



Optimalisasi Tata Letak Fasilitas Produksi dengan Pendekatan Ergonomi dan Efisiensi

Anissa Puspa Dewi*, Agus Edy Pramono

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 11 Juni 2024

Artikel direvisi: 4 September 2024

Artikel diterima: 26 Oktober 2024

Kata kunci

Activity Relationship Chart
Ergonomi
Optimalisasi Tata Letak

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tata letak fasilitas workshop veneer kayu guna meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kesehatan operator. Laminated Veneer Lumber (LVL) dipilih sebagai fokus karena keunggulan kekuatan dan ketahanannya. Namun, proses produksi LVL menghasilkan limbah berbahaya, serta jarak antar fasilitas yang terlalu jauh mengakibatkan pemborosan energi operator dan mempengaruhi kesehatan pekerja. Salah satu urgensi perbaikan tata letak adalah kemampuannya mereduksi jarak perpindahan untuk large component product serta desain layout yang memisahkan proses pengecatan dari ruang perakitan, guna menghindari paparan zat kimia berbahaya pada operator lain. Evaluasi ergonomi dilakukan menggunakan kuesioner Nordic Body Map (NBM) untuk menilai risiko musculoskeletal disorders (MSD's) pada operator. Observasi dan wawancara lapangan mengidentifikasi masalah tata letak, yang dianalisis menggunakan Activity Relationship Chart (ARC) dan Standard Weighted Sum Method (SWS). Hasil pengukuran menunjukkan jarak perpindahan awal antar fasilitas sebesar 94,5 meter. Dengan implementasi layout alternatif, jarak tersebut berkurang menjadi 51,8 meter untuk Alternatif 1 dan 52,8 meter untuk Alternatif 2, yang menghasilkan pengurangan jarak tempuh hingga 45,2%. Layout Alternatif 2, dengan skor tertinggi 242,7 dalam SWS, terbukti lebih unggul dalam mereduksi jarak perpindahan komponen besar dan mengurangi paparan zat kimia melalui pemisahan ruang pengecatan. Perbaikan tata letak ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi, keselamatan, dan kenyamanan kerja operator.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the layout of a wood veneer workshop to improve efficiency and reduce health risks for operators. Laminated Veneer Lumber (LVL) was chosen as the focus due to its superior strength and durability. However, the LVL production process generates hazardous waste, and the long distances between facilities lead to operator fatigue and negatively affect worker health. A key motivation for improving the layout is its potential to reduce material handling distances for large component products and to separate the painting process from the assembly area, thereby minimizing exposure to harmful chemicals for other operators. An ergonomic evaluation was conducted using the Nordic Body Map (NBM) questionnaire to assess the risk of musculoskeletal disorders (MSDs) among operators. Field observations and interviews helped identify layout issues, which were analyzed using the Activity Relationship Chart (ARC) and Standard Weighted Sum Method (SWS). Initial measurements showed that the total material handling distance between facilities was 94.5 meters. With the implementation of alternative layouts, this distance was reduced to 51.8 meters in Alternative 1 and 52.8 meters in Alternative 2, achieving a reduction of up to 45.2%. Alternative 2, which achieved the highest SWS score of 242.7, was the most effective in reducing material handling distances for large components and minimizing chemical exposure by separating the painting area. These layout improvements will significantly enhance production efficiency, safety, and operator comfort and well-being.

Keywords

Activity Relationship Chart
Ergonomics
Layout Optimisation

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

* Penulis Korespondensi

Anissa Puspa Dewi

E-mail: anissapuspawati23@stu.pnj.ac.id



© 2024. Some rights reserved

1. PENDAHULUAN

Material komposit veneer kayu atau *Laminated Veneer Lumber (LVL)* sering dipilih dalam industri karena kekuatan tinggi, ketahanan korosi, daya tahan yang baik, dan bobot lebih ringan dibandingkan baja ringan dan aluminium (Lee et al., 2021; Orellana et al., 2024). Proses pengolahan kayu dalam industri menghasilkan limbah seperti debu kayu, yang dapat mengganggu fungsi paru-paru, dan kebisingan dari mesin

potong, yang dapat mempengaruhi kesehatan pekerja. Perusahaan wajib memenuhi standar K3 meliputi faktor fisik, kimia, biologi, ergonomi, dan psikologi (Permenaker, 2018).

Tata ruang kerja veneer yang digabung dengan ruang pengecatan dapat memperburuk risiko kesehatan bagi operator, karena bahan kimia seperti pelarut organik, zat pengawet, dan senyawa *volatile organic compounds (VOCs)* dari proses veneer dapat

bercampur dengan zat kimia berbahaya dari proses pengecatan, sehingga meningkatkan paparan terhadap bahan beracun dan memperbesar potensi bahaya kesehatan (Jia et al., 2021; Mo et al., 2021). Selain itu, alur kerja yang tidak efisien mengharuskan operator memindahkan komponen secara manual dari satu fasilitas ke fasilitas lainnya, yang meningkatkan mobilitas yang tidak sesuai dan aktivitas fisik berlebihan. Proses ini melibatkan pengangkatan, penurunan, serta pemindahan komponen dengan beban tertentu, yang memberikan tekanan berlebih pada sendi, otot, dan sistem muskuloskeletal. Akibatnya, operator rentan mengalami nyeri sendi, ketegangan otot, peradangan, hingga cedera muskuloskeletal (Pearson et al., 2004). Jarak perpindahan yang terlalu jauh antara fasilitas kerja menunjukkan adanya masalah dalam perancangan tata letak fasilitas.

Efisiensi tata letak fasilitas dapat mempengaruhi kinerja, kualitas, dan produktivitas sistem secara keseluruhan (Battini et al., 2011). Tata letak fasilitas mengacu pada pengaturan fasilitas fisik seperti mesin dan peralatan untuk mencapai aliran material yang tercepat dengan biaya terendah (Sutari et al., 2014). Namun, upaya perusahaan untuk meningkatkan produktivitas sering mengabaikan faktor manusia yang penting dalam mempertahankan produktivitas (Gnanavel et al., 2015). Perbaikan tata letak fasilitas dapat secara signifikan mengurangi jarak pergerakan material antar workstation, sehingga alur kerja yang tepat dalam proses produksi.

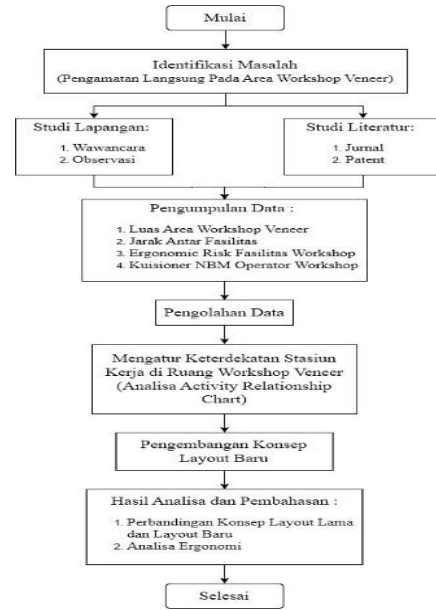
Penelitian mengenai perancangan ulang fasilitas produksi untuk meminimalkan jarak dan meningkatkan produktivitas telah banyak dilakukan. Penelitian Seim & Broberg (2010) melakukan perubahan desain layout pabrik baru mencakup desain ruang, mesin, dan fasilitas pendukung untuk mengatasi masalah teknis, spasial, dan organisasional. Sajiyo & Prasnowo (2017) melakukan perancangan ulang lingkungan kerja untuk mengurangi kelelahan karyawan. Selanjutnya, Eka et al. (2019) merancang tata letak produksi ergonomis untuk meningkatkan efisiensi dan kesejahteraan pekerja di industri manufaktur. Anugerah et al. (2022) menyatakan bahwa penataan ulang tata letak juga membantu mengurangi keluhan Musculoskeletal Disorders (MSDs) dan jarak perpindahan material.

Perancangan ini bertujuan untuk mengurangi risiko paparan bahan kimia berbahaya bagi operator, serta untuk meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan tim secara keseluruhan. Dengan demikian, langkah-langkah yang diambil diharapkan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan nyaman bagi operator serta mengoptimalkan efisiensi proses produksi.

2. METODE PENELITIAN

Perancangan ini dimulai dengan melakukan identifikasi masalah melalui pengamatan langsung pada area workshop veneer. Studi lapangan dilakukan dengan metode wawancara dan observasi. Tahap selanjutnya adalah pencarian sumber studi pustaka untuk menemukan metode yang tepat guna mengevaluasi kondisi lingkungan kerja. Pengumpulan data dilakukan melalui empat tahap diantaranya pengukuran luas area workshop veneer, pengukuran jarak antar

fasilitas, alur proses pekerjaan veneer, penilaian risiko ergonomi fasilitas workshop dan pengisian kuesioner oleh operator (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Alur Perancangan

Luas area workshop adalah 12 x 16 m² dengan tipe bangunan semi-indoor yang memiliki 20 kategori fasilitas. Alur produksi veneer dibagi menjadi tiga grup pengerjaan, yaitu small component product, large component product, dan custom component product. Alur produksi ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Proses Pekerjaan Veneer

Kuesioner Nordic Body Map (NBM) digunakan untuk mengidentifikasi dan menilai keluhan rasa sakit yang dialami (Dewi, 2020). Hasil yang diperoleh kemudian diolah dengan memberikan skor kepada individu berdasarkan skala likert yang telah ditetapkan (Wijaya, 2019), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Data yang terkumpul kemudian diolah untuk menghitung dan mengatur kedekatan antar fasilitas di ruang workshop veneer dengan menganalisis Activity Relationship Chart (ARC) (Safitri et al., 2018). ARC digunakan untuk memberikan konfigurasi baru dalam perancangan tata letak fasilitas produksi guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi (Rachman et al., 2023). Perbedaan warna pada ARC menunjukkan keterkaitan antar objek, yang didefinisikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Risiko NBM

Skala Likert	Total Skor Individu	Tingkat Risiko	Tindakan Perbaikan
1	28-49	Rendah	Belum diperlukan tindakan perbaikan
2	50-70	Sedang	Mungkin diperlukan tindakan perbaikan
3	71-90	Tinggi	Diperlukan tindakan segera
4	92-122	Sangat Tinggi	Diperlukan tindakan menyeluruh segera

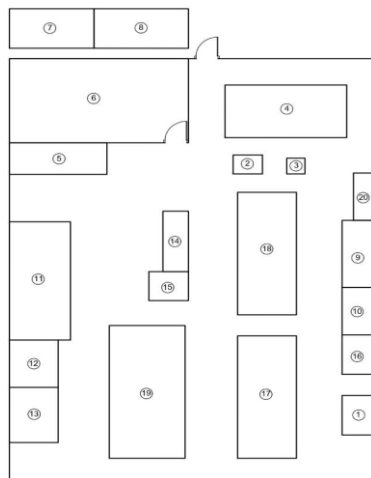
Tabel 2. Keterangan Derajat Relation

Kode	Warna	Deskripsi
A	Merah	Mutlak/ Absolutely Important
E	Kuning	Sangat Penting/ Very Important
I	Hijau	Penting
O	Biru	Biasa
U	Putih	Tidak Penting
X	Hitam	Tidak Dikehendaki

Pengembangan desain *layout* merujuk pada standar ISO 6385-2016 (2016). Perbandingan dilakukan antara konsep *layout* awal dengan *layout* baru yang dikembangkan untuk mengevaluasi perbedaan, kelebihan, dan kekurangannya. Pengukuran efektivitas sistem kerja ergonomi, khususnya desain *workstation* dan tata letak, menggunakan analisis *trade-off*, seperti *Standard Weighted Sum Method* (Mercado, 2015) dan pengukuran efisiensi perpindahan jarak (Jamalludin et al., 2020). Persamaan perhitungan efisiensi dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$Efisiensi = \frac{Jalur\ Awal - Jalur\ Akhir}{Jalur\ Awal} \times 100\% \quad (1)$$

Pengukuran ini memberikan gambaran peningkatan efisiensi dari pengurangan jarak perpindahan, yang secara langsung mengurangi beban fisik pekerja akibat metode perpindahan manual. Evaluasi terhadap efektivitas *layout* baru dibandingkan dengan *layout* awal memastikan bahwa aspek ergonomis dan efisiensi produksi telah dipertimbangkan dan diterapkan dalam desain tata letak yang baru.



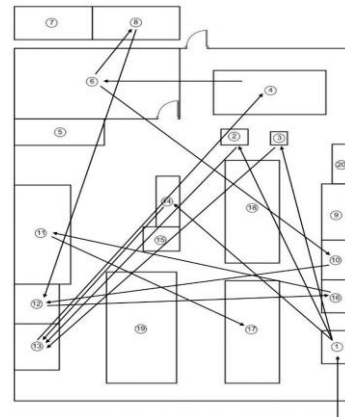
Gambar 3. Layout Awal Workshop Veneer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Layout Awal

Layout awal *workshop veneer* ditunjukkan pada Gambar 3 dan alur kerja ditunjukkan pada Gambar 4. Fasilitas *workshop veneer* diberikan nomor kode dan keterangan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan perhitungan jarak tempuh pada layout awal, total jarak untuk pengerjaan *small component* adalah 96 meter, *large component* 96,9 meter, dan *custom component* 90,5 meter, dengan rata-rata jarak tempuh 94,5 meter. Jarak tempuh untuk masing-masing grup pekerjaan *veneer* pada alur produksi *layout* awal ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 4. Alur produksi *layout* awal

Tabel 3. Keterangan fasilitas *workshop veneer*

Kode No	Keterangan Fasilitas WS	Kode No	Keterangan Fasilitas WS
1	Receiving Area	11	Sub-Assembly Veneer Area
2	Table Saw	12	Polishing Area
3	Band Saw	13	Setting Area (Fitting)
4	Sanding & Veneering Table	14	CNC Machine
5	Tool Storage	15	Power Supply
6	Spray Painting Room	16	QC Area
7	Sheet Metal Storage	17	Vehicle Unit 01
8	Large Components Drying Area	18	Vehicle Unit 02
9	Waiting List Area	19	Vehicle Unit 03
10	Small Components Drying Area	20	Storage Part Veneer

Tabel 4. Jarak tempuh dengan *layout* awal

No	Dari	Ke	Jarak Tempuh (m)
1	Receiving Area	Band Saw	9,7
2	Receiving Area	Table Saw	10,2
3	Receiving Area	CNC Machine	8,9
4	Setting Area	Veneering Table	14,3
5	Veneering Table	Spray Painting Room	6,4
6	Spray Painting Room	Small Drying Area	11,9
7	Spray Painting Room	Large Drying Area	9,1
8	Small Drying Area	Polishing Area	10,8
9	Large Drying Area	Polishing Area	15,0
10	Polishing Area	QC Area	10,6
11	QC Area	Sub Assembly Area	10,9
12	Sub Assembly Area	Vehicle Installation	8,7

3.2. Evaluasi Metode Nordic Body Map

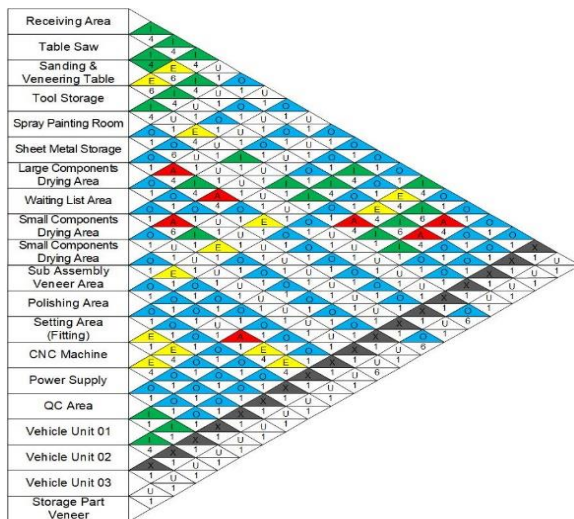
Berdasarkan hasil observasi menggunakan kuesioner NBM terhadap 5 operator utama proses veneer, penilaian skala likert digunakan untuk menghitung skor individu: TS (Tidak Sakit) = 1, AS (Agak Sakit) = 2, S (Sakit) = 3, dan SS (Sangat Sakit) = 4. Data hasil survei ditampilkan pada Tabel 8. Hasil perhitungan pada menunjukkan bahwa rata-rata total skor dari 5 operator proses veneer adalah 36. Skor ini menunjukkan tingkat risiko yang berada dalam kategori rendah, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 8. Hasil Nordic Body Map (NBM) Operator

No	Keterangan	Skor NBM
1	Operator 1	32
2	Operator 2	42
3	Operator 3	38
4	Operator 4	31
5	Operator 5	35

3.3. Evaluasi Activity Relationship Chart

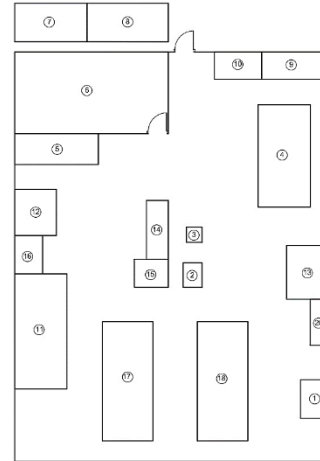
Berdasarkan hasil jarak tempuh pada layout awal, diagram Activity Relationship Chart digunakan untuk menganalisis hubungan antara fasilitas workshop veneer yang sebaiknya ditempatkan berdekatan (Gambar 5). Untuk mengoptimalkan tata letak fasilitas, perlu diperhatikan jarak dan penempatan antar departemen. Ruang pengecatan dan area produksi harus dipisahkan untuk mengurangi paparan zat kimia berbahaya, demi keselamatan dan kesehatan operator. Sebaliknya, area penerimaan harus diletakkan dekat dengan mesin pemotong (Band Saw, Table Saw, CNC Machine) untuk mengurangi jarak perpindahan material. Selain itu, area pengeringan untuk komponen kecil dan besar harus berada dekat dengan ruang pengecatan untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan setelah pengecatan. Selanjutnya, area perakitan (Sub Assembly Veneer Area) sebaiknya berdekatan dengan area QC untuk mempermudah alur kerja dari perakitan ke pemeriksaan kualitas. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, tata letak yang dihasilkan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi, keselamatan, dan kenyamanan kerja operator.



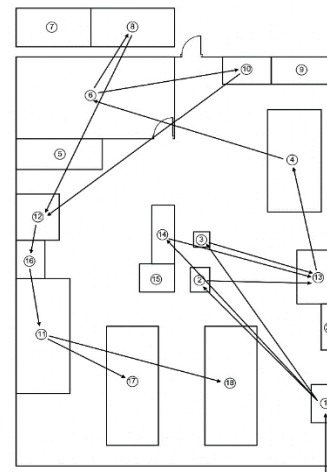
Gambar 5. Rekapitulasi Diagram ARC

3.4. Alternatif Layout 1

Konsep desain alternatif 1 menunjukkan perubahan tata letak fasilitas berdasarkan hasil analisis ARC (Gambar 6). Fasilitas vehicle unit 03 (kode 19) dihapus karena kapasitas produksinya tidak memadai, dan jadwal produksi dirombak untuk memungkinkan produksi paralel. Pengembangan konsep ini menghasilkan alur produksi yang lebih efektif dan efisien (Gambar 7).



Gambar 6. Layout Alternatif 1



Gambar 7. Alur Produksi Layout Alternatif 1

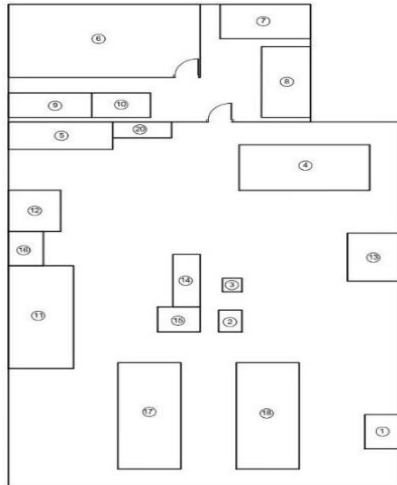
Tabel 5. Jarak Tempuh Layout Alternatif 1

No	Dari	Ke	Jarak Tempuh (m)
1	Receiving Area	Band Saw	7,9
2	Receiving Area	Table Saw	6,7
3	Receiving Area	CNC Machine	8,9
4	Setting Area	Veneering Table	4,7
5	Veneering Table	Spray Painting Room	7,9
6	Spray Painting Room	Small Drying Area	7,3
7	Spray Painting Room	Large Drying Area	9,1
8	Small Drying Area	Polishing Area	9,6
9	Large Drying Area	Polishing Area	11,0
10	Polishing Area	QC Area	1,8
11	QC Area	Sub Assembly Area	2,9
12	Sub Assembly Area	Vehicle Installation	3,9

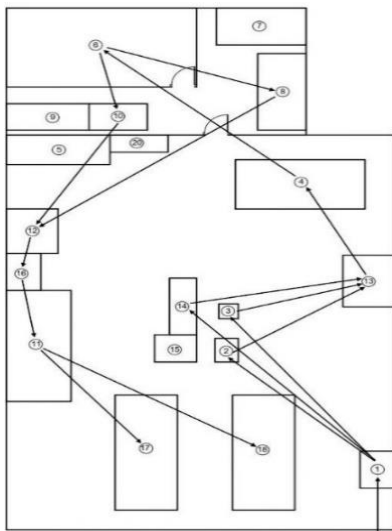
Hasil evaluasi dan perhitungan jarak tempuh (Tabel 5) untuk layout alternatif 1 menunjukkan total jarak 50,5 meter untuk pengerjaan *small component*, 52,3 meter untuk *large component*, dan 53 meter untuk *custom component*, dengan rata-rata jarak tempuh 51,8 meter.

3.5. Alternatif Layout 2

Konsep desain alternatif 2 menunjukkan perubahan tata letak fasilitas yang didasarkan pada analisis ARC, dengan tambahan ruangan baru khusus untuk proses pengecatan *veneer* (Gambar 8). Tujuannya adalah memisahkan ruang pengecatan dan perakitan untuk mengurangi paparan zat kimia pada *operator*. Meskipun ada penambahan ruangan baru, pengembangan konsep ini menghasilkan alur produksi yang lebih efektif dan efisien (Gambar 9). Hasil evaluasi pada Tabel 6 untuk layout alternatif 2 menunjukkan total jarak: 52 meter untuk *small component*, 51,9 meter untuk *large component*, dan 54,5 meter untuk *custom component*. Dengan demikian, rata-rata jarak tempuh operator adalah 52,8 meter.



Gambar 8. Layout Alternatif 2



Gambar 9. Alur Produksi Layout Alternatif 2

Tabel 6. Jarak tempuh Dengan Layout Alternatif 2

No	Dari	Ke	Jarak Tempuh (m)
1	Receiving Area	Band Saw	7,9
2	Receiving Area	Table Saw	6,7
3	Receiving Area	CNC Machine	8,9
4	Setting Area	Veneering Table	4,5
5	Veneering Table	Spray Painting Room	8,4
6	Spray Painting Room	Small Drying Area	5,6
7	Spray Painting Room	Large Drying Area	6,3
8	Small Drying Area	Polishing Area	11,0
9	Large Drying Area	Polishing Area	10,6
10	Polishing Area	QC Area	1,8
11	QC Area	Sub Assembly Area	2,9
12	Sub Assembly Area	Vehicle Installation	5,4

3.6. Pengukuran Efisiensi Perpindahan Fasilitas

Setelah memperoleh data perbandingan jarak antara layout lama dan alternatif, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan efisiensi perpindahan fasilitas produksi.

$$Efisiensi Alternatif 1 = \frac{94.5 - 51.8}{94.5} \times 100\% = 45.2\%$$

$$Efisiensi Alternatif 2 = \frac{94.5 - 52.8}{94.5} \times 100\% = 44.1\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa desain alternatif 1 meningkatkan efisiensi sebesar 45,2%, sedangkan alternatif 2 berhasil mengurangi jarak perpindahan untuk *large component product* hingga 45 meter, dimana proses tersebut memerlukan usaha yang lebih besar.

3.7. Evaluasi Desain Alternatif Layout

Metode *Standard Weighted Sum* digunakan untuk mengevaluasi kriteria desain pada alternatif 1 dan 2. Skala kepentingan kriteria berkisar dari 0 hingga 5, dengan 5 sebagai nilai tertinggi. Kemampuan setiap desain memenuhi kriteria tersebut dinilai dari 1 hingga 10. Hasil perhitungan ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan *Standard Weighted Sum*

Kriteria	Kepentingan	Layout Awal	Layout Alt. 1	Layout Alt. 2
Efisiensi	5	4,8	8,5	8,3
Operasional				
Kesesuaian	5	4,5	7,3	7,7
Ergonomi				
Optimalisasi	4	7	6,8	6,6
Ruang				
Keselamatan	3	5	6,5	7,9
Kerja				
Fleksibilitas	3	7,5	7,7	7,5
Kualitas	5	8	8	8,5
Produk				
Ketepatan	4	5	7,5	7,4
Waktu				
Efektivitas	3	6,7	6,9	6
Biaya				
SWS		192,1	239,5	242,7

Hasil *Standard Weighted Sum* (SWS) menunjukkan bahwa desain layout alternatif 2 mendapatkan skor tertinggi, yaitu 242,7. Ini menandakan bahwa desain

layout alternatif 2 adalah yang terbaik dibandingkan dengan desain alternatif lainnya dan desain awal.

3.8. Implikasi Manajerial

Implementasi *layout* alternatif yang lebih efisien dapat mengurangi waktu dan biaya produksi, meningkatkan produktivitas, serta mengurangi risiko kesehatan pekerja. Pemisahan ruang pengecatan dari area produksi utama mengurangi paparan bahan kimia berbahaya, sehingga meningkatkan keselamatan dan kenyamanan kerja. Desain *layout* yang lebih baik memungkinkan penggunaan ruang yang lebih optimal, mendukung fleksibilitas dalam penataan ulang fasilitas sesuai kebutuhan produksi. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Seim & Broberg (2010) dan Sajiyo & Prasnowo (2017) yang menunjukkan bahwa perbaikan tata letak dapat meningkatkan efisiensi dan kesejahteraan pekerja. Namun, penelitian ini menambahkan aspek pemisahan ruang pengecatan untuk mengurangi paparan bahan kimia, yang tidak dibahas secara mendalam dalam penelitian sebelumnya. Kelebihan penelitian ini adalah pendekatan holistik yang mencakup analisis ergonomi dan efisiensi. Meskipun demikian, penelitian ini masih terbatas pada satu jenis industri dan perlu diuji lebih lanjut pada industri lain untuk generalisasi hasil. Penambahan ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman tentang pentingnya desain tata letak yang efisien dan ergonomis dalam industri manufaktur.

4. KESIMPULAN

Tata letak fasilitas *workshop veneer* saat ini masih belum optimal, ditandai dengan jarak perpindahan aliran proses produksi *veneer* pada *layout* awal sebesar 94,5 meter. Setelah perbaikan dengan metode *Activity Relationship Chart* (ARC), jarak perpindahan berkurang secara signifikan menjadi 51,8 meter untuk *layout* alternatif 1 dan 52,8 meter untuk *layout* alternatif 2, mengindikasikan pengurangan jarak tempuh hingga 44,1-45,2%. Hasil metode *Standard Weighted Sum* menunjukkan bahwa *layout* alternatif 2 memiliki skor tertinggi, yaitu 242,7. Keunggulan *layout* alternatif 2 adalah kemampuannya mereduksi jarak perpindahan untuk *large component product* dan desain *layout* khusus yang memisahkan proses pengecatan dari ruang perakitan untuk menghindari paparan zat kimia pada operator lain, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan kerja. Meskipun hasil rekapitulasi NBM menunjukkan tingkat risiko rendah, kapasitas produksi yang tinggi dapat menyebabkan keluhan MSD's dalam jangka panjang.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti kurangnya variasi sampel dan tidak adanya studi dampak jangka panjang perubahan tata letak terhadap kesejahteraan pekerja. Penelitian selanjutnya, disarankan melakukan studi longitudinal untuk memantau perkembangan gangguan muskuloskeletal (MSD's) dan produktivitas pekerja setelah penerapan desain baru, serta mengeksplorasi metode yang lebih maju untuk perancangan tata letak yang lebih optimal. Sebagai langkah awal, perombakan fasilitas seperti penyesuaian tinggi meja, pemilihan alat ergonomis, dan penataan ulang area kerja diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan kesejahteraan pekerja

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah, R., Puteri, M., & Sudarwati, W. (2022). Desain *Layout* Dalam Mengoptimalkan Proses Kerja Dengan Intervensi Ergonomi (Studi Kasus Pada Fadhel Furniture). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1–9. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit/article/view/14510>
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2011). New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(1), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.12.001>
- Dewi, N. F. (2020). Identifikasi Risiko Ergonomi Dengan Metode Nordic Body Map Terhadap Perawat Poli RS X. *Jurnal Sosial Humaniora Terapan*, 2(2). <https://scholarhub.ui.ac.id/jsht/vol2/iss2/15/>
- Eka, P., Karunia Wati, D., & Singgih, M. (2019). Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas Dengan Memperhatikan Aspek Ergonomi Lingkungan Re-Design of Facilities *Layout* Using the Aspect of Environmental Ergonomics. *Jurnal Teknologi Dan Terapan Bisnis (JTTB)*, 2(2), 33–41. <https://www.jurnal.polteksi.ac.id/index.php/jttb/article/view/50>
- Gnanavel, S. S., Balasubramanian, V., & Narendran, T. T. (2015). Suzhal – An Alternative *Layout* to Improve Productivity and Worker Well-being in Labor Demanded Lean Environment. *Procedia Manufacturing*, 3, 574–580. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.268>
- ISO 6385-2016. (2016). Ergonomics principles in the design of work systems. <https://www.iso.org/standard/63785.html>
- Jamalludin, Fauzi, A., & Ramadhan, H. (2020). Metode *Activity Relationship Chart* (Arc) Untuk Analisis Perencanaan Tata Letak Fasilitas Pada Bengkel Nusantera Depok. *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*, 1(2), 20–22. <https://jim.unindra.ac.id/index.php/baiet/article/view/2836>
- Jia, H., Gao, S., Duan, Y., Fu, Q., Che, X., Xu, H., Wang, Z., & Cheng, J. (2021). Investigation of health risk assessment and odor pollution of volatile organic compounds from industrial activities in the Yangtze River Delta region, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111474>
- Lee, C., Greenhalgh, E. S., & Panesar, A. (2021). Optimisation of patch-wise laminated composite panels for enhanced dynamic characteristics. *Composite Structures*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114017>
- Mercado, S. M. (2015). Ergonomic Design Measures on Work Process and Workplace *Layout* in the Selected Structural and Fabrication Shops. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*, 3(4). <https://oaji.net/articles/2016/1543-1464680971.pdf>

- Mo, Z., Lu, S., & Shao, M. (2021). Volatile organic compound (VOC) emissions and health risk assessment in paint and coatings industry in the Yangtze River Delta, China. *Environmental Pollution*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115740>
- Orellana, S., Hadi, K., Narain, D., Jennings, M., Subhani, M., & Reiner, J. (2024). Effects of manufacturing parameters on mechanical interface properties of thin wood veneer laminates. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103614>
- Pearson, O. R., Busse, M. E., Van Deursen, R. W. M., & Wiles, C. M. (2004). Quantification of walking mobility in neurological disorders. In *QJM: An International Journal of Medicine* (Vol. 97, Issue 8, pp. 463–475). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hch084>
- Permenaker. (2018). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. <https://peraturan.go.id/id/permenaker-no-5-tahun-2018>
- Rachman, A., Widyaningrum, D., & Rizqi, A. W. (2023). Perancangan Tata Letak Fasilitas Untuk Meminimalkan Jarak Material Handling Pada Pabrik Pupuk Organik PT. Petrokopindo Cipta Selaras Dengan Metode ARC Dan ARD. In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 9, Issue 1). <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/jti/article/view/22853>
- Safitri, N. D., Ilmi, Z., & Amin, M. (2018). Analisis Perancangan Tataletak Fasilitas Produksi menggunakan Metode Activity Relationship Chart (ARC). *Jurnal Manajemen*, 9(1), 38. <https://doi.org/10.29264/jmmn.v9i1.2431>
- Sajiyo, & Prasnowo, M. A. (2017). Redesign of work environment with ergonomics intervention to reduce fatigue. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(7), 1237–1243. https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n7_21.pdf
- Seim, R., & Broberg, O. (2010). Participatory workspace design: A new approach for ergonomists? *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2009.08.013>
- Sutari, O., Rao U, S., Tech, M., & Professor, A. (2014). Development Of Plant Layout Using Systematic Layout Planning (Slp) To Maximise Production-A Case Study (Vol. 22). https://www.digitalxplore.org/up_proc/pdf/85-1403612264124-127.pdf
- Wijaya, K. (2019). Seminar dan Konferensi Nasional IDEC Identifikasi Risiko Ergonomi dengan Metode Nordic Body Map Terhadap Pekerja Konveksi Sablon Baju. <https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/2019/05/ID075.pdf>