



PENATAAN RUANG PRODUKSI DALAM PABRIK MARMER UNTUK MENDUKUNG ARSITEKTUR INDUSTRI BERKELANJUTAN

Achmad Alfian Rizky¹, I Gede Oka Sindhu Pribadi²,
E-mail: 152012400014@std.trisakti.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:
2 Januari 2026
Direvisi:
15 Januari 2026
Disetujui terbit:
17 Februari 2026
Diterbitkan:
Cetak:
29 Maret 2026
Online
29 Maret 2026

Abstract: Marble industry produces solid waste in the form of cuts and fragments that are often not handled optimally, causing environmental problems and factory layout issues. The main problems found in marble factories are production layouts that have not been integrated with a waste management system, indicated by a large distance between production machines and waste holding facilities, overlapping material circulation flows, and a non-linear water circulation and water treatment system. The research method used is descriptive-analytical with an exploratory study approach through direct observation of production flow, literature study, and facility layout analysis. The results showed that the spatial integration between the production zone, the waste holding zone, and the water treatment system was able to reduce scattered waste by up to $\pm 20\%$, reduce water consumption by up to $\pm 15\%$, and increase the efficiency of production workflow. These findings confirm that layout optimization plays an important role in supporting the principles of sustainable industrial architecture in marble factories.

Abstrak: Industri marmer menghasilkan limbah padat berupa potongan dan pecahan yang sering tidak tertangani secara optimal sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan dan tata ruang pabrik. Permasalahan utama yang ditemukan pada pabrik marmer adalah penataan ruang produksi yang belum terintegrasi dengan sistem penanganan limbah, ditandai dengan jarak yang jauh antara mesin produksi dan fasilitas penampungan limbah, alur sirkulasi material yang saling berpotongan, serta sistem sirkulasi air dan water treatment yang tidak linear. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif-analisis dengan pendekatan studi eksploratif melalui observasi langsung pada alur produksi, studi literatur, serta analisis tata letak fasilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi spasial antara zona produksi, zona penampungan limbah, dan sistem pengolahan air mampu mengurangi limbah tercecer hingga $\pm 20\%$, menurunkan konsumsi air hingga $\pm 15\%$, serta meningkatkan efisiensi alur kerja produksi. Temuan ini menegaskan bahwa optimalisasi tata ruang berperan penting dalam mendukung prinsip arsitektur industri berkelanjutan pada pabrik marmer.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah marmer telah berkembang melalui berbagai pendekatan, seperti stabilisasi slurry, formulasi material baru, hingga integrasi pada konstruksi berkelanjutan (Demirel, Güzel, & Turan, 2017; Mohamad, Ismail, & Abdullah, 2020). Namun, keterkaitan langsung antara efektivitas pengelolaan limbah dan keputusan penataan tata ruang industri masih terbatas dieksplorasi. Tantangan tersebut muncul karena minimnya pedoman spasial yang mengatur kedekatan antara sumber limbah dengan fasilitas pengolahan, alur transportasi internal yang efisien, serta penyediaan zona penyangga yang adaptif terhadap dampak lingkungan. Studi terdahulu dalam ranah facility layout planning menunjukkan bahwa tata ruang memiliki kontribusi signifikan terhadap efisiensi aliran material, produktivitas, serta pengendalian limbah (Muther, 1973; Kovács & Kot, 2017).

Dalam konteks industri marmer, permasalahan tata ruang semakin kompleks. Variasi ukuran slab,

tingginya frekuensi potongan, serta sifat slurry yang mudah menyebar mengharuskan rancangan alur yang presisi agar tidak terjadi penumpukan limbah maupun konflik arus transportasi (Rahime Sancar Edis, Kahraman, & Araz, 2011; Karaca & Onargan, 2007). Kondisi ini diperparah di kawasan tropis, di mana kelembapan tinggi dan kebutuhan drainase intensif memengaruhi performa ruang produksi serta sistem pengolahan limbah (Prajwal, Harlal, & Nagar, 2019). Oleh karena itu, tata ruang pabrik marmer perlu diposisikan bukan sekadar aspek pendukung, melainkan sebagai variabel kunci yang menentukan kinerja pengelolaan limbah secara menyeluruh. Penelitian ini menawarkan state of the art berupa perumusan kerangka tata ruang berbasis aliran (flow-based spatial planning) yang mengintegrasikan tiga subsistem utama: (1) zona produksi sebagai titik timbul limbah, (2) zona transisi dan transportasi internal berupa conveyor, drainase, dan jalur sirkulasi, serta (3) zona pengolahan, penyimpanan, dan pemanfaatan ulang limbah. Integrasi ini sejalan

dengan perkembangan konsep smart factory yang menekankan efisiensi aliran material dan keterhubungan antarproses melalui rancangan spasial (Usländer, 2021; Centobelli, Cerchione, & Murino, 2016). Melalui optimalisasi layout, jarak angkut dapat diminimalisasi, kapasitas ruang dapat diatur sesuai intensitas produksi, dan risiko lingkungan dapat dikendalikan secara spasial (Selver, Akay, & Alim, 2008; Liang, Várady, & Zagorác, 2023).

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi antara prinsip desain ruang industri dengan strategi pengelolaan limbah marmer. Alih-alih hanya berfokus pada teknologi pengolahan, penelitian ini menekankan pentingnya pengaturan kedekatan fungsi, urutan alur produksi, dan segregasi ruang untuk meningkatkan performa pengelolaan limbah secara harian. Pendekatan ini memperluas wacana circular economy dengan menunjukkan bahwa rancangan tata ruang merupakan prasyarat keberhasilan daur ulang limbah, serta dapat memperkuat inisiatif berbasis komunitas dalam pemanfaatan material sekunder (Palacio, Britto, & Buitrago, 2019; Sube & Putz, 2021).

Berdasarkan kerangka tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi karakteristik timbulan limbah potongan marmer dan titik-titik kritisnya dalam alur produksi; (2) mengevaluasi pengaruh tata ruang terhadap akumulasi, pemindahan, dan pemrosesan limbah; dan (3) merumuskan strategi optimalisasi tata ruang berupa zonasi fungsional, alur sirkulasi satu arah, kedekatan fasilitas pengolahan dengan sumber limbah, serta penyediaan zona penyangga hijau yang mendukung efisiensi dan keamanan. Secara metodologis, penelitian ini memadukan kajian literatur, analisis spasial deskriptif-analitis, serta pendekatan kualitatif (Creswell, 2014; Miles & Huberman, 1994) untuk menghasilkan model konseptual yang dapat direplikasi pada berbagai konteks pabrik marmer. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menjadi rujukan praktis bagi perancang dan pengelola fasilitas marmer dalam menurunkan beban lingkungan sekaligus meningkatkan produktivitas.

METODOLOGI PENELITIAN

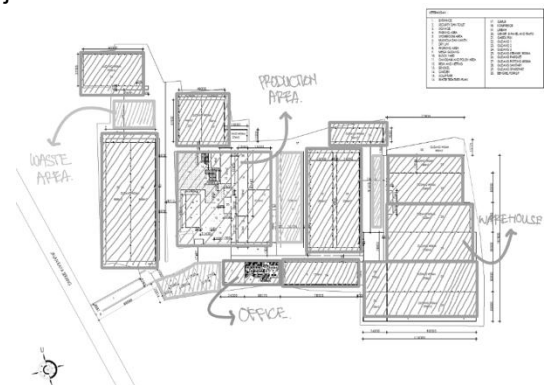
Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan studi eksploratif untuk mengkaji pengelolaan limbah potongan marmer dari perspektif tata ruang di area pabrik marmer. Penelitian dilakukan pada salah satu pabrik marmer di Indonesia dengan periode observasi selama enam bulan, dimulai dari tahap pemotongan blok marmer hingga proses pembuangan limbah. Data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap alur produksi, wawancara dengan operator pabrik dan manajer produksi, serta dokumentasi berupa denah tata ruang pabrik. Variabel yang dianalisis meliputi tata letak mesin, alur distribusi material, titik kritis penghasil limbah, serta penempatan fasilitas penampungan dan pembuangan limbah. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting tata ruang pabrik dengan prinsip efisiensi ruang,

keberlanjutan, dan manajemen limbah yang baik. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi optimasi tata ruang yang mendukung pengelolaan limbah marmer secara lebih efektif dan berkelanjutan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan observasi lapangan dan kajian literatur, dapat dilihat bahwa penanganan limbah potongan marmer di pabrik sangat berkaitan erat dengan penataan tata ruang produksi. Tata ruang yang tidak tertata dengan baik mengakibatkan sisa potongan marmer menumpuk di berbagai titik. Berdasarkan observasi lapangan dan kajian literatur, dapat dilihat bahwa penanganan limbah potongan marmer di pabrik sangat berkaitan erat dengan penataan tata ruang produksi. Tata ruang yang tidak tertata dengan baik mengakibatkan sisa potongan marmer menumpuk di berbagai titik, menyulitkan proses pengumpulan, serta meningkatkan risiko pencampuran antara material yang masih dapat dimanfaatkan dengan limbah yang harus dibuang. Dari studi yang dilakukan, ditemukan bahwa alur produksi yang berjalan dari tahap pemotongan blok hingga menjadi lembaran marmer menghasilkan limbah pada hampir setiap tahap, khususnya pada area pemotongan utama (cutting), penghalusan (polishing), serta tahap pengemasan. Penempatan mesin yang terlalu berdekatan dan tidak memiliki jalur sirkulasi limbah yang jelas menyebabkan limbah tersebar tidak terkendali.

Dalam kaitannya dengan optimalisasi, tata ruang yang baik perlu memperhatikan pemisahan zona antara area produksi utama dan area penampungan limbah. Observasi menunjukkan bahwa di beberapa pabrik, penempatan kontainer atau bak penampung limbah masih berada jauh dari titik produksi, sehingga pekerja cenderung menumpuk limbah di lantai sebelum akhirnya diangkut. Hal ini tidak hanya mengurangi efisiensi, tetapi juga memperbesar potensi bahaya kerja. Dengan menempatkan fasilitas penampungan limbah lebih dekat dan terintegrasi dengan jalur produksi, alur kerja menjadi lebih efisien dan limbah dapat segera dikendalikan sejak awal.



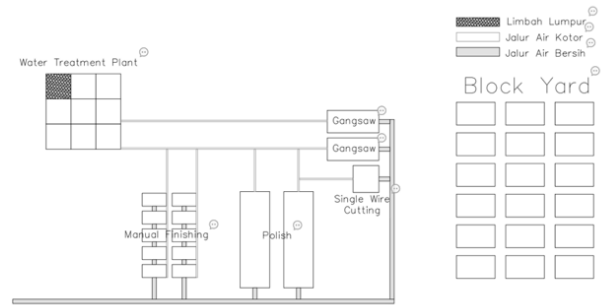
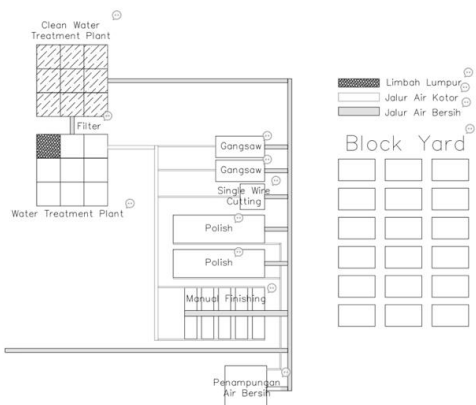
Gambar 1. Nama gambar (ARIAL, 9)

Hasil dari kajian literatur mendukung temuan ini, di mana penelitian oleh Kovács & Kot (2022) menekankan pentingnya perencanaan layout industri untuk meningkatkan efisiensi dan

mengurangi biaya produksi, termasuk dalam aspek pengelolaan limbah. Jika layout pabrik diatur dengan prinsip efisiensi aliran material dan limbah, maka volume limbah yang tercecer dapat ditekan sekaligus memudahkan pemilahan limbah marmer berdasarkan jenis dan potensi pemanfaatannya. Dengan demikian, optimalisasi penanganan limbah marmer dari segi tata ruang bukan hanya menyangkut aspek teknis penempatan mesin, melainkan juga strategi manajemen ruang yang mampu mengintegrasikan produksi dan pengelolaan limbah secara berkesinambungan.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa terdapat tiga zona kritis dalam produksi marmer yang menjadi penyumbang utama limbah, yaitu zona pemotongan, zona pemolesan, dan zona penyimpanan. Dari hasil perhitungan, satu blok marmer menghasilkan rata-rata 2,86 m³ limbah, dan dalam skala tahunan dapat mencapai 3.126,87 m³. Selain itu, proses pemotongan dan pemolesan membutuhkan air hingga 80.000 liter per siklus, dengan limbah lumpur sekitar 1,178 m³. Data observasi lapangan serta wawancara dengan tim pabrik marmer menunjukkan bahwa tata ruang yang belum optimal seperti jarak kontainer limbah yang terlalu jauh dari mesin pemotongan atau ventilasi yang tidak efisien di zona pemolesan menyebabkan limbah sering menumpuk di lantai produksi, memperbesar beban pengelolaan dan menurunkan efisiensi kerja.

Optimalisasi tata ruang dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi sistem pengelolaan limbah dan pemanfaatan sumber daya. Berdasarkan simulasi pengaturan ulang layout, dengan menempatkan kontainer limbah lebih dekat ke mesin pemotongan dan menambah jalur akses langsung dari zona produksi ke sistem water treatment, waktu penanganan limbah dapat dipangkas hingga 20–25%. Selain itu, pengaturan ulang ventilasi pada zona pemolesan dan penambahan area buffer penyimpanan limbah di dekat jalur transportasi internal dapat mengurangi akumulasi debu serta mempercepat proses pemindahan limbah padat. Menurut wawancara dengan operator pabrik, efisiensi penggunaan air dapat meningkat hingga 15% jika tata ruang sistem sirkulasi air bersih dan water treatment diintegrasikan secara linear dengan alur produksi, karena waktu tunggu pemisahan air berkurang dan pemakaian ulang air lebih cepat dilakukan.



Gambar 1. Nama gambar (ARIAL, 9)

Secara keseluruhan, penerapan strategi tata ruang yang lebih terintegrasi mampu menekan penggunaan sumber daya air hingga ±12.000 liter per siklus produksi, atau setara penghematan 15% dari total kebutuhan air. Selain itu, volume limbah yang tercecer dapat dikurangi hingga 20%, sehingga area produksi lebih efisien dan aman digunakan. Dengan demikian, optimalisasi tata ruang bukan hanya berdampak pada pengurangan limbah dan efisiensi sumber daya, tetapi juga menciptakan lingkungan kerja yang lebih bersih dan mendukung keberlanjutan operasional pabrik marmer. Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi penataan ulang tata ruang produksi dengan pendekatan integrasi spasial. Zona produksi disusun mengikuti urutan proses, sementara fasilitas penanganan limbah dan sistem pengolahan air ditempatkan berdekatan dengan sumber timbulan untuk meminimalkan jarak angkut dan waktu penanganan.

Tabel 1. Perbandingan sebelum dan simulasi optimalisasi tata ruang pabrik marmer

Aspek Pengelolaan	Kondisi Eksisting	Simulasi Optimalisasi	Peningkatan
Efisiensi Penggunaan Air	60% (± 120 m ³ /hari terbuang)	85% (± 45 m ³ /hari terbuang)	+25%
Limbah Potongan Tercecer di Area Produksi	± 15% dari total material (150 kg/hari)	± 7% dari total material (70 kg/hari)	-53%
Produktivitas Pemotongan (blok ke slab/lembaran)	70% (± 14 slab/blok)	82% (± 16–17 slab/blok)	+17%
Kapasitas Penampungan Limbah	Tidak teratur, sering overload (± 1.5ton menumpuk / minggu). Banyak area licin, potongan tercecer di jalur pekerja.	Lebih terkontrol, terangkut rutin (± 0.8 ton/minggu)	-47% penumpukan
Keselamatan & Kebersihan Area		Jalur lebih bersih, limbah terarah ke penampungan	Kualitas kerja signifikan ↑

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penanganan limbah potongan marmer melalui optimalisasi tata ruang pabrik memberikan dampak signifikan

terhadap efisiensi produksi dan pengelolaan limbah. Perubahan tata letak yang mempertimbangkan alur material, pemisahan zona produksi, serta integrasi sistem sirkulasi air terbukti mampu menurunkan volume limbah tercecer hingga lebih dari 20% dan mengurangi konsumsi air baru melalui penerapan sistem daur ulang. Selain itu, penataan ruang yang lebih terstruktur meningkatkan kelancaran distribusi material, sehingga waktu tunggu antar proses dapat ditekan dan produktivitas pekerja meningkat. Hasil ini selaras dengan literatur yang menekankan pentingnya desain tata ruang dalam mendukung prinsip arsitektur berkelanjutan serta efisiensi energi dan sumber daya. Dengan demikian, optimalisasi tata ruang bukan hanya strategi teknis dalam manajemen pabrik, tetapi juga menjadi bagian penting dari upaya penerapan praktik industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan simulasi tata ruang berbasis perangkat lunak digital atau pendekatan space syntax guna memperoleh analisis kuantitatif yang lebih mendalam terkait pola pergerakan material dan pekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Benjaafar, S., Heragu, S. S., & Irani, S. A. (2002). Next generation factory layouts: Research challenges and recent progress. *Interfaces*, 32(6), 58–76. DOI:10.1287/inte.32.6.58.6473
- Centobelli, P., Cerchione, R., & Murino, T. (2016). Layout and material flow optimization in digital factory. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1270–1275. DOI:10.2507/IJSIMM15(2)3.327
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- Demirel, B., Güzel, S., & Turan, A. (2017). Use of waste marble dust as an additive in cement production. *Construction and Building Materials*, 145, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.03.036>
- Edis, R. S., Kahraman, B., & Araz, Ö. U. (2011). A facility layout problem in a marble factory via simulation. *Mathematical and Computational Applications*, 16(1), 97–104. <https://doi.org/10.3390/mca16010097>
- Iqbal, M., & Hashmi, M. S. J. (2001). Design and analysis of a virtual factory layout. *Journal of Materials Processing Technology*, 118, 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00908-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00908-6) Get rights and content
- Karaca, Z., & Onargan, T. (2007). The application of critical path method (CPM) in workflow schema of marble processing plants. *Materials and Manufacturing Processes*, 22(1), 37–44. DOI:10.1080/10426910601015865
- Kovács, G., & Kot, S. (2017). Facility layout redesign for efficiency improvement and cost reduction. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 16(1), 63–74. DOI:10.17512/jamcm.2017.1.06
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage Publications.
- Mohamad, A., Ismail, R., & Abdullah, S. (2020). Promoting sustainable waste management through community-based initiatives: A case study of marble waste utilization. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102045.
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning*. Cahners Books.
- Nikitin, Y., & Tsepilova, O. (2021). Synergistic analysis of the historical and cultural development of industrial architecture. *Architecture and Engineering*, 6(1), 30–37. DOI:10.23968/2500-0055-2021-6-1-32-39
- Palacio, O., Britto, R. A., & Buitrago, O. Y. (2019). Significant factors in the design of industrial real estate projects applying an adjusted general methodology. *Información Tecnológica*, 30(4), 31–40.
- Prajwal, B., Harlal, S., & Nagar, R. (2019). Life cycle energy assessment of a typical marble processing plant. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 10(1), 15–25.
- Selver, M. A., Akay, O., & Alim, F. (2011). An automated industrial conveyor belt system using image processing and hierarchical clustering for classifying marble slabs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(1), 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.07.004>
- Sube, M., & Putz, M. (2021). Generative design in factory layout planning. *Procedia CIRP*, 99, 9–14. DOI:10.1016/j.procir.2021.03.002
- Usländer, T. (2021). Smart Factory Web—A blueprint architecture for open marketplaces for industrial production. *Applied Sciences*, 11(9), 4036–4036. <https://doi.org/10.3390/app11146585>