

---

# Analysis of Fabrication Work Progress Based on Time Duration and Component Weight at PT. DIP Engineering

Rantini Dwi Oktavia<sup>1</sup>, Nahrul Hayati<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Mathematics, Batam Institute of Technology, Batam, Indonesia,

<sup>1</sup> [2224004@student.iteba.ac.id](mailto:2224004@student.iteba.ac.id), <sup>2</sup> [nahrul@iteba.ac.id](mailto:nahrul@iteba.ac.id)

\*Corresponding author

---

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis progres pekerjaan fabrikasi di PT. DIP Engineering berdasarkan parameter waktu dan bobot komponen. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan menganalisis data sekunder *output* produksi harian dan durasi antar tahapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas puncak terjadi pada akhir Mei, diikuti penurunan di awal Juni akibat revisi desain dan peralihan tahapan. Analisis durasi mengidentifikasi waktu tunggu dari *fit-up* ke *welding* sebagai *bottleneck* utama dengan rata-rata 5.42 hari (73% dari total siklus 7.42 hari). Uji korelasi Pearson menunjukkan hubungan positif yang kuat dan signifikan antara bobot komponen dan kuantitas item pada tahap *welding* dan *visual inspection*, meskipun koefisien determinasi menunjukkan bahwa faktor lain seperti kompleksitas item juga sangat berpengaruh. Simpulan penelitian ini adalah pemantauan berbasis data bobot komponen dan waktu memberikan *insight* objektif untuk perencanaan produksi, dan upaya optimal harus difokuskan pada mengurangi antrian di tahap *welding* untuk mempercepat siklus produksi secara keseluruhan.

### Kata Kunci:

Progres Pekerjaan Fabrikasi; Durasi Waktu; Bobot Komponen

## ABSTRACT

*This study aims to analyze the progress of fabrication work at PT. DIP Engineering based on time parameters and component weight. The research method used is descriptive quantitative by analyzing secondary data of daily production output and inter-stage durations. The results show that peak activity occurred at the end of May, followed by a decline in early June due to design revisions and stage transitions. Duration analysis identified the waiting time from fit-up to welding as the main bottleneck, with an average of 5.42 days (73% of the total 7.42-day cycle). Pearson correlation test showed a strong and significant positive relationship between weight and quantity of item in the welding and visual inspection stages, although the coefficient of determination indicates that other factors such as item complexity also have a major influence. The study concludes that monitoring based on weight and time data provides objective insights for production planning, and optimization efforts should be focused on reducing queues at the welding stage to accelerate the overall production cycle.*

### Keywords:

*Fabrication Work Progress, Time Duration, Component Weight*

---

## 1. PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi, fabrikasi merupakan proses fundamental dalam pengolahan material baku atau setengah jadi menjadi komponen baru yang memiliki nilai tambah dan fungsi tertentu [1], [2]. Sebagai salah satu tahap kritis dalam suatu proyek, kinerja pekerjaan fabrikasi berdampak langsung terhadap keberlangsungan jadwal keseluruhan [3], [4], [5]. Setiap keterlambatan pada tahap ini berpotensi menimbulkan efek berantai yang mengganggu tahapan konstruksi berikutnya [6], sehingga memerlukan pengelolaan dan pengawasan yang ketat [7].

PT. DIP Engineering, sebagai perusahaan yang bergerak di bidang fabrikasi, menjalankan serangkaian proses yang mencakup *cutting*, *fit-up*, *welding*, dan *visual inspection* [8], [9]. Ketepatan waktu dalam menyelesaikan setiap tahapan ini sangat penting untuk menjamin produktivitas dan kelancaran proyek [10], [11], [12]. Sebagaimana dinyatakan oleh Kelvin dan Sulistio (2018), produktivitas merupakan faktor penentu yang mempengaruhi berbagai aspek pelaksanaan proyek konstruksi, termasuk aspek biaya [13], [14]. Pengaruhnya dapat terlihat jelas dari ada atau tidaknya *delay* (penundaan) dalam pelaksanaan pekerjaan [15], [16], [17].

Perencanaan dan penjadwalan proyek yang tepat dan lengkap mutlak diperlukan karena suatu proyek melibatkan rangkaian kegiatan yang saling terikat [18]. Masalah durasi pengerjaan dapat menimbulkan kerugian biaya jika terlambat dari jadwal, sebaliknya dapat memberikan keuntungan jika dapat dipercepat [19], [20], [21]. Namun, permasalahan keterlambatan seringkali terjadi akibat kurangnya sistem monitoring yang berbasis data objektif [22]. Waktu pelaksanaan yang akurat, yang diperoleh dari durasi menyelesaikan bagian-bagian pekerjaan yang saling terkait, menjadi kunci dalam perencanaan tersebut [23], [24], [25].

Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan analitis untuk memantau progres fabrikasi secara lebih objektif dan terukur. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan menganalisis hubungan antara dua parameter utama, yaitu waktu durasi antar tahapan dan bobot komponen yang diselesaikan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan *insight* yang jelas mengenai produktivitas harian, efisiensi alur proses, serta identifikasi potensi *bottleneck*, yang pada akhirnya dapat mendukung proses pengambilan keputusan manajerial yang lebih efektif di PT. DIP Engineering.

## 2. METODE

Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang bersifat analitik deskriptif. Rancangan deskriptif dipilih untuk memaparkan karakteristik variabel-variabel utama, yaitu bobot material, volume item, dan waktu antar proses. Sementara itu, aspek analitik diterapkan untuk mengevaluasi hubungan korelasi antar variabel serta menguji signifikansi statistiknya. Desain penelitian yang digunakan adalah *ex-post facto*, mengingat analisis dilakukan berdasarkan data kinerja masa lalu yang telah terekam tanpa adanya manipulasi dari peneliti.

Lokasi penelitian berpusat di PT. DIP Engineering. Data kinerja produksi diambil secara retrospektif dari seluruh catatan harian yang mencakup kurun waktu Mei hingga Juni 2024. Rentang waktu ini sengaja dipilih karena merepresentasikan dinamika produktivitas yang fluktuatif, seperti capaian tertinggi pada akhir Mei dan fenomena penurunan di awal Juni, sehingga dianggap mampu memberikan gambaran yang menyeluruh.

Populasi target dalam studi mencakup semua catatan *output* produksi harian pada seluruh tahapan fabrikasi, yaitu pemotongan (*cutting*), perakitan (*fit-up*), pengelasan (*welding*), dan pemeriksaan visual (*visual inspection*) selama periode yang ditentukan. Pemilihan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Kriteria inklusi yang diterapkan adalah:

- a. Data harus berasal dari proyek fabrikasi dengan karakteristik komponen dan kompleksitas pekerjaan yang homogen.
- b. Data memiliki informasi yang utuh, meliputi tanggal pengerjaan, identifikasi item, bobot komponen (kg), dan kuantitas item yang diproduksi.

Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih sebanyak 274 set data (Tabel 1) untuk setiap kelompok proses yang dianalisis. Sampel yang dianggap memadai untuk mewakili kondisi sebenarnya.

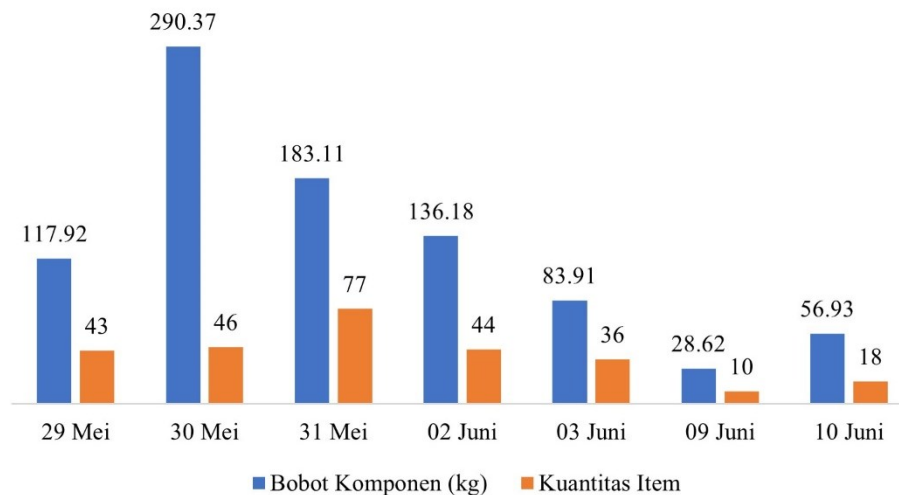
**Tabel 1. Output Produksi Harian Seluruh Tahapan Fabrikasi PT. DIP Engineering**

No.	TAG	Weight (kg)	Cutting	Fit-Up	Welding	Visual Inspection
1.	IS-003	9,64	30-Mei	30-Mei	13-Jun	15-Jun
2.	IS-004	10,26	30-Mei	30-Mei	08-Jun	10-Jun
3.	IS-005	4,48	03-Jun	03-Jun	08-Jun	10-Jun
4.	IS-006	3,78	03-Jun	03-Jun	08-Jun	10-Jun
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
269.	IS-507	22,81	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun
270.	IS-508	21,54	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun
271.	IS-509	23,75	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun
272.	IS-510	25,44	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun
273.	IS-511	27,2	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun
274.	IS-512	23,68	30-Mei	30-Mei	05-Jun	07-Jun

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Output Produksi Harian Cutting dan Fit-Up

Proses produksi harian *cutting* dan *fit-up* pada fabrikasi di PT. DIP Engineering dilakukan secara terintegrasi dalam hari yang sama. Kebijakan integrasi ini sangat efektif untuk memitigasi risiko kehilangan material, kerusakan, atau tercampurnya komponen yang telah dipotong sebelum dirakit. Data yang terkumpul selama periode 29 Mei hingga 10 Juni, menampilkan fluktuasi *output* yang signifikan dan memberikan gambaran yang jelas mengenai dinamika produksi.



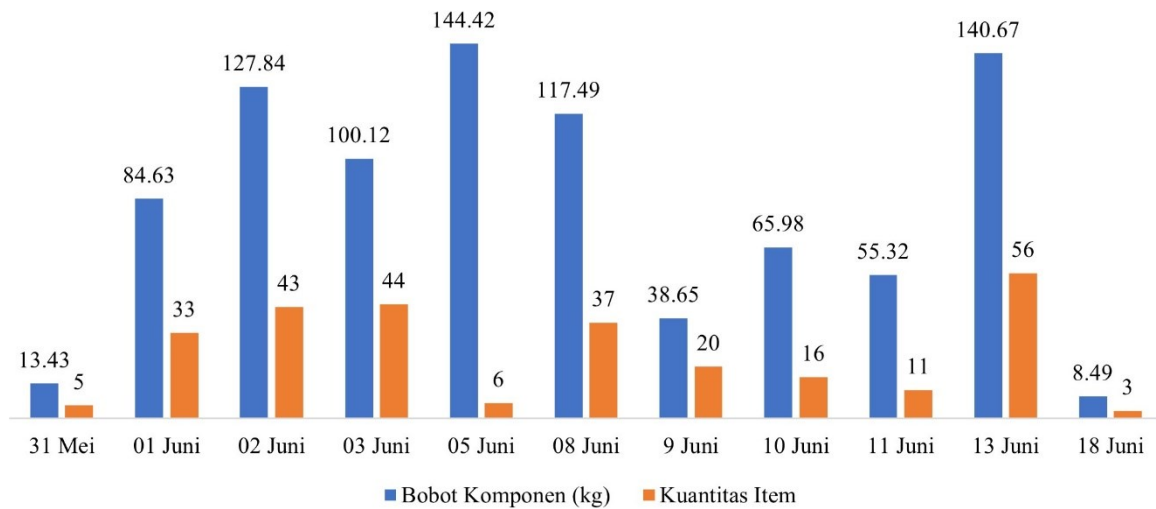
**Gambar 1. Produksi Harian Cutting dan Fit-Up**

Berdasarkan Gambar 1, *output* produksi menunjukkan pola yang tidak merata. Aktivitas puncak terjadi pada akhir bulan Mei, tepatnya pada tanggal 30 dan 31. Capaian tertinggi berdasarkan bobot komponen dicapai pada tanggal 30 Mei sebesar 290.37 kg, sementara capaian tertinggi berdasarkan kuantitas item terjadi pada tanggal 31 Mei sebanyak 77 item. Perbedaan ini mengindikasikan variasi kompleksitas dan ukuran item yang dikerjakan. Item yang diproduksi pada tanggal 30 Mei cenderung merupakan komponen struktural yang besar dan berat, sehingga meskipun jumlahnya hanya 46 item, bobot yang dihasilkan sangat besar. Sebaliknya, item yang dikerjakan pada tanggal 31 Mei didominasi oleh komponen yang lebih kecil dan ringan, yang memungkinkan penyelesaian dalam volume yang lebih banyak.

Setelah memasuki bulan Juni, terjadi penurunan *output* yang drastis. Pada tanggal 3 Juni, *output* turun menjadi 83.91 kg dan 36 item, bahkan tidak terdapat catatan produksi (*output nol*) pada tanggal 4-8 Juni. *Output* kembali muncul pada tanggal 9 dan 10 Juni, namun dengan volume yang sangat rendah, masing-masing 28.62 kg/10 item dan 56.93 kg/18 item.

### 3.2 Output Produksi Harian Welding

Proses *welding* merupakan tahapan kritis yang sangat bergantung pada ketersediaan material hasil dari proses *cutting* dan *fit-up*. Data *output* harian *welding* dari tanggal 31 Mei hingga 18 Juni menunjukkan dinamika produksi yang mencerminkan pola aliran kerja dari tahap sebelumnya, dengan variasi yang dipengaruhi oleh ukuran dan kompleksitas item.



**Gambar 2. Produksi Harian Welding**

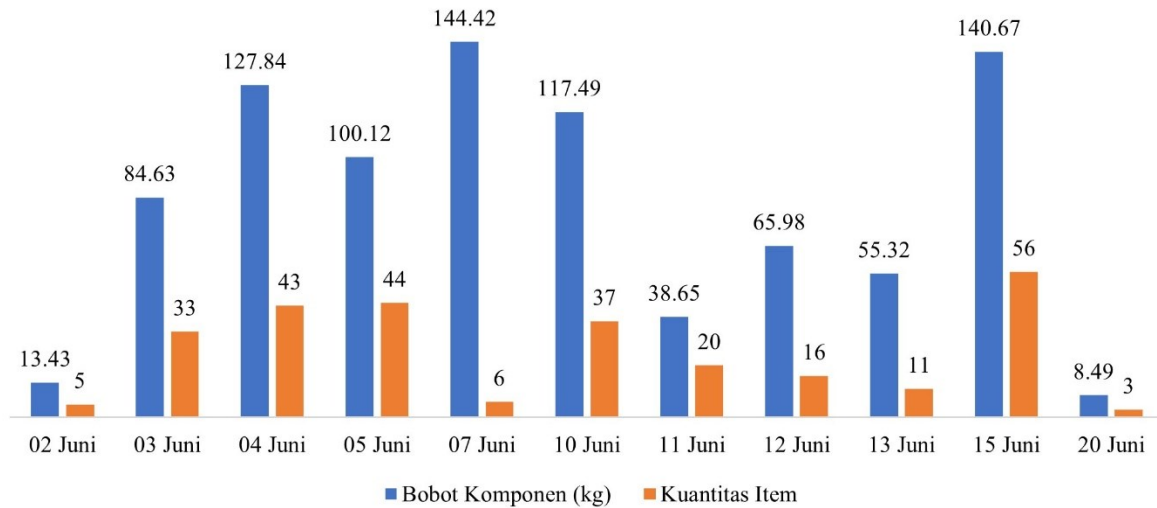
Berdasarkan Gambar 2, aktivitas *welding* menunjukkan pola yang tidak konsisten, namun dapat dikelompokkan menjadi tiga fase utama. Fase awal, terjadi peningkatan signifikan dalam *output*. Dimulai dari 5 item (13.43 kg) pada 31 Mei, *output* melonjak menjadi rata-rata di atas 40 item dan 100 kg per hari pada periode 1-3 Juni. Peningkatan ini merupakan dampak langsung dari tingginya *output cutting-fit up* pada akhir Mei (30-31 Mei), yang akhirnya tersedia untuk di-*welding* dengan jeda waktu (*time lag*) sekitar 1-2 hari, sesuai dengan durasi antar tahap yang telah dianalisis sebelumnya.

Fase puncak dan fluktuasi, terlihat jelas variasi ekstrem antara bobot dan jumlah item. Contoh paling nyata adalah pada 5 Juni, bobot yang dihasilkan sangat tinggi (144.42 kg) meskipun jumlah item hanya 6. Hal ini mengindikasikan bahwa item yang dikerjakan adalah komponen utama yang berukuran sangat besar dan membutuhkan lasan yang banyak. Sebaliknya, pada tanggal 13 Juni, bobot yang dihasilkan juga tinggi (140.67 kg) tetapi dengan jumlah item yang jauh lebih banyak (56 item). Ini menunjukkan karakteristik item yang lebih kecil dan ringan, tetapi memerlukan *effort welding* yang tetap tinggi karena jumlah sambungannya yang banyak.

Fase penurunan, *output welding* mengalami penurunan drastis menjadi hanya 3 item (8.49 kg). Hal ini menandakan bahwa stok item dari proses *fit-up* telah menipis dan proyek mulai memasuki tahap penyelesaian. Sebagian besar pekerjaan telah beralih ke tahap *visual inspection* dan kemungkinan besar tahap pengiriman.

### 3.3 Output Produksi Harian Visual Inspection

Proses *visual inspection* merupakan tahap final dalam rangkaian proses fabrikasi yang berfungsi sebagai penjamin kualitas (*quality gate*) sebelum produk dikirim. Data *output* inspeksi visual dari tanggal 2 Juni hingga 20 Juni menunjukkan pola yang sangat terkait dengan hasil *output* proses *welding*, dengan jeda waktu (*time lag*) yang konsisten sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) perusahaan.



Gambar 3. Produksi Harian Visual Inspection

Berdasarkan Gambar 3, pola *output visual inspection* secara jelas mereplikasi pola *output* proses *welding* dengan jeda waktu 2 hari. Korelasi yang sempurna antara bobot dan jumlah item yang di-*welding* dan yang di-*inspection* dua hari kemudian membuktikan bahwa proses inspeksi berjalan secara tertib dan terencana, mengikuti aliran kerja yang telah ditetapkan.

### 3.4 Analisis Durasi Waktu Setiap Tahapan Pekerjaan Fabrikasi

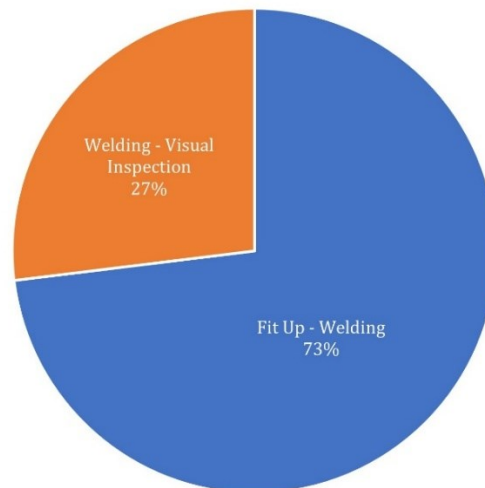
Analisis terhadap durasi waktu perpindahan antar tahapan pekerjaan merupakan aspek kritis dalam mengevaluasi efisiensi alur produksi secara keseluruhan. Perhitungan rata-rata waktu ini tidak hanya berfungsi sebagai alat diagnostik untuk mengidentifikasi *bottleneck*, tetapi juga sebagai dasar fundamental untuk perencanaan dan penjadwalan proyek yang lebih akurat di masa depan.

$$\text{Rata-rata Durasi Fit Up ke Welding} = \frac{\text{Total Durasi Seluruh Item}}{\text{Jumlah Item}} = \frac{1486 \text{ hari}}{274 \text{ item}} = 5.423 \text{ hari}$$

Durasi *fit-up* ke *welding* mencerminkan waktu tunggu (*waiting time*) yang diperlukan sebelum *assembly* yang telah di-*fit-up* dapat memasuki proses *welding*. Waktu yang relatif lama ini, yang mencapai lebih dari 5 hari, mengindikasikan adanya beberapa faktor operasional. Faktor-faktor tersebut dapat meliputi antrian pada stasiun kerja *welding* yang padat, keterbatasan jumlah *welder* atau peralatan, kebutuhan untuk melakukan *preparatory work* sebelum pengelasan, atau penjadwalan *batch* kerja yang menunggu kumpulan item dengan jumlah tertentu sebelum proses *welding* dimulai untuk efisiensi *setup*. Durasi ini menjadi area kritis yang berpotensi untuk dioptimasi guna mempercepat keseluruhan siklus produksi.

$$\text{Rata-rata Durasi Welding ke V. Inspection} = \frac{\text{Total Durasi Seluruh Item}}{\text{Jumlah Item}} = \frac{548 \text{ hari}}{274 \text{ item}} = 2 \text{ hari}$$

Durasi *welding* ke *visual inspection* sangat konsisten dan sesuai dengan SOP perusahaan yang telah ditetapkan. Jeda waktu 2 hari ini bukanlah indikasi inefisiensi, melainkan sebuah kebijakan yang disengaja (*deliberate delay*) untuk menjamin kualitas. Waktu ini berfungsi sebagai *cooling period* yang memungkinkan tegangan sisa (*residual stress*) pada lasan berkurang dan cacat potensial dapat terlihat dengan lebih jelas, sehingga meningkatkan efektivitas inspeksi. Selain itu, jeda ini memberikan fleksibilitas bagi tim QC untuk menjadwalkan aktivitas inspeksi mereka secara terencana, menghindari penumpukan kerja yang dadakan dan memastikan setiap pemeriksaan dilakukan dengan teliti.



**Gambar 4. Durasi Waktu Pekerjaan Fabrikasi**

Secara keseluruhan, total rata-rata waktu dari penyelesaian *fit-up* hingga terselesaikannya inspeksi visual adalah 7.423 hari. Gambar 4 menyajikan bahwa sebagian besar waktu, yaitu 73% (5.423 hari) dihabiskan dalam periode menunggu tahap *fit-up* dan dimulainya *welding*. Hal ini mengindikasikan bahwa tahap *welding* berpotensi menjadi *bottleneck* utama dalam aliran produksi. Sementara itu, hanya 27% dari total waktu (2 hari) yang digunakan untuk proses antara *welding* dan *visual inspection*, yang sesuai dengan kebijakan perusahaan untuk pemeriksaan kualitas yang terencana. Dengan demikian, upaya percepatan siklus produksi harus berfokus pada optimasi antrian dan efisiensi di tahap *welding*, karena pengurangan waktu tunggu pada tahap ini akan memberikan dampak paling signifikan terhadap percepatan keseluruhan proyek.

### 3.5 Analisis Korelasi Bobot Komponen dan Kuantitas Item yang Diproduksi Harian

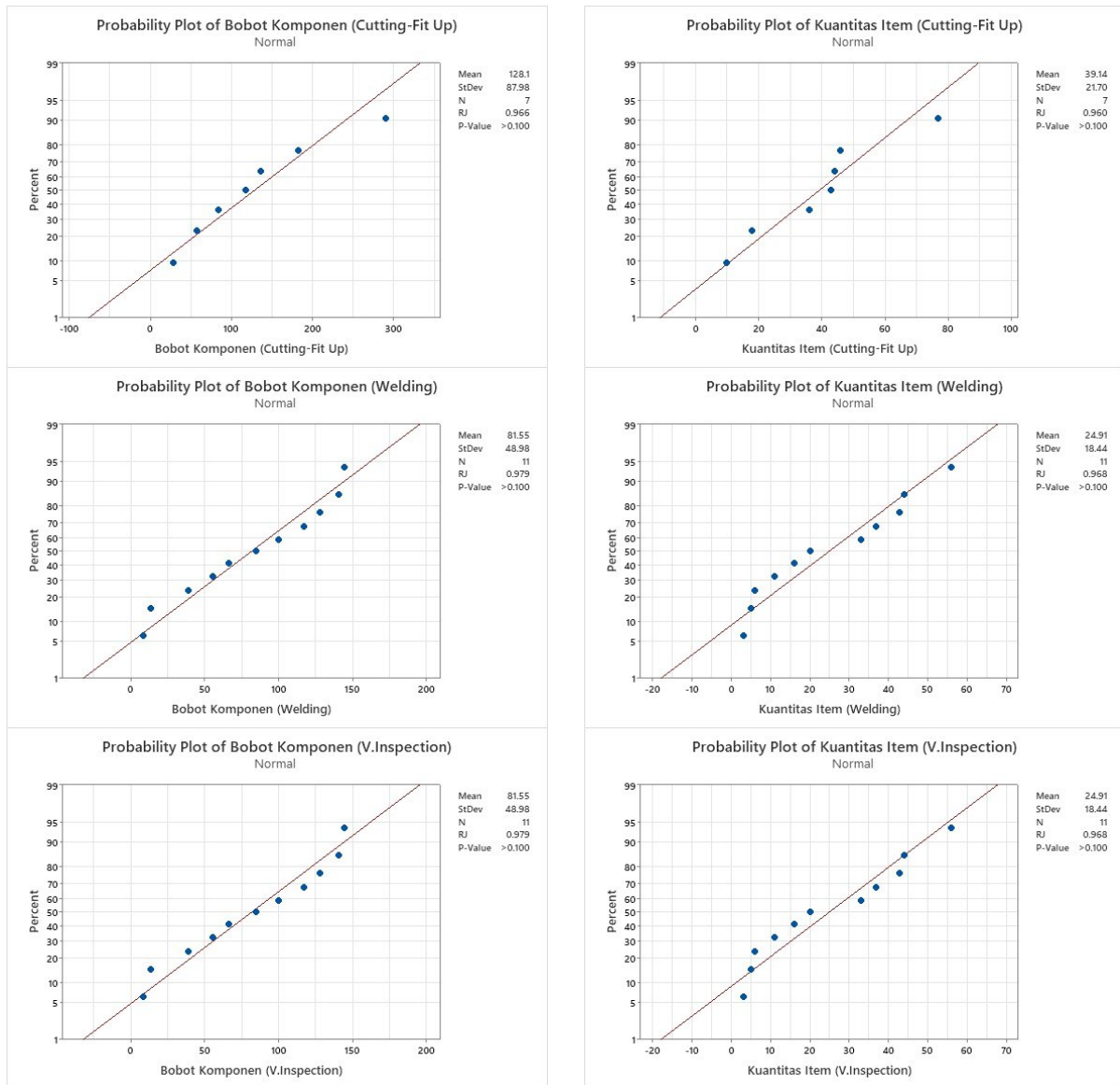
Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel penting dalam produksi harian, yaitu bobot komponen (kg) dan kuantitas item yang dihasilkan penelitian ini menggunakan uji korelasi Pearson untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara kedua variabel tersebut. Sebelum dilakukan uji korelasi, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas sebagai prasyarat analisis parametrik.

Uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk secara umum lebih *powerful* untuk mendeteksi penyimpangan distribusi normal pada sampel berukuran kecil ( $n < 50$ ). Uji Shapiro-Wilk lebih sensitif terhadap ketidaknormalan, terutama yang disebabkan oleh *skewness* (kemencengan) atau kurtosis (keruncingan). Uji ini dilakukan secara terpisah pada variabel bobot komponen dan variabel kuantitas item untuk setiap tahap proses (*cutting-fit up*, *welding*, *visual inspection*). Oleh karena itu, untuk 3 tahap proses, total variabel yang diuji adalah  $3 \text{ tahap} \times 2 \text{ variabel} = 6 \text{ variabel}$ . Adapun hipotesis uji normalitas untuk setiap variabelnya adalah:



- $H_0$ : Data berdistribusi normal
- $H_1$ : Data tidak berdistribusi normal

Taraf signifikansi yang digunakan adalah 0.05. Jika nilai p-value > 0.05, maka  $H_0$  diterima.



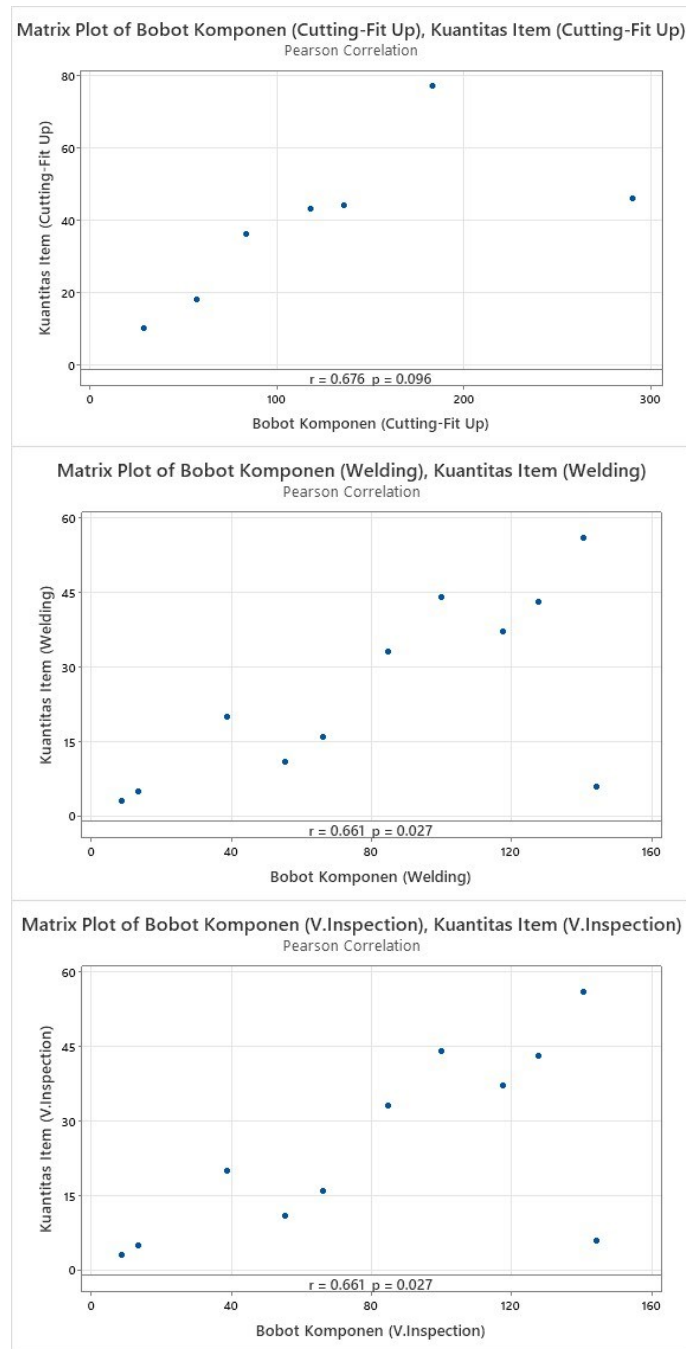
**Gambar 5. Hasil Uji Normalitas Bobot Komponen dan Kuantitas Item**

Berdasarkan hasil uji Shapiro-Wilk pada Gambar 5, keenam variabel menunjukkan nilai signifikansi p-value > 0.05. Hal ini berarti  $H_0$  diterima untuk semua variabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel, baik bobot komponen maupun kuantitas item untuk semua tahapan berdistribusi normal. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas untuk semua variabel, maka analisis dapat dilanjutkan dengan menggunakan uji korelasi Pearson.

Uji korelasi Pearson dilakukan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara variabel bobot komponen dan kuantitas item pada seluruh tahapan fabrikasi. Koefisien korelasi ( $r$ ) bernilai antara  $-1$  hingga  $+1$ . Berikut adalah hipotesis uji korelasi setiap tahap prosesnya:

- $H_0$ : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara bobot dan kuantitas item
- $H_1$ : Terdapat hubungan yang signifikan antara bobot dan kuantitas item

Kriteria keputusannya jika nilai  $p$ -value  $< 0.05$  maka  $H_0$  ditolak dan terdapat hubungan yang signifikan antara bobot komponen dan kuantitas item [26].



**Gambar 6. Hasil Uji Korelasi antara Bobot Komponen dan Kuantitas Item**

Berdasarkan Gambar 6, tahapan *cutting- fit up* memiliki koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.676. Nilai ini menunjukkan hubungan positif yang kuat, artinya peningkatan kuantitas item cenderung diikuti oleh peningkatan bobot. Namun,  $p$ -value yang diperoleh adalah 0.096 ( $p > 0.05$ ). Hal ini berarti bahwa hubungan yang kuat ini tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini diduga kuat disebabkan oleh variasi ukuran item yang sangat besar (seperti pada tanggal 30 Mei dengan item berat dan 31 Mei dengan item ringan dalam jumlah banyak) dan jumlah sampel data yang relatif kecil ( $n = 7$ ), sehingga kekuatan statistik (*statistical power*) uji menjadi rendah.



Tahapan *welding* memiliki koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.661. Nilai ini menunjukkan hubungan positif yang kuat. Nilai  $p$ -value yang diperoleh adalah 0.027 ( $p < 0.05$ ). Hal ini berarti bahwa hubungan antara bobot dan kuantitas pada tahap *welding* signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak item yang dikerjakan, semakin besar pula total bobot yang diselesaikan dalam sehari, dan hubungan ini sangat konsisten.

Tahapan *visual inspection* memiliki koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.661. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, data pada tahap ini adalah replika dari *welding*. Oleh karena itu, nilai  $p$ -value yang diperoleh juga sama dengan *welding*, yakni 0.027. Hubungan yang sangat kuat dan signifikan ini kembali menginformasi pola yang terjadi pada proses *welding*.

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengetahui seberapa besar persentase variasi dalam variabel terkait (kuantitas item) yang dapat dijelaskan oleh variasi dari variabel bebas (bobot komponen), atau sebaliknya. Untuk mengetahui koefisien determinasi, dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$R^2 = r^2 \times 100\%$$

Berdasarkan Gambar 6, tahapan *cutting-fit up* memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 45.7%. Artinya, sekitar 45.7% dari variasi *output* kuantitas item dapat dijelaskan oleh variasi bobot komponen, dan sisanya 54.3% dijelaskan oleh faktor lain. Tahapan *welding* dan *visual inspection* memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 43.7%. Artinya, sekitar 43.7% dari variasi *output* kuantitas item dapat dijelaskan oleh variasi bobot komponen, dan sisanya 56.3% dijelaskan oleh faktor lain.

#### 4. KESIMPULAN

Progres fabrikasi di PT. DIP Engineering menunjukkan pola yang sistematis namun menghadapi tantangan efisiensi pada antrian tahap *welding*. *Output* produksi harian *cutting-fit up*, *welding*, dan *visual inspection* membuktikan adanya hubungan positif yang kuat dan signifikan secara statistik antara bobot komponen dan kuantitas item, khususnya pada tahap *welding* dan *visual inspection*, meskipun bobot hanya menjelaskan 43.7% variasi *output*, menunjukkan dominannya faktor lain seperti kompleksitas pekerjaan. Analisis durasi mengungkap bahwa rata-rata waktu tunggu dari *fit-up* ke *welding* adalah 5.42 hari (73% dari total siklus 7.42 hari), mengidentifikasi tahap ini sebagai *bottleneck* utama, sementara durasi *welding* ke *visual inspection* yang konsisten 2 hari merefleksikan penerapan SOP *quality control* yang efektif. Temuan ini menyoroti perlunya optimasi penjadwalan dan alokasi sumber daya pada tahap *welding* untuk mempercepat siklus produksi secara keseluruhan, sementara hubungan yang kuat antara bobot dan kuantitas dapat dijadikan dasar untuk perencanaan produksi yang lebih akurat.

#### 5. REFERENSI

- [1] A. Sugilar, "Jurnal Teslink : Teknik Sipil dan Lingkungan Identifikasi Biaya K3 Dalam Pekerjaan Fabrikasi Tulangan Besi di proyek," vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.52005/teslink.v1i1s1.xxx.
- [2] J. Fan, Y. Liu, L. Zhou, K. Zhao, and S. Cai, "Prefabricated building policy and low-carbon transformation of China's construction industry," *Energy Build*, vol. 347, p. 116328, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2025.116328.

- [3] Y. Zhang and H. Mo, "Intelligent building construction cost optimization and prediction by integrating BIM and elman neural network," *Heliyon*, vol. 10, no. 18, p. e37525, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E37525.
- [4] K. Torres *et al.*, "Exploring the knowledge structure of building information modeling (BIM) adoption in construction scheduling: A bibliometric analysis from 2008 to 2024," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 16, no. 8, p. 103446, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.ASEJ.2025.103446.
- [5] S. Arvikar, P. P. W. Aung, G. Cha, and S. Park, "Augmented Reality-based construction site management using optimized BIM and project schedule integration," *Autom Constr*, vol. 175, p. 106204, Jul. 2025, doi: 10.1016/J.AUTCON.2025.106204.
- [6] J. B. B. Pea-Assounga, H. Yao, G. Mulindwa Bahizire, P. D. R. Bambi, and J. D. Nima Ngapey, "Effect of financial innovation and stakeholders' satisfaction on investment decisions: Does internet security matter?," *Heliyon*, vol. 10, no. 6, p. e27242, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E27242.
- [7] M. Heydari and A. Shojaei, "Blockchain applications in the construction supply chain," *Autom Constr*, vol. 171, p. 105998, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.AUTCON.2025.105998.
- [8] T. Lan, P. Feng, J. Zhang, X. Zhang, and J. Wang, "Digital twin-driven senseless cutting force monitoring and vibration stability control of a rotary ultrasonic machining system," *Mech Syst Signal Process*, vol. 223, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.ymsp.2024.111922.
- [9] J. Tao, N. M. Nor, and A. B. Bin Abdullah, "Acoustic signal-based automated control of welding penetration using digital twin technology," *Mech Syst Signal Process*, vol. 208, p. 110962, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.YMSSP.2023.110962.
- [10] D. Ismael and T. Shealy, "Sustainable construction risk perceptions in the Kuwaiti construction industry," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 6, Jun. 2018, doi: 10.3390/SU10061854.
- [11] A. L. Olanrewaju, "Foundations of sustainable construction management with international benchmarking," *Sustainable Futures*, vol. 10, p. 101155, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.SFTR.2025.101155.
- [12] K. Khun-Anod and C. Limsawasd, "Pre-project planning process study of green building construction projects in Thailand," *Engineering Journal*, vol. 23, no. 6, pp. 67–81, Nov. 2019, doi: 10.4186/EJ.2019.23.6.67.
- [13] Y. Kelvin and D. H. Sulistio, "Pengaruh Produktivitas terhadap Biaya Pekerjaan Fabrikasi Besi Proyek Indonesia 1 dengan Metode Crew Balance Chart," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 61–70, Nov. 2018.
- [14] M. S. Kenevisi *et al.*, "Tool steels and their additive manufacturing for fabrication and repair via PBF and DED processes: techniques, challenges, and applications," *Mater Des*, vol. 258, p. 114639, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.MATDES.2025.114639.
- [15] S. Alsulamy, "Predicting construction delay risks in Saudi Arabian projects: A comparative analysis of CatBoost, XGBoost, and LGBM," *Expert Syst Appl*, vol. 268, p. 126268, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ESWA.2024.126268.
- [16] M. B. Ahmadzai and K. Ye, "A mixed-method investigation of the root causes of construction project delays in Afghanistan," *Heliyon*, vol. 11, no. 2, p. e41923, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.HELIYON.2025.E41923.
- [17] L. Zhao, X. Qin, and C. Chen, "Research on Risk Factors of Construction Project Delays Based on System Dynamics," *Procedia Comput Sci*, vol. 266, pp. 349–356, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.08.044.
- [18] K. Castañeda, O. Sánchez, C. A. Peña, R. F. Herrera, and G. Mejía, "BIM-lean integration for construction scheduling of road intersections," *Autom Constr*, vol. 176, p. 106247, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.AUTCON.2025.106247.

- [19] A. S. Patil, A. K. Agarwal, K. Sharma, and M. K. Trivedi, "Time-cost trade-off optimization model for retrofitting planning projects using MOGA," *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 3823–3833, Jul. 2024, doi: 10.1007/S42107-024-01014-Y.
- [20] T. Wang, M. Abdallah, C. Clevenger, and S. Monghasemi, "Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 1, pp. 82–100, Jul. 2020, doi: 10.1108/ECAM-12-2017-0271.
- [21] C. Hu, J. Wang, and Y. Mei, "Uncertain Time-Resource-Cost Trade-Off Models for Construction Project Schedule," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 25, no. 8, pp. 2771–2778, Aug. 2021, doi: 10.1007/S12205-021-1798-7.
- [22] X. Chen, Y. Wang, J. Wang, A. Bouferguene, and M. Al-Hussein, "Vision-based real-time process monitoring and problem feedback for productivity-oriented analysis in off-site construction," *Autom Constr*, vol. 162, p. 105389, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.AUTCON.2024.105389.
- [23] M. Irfan, M. B. Khurshid, P. Anastasopoulos, S. Labi, and F. Moavenzadeh Fred, "Planning-stage estimation of highway project duration on the basis of anticipated project cost, project type, and contract type," *International Journal of Project Management*, vol. 29, no. 1, pp. 78–92, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.IJPROMAN.2010.01.001.
- [24] S. Kaleem, M. Irfan, and H. F. Gabriel, "Estimation of highway project duration at the planning stage and analysis of risk factors leading to time overrun," *T and DI Congress 2014: Planes, Trains, and Automobiles - Proceedings of the 2nd Transportation and Development Institute Congress*, pp. 612–626, 2014, doi: 10.1061/9780784413586.059.
- [25] M. G. Meharie, Z. C. A. Gariy, R. N. N. Mutuku, and W. J. Mengesha, "Prioritizing Key Duration Estimation Accuracy Factors in Highway Infrastructure Projects Using Fuzzy AHP," *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 92–108, Jan. 2019, doi: 10.2174/1874149501913010092.
- [26] R. Gusrita and N. Hayati, "The Correlation Analysis between the Number of CIF and the Number of Account at Bank Syariah Indonesia KCP Batam Raden Patah," *Jurnal Sintak*, vol. 3, no. 1, 2024.