



Optimasi Penyusunan Marker pada Proses Potong Kain untuk Produksi Kemeja di CV Gemilang Etnik Nusantara

Nurul Anwar^{1*}, Mayesti Kurnianingtias^{2*}, Wilda Murti^{3*},
Tuti Purwanti Tuwarno^{4*}, Hamdan S Bintang^{5*}, Edelweis Chandra^{6*},
Istiana Laksany^{7*}

^{1*}Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{2*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{3*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{4*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{5*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{6*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{7*} Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, Indonesia

^{1*}anwar@ak-tekstilsolo.ac.id, ^{2*}mayesti_k@ak-tekstilsolo.ac.id,

^{3*}wmurti@ak-tekstilsolo.ac.id, ^{4*}tuti@ak-tekstilsolo.ac.id,

^{5*}hamdansbintang@ak-tekstilsolo.ac.id, ^{6*}edwlweis.chand@gmail.com,

^{7*}sany.fiveze@gmail.com

Abstract

The garment industry faces significant challenges in improving fabric utilization efficiency during the cutting process, particularly in the marker making stage, which affects fabric waste and production costs. At CV Gemilang Etnik Nusantara, the marker process is still done manually, causing inefficiency and high fabric waste. This study aims to optimize marker layouts using a Computer-Aided Design (CAD) system to improve fabric utilization efficiency and minimize leftover scraps. The research method involves simulation and actual testing of markers before and after optimization. The results show that marker efficiency increased from 77.73% to 83.01% in simulations, and from 75.02% to 81.30% in actual tests, with an average difference of 2.12% and a relative error rate of 2.71%. The Spearman correlation test yielded $rs=1.00$, indicating a perfect positive correlation between simulation and actual results, confirming that the simulation model has high validity in representing real field conditions. Thus, CAD-based marker optimization is proven effective in improving fabric use efficiency, reducing fabric waste, and making a significant contribution to enhancing competitiveness and sustainability in small and medium-scale garment industries.

Keywords: Marker Efficiency; Fabric Cutting; Zero Waste; SME Garment Industry.

Abstrak

Industri garmen menghadapi tantangan besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan kain pada proses cutting, terutama pada tahap penyusunan marker yang berpengaruh pada limbah kain dan biaya produksi. Di CV Gemilang Etnik Nusantara, proses marker masih

Article info

Received 5 Desember 2025

Revised 15 Januari 2026

Accepted 20 Januari 2026

Available Online 1 Februari 2026

anwar@ak-tekstilsolo.ac.id

Copyright@2026. Published by Jurnal Prima Manajemen – Al -Afif

dilakukan secara manual yang menyebabkan inefisiensi dan tingginya *fabric waste*. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan tata letak *marker* menggunakan sistem *Computer-Aided Design (CAD)* untuk meningkatkan efisiensi penggunaan kain serta meminimalkan sisa potongan. Metode penelitian menggunakan simulasi dan pengujian aktual pada *marker* sebelum dan sesudah optimasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi *marker* meningkat dari 77,73% menjadi 83,01% pada hasil simulasi, dan dari 75,02% menjadi 81,30% pada hasil aktual, dengan rata-rata selisih sebesar 2,12% dan tingkat kesalahan relatif 2,71%. Uji korelasi Spearman menghasilkan nilai $r_s = 1,00$ yang menunjukkan hubungan positif sempurna antara hasil simulasi dan hasil aktual, menandakan bahwa model simulasi memiliki validitas tinggi dalam merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Dengan demikian, optimasi *marker* berbasis *CAD* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pemakaian kain, mengurangi *fabric waste*, serta memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan daya saing dan keberlanjutan produksi pada industri garmen skala kecil dan menengah.

Kata Kunci: Efisiensi Marker; Pemotongan Kain; Zero Waste; IKM Garmen.

1. PENDAHULUAN

Industri garmen memiliki peran yang sangat penting dalam perekonomian Indonesia, terutama dalam menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan sektor manufaktur. Namun, sektor ini juga menghadapi tantangan besar terkait efisiensi proses produksi yang secara langsung mempengaruhi daya saing serta keberlanjutan perusahaan. Efisiensi dalam proses produksi di industri garmen bukan hanya soal percepatan waktu produksi, tetapi juga pengelolaan sumber daya yang optimal, termasuk bahan baku utama yaitu kain.

Proses produksi pada industri garmen umumnya melibatkan beberapa tahapan utama mulai dari pembuatan pola, penyusunan *marker*, pemotongan kain, hingga tahap menjahit dan finishing. Di antara tahap-tahap tersebut, penyusunan *marker* atau tata letak pola potong pada kain memegang posisi strategis dalam menentukan tingkat efisiensi penggunaan bahan baku. Penataan *marker* yang dilakukan dengan baik dapat memaksimalkan pemanfaatan kain serta meminimalkan sisa potongan yang menjadi limbah. Sebaliknya, tata letak *marker* yang tidak efisien dapat menyebabkan tingginya *fabric waste*, sehingga meningkatkan biaya produksi dan menurunkan keuntungan perusahaan (Choirunnisa 2023).

Di Indonesia, khususnya pada industri kecil dan menengah (IKM) garmen seperti CV Gemilang Etnik Nusantara (CV GEN), proses penyusunan *marker* masih sangat bergantung pada keahlian manual operator yang berpengalaman. Praktik ini tentu memiliki risiko tinggi terhadap inefisiensi, terutama dalam situasi di mana demand pasar meningkat atau variabilitas produk tinggi. Ketergantungan pada intuisi dan kebiasaan operator ini dapat membatasi kemampuan perusahaan dalam mencapai efisiensi optimal dan konsistensi dalam penggunaan kain. Akibatnya, tingkat *fabric waste* cenderung tinggi dan kapasitas produksi tidak dapat dimaksimalkan.

Permasalahan efisiensi penggunaan kain ini menjadi sangat krusial jika dilihat dari perspektif keberlanjutan produksi. Limbah tekstil atau *fabric waste* tidak hanya menimbulkan pemborosan biaya, tetapi juga dampak lingkungan yang signifikan. Konsep *Zero Waste pattern cutting*, yang bertujuan meminimalkan sisa bahan sehingga meminimalkan limbah tekstil, merupakan sebuah pendekatan yang menjanjikan dalam mengatasi permasalahan ini. Namun demikian, penerapan konsep *Zero Waste* di industri garmen Indonesia masih sangat terbatas, khususnya pada skala IKM seperti CV GEN (Garlufi and Nursasari 2018; Hervianti and Nursasari 2017; Karinia and Nursari 2020). Hal ini memperlihatkan adanya *gap* antara perkembangan teknologi dan praktik lapangan di industri garmen lokal.

Lebih jauh, kendala dalam penyusunan *marker* juga berdampak pada kurangnya konsistensi efisiensi produksi. Variasi dalam tata letak *marker* dapat menyebabkan hasil produksi yang tidak stabil, sehingga menyulitkan perusahaan dalam perencanaan kapasitas, estimasi biaya, serta penetapan harga produk yang kompetitif (Rissanen and McQuillan 2023; Rizal 2012). Dalam konteks pasar yang sangat menuntut kecepatan produksi dengan harga yang kompetitif dan kualitas terjaga, masalah ini dapat menghambat daya saing perusahaan.

Pendekatan optimasi tata letak *marker* berbasis metode ilmiah dan teknologi merupakan solusi penting untuk mengatasi permasalahan ini. Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai algoritma dan perangkat lunak untuk meningkatkan efisiensi penyusunan *marker*, terutama pada industri besar dengan infrastruktur digital yang memadai. Namun, sebagian besar solusi tersebut kurang relevan dan sulit diterapkan bagi IKM yang terbatas pada sumber daya teknologi maupun pengetahuan digital. Keterbatasan ini menciptakan kesenjangan nyata antara teori dan praktik di lapangan, yang perlu segera diatasi agar IKM dapat meningkatkan efisiensi dan mempertahankan keberlangsungan usahanya.

Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan fokus pada pengembangan pendekatan optimasi *marker* yang sederhana, efektif, dan adaptif terhadap kondisi nyata pada IKM garmen di Indonesia. CV Gemilang Etnik Nusantara dijadikan studi kasus karena latar belakangnya sebagai perusahaan IKM yang memproduksi kemeja seragam dengan karakteristik produksi yang khas dan tantangan efisiensi yang dihadapi. Studi ini akan mengkaji tingkat efisiensi penggunaan kain saat ini melalui pengukuran efisiensi *marker* dan *fabric waste*, serta merancang alternatif tata letak *marker* menggunakan pendekatan optimasi yang aplikatif.

Dengan membandingkan efisiensi *marker* sebelum dan sesudah dilakukan optimasi, penelitian ini diharapkan dapat membuktikan bahwa pendekatan optimasi tersebut dapat meningkatkan penggunaan kain secara signifikan dan menurunkan jumlah *fabric waste*. Hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi CV GEN, tetapi juga dapat menjadi referensi pengambilan keputusan teknis dalam manajemen produksi di industri IKM serupa, memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas dan profitabilitas.

Lebih dari itu, penelitian ini juga diharapkan mampu memberikan kontribusi akademis dengan memberikan *insight* baru tentang strategi optimasi *marker* yang relevan dengan kondisi sektor IKM, mengisi kekosongan literatur yang selama ini lebih banyak membahas industri besar. Dari sisi praktis, pendekatan yang diusulkan dirancang agar mudah diimplementasikan tanpa memerlukan investasi teknologi tinggi, sehingga dapat langsung diadopsi oleh pelaku industri kecil dan menengah dengan sumber daya terbatas.

Keseluruhan konteks ini menggambarkan pentingnya kajian tentang optimasi tata letak *marker* sebagai upaya strategis untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi limbah kain, dan mendukung keberlanjutan serta daya saing industri garmen lokal di Indonesia.

2. KAJIAN TEORI

Pemanfaatan bahan baku secara efisien merupakan aspek krusial dalam industri garmen yang sangat menentukan daya saing dan keberlanjutan usaha. Tahap pemotongan kain (*cutting*) pada proses produksi memiliki peran sentral karena menyumbang porsi biaya besar, hingga sekitar 60% dari total biaya produksi (Rissanen 2013; Rissanen and McQuillan 2023). Dalam proses *cutting*, tata letak pola potong atau *marker* merupakan kunci utama untuk memaksimalkan penggunaan kain sekaligus meminimalkan limbah kain (*fabric waste*) yang berdampak pada efisiensi biaya (Binde and Freimane 2022). Efisiensi *marker* diukur melalui *fabric utilization rate*, yang merefleksikan persentase

kain yang dapat dimanfaatkan secara optimal dalam pembuatan produk garmen (Zakiyah, Wulansari, and Gita Puspita 2023).

Seiring berkembangnya teknologi, metode optimasi *marker* berbasis perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* dan *algoritma nest optimization* telah banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi *marker* pada industri skala besar (Ondogan and Erdogan 2006; Rachman 2017; Wang 2022). Penggunaan teknologi ini telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan kain hingga di atas 80% (Hoc *et al.* 2019). Selain itu, konsep *Zero Waste pattern cutting* yang berfokus pada minimisasi limbah kain juga semakin diterapkan sebagai strategi keberlanjutan dalam produksi fesyen (ElShishtawy, Sinha, and Bennell 2022; Kim and Na 2023; Vilumsone-Nemes, Kaplan, and Belakova 2020).

Namun, sebagian besar literatur dan praktik optimasi *marker* ini masih berorientasi pada industri besar dengan sumber daya dan infrastruktur digital memadai. Industri kecil-menengah (IKM) sering kali menghadapi keterbatasan teknis dan finansial sehingga belum optimal dalam penerapan teknologi canggih tersebut. Keterbatasan sumber daya manusia, peralatan, dan biaya investasi menjadi hambatan nyata bagi IKM dalam mengadopsi solusi berbasis *CAD* secara menyeluruh (Hoc *et al.* 2019). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi *marker* yang sederhana, fleksibel, dan *low-cost*, yang dapat diadaptasi dalam konteks produksi IKM.

Studi oleh Rachman (2017) menunjukkan bahwa penyusunan ulang tata letak *marker* dengan metode yang tepat dapat meningkatkan efisiensi *marker* sebesar 5-10% tanpa perlu investasi teknologi tinggi. Pendekatan customized optimization yang menyesuaikan pola potong dengan jenis produk, lebar kain, dan jumlah layer menjadi solusi efektif yang relevan dengan kebutuhan IKM seperti CV Gemilang Etnik Nusantara. Kajian literatur ini menegaskan pentingnya penelitian yang mengintegrasikan teknologi dengan kondisi lokal dan keterbatasan sumber daya industri kecil-menengah, sehingga dapat memperkaya praktik produksi yang lebih hemat bahan dan berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tahapan sistematis sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data: Observasi dan pengukuran pola pakaian serta spesifikasi kain dari CV GEN, termasuk verifikasi format file untuk kompatibilitas *software*.
2. Pembuatan *Marker* Awal: Input pola ke *Optitex* secara manual untuk mereplikasi *layout existing* CV GEN, menghitung efisiensi *baseline* (77,73%) dengan memperhatikan arah *grainline* dan *size ratio* untuk 2 kemeja.
3. Optimasi *Marker*: Simulasi *automatic nesting* dengan 3 skenario *layout* pada lebar kain 115 cm, menghasilkan efisiensi berturut-turut 80,40%; 81,78%; dan 83,01% sambil mematuhi batasan rotasi pola dan *grainline*.
4. Pengujian Aktual: Pemotongan kain fisik sebanyak 3 repetisi per skenario *marker*, pengukuran berat kain total dan terpakai untuk menghitung efisiensi aktual menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Aktual} = \frac{\text{Berat kain terpakai}}{\text{Total berat kain}} \times 100\%$$

Sementara untuk metode analisis dilakukan dengan:

- 1) Perbandingan efisiensi simulasi vs aktual melalui selisih dan *relative error*:

$$\%Error = \frac{\text{Efisiensi Simulasi} - \text{Efisiensi Aktual}}{\text{Efisiensi Aktual}} \times 100\%$$

2) Uji korelasi *Spearman Rank* (r_s) untuk validasi model simulasi:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

r_s = koefisien korelasi Spearman, d = selisih antara peringkat (ranking) hasil simulasi dan hasil actual, n = jumlah pasangan data

3) Evaluasi tren peningkatan efisiensi dan implikasi penghematan bahan baku.

Pendekatan ini mengintegrasikan simulasi digital dengan validasi empiris untuk memastikan aplikabilitas hasil pada kondisi IKM

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan terkait tahapan penelitian yang meliputi: (1) Pengumpulan data; (2) Pembuatan *marker* awal; (3) Optimasi *marker*: Simulasi dan aktual; (4) Evaluasi dan analisis hasil optimasi *marker*.

4.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pola pakaian dan data terkait kain yang digunakan pada produksi kemeja di CV GEN. Data pola pakaian penting untuk diketahui sebagai acuan ukuran pola yang digunakan sebelum dan sesudah optimasi, sedangkan data kain yang digunakan pada produksi kemeja di CV GEN digunakan supaya penelitian ini dilakukan dengan bahan yang sama, sehingga CV GEN dapat melihat dan merasakan bahwa penelitian ini sesuai dengan yang dilakukan pada produksinya.

CV GEN memproduksi beragam jenis kemeja dan seragam sekolah. Pada penelitian ini dipilih salah satu jenis kemeja dengan menggunakan bahan kain tojiro. Kain yang digunakan memiliki lebar 115 cm dengan data pola pakaian untuk membuat 1 kemeja sebagai berikut:

4.1.1 *Front Body*



Gambar 4.1 Pola *Front Body*

Gambar di atas menunjukkan pola *Front Body*, yaitu bagian pola yang membentuk bagian depan badan kemeja. Pola ini dibuat dengan ukuran lebar dada 36 cm dan panjang badan 63,24 cm. Bagian atas pola menunjukkan garis bahu dengan panjang sekitar 17,46 cm, sementara garis leher depan dan garis kerung lengan memiliki bentuk melengkung sesuai kontur tubuh bagian depan.

Pola ini merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan kemeja, dan dalam satu produk kemeja dibutuhkan dua potong pola *Front Body*, yaitu untuk bagian kanan dan bagian kiri badan.

4.1.2 Back Body



Gambar 4.2 Pola Back Body

Gambar di atas memperlihatkan pola *Back Body*, yaitu bagian pola yang membentuk bagian belakang badan kemeja. Pola ini memiliki ukuran lebar badan 68 cm dan panjang badan 71 cm. Bagian atas pola menunjukkan garis bahu dan garis leher belakang yang memiliki bentuk lebih landai dibandingkan dengan pola depan (*Front Body*), sehingga menyesuaikan bentuk punggung pengguna.

Pola *Back Body* dibuat sebanyak satu potong untuk setiap kemeja dan berfungsi sebagai penutup bagian belakang tubuh, serta dihubungkan dengan dua potong *Front Body* pada sisi kanan dan kiri badan.

4.1.3 Sleeve



Gambar 4.3 Pola Sleeve

Gambar di atas memperlihatkan pola *sleeve* atau lengan, yaitu bagian pola yang membentuk bagian lengan kemeja. Pola ini memiliki bagian melengkung di bagian atas yang disebut kerung lengan dengan ukuran total 57 cm, berfungsi untuk menyesuaikan sambungan antara bagian lengan dengan bagian badan (*Front Body* dan *Back Body*). Bagian bawah pola merupakan lebar bukaan lengan dengan lebar sekitar 42 cm. Pola ini dibuat sebanyak dua potong, masing-masing untuk sisi kanan dan kiri kemeja.

4.1.4 Collar



Gambar 4.4 Pola Collar

Gambar di atas menunjukkan pola collar, yaitu bagian pola yang digunakan untuk membentuk kerah kemeja. Pola ini memiliki bentuk memanjang secara horizontal dengan panjang daun kerah 44 cm dan tinggi daun kerah 7,28 cm. Bagian atas pola sedikit melengkung untuk menyesuaikan kontur leher pengguna, sedangkan bagian bawahnya (40 cm) merupakan bagian yang disambung dengan bagian leher pada pola badan (*Front Body* dan *Back Body*). Pola Collar ini dibuat sebanyak dua potong, yang nantinya akan dirangkap dengan simetris saat dijahit untuk membentuk kerah.

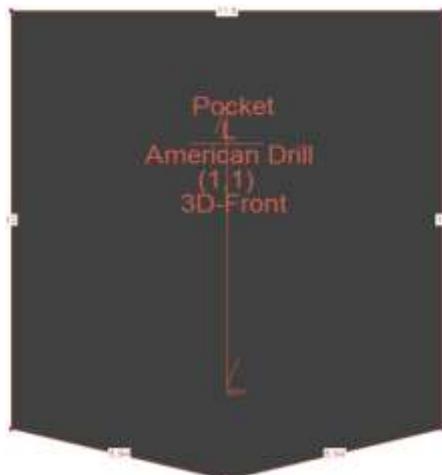
4.1.5 *Stand Collar* (1 buah) gambar dan ukuran



Gambar 4.5 Pola *Stand Collar*

Gambar di atas menunjukkan pola *Stand Collar*, yaitu bagian pola yang digunakan sebagai penopang atau dasar dari kerah utama (*Collar*) pada kemeja yang berfungsi untuk menjaga bentuk kerah tetap berdiri. Pola ini memiliki bentuk memanjang dengan ujung melengkung halus pada kedua sisinya untuk menyesuaikan bentuk leher dan sambungan kerah. Bagian atas dan bawah pola memiliki lengkungan berbeda, di mana lengkungan bagian bawah menyesuaikan garis leher badan kemeja, sedangkan bagian atas menjadi tempat melekatnya pola *Collar*. Pola *Stand Collar* dibuat sebanyak dua potong, kemudian dirangkap dengan proses penjahitan agar menghasilkan tampilan kerah yang kokoh, tegak, dan simetris.

4.1.6 *Pocket* (2 buah)



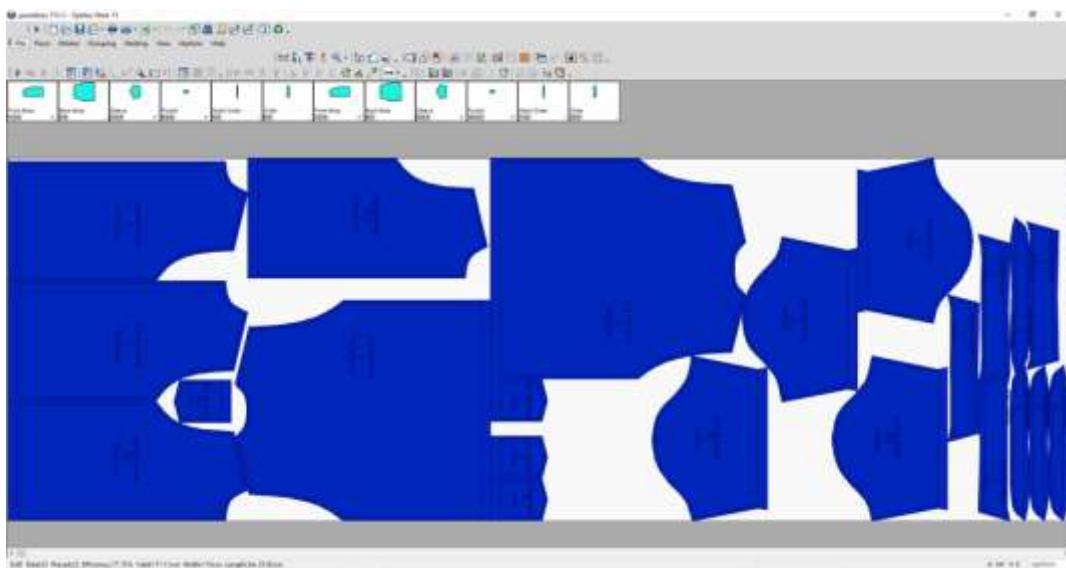
Gambar 4.6 Pola *Pocket*

Gambar di atas menunjukkan pola *Pocket*, yaitu bagian pola yang digunakan untuk membentuk saku pada bagian depan kemeja. Pola ini memiliki lebar 11,6 cm dan panjang sisi samping 12 cm, dengan bagian bawah berbentuk ujung lancip simetris untuk menambah kesan rapi pada tampilan kemeja. Pola saku ini dibuat sebanyak dua potong, kemudian dijahit pada kedua sisi *Front Body* sesuai desain kemeja.

4.2 Pembuatan *Marker* Awal

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah pembuatan *marker* awal. *Marker* disusun menggunakan perangkat lunak *Optitex 15* dengan mengacu pada ukuran pola yang telah dibuat sebelumnya. Tata letak (*layout*) pola disesuaikan dengan posisi dan

arah serat kain yang digunakan oleh CV GEN, sehingga mencerminkan kondisi penataan pola sebenarnya dalam proses produksi.

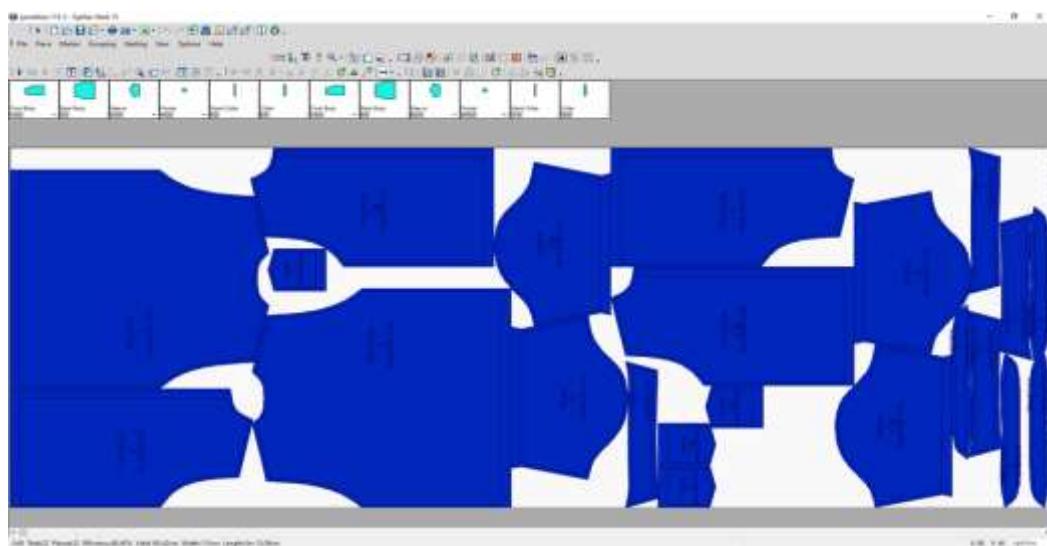


Gambar 4.7 *Marker* Awal (sebelum optimasi)

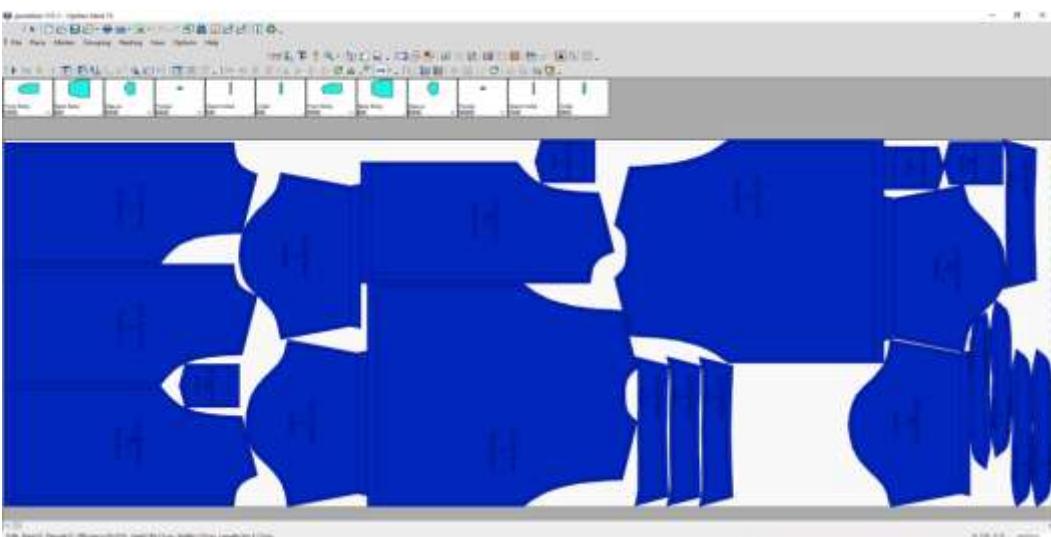
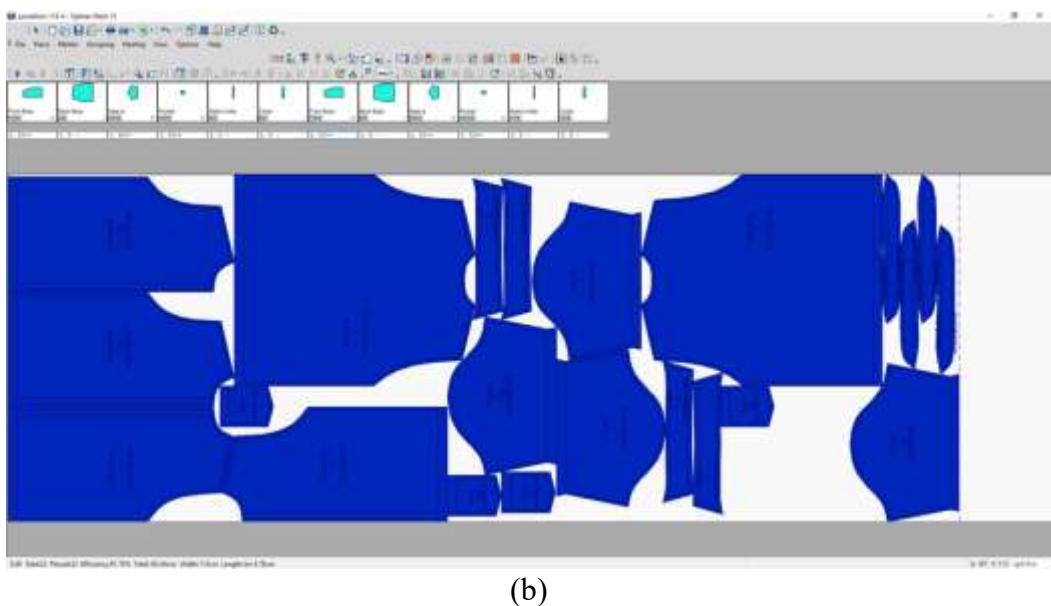
Pada Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa pola disusun pada *marker* dibuat untuk dapat membuat potongan kain sebanyak 2 kemeja. Terdapat 4 *front bodies*, 2 *back bodies*, 4 *sleeves*, 4 *pockets*, 4 *stand collars* dan 4 *collars*. Efisiensi yang dicapai pada susunan *marker* tersebut adalah senilai 77,73%.

4.3 Optimasi *Marker*: Simulasi dan Aktual

Setelah *marker* awal dibuat dengan menghasilkan efisiensi sebesar 77,73%, tahap selanjutnya adalah membuat optimasi *marker*. Pembuatan optimasi *marker* ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan kain, supaya waste kain dapat diminimalisir dengan menempatkan pola pada *marker* sedemikian rupa. Terdapat 3 skenario penyusunan *marker* dengan tetap memperhatikan arah *grainline*. Gambar 4.8 merupakan gambar *marker* yang telah dilakukan optimasi.



(a)



Gambar 4.8 Optimasi *Marker* (a) Efisiensi 80,40%; (b) Efisiensi 81,78%; (c) Efisiensi 83,01%

Dengan menggunakan lebar kain yang sama yaitu 115 cm, perubahan posisi pola pada *marker* memperlihatkan hasil yang berbeda-beda. Gambar 4.8a menunjukkan *marker* dapat mencapai efisiensi 80,40%, Gambar 4.8b menunjukkan *marker* dapat mencapai efisiensi sebesar 81,78% dan Gambar 4.8c memperlihatkan *marker* dapat menghasilkan efisiensi optimal yaitu 83,01%. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa pengaturan tata letak pola (*layouting*) memiliki pengaruh signifikan terhadap pemanfaatan luas kain. Semakin optimal posisi dan arah pola disusun, semakin sedikit sisa kain (*fabric waste*) yang dihasilkan.

Setelah dilakukan proses optimasi dengan mengatur tata letak pola, tahap selanjutnya adalah menguji dan mengukur secara aktual apakah tata letak pola tersebut dapat menghasilkan efisiensi yang sesuai dengan yang telah disimulasikan. Pengujian dan pengukuran secara aktual untuk memastikan apakah tata letak pola yang telah disusun dapat menghasilkan tingkat efisiensi yang sesuai dengan hasil simulasi.

Proses pengujian *marker* ini dilakukan dengan memotong kain sesuai dengan tata letak pola yang telah dibuat. Pemotongan dilakukan dengan menempatkan *marker* pada selembar kain, kemudian masing-masing hasil potongan ditimbang untuk memperoleh

berat sisa kain sebagai dasar perhitungan efisiensi aktual. Pemotongan masing-masing *marker* dilakukan sebanyak tiga kali. Perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran aktual dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Optimasi *Marker* Aktual

<i>Marker</i>	Percobaan ke-	Lebar kain (cm)	Total berat kain (gram)	Berat kain terpakai (gram)
Awal	1	115	794,3	595,83
	2		794,5	595,9
	3		794,2	596,2
Optimasi 1	1	115	758,33	595,8
	2		759,01	595,6
	3		758,8	595,82
Optimasi 2	1	115	748,05	595,6
	2		748,01	595,8
	3		748,9	595,85
Optimasi 3	1	115	732,2	596,01
	2		733,8	595,92
	3		732,8	595,81

4.4 Evaluasi Hasil Optimasi *Marker*

Setelah dilakukan proses pembuatan dan optimasi *marker*, tahap selanjutnya adalah melakukan evaluasi dan analisis terhadap hasil yang diperoleh baik dari simulasi menggunakan *software Optitex Marker Making* maupun dari pengujian aktual di lapangan. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai sejauh mana hasil simulasi mampu menggambarkan kondisi nyata pada proses pemotongan kain serta untuk mengidentifikasi besarnya peningkatan efisiensi yang dicapai setelah dilakukan optimasi tata letak pola.

4.4.1 Analisis Hasil Optimasi *Marker*

Efisiensi hasil simulasi diperoleh secara otomatis dari perangkat lunak *Optitex Marker Making*, yang menghitung persentase area kain yang terisi pola dibandingkan dengan area kosong pada *marker*. Sementara itu, efisiensi aktual dihitung berdasarkan berat kain yang digunakan untuk memotong pakaian dan berat sisa kain yang tidak terpakai. Nilai efisiensi aktual dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi Aktual} = \frac{\text{Berat kain terpakai}}{\text{Total berat kain}} \times 100\% \quad (1)$$

Perbandingan hasil efisiensi dari simulasi dan pengujian aktual disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Efisiensi Simulasi dengan Aktual
Efisiensi (%)

<i>Marker</i>	Simulasi	\bar{x} Aktual
Awal	77,73	75,02
Optimasi 1	80,40	78,52
Optimasi 2	81,78	79,61
Optimasi 3	83,01	81,30

Berdasarkan hasil perbandingan antara efisiensi simulasi dan efisiensi aktual pada Tabel 4.2, terlihat bahwa nilai efisiensi meningkat secara konsisten seiring dengan proses optimasi tata letak pola yang dilakukan menggunakan *software Optitex Marker Making*. Pada *marker* awal, efisiensi simulasi tercatat sebesar 77,73%, sedangkan hasil aktual sebesar 75,02%. Setelah dilakukan beberapa kali penyesuaian posisi dan arah pola terhadap arah serat kain, efisiensi meningkat bertahap hingga mencapai 83,01% pada simulasi dan 81,30% pada hasil aktual.

Selisih nilai efisiensi antara hasil simulasi dan aktual berkisar antara 1,71–2,71%. Perbedaan ini masih tergolong wajar dan dapat disebabkan oleh beberapa faktor teknis, antara lain ketidaktepatan saat penataan kain, ketegangan kain yang tidak seragam selama proses pemotongan, margin pemotongan yang lebih lebar, serta akurasi posisi *marker* saat diaplikasikan ke permukaan kain. Walaupun demikian, tren peningkatan efisiensi yang sama menunjukkan bahwa hasil optimasi secara digital memiliki validitas yang baik terhadap kondisi nyata di lapangan.

Peningkatan efisiensi total dari *marker* awal hingga *marker* optimasi 3 mencapai 5,28% pada hasil simulasi dan 6,28% pada hasil aktual. Secara praktis, hal ini menunjukkan bahwa proses optimasi *marker* memberikan pengaruh nyata terhadap penghematan bahan baku kain. Jika diterapkan pada proses produksi skala besar, misalnya penggunaan kain sebanyak 100 meter, maka penghematan sebesar 6% setara dengan pengurangan penggunaan kain sekitar 6 meter dalam setiap siklus produksi.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis perbandingan antara hasil simulasi dan aktual untuk mengetahui tingkat akurasi model simulasi efisiensi *marker* yang digunakan. Parameter yang dibandingkan adalah nilai efisiensi *marker* (%) pada empat kondisi, yaitu kondisi awal, optimasi 1, optimasi 2, dan optimasi 3.

Langkah pertama dalam analisis ini adalah menghitung selisih (Δ) antara nilai hasil simulasi dan aktual dengan rumus:

$$\text{Selisih} = \text{Efisiensi Simulasi} - \text{Efisiensi Aktual} \quad (2)$$

Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa besar tingkat kesalahan relatif dari hasil simulasi terhadap data aktual, dilakukan perhitungan persentase error (% error) menggunakan persamaan:

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Efisiensi Simulasi} - \text{Efisiensi Aktual}}{\text{Efisiensi Aktual}} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan selisih dan % error dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Selisih dan % Error

Marker	Efisiensi Simulasi (%)	Efisiensi Aktual (%)	Selisih	% Error
Awal	77,73	75,02	2,71	3,61%
Optimasi 1	80,4	78,52	1,88	2,39%
Optimasi 2	81,78	79,61	2,17	2,73%
Optimasi 3	83,01	81,3	1,71	2,10%
Rata-rata	—	—	2,12	2,71%

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, diperoleh rata-rata selisih antara hasil simulasi dan aktual sebesar 2,12 poin, dengan rata-rata tingkat kesalahan (% error) sebesar 2,71%. Nilai kesalahan ini tergolong kecil, yang menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki tingkat kedekatan yang sangat baik terhadap hasil aktual.

Untuk mengetahui hubungan antara hasil efisiensi simulasi dengan efisiensi aktual, dilakukan uji korelasi *Spearman Rank* (r_s). Analisis hubungan antara hasil efisiensi simulasi dan efisiensi aktual dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kesesuaian antara nilai yang diperoleh dari model simulasi dengan kondisi nyata di lapangan. Pengujian ini penting dilakukan sebagai bentuk validasi model, agar dapat dipastikan bahwa hasil simulasi benar-benar merepresentasikan hasil aktual dengan baik.

Karena jumlah data yang digunakan relatif sedikit ($n = 4$) dan tidak dapat dipastikan berdistribusi normal, maka digunakan metode korelasi non-parametrik *Spearman Rank* (r_s). Uji Spearman dipilih karena tidak mensyaratkan data harus berdistribusi normal, serta dapat digunakan untuk data ordinal maupun data interval yang diranking.

Perhitungan koefisien korelasi Spearman menggunakan rumus berikut:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (4)$$

dengan keterangan:

- r_s = koefisien korelasi Spearman
- d = selisih antara peringkat (ranking) hasil simulasi dan hasil aktual
- n = jumlah pasangan data

Langkah pertama adalah menentukan peringkat masing-masing nilai efisiensi simulasi dan efisiensi aktual, kemudian menghitung selisih peringkat antar pasangan data (d) dan kuadrat selisihnya (d^2).

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan:

Tabel 4.4 Peringkat dan Nilai d

Marker	Efisiensi Simulasi (%)	Efisiensi Aktual (%)	Ranking Simulasi	Ranking Aktual	d	d^2
Awal	77,73	75,02	1	1	0	0
Optimasi 1	80,4	78,52	2	2	0	0
Optimasi 2	81,78	79,61	3	3	0	0
Optimasi 3	83,01	81,3	4	4	0	0

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh nilai $\sum d^2 = 0$ dan jumlah data $n = 4$. Langkah selanjutnya adalah mensubstitusikan nilai tersebut ke dalam rumus 4:

$$r_s = 1 - \frac{6(0)}{4(4^2 - 1)} = 1 - 0 = 1$$

Nilai koefisien korelasi Spearman (r_s) = 1,00 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat dan positif sempurna antara hasil efisiensi simulasi dan hasil efisiensi aktual. Hal ini berarti peningkatan efisiensi pada hasil simulasi selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi pada hasil aktual dengan arah perubahan yang sama.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model simulasi yang digunakan memiliki tingkat kecocokan yang sangat tinggi terhadap data aktual. Model ini dapat dianggap valid dan andal dalam merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan simulasi yang dilakukan dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan dan evaluasi efisiensi dalam proses produksi secara efektif.

4.4.2 Implikasi Hasil Optimasi

Hasil penelitian ini memberikan beberapa implikasi penting terhadap kegiatan produksi di CV GEN maupun industri garmen pada umumnya, yaitu:

Implikasi Teknis: Tata letak pola hasil optimasi terbukti dapat meningkatkan efisiensi pemakaian kain tanpa mengubah bentuk dasar pola. Hasil ini dapat dijadikan acuan untuk penyusunan *marker* pada produk kemeja sejenis sehingga proses *cutting* menjadi lebih cepat dan presisi.

Implikasi Ekonomis: Peningkatan efisiensi berarti menurunnya jumlah kain yang terbuang (*fabric waste*) serta penghematan biaya pembelian bahan baku. Efisiensi 6% dapat berdampak signifikan terhadap biaya total produksi, terutama pada produksi massal.

Implikasi Lingkungan: Pengurangan sisa potongan kain mendukung prinsip green manufacturing dengan menekan volume limbah tekstil yang dihasilkan industri, sehingga produksi menjadi lebih ramah lingkungan.

Implikasi Akademis: Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak *CAD* seperti *Optitex Marker Making* dapat diterapkan secara efektif pada skala industri kecil dan menengah (IKM). Metode ini juga dapat dijadikan acuan untuk pembelajaran efisiensi bahan dalam mata kuliah *Apparel Design* atau *Production Planning*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan efisiensi hasil simulasi dan aktual pada proses optimasi *marker* menggunakan perangkat lunak *Optitex Marker Making*, dapat disimpulkan bahwa proses optimasi *marker* mampu meningkatkan efisiensi penggunaan kain secara signifikan. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan efisiensi dari 77,73% pada *marker* awal menjadi 83,01% pada *marker* optimasi ketiga. Peningkatan serupa juga terlihat pada hasil aktual di lapangan, yaitu dari 75,02% menjadi 81,30%.

Selisih antara hasil simulasi dan aktual berkisar antara 1,71–2,71%, dengan rata-rata kesalahan sekitar 2,71%. Nilai ini tergolong kecil, sehingga menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki kedekatan yang sangat baik terhadap hasil aktual. Artinya, model simulasi yang digunakan dapat menggambarkan kondisi nyata dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Hasil analisis hubungan antara efisiensi simulasi dan efisiensi aktual menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat, yang berarti setiap peningkatan efisiensi pada hasil

simulasi selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi pada hasil aktual. Hal ini menegaskan bahwa sistem simulasi berbasis *CAD* dapat diandalkan sebagai alat bantu dalam perencanaan dan optimasi penggunaan bahan.

Secara keseluruhan, peningkatan efisiensi dari *marker* awal hingga *marker* optimasi 3 mencapai 5,28% pada hasil simulasi dan 6,28% pada hasil aktual. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam proses *marker Making* tidak hanya meningkatkan efisiensi bahan baku, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap penghematan biaya produksi dan pengurangan limbah kain.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem simulasi *marker* berbasis *Computer Aided Design (CAD)* seperti *Optitex Marker Making* merupakan solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi bahan, mendukung praktik produksi yang berkelanjutan, serta memberikan nilai tambah dalam kegiatan pembelajaran maupun penerapan industri garmen.

Penelitian selanjutnya disarankan memperluas sampel *marker* dengan variasi model pakaian dan jenis kain berbeda untuk hasil yang lebih komprehensif. Diseminasi hasil melalui pelatihan/workshop diperlukan agar teknologi *CAD Optitex* dapat diadopsi luas oleh IKM garmen, meningkatkan efisiensi produksi secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Choirunnisa, Salsabila. 2023. *SUSTAINABLE FASHION BIDANG RISET DAN KEUANGAN MEERA ATTIRE*. Yogyakarta.
- ElShishtawy, Nesma, Pammi Sinha, and Julia A. Bennell. 2022. "A Comparative Review of Zero-Waste Fashion Design Thinking and Operational Research on *Cutting and Packing Optimisation*." *International Journal of Fashion Design, Technology and Education* 15(2):187–99. doi:10.1080/17543266.2021.1990416.
- Garlufi, Raisya, and Faradillah Nursasari. 2018. "Potensi Penerapan Teknik Zero Waste Pattern *Cutting* Pada Desain Kebaya." *ATRAT: Jurnal Seni Rupa* 6(3).
- Hervianti, Dian Fitrah, and Faradillah Nursasari. 2017. "Perancangan Busana Zero Waste Dengan Teknik Draping Pattern *Making* Pada Pola Kimono." *ATRAT: Jurnal Seni Rupa* 5(3).
- Học, Khoa, Ánh hưởng, Cửa Thông, Soon-Woo So, Đ. Ô. Giác, Tói Định, M. Vai, Á. O. T-SHIRT, Trong May, Công Nghiệp, and Nguyễn Thị Lê. 2019. "EFFECT OF MARKER PLAN PARAMETERS ON FABRIC CONSUMPTION OF T-SHIRT IN GARMENT INDUSTRY."
- Karinia, Made Nathasha, and Faradillah Nursari. 2020. "Perancangan Busana Dengan Konsep Pola Zero Waste." *EProceedings of Art & Design* 7(2).
- Kim, Hyunju, and Hyunshin Na. 2023. "Pattern-Cutting Design for Zero-Waste Fashion Practice." *The Research Journal of the Costume Culture* 31(1):18–33. doi:10.29049/rjcc.2023.31.1.18.
- Ondogan, Ziynet, and M. C. Erdogan. 2006. "The Comparison of the Manual and *CAD* Systems for Pattern *Making*, Grading and *Marker Making* Processes." *Fibres and Textiles in Eastern Europe* 14(1):62.
- Rachman, Rizal. 2017. "Optimalisasi Produksi Di Industri Garment Dengan Menggunakan Metode Simpleks." *JURNAL INFORMATIKA* 4(1):12–20.
- Rissanen, Timo. 2013. *Zero Waste Fashion Design: A Study at the Intersection of Cloth, Fashion Design and Pattern Cutting*. University of Technology Sydney (Australia).
- Rissanen, Timo, and Holly McQuillan. 2023. *Zero Waste Fashion Design*. Bloomsbury Publishing.
- Rizal, Reda. 2012. "Monitoring, Pengendalian Dan Penjaminan Mutu Produk Industri Garmen." *LPPM UPN Veteran Jakarta*.

- Vilumsone-Nemes, Ineta, Volkan Kaplan, and Dana Belakova. 2020. "Potentialities of Reducing Textile Waste in the Manufacturing of Garments from Striped Fabrics." *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 28(6 (144))
- Wang, Tanqiu. 2022. "Intelligent Analysis of Computer-Aided Garment Design *CAD* Based on Virtual Reality Model for Surplus Fabric Removal and Reuse without Segmentation of *Cutting* Pieces." *Advances in Multimedia* 2022. doi:10.1155/2022/7974639.
- Zakiyah, Zumrotu, Pratiwi Wulansari, and Nindhita H. Gita Puspita. 2023. *PEMBUATAN MARKER JAS LABORATORIUM DENGAN KONSEP POLA ZERO WASTE MAKING OF LABORATORY COAT'S MARKER WITH ZERO WASTE PATTERN CONCEPT*. Vol. 21.