



## Pengukuran Efisiensi Proses PPDB dengan Pendekatan *Work Measurement*

Vitri Nur Hidayati<sup>1</sup>, Muhamad Abdul Jumali<sup>1</sup>✉

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Surabaya, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i2.56419

✉ Corresponding author:  
[abduljumali@unipasby.ac.id]

### Article Info

### Abstrak

*Kata kunci:*  
*efisiensi proses;*  
*work measurement;*  
*OEE;*  
*error rate;*  
*produktivitas*

Penelitian ini bertujuan mengukur efisiensi proses Penerimaan Peserta Didik Baru (PPDB) menggunakan pendekatan *work measurement* pada sistem manual dan digital di sebuah SMK swasta di Surabaya. Penelitian dilakukan secara kuantitatif-komparatif terhadap sepuluh data proses pendaftaran dengan indikator waktu proses, tingkat kesalahan administrasi, dan beban kerja staf. Data dikumpulkan melalui studi waktu, pencatatan error, serta rekap tugas harian selama satu periode PPDB. Hasil menunjukkan bahwa sistem digital mampu mengurangi waktu proses sebesar 50–90%, menurunkan *error rate* dari 15% menjadi 5%, serta meningkatkan produktivitas staf dengan pengurangan lembur hingga mendekati nol. Ketiga indikator diintegrasikan dalam indeks efisiensi berbasis adaptasi *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), menghasilkan nilai 18,7% pada sistem manual dan 80,7% pada sistem digital. Temuan ini menegaskan bahwa digitalisasi meningkatkan kinerja proses layanan secara signifikan dan layak diterapkan sebagai strategi peningkatan efisiensi administrasi pendidikan.

### Abstract

*Keywords:*  
*error rate;*  
*Overall Equipment Effectiveness (OEE);*  
*process efficiency;*  
*productivity;*  
*work measurement*

*This study aims to measure the process efficiency of student admission (PPDB) using a work measurement approach by comparing manual and digital systems at a private vocational school in Surabaya. A quantitative-comparative design was applied to ten complete admission process records, evaluating three indicators: process time, administrative error rate, and staff workload. Data were collected through structured time study, error logging, and daily task records during one admission period. The results indicate that the digital system reduces process time by 50–90%, decreases the error rate from 15% to 5%, and improves staff productivity by minimizing overtime. The three indicators were integrated into a composite efficiency index adapted from Overall Equipment Effectiveness (OEE), yielding 18.7% for the manual system and 80.7% for the digital system. These findings confirm that digitalization significantly enhances service process performance and provides a*

## 1. PENDAHULUAN

Penerimaan Peserta Didik Baru (PPDB) bukan sekadar prosedur administratif tahunan. Proses ini merupakan titik masuk utama yang menentukan keberlanjutan operasional, reputasi, dan daya saing sebuah sekolah (Jumali & Kristina, 2017). Kualitas pengelolaan PPDB mencerminkan kapasitas manajerial institusi dalam mengatur aliran informasi, sumber daya, serta pelayanan kepada masyarakat. Sekolah menengah kejuruan swasta berada dalam posisi yang semakin kompetitif akibat penurunan jumlah pendaftar dan tekanan dari sekolah negeri yang lebih mapan. Situasi tersebut menuntut proses layanan yang cepat, akurat, dan efisien. Realitas di lapangan menunjukkan bahwa banyak sekolah masih mengandalkan prosedur manual berbasis formulir kertas, pengetikan ulang data, dan verifikasi berkas secara tatap muka. Struktur kerja seperti ini memperpanjang waktu proses dan membuka ruang terjadinya kesalahan administrasi. Beban kerja staf meningkat karena aktivitas yang bersifat repetitif dan tidak bernilai tambah. Praktik di salah satu SMK swasta di Surabaya memperlihatkan pola tersebut secara jelas. Data pendaftar harus diketik ulang setelah formulir dikembalikan, dokumen hasil pemindaian disusun kembali untuk arsip digital, dan klarifikasi kelengkapan dilakukan berulang kali. Proses semacam ini menghasilkan *lead time* panjang, potensi *human error* yang tinggi, serta rendahnya transparansi status pendaftaran yang belum tersedia secara *real time*.

Temuan empiris di berbagai daerah memperlihatkan pola yang serupa. Studi pada SMK Negeri 3 Depok menunjukkan bahwa sebelum penerapan sistem berbasis *web*, prosedur manual menimbulkan antrean panjang dan kesalahan pencatatan data (Windy Kurniawan et al., 2025). Kasus di SMK Gema Bangsa mengungkap bahwa pengelolaan berkas fisik meningkatkan risiko kesalahan input dan memperlambat rekapitulasi data pendaftar (Saprudin, 2023). Implementasi kebijakan PPDB *online* di Kota Medan memperlihatkan bagaimana layanan berbasis kertas membatasi akses informasi orang tua serta meningkatkan beban kerja operator (Mitha Rizki & Ridwan, 2023). Kajian internasional juga menguatkan argumen tersebut, Digitalisasi seleksi mahasiswa baru melalui portal *e-admission* di Nigeria terbukti meningkatkan akurasi data dan menurunkan beban administrasi staf, sementara transformasi layanan publik berbasis digital diposisikan sebagai strategi peningkatan efisiensi sektor pendidikan (Latupeirissa et al., 2024; Szedmák et al., 2025; Yang et al., 2024). Digitalisasi administrasi pendidikan dipahami sebagai respons terhadap inefisiensi struktural tersebut. Sistem PPDB berbasis *web* memungkinkan calon siswa melakukan *input* data secara langsung, mengunggah dokumen dalam format digital, serta memantau status pendaftaran secara mandiri. Panitia memperoleh data yang tersimpan otomatis di basis data tanpa pengetikan ulang dan dengan validasi terstruktur (Jumali & Kristina, 2017; Saprudin, 2023; Windy Kurniawan et al., 2025). Evaluasi implementasi PPDB *online* di Gorontalo, Banjarmasin, Makassar, Bekasi, Bandung, dan Tasikmalaya menunjukkan peningkatan efisiensi proses serta produktivitas organisasi sekolah (Mitha Rizki & Ridwan, 2023). Literatur manajemen operasi menekankan bahwa efisiensi proses berkaitan dengan kemampuan menghasilkan *output* yang diharapkan dengan penggunaan sumber daya minimal tanpa mengurangi mutu layanan (Huang et al., 2023; Oluyisola et al., 2022). Kajian transformasi digital dan manajemen pendidikan juga menegaskan bahwa integrasi teknologi informasi berkontribusi terhadap efisiensi biaya, pengurangan kesalahan, dan peningkatan akuntabilitas (Al-Assaf et al., 2024; Mhlongo et al., 2023; Schmid et al., 2023). Persepsi kualitas layanan sangat dipengaruhi oleh waktu proses, tingkat kesalahan, dan beban kerja pelaksana (Kitsios et al., 2023; Lee et al., 2025).

Kesenjangan penelitian muncul pada aspek pengukuran yang terintegrasi. Sebagian besar studi berfokus pada perancangan sistem atau analisis kepuasan pengguna, sementara penggabungan indikator waktu proses, *error rate*, dan beban kerja dalam satu indeks efisiensi yang komprehensif masih jarang ditemukan, khususnya pada lingkup sekolah menengah kejuruan swasta. Pendekatan Teknik Industri menekankan pentingnya *work measurement*, analisis kualitas, dan evaluasi produktivitas sebagai dasar pengambilan keputusan berbasis data. Tanpa pengukuran kuantitatif yang terstruktur, transformasi digital berisiko dinilai hanya dari persepsi manfaat, bukan dari bukti empiris yang terukur. Sekolah yang menjadi objek penelitian berada pada fase transisi dari sistem manual menuju digital. Prosedur manual selama bertahun-tahun menghasilkan durasi proses yang panjang, *error rate* yang relatif tinggi, dan beban kerja staf yang melebihi kapasitas optimal. Implementasi sistem digital telah dimulai, tetapi besaran peningkatan efisiensi belum pernah dihitung secara sistematis. Kebutuhan akan evaluasi berbasis data menjadi semakin mendesak dalam konteks persaingan antar-sekolah dan tuntutan transparansi layanan publik.

Penelitian ini bertujuan mengukur dan membandingkan efisiensi proses PPDB manual dan digital menggunakan pendekatan *work measurement*. Tiga indikator utama dianalisis, yaitu waktu proses, tingkat kesalahan administrasi, dan beban kerja staf. Ketiga indikator tersebut diintegrasikan dalam indeks efisiensi berbasis adaptasi *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk menghasilkan ukuran kinerja yang komprehensif. Pendekatan ini diharapkan memperkuat kontribusi Teknik Industri dalam pengukuran kinerja layanan pendidikan serta menyediakan dasar kuantitatif bagi pengambilan keputusan manajerial pada transformasi digital administrasi sekolah.

**2. METODE**

Metode penelitian dirancang untuk menghasilkan pengukuran efisiensi proses PPDB manual dan digital yang sistematis, kuantitatif, dan dapat direplikasi. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain deskriptif-komparatif. Desain ini dipilih untuk mengevaluasi perbedaan kinerja dua sistem layanan melalui indikator terukur yang dianalisis secara numerik.

a. Desain Pengukuran dan Unit Analisis

Objek penelitian adalah alur proses PPDB pada satu SMK swasta di Surabaya tahun ajaran 2025/2026. Unit analisis berupa pasangan data proses manual dan digital untuk sepuluh calon siswa dengan rekam jejak lengkap pada seluruh tahapan pendaftaran. Setiap pasangan data memungkinkan perbandingan langsung pada tahapan yang identik, sehingga variabilitas akibat perbedaan kasus dapat ditekan. Pendekatan pengukuran mengacu pada prinsip *work measurement*, yang menekankan pencatatan waktu aktual, identifikasi pemborosan, serta evaluasi produktivitas sumber daya.

b. Variabel dan Indikator Kuantitatif

Penelitian ini menggunakan tiga variabel utama yang diterjemahkan ke dalam indikator terukur sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

**Tabel 1. Definisi Operasional dan Satuan Ukur**

Variabel	Indikator	Satuan	Metode Ukur
Waktu Proses	Durasi tiap tahapan PPDB	Menit/siswa	Studi waktu langsung
Tingkat Kesalahan	Jumlah kesalahan administrasi	Persen (%)	Error log
Beban Kerja	Tugas selesai per hari dan jam lembur	Tugas/hari, jam	Rekap harian staf
Indeks Efisiensi	Integrasi waktu, kualitas, beban kerja	Persen (%)	Adaptasi OEE

Struktur variabel dan indikator penelitian dirumuskan secara operasional sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel tersebut memetakan hubungan antara variabel utama, indikator kuantitatif, satuan ukur, dan metode pengumpulan data. Waktu proses diukur dalam menit per siswa melalui studi waktu langsung. Tingkat kesalahan dinyatakan dalam persen berdasarkan rasio jumlah *error* terhadap total entri. Beban kerja dihitung melalui produktivitas harian dan jam lembur staf. Indeks efisiensi disusun sebagai variabel komposit berbasis adaptasi OEE. Kejelasan operasional ini memastikan pengukuran bersifat objektif, terstruktur, dan dapat direplikasi dalam evaluasi sistem manual maupun digital.

c. Pengukuran Waktu Proses (*Work Measurement*)

Pengukuran waktu dilakukan melalui observasi langsung dengan pencatatan waktu mulai dan selesai pada setiap tahapan. Total waktu proses dihitung menggunakan:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^n T_i \dots\dots\dots(1)$$

di mana:  
 $T_i$  = waktu pada tahapan ke-i  
 $n$  = jumlah tahapan proses

Rata-rata waktu proses dihitung dengan:

$$\bar{T} = \frac{\sum T_{total}}{N} \dots\dots\dots(2)$$

di mana  $N$  adalah jumlah sampel.

Persentase penghematan waktu sistem digital terhadap manual dihitung sebagai:

$$\text{Penghematan (\%)} = \frac{T_{\text{manual}} - T_{\text{digital}}}{T_{\text{manual}}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Standar deviasi digunakan untuk melihat variasi waktu antar kasus:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(T - \bar{T})^2}{N-1}} \dots\dots\dots(4)$$

Penggunaan parameter ini memungkinkan evaluasi stabilitas proses.

d. Pengukuran Tingkat Kesalahan (*Quality Rate*)

Tingkat kesalahan administrasi dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Error Rate} = \frac{\text{Jumlah Kesalahan}}{\text{Total Entri}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Kualitas proses dihitung sebagai kebalikan dari *error rate*:

$$\text{Quality Rate} = 1 - \text{Error Rate} \dots\dots\dots(6)$$

Pendekatan ini mengikuti prinsip pengendalian kualitas dalam manajemen operasi.

e. Pengukuran Beban Kerja dan Produktivitas

Produktivitas staf dihitung sebagai:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Jumlah Tugas Selesai}}{\text{Jam Kerja}} \dots\dots\dots(7)$$

Rata-rata tugas harian dihitung untuk melihat kapasitas kerja aktual. Jam lembur dianalisis sebagai indikator tekanan kerja dan inefisiensi proses.

Indeks pemanfaatan waktu kerja dihitung sebagai:

$$\text{Utilization Rate} = \frac{\text{Jam Kerja Efektif}}{\text{Jam Kerja Tersedia}} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

Pendekatan ini memberikan gambaran mengenai keseimbangan beban kerja.

f. Penyusunan Indeks Efisiensi Berbasis OEE

Indeks efisiensi proses disusun dengan mengadaptasi konsep *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang umumnya digunakan pada sistem manufaktur.

Formula dasar OEE:

$$OEE = \text{Availability} \times \text{Performance} \times \text{Quality} \dots\dots\dots(9)$$

Dalam bidang layanan administrasi, komponen tersebut diadaptasi menjadi:

*Performance* (P) = Efisiensi waktu

$$P = \frac{T_{\text{ideal}}}{T_{\text{aktual}}} \dots\dots\dots(10)$$

- *Quality* (Q) = 1 - *Error Rate*
- *Work Utilization* (W) = Produktivitas relatif terhadap standar

Indeks efisiensi total dihitung sebagai:

$$IEP = P \times Q \times W \times 100\% \dots\dots\dots(11)$$

Normalisasi dilakukan agar seluruh komponen berada pada skala 0–1 sebelum dikalikan. Pendekatan multiplikatif dipilih untuk menunjukkan bahwa kelemahan pada satu komponen akan menurunkan kinerja total.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Waktu Proses (*Work Measurement Analysis*)

Pengukuran waktu dilakukan pada sepuluh pasangan data proses manual dan digital. Setiap tahapan dihitung durasinya dalam menit per calon siswa, kemudian dirata-ratakan sesuai Persamaan (2). Hasil menunjukkan bahwa total waktu proses sistem manual secara konsisten lebih tinggi dibanding sistem digital pada seluruh tahapan. Rata-rata total waktu penyelesaian PPDB manual mencapai 100% *baseline*, sedangkan sistem digital hanya memerlukan 10–50% dari durasi tersebut, tergantung tahapan. Persentase penghematan yang dihitung menggunakan Persamaan (3) menunjukkan reduksi waktu antara 50% hingga 90%.

**Tabel 2. Rata-rata Durasi dan Penghematan Waktu**

Tahapan	Manual (menit)	Digital (menit)	Penghematan (%)
Pendaftaran	30	12	60%
Verifikasi berkas	45	8	82%
Penjadwalan tes	20	9	55%
Registrasi ulang	35	10	71%

Reduksi terbesar terjadi pada tahap verifikasi berkas. Eliminasi aktivitas pengetikan ulang dan validasi manual menghilangkan pemborosan tipe *overprocessing* dan *waiting*. Dalam perspektif Teknik Industri, penurunan durasi ini meningkatkan kapasitas sistem tanpa penambahan sumber daya. Stabilitas proses juga meningkat. Standar deviasi waktu pada sistem digital lebih rendah dibanding manual, menunjukkan variabilitas proses yang lebih terkendali.

#### b. Analisis Tingkat Kesalahan (*Quality Performance*)

*Error rate* dihitung menggunakan Persamaan (5). Sistem manual mencatat tingkat kesalahan rata-rata sebesar 15%, sedangkan sistem digital sebesar 5%. Penurunan sepuluh poin persentase menunjukkan peningkatan kualitas administratif yang signifikan.

**Tabel 3. Perbandingan Error Rate**

Sistem	Error Rate (%)	Quality Rate
Manual	15%	0.85
Digital	5%	0.95

Validasi otomatis pada formulir digital berperan dalam mencegah kesalahan *input* sejak awal. Dalam bidang manajemen operasi, penurunan *defect rate* berdampak langsung pada pengurangan *rework* dan peningkatan *throughput* efektif. Temuan ini konsisten dengan literatur transformasi digital sektor publik yang menyatakan bahwa integrasi sistem informasi menurunkan kesalahan administratif dan meningkatkan akurasi data (Latupeirissa et al., 2024; Schmid et al., 2023).

#### c. Beban Kerja dan Produktivitas Staf

Produktivitas dihitung menggunakan Persamaan (7). Sistem manual menghasilkan rata-rata 1–2 tugas utama per staf per hari dengan lembur 1–2 jam. Sistem digital meningkatkan kapasitas menjadi 3–4 tugas per hari tanpa lembur signifikan.

**Tabel 4. Produktivitas dan Lembur**

Indikator	Manual	Digital
Tugas/hari	1–2	3–4
Lembur	1–2 jam	±0 jam

Peningkatan produktivitas lebih dari dua kali lipat menunjukkan perbaikan utilisasi sumber daya manusia. Beban kerja yang lebih seimbang juga menurunkan risiko kesalahan akibat kelelahan. Dalam perspektif *Lean*

Service, digitalisasi berfungsi sebagai mekanisme eliminasi aktivitas *non-value added* dan redistribusi beban kerja menuju aktivitas bernilai tambah.

#### d. Indeks Efisiensi Proses Berbasis OEE

Integrasi tiga komponen dilakukan menggunakan Persamaan (11). Nilai indeks efisiensi proses (IEP) sistem manual sebesar 18,7%, sedangkan sistem digital mencapai 80,7%.

**Tabel 5. Indeks Efisiensi Proses (IEP)**

Sistem	Performance	Quality	Work Utilization	IEP (%)
Manual	0.35	0.85	0.63	18.7%
Digital	0.82	0.95	0.98	80.7%

Nilai di bawah 20% pada sistem manual menunjukkan rendahnya pemanfaatan kapasitas proses. Sistem digital mendekati zona efisiensi tinggi menurut interpretasi kerangka OEE pada sistem jasa. Pendekatan multiplikatif memperlihatkan bahwa kelemahan pada satu komponen akan menurunkan kinerja total secara signifikan. Integrasi ini memberikan ukuran komprehensif yang lebih informatif dibanding analisis indikator tunggal.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengukur efisiensi proses PPDB manual dan digital menggunakan pendekatan *work measurement* dengan indikator waktu proses, tingkat kesalahan administrasi, dan beban kerja staf. Hasil menunjukkan bahwa sistem digital mampu mengurangi waktu proses sebesar 50–90%, menurunkan *error rate* dari 15% menjadi 5%, serta meningkatkan produktivitas staf dengan pengurangan lembur hingga mendekati nol. Integrasi ketiga indikator melalui adaptasi konsep *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) menghasilkan indeks efisiensi 18,7% pada sistem manual dan 80,7% pada sistem digital. Temuan ini menegaskan bahwa digitalisasi meningkatkan kinerja proses layanan secara signifikan dan menyediakan kerangka pengukuran berbasis Teknik Industri yang terstruktur dan terukur untuk evaluasi administrasi pendidikan.

## 5. REFERENSI

- Al-Assaf, K., Alzahmi, W., Alshaikh, R., Bahroun, Z., & Ahmed, V. (2024). The Relative Importance of Key Factors for Integrating Enterprise Resource Planning (ERP) Systems and Performance Management Practices in the UAE Healthcare Sector. In *Big Data and Cognitive Computing* (Vol. 8, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/bdcc8090122>
- Huang, K., Wang, K., Lee, P. K. C., & Yeung, A. C. L. (2023). The impact of industry 4.0 on supply chain capability and supply chain resilience: A dynamic resource-based view. *International Journal of Production Economics*, 262, 108913. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108913>
- Jumali, M. A., & Kristina, A. (2017). TOTAL QUALITY MANAGEMENT IN EDUCATION PADA PERGURUAN TINGGI: UPAYA UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN KETENAGAKERJAAN PADA SISTEM INDUSTRI MODERN DI INDONESIA. *WAKTU*, 15(2), 13–20.
- Kitsios, F., Kamariotou, M., & Mavromatis, A. (2023). Drivers and Outcomes of Digital Transformation: The Case of Public Sector Services. In *Information* (Vol. 14, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/info14010043>
- Latupeirissa, J. J., Dewi, N. L., Prayana, I. K., Srikandi, M. B., Ramadiansyah, S. A., & Pramana, I. B. (2024). Transforming Public Service Delivery: A Comprehensive Review of Digitization Initiatives. In *Sustainability* (Vol. 16, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/su16072818>
- Lee, P. F., Azhar Khan, N. A., Muhammad, N. A., Hasnida, A.-S., Chin, J. F. J., Prakash, J., Eh Di, S., & Ghazali, B. (2025). Lean implementation in service sector: a case study of waste elimination in Malaysian customs administration. *International Journal of Lean Six Sigma*.
- Mhlongo, S., Mbatha, K., Ramatsetse, B., & Dlamini, R. (2023). Challenges, opportunities, and prospects of adopting and using smart digital technologies in learning environments: An iterative review. *Heliyon*, 9(6), e16348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16348>
- Mitha Rizki, T., & Ridwan, M. (2023). Implementasi Kebijakan Penerimaan Peserta Didik Baru (PPDB) Online Tingkat Sekolah Menengah Atas di Kota Medan. *Administratio*, 14(2 SE-Articles), 205–220. <https://doi.org/10.23960/administratio.v14i2.408>
- Oluyisola, O. E., Bhalla, S., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2022). Designing and developing smart production planning and control systems in the industry 4.0 era: a methodology and case study. *Journal of Intelligent*

*Manufacturing*, 33(1), 311–332. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01808-w>

- Saprudin, H. B. Y. Z. A. A. (2023). Analisa Dan Perancangan Sistem Informasi PPDB Online Berbasis Website Menggunakan Metode Waterfall Di SMK Gema Bangsa. *BINER: Jurnal Ilmu Komputer, Teknik Dan Multimedia*, Vol. 1 No. 2 (2023): *BINER: Jurnal Ilmu Komputer, Teknik dan Multimedia*, 362–374. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/Biner/article/view/2909/1412>
- Schmid, R., Pauli, C., & Petko, D. (2023). Examining the use of digital technology in schools with a school-wide approach to personalized learning. *Educational Technology Research and Development*, 71(2), 367–390. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10167-z>
- Szedmák, B., Varga, L., & Szabó, R. Z. (2025). Digital Transformation of Public Services: The Case of the Document Management Application. *International Journal of Public Administration*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/01900692.2025.2520522>
- Windy Kurniawan, Deva Lucky Hardianto, Naufal Rifqi Qeisa, & Saprudin. (2025). Perancangan dan Implementasi Sistem PPDB Online Di SMKN 3 Depok menggunakan Metode Waterfall. *BIN: Bulletin Of Informatics*, 2(4 SE-Articles), 416–426. <https://ojs.jurnalmahasiswa.com/index.php/bin/article/view/384>
- Yang, T., Ma, C., & Mi, X. (2024). The transformative potential of blockchain technology in developing green supply chain: An evolutionary perspective on complex networks. *Computers & Industrial Engineering*, 197, 110548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110548>