

## *Knitting Fabric with Fractal Geometry: Fractal Theory Applied to Industry 4.0*

### **Kain Rajut dengan Geometri Fraktal: Teori Fraktal yang Diterapkan pada Industri 4.0**

Taufik Munandar<sup>1)</sup>, Muhammad Ihsan Ardiansyah<sup>2)</sup> dan Valentinus Galih Vidia Putra<sup>3\*)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Tekstil, Politeknik STTT, Bandung, 40272

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Tekstil, Politeknik STTT, Bandung, 40272

<sup>3)</sup> Program Studi Teknik Tekstil, Politeknik STTT, Bandung, 40272

Email: Valentinus@kemenperin.go.id

\*) Corresponding author

**Abstract:** *Knitted fabrics have complex and repetitive patterns, similar to fractal geometry, where fractal theory can be applied in industry 4.0 to optimize the design, production and analysis of complex and efficient textile structures. This study aims to reduce electromagnetic radiation using conductive knit fabrics patterned with fractal geometry and non-conductive knit fabrics with similar patterns. Tests included raw materials (yarn) and fabrics. The yarn was tested using FTIR and SEM, while the fabric was tested for anti-radiation reduction and aesthetics. Conductive yarns of stainless steel polyester filament were interlaced with acrylic yarn using the jacquard technique on a Stoll CMS 540 HP automatic flat knitting machine. The results showed that the conductive knit fabric patterned with fractal geometry was better at absorbing electromagnetic radiation than the non-conductive knit fabric. The radiation test was conducted with sources from smartphones and computer screens at a distance of 10 cm, 20 cm, and 30 cm, while the aesthetic test was conducted using a questionnaire. The novelty of this research lies in the application of fractal geometry motifs, which enhance the protective and aesthetic functions of the fabric, resulting in a functional textile with high visual appeal.*

**Keywords:** *functional textiles, conductive yarn, knitting, anti-radiation, geometry fractal*

**Abstrak:** Kain rajut memiliki pola yang rumit dan berulang, mirip dengan geometri fraktal, di mana teori fraktal dapat diterapkan dalam industri 4.0 untuk mengoptimalkan desain, produksi, dan analisis struktur tekstil yang kompleks dan efisien. Penelitian ini bertujuan mengurangi radiasi elektromagnetik menggunakan kain rajut konduktif bermotif geometri fraktal dan kain rajut non-konduktif bermotif serupa. Pengujian meliputi bahan baku (benang) dan kain. Pengujian benang menggunakan FTIR dan SEM, sementara kain diuji untuk pengurangan anti radiasi dan estetika. Benang konduktif dari stainless steel polyester filament disisipkan dengan benang akrilik menggunakan teknik jacquard di mesin rajut datar otomatis Stoll CMS 540 HP. Hasil menunjukkan kain rajut konduktif bermotif geometri fraktal lebih baik dalam menyerap radiasi elektromagnetik dibandingkan kain rajut non-konduktif. Pengujian radiasi dilakukan dengan sumber dari telepon pintar dan layar komputer pada jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, sedangkan pengujian estetika dilakukan dengan menggunakan kuesioner. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan motif geometri fraktal, yang meningkatkan fungsi protektif dan estetika kain, menghasilkan tekstil fungsional dengan daya tarik visual tinggi.

**Kata Kunci:** tekstil fungsional, benang konduktif, perajutan, anti radiasi, geometri fraktal

DOI: <https://doi.org/10.37577/sainteks.v6i02.772>

Received: 07, 2024. Accepted: 08, 2024.

Published: 09, 2024

## **PENDAHULUAN**

Semakin berkembangnya zaman, perkembangan teknologi ponsel juga semakin modern. Telepon pintar tidak hanya berfungsi sebagai alat komunikasi, tetapi juga sebagai sarana untuk bertukar pengetahuan, pengalaman, informasi, dan hal-hal lainnya (Pratama, 2023), (Nadia Aprilia & Shabrina Anshor, 2021). Telepon pintar merupakan salah satu alat komunikasi nirkabel yang menggunakan gelombang radio sebagai medianya. Keunggulan utama penggunaan gelombang radio dibandingkan dengan penggunaan kabel adalah kemampuannya untuk digunakan secara mobile, yang memungkinkan pengguna untuk berkomunikasi di berbagai tempat dengan syarat terdapat sinyal yang mencukupi (Mahardika, 2008). Penggunaan telepon pintar juga tidak memerlukan instalasi yang rumit seperti pada pemasangan telepon rumah yang menggunakan kabel (Idayati, 2011). Telepon pintar pada dasarnya adalah perangkat radio yang mengirimkan dan menerima sinyal dalam bentuk gelombang ke stasiun basis atau menara seluler (Ahlbom, et al., 2008). Gelombang frekuensi radio yang digunakan dalam ponsel terkadang menimbulkan kekhawatiran terkait dampak negatif pada kesehatan manusia. Menurut Kesari et al. (2013), saat ini, sekitar sepertiga populasi dunia menggunakan telepon pintar untuk kebutuhan komunikasi dikarenakan kemampuannya yang dapat digunakan secara mobile. Walaupun telepon pintar memiliki banyak kelebihan, telepon pintar juga memiliki beberapa kekurangan seperti isu-isu tentang bahaya telepon pintar terhadap kesehatan tubuh manusia, salah satunya adalah radiasi (Putra et al., 2020).

Radiasi adalah bentuk energi yang berpindah melalui materi dalam bentuk panas, partikel, atau gelombang elektromagnetik (Ariswati, 2017). Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi antara medan listrik dan medan magnet yang bergerak secara bergantian, tegak lurus satu sama lain, dan juga tegak lurus terhadap arah rambatan energi (Bhargavi et al., 2013). Sumber radiasi terbagi menjadi dua, yaitu sumber radiasi alamiah dan sumber buatan. Sumber alamiah radiasi elektromagnetik antara lain matahari, bintang, dan fenomena alam seperti tornado. Sementara itu, sumber buatan radiasi elektromagnetik meliputi laser, antena radio, ledakan nuklir, dan piranti elektronika (Manarisip et al., 2015). Dalam kehidupan era modern saat ini, telepon pintar adalah salah satu sumber radiasi yang memiliki dampak negatif bagi kesehatan manusia.

Menurut Sumbayak (2017), dampak radiasi dari telepon pintar dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Sumbayak (2017) menyatakan bahwa semakin canggih teknologi telepon pintar dan semakin lama penggunaannya, semakin tinggi potensi dampak negatif dari penggunaan telepon pintar. Salah satu contohnya adalah data yang dikeluarkan oleh Federasi Jerman yang menyatakan bahwa 10 dari 16 telepon pintar yang disediakan oleh salah satu produsen memiliki tingkat radiasi lebih tinggi dibandingkan dengan telepon pintar lainnya (Putra et al., 2020). Putri & Harliansyah (2018), melaporkan bahwa salah satu dampak yang ditimbulkan oleh radiasi elektromagnetik adalah gangguan tidur, atau insomnia, yang disebabkan oleh menurunnya produksi hormon melatonin. Terdapat pula dampak negatif radiasi elektromagnetik bagi manusia, seperti meningkatnya risiko penyakit sakit kepala, Alzheimer, kelelahan yang tidak wajar / fatigue, serta risiko terjadinya tumor dan kanker otak (Pratama et al., 2021). Selain dampak fisik, paparan radiasi elektromagnetik juga dapat berpengaruh pada kesehatan psikologis manusia, seperti meningkatkan tingkat stres dan menyebabkan ketidaknyamanan (Tarigan et al., 2012).

Stress dan ketidaknyamanan yang disebabkan oleh radiasi elektromagnetik bisa dikurangi dengan mengurangi paparan radiasi tersebut. Salah satu cara untuk mengurangi paparan radiasi elektromagnetik adalah dengan menggunakan material konduktif. Material konduktif adalah bahan yang memiliki kemampuan untuk menghantarkan arus listrik (Rahma Yani et al., 2019).

Salah satu material konduktif yang dapat ditemui dalam industri tekstil adalah benang konduktif. Benang konduktif adalah benang yang memiliki sifat untuk menghantarkan arus listrik. Benang ini terbuat dari campuran serat logam mulia atau serat alam dengan bahan konduktif lainnya (Indriani et al., 2021). Beberapa peneliti telah merancang kain anti radiasi berbahan material konduktif. Aplikasi dari benang konduktif ini akan menghasilkan kain anti radiasi dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode perajutan. Sejarah perajutan

telah dimulai sejak ratusan atau bahkan ribuan tahun yang lalu. Pekerjaan merajut umumnya dilakukan oleh kaum wanita dengan cara membuat jeratan-jeratan benang yang dirangkai satu sama lain untuk membentuk kain (Heansa et al., 2020). Perajutan merupakan sebagai proses pembuatan kain dengan menjeratkan lengkung jeratan benang / loop of yarn satu dengan yang lainnya (Moeliono & Santoso, 2011) dimana lengkungan yang satu dijeratkan pada lengkungan yang lainnya sehingga tersusun jeratan-jeratan ke arah panjang dan lebar kain. Adapun jeratan ke arah panjang kain disebut wale , sedangkan jeratan ke arah lebar kain disebut course (Yusniar et al., 2011). Taufik Munandar (2020) merancang suatu bahan tekstil anti radiasi dari kain rajut berbahan benang konduktif untuk penggunaan aplikasi anti radiasi elektromagnetik serta melakukan pengujian sifat kenyamanan kain tersebut. Metode yang dilakukan adalah dengan cara menyisipkan benang konduktif pada proses perajutan. Kelemahan pada penelitian tersebut adalah kain anti radiasi tersebut belum memperhatikan aspek estetika seperti motif pada kain rajut anti radiasi. Dalam penelitian lain mengenai kain rajut anti radiasi, Lee (2022) menyatakan bahwa terdapat suatu korelasi antara fungsionalitas dan kenyamanan kain konduktif yang dapat dipertimbangkan untuk pakaian pintar seperti perubahan sifat mekanik, elektrik, dan kenyamanan kain rajutan berdasarkan rasio pencampuran benang konduktif dengan menggunakan mesin stoll cms 330 hp. Kelemahan pada penelitian ini adalah aspek estetika belum diteliti. Untuk mengatasi kelemahan dari beberapa penelitian mengenai kain rajut anti radiasi khususnya aspek estetika maka pada penelitian ini kain rajut anti radiasi dengan motif geometri fraktal menjadi relevan karena kombinasi antara fungsi protektif dan estetika yang menarik. Kain rajut, dengan pola yang berulang dan kompleks, dapat dianalisis menggunakan geometri fraktal untuk memahami struktur dan keteraturannya pada berbagai skala. Dalam konteks Industri 4.0, teori fraktal diterapkan untuk mengotomatisasi dan mengoptimalkan proses produksi kain rajut, memungkinkan desain yang lebih efisien, prediksi kualitas tekstil yang lebih akurat, serta pengurangan limbah melalui pemodelan pola yang lebih presisi dan adaptif. Pendekatan ini memanfaatkan analisis data dan teknologi digital untuk menciptakan produk tekstil dengan performa tinggi dan estetika yang konsisten.

Dalam konteks ini, perancangan kain rajut anti radiasi dilakukan dengan menggunakan motif geometri fraktal. Fraktal adalah suatu bentuk geometris yang memiliki pola berulang pada berbagai skala, dan dapat dibagi-bagi dalam bentuk yang lebih kecil (Romadiastri, 2013). Kurva pengisian ruang, yang sering disebut sebagai kurva Peano setelah penemunya, adalah garis rumit yang melewati semua titik dalam volumenya. Kurva Hilbert adalah jenis khusus dari kurva pengisian ruang yang memastikan setiap titik dalam ruang dapat ditemukan dengan akurasi tinggi dengan menjaga jarak sepanjang garis secara presisi (Skilling, 2004). Dewi et al. (2022) telah menerapkan aspek estetika menggunakan teori geometri fraktal pada tekstil. Pada penelitiannya, Dewi et al. (2022) menunjukkan bahwa telah dibuat kain motif fraktal yang diharapkan dapat menghasilkan variasi motif kain jumputan. Kelemahan pada penelitian tersebut adalah hasil kajian belum mempertimbangkan aspek fungsionalitas seperti anti radiasi dalam pembuatannya.

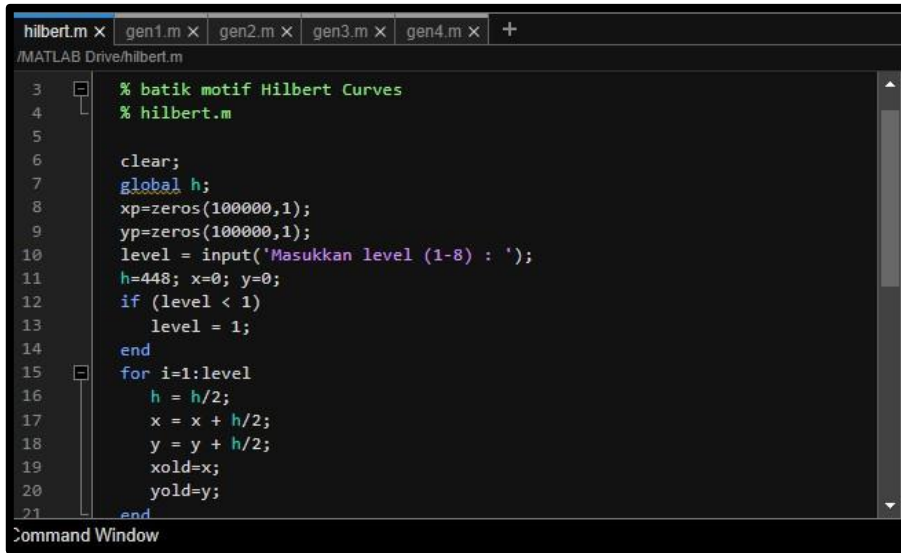
Berdasarkan hasil studi literatur diatas, maka kebaruan penelitian bertujuan untuk merancang suatu kain rajut yang memiliki fungsi dan memiliki aspek estetika. Kebaruan penelitian ini adalah suatu kain rajut anti radiasi dengan motif geometri fraktal menggunakan bahan baku benang konduktif stainless steel. Manfaat dari penelitian ini adalah hasil kain dapat digunakan oleh praktisi, masyarakat umum, dan akademisi yang berkecimpung pada ranah tekstil medis serta tekstil elektronik.

## **METODOLOGI**

Dalam penelitian ini, benang yang digunakan adalah benang konduktif stainless steel polyester dengan nomor benang 300/3, dan benang akrilik dengan nomor benang Ne 32/2. Benang konduktif kemudian diuji terlebih dahulu menggunakan beberapa metode pengujian. Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) dilakukan untuk mengetahui permukaan sampel dengan

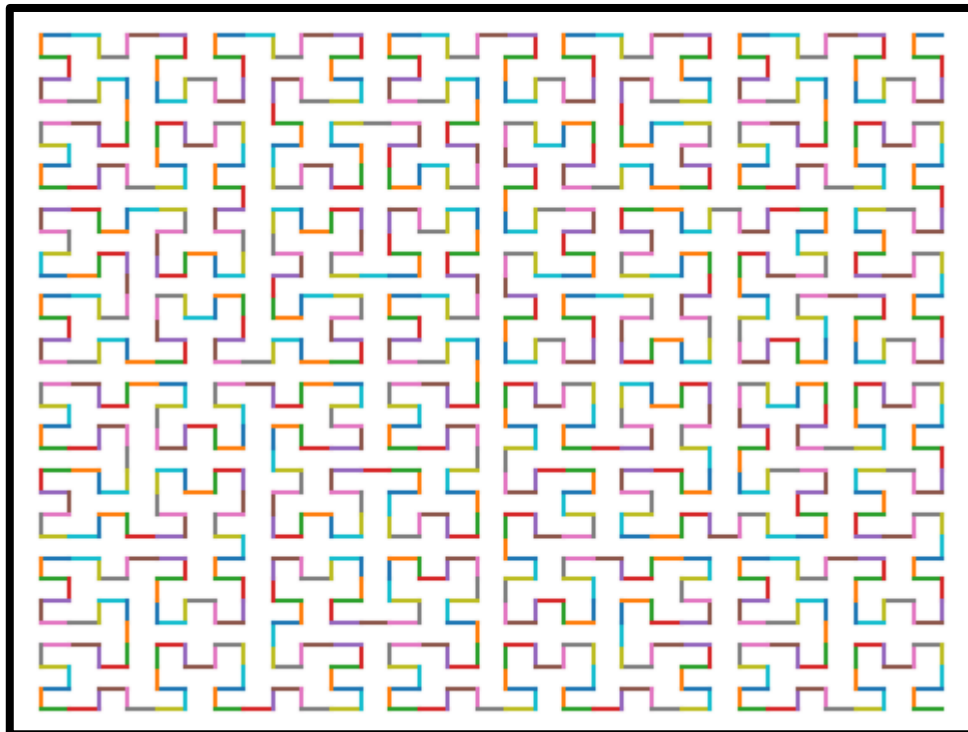
resolusi tinggi, yang memberikan gambaran mendetail mengenai morfologi dan struktur permukaan benang. Pengujian FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) juga dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kimia dan sifat fisik dari sampel yang digunakan.

Setelah selesai melakukan pengujian benang, desain geometri fraktal dirancang menggunakan aplikasi MATLAB. Desain yang telah selesai kemudian diekspor ke dalam aplikasi pembuat motif (M1 Plus) dan disesuaikan dengan panjang dan lebar yang diinginkan. Motif yang sudah selesai kemudian dimasukkan ke dalam flashdisk dan dihubungkan pada mesin rajut datar otomatis Stoll CMS 540 HP.

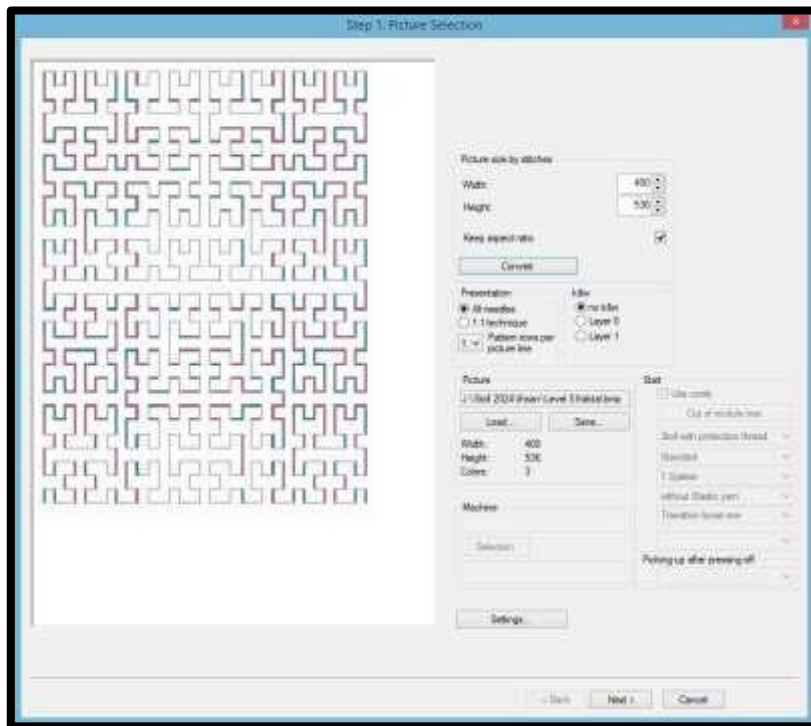


```
hilbert.m x gen1.m x gen2.m x gen3.m x gen4.m x +
/MATLAB Drive/hilbert.m
3 % batik motif Hilbert Curves
4 % hilbert.m
5
6 clear;
7 global h;
8 xp=zeros(100000,1);
9 yp=zeros(100000,1);
10 level = input('Masukkan level (1-8) : ');
11 h=448; x=0; y=0;
12 if (level < 1)
13     level = 1;
14 end
15 for i=1:level
16     h = h/2;
17     x = x + h/2;
18     y = y + h/2;
19     xold=x;
20     yold=y;
21 end
Command Window
```

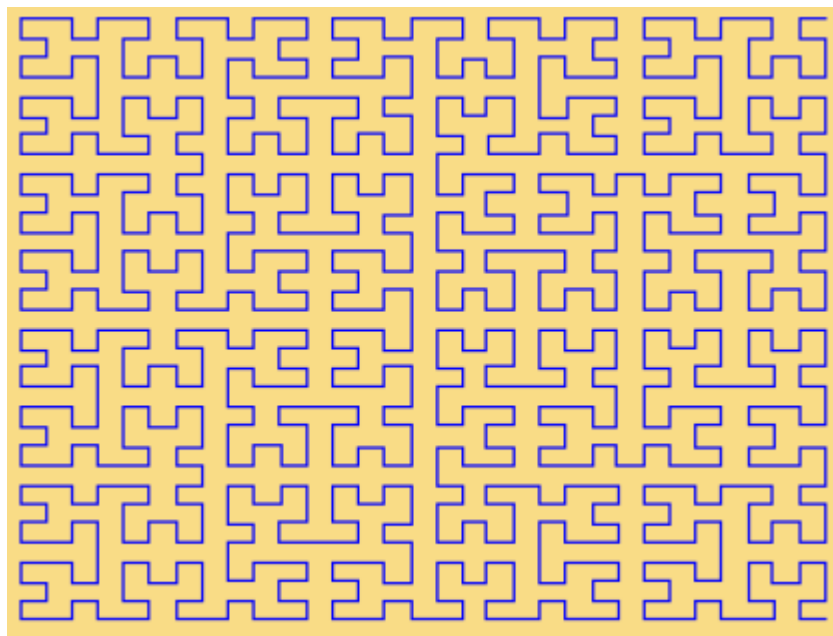
Gambar 1. Pembuatan Desain Fraktal Pada Aplikasi Matlab



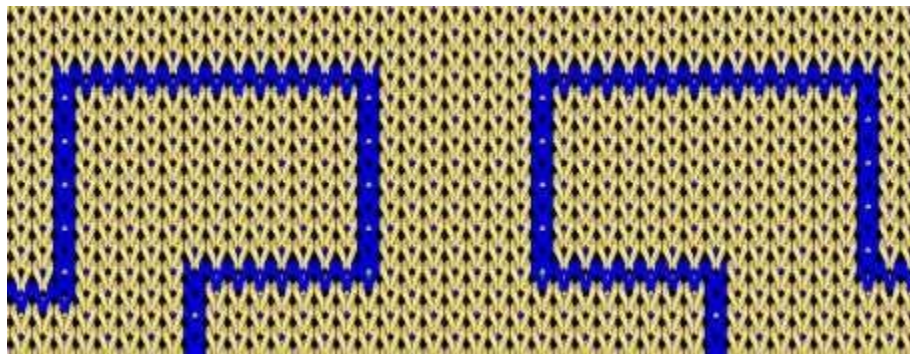
Gambar 2. Hasil Desain Fraktal Yang Dihasilkan



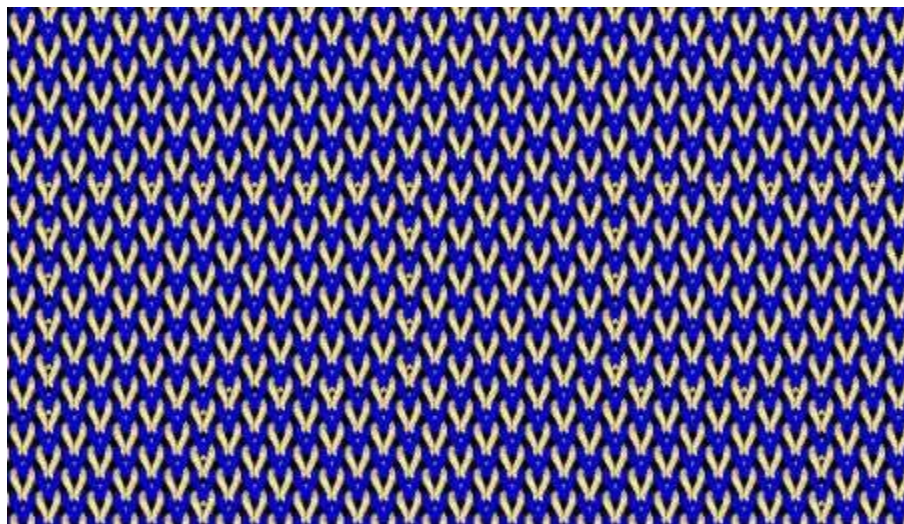
**Gambar 3. Pembuatan Motif Fraktal Pada Aplikasi M1 Plus**



**Gambar 4. Hasil Motif Fraktal Pada Aplikasi M1 Plus**



**Gambar 5. Diagram Jeratan Permukaan Depan**

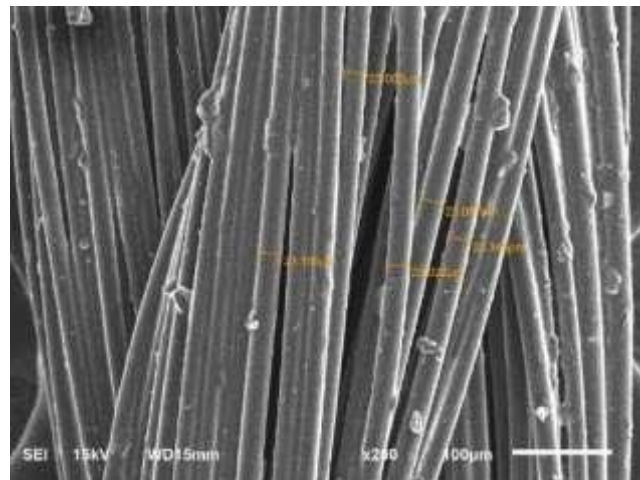


**Gambar 6. Diagram Jeratan Permukaan Belakang**

Dalam eksperimen ini, dua jenis kain dibuat: kain pertama menggunakan benang konduktif sebagai motif dan benang akrilik sebagai dasar, sedangkan kain kedua menggunakan benang akrilik sebagai motif dan benang akrilik sebagai dasar. Kain yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian untuk mengukur efektivitas pengurangan radiasi dan juga estetika secara visual. Pengujian pengurangan radiasi dilakukan dengan membandingkan radiasi yang dihasilkan oleh layar komputer dan telepon pintar pada jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengujian ini menggunakan alat pengukur radiasi (radiation tester) terhadap kain rajut konduktif, kain rajut non-konduktif, dan kondisi tanpa kain. Hasil dari pengujian ini akan memberikan informasi mengenai efektivitas kain rajut konduktif dalam mengurangi paparan radiasi dibandingkan dengan kain rajut non-konduktif dan kondisi tanpa perlindungan kain, sedangkan pengujian estetika dilakukan melalui kuesioner online yang dibuat dengan menggunakan Google Form. Kuesioner disusun dengan pertanyaan yang difokuskan pada aspek estetika secara visual. Kuesioner tersebut kemudian didistribusikan kepada para mahasiswa Politeknik STTT Bandung melalui platform komunikasi yang digunakan secara umum, seperti email atau grup media sosial.

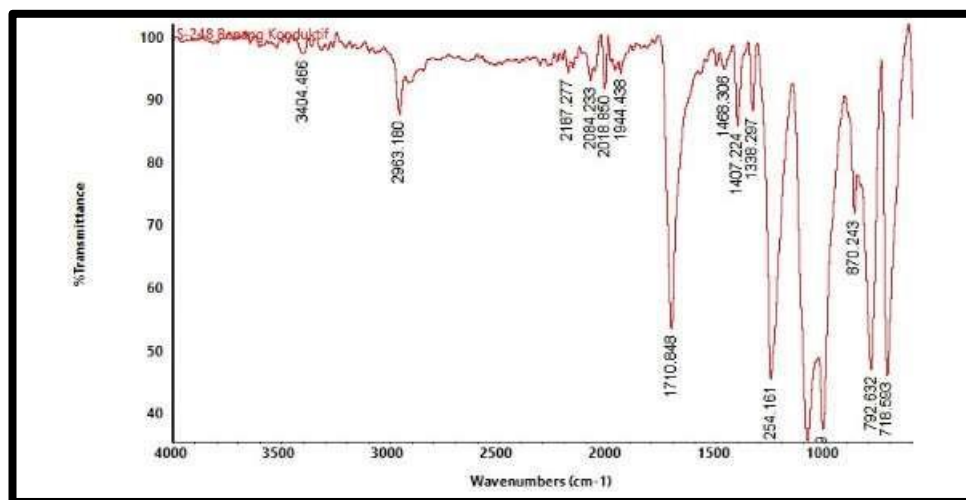
#### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengamatan SEM dilakukan dengan menggunakan tegangan 15 kV dan pembesaran 200× (Gambar 7). Hasil pengujian FTIR menunjukkan gugus fungsi yang ada serta kedalaman transmittance pada benang konduktif (Gambar 8). Hasil pengujian radiasi menunjukkan bahwa kain rajut fraktal konduktif dapat menyerap radiasi lebih baik dibanding kain rajut fraktal non konduktif (Tabel 2).



**Gambar 7. Hasil SEM Benang Konduktif**

Hasil pengujian SEM yang dilakukan di Laboratorium SEM Institut Teknologi Bandung mengungkapkan bahwa diameter rata-rata benang konduktif mencapai 23.129 mikrometer. Hasil pengamatan pada Gambar 7 menunjukkan struktur morfologi permukaan benang yang terdiri dari filamen-filamen yang hampir seragam, menjelaskan bahwa benang ini memiliki kerataan yang baik.

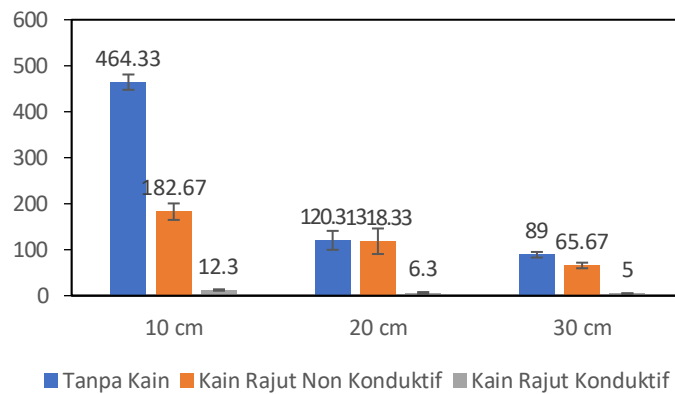


**Gambar 8. Hasil FTIR Benang Konduktif.**

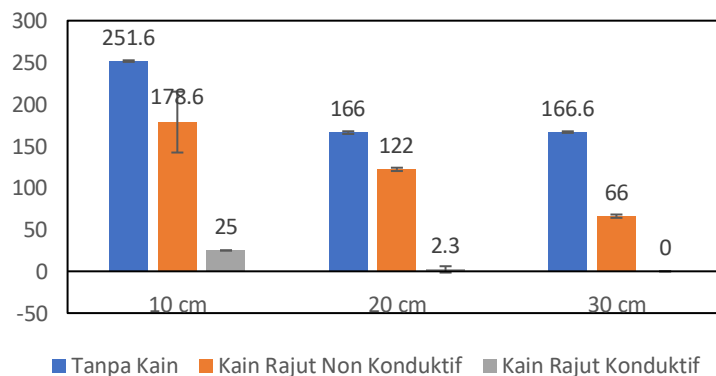
Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil FTIR pada kain kontrol menunjukkan adanya gugus C-H yang terdapat pada bilangan gelombang 2963,18 cm<sup>-1</sup> pada transmittansi 87,2%. Kemudian gugus C=O terdapat pada bilangan gelombang 1710,85 cm<sup>-1</sup> pada transmittansi 53,27%. Gugus C-O terdapat pada bilangan gelombang 1086 cm<sup>-1</sup> pada transmittansi 35,25%.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Radiasi**

Sumber Radiasi	Jarak (cm)	Tanpa Kain (V/m)	Kain Non Konduktif (V/m)	Kain Konduktif (V/m)	efektifitas penurunan tingkat radiasi elektromagnetik antara penggunaan kain konduktif dibandingkan kain non konduktif (%)	Rerata penurunan tingkat radiasi pada jarak 10 hingga 30 cm untuk kain konduktif terhadap kontrol (tanpa kain)
Layar Komputer	10	464,33	182,6	12,3	93,26396	452,03
	20	120,33	118,3	6,3	94,67456	114,03
	30	89	65,6	5	92,37805	84,0
Layar Telepon Pintar	10	251,6	178,6	25	86,00224	226,6
	20	166	122	2,3	98,11475	163,7
	30	166,5	66	0	100	166,5



**Gambar 9. Hasil Pengujian Radiasi pada Layar Komputer Nilai Radiasi (V/M) terhadap Jarak dari Sumber Radiasi (Cm).**



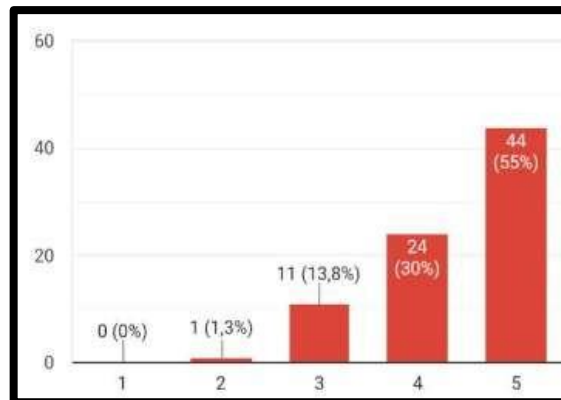
**Gambar 10. Hasil Pengujian Radiasi pada Layar Komputer pada Nilai Radiasi (V/m) terhadap Jarak dari Sumber Radiasi (cm).**

Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa kain rajut konduktif memiliki pengurangan radiasi paling signifikan dibanding kain rajut non konduktif dikarenakan kain rajut non-konduktif menyerap sedikit radiasi (nilai radiasi berada pada nilai lebih dari 10 V/m). Sebagian besar radiasi yang terserap adalah karena warna kain, struktur geometri, serta benang konduktif pada kain (Putra et al., 2020). Warna kain yang gelap (Gambar 11 A) menyerap radiasi lebih baik dibandingkan kain non konduktif pada Gambar 11 B, karena sifat absorptif pigmen gelap kain rajut fraktal konduktif memiliki struktur kimia yang memungkinkan mereka menyerap lebih banyak energi cahaya (Paminto, et al. 2021). Ketika radiasi elektromagnetik seperti cahaya mencapai permukaan bahan konduktif yang berwarna gelap, pigmen-pigmen ini menyerap energi gelombang elektromagnetik dan merubahnya menjadi energi panas, sehingga menyebar dan menyerap radiasi tersebut. Sebaliknya, bahan berwarna terang atau putih cenderung memantulkan lebih banyak energi cahaya, sehingga menyerap sedikit energi radiasi.

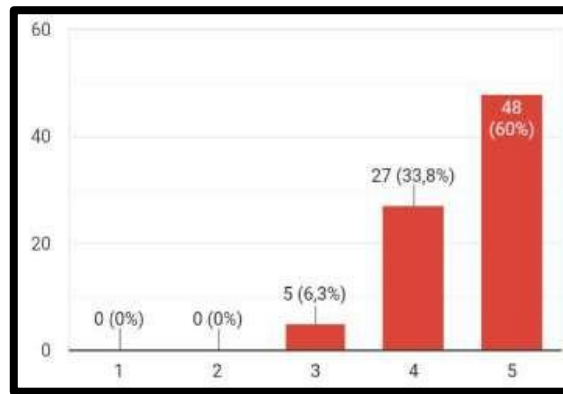


**Gambar 11. Kain Rajut Fraktal Konduktif (A), Kain Rajut Fraktal Non-konduktif (B).**

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan bahwa terdapat nilai estetika yang sangat baik pada kain rajut fraktal konduktif pada pengujian 80 responden mahasiswa fashion desain dengan 55% mahasiswa menjawab kain rajut fraktal konduktif memiliki nilai estetika yang sangat baik. Rentang nilai 1 hingga 5 menunjukkan rentang nilai sangat buruk hingga sangat baik

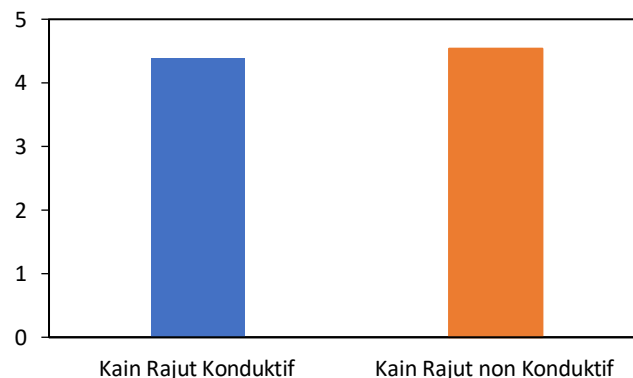


**Gambar 12. Hasil Pengujian Estetika Kain Rajut Fraktal Konduktif pada Jumlah Responden terhadap Rentang Nilai Estetika .**



**Gambar 13. Hasil Pengujian Estetika Kain Rajut Fraktal Non-konduktif pada jumlah responden terhadap rentang nilai estetika.**

Gambar 14 di bawah ini menunjukkan perbandingan nilai uji estetika terhadap 80 responden.



**Gambar 14. Perbandingan Hasil Pengujian Estetika Nilai Estetika Sangat Baik (nilai 5) terhadap Jenis Kain Rajut.**

Pada hasil pengujian estetika diketahui bahwa kain rajut non konduktif memiliki nilai estetika yang lebih tinggi sebesar 4%. Tingginya nilai estetika pada kain rajut non-konduktif dapat dijelaskan oleh sifat-sifat khusus dari serat akrilik. Akrilik cenderung memiliki tingkat mengkerut yang lebih rendah dibandingkan dengan benang konduktif seperti stainless steel. Mengkerut yang rendah ini menghasilkan kain dengan permukaan yang lebih halus dan teratur, memberikan kesan visual yang lebih baik saat dilihat. Hal ini membuat kain akrilik lebih diminati dalam aspek estetika, terutama dalam penampilan.

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain rajut dengan menggunakan benang konduktif stainless steel polyester dapat dirajut dengan baik pada mesin rajut Stoll CMS 540HP. Temuan ini membuktikan bahwa mesin tersebut mampu memproses material konduktif secara efektif untuk aplikasi tekstil fungsional salah satunya sifat anti radiasi. Pengujian menunjukkan bahwa kain rajut konduktif memiliki kemampuan penyerapan radiasi yang lebih baik (besar radiasi terbaca 0-12,3 V/m) dibandingkan dengan kain rajut non-konduktif (89-464,33 V/m). Ini mengindikasikan bahwa penggunaan material konduktif dalam kain rajut dapat meningkatkan efektivitas perlindungan terhadap radiasi elektromagnetik. Pada pengujian estetika, kain rajut non-konduktif dinilai lebih baik karena benang akrilik memiliki tingkat mengkerut yang lebih rendah dibandingkan dengan benang konduktif

## **SARAN**

Pada pengujian estetika diharapkan benang yang dipakai disamakan warnanya Hal ini bertujuan untuk menghindari variasi visual yang disebabkan oleh perbedaan warna, sehingga penilaian estetika dapat lebih fokus pada tekstur, pola, dan kualitas rajutan

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Laboratorium Fisika Dasar dan Laboratorium Perajutan Politeknik STTT Bandung serta seluruh pihak yang telah membantu baik dalam bentuk moril maupun materil.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Anders Ahlbom, James Bridges, Rene de Seze, L. H., Jukka Juutilainen, Mats-Olof Mattsson, G. N., & Joachim Schuz, Myrtil Simko, K. B. (2008). Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health - Opinion of the Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). *Toxicology*, 246(2), 248–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tox.2008.02.004>
- Ariswati. (2017). *Fisika Kesehatan dalam Keperawatan*. Deepublish. <https://books.google.co.id/books?id=OUI9DwAAQBAJ>
- Bhargavi, K., Balachandrudu, K. E., & Nageswar, P. (2013). Mobile Phone Radiation Effects on Human Health. *International Journal of Computational Engineering Research*, 03(4).
- Dewi, N. R., Susanti, E., Hanum, H., Cahyawati, D., & Zayanti, D. A. (2022). Pengembangan Motif Fraktal Pada Usaha Produksi Kain Jumputan Palembang. *INTEGRITAS : Jurnal Pengabdian*, 6(1), 89. <https://doi.org/10.36841/integritas.v6i1.1335>
- Heansa, S. A., Prasetyaningtyas, W., & Suci, P. H. (2020). Kualitas Hasil Karpet Menggunakan Teknik Merajut (Knitting). *Fashion and Fashion Education Journal*, 9(1), 52–57. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ffe>
- Idayati, R. (2011). Pengaruh Radiasi Handphone Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 11(2), 115–120.
- Indriani, I., Sakina, S. I., & Widiawati, D. (2021). Penerapan Teknik Double Weaving Sebagai Sirkuit Tekstil Benang Konduktif Untuk Kain E-Textiles. *Arena Tekstil*, 36(1), 17–30. <https://doi.org/10.31266/at.v36i1.6905>
- Joko Paminto, Fianti, I. Y. (2021). Pengaruh Warna Permukaan Benda Terhadap Penyerapan Radiasi Matahari. *Physics Communication*. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/pc>
- Kesari, K. K., Siddiqui, M. H., Meena, R., Verma, H. N., & Kumar, S. (2013). Cell phone radiation exposure on the brain and associated biological systems. In *Indian Journal of Experimental Biology* (Vol. 51, Issue 3).
- Lee, S. (2022). Analysis of electrical and comfort properties of conductive knitted fabrics based on the blending ratio of silver-coated yarns for smart clothing. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 17. <https://doi.org/10.1177/15589250221104474>
- Mahardika, I. P. (2008). Efek Radiasi Elektromagnetik Ponsel Terhadap Kesehatan Manusia. *Jurnal*. [Http://Efek-Radiasi-Gelombang-Elektromagnetik-Pada-Ponsel](http://Efek-Radiasi-Gelombang-Elektromagnetik-Pada-Ponsel) (1): Pdf [18 Desember 2009].
- Manarisip, M., Rumampuk, J. F., & Pangemanan, D. H. C. (2015). Gambaran Gangguan Radiasi Handphone Terhadap Kesehatan Siswa Kelas Xi SMK Discovery Manado. *Jurnal Kedokteran Komunitas Dan Tropik*, 3(3).
- Moeliono, M., & Santoso, S. (2011). Kain Rajut Jadi (Whole Garment Knitting) Hasil Mesin Rajut Datar (Mrd). *Arena Tekstil*, 26(2). <https://doi.org/10.31266/at.v26i2.1176>
- Nadia Aprilia, E., & Shabrina Anshor, A. (2021). Pengaruh Penggunaan handphone Berbasis Android Terhadap Aktivitas Belajar Siswa Di Sd Negeri 107826 Pematang Sijonam. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Terpadu (JPPT)*.
- Pratama. (2023). Mekanisme Paparan Radiasi Handphone Pada Tubuh Manusia Saat Tidur.

- Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952., Mi, 5–24.
- Pratama, A., Jumingin, J., & Atina, A. (2021). Pengukuran Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler Berdasarkan Tipe Telepon. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 3(1), 19–23.
- Putra, V. G. V., Fitri, A. D., Purnama, I., & Mohamad, J. N. (2020). Removed: Prototipe Pakaian Anti Radiasi Unisex Sportswear Smartphone Dengan Paparan Radiasi Plasma Pijar Korona Elektroda Tip- Silinder. *Jurnal Kumparan Fisika*, 3(1), 19–24. <https://doi.org/10.33369/jkf.3.1.19-24>
- Putri, I., & Harliansyah, H. (2018). Hubungan Durasi Paparan Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Kadar Melatonin Pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Galur Wistar. *Jurnal Profesi Medika : Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan*, 12(1). <https://doi.org/10.33533/jpm.v12i1.337>
- Rahma Yani, S., Djamas dan Ramli Jurusan Fisika, D., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., & Negeri Padang Jl Hamka Air Tawar, U. (2019). Analisis Sifat Listrik Nanokomposit NiFe 2 O 4 /PANi Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel. *Pillar of Physics*, 12(1), 8–15.
- Romadiastri, Y. (2013). Batik Fraktal : Perkembangan Aplikasi Geometri. 158–164.
- Skilling, J. (2004). Programming the Hilbert curve. *American Institute of Physics*, 381–387. <https://doi.org/10.1063/1.1751381>
- Sumbayak, E. M. (2017). Dampak Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler terhadap Otak. *Jurnal Kedokteran Meditek*.
- Tarigan, T. R. P., Gani, U. A., & Rajagukguk, M. (2012). Studi Tingkat Radiasi Medan Elektromagnetik yang Ditimbulkan Oleh Telepon Selular. *Jurnal Universitas Tanjungpura*.
- Taufik Munandar. (2020). Studi Pembuatan Bahan Tekstil Anti Radiasi Elektromagnetik Dari Kain Rajut Berbahan Benang Konduktif.
- Yusniar, O. :, Balai, S., & Tekstil, B. (2011). Pembuatan Kain Rajut Bulky Dengan Menggunakan Mesin Rajut Datar Manufacturing of Bulky Knitting Fabric Using Flat Knitting Machine. *Balai Besar Tekstil Arena Tekstil*, 26(Desember), 61–120.