

Analisa Produktivitas Operasi Konstruksi Pekerjaan Lapis Pondasi Pada Proyek Jalan Menggunakan Simulasi Cyclone

Dyla Midya Octavia*, Nasrul, Randi Saputra

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis
Nanggalo, Padang – 25143, Indonesia

Email: dylamidyaoctavia@gmail.com

Dikirim :10 April 2018

Direvisi: 15 Juni 2018

Diterima :18 Juli 2018

ABSTRAK

Produktivitas operasi konstruksi merupakan gambaran produktivitas dari pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Operasi konstruksi adalah level pelaksanaan konstruksi yang fokus pada metode dan proses pelaksanaan di lapangan. Rendahnya produktivitas pelaksanaan di lapangan akan menyebabkan kurang efektifnya penggunaan alat berat sehingga menyebabkan pemborosan biaya. Selain itu juga akan menyebabkan waktu penyelesaian pekerjaan menjadi lebih lama. Penelitian ini menghitung dan menganalisa produktivitas operasi konstruksi pekerjaan lapis pondasi pada proyek jalan menggunakan metode simulasi CYCLONE. Operasi konstruksi pada proyek jalan umumnya adalah operasi konstruksi yang berulang sepanjang jalan tersebut dibangun. Dengan memodelkan dan mensimulasikan operasi konstruksi, pelaksanaan pekerjaan dilapangan dapat dianalisa dan dikendalikan untuk memastikan bahwa pelaksanaan pekerjaan tersebut efektif dan efisien dari segi waktu dan biaya. Operasi konstruksi yang terdiri dari beberapa *work task* yang dilaksanakan di lapangan dimodelkan dengan model CYCLONE dan disimulasikan dengan WebCYCLONE. Waktu dari masing-masing *work task* diperoleh dari hasil pengamatan langsung di lapangan. Dari hasil simulasi diperoleh waktu siklus pelaksanaan operasi konstruksi tersebut adalah 78,2 menit, dengan produktivitas 0,0128 siklus/menit atau 2,88 m/menit, dimana untuk 1 siklus kontraktor menerapkan 1 siklusnya adalah per 3 STA dengan total panjang 75 m per siklus. Peningkatan produktivitas untuk operasi konstruksi akan terjadi pada siklus ke-2 dan seterusnya dengan peningkatan mencapai 0,0229 siklus/menit.

Kata kunci: produktivitas, operasi konstruksi, cyclone

1. PENDAHULUAN

Hierarki suatu konstruksi dimulai dari organisasi, proyek, kegiatan, operasi, proses, hingga tugas (Halpin dan Riggs, 1992). Organisasi, proyek dan kegiatan dapat digolongkan pada bagian manajemen yang fokus pada atribut dan komponen proyek. Sementara operasi, proses dan tugas dapat digolongkan pada bagian rekayasa konstruksi yang fokus pada penggunaan teknologi dan aksi dilapangan.

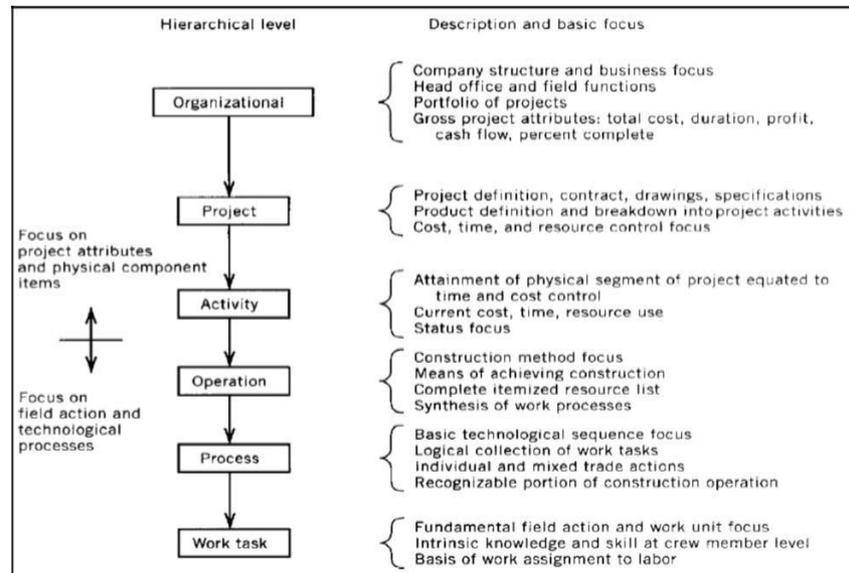
Suatu operasi konstruksi dapat dikatakan efisien apabila setiap kegiatan yang dilakukan memberikan *added value*. Namun yang sering terjadi adalah banyaknya kegiatan-kegiatan yang menggunakan sumber daya namun tidak memberikan nilai (*added value*) sehingga justru menimbulkan pemborosan (*waste*). Untuk dapat menciptakan operasi konstruksi ramping yang bisa memberikan nilai yang maksimal dan menghasilkan *waste* yang minimal, upaya yang harus dilakukan oleh perusahaan konstruksi adalah mengurangi waktu siklus dan variabilitas operasi konstruksi (Octavia, 2014).

Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan dan analisa produktivitas dengan memodelkan operasi konstruksi agar dapat dilaksanakan dan dikendalikan, terutama untuk operasi konstruksi yang berulang di lapangan. Pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan model CYCLONE untuk selanjutnya disimulasikan menggunakan WebCYCLONE. Sehingga operasi konstruksi yang dilaksanakan menghasilkan produktivitas yang efektif dan efisien dengan sumber daya yang telah direncanakan. Metode simulasi CYCLONE merupakan metode pemodelan operasi konstruksi yang telah banyak digunakan untuk dapat menghitung dan menganalisa produktivitas dari suatu operasi konstruksi. Amin, M dan Korniwawan, T (2016) melakukan penelitian untuk analisa produktivitas pekerjaan instalasi Curtain Wall Unitized System dengan metode CYCLONE kemudian diaplikasikan pada 2 alternatif metode instalasi untuk dibandingkan hasil kebutuhan biaya dan waktu penyelesaian pekerjaannya, sehingga diperoleh alternatif metode instalasi yang paling baik dari segi waktu dan biaya.

Produktivitas operasi konstruksi yang dibahas dalam penelitian ini adalah untuk pekerjaan lapis pondasi pada proyek pembangunan jalan. Operasi konstruksi pada proyek jalan umumnya adalah operasi konstruksi yang berulang sepanjang jalan tersebut dibangun. Sehingga dapat dirancang operasi konstruksi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan produktivitas pekerjaan yang baik dengan biaya yang lebih rendah. Penelitian ini merupakan penelitian yang pengambilan datanya dilakukan langsung pada proyek jalan yakni pada pekerjaan lapis pondasi, sehingga data berupa tahapan kerja dan durasi masing-masing tahapan merupakan data yang sebenarnya terjadi di lapangan, sehingga model operasi konstruksi yang dirancang sesuai dengan realita yang sedang terjadi di lapangan.

2. OPERASI KONSTRUKSI

Operasi konstruksi merupakan level bawah pada *hierarki* konstruksi seperti ditunjukkan oleh pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Tingkatan *Hierarki* Konstruksi (Halpin & A. Senior 2012, CEM Purdue University,)

Berdasarkan **Gambar 1** di atas dapat diketahui bahwa level terbawah dari *hierarki* konstruksi adalah *work task* (tugas) yang akan membentuk suatu proses dan selanjutnya menjadi operasi. *Work task* merupakan aksi di lapangan dan fokus dari kerja yang membutuhkan pengetahuan intristik dan keahlian. Sementara proses konstruksi merupakan gabungan dari *work task* yang unik, dimana satu *work task* dengan yang lainnya saling berhubungan erat berdasarkan teknologi dan urutan logika. Gabungan dari proses konstruksi selanjutnya akan membentuk suatu operasi konstruksi. Operasi konstruksi yang sederhana dapat terdiri dari satu proses saja. Menurut Halpin dan Riggs (1992) suatu operasi konstruksi akan menghasilkan penempatan suatu bagian konstruksi yang dapat didefinisikan dan secara alami memiliki struktur proses teknologi dan penugasan. Selain itu suatu operasi konstruksi secara alami dapat berulang dan menghasilkan suatu produk.

3. PEMODELAN DAN SIMULASI CYCLONE

Suatu operasi konstruksi dapat direncanakan dalam bentuk model rencana. Model rencana dalam bentuk network memberikan gambaran mengenai operasi konstruksi tapi tidak memberikan identifikasi sebagai hasil pemodelan dengan mengaplikasikan nilai *flow unit* sesuai dengan keadaan yang diperhitungkan. Simulasi berupa *Discrete Event Simulation* merupakan penggunaan model rencana dalam melakukan percobaan-percobaan untuk mendapatkan kemungkinan-kemungkinan dari model rencana tersebut. Analisa jaringan dalam *Discrete Event Simulation* dapat melihat hasil dari suatu keadaan tertentu dari *flow unit resources*-nya.

Simulasi model rencana juga merupakan salah satu teknik yang dapat mendukung proses pengambilan keputusan untuk manajemen konstruksi. Sebuah pemodelan yang akurat dapat membantu penge mbangan alternatif dan optimasi yang lebih baik dari sumber daya yang terlibat (Abourizk & Mohamed 2000, Octavia 2014). Salah satu teknik pemodelan yang dapat digunakan adalah CYCLONE. CYCLONE adalah singkatan dari *CYclic Construction Operation Network*. Sesuai dengan namanya, CYCLONE sangat cocok untuk digunakan untuk pemodelan operasi konstruksi berulang. Metode ini

ditemukan oleh Halpin tahun 1973. Selanjutnya teknik pemodelan CYCLONE mulai dikembangkan untuk simulasi. Pengembangan simulasinya dilakukan sendiri oleh Halpin pada tahun 1977 dengan menjalankan perangkat lunak pada mainframe, yaitu Mainframe CYCLONE, dan juga pada PC, yaitu MicroCYCLO pada 1990 (Abduh, 2007).

Untuk menerapkan model CYCLONE pada operasi konstruksi berulang. Banyak dikembangkan program simulasi lainnya seperti, DISCO, PROSIDYC, STROBOSCOPE, SIMPHONY, COST dan WebCYCLONE, yang telah tersedia sejak saat itu didasarkan pada pemodelan CYCLONE. Pada penelitian ini simulasi model CYCLONE dilakukan dengan menggunakan WebCYCLONE. WebCYCLONE merupakan Program simulasi terbaru yang digunakan untuk simulasi pemodelan CYCLONE. WebCYCLONE merupakan Pemograman MicroCYCLONE dalam bentuk Web.

MicroCYCLONE sendiri merupakan program simulasi berbasis komputer mikro yang dirancang khusus untuk proses pemodelan CYCLONE. Program ini dapat digunakan untuk memodelkan operasi konstruksi yang melibatkan interaksi *work task* dengan durasi yang *work task* tersebut. Rute aliran sumber daya yang melalui *work task* merupakan dasar untuk pemodelan operasi konstruksi. Untuk dapat menggunakan program ini, pengguna perlu menginstal program tersebut pada PC. Sedangkan pada WebCYCLONE pengguna tidak perlu menginstal atau memiliki program tersebut, karena dapat digunakan dengan mengakses langsung *website* tersebut. WebCYCLONE dapat di akses melalui <https://tomcat.itap.purdue.edu/WebCYCLONE/Cyclone.jsp>.

WebCYCLONE dikembangkan oleh Construction Engineering And Management Purdue University, USA. Pada WebCYCLONE kita harus memasukan input data sesuai dengan bahasa program dan *work task*), *Duration Input* (jenis distribusi durasi dan paramaternya dari masing-masing *work task*) dan *Resource Input* (jumlah sumber daya).

Dalam pemodelan CYCLONE terdapat elemen-elemen yang harus ditentukan untuk dapat menggambarkan operasi konstruksi. Daftar elemen-elemen tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1. Elemen-elemen dalam Pemodelan CYCLONE

Nama	Simbol	Fungsi
Combination (COMBI) Activity		Elemen ini selalu didahului oleh <i>queue node</i> . Elemen ini akan menjadi aktif setelah beberapa kondisi terpenuhi, misalnya tersedianya beberapa unit sumber daya tertentu untuk memulai pekerjaan. Jika tidak semua unit yang dibutuhkan tersedia, maka unit-unit ini akan ditunda sampai kondisi untuk kombinasi terpenuhi
Normal Activity		Elemen yang akan aktif setelah kegiatan lain yang mendahuluinya selesai. Normal hanya dapat didahului oleh normal atau COMBI lainnya dan tidak dapat didahului oleh queue.
Queue Node		Berperan sebagai ruang tunggu sementara bagi sumber daya ketika sedang tidak aktif atau sedang dalam posisi menunggu. Elemen ini mendahului semua kegiatan COMBI.
Function Node		Elemen tidak memiliki fungsi intrinsik tetapi dapat disisipkan dimana saja kecuali antara COMBI dan queue yang mendahuluinya, untuk memenuhi fungsi tertentu, seperti menghitung, konsolidasi, menandai, dan koleksi statistik.
Counter		Elemen ini berfungsi untuk menghitung jumlah aliran siklus yang melaluinya.
Arc		Berfungsi untuk menunjukkan arah aliran sumber daya antara sumber daya dan <i>work task</i> .

(Sumber : Construction Engineering And Management Purdue University, USA, <https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone7.htm>)

Untuk melakukan pemodelan CYCLONE dibutuhkan beberapa informasi seperti tahapan kegiatan, jumlah sumber daya yang digunakan, dan juga durasi pekerjaan. Berikut prosedur/tahapan untuk melakukan pemodelan:

1. Identifikasi aliran sumber daya,
Pada tahap ini ditentukan sejumlah sumber daya yang terkait dengan pelaksanaan operasi konstruksi. Sumber daya yang terkait meliputi pekerja, peralatan, material dan juga ruang kerja serta informasi.
2. Mengembangkan siklus dari aliran sumber daya
Merupakan masing-masing tahapan pekerjaan yang meliputi beberapa jenis dan sejumlah sumber daya kemudian dibuat siklus pengerjaannya.
3. Mengintegrasikan siklus dari flow unit
Setiap siklus yang mewakili setiap tahapan pekerjaan kemudian diintegrasikan menjadi suatu sistem yang menggambarkan tahapan pengerjaan operasi secara keseluruhan
4. Inisialisasi flow unit
Untuk melakukan analisa terhadap model yang dibuat maka setiap flow unit perlu diberi penamaan dan penomoran sesuai urutan logika.

Pemodelan CYCLONE juga memiliki alur logika yang harus diperhatikan agar pemodelan yang didesain dapat tersimulasi dengan baik. Berikut prioritas tiap elemen menurut logika simulasi CYCLONE (**Tabel 2**):

Tabel 2. Alur Logika Pemodelan CYCLONE

Follower Preceder					
	N	I	I	I	I
	N	I	I	I	I
	M	N	N	N	N
	N	I	I	I	I
	N	I	I	I	N

(Sumber: *Construction Engineering And Management Purdue University, USA*,
<https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone14.htm>)

Keterangan:

M = Harus, I= boleh , dan N = tidak boleh

4. MODEL OPERASI KONSTRUKSI

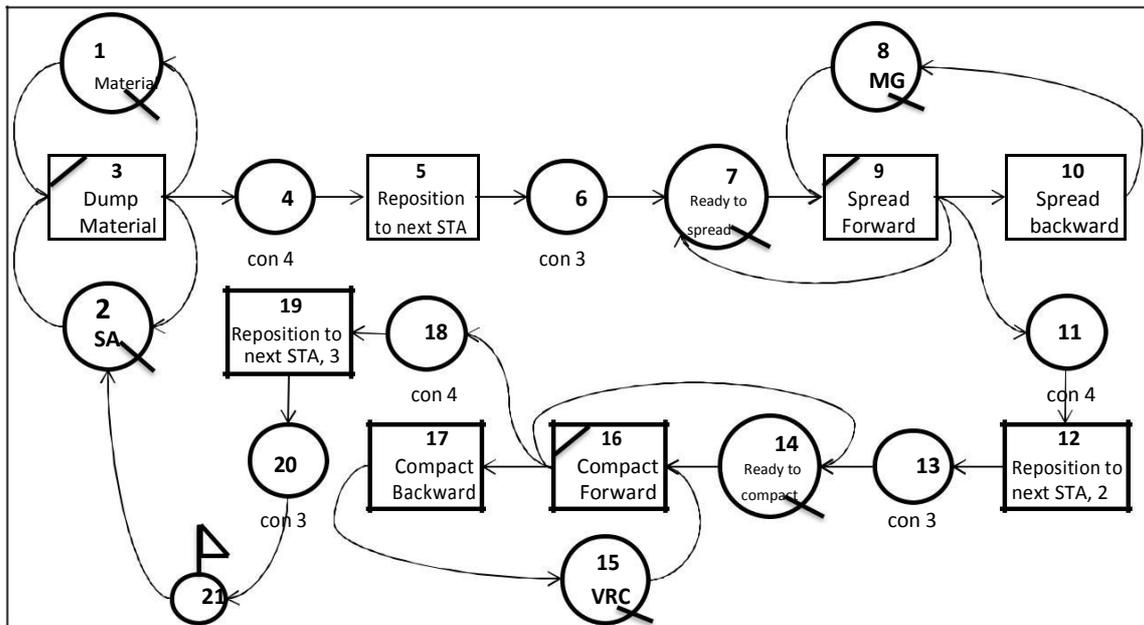
Model operasi konstruksi dalam bentuk CYCLONE memberikan gambaran mengenai operasi konstruksi di lapangan. Maka model dibuat berdasarkan hasil pengamatan di lapangan. *Work task* pertama yang di lakukan adalah pembongkaran material (*dump material*) dari *dump truck* pada badan jalan (titik 0 STA). Pembongkaran ini di lakukan sebanyak 4 *truck* pada masing-masing STA dan kemudian akan di lanjutkan kembali di STA selanjutnya sampai 3 STA.

Setelah pembongkaran material selesai, dilakukan *work task* selanjutnya yaitu penghamparan material (*spread*) dengan menggunakan *Motor grader*. *Work task* ini juga di lakukan per 1 STA. Dalam *work task* ini *motor grader* akan menghamparkan/ meratakan material dengan gerakan maju ke depan (*spread forward*) sebanyak 4 kali dan mundur kebelakang (*spread backward*) sebanyak 3 kali. *Work task* penghamparan material dengan *motor grader* ini dilakukan lagi pada STA selanjutnya sampai 3 STA.

Setelah *work task* penghamparan material dilakukan untuk 3 STA, selanjutnya dilakukan *work task* terakhir yaitu pemadatan (*compact*) dengan menggunakan *Vibration Roler Compactor*. Alat ini akan bekerja dengan gerakan maju (*compact forward*) 10 kali ke arah depan dan 9 kali kearah belakang (*compact backward*) pada masing-masing STA, kemudian akan di ulang kembali dengan cara yang sama di STA berikutnya sampai 3 STA. Setelah *work task* pemadatan selesai maka akan dilakukan kembali *work task*

pembongkaran material untuk STA selanjutnya. Jadi, satu siklus operasi konstruksi yang terdiri dari *work task* pembongkaran material, perataan, dan pemadatan dilakukan setiap 3 STA atau 75 meter.

Berikut model CYCLONE untuk operasi konstruksi pekerjaan lapis pondasi pada proyek jalan berdasarkan hasil pengamatan lapangan (**Gambar 2**).



Gambar 2. Model Operasi Konstruksi Pekerjaan Lapis Pondasi pada Proyek Jalan

Keterangan Gambar :

SA : Site Available

MG : Motor Grader

VRC : Vibrator Roller Compactor

5. DURASI WORK TASK OPERASI KONSTRUKSI

Untuk menghubungkan waktu perpindahan pelaksanaan suatu *work task*, maka suatu simulasi model operasi konstruksi bisa memberikan periode waktu suatu unit *resource* yang terlibat dalam tugasnya dengan urutan tertentu. Dengan begitu maka model tersebut bisa menentukan *output* operasional dan tingkat produktivitas dalam satuan waktu. Sehingga memungkinkan untuk menentukan waktu *idle* suatu *resources* dengan jumlah yang berbeda, yang berpengaruh pada tingkat produktivitas.

Lamanya durasi untuk setiap *work task* yang terlibat dalam suatu operasi konstruksi dapat ditentukan melalui pengamatan langsung di lapangan sehingga data yang durasi yang diperoleh adalah kondisi sebenarnya. Sehingga akan diperoleh jenis distribusi dan parameter durasi dari setiap *work task* yang terlibat. Adapun jenis-jenis distribusi durasi tersebut antara lain (Octavia, 2017):

1. Durasi deterministik

Durasi deterministik merupakan durasi waktu yang bersifat konstan. Hal ini bisa terjadi karena *resources* yang digunakan memberikan nilai pasti atau konstan.

2. Durasi acak (*random*)

Durasi acak merupakan kebalikan dari durasi deterministik, dimana variasi durasi dari setiap *task* bersifat acak/random. Penentuan dari jenis-jenis distribusi durasi acak tersebut dapat ditentukan berdasarkan perhitungan statistik seperti Kolmogorov-Sminov (K-S) *test*. Dan untuk mempermudah perhitungan tersebut dilakukan menggunakan *@Risk software*, berdasarkan data durasi yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan.

Berikut jenis distribusi dan parameter masing-masing *work task* yang terlibat dalam operasi konstruksi yang diperoleh dengan bantuan *@Risk software* berdasarkan data durasi hasil pengamatan di lapangan (**Tabel 3**). Jenis distribusi dan paramaterya pada masing-masing durasi *work task* pada tabel

tersebut selanjutnya menjadi input data untuk simulasi model operasi konstruksi menggunakan WebCYCLONE.

Tabel 3. Durasi *work task* untuk Operasi Konstruksi Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan

Nama <i>Work Task</i>	Jenis Distribusi Durasi	Parameter (Dalam Menit)
Pembongkaran Material (<i>Dump Material</i>)	<i>Exponensial</i>	Mean : 0,9011
Penghamparan Material Maju (<i>Spread Forward</i>)	<i>Normal</i>	Mean : 1,7415 Variance : 0,0367
Penghamparan Material Mundur (<i>Spread Backward</i>)	<i>Exponensial</i>	Mean : 0,9895
Pemadatan Material Maju (<i>Compact Forward</i>)	<i>Normal</i>	Mean : 1,8842 Variance : 0,0105
Pemadatan MaterialMundur (<i>Compact Backward</i>)	<i>Triangular</i>	Min : 1,0959 Max : 1,6697 Mode : 2,0615

6. ANALISA WAKTU SIKLUS DAN PRODUKTIVITAS

Simulasi model operasi konstruksi yang dilakukan dengan menggunakan WebCYCLONE, menghasilkan waktu siklus dan produktivitas dari pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi jalan. Berdasarkan simulasi diperoleh waktu siklus pelaksanaan pekerjaan adalah 78,2 menit per siklus dengan produktivitas 0,0128 siklus/menit atau 2,88 m/menit.

Selanjutnya simulasi dilakukan untuk 20 siklus untuk dapat mengetahui pada peningkatan produktivitas pada setiap siklusnya. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4** di bawah ini. Berdasarkan **Tabel 4** tersebut diketahui bahwa terjadi peningkatan produktivitas setelah siklus pertama. Hal ini di sebabkan karena pelaksanaan *work task* dilakukan secara terus menerus seperti tergambar pada model CYCLONEnya. Pada model tersebut (**Gambar 2**), tergambar bahwa *work task* pembongkaran material pada siklus atau STA berikutnya secara berkelanjutan dilakukan tanpa harus menunggu pelaksanaan *work task* penghamparan material siklus sebelumnya selesai.

Tabel 4 Waktu Siklus dan Produktivitas Operasi Konstruksi Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan

BASE LAYER PROCESS		
PRODUCTIVITY INFORMATION		
Sim. Time	Cycle No.	Productivity Per Time Unit
78.2	1	0.012785
119.7	2	0.016713
162.6	3	0.018446
203.2	4	0.019681
245.6	5	0.020356
286.1	6	0.020970
327.5	7	0.021371
369.3	8	0.021660
411.5	9	0.021874
453.6	10	0.022047
495.5	11	0.022198
537.4	12	0.022330
579.2	13	0.022446
621.1	14	0.022541
663.6	15	0.022603
706.0	16	0.022661
747.5	17	0.022743
788.6	18	0.022826
830.4	19	0.022879
872.0	20	0.022935

Work task penghamparan material pada harus menunggu pembongkaran material selesai terlebih dahulu sebelum dilaksanakan. Namun, *work task* pembongkaran material untuk siklus berikutnya tidak harus menunggu *work task* penghamparan dan pemadatan material siklus sebelumnya selesai. Dengan kata lain,

work task pembongkaran material pada siklus berikutnya dapat dilakukan bersamaan dengan *work task* penghamparan material pada STA siklus sebelumnya berikutnya. Demikian juga halnya dengan *work task* penghamparan material pada siklus berikutnya dapat dilakukan bersamaan dengan *work task* pemadatan material pada siklus sebelumnya. Dengan demikian waktu siklus pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih pendek dan waktu tunggu (*idle time*) untuk masing-masing *resources* menjadi kecil, serta produktivitas pekerjaan menjadi lebih tinggi.

Pelaksanaan pekerjaan di lapangan pada umumnya sama dengan model yang di buat. Namun pada metode CYCLONE, model operasi konstruksi yang dibuat, secara otomatis akan menghasilkan produktivitas yang optimal dari model tersebut. Sementara yang terjadi di lapangan tidak sepenuhnya seperti pada model yang menggambarkan bahwa pelaksanaan *work task* dilakukan secara terus menerus. Misalnya, *work task* pembongkaran material pada siklus berikutnya tidak dapat dilakukan bersamaan dengan penghamparan material pada siklus sebelumnya dikarenakan faktor keterlambatan datangnya material ke lokasi proyek. Sehingga produktivitas pekerjaan pada siklus berikutnya mulai dari pembongkaran material sampai pemadatan sama dengan siklus sebelumnya, yaitu kurang lebih 0,0128 siklus/menit. Padahal jika dilaksanakan secara terus menerus, produktivitas pada siklus berikutnya dapat meningkat secara bertahap sampai 0,0229 siklus/menit.

7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa produktivitas operasi konstruksi untuk pekerjaan lapis pondasi pada Proyek Pembangunan Jalan teluk Bayur-Nipah-Purus Dak adalah 0,0128 siklus/menit atau 2,88 m/menit dengan waktu siklus adalah 78,2 menit/siklus. Jika pelaksanaan pekerjaan dilakukan secara terus menerus atau kontiniu, maka akan diperoleh peningkatan produktivitas. Peningkatan produktivitas untuk operasi konstruksi pekerjaan lapis pondasi akan terjadi pada siklus ke-2 dan seterusnya dengan peningkatan produktivitas mencapai 0,0229 siklus/menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Institut Teknologi Padang Tahun 2018 melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. (2007). "The Development of Simulation Technology for Construction Operations". (in Indonesian). Proc. of Seminar Nasional Teknik Sipil 2007. Univ. Maranatha. Bandung, Indonesia.
- AbouRizk, S. and Mohamed, Y. (2000). "Symphony: an integrated environment for construction simulation." Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, pp. 1907-1914. Phoenix, Arizona.
- Amin, M., Kornawan, T. (2016). Analisis Produktivitas Pekerjaan Instalasi *Facade Curtain Wall Unitized System* Pada Proyek *High-Rise Building* Dengan Metode Simulasi Operasi Konstruksi Berulang (Cyclone).Jurnal Rekayasa Sipil. Universitas Mercubuana.
- Construction Engineering And Management Purdue University, USA,*
<URL:<https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone14.htm>>
- Halpin, D. W., & A. Senior, B. (2012). *Construction Management* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- Halpin, D. W., & Riggs, L. S. (1992). *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Octavia, D.M., (2014). *Emission-based Simulation Model for Selecting Concreting Operation's Method*. Conference for Civil Engineering Research Networks. Bandung. Indonesia
- Octavia, D.M., (2017). Pemodelan Estimasi Emisi Untuk Metoda Kerja Pengecoran Beton pada Bangunan Bertingkat Tinggi. Jurnal Momentum Institut Teknologi Padang. Vol 19, No. 2, Hal 12-19. ITP Press