro material. Pengujian makro merupakan pengujian struktur suatu bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mata secara langsung atau dengan menggunakan kaca pembesar dengan perbesaran rendah [6]. Pengujian makrografi adalah metode untuk memeriksa struktur mikro dari sebuah bahan dengan menggunakan pembesaran yang cukup besar sehingga batas butir bahan dapat terlihat dengan jelas. Proses ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop makro yang mampu memberikan gambaran yang lebih luas dan detail dari struktur bahan. Pengujian makrostruktur dilakukan dengan tujuan untuk melihat distribusi potongan serat kertas yang terkandung dalam spesimen campuran serat kertas dan *thermoplastic resin*, sehingga dapat ditentukan apakah potongan serat kertas terdistribusi secara merata atau tidak. Struktur makro spesimen diteliti menggunakan mikroskop makro dengan perbesaran 10 kali.



Gambar 1. Skema pembagian segmen pada spesimen

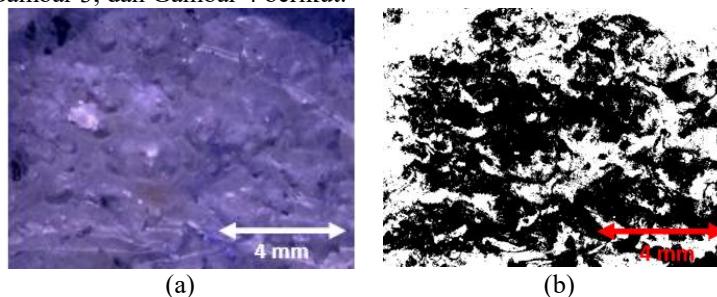
Pengambilan gambar tiap spesimen dibagi menjadi 9 segmen dan setiap segmen diambil tiga buah sampel, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Lalu gambar disimpan dan diolah menggunakan *software* ImageJ. Prinsip yang digunakan dalam mengukur fraksi kertas menggunakan *software* ImageJ adalah prinsip analisis citra digital. Metode ini umumnya memanfaatkan algoritma komputer *vision* dan teknik analisis citra untuk menghasilkan data kuantitatif tentang makrostruktur spesimen. Pengukuran diawali dengan memasukan gambar yang diperoleh dari mikroskop makro ke dalam *software*, lalu dilakukan binerisasi (*binarization*) untuk mengkonversi gambar menjadi hitam dan putih. Kemudian dilakukan *thresholding* untuk memisahkan area yang diinginkan dari latar belakang. Langkah terakhir, yaitu pengukuran area fraksi kertas.

3. Hasil dan Pembahasan

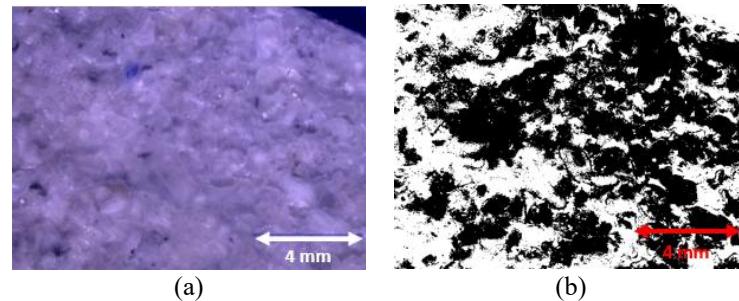
Hasil pengujian makrostruktur berupa sampel hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk ketiga variasi ukuran potongan kertas.

- Ukuran Potongan Kertas 0,3 x 0,3 mm

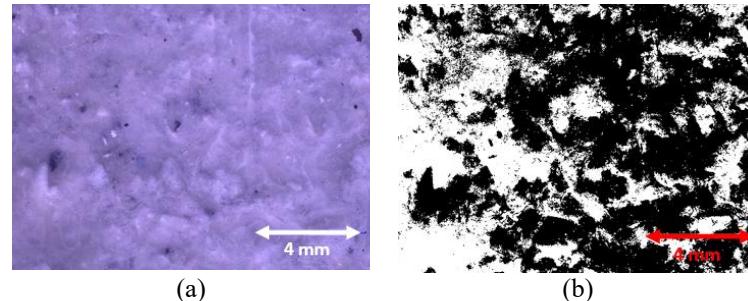
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 berikut.



Gambar 2. Ukuran potongan kertas 0,3 x 0,3 mm, 40% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



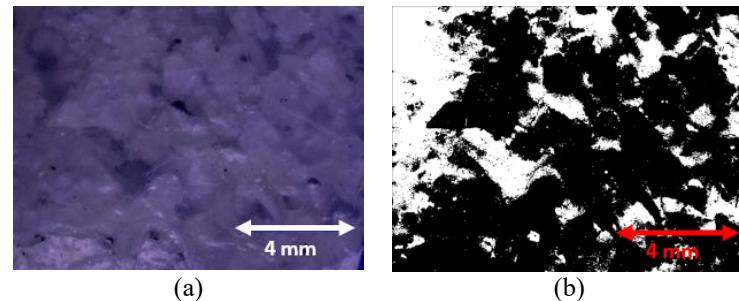
Gambar 3. Ukuran potongan kertas $0,3 \times 0,3$ mm, 50% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



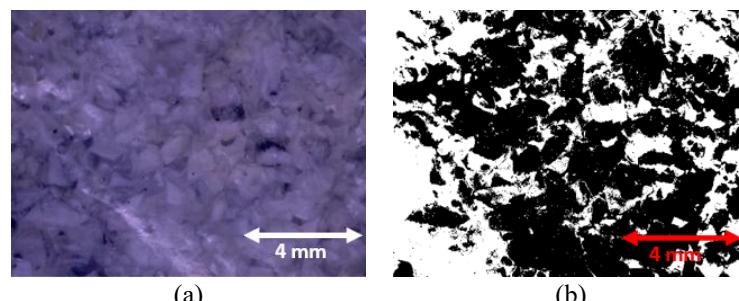
Gambar 4. Ukuran potongan kertas $0,3 \times 0,3$ mm, 60% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi

2. Ukuran Potongan Kertas $0,6 \times 0,6$ mm

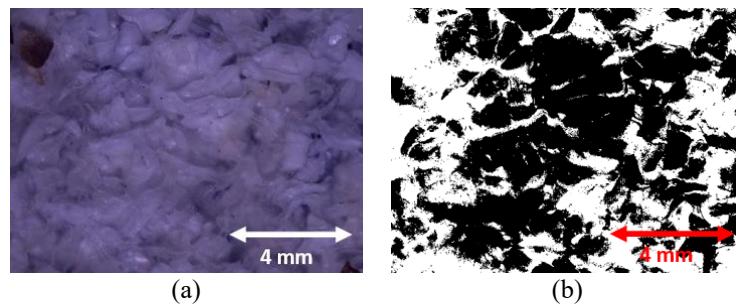
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 berikut.



Gambar 5. Ukuran potongan kertas $0,6 \times 0,6$ mm, 40% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



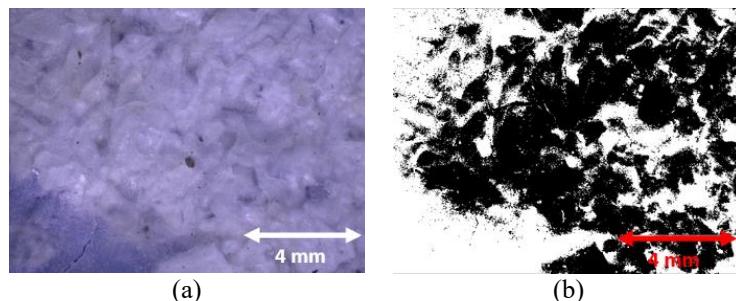
Gambar 6. Ukuran potongan kertas $0,6 \times 0,6$ mm, 50% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



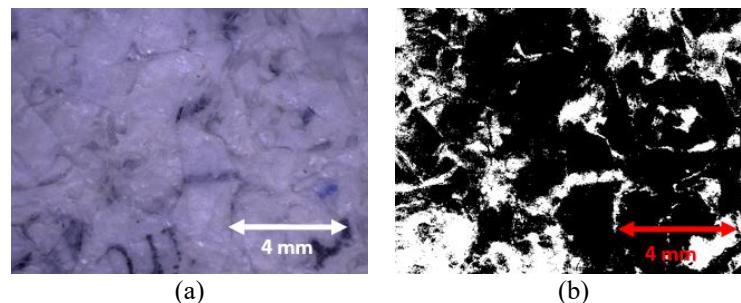
Gambar 7. Ukuran potongan kertas $0,6 \times 0,6$ mm, 60% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi

3. Ukuran Potongan Kertas $1,2 \times 1,2$ mm

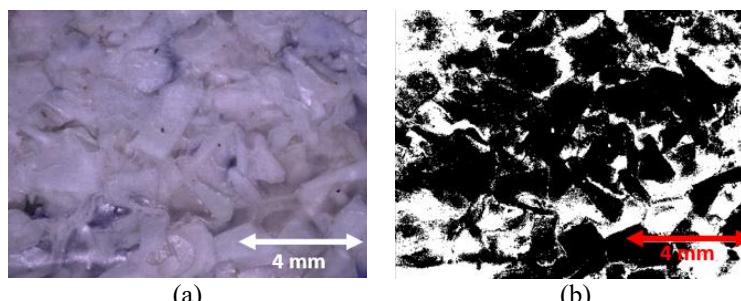
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 berikut.



Gambar 8. Ukuran potongan kertas $1,2 \times 1,2$ mm, 40% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



Gambar 9. Ukuran potongan kertas $1,2 \times 1,2$ mm, 50% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi



Gambar 10. Ukuran potongan kertas $1,2 \times 1,2$ mm, 60% kertas, segmen 1, sampel 1 (a) foto mikroskop makro perbesaran 10x; (b) foto 16-bit hasil binerisasi

Kemudian data hasil pengukuran fraksi kertas untuk ketiga variasi ukuran potongan kertas dirangkum ke dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 berikut.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Potongan Kertas 0,3 x 0,3 mm

Fraksi Massa Kertas (%)	Segmen (Rata-Rata % Area Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	62,550	79,351	73,189	78,482	74,961	70,379	71,777	74,586	67,170
33,33	63,006	53,213	72,313	57,212	47,835	52,050	60,274	57,693	48,103
66,67	63,788	71,248	67,891	63,040	67,289	68,946	74,062	76,821	67,795
40	68,308	58,820	65,700	62,657	61,942	58,891	56,174	65,939	64,779
60	56,872	64,122	65,794	66,845	61,182	64,221	69,126	73,439	64,613
37,5	70,375	75,768	69,929	67,255	71,907	69,814	64,717	64,704	63,76

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Potongan Kertas 0,6 x 0,6 mm

Fraksi Massa Kertas (%)	Segmen (Rata-Rata % Area Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	55,757	53,036	49,245	51,601	49,895	55,487	53,444	56,202	53,405
33,33	55,870	57,572	59,737	55,465	54,397	53,739	55,156	58,062	58,208
66,67	54,090	58,218	55,606	56,454	48,026	55,612	55,059	57,363	55,089
40	53,593	57,915	53,540	56,722	56,116	55,650	52,212	50,485	55,738
60	56,252	56,158	57,527	53,527	53,100	55,852	58,265	54,198	55,087
37,5	59,394	58,141	60,503	58,390	55,507	59,334	59,411	57,006	58,302

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Potongan Kertas 1,2 x 1,2 mm

Fraksi Massa Kertas (%)	Segmen (Rata-Rata % Area Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	71,606	61,766	68,016	65,098	67,512	66,212	65,603	66,643	63,368
33,33	56,138	51,859	52,507	58,903	54,054	56,022	52,052	55,727	56,725
66,67	58,267	63,305	60,532	58,155	55,586	57,926	59,836	60,004	64,145
40	55,330	57,029	61,289	62,673	60,658	55,771	61,262	58,015	56,289
60	65,269	62,828	67,824	62,916	62,033	58,420	58,567	59,610	66,124
37,5	64,254	57,776	65,371	52,684	53,997	60,401	55,519	54,623	43,686

Data hasil pengukuran makrostruktur yang terdapat pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 akan dilakukan analisis varians data untuk menentukan komposisi rasio kertas dan *thermoplastic resin* terhadap distribusi kertas dalam campuran kertas dan *thermoplastic resin*. Tool statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah uji normalitas, uji homogenitas (uji Levene), dan uji ANOVA (*Analysis of Variance*). Uji normalitas merupakan suatu metode untuk menentukan apakah sebaran data mengikuti distribusi normal atau tidak [7]. Uji homogenitas digunakan untuk menilai apakah variasi dari beberapa kelompok data adalah sama atau berbeda [8]. Uji ANOVA adalah suatu metode analisis statistik yang digunakan untuk mengevaluasi signifikansi statistik antara dua atau lebih kelompok data dengan menguji perbedaan rata-rata menggunakan varians [9]. Hasil perhitungan statistik dengan bantuan *software SPSS (Statistical Program for Social Science)* dirangkum ke dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Statistik Spesimen Campuran Kertas dan *Thermoplastic Resin*

Jenis Ukuran Potongan Kertas (mm)	Nilai Signifikansi		
	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji ANOVA
0,3 x 0,3	$6,9 \times 10^{-2}$	$7,12 \times 10^{-1}$	0
0,6 x 0,6	$5,65 \times 10^{-1}$	$4,28 \times 10^{-1}$	0
1,2 x 1,2	$4,39 \times 10^{-1}$	$1,08 \times 10^{-1}$	0

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 5×10^{-2} , maka dapat disimpulkan bahwa semua data tersebut terdistribusi secara normal.

Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi lebih besar dari 5×10^{-2} , yang artinya varians data homogen.

Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 5×10^{-2} , sehingga dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan fraksi kertas (% kertas) berdasarkan komposisi rasio kertas dan *Thermoplastic Resin*. Hal ini dapat diartikan bahwa komposisi rasio kertas dan *Thermoplastic Resin* sangat memengaruhi distribusi kertas dalam campuran kertas dan *Thermoplastic Resin*.

Berdasarkan hasil pengukuran fraksi kertas menggunakan software ImageJ yang terdapat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 11, terlihat bahwa untuk ketiga jenis ukuran potongan kertas dan komposisi rasio kertas dan *thermoplastic resin* yang berbeda menghasilkan distribusi kertas yang tidak merata (nonhomogen), di mana potongan kertas yang tersebar (warna hitam) hanya berkumpul pada daerah tertentu. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor. Pertama, karena pada saat proses pencampuran dan pengepresan masih dilakukan secara manual sehingga persebaran potongan kertas dalam campuran tidak merata dan tidak rapat. Teknik dan efisiensi pencampuran sangat mempengaruhi distribusi serat kertas dalam resin. Faktor kedua yaitu kepadatan dan ukuran potongan kertas. Potongan kertas dengan ukuran yang lebih besar cenderung lebih sulit untuk didistribusikan secara merata dalam resin, dibandingkan dengan potongan yang lebih kecil. Potongan yang besar juga lebih cenderung untuk aglomerasi atau berkumpul bersama, sehingga menyebabkan distribusi yang tidak merata. Distribusi kertas yang tidak merata pada spesimen juga disebabkan karena sifat kalis (hidrofobik) pada *thermoplastic resin* dapat mempengaruhi tidak adanya ikatan antara kertas dan resin. Kertas umumnya bersifat hidrofobik (menyerap air), sedangkan *thermoplastic resin* bersifat hidrofobik (menolak air). Hidrofobik merupakan sifat material yang tidak mampu menyerap dan menerima air [10]. Perbedaan sifat ini dapat menyebabkan beberapa masalah. Masalah pertama yaitu adhesi yang lemah. Jika permukaan kertas bersifat hidrofilik dan *thermoplastic resin* bersifat hidrofobik, maka adhesi di antara keduanya akan rendah karena tidak ada daya tarik antar molekul yang kuat di antara dua bahan yang memiliki sifat berbeda tersebut. Masalah yang kedua yaitu sifat hidrofobik resin dapat mencegahnya penyebaran atau menembus serat kertas dengan baik. Hal ini akan mengurangi area kontak yang efektif dan menghasilkan ikatan yang lebih lemah. Masalah ketiga yaitu pemisahan fase. Dalam beberapa kasus, saat *thermoplastic resin* diterapkan pada kertas, resin mungkin tidak akan meresap ke dalam serat kertas, menyebabkan pemisahan fase dan lemahnya ikatan mekanis dan kimia

Selain itu, ketidakcocokan kepadatan kertas dan *thermoplastic resin* juga menyebabkan distribusi potongan kertas yang tidak merata. Perbedaan kepadatan antara serat kertas dan resin dapat menyebabkan pemisahan selama proses pencampuran atau pencetakan. Serat kertas yang lebih ringan mungkin cenderung mengapung atau mengendap, tergantung pada prosesnya, menyebabkan distribusi yang tidak merata atau tidak homogen. Faktor lainnya yaitu viskositas resin. Viskositas Resin yang tinggi dapat menghambat deformasi serat dan distribusi yang tidak merata [11]. Dengan viskositas resin yang tinggi dapat menghambat pergerakan dan distribusi potongan kertas selama proses pencampuran. Resin yang terlalu kental membuat serat kertas sulit untuk tersebar secara merata, menyebabkan ketidakseragaman dalam material komposit.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran potongan kertas bahan baku serta komposisi campuran kertas dan *thermoplastic resin* terhadap struktur makrografi campuran diperoleh kesimpulan yaitu dari ketiga jenis ukuran potongan kertas hvs yang digunakan belum dapat menghasilkan distribusi kertas yang homogen dalam campuran kertas dan *thermoplastic resin*. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti proses pencampuran dan pengepresan, kepadatan dan ukuran potongan kertas, ketidakcocokan kepadatan kertas dan *thermoplastic resin*, dan viskositas resin yang tinggi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Beckline M, Yujun S, Eric Z, Kato MS, Kato S., "Paper Consumption and Environmental Impact in an Emerging Economy," *J Energy Environ Chem Eng*, vol. 1, no.1, hal. 13–8, 2016, doi: 10.11648/j.jeece.20160101.12.
- [2] Toczy R., "Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review," vol. 1, hal. 764–772, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.021.
- [3] Nakamura, M., "Development of The Dry Paper Recycling Technology which Realizes a New Office Papermaking System," *Jappan Tappi Journal*, vol. 72, hal. 786–792, 2018.
- [4] Ono Y, Hayashi M, Yokoyama K, Okamura T., "Environmental Assessment of Innovative Paper Recycling Technology Using Product Lifecycle Perspectives," vol. 9, no. 23, hal. 1–16, 2020, doi: 10.3390/resources9030023.
- [5] Kandola BK, Ndiaye M, Price D., "Quantification of polymer degradation during melt dripping of thermoplastic polymers. Polym Degrad Stab," vol. 106, hal. 16–25, 2014, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.020.
- [6] Pratikno H, Pahlawan NA, Dhanista WL., "Comparative Analysis of FCAW, and GMAW Welding With Heat Input Variations on A36 Steel Against Vickers Hardness Test and Macrostructure," *Int J Offshore Coast*

- Engineering*, vol. 5, no.2, hal. 59, 2021, doi: 10.12962/j2580-0914.v4i4.10931.
- [7] Sintia I, Pasarella MD, Nohe DA., "Perbandingan Tingkat Konsistensi Uji Distribusi Normalitas Pada Kasus Tingkat Pengangguran di Jawa," *Pros Semin Nas Mat Stat dan Apl*, vol. 2, no. 2, hal. 22–333, 2022.
- [8] Sianturi R., "Uji homogenitas sebagai syarat pengujian analisis," *J Pendidikan, Sains Sos dan Agama*, vol. 8, no.1, hal. 386–397, 2022, doi : 10.53565/pssa.v8i1.507.
- [9] Thango BA., "Application of the Analysis of Variance (ANOVA) in the Interpretation of Power Transformer Faults," *Energies*, vol. 15, no. 19, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.021.
- [10] Agung W, Amiruddin R, Manjang S, Kitta I., "Simulasi Karakteristik Arus Bocor dan Sifat Hidrofobik Ke Lapisan Polusi Permukaan Isolator Polimer Silicone Rubber," *J EKSITASI*, vol. 1, no. 2, hal. 36-45, 2022.
- [11] Elkington M, Bloom D, Ward C, Chatzimichali A, Potter K., "Hand layup: understanding the manual process. Adv Manuf Polym Compos Sci," vol. 1, no.3, hal. 138–51, 2015, doi: 10.1080/20550340.2015.1114801.