



Penilaian Efisiensi Aplikasi MPDM Calculator Dalam Pengukuran Produktivitas *Method Productivity Delay Model*

Redityo Januardi^{1*}, Julian Pramudhita Dewangga², Muhammad Syaiful Aliim³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

¹redityo.januardi@unsoed.ac.id*, ²julian.dewangga@mhs.unsoed.ac.id, ³muhammad.syaiful.aliim@unsoed.ac.id

Abstract

Technology can assist human needs in various sectors, including the construction sector. Its application has the opportunity to increase technical practicality, time, and cost efficiency, help speed up decision-making, and reduce the risk of errors. One challenge in construction implementation is the inadequate measurement of labor productivity and the lack of well-documented root causes, which can lead to delayed performance improvement decisions and incorrect conclusions. One effective method for productivity analysis is the MPDM (Method Productivity Delay Model), which can measure, predict, and improve productivity by identifying factors that cause delays. Currently, efforts have been made to digitalize part of the productivity measurement process of the MPDM method under the name MPDM Calculator Version 1.0. This application can be used for the data collection and processing stages of the MPDM method productivity calculation and is considered effective based on the same results as conventional methods. This study aims to determine and assess the efficiency of using the application in the process of calculating the productivity of the MPDM method. The results show that this application shortens the productivity measurement process significantly, where the test results for 2 case studies, obtained efficiency values of 153.2% and 156.1%. This application has the potential to be developed again in the process of analyzing productivity and recommending performance improvements to increase productivity. It is hoped that this application can answer the problem of using the MPDM method as one of the construction project control instruments.

Keywords: Construction Productivity Measurement, MPDM, Android Application, Efficiency, Project Control.

Abstrak

Teknologi dapat membantu kebutuhan manusia dalam berbagai sektor, termasuk sektor konstruksi. Penerapannya berpotensi meningkatkan kepraktisan teknis, efisiensi waktu dan biaya, serta membantu mempercepat pengambilan keputusan dan mengurangi risiko kesalahan. Salah satu tantangan pelaksanaan konstruksi adalah rendahnya pengukuran produktivitas tenaga kerja beserta akar masalahnya yang tidak terdokumentasikan dengan baik, di mana bisa berakibat pada terlambatnya membuat keputusan perbaikan kinerja beserta tidak akuratnya keputusan yang diambil. Salah satu metode yang efektif untuk analisa produktivitas adalah MPDM (*Method Productivity Delay Model*), yang dapat mengukur, memprediksi, dan meningkatkan produktivitas dengan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan. Saat ini telah dilakukan upaya digitalisasi untuk sebagian proses pengukuran produktivitas dari metode MPDM dengan nama MPDM Calculator Versi 1.0. Aplikasi ini dapat digunakan untuk tahap pengambilan dan pengolahan data perhitungan produktivitas metode MPDM, serta dinilai efektif dari hasil yang sama saat dibandingkan dengan metode konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menilai efisiensi dari penggunaan aplikasi tersebut dalam proses perhitungan produktivitas metode MPDM. Hasil menunjukkan aplikasi ini mempersingkat proses pengukuran produktivitas secara signifikan, di mana hasil pengujian untuk 2 studi kasus, didapat nilai efisiensi pada sebesar 153,2% dan 156,1%. Aplikasi ini berpotensi untuk dikembangkan kembali pada proses analisis produktivitas dan rekomendasi perbaikan kinerja untuk peningkatan produktivitasnya. Diharapkan aplikasi ini dapat menjawab permasalahan penggunaan metode MPDM sebagai salah satu instrumen pengendalian proyek konstruksi.

Kata kunci: Pengukuran Produktivitas Konstruksi, MPDM, Aplikasi Android, Efisiensi, Pengendalian Proyek.

Diterima Redaksi : 2024-11-25 | Selesai Revisi : 2024-12-02 | Diterbitkan Online : 2025-03-03



1. Pendahuluan

Digitalisasi pada tahap pelaksanaan konstruksi cukup berkembang walaupun tidak sepesat pada tahap perencanaan dan perancangan [1]. Beberapa alat bantu pada tahap pelaksanaan konstruksi tersebut seperti *Building Information Modelling* [2], *3D Mechine Control* [3], sistem informasi sumber daya proyek [4], *vision based* untuk monitoring kinerja pekerja konstruksi [5], dan lain-lain. Tentunya upaya digitalisasi maupun otomasi merupakan cara menjawab permasalahan teknis di lapangan terutama efisiensi, baik itu aspek durasi, waktu, mutu, maupun keselamatan dan lingkungan kerja.

Peningkatan produktivitas di sektor konstruksi masih dinilai stagnan dan pengukurannya masih perlu ditingkatkan [6]. Produktivitas didefinisikan sebagai ukuran yang mencerminkan perbandingan antara volume hasil produksi dan input sumber daya yang digunakan dalam suatu pekerjaan atau proses [7]. Salah satu permasalahan dalam mengukur produktivitas pekerja di lapangan dan menganalisis penyebabnya adalah durasi pengukuran yang dibutuhkan relatif lama [8]. Padahal pengukuran produktivitas itu penting dengan tujuan membandingkan hasil pertambahan produksi, pendapatan, dan kesempatan kerja dari waktu ke waktu [9].

Untuk menghitung dan meningkatkan produktivitas terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu *field rating*, *work sampling*, *five-minutes rating*, *foreman delay survey*, *craftsman questionnaires*, *method delay productivity delay model* (MPDM), dan *crew balance charts*. Salah satu metode pengukuran produktivitas yang dapat menganalisis dan membantu menentukan rekomendasi perbaikan produktivitas sebuah operasi konstruksi adalah MPDM [10]. MPDM mengidentifikasi 5 tipe penundaan dan 3 langkah untuk melakukan perhitungan. Tipe penundaan yang dimaksud yaitu lingkungan, peralatan, tenaga kerja, material, dan manajemen. Tahapan pengukuran produktivitas metode MPDM adalah pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data [11].

Saat ini telah dilakukan upaya digitalisasi untuk sebagian proses pengukuran produktivitas dari metode MPDM dengan nama MPDM Calculator versi 1.0 [12]. Aplikasi MPDM Calculator v1.0 dapat digunakan untuk tahap pengambilan dan pengolahan data perhitungan produktivitas metode MPDM, serta dinilai efektif dari hasil yang sama saat dibandingkan dengan metode konvensional [12]. Aplikasi ini dibangun menggunakan MIT App Inventor, sebuah aplikasi *builder* dengan prinsip *drag and drop* yang disediakan oleh Google Labs dan mengharuskan pengguna memiliki akses internet dan *browser* [13]. Beberapa penelitian lain yang mengembangkan aplikasi di bidang konstruksi menggunakan MIT App Inventor adalah aplikasi Rodit [14] untuk menganalisis daya dukung pondasi tiang

pancang metode *Brom's*, CBC Calculator [15] untuk membantu mengukur produktivitas operasi konstruksi metode *Crew Balance Chart*.

Sebagai upaya memberikan gambaran dan rekomendasi untuk pengguna serta pengembangan MPDM Calculator v1.0 ke depan, maka penelitian ini bertujuan untuk menilai efisiensi dari penggunaan aplikasi berbasis android, yaitu MPDM Calculator v1.0, terhadap proses perhitungan produktivitas metode MPDM secara manual. Penilaian berdasarkan aspek waktu dengan melakukan beberapa percobaan dan memberikan beberapa *treatment* di setiap percobaan yang dilakukan sebagai upaya *avoiding error & learning process* sampai mendapatkan durasi pengukuran paling efisien.

2. Metode Penelitian

2.1. Uraian Umum

Untuk mendapatkan nilai efisiensi durasi pengukuran produktivitas metode MPDM menggunakan alat bantu aplikasi android MPDM Calculator v1.0, maka dibandingkan durasi yang dibutuhkan antara pengukuran secara konvensional dengan tambahan alat bantu aplikasi. Selain itu, untuk menghasilkan nilai efisiensi yang akurat 4 kali percobaan dan 2 studi kasus pengamatan ditambah *treatment* perbaikan proses pengukuran yang bisa dilakukan baik berupa menghilangkan kesalahan teknis selama pengukuran maupun upaya yang berpotensi meningkatkan efisiensi. Operasi konstruksi yang diamati untuk dinilai produktivitasnya adalah pekerjaan distribusi material menggunakan *tower crane* dengan durasi sekitar 1 sampai 2 jam setiap studi kasus. Proses pengukuran produktivitas metode MPDM meliputi [10], [16]:

1. Pengambilan data

Untuk mempermudah proses identifikasi tundaan, waktu kejadian dan siklus, serta durasinya, maka pengambilan data dilakukan dengan merekam aktivitas operasi konstruksi menggunakan kamera.

2. Pengolahan data

a. Lembar pengolahan data PCDS (*Production Cycle Delay Sampling*), berisi data waktu siklus, durasi dan jenis tundaan, waktu siklus tanpa tundaan, dan keterangan tundaan.

b. Lembar Kerja Proses MPDM (*MPDM Processing*), berisi perhitungan rerata waktu siklus produksi tanpa tundaan dan rerata waktu siklus produksi keseluruhan.

c. Informasi penundaan (*Delay Information*), berisi jumlah siklus yang mengalami penundaan (*occurences*), total waktu dari setiap penundaan yang terjadi pada semua siklus, kemungkinan kejadian (*probability of occurences*), tingkat kerumitan (*relative severity*), dan perkiraan % waktu penundaan per siklus produksi.

3. Perhitungan produktivitas

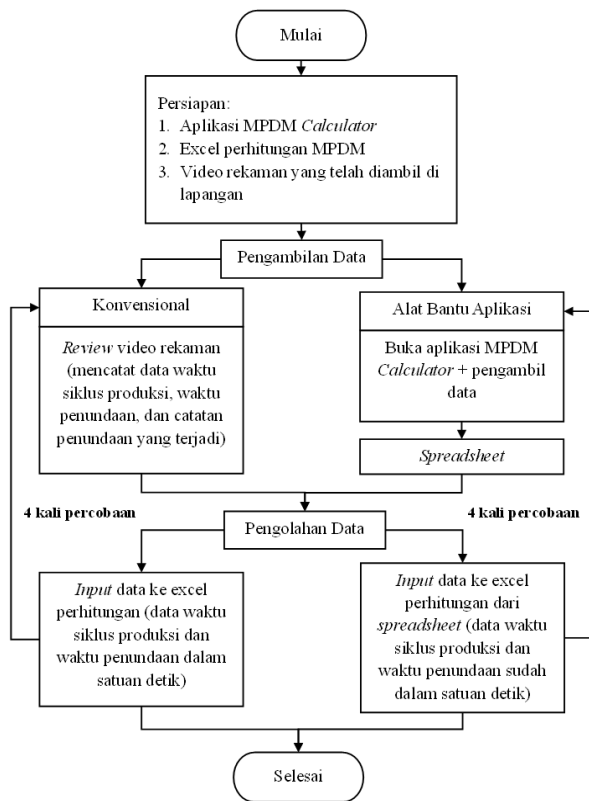
Proses menghitung produktivitas keseluruhan dan produktivitas ideal

4. Analisis perbaikan produktivitas

Proses menganalisis jenis tundaan yang dapat diturunkan secara berurutan berdasarkan tingkat kemudahan dan biaya paling rendah. Durasi dari jenis tndaan dapat dikurangi atau dihilangkan seluruhnya dengan memberikan catatan bentuk rekomendasi perbaikannya. Hasil akhirnya adalah perhitungan produktivitas yang direkomendasikan.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan penelitian sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Secara garis besar, penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu persiapan, pengukuran durasi pada saat pengambilan data dan analisis data, serta penilaian efisiensi penggunaan aplikasi.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Persiapan

Hal yang perlu disiapkan sebelum memulai perhitungan yaitu aplikasi MPDM Calculator v1.0, excel perhitungan MPDM, video visual rekaman yang didapat di lapangan, stopwatch dan laptop. Objek penelitian ini yaitu aktivitas alat berat tower crane dalam proses pemindahan material.

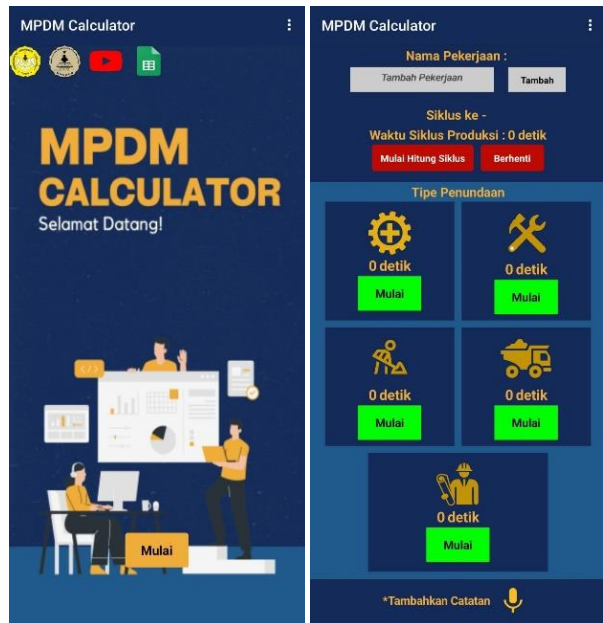
Metode Konvensional

Perhitungan metode konvensional dilakukan dengan mencatat waktu terjadinya penundaan dan waktu dari setiap siklus produksi kemudian di-input ke dalam excel perhitungan yang telah dibuat pada tahap persiapan. Proses pencatatan dihitung menggunakan stopwatch dengan tujuan untuk mengetahui durasi pengerjaan perhitungan MPDM metode konvensional.

Metode Alat Bantu Aplikasi



Perhitungan ini dilakukan menggunakan excel yang telah dibuat, tetapi untuk pengambilan data waktu siklus produksi dan waktu terjadinya penundaan menggunakan aplikasi. Tampilan muka aplikasi MPDM Calculator v1.0 dapat dilihat pada Gambar 2 dan deskripsi fungsi tombolnya pada Tabel 1.

Sebagaimana fungsi MPDM adalah mengidentifikasi durasi delay yang terjadi saat pengamatan dan menganalisisnya. Sehingga tampilan layar aplikasi pada pengambilan data merujuk pada jenis tundaan yaitu faktor lingkungan, peralatan, tenaga kerja, material dan manajemen. Data-data yang telah diambil menggunakan aplikasi akan secara langsung ter-input ke dalam spreadsheet database.



Gambar 2. Tampilan layar aplikasi MPDM Calculator v1.0 [12]

Tabel 1. Fungsi Tombol Aplikasi MPDM Calculator v1.0 [12]

Tombol	Fungsi
	Berpindah ke halaman berikutnya untuk memulai proses pengambilan data waktu
	Mengakses spreadsheet database waktu

Tombol	Fungsi
	Menambahkan nama pekerjaan yang akan dihitung
	Mulai Hitung Siklus : Mulai menghitung waktu siklus produksi yang sedang terjadi Berhenti : Menghentikan waktu siklus produksi
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat lingkungan (<i>Environment</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat peralatan (<i>Equipment</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat tenaga kerja (<i>Labor</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat material
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat manajemen (<i>Management</i>)
	Menambahkan catatan keterlambatan dengan cara menekan ikon <i>microphone</i> lalu berbicara

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengambilan Data

Penggunaan alat bantu aplikasi MPDM Calculator v1.0 akan mempersingkat proses pengambilan dan pengolahan data dengan mengamati langsung pekerjaan di lapangan [12]. Namun untuk mempermudah pengulangan percobaan dari pengukuran produktivitas, maka pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan merekam video aktivitas pekerjaan di lapangan. Aktivitas pekerjaan yang diukur adalah operasi pemindahan material oleh *tower crane* di proyek pembangunan rumah sakit di Banyumas. Perekaman dilakukan 2 kali dengan durasi video masing-masing 5.240 detik atau setara dengan 1 jam 20 menit 20 detik dan 7.569 detik atau setara dengan 2 jam 6 menit 9 detik. Video dengan durasi tersebut akan digunakan dalam pengukuran produktivitas secara konvensional metode

MPDM maupun dengan ditambahkan alat bantu MPDM Calculator.

3.2. Pengolahan Data

Persiapan Excel Perhitungan

Persiapan excel perhitungan memiliki luaran yaitu durasi pengerjaan *excel* perhitungan mulai dari *blank excel* sampai siap digunakan termasuk dengan formula yang disesuaikan dengan perhitungan MPDM. Kegiatan ini meliputi penyusunan lembar PCDS, *MPDM Processing, delay information*, dan produktivitas riil. Dengan menginputkan data pada lembar PCDS, maka produktivitas riil pekerjaan tersebut akan langsung didapatkan. Durasi pengerjaan *excel* berlaku sama untuk metode konvensional maupun dengan alat bantu.

Pengamatan dan Pencatatan

Tahap pengolahan data dilakukan dengan mengamati aktivitas *tower crane* dan semua tenaga kerja yang terlibat. Kemudian mencatat beberapa data, yaitu durasi setiap siklusnya, jenis tundaan dan durasi tundaannya, serta informasi yang perlu dimasukkan ke dalam keterangan. Data tersebut dimasukkan ke dalam lembar pengolahan data PCDS untuk metode konvensional. Adapun dengan alat bantu cukup menekan tombol mulai dan selesai dari durasi untuk setiap perubahan kondisinya.

Proses pengamatan tersebut diukur waktunya menggunakan *stopwatch* dan dilakukan sebanyak empat kali percobaan setiap video dengan menerapkan *treatment* tertentu. *Treatment* yang bisa dilakukan adalah meningkatkan *playback speed* dari video dari kondisi normal yaitu (1x), 1,5x; 2,0x dan 2,0x sehingga durasi pengamatan bisa dipersingkat. *Playback speed* video 2,5x ke atas tidak efektif untuk mengamati aktivitas mengidentifikasi data yang dibutuhkan.

Perbedaan antara metode konvensional dan dengan alat bantu adalah pada media inputannya. Pencatatan data pengamatan metode konvensional diinputkan pada lembar *excel* yang telah disusun. Adapun metode dengan bantuan MPDM Calculator v1.0, diinputkan langsung di aplikasi tanpa harus menghitung waktu dan data durasi, cukup dengan menekan tombol pada kondisi terjadi tundaan, tidak terjadi tundaan, masuk ke siklus selanjutnya, dan jika diperlukan, menambahkan catatan tundaan melalui *voice note*.

3.3. Analisis Data

Analisis Produktivitas Metode Konvensional

Analisis produktivitas metode konvensional pada penelitian ini dibatasi sampai pengukuran produktivitas riil (dengan tundaan) dan ideal (tanpa tundaan). Adapun analisis produktivitas yang direkomendasikan tidak dilakukan karena durasi pelaksanaannya akan tergantung personil yang menganalisis perbaikan

produktivitas atas tundaan yang terjadi. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, produktivitas riil dan ideal dapat langsung didapatkan setelah menginputkan data pengamatan di lembar PDCS. Sehingga durasinya sama dengan nol.

Analisis Produktivitas dengan Alat Bantu

Penginputan data di lembar PCDS tidak dilakukan pada penggunaan alat bantu MPDM Calculator v1.0. Namun data dari MPDM Calculator v1.0 akan masuk ke *google spreadsheet* yang harus diunduh kemudian baru diinputkan ke lembar *excel*. Sehingga durasinya adalah proses unduh *spreadsheet* hasil pengolahan data menggunakan MPDM Calculator v1.0 dan menginputkannya di lembar PCDS *excel* yang hanya tinggal di-*copy-paste*. Setelahnya, informasi produktivitas riil dan ideal operasi tersebut bisa langsung didapatkan.

3.4. Perbandingan Nilai Efisiensi

Durasi Total Pengukuran Produktivitas MPDM

Setelah mencatat durasi yang dibutuhkan dari masing-masing tahapan, maka tahap terakhir adalah menghitung nilai efisiensi dari penggunaan aplikasi MPDM Calculator v1.0 pada pengukuran produktivitas operasi konstruksi metode MPDM. Penilaian didapat dari perbandingan durasi pengukuran antara metode konvensional dengan metode alat bantu aplikasi. Data durasi metode konvensional dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Adapun metode dengan alat bantu pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 2. Durasi Pengukuran Konvensional Video 1

Konvensional	Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
		1	2	3	4
	Take video 1	5.240	5.240	5.240	5.240
	Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
	Pengamatan + hitung	6.299	4.301	3.372	3.317
	Total	12.781	10.511	9.542	9.454

Tabel 3. Durasi Pengukuran Konvensional Video 2

Konvensional	Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
		1	2	3	4
	Take video 1	7.569	7.569	7.569	7.569
	Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
	Pengamatan+hitung	8.655	6.342	4.743	4.677
	Total	17.466	14.881	13.242	13.143

Tabel 4. Durasi Pengukuran Alat Bantu Video 1

Alat Bantu	Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
		1	2	3	4
	Pengamatan+catat	5.240	5.240	5.240	5.240
	Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
	Unduh+input di <i>excel</i>	89	71	53	34
	Total	6.571	6.281	6.223	6.171

Tabel 5. Durasi Pengukuran Alat Bantu Video 2

Alat Bantu	Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
		1	2	3	4
	Pengamatan+catat	7.569	7.569	7.569	7.569
	Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
	Unduh+input di <i>excel</i>	89	71	53	34
	Total	8.900	8.610	8.552	8.500

Perbandingan Nilai Efisiensi

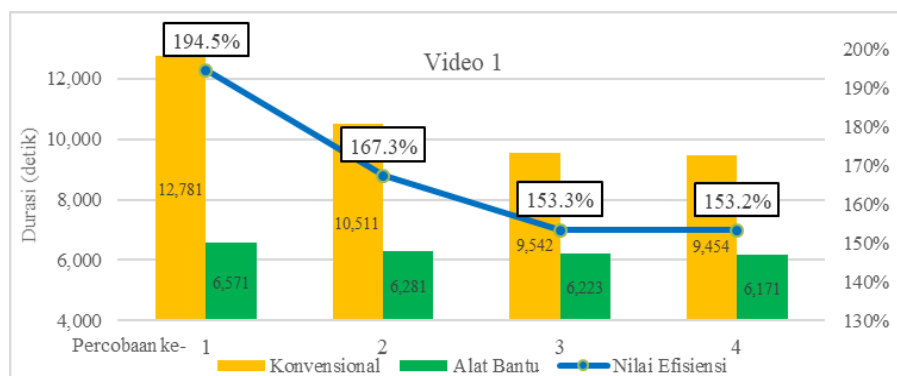
Tahap terakhir menilai efisiensi yang didapat dari perbandingan durasi pengerjaan antara metode konvensional dengan metode alat bantu aplikasi sebagaimana Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Perbandingan Durasi dan Efisiensi Video 1

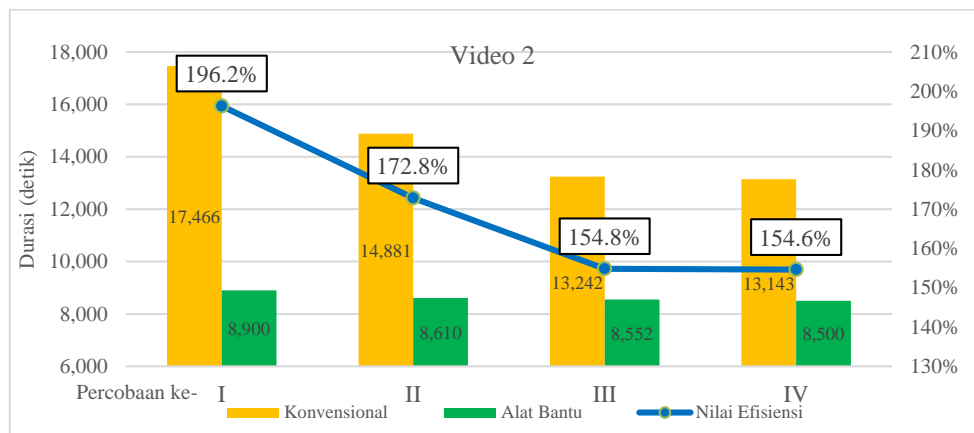
Metode	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Konvensional	12.781	10.511	9.542	9.454
Alat Bantu	6.571	6.281	6.223	6.171
Selisih	6.210	4.230	3.319	3.283
Nilai Efisiensi	194,5%	167,3%	153,3%	153,2%

Tabel 7. Perbandingan Durasi dan Efisiensi Video 2

Metode	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Konvensional	17.466	14.881	13.242	13.143
Alat Bantu	8.900	8.610	8.552	8.500
Selisih	8.566	6.271	4.690	4.643
Nilai Efisiensi	196,2%	172,8%	154,8%	154,6%



Gambar 3. Diagram Perbandingan Durasi & Efisiensi pada Pengukuran Produktivitas Operasi Konstruksi MPDM antara Cara Konvensional dan dengan Menggunakan Alat Bantu Aplikasi (Pengamatan Video 1)



Gambar 4. Diagram Perbandingan Durasi & Efisiensi pada Pengukuran Produktivitas Operasi Konstruksi MPDM antara Cara Konvensional dan dengan Menggunakan Alat Bantu Aplikasi (Pengamatan Video 2)

Sebagaimana Gambar 3 dan Gambar 4, percobaan pertama dari kedua studi kasus video, durasi yang dibutuhkan dalam pengukuran produktivitas konstruksi metode MPDM dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 berhasil ditekan hampir setengahnya dari durasi pengukuran secara konvensional. Hal ini selaras dengan fungsi dari penerapan teknologi, yaitu memberikan nilai baik efektivitas, produktivitas, efisiensi, dan juga kualitas terhadap proses maupun luaran [17].

Namun tentu hal ini belum dikatakan normal dan masih ada upaya untuk mempersingkat waktu. Untuk itu, hasil percobaan ke-4 dapat menjadi rujukan, di mana metode konvensional ditekan durasinya semula 12.781 detik menjadi 9.451 detik dengan *treatment* mempercepat waktu putar *video playback* sampai dengan 2 kali lipatnnya dan juga menghilangkan kesalahan seperti proses perhitungan, proses pengamatan, dan pencatatan data durasi. Upaya mempersingkat waktu sebesar 55,5 menit ini, selaras dengan konsep *learning curve* yang akan menghasilkan proses dan luaran menjadi lebih efektif dan efisien [18].

Adapun metode dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 tetap berkurang namun tidak signifikan metode konvensional, di mana hanya berkurang 400 detik atau setara 6,7 menit saja. Hal ini disebabkan pada saat pengamatan riil di lapangan nantinya, durasi pengamatan akan sama dengan durasi *video recorder* dengan kecepatan *video playback* sebesar 1,0 kalinya. Berdasarkan hal tersebut, MPDM Calculator v1.0 dapat memberikan efisiensi durasi pengukuran sebesar 153,2% pada video ke-1 dan 154,6% pada video ke-2.

Diharapkan MPDM Calculator v1.0 dapat terus dikembangkan dan menjadi alat bantu kontraktor pelaksana maupun konsultan pengawas dalam menilai kinerja di level operasi konstruksi. Sehingga aplikasi ini dapat menjawab permasalahan penggunaan metode

MPDM sebagai salah satu instrumen pengendalian proyek konstruksi.

4. Kesimpulan

Penggunaan aplikasi MPDM Calculator v1.0 dalam pengukuran produktivitas MPDM dinilai lebih efisien dari segi waktu dan dapat membantu mengurangi durasi pengukuran. Durasi pengukuran produktivitas secara konvensional metode MPDM pada percobaan ke-4 di video 1 adalah 9.454 detik. Adapun durasi pengukuran produktivitas dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 adalah 6.171 detik. Durasi pengukuran dapat ditekan sebesar 3.283 atau setara 0,91 jam. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai efisiensi dari percobaan ke-4 di video 1 adalah 153,2%. Adapun video ke-2 dengan cara yang sama adalah 154,6%. Nilai efisiensi ini menjadi gambaran penggunaan MPDM dapat diterapkan oleh kontraktor dengan alat bantu aplikasi, khususnya MPDM Calculator v1.0. Selain itu, aplikasi ini bisa dikembangkan kembali sampai proses perhitungan produktivitas yang direkomendasikan.

Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman atas dukungan dan bantuan pendanaan penelitian dengan nomor kontrak 26.685/UN23.35.5/PT.01/II/2024 tanggal 4 Maret 2024.

Daftar Rujukan

- [1] H. Begić, M. Galić, and Z. Dolaček-Alduk, "Digitalization and automation in construction project's life-cycle: a review.," *Journal of information technology in construction*, vol. 27, 2022.
- [2] A. Jensson, "Digitalization in the construction industry.," 2017.
- [3] I. Hermawan and S. Sudirman, "Digitalization of The Construction Industry with BIM and 3D Machine Control Integration for Construction Performance Improvement.," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 185–203, 2023.
- [4] Y. Arianto, S. Darsono, and B. Zaman, "Pengelolaan Digitalisasi Konstruksi Sumber Daya Manusia Di PT. Adhi Karya (Persero) Tbk Departemen Gedung.," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, vol. 1, no. 4, pp. 119–124, 2023.

- [5] X. Ren, Z. Zhu, C. Germain, R. Belair, and Z. Chen, "Automated monitoring of the utilization rate of onsite construction equipment," in *Computing in Civil Engineering 2017*, 2017, pp. 74–81.
- [6] A. Rathnayake and C. Middleton, "Systematic review of the literature on construction productivity," *J Constr Eng Manag*, vol. 149, no. 6, p. 03123005, 2023.
- [7] R. V. Martono, *Analisis Produktivitas dan efisiensi*. Gramedia Pustaka Utama, 2019.
- [8] R. Januardi, P. S. Nugroho, B. Mulyono, and M. Viqolbi, "The effectiveness of construction operation performance measurement techniques and the challenges of application in preventing delays in construction projects," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2024, p. 04002.
- [9] R. Syarif, "Manajemen Produktivitas," 1991, *Gramedia Pustaka Utama*. Jakarta.
- [10] S. P. Dozzi and S. M. AbouRizk, *Productivity in construction*. Institute for Research in Construction, National Research Council Ottawa, 1993.
- [11] C.-K. Chang and W. S. Yoo, "A Case study on productivity analysis and methods improvement for masonry work," *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, vol. 13, no. 4, pp. 372–381, 2013.
- [12] J. P. Dewangga, "Studi Inisiasi Penggunaan Metode Pengukuran Produktivitas Method Productivity Delay Model Berbasis Mobile Application," Universitas Jenderal Soedirman, Purwolerto, 2023.
- [13] MIT, "MIT App Inventor," 2024. Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://appinventor.mit.edu/about-us>
- [14] L. L. Liongono, A. Saharuddin, D. H. D. Hartanto, and H. Leong, "Pemodelan Rodit Untuk Menghitung Gaya Lateral Pada Pondasi Tiang Pancang Ujung Bebas Pada Tanah Kohesif Menggunakan Metode Brom's Berbasis Mit App Inventor," *G-SMART*, vol. 7, no. 1, pp. 66–80, 2023, doi: 10.24167/gsmart.v7i1.10252.
- [15] M. A. Aziz, R. Januardi, and M. S. Aliim, "Efisiensi Penggunaan CBC Calculator sebagai Alat Bantu Pengukuran Produktivitas Metode Crew Balance Chart," *Journal of Infrastructure Policy and Management (JIPM)*, vol. 7, no. 2, pp. 125–138, 2024.
- [16] D. W. Halpin and L. S. Riggs, *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [17] C. G. Putri and S. Santoso, "Analisis Transformasi Digitalisasi Melalui Aplikasi Sistem Integrasi Konstruksi Terhadap Produktivitas Kerja Quantity Surveyor Proyek Konstruksi Bangunan Gedung," *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Bisnis*, vol. 6, no. 3, p. 459559, 2020.
- [18] H. A. Abdelkhalek, H. S. Refaie, and R. F. Aziz, "Optimization of time and cost through learning curve analysis," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 1069–1082, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.12.007.