

ANALISIS PRODUKTIVITAS PEKERJAAN INSTALASI FAÇADE CURTAIN WALL UNITIZED SYSTEM PADA PROYEK HIGH-RISE BUILDING DENGAN METODE SIMULASI OPERASI KONSTRUKSI BERULANG (CYCLONE)

Mawardi Amin¹, dan Tatang Korniawan²

Abstract

In 2015, Indonesia has managed to occupy the second position in the world in terms of the construction of high-rise building by completed of nine buildings construction with total height about 1,908 meters. Therefore, development of construction technology innovation become challenge for civil engineer to improve the quality of performance in the face of global competition. Of the entire construction, façade is an important component for determining the feasibility of a high-rise building, and the most popular type is Aluminium-glazing curtain wall unitized system. In this research the author try to analyze the productivity of Unitized Curtain Wall System installation work with CYCLONE program and with apply two alternative method of installation. The results will be compare to get more efficient of completion time and costs.

Based on productivity analysis using operating program WebCYCLONE, obtained the results for Typical frame work is 0,027823 frame/minute; Corner frame work is 0,011232 frame/minute; and End corner frame work is 0.009212 fr/minute. After applied to the two alternative methods which has been tested, the results for Alternative-1 is completion time required 293 days and cost is Rp. 4.216.809.120,-. Whereas for Alternative-2 is completion time required 304 days and cost is Rp. 4.375.119.360,-. The Conclusion of this research is the Alternative-1 method is more efficient with 11 working days of gap time and Rp. 158.310.240,- of gap cost.

Keywords: *Curtain Wall Unitized System; CYCLONE; WebCYCLONE; productivity; Construction, Management.*

Abstrak

Pada tahun 2015 Indonesia telah berhasil menempati posisi kedua di dunia dalam hal pembangunan gedung bertingkat tinggi. Yaitu dengan merampungkan pembangunan 9 gedung dengan total tinggi mencapai 1.908 meter. Oleh karena itu perkembangan inovasi teknologi konstruksi gedung tinggi menjadi salah satu tantangan bagi para insinyur teknik sipil untuk meningkatkan kualitas kinerja dalam menghadapi persaingan global. Dari beberapa komponen pekerjaan konstruksi gedung. *Façade* merupakan salah satu komponen penting penentu kelayakan proyek gedung bertingkat tinggi. *Aluminium-Glazing Curtain Wall Unitized System* merupakan jenis pekerjaan *façade* yang paling populer. Sehingga pada penelitian ini penulis mencoba untuk menganalisa 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 pekerjaan.

Berdasarkan hasil analisa produktifitas dengan program operasi WebCYCLONE diperoleh nilai produktivitas instalasi untuk *typical frame* adalah 0,027823 frame/minute, instalasi *corner frame* 0,011232 frame/minute, dan *end corner frame* 0.009212 frame/minute. Setelah diaplikasikan ke dalam 2 metode alternatif yang diujikan maka diperoleh sebagai berikut: Alternatif-1 total waktu penyelesaian selama 293 hari dan biaya yang dibutuhkan sebesar Rp. 4.216.809.120,- sedangkan Alternatif-2 total waktu penyelesaian 304 hari dan biaya yang dibutuhkan adalah Rp. 4.375.119.360,-. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Alternatif - mempunyai efisiensi lebih baik dengan selisih waktu 11 hari kerja dan biaya sebesar Rp. 158.310.240,-

Kata kunci: *Curtain Wall Unitized System; CYCLONE; WebCYCLONE; productivity; Construction, Management.*

I. PENDAHULUAN

Menurut *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)*, sepanjang 2015, Indonesia berhasil merampungkan pembangunan 9 gedung dengan total tinggi mencapai 1.908

meter.(Aji Pitoko, 2016). Hal itu menjadikan Indonesia menempati peringkat ke dua didunia dalam hal pembangunan gedung bertingkat tinggi. Tujuan pembangunan gedung tinggi lebih untuk menjadikan potensi daya tarik wisata dan menjadi sebuah ikon dari negara tersebut. Sehingga persaingan para investor dalam pembangunan gedung pencakar langit (*high rise building*) memacu para insinyur untuk

1. Universitas Mercu Buana, Jakarta . Pos-el:
mawardi@mercubuana.ac.id
2. Pos-el: tatang_korniawan@yahoo.com

menciptakan desain gedung yang tidak hanya tinggi tetapi juga memiliki tampilan yang mewah dan berkesan futuristik. Dalam perkembangannya inovasi teknologi konstruksi gedung tinggi menjadi salah satu tantangan bagi para insinyur teknik sipil untuk meningkatkan kualitas kinerja dalam menghadapi persaingan global. Pekerjaan pembangunan gedung bertingkat tinggi memiliki banyak sub-pekerjaan yang kompleks. Dari beberapa diantaranya pekerjaan *façade* merupakan salah satu pekerjaan yang menentukan kelayakan dan nilai jual dari sebuah bangunan tinggi komersial. *Aluminium-Glazing Curtain Wall Unitized System* merupakan teknologi terbaru dari metode pekerjaan *façade* yang saat ini menjadi paling populer dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi. Sehingga pada penelitian ini penulis mencoba untuk mengangkat topik tentang analisa produktivitas pekerjaan instalasi *Curtain Wall Unitized System* dan metode yang tepat untuk terhadap biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan.

II. TINJAUAN PENELITIAN

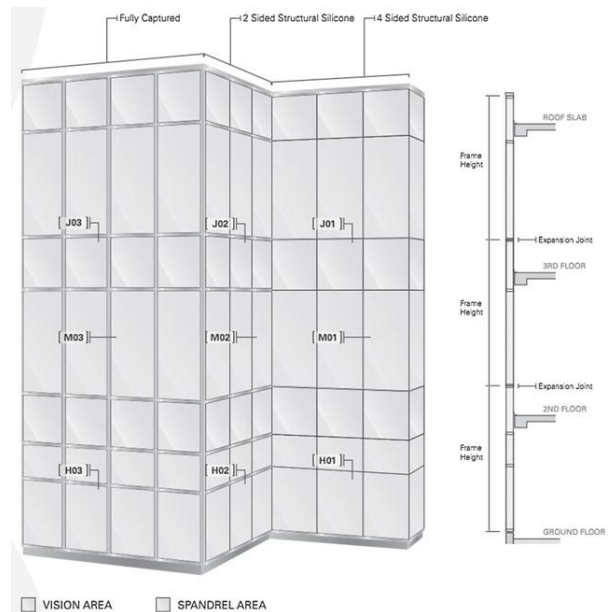
2.1 Curtain Wall

Secara struktural Curtain wall adalah sebuah penutup vetikal bangunan yang mendukung atas bebanya sendiri dan gaya luar yang mempengaruhi bangunan. Curtain wall tidak dimaksud untuk membantu dalam menjaga integritas struktur bangunan, tetapi lebih dalam meningkatkan keindahan estetika arsitektural bangunan dan fungsi luar terhadap pengaruh lingkungan bangunan baik dari tekanan angin, cuaca, serta panas yang ditimbulkan oleh intensitas cahaya matahari (Information from, AAMA, 1996).

Ada beberapa jenis sistem untuk aluminium curtain wall yaitu curtain wall stick system, semi-unitized system dan unitized system.

Curtain Wall Unitized System

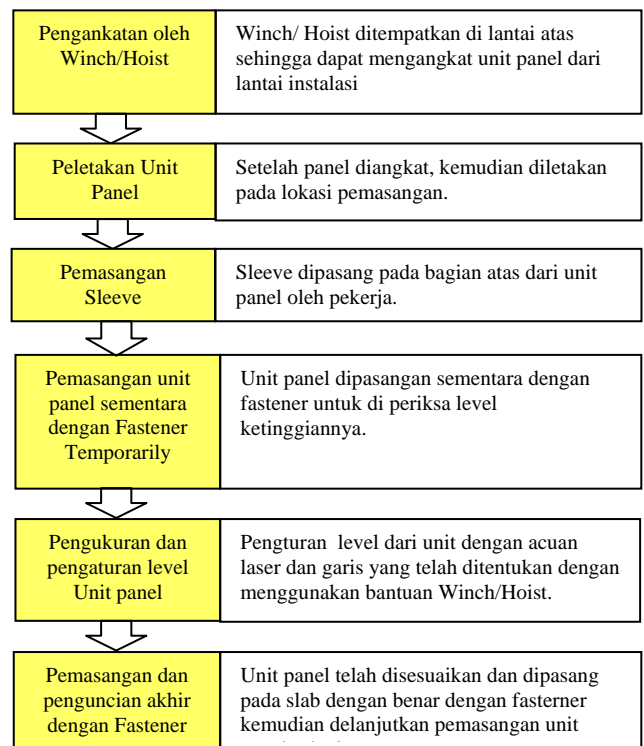
Curtain wall unitized system adalah curtain wall yang dirakit dan dipabikasi di workshop . Kemudian dikirim ke lapangan (proyek) untuk diinstal. Kelebihan dari pada curtain wall tipe unitized adalah dirakit dalam ruangan khusus berkaca dengan lingkungan dan suhu yang terkendali sehingga kualitas dan daya tahan yang baik. Disamping itu pelaksanaan instalasinya memerlukan waktu yang lebih singkat dibanding dengan metode yang lain.(M. Memari, 2013)



Gambar 1. Tampak dan potongan dari typical Curtain Wall Unitized System.

(Sumber: Thermo3 Series Curtain Wall System, courtesy of Sota Glazing, Inc.,Brampton, Ontario, Canada (M. Memari, 2013))

Menurut (Kim 2012; Lee et al. 2011) secara umum alur pekerjaan instalasi curtain wall unitized system adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Alur pekerjaan *curtain wall unitized system*

Sumber: (Sumber: Kim 2012; Lee et al. 2011)
2.2 Kinerja Proyek

Standar kinerja diperlukan untuk melakukan tindakan pengendalian terhadap penggunaan sumber daya yang ada dalam suatu proyek. Hal ini agar sumber daya dapat dimanfaatkan secara efektif dan efisien dalam penyelenggara proyek. (Cleland, 1995)

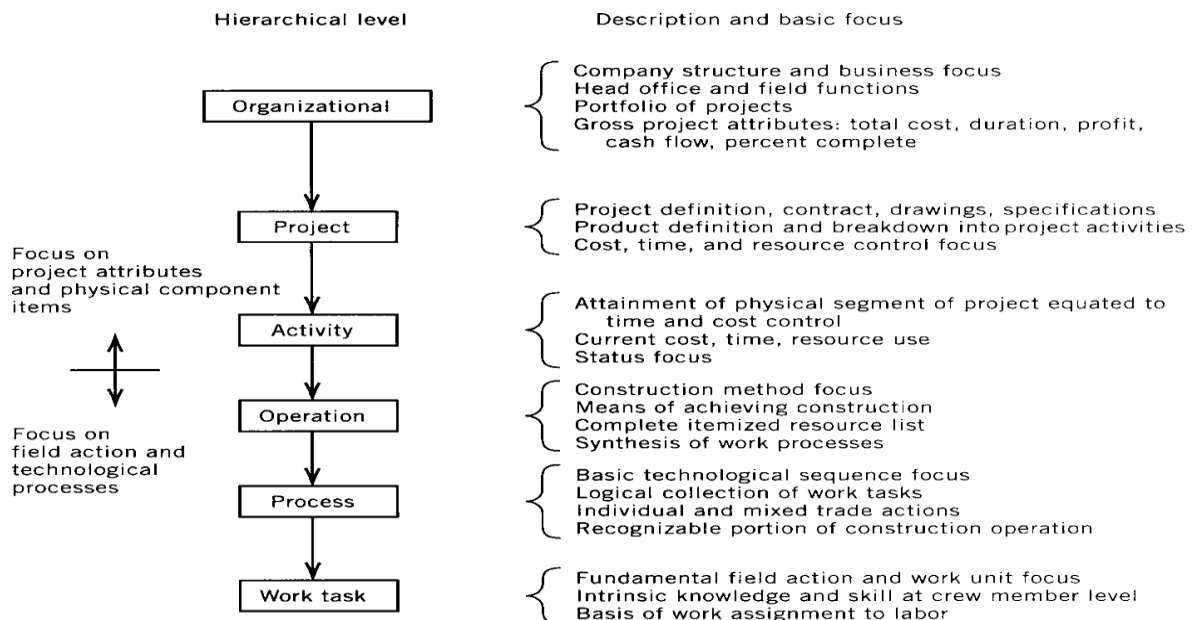
Menurut Barrie (1995), pelaporan mengenai kinerja suatu proyek harus memenuhi 5 komponen :

1. Prakiraan, yang akan memberikan suatu standar untuk membandingkan hasil sebenarnya dengan hasil ramalan.
2. Hal yang sebenarnya terjadi.
3. Ramalan, yang didasarkan untuk melihat apa yang akan terjadi di masa yang akan datang.

4. Varians, menyatakan sampai sejauh mana hasil yang diramalkan berbeda dari apa yang diprakirakan.
5. Pemikiran, untuk menerangkan mengenai keadaan proyek.

2.3 Permodelan Operasi Konstruksi Berulang

Secara hirarki manajemen konstruksi dapat didiskripsikan pada aktivitas **Gambar 3**. sebagai struktur dari proyek. Dimana blok bangunan dasar yang diperlukan untuk memahami dan menganalisis operasi konstruksi tersebut adalah tugas pekerjaan. Secara keseluruhan operasi konstruksi memerlukan penjabaran tugas pekerjaan dasar dan cara pengelolaan sumber daya yang tersedia (misalnya, crane, kru, bahan, dll) untuk melakukan proses atau melalui tugas pekerjaan. (Halpin & A. Senior, 2012).



Gambar 3. Tingkatan Hirarki dalam manajemen konstruksi.

Sumber : (Halpin & A. Senior, 2012)

Simulasi Operasi Konstruksi Berulang CYCLONE

Metoda CYCLONE ditemukan oleh Halphin pada tahun 1973. CYCLONE merupakan singkatan dari CYclic Construction Operation Network. Metoda ini merupakan pemodelan yang bisa disimulasikan ke dalam bentuk simulasi komputer.

Dasar Permodelan Elemen MicroCYCLONE & WebCYCLONE

Pemograman WebCYCLONE dikembangkan oleh Construction Engineering dan Management Purdue University, USA. webCYCLONE adalah pemograman MicroCYCLONE dalam bentuk web, sehingga

pengguna tidak perlu menginstal atau memiliki program tersebut cukup dengan mengakses website tersebut.

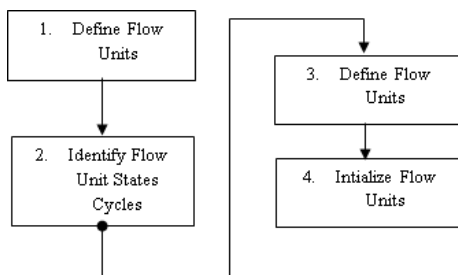
MicroCYCLONE adalah program simulasi berbasis komputer mikro yang dirancang khusus untuk proses pemodelan dan tingkat situs menganalisis yang siklik di alam. Dalam istilah yang lebih luas, dapat digunakan untuk memodelkan operasi konstruksi yang melibatkan interaksi tugas dengan durasi yang terkait, dan rute aliran satuan sumber daya melalui tugas pekerjaan adalah alasan dasar untuk pemodelan operasi konstruksi.

Tabel 1. Tabel Elemen dalam Permodelan CYCLONE.

Name	Symbol	Function
Combination (COMBI) Activity		Elemen ini selalu didahului oleh Queue Nodes. Sebelum dapat dimulai, unit harus tersedia di masing-masing Queue Nodes sebelumnya. Jika unit telah tersedia, mereka digabungkan dan diproses melalui aktivitas. Jika unit yang tersedia di beberapa tapi tidak semua Queue Nodes sebelumnya, unit-unit ini ditunda sampai kondisi untuk kombinasi terpenuhi.
Normal Activity		Elemen ini adalah kegiatan yang serupa dengan COMBI. Namun, unit tiba di elemen ini mulai diproses segera dan tidak tertunda.
Queue Node		Elemen ini mendahului semua kegiatan COMBI dan menyediakan lokasi di mana unit tertunda kombinasi tertunda. Statistik delay diukur pada elemen ini
Function Node		Elemen ini dimasukkan ke dalam model untuk melakukan fungsi khusus seperti menghitung, konsolidasi, menandai, dan koleksi statistik
Accumulator		Elemen ini digunakan untuk menentukan jumlah kali siklus sistem
Arc		Menunjukkan struktur logis dari model dan arah aliran entitas

(Sumber: CEM Purdue University)

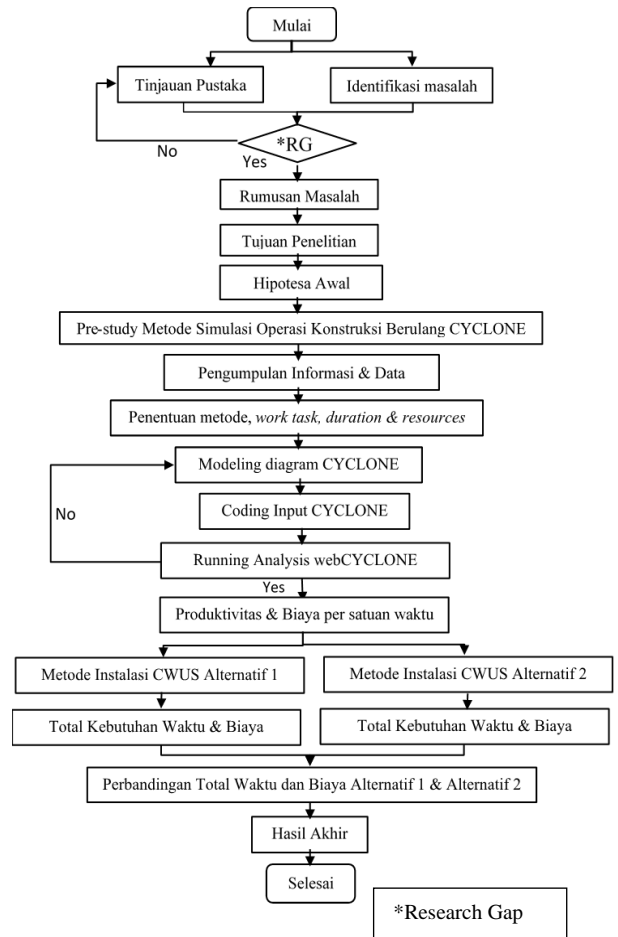
Prosedur untuk pemodelan proses konstruksi yang dilakukan melibatkan empat langkah dasar. Antara lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Tahap dalam perumusan model
Sumber: (Halpin & A. Senior, 2012)

III. METODE

Metode analisa dan pengolahan data.



Gambar 5. Diagram alir metode analisa pengolahan data

Pada penelitian ini metode atau instrumen yang digunakan dalam mengukur dan menentukan data analisa dilakukan dengan 3 tahap antara lain sebagai berikut:

1. Observasi / Pengamatan

Dalam kegiatan observasi atau pengamatan proses yang dilakukan adalah mengamati, memahami dan mencatat proses tahapan kerja instalasi curtain wall unitized system secara langsung untuk mengetahui tahapan kerja yang dilakukan pada obyek yang sedang diamati.

2. Wawancara/ Interview

Tahapan wawancara mendalam atau depth interview adalah kegiatan pengambilan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung kepada pelaku kegiatan konstruksi. lebih detail mengenai proses instalasi pekerjaan curtain wall unitized system.

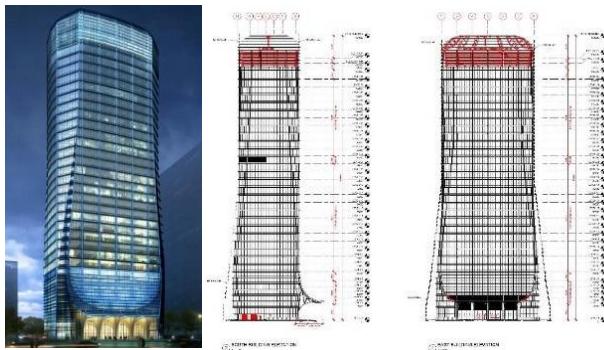
3. Pengukuran langsung

Pada tahapan ini yaitu proses pengukuran durasi pekerjaan secara langsung untuk memperoleh data realita pekerjaan yang sedang terjadi.

IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Informasi Proyek Observasi

Nama Proyek : Palma II Tower Office Development
 Lokasi Proyek : Jl. RA. Kartini II – S, Kav. 6 Sektor II, Jakarta Selatan
 Fungsi Bangunan : Office Building.

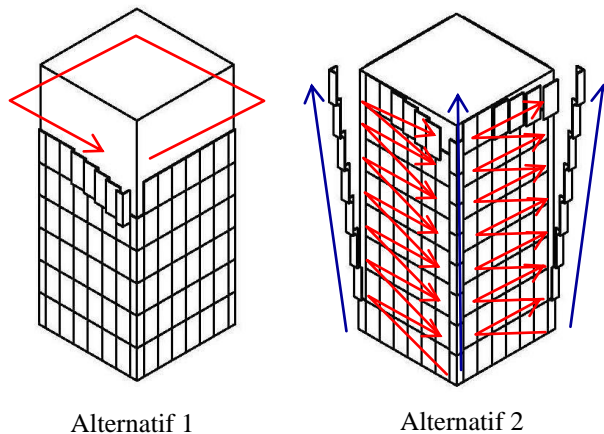


Gambar 6. Gedung Menara Palma 2 – 3D Rendering & Elevation

Sumber: (Data Proyek Observasi)

4.2 Konsep metode Alternatif pekerjaan instalasi Curtain Wall Unitized System.

Konsep metode alternatif yang akan dibandingkan dalam pelaksanaan instalasi *Curtain Wall Unitized System*.



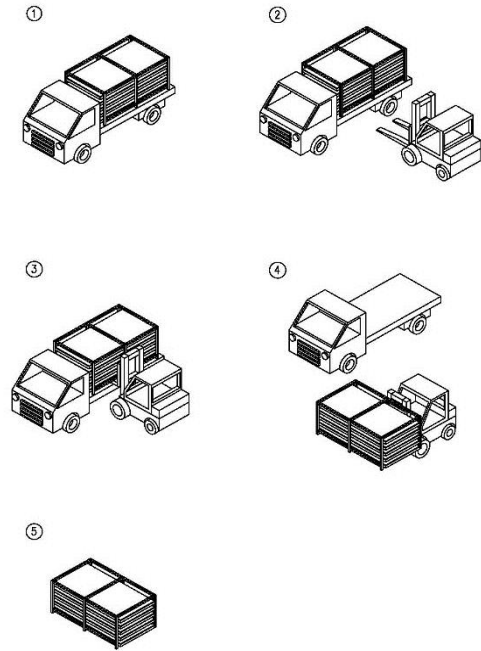
Gambar 7. Konsep metode alternative sistem instalasi pekerjaan curtain wall unitized system.
 Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Klasifikasi jenis Pekerjaan Instalasi

1. Instalasi *Typical Frame*
2. Instalasi *Corner Frame*
3. Instalasi *End Corner Frame*

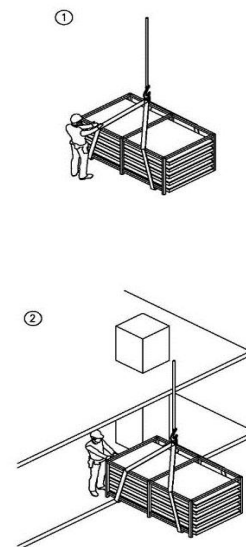
Tahapan Proses Instalasi Curtain Wall Unitized System.

1. Proses Unloading Unit



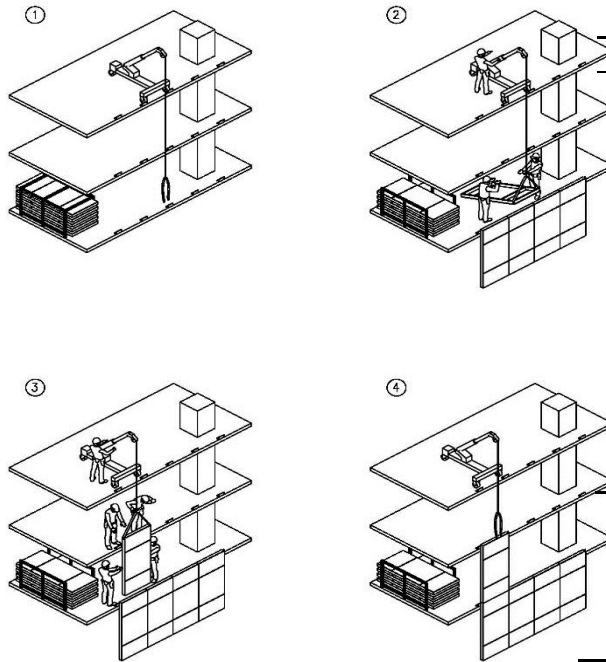
Gambar 8. Ilustrasi Proses Unloading Unit
 Sumber: (Hasil olahan sendiri)

2. Proses Lifting Unit



Gambar 9. Ilustrasi Proses Lifting Unit
 Sumber: (Hasil olahan sendiri)

3. Proses Instalasi Typical Frame



Gambar 10. Ilustrasi Proses Instalasi Typical Frame

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Penentuan Work Task, Durasi Pekerjaan

1. Permodelan instalasi typical Frame

Tabel 2. Work Task

No.	Work Task
1	Unloading Unit
2	Placing Unit to Install Area
3	Fastener Instalation (Typical Modul)
4	Lifting Panel (Typical Modul)
5	Fiting and Placement (Typical Modul)
6	Level Measurement & Adjustment (Typical Modul)
7	Fastener Fixing (Typical Modul)
8	Fastener Instalation (Corner)
9	Lifting Panel (Corner)
10	Fiting and Placement (Corner)
11	Level Measurement & Adjustment (Corner)
12	Fastener Fixing (Corner)

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

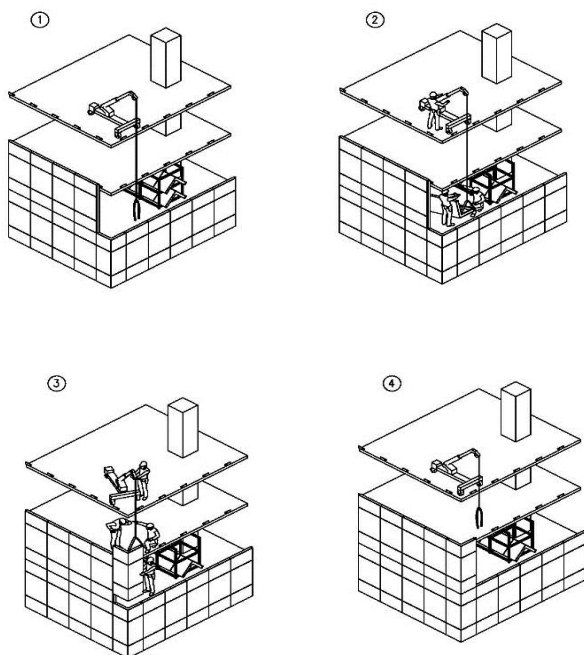
2. Durasi Pekerjaan

Tabel 3. Durasi Pekerjaan

No.	Description work task	Duration (minute)					
		Const. det	Uniform		Triangular		
			min	max	min	mid	max
1	Truck Arrived		8	10			
2	Unloading Unit		10	15			
3	Unit Moved				3	6	10
4	Unit Placed	2					
5	Linking Crane	12					
6	Unit Lifted				10	15	22
7	Unit Placed Install Area		12	18			
8	Unlink Crane	10					
9	Unpack Unit	15					
10	Fastener Installation (Typical)		18	20			
11	Linking Hoist (Typical)	15					
12	Lifting Panel (Typical)				12	18	24
13	Fitting Placement (Typical)		12	16			
14	Leveling Measurement & adjustment (Typical)		10	20			
15	Fastener Fixing (Typical)	10					
16	Sleeve Placement	5					
17	Unlink Hoist	10					
18	Fastener Installation (Corner)		20	28			
19	Linking Hoist (Corner)	17					
20	Lifting Panel (Corner)				15	22	30
21	Fitting Placement (Corner)		14	21			
22	Fitting Placement (End Corner)		20	28			
23	Leveling Measurement & adjustment (Corner)		15	24			
24	Leveling Measurement & adjustment (End Corner)		22	33			
25	Fitting Center Corner		14	18			
26	Fitting Center End Corner		18	22			
27	Fastener Fixing (Corner)	10					
28	Fastener Fixing (End Corner)	12					
29	Finishing Installation	2					
30	Joint and Closing end modul				18	24	36
31	Sleeve joint end modul		12	18			

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

4. Proses Instalasi Corner Frame



Gambar 11. Proses Instalasi Corner Frame

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

3. Tabel Kebutuhan Sumber daya dan Biaya

Penentuan kebutuhan sumber daya diuraikan secara rinci berdasarkan masing-masing siklus kegiatan. Sedangkan biaya uraikan terhadap rician kebutuhan sumber daya kemudian dihitung dalam satuan waktu durasi pekerjaan.

Tabel 4. Harga Sewa dan Upah

No	Resource	Cost (Thousand)	Duration	Rp. (Thousand /Minutes)
1	Truck	Rp. 1.800,-	Days	Rp. 1,25
2	Driver	Included	Days	-
3	Forlift	Rp. 2.200,-	6 Hour	Rp. 6,11
4	Operator Forklift	Rp. 75,-	Days	Rp. 0,156
5	Crane	Rp. 170.437,5	Mount	Rp. 16,14
6	Operator Crane	Included	Days	-
7	Hoist	Rp. 975,65	Days	Rp. 2,03
8	Operator Hoist	Rp. 198,34	Days	Rp. 0,413
7	Leader	Rp. 227,32	Days	Rp. 0,474
8	Labor	Rp. 163,35	Days	Rp. 0,341

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Tabel 5. Kebutuhan Sumber daya dan biaya (Resources & Costs)

No	Resources	Category	Breakdown	Calculation	Cost (Rp. (Thousand /minute))
1.	Truck	Tools	1 Vehicles	1 * 1,25	Rp. 1,25
2.	Team	Person	1 Driver	2 * 0,341	Rp. 0,682
3.	Forklift	Tools	2 Labor	(1*6,11)+ (1*0,156)	Rp. 6,266
4.	Crane	Tools	1 Vehicles	1 * 16,14	Rp. 16,14
4.	Team Install A	Person	1 Operator	1 * 16,14	Rp. 16,14
5.	Hoist	Tools	1 Leader	(1*0,474)+ (3*0,341)	Rp. 1,497
6.	Team Install B	Person	3 Labor	(1*2,03)+ (1*0,413)	Rp. 2,443
7.	Team Check	Person	1 Operator	4*0,341	Rp. 1,364
			1 Labor	1 * 0,341	Rp. 0,341
TOTAL COST					Rp. 29,98

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Tabel 6. Perhitungan volume pekerjaan curtain wall Unitized System

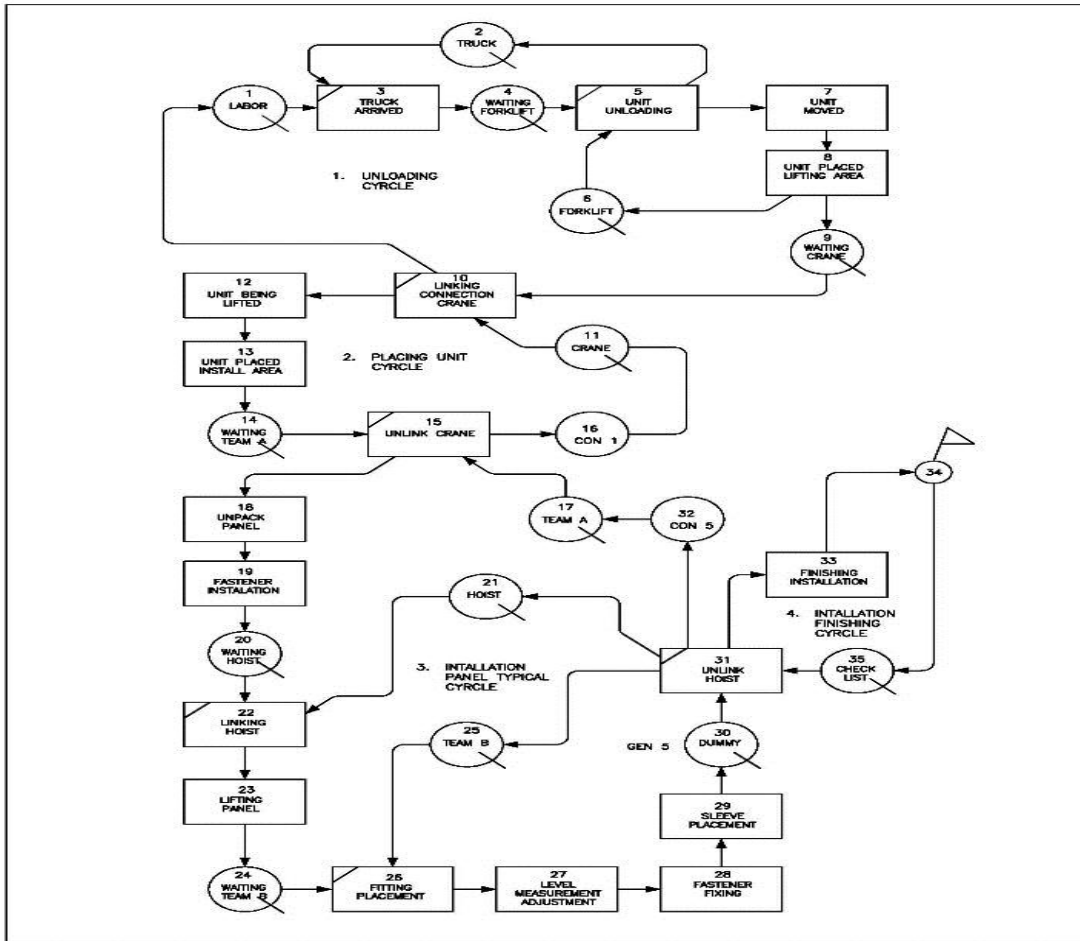
Lantai	Typical Frame				Corner Frame
	EL. 01	EL. 02	EL. 03	EL. 04	
Lt. 1	12	8	34	8	6
Lt. Mz	14	16	40	16	8
Lt. 2	10	16	36	16	8
Lt. 3	12	18	36	18	8
Lt. 4	12	18	36	18	8
Lt. 5	10	20	36	20	8
Lt. 6	10	20	36	20	8
Lt. 7	34	20	34	20	8
Lt. 8	34	20	34	20	8
Lt. 9	34	20	34	20	8
Lt. 10	34	20	34	20	8
Lt. 11	34	20	34	20	8

Lt. 12	34	19	34	19	8
Lt. 13	32	19	32	19	8
Lt. 14	32	18	30	18	8
Lt. 15	30	18	30	18	8
Lt. 16	30	18	30	18	8
Lt. 17	30	18	30	18	8
Lt. 18	28	16	28	16	8
Lt. 19	28	16	28	16	8
Lt. 20	32	16	32	16	8
Lt. 21	30	15	30	15	8
Lt. 22	30	14	32	14	8
Lt. 23	32	14	32	14	8
Lt. 24	30	14	30	14	8
Lt. 25	30	14	30	14	8
Lt. 26	32	14	32	14	8
Lt. 27	30	12	30	12	8
Lt. 28	30	12	30	12	8
Lt. 29	30	12	30	12	8
Lt. 30	30	12	30	12	8
Lt. 31	30	12	30	12	8
Lt. 32	26	8	26	8	16
Lt. 33	26	8	26	8	16
Lt. Roof	26	8	26	8	16
TOTAL	938	543	1112	543	302

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Permodelan, dan input code webCYCLONE Setelah menentukan semua komponen utama langkah selanjutnya adalah menggambarkan permodelan CYCLONE dengan memperhatikan seluruh komponen utama yang telah dijelaskan diatas.

A. Instalasi Typical Frame

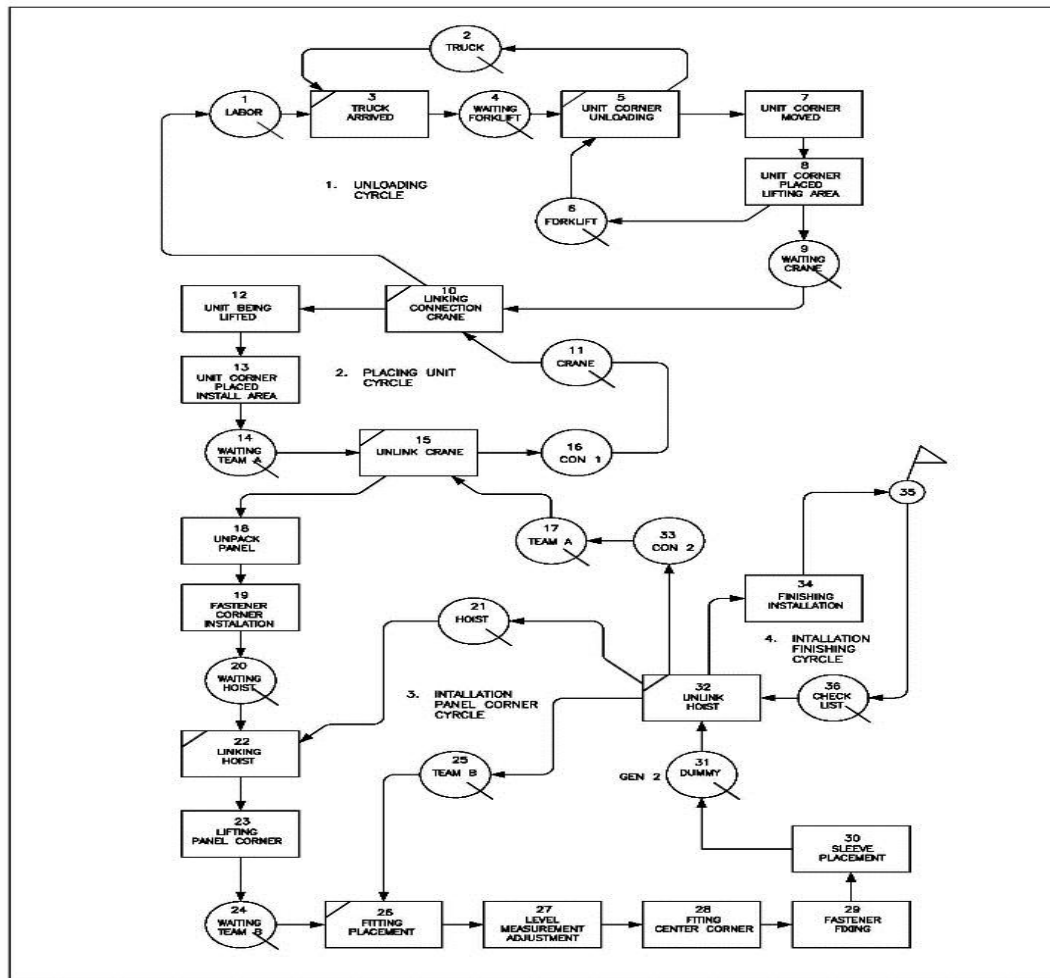


Gambar 12. Permodelan CYCLONE Instalasi Typical Frame. Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Code Input WebCYCLONE:

NAME 'TYPICAL INSTALLATION' LENGHT 10000 CYCLES 100	31 COMBI 'UNLINK HOIST' SET 31 PRE 30 35 FOL 21 25 32 33
NETWORK INPUT	32 FUN CON 5 FOL 17
1 QUE 'LABOR'	33 NOR 'FINISHING' SET 33 FOL 34
2 QUE 'TRUCK'	34 FUN COU QUA 1 FOL 35
3 COMBI 'TRUCK ARRIVED' SET 3 PRE 1 2 FOL 4	35 QUE 'CHECK LIST'
4 QUE 'WAITING FORKLIFT'	DURATION INPUT
5 COMBI 'UNIT UNLOADING' SET 5 PRE 4 6 FOL 2 7	SET 3 UNI 8 10
6 QUE 'FORKLIFT'	SET 5 UNI 10 15
7 NOR 'UNIT MOVED' SET 7 FOL 8	SET 7 TRI 3 6 10
8 NOR 'UNIT PLACED' SET 8 FOL 6 9	SET 8 DET 2
9 QUE 'WAITING CRANE'	SET 10 DET 12
10 COMBI 'LINKING CRANE' SET 10 PRE 9 11 FOL 1 12	SET 12 TRI 10 15 22
11 QUE 'CRANE'	SET 13 UNI 12 18
12 NOR 'UNIT LIFTED' SET 12 FOL 13	SET 15 DET 10
13 NOR 'UNIT PLACED' SET 13 FOL 14	SET 18 DET 15
14 QUE 'WAIT TEAM A'	SET 19 UNI 18 20
15 COMBI 'UNLINK CRANE' SET 15 PRE 14 17 FOL 16 18	SET 22 DET 15
16 FUN CON 1 FOL 11	SET 23 TRI 12 18 24
17 QUE 'TEAM A'	SET 26 UNI 12 16
18 NOR 'UNPACK PANEL' SET 18 FOL 19	SET 27 UNI 10 20
19 NOR 'FASTENER INSTALL' SET 19 FOL 20	SET 28 DET 10
20 QUE 'WAIT HOIST'	SET 29 DET 5
21 QUE 'HOIST'	SET 31 DET 10
22 COMBI 'LINKING HOIST' SET 22 PRE 20 21 FOL 23	SET 33 DET 2
23 NOR 'LIFTING PANEL' SET 23 FOL 24	RESOURCE INPUT
24 QUE 'WAIT TEAM B'	1 AT 1 VAR 1.25
25 QUE 'TEAM B'	1 AT 2 VAR 0.682
26 COMBI 'FITTING PLACEMENT' SET 26 PRE 24 25 FOL 27	1 AT 6 VAR 6.266
27 NOR 'LEVEL MEASURE ADJUST' SET 27 FOL 28	1 AT 11 VAR 16.14
28 NOR 'FASTENER FIXING' SET 28 FOL 29	1 AT 17 VAR 1.497
29 NOR 'SLEEVE PLACEMENT' SET 29 FOL 30	1 AT 21 VAR 2.443
30 QUE 'DUMMY' GEN 5	1 AT 25 VAR 1.364
	1 AT 35 VAR 0.341
	ENDDATA

b. Instalasi Corner Frame



Gambar 1. Permodelan CYCLONE Instalasi Corner Frame. Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Code Input WebCYCLONE:

```

NAME 'CORNER INSTALLATION' LENGHT 10000 CYCLES 100
NETWORK INPUT
1 QUE 'LABOR'
2 QUE 'TRUCK'
3 COMBI 'TRUCK ARRIVED' SET 3 PRE 1 2 FOL 4
4 QUE 'WAITING FORKLIFT'
5 COMBI 'UNIT UNLOADING' SET 5 PRE 4 6 FOL 2 7
6 QUE 'FORKLIFT'
7 NOR 'UNIT MOVED' SET 7 FOL 8
8 NOR 'UNIT PLACED' SET 8 FOL 6 9
9 QUE 'WAITING CRANE'
10 COMBI 'LINKING CRANE' SET 10 PRE 9 11 FOL 1 12
11 QUE 'CRANE'
12 NOR 'UNIT LIFTED' SET 12 FOL 13
13 NOR 'UNIT PLACED' SET 13 FOL 14
14 QUE 'WAIT TEAM A'
15 COMBI 'UNLINK CRANE' SET 15 PRE 14 17 FOL 16 18
16 FUN CON 1 FOL 11
17 QUE 'TEAM A'
18 NOR 'UNPACK PANEL' SET 18 FOL 19
19 NOR 'FASTENER INSTALL' SET 19 FOL 20
20 QUE 'WAIT HOIST'
21 QUE 'HOIST'
22 COMBI 'LINKING HOIST' SET 22 PRE 20 21 FOL 23
23 NOR 'LIFTING PANEL' SET 23 FOL 24
24 QUE 'WAIT TEAM B'
25 QUE 'TEAM B'
26 COMBI 'FITTING PLACEMENT' SET 26 PRE 24 25 FOL 27
27 NOR 'LEVEL MEASURE ADJUST' SET 27 FOL 28
    
```

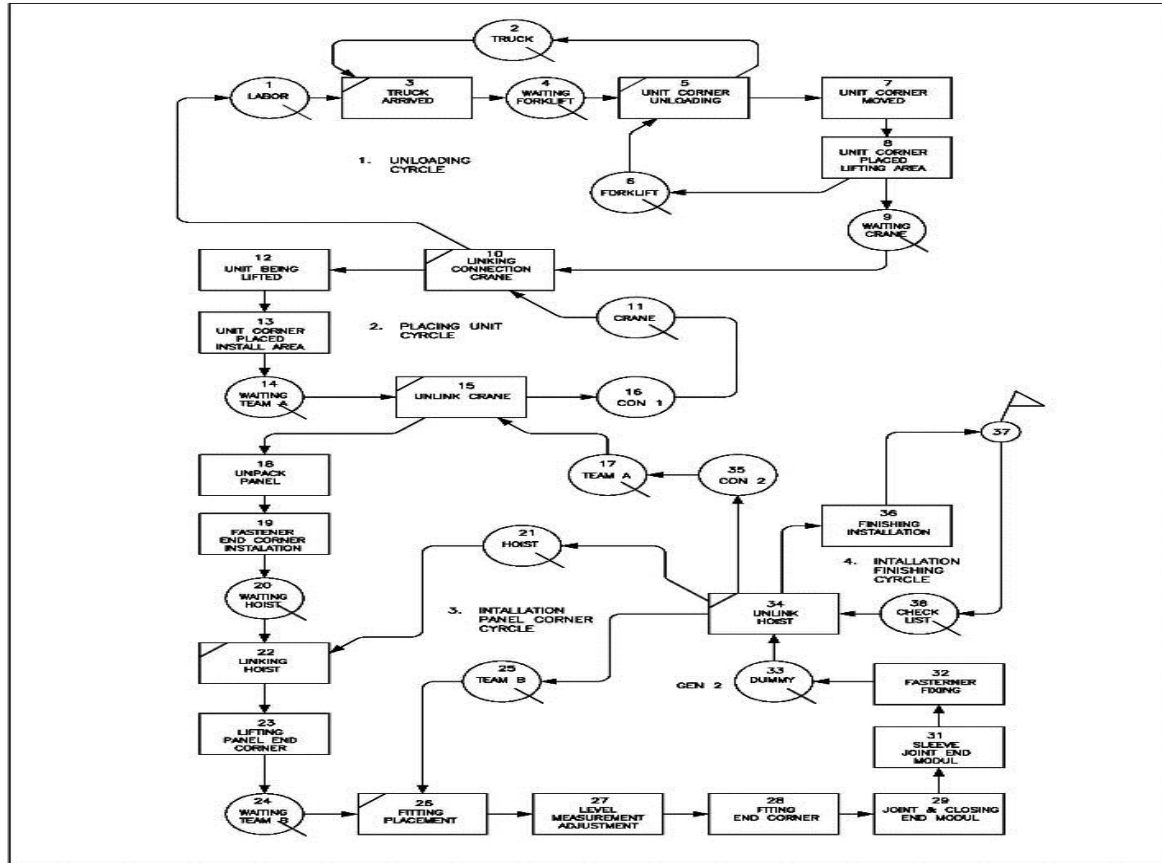
```

28 NOR 'FIT CENTER CORNER' SET 28 FOL 29
29 NOR 'FASTENER FIXING' SET 29 FOL 30
30 NOR 'SLEEVE PLACEMENT' SET 30 FOL 31
31 QUE 'DUMMY' GEN 2
32 COMBI 'UNLINK HOST' SET 32 PRE 31 36 FOL 21 25 33 34
33 FUN CON 2 FOL 17
34 NOR 'FINISHING' SET 34 FOL 35
35 FUN COU QUA 1 FOL 36
36 QUE 'CHECK LIST'
DURATION INPUT
SET 3 UNI 8 10
SET 5 UNI 10 15
SET 7 TRI 3 6 10
SET 8 DET 2
SET 10 DET 12
SET 12 TRI 10 15 22
SET 13 UNI 12 18
SET 15 DET 10
SET 18 DET 15
SET 19 UNI 20 28
SET 22 DET 17
SET 23 TRI 15 22 30
SET 26 UNI 14 21
SET 27 UNI 15 24
SET 28 UNI 14 18
SET 29 DET 10
SET 30 DET 5
SET 32 DET 10
SET 34 DET 2
RESOURCE INPUT
1 AT 1 VAR 1.25
1 AT 2 VAR 0.682
    
```

1 AT 6 VAR 6.266
 1 AT 11 VAR 16.14
 1 AT 17 VAR 1.497
 1 AT 21 VAR 2.443

1 AT 25 VAR 1.364
 1 AT 36 VAR 0.341
 ENDDATA

c. Instalasi End Corner Frame



Gambar 2. Permodelan CYCLONE Instalasi End Corner Frame. Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Code Input WebCYCLONE:

NAME 'END CORNER INSTALLATION' LENGHT 10000 CYCLES 50
 NETWORK INPUT
 1 QUE 'LABOR'
 2 QUE 'TRUCK'
 3 COMBI 'TRUCK ARRIVED' SET 3 PRE 1 2 FOL 4
 4 QUE 'WAITING FORKLIFT'
 5 COMBI 'UNIT UNLOADING' SET 5 PRE 4 6 FOL 2 7
 6 QUE 'FORKLIFT'
 7 NOR 'UNIT MOVED' SET 7 FOL 8
 8 NOR 'UNIT PLACED' SET 8 FOL 6 9
 9 QUE 'WAITING CRANE'
 10 COMBI 'LINKING CRANE' SET 10 PRE 9 11 FOL 1 12
 11 QUE 'CRANE'
 12 NOR 'UNIT LIFTED' SET 12 FOL 13
 13 NOR 'UNIT PLACED' SET 13 FOL 14
 14 QUE 'WAIT TEAM A'
 15 COMBI 'UNLINK CRANE' SET 15 PRE 14 17 FOL 16 18
 16 FUN CON 1 FOL 11
 17 QUE 'TEAM A'
 18 NOR 'UNPACK PANEL' SET 18 FOL 19
 19 NOR 'FASTENER INSTALL' SET 19 FOL 20
 20 QUE 'WAIT HOIST'
 21 QUE 'HOIST'
 22 COMBI 'LINKING HOIST' SET 22 PRE 20 21 FOL 23
 23 NOR 'LIFTING PANEL' SET 23 FOL 24
 24 QUE 'WAIT TEAM B'
 25 QUE 'TEAM B'
 26 COMBI 'FITTING PLACEMENT' SET 26 PRE 24 25 FOL 27
 27 NOR 'LEVEL MEASURE ADJUST' SET 27 FOL 28
 28 NOR 'FITTING END CORNER' SET 28 FOL 29

29 NOR 'JOINT END CLOSING' SET 29 FOL 30
 30 NOR 'SLEEVE JOINT END' SET 30 FOL 31
 31 NOR 'FASTENER FIXING' SET 31 FOL 32
 32 QUE 'DUMMY' GEN 2
 33 COMBI 'UNLINK HOIST' SET 33 PRE 32 37 FOL 21 25 34 35
 34 FUN CON 2 FOL 17
 35 NOR 'FINISHING' SET 35 FOL 36
 36 FUN COU QUA 1 FOL 37
 37 QUE 'CHECK LIST'
 DURATION INPUT
 SET 3 UNI 8 10
 SET 5 UNI 10 15
 SET 7 TRI 3 6 10
 SET 8 DET 2
 SET 10 DET 12
 SET 12 TRI 10 15 22
 SET 13 UNI 12 18
 SET 15 DET 10
 SET 18 DET 15
 SET 19 UNI 20 28
 SET 22 DET 17
 SET 23 TRI 15 22 30
 SET 26 UNI 14 21
 SET 27 UNI 15 24
 SET 28 UNI 18 22
 SET 29 TRI 18 24 36
 SET 30 UNI 12 18
 SET 31 DET 12
 SET 33 DET 10
 SET 35 DET 2
 RESOURCE INPUT
 1 AT 1 VAR 1.25
 1 AT 2 VAR 0.682

1 AT 6 VAR 6.266
 1 AT 11 VAR 16.14
 1 AT 17 VAR 1.497
 1 AT 21 VAR 2.443
 1 AT 25 VAR 1.364
 1 AT 37 VAR 0.341
 ENDDATA

Output Result Analysis

a. Instalasi Typical Frame

Tabel 7. Output produktivitas instalasi typical frame

'TYPICAL INSTALLATION'		
PRODUCTIVITY INFORMATION		
Total Sim. Time Unit	Cycle No.	Productivity (per time unit)
3594.2	100	0.027823

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

b. Instalasi Corner Frame

Tabel 8. Output produktivitas instalasi corner frame

'CORNER INSTALLATION'		
PRODUCTIVITY INFORMATION		
Total Sim. Time Unit	Cycle No.	Productivity (per time unit)
8903.3	100	0.011232

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

c. Instalasi End Corner Frame

Tabel 9. Output produktivitas instalasi End Corner Frame

'END CORNER INSTALLATION'		
PRODUCTIVITY INFORMATION		
Total Sim. Time Unit	Cycle No.	Productivity (per time unit)
5427.6	50	0.009212

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Tabel 10. Summary Output Produktivitas

No.	Jenis Pekerjaan Instalasi	Produktivitas (Frame / menit)	Biaya (Rp. ((Ribu)/menit)
1	Instalasi Typical Curtain Wall Unitized System	0.027823	Rp. 29,983
2	Instalasi Corner Curtain Wall Unitized System	0.011232	
3	Instalasi End Corner Curtain Wall Unitized System	0.009212	

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Pengaplikasian produktivitas dan biaya satuan kedalam perbandingan metode alternative instalasi curtain wall unitized system.

Perhitungan kebutuhan waktu dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{P * 60 * WH}$$

Dimana:

T = Waktu Penyelesaian (Days)

Q = Volume Pekerjaan (Frame)

C = Kapasitas (Frame/Days)

P = Produktivitas (Frame/minute)

WH = Work Hour / Jam kerja (Hours)

Perhitungan kebutuhan biaya dihitung dengan rumus:

$$CT = T * WH * 60 * Cs$$

Dimana:

CT = Cost Total / Total Biaya (Rp.)

T = Waktu Penyelesaian (Days)

WH = Work Hour / Jam kerja (Hours)

Cs = Biaya (Rp/minutes)

Perhitungan Waktu dan Biaya Alternatif 1

Tabel 11. Perhitugnan Waktu Alternatif 1

No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Perhitungan	Waktu penyelesaian
1.	Typical Frame	3136	<u>3136</u> $0,0278 * 60 * 8$	235
2.	Corner Frame	267	<u>267</u> $0,0112 * 60 * 8$	50
3.	End Corner Frame	35	<u>35</u> $0,0092 * 60 * 8$	8
TOTAL WAKTU				293 Hari

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Perhitungan biaya alternatif 1

$$\text{Total Biaya Instalasi} = 293 * 8 * 60 * 29,983 = \text{Rp.4.216.809,12 Ribu} = \text{Rp. 4.216.809.120,-}$$

Perhitungan Waktu dan Biaya Alternatif 2

Tabel 12. Perhitugnan Waktu Alternatif 1

No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Perhitungan	Waktu penyelesaian
1.	Typical Frame	3136	<u>3136</u> $0,0278 * 60 * 8$	235
2.	End Corner Frame	302	<u>302</u> $0,0092 * 60 * 8$	69
TOTAL WAKTU				304 Hari

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

Perhitungan biaya alternatif 2

$$\text{Total Biaya Instalasi} = 304 * 8 * 60 * 29,983 = \text{Rp.4.375.119,36 Ribu} = \text{Rp. 4.375.119.360,-}$$

Summary Hasil Perhitungan Metode Instalasi Alternatif 1 dan Alternatif 2

Tabel 1. Summary Hasil Perhitungan Waktu dan Biaya

No.	Metode Instalasi	Waktu Instalasi Pekerjaan	Biaya Instalasi Pekerjaan
1.	Alternatif 1	293 Hari	Rp. 4.216.809.120,-
2.	Alternatif 2	304 Hari	Rp. 4.375.119.360,-

Sumber: (Hasil olahan sendiri)

V. KESIMPULAN

- Langkah-langkah menganalisa produktivitas pekerjaan instalasi curtain wall unitized system dengan menggunakan program operasi simulasi webCYCLONE adalah dengan 5 tahap antara lain pertama mendefinisikan work task atau uraian pekerjaan penyusun tahap pekerjaan, kedua menentukan kebutuhan sumber daya penunjang pekerjaan, ketiga menentukan durasi masing-masing tahap pekerjaan, keempat membuat permodelan diagram CYCLONE, dan yang terakhir adalah mendefinisikan kode input program untuk di-running dalam program webCYCLONE sehingga akan diperoleh hasil analisisnya.
- Produktivitas maksimal yang diperoleh dari hasil analisa webCYCLONE untuk instalasi curtain wall unitized system typical frame sebesar 0,027823 frame/minute, curtain wall unitized system corner frame sebesar 0,011232 frame/minute, dan curtain wall unitized system end corner frame sebesar 0,009212 frame/minute. Sedangkan jumlah biaya untuk keseluruhan pekerjaan instalasi curtain wall unitized system sebesar Rp. 29.983,-/ minute.
- Waktu dan biaya pekerjaan yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan instalasi curtain wall unitized system untuk metode Alternatif 1 diperlukan waktu penyelesaian selama 293 hari dengan total biaya sebesar Rp. 4.216.809.120,- Sedangkan untuk metode Alternatif 2 diperlukan waktu penyelesaian 304 hari dengan total biaya sebesar Rp. 4.375.119.360,-
- Dari kedua alternatif yang dibandingkan maka metode yang paling efisien terhadap

biaya dan waktu adalah metode Alternatif 1 dengan selisih penyelesaian pekerjaan 11 hari kerja dan selisih biaya Rp. 158.310.240,-

REFERENSI

Abduh, M. (2007). The Development of Simulation Technology for Construction Operations. *Proc. of Seminar Nasional Teknik Sipil 2007. Univ. Maranatha. Bandung, Indonesia.*

Abduh, M., Shanti, F., & Pratama, A. (2010). Simulation of Construction Operation: Search for a Prcatical and Effective Simulation System for Construction Practitioners. *Proceeding of the First Makasar International on Civil Engineering (MICCE2010).*

Abourizk, S. M., Shi, J., McCabe, B., & Hajjar, D. (1995). Petri Nets for Simulation and Modeling of Construction Systems. *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference.*

Aji Pitoko, R. (2016). Nomor Dua di Dunia, Indonesia Sukses Bangun 9 Pencakar Langit. Retrieved from http://properti.kompas.com/read/2016/01/21/090000421/Nomor.Dua.di.Dunia.Indonesia.Sukses.Bangun.9.Pencakar.Langit?utm_source=RD&utm_medium=box&utm_campaign=Kaitrd

Cheng, T., Wu, H.-T., & Tseng, Y.-W. (2000). Construction Operation Simulation Tool-Cost. *Department of Construction Engineering, Chaoyang University of Technology, Taiwan.*

Halpin, D. W. (1973). *An Investivigation of the use of Simulation Network for Modeling Construction Operations.* Illinois, USA: U. of illinois.

Halpin, D. W. (1977). CYCLONE - Methods for Modeling Job Site Processes. *Journal of Const. Engineering and Management (ASCE)*, 103.

Halpin, D. W. (1990). *MicroCYCLONE Users Manual for Construction Operations.* West Lafayette, USA: Learning System, inc.

- Halpin, D. W., & A. Senior, B. (2012). *Construction Management* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- Halpin, D. W., Huang, & Rong-You. (1995). Process Based Approach to Value-Added Construction -The CYCLONE/DISCO System. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22.
- Halpin, D. W., & Riggs, L. S. (1992). *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Han, S., Lee, T., & Ko, Y. (2014). Implementation of Construction Performance Database Prototype for Curtain Wall Operation in High-Rise Building Construction. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 156(January 2014), 149–156.
- Husen, A. (2011). *Managemen Proyek*. (D. Prabantini, Ed.) (II). Yogyakarta: ANDI. <http://doi.org/DDC'21:6 58.404>
- Ihsan, M. (2010). Pembangunan Add-In Simulation Operasi Konstruksi Berulang dengan Teknik Permodelan CYCLONE pada Microsoft Excel. *Institute Teknologi Bandung*.
- Lee, D.-E., Yi, C.-Y., Lim, T.-K., & Arditi, D. (2010). Integrated Simulation System for Construction Operation and Project Scheduling. *Journal Computing In Civil Engineering*, 557–569.
- Lembaga Pendidikan dan Pengujian Facade Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia. (2012). *Buku Facade*. Jakarta.
- M. Memari, A. (2013). *Curtain Wall Systems A Primer*. (A. M. Memari, Ed.). Reston: American Society of Civil Engineers.
- Martinez, J. . (1996). *STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of Construction Processes*. Ann Arbor, MI, USA: University of Michigan.
- Nurhayati. (2010). *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ove Arup & Partners. (2001). *CWCT Curtain Wall Installation Handbook*. Bath: Centre for Window and Cladding Technology, University of Bath.
- Quirouette, R. (2012). Glass and Aluminium Curtain Wall Systems. *Ontario Association of Architects*, 20.
- Singapore Standard (SS). Aluminium Curtain Wall (1997).
- Soeharto, I. (1995). *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Stadar National Indonesia (SNI). Syarat Umum Jendela Aluminium Panduan (1989).
- Wan Sie, W., & Winxie. (2007). *Analysis and Design of Curtain Wall Systems for High Rise Buildings*. University of Southern Queensland.