

STUDI KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT KERTAS DAN *THERMOPLASTIC RESIN* DENGAN VARIASI UKURAN KERTAS 1,2 × 2,4 MM, 2,4 × 4,8 MM, 3,6 × 7,2 MM

*Muhammad Daffa Zainuddin¹, 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: daffabara61@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 presentase Fraksi massa kertas yang digunakan terhadap kekuatan tarik dan makrostruktur. Variasi ukuran potongan kertas yang digunakan adalah 1,2 x 2,4 mm, 2,4 x 4,8 mm, dan 3,6 x 7,2 mm. Variasi fraksi berat kertas yang digunakan adalah 33,33%, 37,50%, 40%, 50%, 60%, dan 66,67%. Hasil perhitungan statistik dari pengujian makrostruktur untuk ukuran kertas 1,2 x 2,4 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,225, uji homogenitas sebesar 0,504, dan uji anova 0,04, sedangkan ukuran kertas 2,4 x 4,8 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,968, uji homogenitas sebesar 0,072, dan uji anova 0,00, sedangkan ukuran kertas 3,6 x 7,2 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,339, uji homogenitas sebesar 0,495, dan uji anova 0,00. Pada hasil statistik dari 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 dipengaruhi beberapa faktor seperti proses pencampuran dan pengepresan masih dilakukan secara manual, ukuran potongan kertas, ketidakcocokan kepadatan kertas dan *thermoplastic*, dan viskositas resin.

Kata kunci: daur ulang kertas; *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* with a *hot pressing* process, and to determine the effect of paper scrap size and variation in percentage of paper mass fraction used on tensile strength and macrostructure. The paper cut size variations used were 1.2 x 2.4 mm, 2.4 x 4.8 mm, and 3.6 x 7.2 mm. The paper weight fraction variations used were 33.33%, 37.50%, 40%, 50%, 60%, and 66.67%. The statistical calculation results of macrostructure testing for paper size 1.2 x 2.4 mm produced a normality test of 0.225, a homogeneity test of 0.504, and anova test of 0.04, while paper size 2.4 x 4.8 mm produced a normality test of 0.968, a homogeneity test of 0.072, and anova test of 0.00, while paper size 3.6 x 7.2 mm produced a normality test of 0.339, homogeneity test of 0.495, and anova test of 0.00. The static 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 scattered paper fibers only gather in certain areas. This is influenced by several factors such as the mixing and pressing process is still done manually, the size of the paper pieces, the mismatch of paper and *thermoplastic* density, and the viscosity of the resin.

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

1. Pendahuluan

Kertas adalah lembaran hasil dari penggabungan serat selulosa dengan bantuan bahan pengikat tambahan. Dalam kehidupan sehari-hari, kertas digunakan untuk menulis, menggambar, mencetak, dan lain-lain, kertas juga bisa digunakan sebagai media untuk berkomunikasi satu sama lain. Dengan pentingnya peran kertas, konsumsi kertas

semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, meskipun dengan perkembangan teknologi yang pesat, kertas masih banyak diproduksi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Produksi kertas dan papan pada tahun 2018 berjumlah 420 juta ton [1]. Perkiraan menunjukkan bahwa, konsumsi kertas global pada tahun 2025 akan berjumlah 500 juta ton, yang berarti pertumbuhan sekitar 1,6% per tahun [2].

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 sangat terkait dengan penggunaan air dan salah satu yang banyak mengonsumsi energi. Air yang digunakan di pabrik pulp dan kertas berkisar antara 5 hingga 100 m^3/ton kertas yang diproduksi tergantung pada karakteristik substrat, jenis kertas yang diproduksi, dan jumlah penggunaan kembali air [3].

Pengembangan *Dry Paper Recycling Technology* menjadi metode daur ulang kertas alternatif yang menarik dibandingkan dengan metode daur ulang konvensional. Teknologi daur ulang kertas ini memiliki beberapa keunggulan, seperti, konsumsi daya yang rendah, ukuran yang *compact*, dan mengamankan kualitas kertas daur ulang yang dapat digunakan sebagai kertas *Plain Paper Copier* (PPC). Teknologi daur ulang kertas ini memiliki tiga proses utama, yaitu: *Defibration Technology*, *Sheet Forming Technology*, dan *Pressing and Binding Technology* [4].

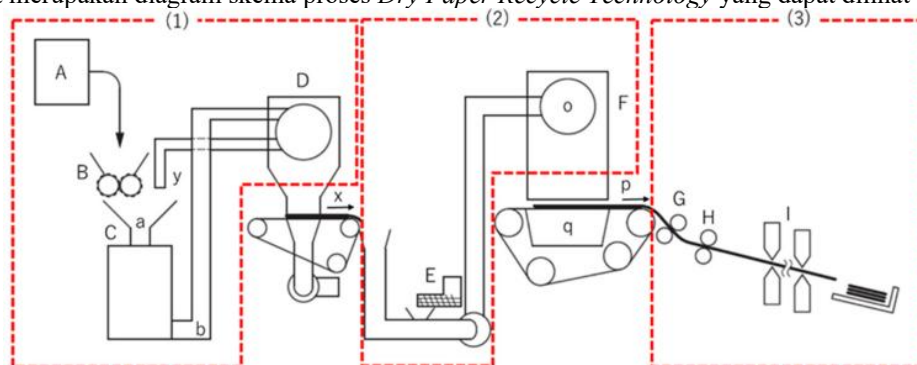
Penggunaan bahan binder pada proses binding serat kertas merupakan salah satu aspek penting dalam pembuatan kertas daur ulang tanpa menggunakan air. Bahan binder tersebut digunakan sebagai media pengganti air untuk merekatkan serat-serat kertas yang terpisah. Bonding agent yang digunakan berbentuk bubuk yang terdiri dari thermoplastic resin, calcium carbonate, surface treatment agent, dan pigments [5]. Thermoplastic resin digunakan karena sifat materialnya yang akan meleleh ketika pada suhu tertentu. 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 [6].

1.1 Dasar Teori

a. *Dry Paper Recycle Technology*

Dry paper recycle technology adalah teknologi daur ulang kertas yang dilakukan secara kering tanpa menggunakan air sebagai pelarut dan dapat menjadi alternatif metode daur ulang yang ramah lingkungan. Proses ini melibatkan pemisahan serat kertas dari bahan lainnya, seperti tinta, menggunakan metode mekanis. *Dry Paper Recycle Technology* terdiri dari tiga teknologi; “defibration technology” untuk menguraikan kertas bekas menjadi masing-masing serat pulp, “sheet forming technology” untuk membentuk kembali serat menjadi lembaran yang seragam, “pressing and binding technology” untuk meningkatkan kepadatan serat dan merekatkan masing-masing serat pulp [4].

Berikut merupakan diagram skema proses *Dry Paper Recycle Technology* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Skema Proses Dry Paper Recycle Technology [5]

b. Thermoplastic Resin

Thermoplastic resin adalah jenis bahan polimer yang dapat meleleh ketika dipanaskan dan membeku kembali menjadi padat ketika terkena suhu ruang. Proses ini dapat diulang tanpa mengalami perubahan kimia yang permanen, sehingga material ini dapat dilelehkan, dicetak, dan dibentuk ulang berulang kali. Thermoplastic resin memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi, dan dapat didaur ulang. Namun, thermoplastic resin memiliki batasan dalam hal suhu operasi yang tinggi.

Resin termoplastik terdiri dari dua jenis: semi-kristal dan amorf. Resin termoplastik semi-kristal memiliki struktur kristal dan amorf yang hadir bersamaan, dan dicirikan dengan adanya jaringan rantai polimer yang tersusun tiga dimensi. Termoplastik amorf menampilkan susunan molekul polimer yang tidak teratur. Kristalinitas total yang dicapai dalam bahan polimer termoplastik semi-kristal bergantung pada ukuran kristal, orientasi, dan panjang rantai polimer. Beberapa contoh termoplastik yang cenderung dalam keadaan semi-kristal, dan digunakan secara luas, adalah polietilena, polipropilena, poliamida, polifenilena, polieter eter keton, dan polialketon. Termoplastik semi-kristal dan amorf tersedia dalam berbagai bentuk termasuk film, bubuk, dan filamen [7]. Berikut merupakan sifat atau *properties* dari *thermoplastic resin* abs yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Mechanical Properties of ABS Resin [8]

<i>Mechanical Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Elongation at Break</i>	10 - 50 %
<i>Elongation at Yield</i>	1.7 - 6 %
<i>Flexibility (Flexural Modulus)</i>	1.6 - 2.4 GPa
<i>Hardness Shore D</i>	100
<i>Stiffness (Flexural Modulus)</i>	1.6 - 2.4 GPa
<i>Strength at Break (Tensile)</i>	29.8 - 43 MPa
<i>Strength at Yield (Tensile)</i>	29.6 - 48 MPa
<i>Toughness (Notched Izod Impact at Room Temperature)</i>	200 - 215 J/m
<i>Toughness at Low Temperature (Notched Izod Impact at Low Temperature)</i>	20 - 160 J/m
<i>Young Modulus</i>	1.79 - 3.2 GPa

c. *Office Copy Paper*

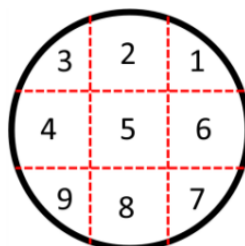
Office Copy Paper adalah jenis kertas yang dirancang khusus untuk digunakan dalam mesin fotokopi, printer laser, dan printer inkjet. Kertas ini memiliki berbagai ukuran, tetapi yang paling umum adalah ukuran A4 (210 × 297 mm) atau Letter (8.5 × 11 in). Kertas ini memiliki kehalusan dan ketebalan yang tepat untuk memberikan hasil cetakan yang baik, serta dapat menangani panas dan tekanan yang dihasilkan oleh mesin fotokopi dan printer. *Office Copy Paper* biasanya terbuat dari bubur kayu berkualitas tinggi dan serat kayu untuk memberikan kekuatan dan ketahanan yang diperlukan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini diawali dengan pencarian, pengumpulan, dan analisis sumber-sumber tulisan yang telah ada (literatur) yang relevan dengan topik penelitian atau studi yang sedang dilakukan, dalam hal ini mengenai kertas bekas dan thermoplastic resin sebagai bonding agent pada proses dry paper recycle dan metode yang digunakan dalam penyatuannya kembali menjadi kertas baru. Langkah selanjutnya adalah menyiapkan alat dan bahan untuk pembuatan spesimen uji. Pada pengujian ini terdapat 3 variasi ukuran kertas yaitu ukuran 1,2 x 2,4 (mm), 2,4 x 4,8 (mm), dan 3,6 x 7,2 (mm). Proses pembuatan spesimen uji dilakukan dengan membuat kertas sesuai ukuran dan bubuk thermoplastic terlebih dahulu. Dalam membuat kertas diawali dengan memasukkan kertas HVS bekas ke dalam *paper shredder*, kemudian hasil potongan kertas dari *paper shredder* digunting menjadi ukuran 1,2 x 2,4 (mm), 2,4 x 4,8 (mm), dan 3,6 x 7,2 (mm). Sedangkan dalam pembuatan bubuk thermoplastic resin, diawali dengan memasukkan biji plastik thermoplastic resin ke dalam alat pembuat permen kapas, kemudian thermoplastic resin yang berbentuk serabut hasil dari alat pembuat permen kapas dimasukkan ke dalam *chopper* untuk mengubah ke bentuk bubuk, lalu bubuk disaring menggunakan saringan untuk menghasilkan bentuk bubuk thermoplastic resin yang seragam.

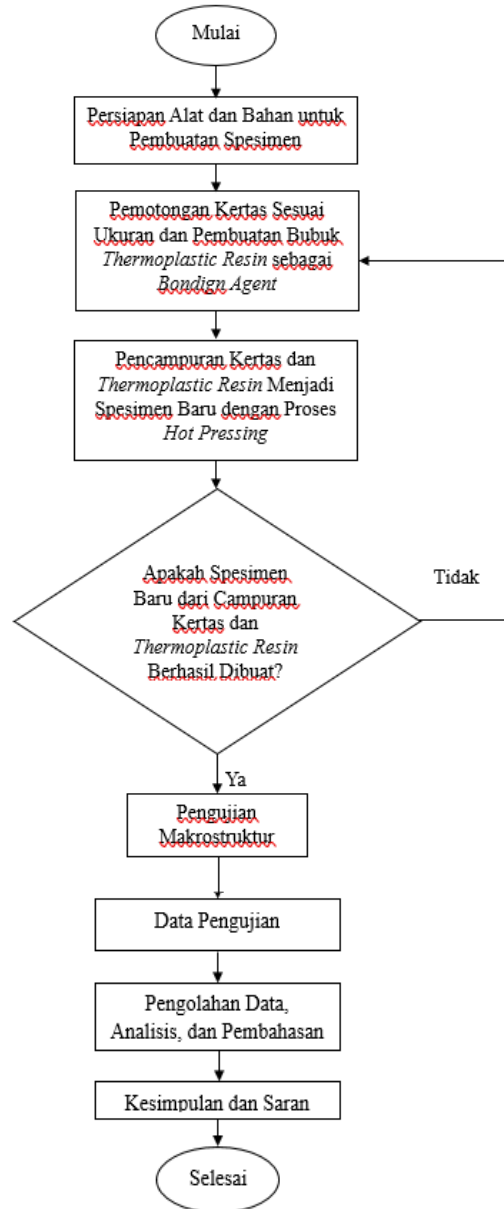
Setelah membuat kertas dan bubuk thermoplastic resin, kedua bahan tersebut dicampur dan dibentuk menjadi sebuah lembaran dalam aluminium foil dengan susunan lima *layer* dengan susunan terbawah *thermoplastic resin*, lalu di atasnya potongan kertas, seperti itu sampai lima *layer*, yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses *hot pressing* dengan suhu 160°C selama 1 menit 30 detik untuk menghasilkan spesimen lembaran kertas baru. Kemudian spesimen tersebut dilakukan pengujian makrografi, hal ini dilakukan untuk melihat homogenitas distribusi potongan serat kertas pada spesimen campuran serat kertas dan *thermoplastic resin*. Homogenitas mengacu pada sejauh mana potongan serat kertas terdistribusi merata dalam campuran serat kertas dan *thermoplastic resin*.

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 memasukkan 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. Proses penelitian dapat dirangkum dalam sebuah diagram blok penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Terdapat alat dan bahan yang digunakan pada proses penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini, yaitu sebagai berikut:

2.1.1 Alat

a. Paper Shredder

Paper Shredder digunakan untuk menghancurkan Kertas HVS ukuran A4 bekas. Alat ini menghasilkan potongan kertas dengan ukuran 3 x 23 mm.

b. Gunting

Gunting digunakan untuk menggunting hasil potongan kertas dari *paper shredder* menjadi potongan kertas dengan ukuran yang lebih kecil lagi.

c. Alat Pembuat Permen Kapas

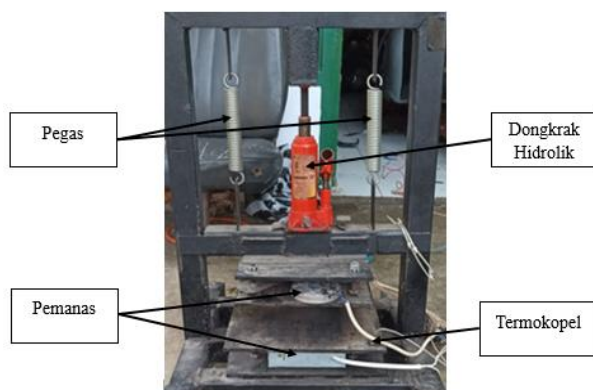
Alat pembuat permen kapas digunakan untuk mengubah biji plastik *thermoplastic resin* menjadi serabut yang nantinya akan diubah menjadi bentuk bubuk. Adapun gambar pembuat permen kapas dapat dilihat pada Gambar 3.

d. Chopper

Chopper digunakan untuk menghancurkan serabut *thermoplastic resin* hasil dari *cotton candy maker* menjadi bentuk serbuk atau bubuk.

e. Mesin Hot Press

Mesin *hot press* merupakan perangkat yang berfungsi untuk memanaskan ulang spesimen komposit yang telah dibuat, sambil memberikan tekanan pada spesimen untuk memastikan kompresi yang optimal dan distribusi matriks yang merata. Berikut mesin *hot press* yang digunakan saat penelitian ini pada Gambar 4.



Gambar 3. Mesin Hot Press

g. Aluminium Foil

Aluminium foil adalah lembaran yang terbuat dari logam aluminium yang pada penelitian ini digunakan untuk membungkus spesimen komposit saat proses *hot pressing*. Tujuan dari pembungkusan spesimen dengan aluminium foil ini adalah agar pengangkatan spesimen dari cetakan lebih mudah untuk dilakukan.

2.1.2 Bahan

a. Kertas

Kertas merupakan serat selulosa yang berasal dari kayu. Kertas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan serat kertas dari bahan kertas HVS ukuran A4 bekas dengan berat 70 gsm (g/m^2)

b. *Thermoplastic Resin*

Thermoplastic resin adalah jenis bahan polimer yang dapat meleleh ketika dipanaskan dan membeku kembali menjadi padat ketika terkena suhu ruang. Proses ini dapat diulang tanpa mengalami perubahan kimia yang permanen, sehingga material ini dapat dilelehkan, dicetak, dan dibentuk ulang berulang kali.

2.2 Pembuatan Spesimen Uji

Adapun tahapan yang dilakukan dalam pembuatan spesimen uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Siapkan kertas yang sudah dipotong sesuai ukuran 1,2 x 2,4 mm, 2,4 x 4,8 mm, dan 3,6 x 7,2 mm
- Masukkan *thermoplastic resin* ke dalam alat pembuat permen kapas.
- Hancurkan serabut *Thermoplastic Resin* dengan menggunakan mesin *chopper*.
- Kemudian saring serabut *Thermoplastic Resin* menggunakan saringan sampai dapat bubuk *Thermoplastic Resin*.
- Siapkan alat *hot press* dan siapkan aluminium foil sebagai media pelapis dan tempat spesimen
- Ukur berat kertas bekas yang sudah dipotong dan bubuk *thermoplastic resin* menggunakan timbangan digital sesuai dengan variasi rasio perbandingan yang akan digunakan.
- Campurkan kertas dan *thermoplastic resin* yang telah di timbang sesuai variasi yang akan digunakan.
- Pencampuran spesimen terdiri dari 5 layer yaitu, lapisan terbaawah *thermoplastic resin*, lalu di atasnya kertas, *thermoplastic resin*, kertas, *thermoplastic resin* sesuai dengan variasi rasio perbandingan
- Nyalakan alat *hot press* dan tunggu suhu mencapai 160°C.
- Letakan aluminium foil ke dalam mesin *hot press* jika sudah mencapai suhu 160°C lalu press spesimen selama 1 menit 30 detik.
- Ambil spesimen dari alat *hot press* dan diamkan sejenak agar spesimen menjadi keras kembali.

2.3 Pengujian Material

Salah satu tujuan dari pengujian material pada penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur makro material untuk melihat homogenitas distribusi kertas. Setelah pembuatan spesimen dari kertas dan *thermoplastic resin* melalui

proses *hot pressing*, spesimen lembaran kertas akan dilanjutkan ke tahap pengujian untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen lembaran kertas tersebut.

2.3.1 Pengujian Makrostruktur

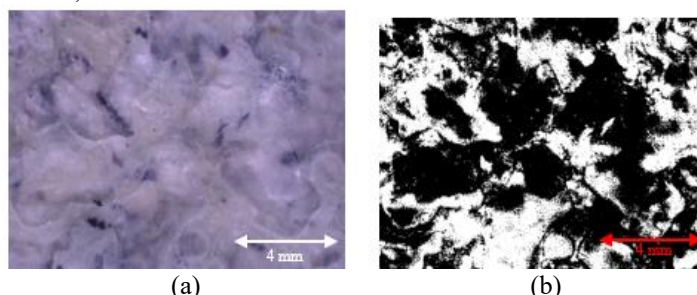
Ada dua jenis uji struktur kristal yang umumnya dilakukan, yakni uji makro dan uji mikro. Uji makro merujuk pada pemeriksaan struktur bahan dengan pembesaran menggunakan mata secara langsung atau menggunakan kaca pembesar dengan perbesaran rendah [9]. Makroanalisis merupakan studi tentang struktur permukaan benda kerja dan bagian dengan mata telanjang atau dengan perbesaran rendah hingga 30 – 50 kali. Struktur makro dapat dipelajari secara langsung pada permukaan benda kerja pada bagian makro. Bagian makro adalah suatu bagian benda kerja yang disiapkan khusus untuk pengujian makro. Dimensi bagian makro ditentukan oleh dimensi bagian yang diselidiki [10].

3. Hasil dan Pembahasan

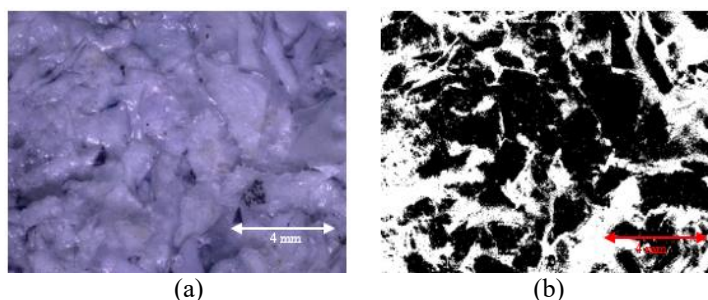
3.1 Hasil Pengujian makrostruktur

a. Ukuran Kertas 1,2 x 2,4 (mm)

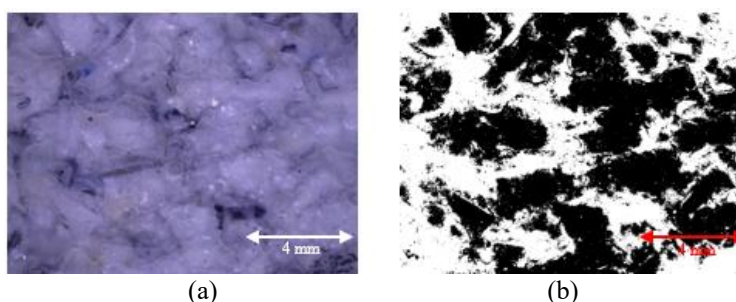
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Ukuran Kertas 1,2 x 2,4 (mm), Fraksi massa kertas 33,33%, Segmen 2, Sampel 2 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



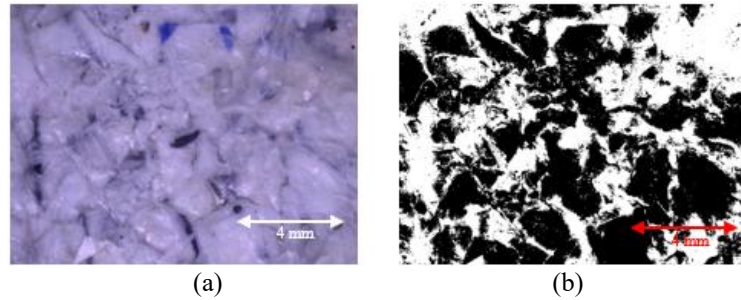
Gambar 5. Ukuran Kertas 1,2 x 2,4 (mm), Fraksi massa kertas 37,50%, Segemen 9, Sampel 2 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



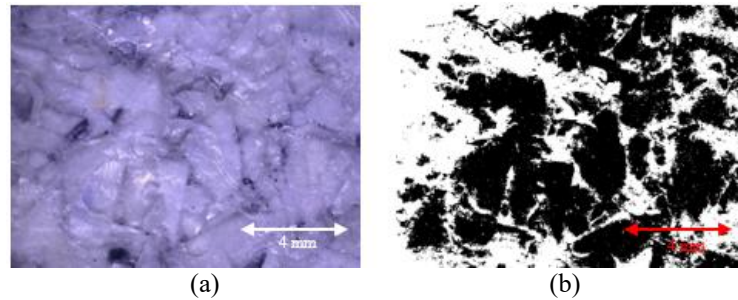
Gambar 6. Ukuran Kertas 1,2 x 2,4 (mm), Fraksi massa kertas 40%, Segemen 7, Sampel 1 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi

b. Ukuran Kertas 2,4 x 4,8 (mm)

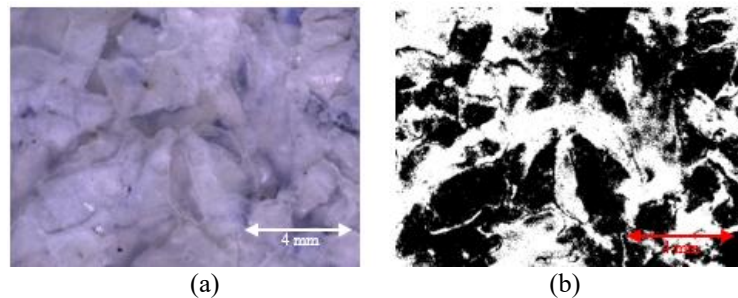
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



Gambar 7. Ukuran Kertas 2,4 x 4,8 (mm), Fraksi massa kertas 33,33%, Segemen 9, Sampel 2 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



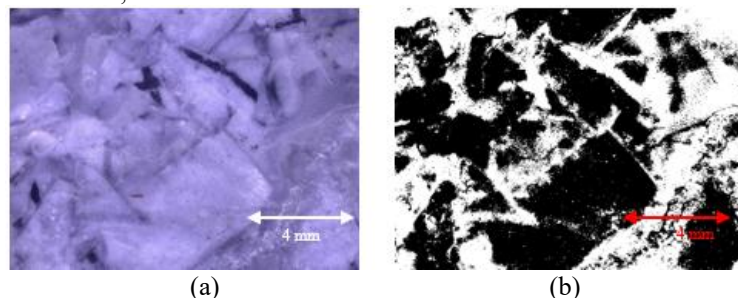
Gambar 8. Ukuran Kertas 2,4 x 4,8 (mm), Fraksi massa kertas 37,50%, Segmen 9, Sampel 1 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



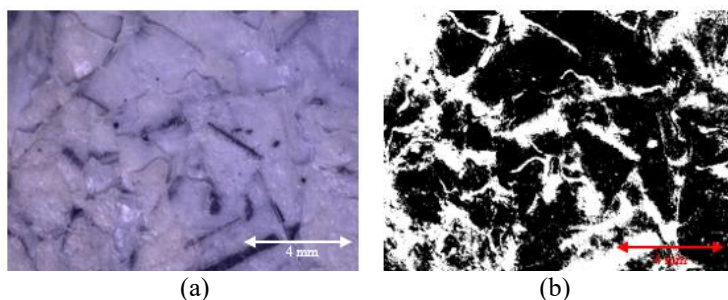
Gambar 9. Ukuran Kertas 2,4 x 4,8 (mm), Fraksi massa kertas 40%, Segemen 7, Sampel 2 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi

c. Ukuran Kertas 3,6 x 7,2 (mm)

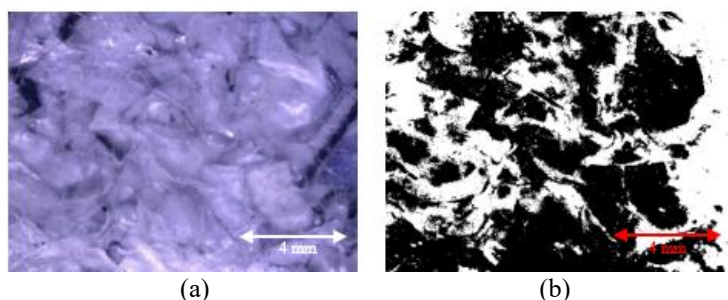
Gambar hasil pengamatan mikroskop makro dan hasil pengukuran fraksi kertas untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



Gambar 10. Ukuran Kertas 3,6 x 7,2 (mm), Fraksi massa kertas 33,33%, Segmen 8, Sampel 3 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



Gambar 11. Ukuran Kertas 3,6 x 7,2 (mm), Fraksi massa kertas 37,50%, Segmen 4, Sampel 2 (a) Foto Mikroskop Makro Perbesaran 10x; (b) Foto 16-bit Hasil Binerisasi



Gambar 12. Ukuran Kertas 3,6 x 7,2 (mm), Fraksi massa kertas 40%, Segmen 6, Sampel 2 (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 4, Tabel 5, dan Tabel 6 berikut.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Kertas 1,2 x 2,4 mm

Fraksi massa kertas	Segmen (Rata-Rata % Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50%	61,003	62,207	61,387	60,718	59,361	61,891	59,900	58,889	57,201
33,33%	55,490	57,320	60,479	58,373	52,515	58,822	60,650	58,521	56,337
66,67%	70,900	61,454	60,321	56,083	57,700	59,065	60,250	57,877	60,447
40%	57,276	59,838	58,694	60,382	60,050	55,759	56,105	57,798	56,744
60%	65,822	62,415	57,968	55,721	56,837	67,360	58,684	64,151	58,848
37,50%	58,239	60,498	59,766	57,808	55,796	59,481	58,558	58,118	58,336

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Kertas 2,4 x 4,8 mm

Fraksi massa kertas	Segmen (Rata-Rata % Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50%	60,691	56,205	59,425	55,397	58,577	60,508	57,513	56,609	58,939
33,33%	50,294	56,621	57,847	56,755	56,291	52,452	56,730	56,941	55,587
66,67%	56,638	57,260	59,160	59,481	56,445	57,017	55,992	58,795	56,190
40%	58,735	57,211	55,128	53,850	55,631	58,442	56,563	56,073	55,451
60%	56,335	57,465	59,736	59,613	55,296	55,740	56,352	57,878	58,088
37,50%	57,938	58,388	58,459	58,000	58,982	59,488	58,725	59,057	55,836

Tabel 6. Data Hasil Pengukuran Fraksi Kertas untuk Ukuran Kertas 3,6 x 7,2 mm

Fraksi massa kertas	Segmen (Rata-Rata % Kertas)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50%	70,055	62,978	64,066	63,423	64,453	58,631	66,576	65,964	59,306
33,33%	58,206	52,862	55,814	53,607	58,096	58,303	52,241	57,192	52,471
66,67%	61,919	59,092	59,240	61,942	62,349	57,962	59,572	60,181	56,585
40%	55,894	59,765	60,245	60,718	52,977	55,359	60,777	55,168	57,720
60%	59,277	68,477	65,710	60,420	56,660	57,332	57,703	59,969	58,951
37,50%	60,844	55,450	61,225	54,483	54,776	60,480	55,934	54,945	52,302

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 [11]. Uji homogenitas digunakan untuk menilai apakah variasi dari beberapa kelompok data adalah sama atau berbeda [12]. 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 [13]. Hasil perhitungan statistik dengan bantuan *software* SPSS (*Statistical Program for Social Science*) dirangkum ke dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Statistik

Jenis Kertas (mm)	Nilai Signifikansi		
	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji Anova
1,2 x 2,4	0.225	0.504	0.04
2,4 x 4,8	0.968	0.072	1×10^{-3}
3,6 x 7,2	0.339	0.495	1×10^{-3}

Hasil uji normalitas untuk ketiga jenis ukuran kertas menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa semua data tersebut terdistribusi secara normal.

Hasil uji homogenitas untuk ketiga jenis ukuran kertas menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa varians data tersebut homogen.

Hasil uji ANOVA untuk ketiga jenis ukuran kertas menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang diperoleh lebih kecil dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan Fraksi massa kertas (%kertas) berdasarkan ukuran potongan kertas yang digunakan. Hal ini dapat diartikan bahwa ukuran potongan kertas yang digunakan sangat memengaruhi distribusi kertas dalam campuran kertas dan *thermoplastic resin*.

Berdasarkan hasil pengukuran Fraksi massa kertas menggunakan *software* ImageJ yang terdapat pada Gambar 4. sampai dengan Gambar 12., terlihat bahwa untuk ketiga ukuran kertas menghasilkan distribusi kertas yang tidak merata (nonhomogen), di mana kertas yang tersebar (warna hitam) hanya berkumpul di daerah tertentu saja dan masih terdapat rongga – rongga kosong antara kertas. Sedangkan hasil pengukuran Fraksi massa kertas menggunakan *software* ImageJ yang terdapat pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 6, dari pengukuran Fraksi massa kertas tersebut dapat dilihat dari angka penyebaran kertas tiap segmen memiliki nilai yang cukup berbeda. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penyebaran kertas tidak merata atau tidak homogen.

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 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. Faktor ketiga yaitu ketidakcocokan kepadatan kertas dan *thermoplastic* 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. Faktor lainnya yaitu viskositas resin. Viskositas Resin yang tinggi dapat menghambat deformasi serat dan distribusi yang tidak merata [14]. 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 ukuran potongan kertas sebagai bahan baku serta rasio perbandingan campuran kertas dan *thermoplastic resin* terhadap kekuatan tarik dan makrostruktur diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan statistik dari pengujian makrostruktur untuk ukuran kertas 1,2 x 2,4 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,225, uji homogenitas sebesar 0,504, dan uji anova 0,04, sedangkan ukuran kertas 2,4 x 4,8 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,968, uji homogenitas sebesar 0,072, dan uji anova 0,00, sedangkan ukuran kertas 3,6 x 7,2 mm menghasilkan uji normalitas sebesar 0,339, uji homogenitas sebesar 0,495, dan uji anova 0,00.
2. Hasil uji normalitas yang diperoleh lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa semua data tersebut terdistribusi secara normal. Hasil uji homogenitas nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa varians data tersebut homogen. Hasil uji ANOVA nilai signifikansi yang diperoleh lebih kecil dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan Fraksi massa kertas (%kertas) berdasarkan ukuran potongan kertas yang digunakan. Hal ini dapat diartikan bahwa ukuran potongan kertas yang digunakan sangat memengaruhi distribusi kertas dalam campuran kertas dan *thermoplastic resin*.
3. Dari ketiga jenis ukuran potongan kertas 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] Bureau of International Recycling. (2018). *Paper and Board Recycling in 2018*.
- [2] Beckline, M., Yujun, S., Eric, Z., Kato, M. S., & Kato, S. (2016). Paper Consumption and Environmental Impact in an Emerging Economy. *Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering*, 1(1), 13–18. <https://doi.org/10.11648/j.jeece.20160101.12>
- [3] Toczy, R. (2017). *Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review*. 78(May), 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.021>
- [4] Nakamura, M. (2018). *Development of The Dry Paper Recycling Technology which Realizes a New Office Papermaking System*. Japan Tappi Journal, 72(7), 786–792.
- [5] Ono, Y., Hayashi, M., Yokoyama, K., & Okamura, T. (2020a). *Environmental Assessment of Innovative Paper Recycling Technology Using Product Lifecycle Perspectives*. September 2019.
- [6] Kandola, B. K., Ndiaye, M., & Price, D. (2014). Quantification of polymer degradation during melt dripping of thermoplastic polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 106, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.020>
- [7] Ganesh, J., Ashraf, N. K., Apurba, D., Puneet, M., & Alagirusamy, R. (2018). Impact properties of thermoplastic composites. *Textile Progress*, 50(3), 109–183. <https://doi.org/10.1080/00405167.2018.1563369>
- [8] omnexus.specialchem.com (2021) Comprehensive Guide on Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), omnexus.specialchem.com. <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadienestyrene-abs-plastic> (Accessed: 6 June 2024).
- [9] Pratikno, H., Pahlawan, N. A., & Dhanista, W. L. (2021). Comparative Analysis of FCAW, and GMAW Welding With Heat Input Variations on A36 Steel Against Vickers Hardness Test and Macrostructure. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*, 5(2), 58–61. <https://doi.org/10.12962/j2580-0914.v4i4.10931>
- [10] Cherney, O. T., Vaganova, O. T., Smirnova, Z. V., & Bystrova, N. V. (2020). Study of The Macrostructure of Steel (Macroanalysis). *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3716–3719. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/133872020>
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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