

IDENTIFIKASI EFEK KESERAGAMAN TERHADAP PENYEBARAN RESIN PADA BAHAN FIBER DENGAN METODA MULTILEVEL THRESHOLD

UNIFORMITY EFFECTS IDENTIFICATION OF RESIN DISTRIBUTION ON FIBER MATERIALS USING MULTILEVEL THRESHOLD

Nadhifa Noor Septina¹, Ismudiati Puri Handayani², Hertiana Bethaningtyas Dyah K.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

nadhifanoors@gmail.com, dekpuri@gmail.com, hertiana@gmail.com

Abstrak

Citra bahan komposit yang dibuat dengan teknik *dry lay-up*, *hand lay-up*, dan laminasi telah dianalisis menggunakan metoda *multilevel thresholding* dan *software* Matlab R2016b. Masing-masing citra diklasifikasikan menjadi 7 segmen dan tiap-tiap segmen mewakili intensitas dan jumlah piksel yang berbeda. Segmen dengan derajat keabuan rendah dengan rentang intensitas piksel 0 - 150 mewakili daerah yang memiliki *void*, sedangkan segmen dengan derajat keabuan tinggi dengan rentang intensitas piksel 151 - 255 mewakili daerah yang tertutup oleh resin. Hasil analisis citra dikaitkan dengan data hasil uji mekanik yang meliputi *tensile strength* dan modulus Young. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, bahan komposit *dry lay up* selalu konsisten memiliki *tensile strength* yang kuat, jika jumlah prosentase *void* lebih kecil. Komposit yang dibuat dengan teknik yang lainnya belum menunjukkan hasil yang konsisten. Selain itu tidak ditemukan kaitan antara modulus Young dengan jumlah *void*.

Kata kunci: komposit, piksel, multilevel thresholding, sifat mekanik.

Abstract

The image of composite material from *dry lay-up*, *hand lay-up*, and lamination techniques has been analyzed using *multilevel thresholding image method* and processed with *Matlab R2016b's software*. Each image is classified into 7 segments and each segment represents a different intensity and number of pixels. Segments with a low gray degree with a range of pixels intensity 0 - 150 are represent the regions with void, while segments with high gray degrees with a range of pixel intensities 151 - 255 are represent the regions covered with resin. The results of image analysis are associated with mechanical test results including *tensile strength* and Young modulus. Based on results of the analysis obtained, *dry lay up composite materials* have strong *tensile strength* consistently, if the number of voids is smaller. Composite materials with other techniques have not shown consistent results. In addition, there was no association between Young's modulus and the number of voids.

Keywords: composite, pixel, multilevel thresholding, mechanical properties..

1. Pendahuluan

Bahan komposit banyak diaplikasikan di bidang industri^[1] karena memiliki kekuatan bahan yang tinggi, ringan, tahan terhadap korosi, komposisi bahan penguatan (*reinforcement*) dan bahan pengikat (*matrix*) yang dapat disesuaikan^[2]. Proses fabrikasi bahan komposit merupakan hal yang penting dalam menghasilkan bahan komposit dengan sifat mekanik yang dikehendaki, salah satu yang paling sederhana adalah metode proses fabrikasi *lay-up*. Terdapat tiga jenis metode fabrikasi yang digunakan, yaitu *dry lay-up*, *hand lay-up* dan laminasi terkendali. Namun, bahan komposit yang diperoleh melalui teknik tersebut sering ditandai dengan distribusi bahan penyusun yang tidak teratur dan isi bahan penguatan dalam volume yang berbeda. Dalam kasus tersebut, keseragaman distribusi bahan penyusun (homogenitas) bahan dapat menjadi parameter yang menentukan sifat mekanik bahan. Sebagai contoh, jika terdapat cacat (*defect*) seperti porositas struktur atau distribusi spasial bahan penyusun yang tidak merata maka bahan tersebut akan menjadi non-homogen dan mempengaruhi kekuatan bahan^[3].

Seiring dengan peningkatan penggunaan bahan komposit, metode pemeriksaan non-destruktif berbasis pengolahan citra diperlukan untuk mendeteksi kecacatan, kerusakan, serta penilaian bahan secara kualitatif^[4], salah satu teknik yang bisa digunakan adalah segmentasi citra. Segmentasi citra merupakan proses pemisahan objek citra berdasarkan intensitas yang berbeda. Salah satu metoda segmentasi citra yang digunakan pada penelitian tersebut adalah *image thresholding*. *Image thresholding* merupakan metode sederhana untuk mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner berdasarkan batas *threshold* tunggal yang ditentukan^[5]. Terdapat penelitian segmentasi citra yang menggunakan beberapa batas *threshold*, yaitu penerapan *multilevel thresholding* terhadap citra menggunakan algoritma genetik untuk segmentasi citra yang cepat^[6]. Dengan demikian citra dapat dibagi menjadi lebih dari satu objek dan *background* dengan intensitas warna yang berbeda.

Berdasarkan pemaparan latar belakang tugas akhir, penulis bermaksud untuk merancang sistem identifikasi citra bahan komposit jenis *dry lay-up*, *hand lay-up*, dan laminasi dengan alat yg dirancang oleh A. Jatmiko^[7],

menggunakan teknik segmentasi citra *multilevel thresholding*. Penelitian ini diharapkan dapat membandingkan hasil pengolahan citra digital dengan hasil yang diperoleh dari pengujian tarik, serta dapat diketahui ciri homogenitas bahan komposit lay-up yang akan mempengaruhi sifat mekanik bahan komposit.

2. Dasar Teori

2.1 Sifat Mekanik Bahan Komposit

Komposit adalah bahan yang terbentuk dari campuran dua atau lebih bahan penyusun dengan sifat kimia dan fisika yang berbeda. Komposit terdiri dari resin (matriks) dan fiber sebagai penguat (*reinforcement*)^[8]. Salah satu parameter yang menentukan kualitas komposit fiber-resin adalah sifat mekaniknya yang menyatakan kekuatan bahan tersebut saat mendapatkan gaya eksternal.

2.2 Representasi Citra Digital

Citra digital dapat direpresentasikan sebagai fungsi dua dimensi $f(x,y)$, dengan x dan y merupakan koordinat, sedangkan f pada setiap koordinat titik (x, y) disebut intensitas piksel citra. Citra digital dapat dinyatakan sebagai bentuk matriks, dengan baris dan kolomnya yang merepresentasikan sebuah titik, sedangkan nilai elemen matriks merupakan intensitas piksel citra. Matriks pada citra digital dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (1):

$$(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1, M-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Pada persamaan (1), citra digital dalam bentuk matriks berukuran $N \times M$ dengan N baris dan M kolom, dan masing-masing elemen pada citra digital disebut piksel (*image element*)^[10].

2.3 Citra RGB

RGB (*Red, Green, Blue*) merupakan ruang warna yang paling umum digunakan untuk representasi citra digital. Setiap warna dasar RGB mempunyai intensitas sendiri dengan nilai antara 0 sampai dengan 255 dengan penyimpanan 8-bit^[11]. Untuk mendapatkan warna lain dapat diperoleh dengan mencampurkan ketiga warna tersebut dengan perbandingan tertentu. Salah satu contoh, untuk mendapatkan warna cyan, intensitas warna yang diperlukan bernilai 0 untuk merah, 255 untuk hijau, dan 255 untuk biru, dst.

2.4 Citra Grayscale

Salah satu cara untuk memudahkan pengolahan citra adalah mengubah format citra asli ke format citra grayscale. Citra dalam format RGB dapat diubah menjadi format *grayscale* dengan cara mengambil tiap piksel suatu citra, yang memiliki informasi tiga warna dasar yaitu merah, hijau dan biru. Selanjutnya dari ketiga warna tersebut dicari nilai rata-rata tiap piksel dalam citra^[12]. Secara matematis dapat dinyatakan pada persamaan (2):

$$I(x, y) = \frac{R + G + B}{3}$$

dengan $I(x,y)$ merupakan intensitas piksel keabuan pada suatu koordinat yang diperoleh dengan membagi komponen warna R , G dan B .

2.5 Citra Biner (*Threshold*)

Citra biner merupakan citra yang terdiri dari dua warna, yaitu hitam dan putih. Untuk mengubah citra RGB menjadi format citra biner, citra diubah terlebih dahulu ke dalam format *grayscale*. Cara sederhana untuk mengkonversi citra grayscale ke bentuk citra biner adalah memilih satu nilai *threshold* (T). Jika nilai *grayscale* di bawah T diklasifikasikan sebagai hitam (0), sedangkan nilai tingkat keabuan di atas T diklasifikasikan menjadi putih (1). Operasi *thresholding* atau citra biner ditunjukkan ke dalam Persamaan (3):

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } f(x, y) > T \\ 0, & \text{jika } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

dengan $g(x,y)$ menyatakan citra biner yang dihasilkan oleh citra *grayscale* $f(x,y)$ dan T menyatakan nilai ambang yang dispesifikasikan [21]. Dalam operasi *threshold*, objek dibuat berwarna gelap sedangkan latar belakang berwarna terang.

2.5 Segmentasi Citra

Segmentasi citra merupakan proses untuk mendapatkan suatu objek pada citra digital atau membagi citra menjadi beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah yang memiliki kemiripan tekstur (homogen). Dalam hal ini, segmentasi citra terbagi menjadi dua tahapan yaitu histogram dan *multilevel threshold*.

2.5.1 Histogram

Histogram dari suatu citra menunjukkan informasi frekuensi nilai-nilai intensitas piksel. Pada sumbu horizontal menunjukkan intensitas grayscale, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan jumlah piksel dalam intensitas tertentu^[13].

2.5.2 Multilevel Threshold

Penggunaan threshold dapat diperluas dengan menggunakan beberapa ambang batas (*multilevel threshold*) yang dikehendaki untuk membagi citra ke lebih dari dua segmen. Operasi *multilevel thresholding* ditunjukkan pada persamaan (4):

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{jika } f(x,y) < T_1 \\ 1 & \text{jika } T_1 \leq f(x,y) < T_2 \\ 2 & \text{jika } T_2 \leq f(x,y) < T_3 \\ \vdots & \vdots \\ n & \text{jika } T_n \leq f(x,y) \end{cases}$$

Berdasarkan Persamaan (4), apabila terdapat piksel citra yang memiliki nilai keabuan lebih kecil dari *threshold* pertama (T1) maka ditempatkan pada segmen 0, diantara ambang pertama dan kedua (T1 dan T2) ditempatkan pada segmen 1, diantara ambang kedua dan ketiga (T2 dan T3) ditempatkan untuk segmen 2, sampai dengan nilai threshold (Tn) dan jumlah segmen yang diinginkan (n).

3. Pembahasan

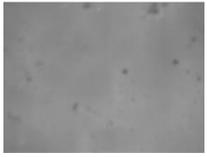
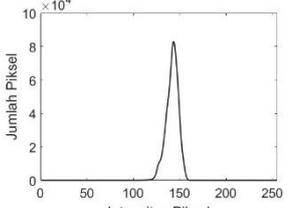
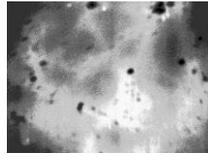
3.1 Pengolahan Citra Bahan Komposit Menggunakan Metoda Multilevel Threshold

3.1.1 Dry Lay-up

Citra *grayscale*, sebaran warna citra dalam bentuk histogram, serta hasil *multilevel threshold* pada citra komposit resin-fiber yang dibuat dengan metoda laminasi *dry lay up (fiberglass prepreg)* dapat ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Citra Grayscale, Histogram dan Citra *Multilevel Threshold* Laminasi Komposit *Dry Lay up*

Kode	Citra Grayscale	Histogram	Nilai Threshold	Citra Multi-threshold
D5			130, 140, 149, 155, 163, 170	
D6			136, 141, 149, 158, 172, 183	
D7			123, 137, 144, 154, 162, 170	
D8			125, 133, 142, 146, 152, 157	

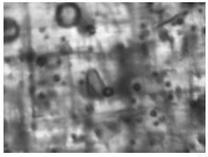
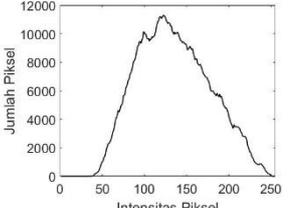
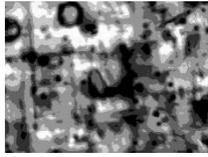
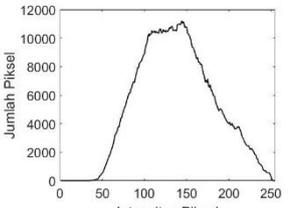
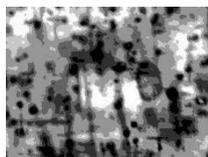
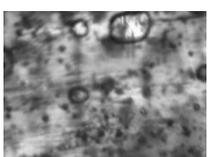
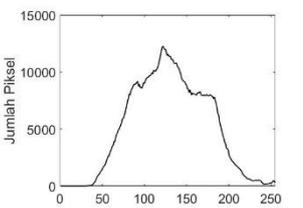
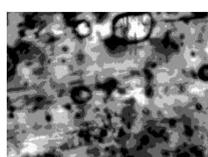
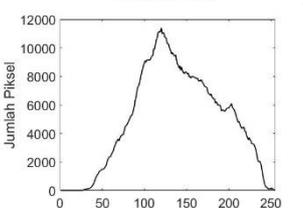
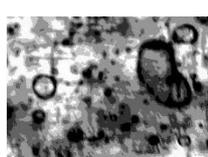
D9			120, 134, 140, 143, 150, 158	
----	---	---	---------------------------------	---

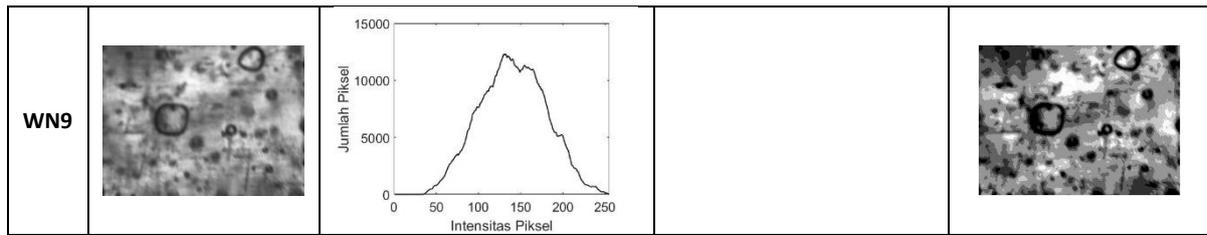
Berdasarkan pada Tabel 4.1, secara keseluruhan citra dry lay up ini memiliki derajat keabuan (grayscale) yang cenderung seragam, sehingga luas histogram citra yang dihasilkan sempit. Histogram citra dari kelima sampel diatas diperoleh informasi yaitu titik intensitas piksel minimal (gelap) rata-ratanya bernilai 90, intensitas piksel pertengahan dengan jumlah piksel yang dominan memiliki rata-rata 150, dan intensitas piksel maksimal (terang) dengan rata-rata nilai 170. Pemilihan nilai threshold dimulai dari citra pertama yang ditetapkan berdasarkan histogram. Nilai threshold yang digunakan pada gambar pertama adalah 130, 140, 149, 155, 163, dan 170. Selanjutnya nilai threshold tersebut diterapkan pada empat sampel citra lainnya, serta dilakukan optimasi dan mengambil nilai seperti yang tercantum pada tabel diatas. Setelah dilakukan optimasi, jarak threshold tidak terlalu jauh dari nilai yang sudah ditentukan sebelumnya.

3.1.2 Hand Lay-up

Bahan komposit resin-fiber yang dibuat dengan metoda laminasi hand lay up ini menggunakan kuas sebagai media untuk mendistribusikan resin ke atas fiber. Citra grayscale, sebaran warna dalam bentuk histogram, serta hasil multilevel threshold laminasi tersebut ditampilkan dalam bentuk histogram pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Citra Grayscale, Histogram dan Citra Multilevel Threshold Laminasi Komposit Hand Lay up

Kode	Citra Grayscale	Histogram	Nilai Threshold	Citra Multi-threshold
WN5			78, 105, 132, 178, 206, 237	
WN6				
WN7				
WN8				

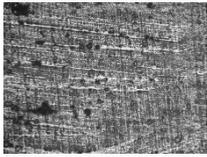
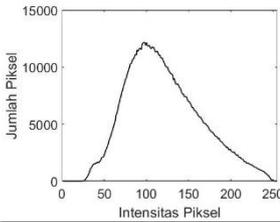
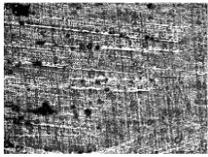
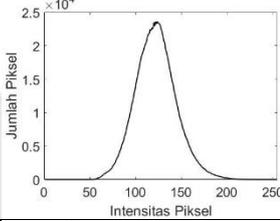
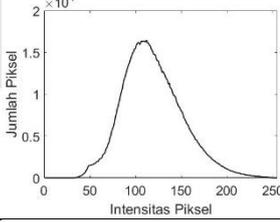
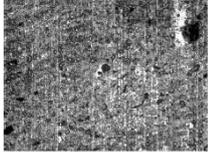
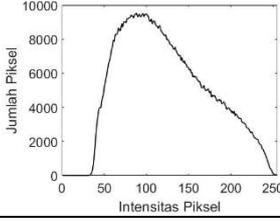


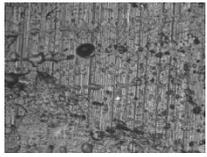
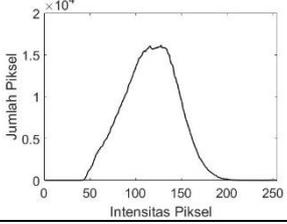
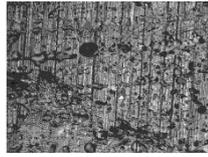
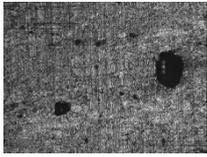
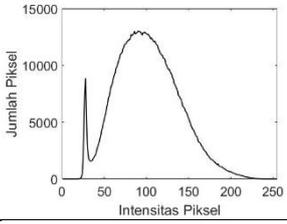
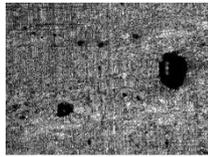
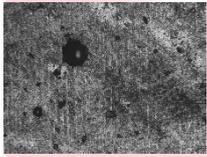
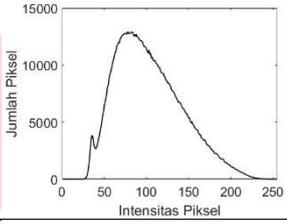
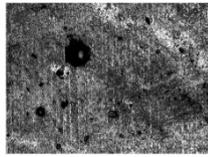
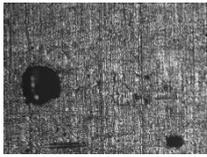
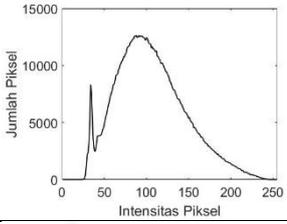
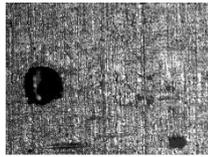
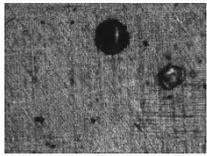
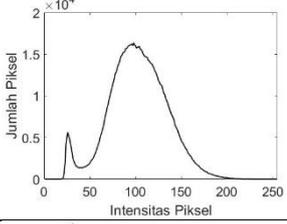
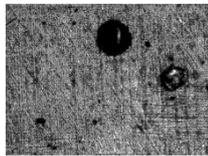
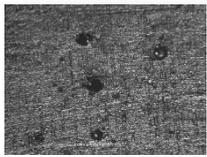
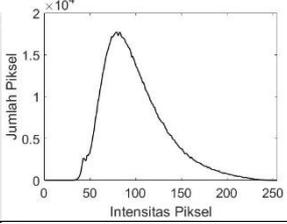
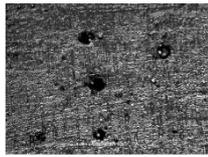
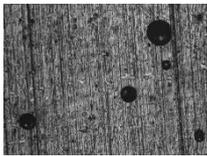
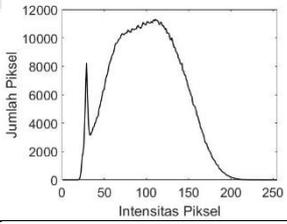
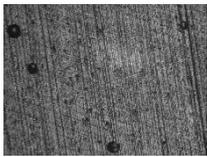
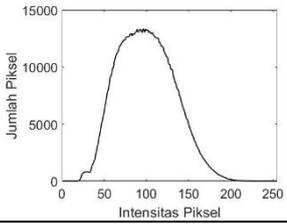
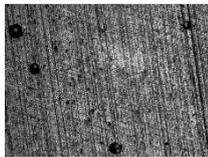
Berdasarkan citra pada **Tabel 2**, hand lay up ini terlihat memiliki banyak domain berbentuk bulat yang disebabkan oleh distribusi resin yang tidak merata. Selain itu, citra tersebut memiliki intensitas piksel yang bervariasi, yaitu ditandai dengan bentuk histogram yang lebar serta memiliki beberapa puncak dan lembah. Histogram citra dari kelima sampel diatas diperoleh informasi yaitu titik intensitas piksel minimal (gelap) rata-ratanya bernilai 31, intensitas piksel pertengahan dengan jumlah piksel yang dominan memiliki rata-rata 128, dan intensitas piksel maksimal (terang) dengan rata-rata nilai 254. Nilai threshold yang ditetapkan adalah 78, 105, 132, 178, 206, dan 237, yang diambil berdasarkan acuan puncak dan lembah histogram. Untuk citra hand lay up yang lainnya, nilai threshold tidak dilakukan optimasi, sehubungan dengan derajat keabuan dari citra tersebut adalah variatif.

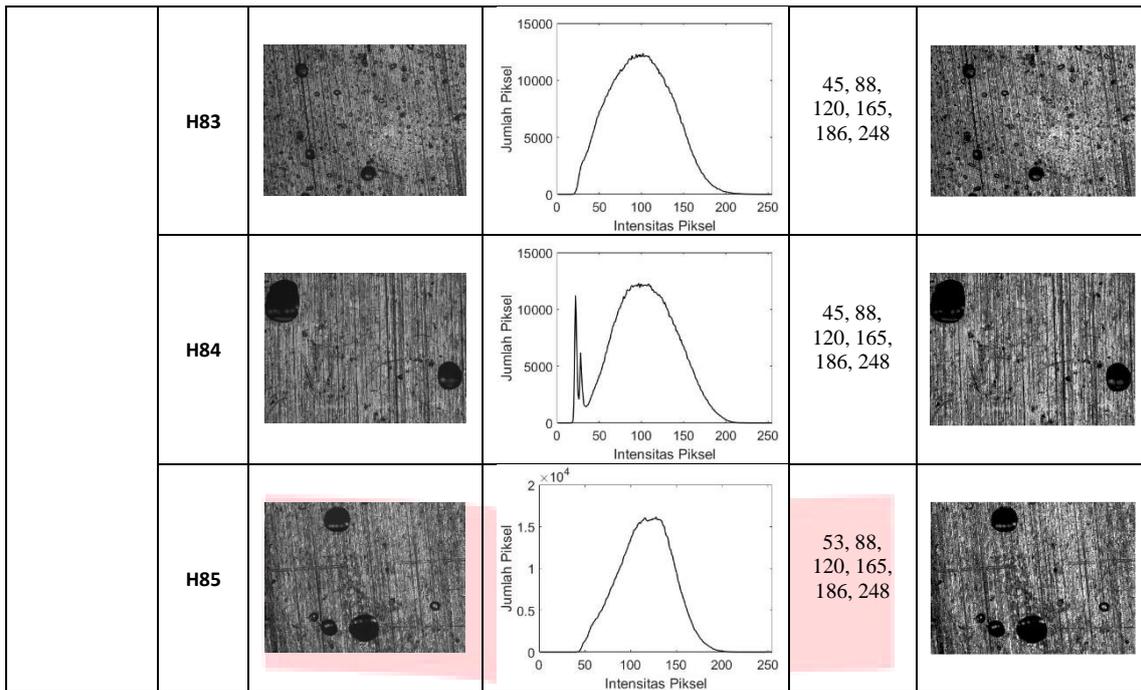
3.1.3 Alat Laminasi Terkendali

Bahan komposit yang dibuat menggunakan alat laminasi terkendali ini terbagi berdasarkan 3 jenis kecepatan roller, yaitu 2 cm/s, 3 cm/s, dan 4 cm/s [7]. Untuk citra *grayscale*, histogram serta citra *multilevel threshold* ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Citra Grayscale, Histogram dan Citra *Multilevel Threshold* Jenis Alat Laminasi Terkendali Berdasarkan Kecepatan Roller

Kec.Roller (cm/s)	Kode	Citra <i>Grayscale</i>	Histogram	Nilai <i>Threshold</i>	Citra <i>Multi-threshold</i>
2	H61			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H62			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H63			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H64			53, 88, 120, 165, 186, 248	

	H65			53, 88, 120, 165, 186, 248	
3	H71			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H72			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H73			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H74			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	H75			53, 88, 120, 165, 186, 248	
	4	H81			53, 88, 120, 165, 186, 248
H82				53, 88, 120, 165, 186, 248	



Pada bahan komposit metoda laminasi terkendali terlihat memiliki pola seperti anyaman yang digambarkan sebagai fiber [7], serta memiliki intensitas piksel yang bervariasi. Hal ini ditandai dengan bentuk histogram yang lebar dan memiliki sedikit puncak/lembah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Jumlah piksel lebih dominan pada rentang intensitas piksel 80-100. Nilai *threshold* yang digunakan pada gambar pertama adalah 53, 88, 120, 165, 186, dan 248, serta dilakukan pengecekan terhadap gambar lainnya untuk mendapatkan citra *multilevel threshold* yang baik. Terdapat 2 citra laminasi kecepatan *roller* 4 cm/s yang dilakukan optimasi nilai *threshold*.

3.2 Perbandingan Hasil Pengolahan Citra dan Hasil Uji Mekanik

Untuk mengetahui hubungan keseragaman penyebaran resin dengan sifat mekanik bahan komposit, maka dilakukan cara untuk membandingkan antara analisis citra *multilevel threshold* dengan hasil uji mekanik yang telah diperoleh dari pengujian tarik bahan komposit. Analisis pengolahan citra tersebut berupa prosentase segmen intensitas citra, sedangkan untuk hasil mekanik bahan berupa nilai *tensile strength* dan modulus Young. Hasil analisis citra *multilevel threshold* ketiga metoda laminasi *lay up* berupa data prosentase intensitas piksel tiap segmen dapat diuraikan ke dalam Tabel 4.

Tabel 4 Prosentase Intensitas Citra *Multilevel Threshold* Tiap Segmen

Jenis Laminasi	Kode	Persentase Intensitas Piksel Tiap Segmen (%)								
		1	2	3	4	5	6	7	Gab 1-3	Gab 4-7
Dry Lay-up	d5	1.793	12.207	45.158	25.718	13.574	1.546	0.003	59.158	40.841
	d6	0.613	1.363	4.780	29.743	57.554	5.947	0.001	6.756	93.245
	d7	0.115	8.525	19.837	41.732	27.293	2.497	0.000	28.477	71.522
	d8	0.173	8.297	30.428	24.563	30.939	5.536	0.064	38.898	61.102
	d9	0.267	12.695	23.719	18.943	36.345	7.986	0.045	36.681	63.319
Hand Lay-up	wn5	8.446	18.917	23.219	32.095	11.409	5.479	0.440	50.582	49.423
	wn6	6.844	17.063	23.018	34.935	10.964	6.464	0.712	46.925	53.075
	wn7	9.901	19.137	24.065	33.093	11.089	2.303	0.412	53.103	46.897
	wn8	7.893	15.402	22.704	30.264	13.585	9.534	0.618	45.999	54.001
	wn9	5.785	13.808	22.542	40.528	12.919	4.001	0.416	42.135	57.864
Roller 2 cm/s	h61	3.214	21.375	30.054	28.592	7.647	9.107	0.012	54.643	45.358
	h62	0.002	5.592	42.032	48.973	2.795	0.606	0.001	47.626	52.375
	h63	1.128	15.145	39.705	35.363	5.466	3.191	0.002	55.978	44.022
	h64	5.155	24.212	23.640	24.774	8.225	13.951	0.044	53.007	46.994
	h65	0.819	16.770	36.321	42.426	3.234	0.421	0.009	53.910	46.090
Roller 3 cm/s	h71	8.582	30.414	31.870	24.313	3.225	1.596	0.000	70.866	29.134
	h72	7.558	33.278	28.406	23.040	4.695	3.022	0.000	69.242	30.757
	h73	8.472	28.661	30.364	23.799	4.789	3.906	0.000	67.497	32.494
	h74	6.140	26.332	39.697	25.677	1.752	0.403	0.000	72.169	27.832
	h75	3.346	40.413	33.059	18.104	2.946	2.222	0.001	76.818	23.273
Roller 4 cm/s	h81	11.718	27.872	28.688	27.776	3.342	0.605	0.000	68.278	31.723
	h82	6.861	32.711	33.370	24.522	2.111	0.426	0.000	72.942	27.059
	h83	6.373	33.502	30.898	25.982	2.594	0.650	0.000	70.773	29.226
	h84	7.002	28.535	31.105	28.637	3.869	0.852	0.000	66.642	33.358
	h85	8.485	29.099	32.722	24.092	3.709	1.892	0.001	70.306	29.694

Berdasarkan pada Tabel 4.4, segmen yang dimulai dari 1 sampai dengan 7 dideskripsikan sebagai daerah citra multilevel threshold dengan prosentase intensitas mulai dari yang paling rendah (gelap) sampai dengan yang paling tinggi (terang). Dalam intensitas piksel yang rendah, segmen yang mewakili adalah Segmen 1, Segmen 2 dan Segmen 3, sedangkan segmen yang mewakili intensitas piksel yang tinggi terdapat pada Segmen 4, Segmen 5, Segmen 6, dan Segmen 7. Untuk melihat keterkaitannya dengan sifat mekanik, setiap segmen dibandingkan dengan hasil uji mekanik secara bertahap. Namun hal tersebut belum dapat dilihat kaitannya, sehingga dilakukan penggabungan segmen sebagai referensi tambahan untuk mengetahui hubungannya secara jelas. Segmen 1-3 (Gab 1-3) merupakan penggabungan dari segmen yang gelap, sedangkan pada segmen 4-7 (Gab 4-7) merupakan penggabungan dari segmen yang terang. Selanjutnya, gabungan segmen tersebut dipilih untuk dibandingkan dengan hasil uji mekanik bahan komposit yang berupa nilai tensile strength dan modulus Young. Untuk menyesuaikan data mekaniknya, maka analisis citra dilakukan pada kelima sampel untuk setiap metoda lay up. Khusus untuk laminasi dengan alat terkendali dikategorikan berdasarkan kecepatan roller, yaitu 2 cm/s, 3 cm/s dan 4 cm/s.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa citra bahan komposit dapat dianalisis dengan menggunakan metoda *multilevel threshold*. Metoda ini dilakukan dengan cara mengklasifikasikan berdasarkan intensitas pikselnya menjadi daerah yang memiliki banyak void dan daerah yang tertutup resin. Hasil analisis citra multilevel threshold menunjukkan bahwa komposit yang dibuat dengan teknik *dry lay up* selalu konsisten memiliki *tensile strength* yang kuat, jika jumlah prosentase *void* lebih kecil. Komposit yang dibuat dengan teknik yang lain (*hand lay up* dan laminasi) belum menunjukkan hasil yang konsisten. Selain itu, tidak ada keterkaitan antara modulus Young dengan jumlah *void*.

Daftar Pustaka

- [1] Mohd Aidy Faizal, Yeo Kiam Beng dan Mohd Noh Dalimin. Tensile Property Of Hand Lay-Up Plain-Weave Woven E-Glass/Polyester Composite: Curing Pressure And Ply Arrangement Effect. Center of Materials and Minerals (CMM), Universiti Malaysia Sabah.
- [2] Skramstad, John D. Evaluation of Hand Lay-up and Resin Transfer Molding in Composite Wind Turbine Blade Manufacturing.
- [3] Jain, K.Anil dan Marie-Pierre Dubuisson. Segmentation of X-Ray and C-Scan Images of Fiber Reinforced Composite Materials.
- [4] Mehmet Sezgin dan Bulent Sankur. Selection of Thresholding Methods for Non Destructive Testing Applications
- [5] Silva, Duarte. 2014. Methodology Analysis for Evaluation of Drilling-Induced Damage in Composites.
- [6] Hammouche, Kamal. 2007. A Multilevel Automatic Thresholding Method Based on a Genetic Algorithm for Fast Image Segmentation.
- [7] Jatmiko, Agus. Analisis Pengaruh Proses Laminasi Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit dan Rancang Bangun Alat Wet Lay up Composites Sederhana. Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. 2016.
- [8] Callister, William D. 2007. Materials Science and Engineering: An Introduction 7th Edition. USA: John Wiley & Sons
- [9] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing - Third Edition", Addison-Wesley, Publishing, 2002
- [10] Chris Solomon and Toby Breckon, "Fundamentals of Digital Image Processing - A Practical Approach with Examples in Matlab", Willey-Blackwell, Publishing 2011
- [11] <https://id.scribd.com/doc/56561098/Pengolahan-Citra-histogram>
- [12] Pubiyangga, Bima. Identifikasi Kondisi Pita Suara Untuk Deteksi Kelainan Pita Suara Dengan Metode Moore Neighbor Tracing. Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. 2015.
- [13] Mahastama, Aditya Wikan. 2010. Histogram dan Operasi Dasar Pengolahan Citra Digital.