

Analisis Penjadwalan Probabilistik (Studi Kasus: Proyek Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey)

Atania Thyra Mirable Kendek dan Farida Rachmawati
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: farida_rahma@ce.its.ac.id

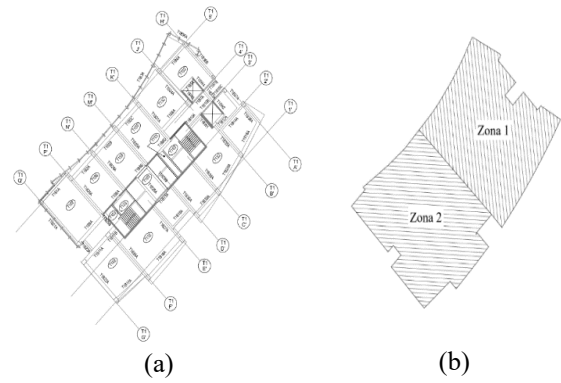
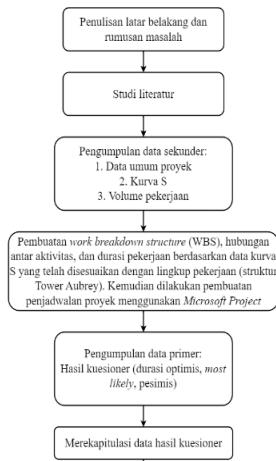
Abstrak—Kualitas suatu proyek konstruksi dipengaruhi oleh perencanaan yang memuat tiga parameter penting, yaitu biaya, waktu, dan mutu. Dengan demikian, penjadwalan merupakan salah satu aspek penting yang perlu direncanakan, terlebih bagi proyek yang memiliki bobot pekerjaan yang besar. Penjadwalan proyek umumnya dibuat secara deterministik, yaitu dengan prediksi durasi yang tepat. Namun, faktanya suatu proyek konstruksi pasti memiliki risiko yang muncul akibat ketidakpastian karena sifat sebuah proyek yang unik, dinamis, dan cenderung kompleks. Oleh karena itu, penjadwalan suatu proyek konstruksi harus direncanakan dengan memperhitungkan ketidakpastian melalui penjadwalan probabilistik. Pada penelitian ini, dilakukan analisis penjadwalan probabilistik dengan mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey yang didasarkan pada tiga parameter durasi, yaitu durasi optimis, *most likely*, dan pesimis menggunakan metode *Program Evaluation Review Technique* (PERT) dan simulasi Monte Carlo. Penelitian ini didasarkan oleh *historical info* dari expert dalam memberikan estimasi durasi masing-masing pekerjaan. Data tersebut kemudian akan diolah untuk memperoleh total durasi probabilistik penyelesaian proyek, persentase probabilitas penyelesaian proyek, dan mengidentifikasi aktivitas yang paling sering berada pada lintasan kritis. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pekerjaan struktur Tower Aubrey Apartemen Grand Shamaya, didapatkan durasi dengan rentang probabilitas 1% sampai 100% adalah 293 sampai dengan 327 hari, dimana durasi rata-rata (*mean*) dengan probabilitas penyelesaian 50% adalah 304 hari. Kemudian, durasi rencana proyek yang dibuat secara deterministik memiliki tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 97,93% menggunakan metode PERT dan 99,85% menggunakan simulasi Monte Carlo. Hal ini berarti durasi rencana proyek masuk dalam rentang probabilitas penyelesaian. Adapun aktivitas yang sering berada pada lintasan kritis dari hasil simulasi adalah pekerjaan pembesian, bekisting, dan pengecoran balok dan kolom pada Zona 2 serta aktivitas yang memiliki sensitivitas tertinggi ada pada pekerjaan lantai 37 sampai dengan lantai 39.

Kata Kunci—Durasi, Penjadwalan, PERT, Probabilistik, Simulasi Monte Carlo.

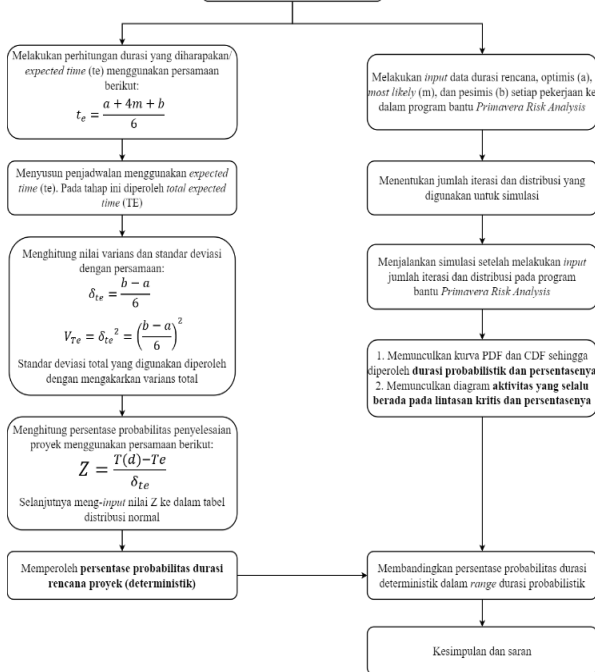
I. PENDAHULUAN

PADA tahun 2022, pertumbuhan industri konstruksi dan infrastruktur di Indonesia diperkirakan mencapai 7,2%, maka terlihat bahwa sektor industri konstruksi menjadi salah satu mesin penggerak utama pertumbuhan ekonomi nasional. Untuk mendapatkan kualitas yang baik, suatu proyek konstruksi memerlukan perencanaan yang baik pula. Perencanaan merupakan salah satu hal yang penting pada sebuah manajemen konstruksi dimana perencanaan tersebut dapat mempengaruhi keseluruhan kerja pada proyek. Terdapat tiga parameter penting pada manajemen konstruksi

yang harus diperhatikan dalam perencanaannya, yaitu biaya, waktu, dan mutu. Salah satu proyek yang tengah melakukan pembangunan saat ini adalah proyek Pembangunan Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey. Proyek apartemen dapat dikatakan sebagai proyek yang berisiko tinggi mengingat besarnya bobot pekerjaan dan tingginya struktur bangunan. Proyek pembangunan apartemen bersifat kompleks dan memakan waktu cukup lama sehingga rentan menimbulkan faktor-faktor ketidakpastian yang pada akhirnya akan menimbulkan berbagai macam risiko. Proyek pembangunan apartemen seringkali mengalami deviasi pada tahap pelaksanaan yang sudah direncanakan sehingga berpengaruh pada penjadwalan proyek. Adanya deviasi juga terjadi pada proyek pembangunan Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey, dimana pada pekan kerja ke-5 terjadi deviasi sebesar 0,252%. Hal tersebut dapat terjadi karena penjadwalan yang dibuat tidak mempertimbangkan faktor-faktor yang tidak pasti (*uncertainty*). Pada proyek Apartemen Grand Shamaya, salah satu risiko yang dapat terjadi adalah keterlambatan suplai material oleh karena proyek tersebut berada di tengah pusat kota. Dalam merencanakan durasi pekerjaan proyek konstruksi, umumnya dilakukan penjadwalan yang bersifat deterministik, yaitu dengan menggunakan *Arrow Diagram Method* (ADM), *Time Scale Diagram*, *Precedence Diagram Method* (PDM), *Gantt Chart*, atau *Line Diagram*. Penjadwalan deterministik merupakan penjadwalan yang dilakukan dengan prediksi durasi yang tepat. Namun, faktanya suatu proyek konstruksi pasti memiliki risiko yang muncul akibat keterbatasan dan ketidakpastian karena sifat sebuah proyek yang unik, dinamis, dan cenderung kompleks. Oleh karena itu, penjadwalan suatu proyek konstruksi harus direncanakan dengan memperhitungkan ukuran ketidakpastian guna mencegah risiko yang mengakibatkan keterlambatan pada proyek menggunakan penjadwalan probabilistik. Dengan menggunakan pendekatan probabilistik, didapatkan tingkat keyakinan perencanaan jadwal yang tinggi [1]. Metode yang digunakan pada penjadwalan probabilistik adalah *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), yaitu metode yang berorientasi pada tiga angka estimasi waktu (optimis, *most likely*, pesimis) yang bermaksud menampung adanya unsur-unsur yang belum pasti [2]. Dalam melakukan penjadwalan dengan model yang lebih kompleks, PERT dibantu dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo merupakan simulasi untuk menghitung atau mengiterasi waktu sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara random dari distribusi probabilitas waktu yang mungkin terjadi dengan tujuan untuk menghitung distribusi 2 kemungkinan total waktu dari sebuah proyek [1]. Dalam



Gambar 1. (a) Denah Lantai 9 dan (b) Pembagian Zona Kerja



Gambar 2. Diagram Alir.

menyusun penjadwalan, terdapat aktivitas pada lintasan kritis yang perlu diprioritaskan oleh karena penyelesaian proyek tergantung dari aktivitas pada lintasan kritis tersebut. Probabilitas munculnya aktivitas pada lintasan kritis dalam penyelesaian proyek diperoleh dari simulasi Monte Carlo. Dengan menggunakan metode PERT dan simulasi Monte Carlo, diharapkan penelitian ini dapat memberikan hasil analisis berupa persentase probabilitas penyelesaian proyek apartemen, total durasi probabilistik penyelesaian proyek apartemen, serta aktivitas-aktivitas yang paling sering berada pada lintasan kritis sehingga perlu mendapatkan prioritas untuk penanganan risiko durasi yang tidak pasti pada proyek.

II.METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis dengan tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pembuatan Jadwal

Objek pada penelitian ini adalah pekerjaan struktur Tower Aubrey proyek Apartemen Grand Shamaya yang terdiri atas

Tabel 1. Durasi dan Hubungan Antar Aktivitas Pekerjaan Lantai 9 Zona 1

No	Nama Pekerjaan	Ko-De	Durasi	Predecessor
1	Pekerjaan Struktur			
1.1	Struktur Tower Aubrey			
1.1.1	Struktur Lantai 09			
1.1.1.1	Struktur Lantai 09 Zona 1			
1.1.1.1.1	Struktur Balok			
1.1.1.1.1.1	Bekisting	A	5	
1.1.1.1.1.2	Pembesian	B	4	A SS+1
1.1.1.1.1.3	Pengecoran	C	1	B
1.1.1.1.2	Struktur Pelat			
1.1.1.1.2.1	Bekisting	D	3	B SS+1
1.1.1.1.2.2	Pembesian	E	2	D SS+1
1.1.1.1.2.3	Pengecoran	F	1	E
1.1.1.1.3	Struktur Kolom			
1.1.1.1.3.1	Pembesian	G	3	B SS+2
1.1.1.1.3.2	Bekisting	H	2	G
1.1.1.1.3.3	Pengecoran	I	2	H SS
1.1.1.1.4	Struktur Shearwall			
1.1.1.1.4.1	Pembesian	J	3	G SS
1.1.1.1.4.2	Bekisting	K	2	J
1.1.1.1.4.3	Pengecoran	L	1	K
1.1.1.1.5	Struktur Tangga Darurat			
1.1.1.1.5.1	Bekisting	M	2	F
1.1.1.1.5.2	Pembesian	N	2	M
1.1.1.1.5.3	Pengecoran	O	1	N

44 lantai, mulai dari lantai 9 sampai dengan 52. Gambar 2 berikut adalah denah dan pembagian zona kerjanya.

Jadwal proyek diperoleh dari data kurva S yang menjelaskan timeline waktu pekerjaan setiap lantainya, dimana pekerjaan struktur Tower Aubrey direncanakan terlaksana pada 18 September 2023. Data ini kemudian akan dikomposisi menjadi WBS (Work Breakdown Structure) serta menjadi acuan dalam pembuatan hubungan antar aktivitas (sequencing) dan lamanya pekerjaan.

Selain kurva S, dalam menyusun WBS diperlukan metode konstruksi yang menjadi acuan dalam melakukan dekomposisi. Pekerjaan struktur Tower Aubrey dalam pengerjaan konstruksinya dibagi menjadi lima pekerjaan besar, yaitu pekerjaan kolom, shearwall, balok, pelat lantai, dan tangga. Pekerjaan ini kemudian akan dibagi lagi menjadi pekerjaan struktur yang lebih rinci, yaitu pekerjaan pembesian, bekisting, dan pengecoran secara berurutan untuk pekerjaan kolom dan shearwall yang merupakan pekerjaan vertikal. Sedangkan, pekerjaan balok, pelat lantai, dan tangga darurat terdiri atas pekerjaan bekisting, pembesian, dan pengecoran secara berurutan. Pekerjaan ini akan dibagi menjadi 2 zona pekerjaan untuk setiap lantainya seperti pada Gambar 2.

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Metode PERT dan Simulasi Monte Carlo pada Pekerjaan Lantai 9 Zona 1

No	Aktivitas	Hasil Perhitungan PERT			Hasil Simulasi Monte Carlo							
		te	δ _{te}	V	Durasi Rencana (Hari)	Probabilitas (%)	50%	90%	100%	δ _{te}	Skewness	Kurtosis
1	Pekerjaan Struktur											
1.1	Struktur Tower Aubrey											
1.1.1	Struktur Lantai 09											
1.1.1.1	Struktur Lantai 09 Zona 1											
1.1.1.1.1	Struktur Balok											
1.1.1.1.1.1	Bekisting	4,20	0,50	0,25	5	97	4	5	6	0,79	0,29	2,48
1.1.1.1.1.2	Pembesian	4,40	0,66	0,44	4	66	4	5	7	0,93	0,46	2,61
1.1.1.1.1.3	Pengecoran	2,00	0,33	0,11	1	21	2	3	3	0,65	0,002	2,39
1.1.1.1.2	Struktur Pelat											
1.1.1.1.2.1	Bekisting	4,70	0,66	0,44	3	9	5	6	6	0,94	-0,47	2,59
1.1.1.1.2.2	Pembesian	2,50	0,83	0,69	2	61	2	4	6	1,07	0,55	2,65
1.1.1.1.2.3	Pengecoran	1,40	0,33	0,11	1	87	1	2	3	0,36	2,40	7,62
1.1.1.1.3	Struktur Kolom											
1.1.1.1.3.1	Pembesian	4,40	1,00	1,00	3	33	4	6	8	1,33	0,27	2,47
1.1.1.1.3.2	Bekisting	3,70	0,66	0,44	2	9	4	5	5	0,92	-0,47	2,65
1.1.1.1.3.3	Pengecoran	2,00	0,33	0,11	2	79	2	3	3	0,65	0,00	2,38
1.1.1.1.4	Struktur Shearwall											
1.1.1.1.4.1	Pembesian	3,00	1,00	1,00	3	81	2	4	8	0,96	1,39	4,69
1.1.1.1.4.2	Bekisting	2,50	0,83	0,69	2	61	2	4	6	1,07	0,56	2,72
1.1.1.1.4.3	Pengecoran	1,20	0,16	0,02	1	97	1	1	2	0,18	5,34	29,47
1.1.1.1.5	Struktur Tangga Darurat											
1.1.1.1.5.1	Bekisting	2,00	0,33	0,11	2	79	2	3	3	0,65	-0,001	2,39
1.1.1.1.5.2	Pembesian	2,00	0,33	0,11	2	79	2	3	3	0,65	-0,009	2,39
1.1.1.1.5.3	Pengecoran	1,20	0,17	0,03	1	97	4	5	6	0,79	0,29	2,48

Setelah dilakukan dekomposisi dalam pembuatan WBS, dilakukan pembuatan *sequencing* dan durasi yang disesuaikan dengan lamanya durasi pada kurva S menggunakan hubungan yang logis dan efisien. Durasi dan *sequencing* ini kemudian disesuaikan dengan penjadwalan yang direncanakan oleh pihak proyek agar terdapat kesesuaian sebagai penjadwalan deterministik dalam penelitian ini. Tabel 1 ini memuat WBS, durasi, dan *sequencing* masing-masing pekerjaan yang diwakilkan pada pekerjaan lantai 9 Zona 1. Kemudian, pekerjaan lantai berikutnya akan dilaksanakan setelah pengecoran pekerjaan kolom lantai sebelumnya sudah berjalan selama satu hari.

Selanjutnya, dilakukan pembuatan jadwal untuk mengetahui total durasi dalam pengerjaan pekerjaan struktur Tower Aubrey menggunakan *software Microsoft Project*. Dari pembuatan penjadwalan ini, diperoleh waktu durasi pengerjaan struktur Tower Aubrey, yaitu selama 319 hari dimulai dari 18 September 2023 sampai dengan 15 Agustus 2024. Penjadwalan proyek ini kemudian akan digunakan sebagai penjadwalan deterministik dari penjadwalan rencana proyek.

B. Estimasi Durasi Probabilistik

Data primer berupa estimasi durasi dalam penelitian ini diambil dari kuesioner perkiraan durasi kepada para pekerja proyek apartemen di Surabaya yang *expert* dan berpengalaman. Kuesioner pada penelitian ini menggunakan data acuan berupa volume setiap pekerjaan. Para responden akan memberikan estimasi durasi optimis, *most likely*, dan pesimis berdasarkan *historical info* dari pengalaman pekerjaan. Kuesioner memuat pertanyaan durasi pada tiga lantai, yaitu lantai 9 (lantai dasar tower), 21 (lantai dengan *skybridge*), dan 52 (lantai teratas tower) yang mewakili perbedaan volume setiap pekerjaannya kemudian pada pengolahannya akan dilakukan penyeluruhan menggunakan perbandingan volume.

Pada penelitian ini, terdapat tujuh pihak yang bersedia menjadi responden. Selanjutnya, dilakukan rekapitulasi data untuk mengambil nilai minimum dari durasi optimis (a), nilai maksimum dari durasi pesimis (b), dan nilai yang paling sering muncul (modus) pada durasi *most likely* (m) untuk setiap pekerjaan. Hal ini dilakukan agar *range* dalam distribusi yang dilakukan lebih luas dari nilai terkecil hingga terbesar. Diharapkan dengan pengambilan angka secara demikian, seluruh nilai yang diberikan oleh responden masuk dalam pengambilan nilai acak pada saat iterasi simulasi berlangsung.

C. Analisis Probabilitas Penjadwalan Rencana Proyek

Total durasi penjadwalan rencana proyek selama 319 hari ini kemudian akan diperhitungkan tingkat probabilitasnya. Dari data rekapitulasi a, m, dan b akan dilakukan perhitungan secara berurutan menggunakan metode PERT, yaitu [2]:

1) Total Expected Time (TE)

$$te = \frac{a + 4m + b}{6}$$

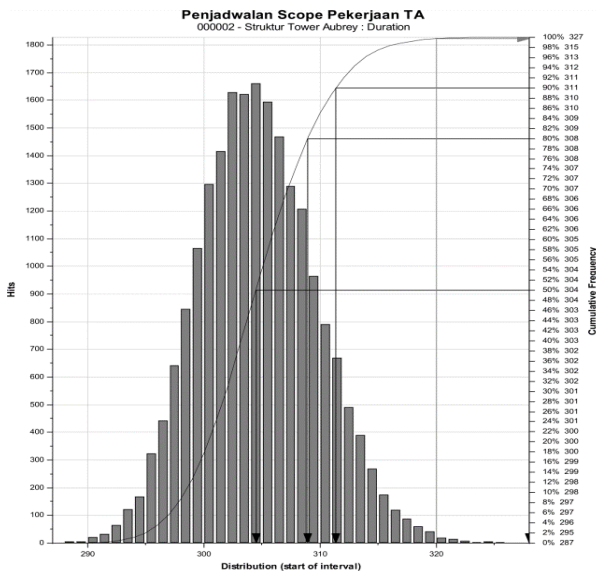
Perhitungan *expected time* (te) dilakukan untuk semua pekerjaan kemudian dilakukan pembuatan jadwal baru dengan durasi te. Dengan menggunakan program bantu *Microsoft Project*, diperoleh *total expected time* (TE) selama 303,7 hari. Contoh perhitungan *expected time* setiap pekerjaan pada pekerjaan lantai 9 Zona 1 dapat dilihat pada Tabel 2.

2) Standar Deviasi dan Varians

Selanjutnya, dilakukan perhitungan standar deviasi dan varians sebagai berikut.

$$\delta_{te} = \frac{b - a}{6}$$

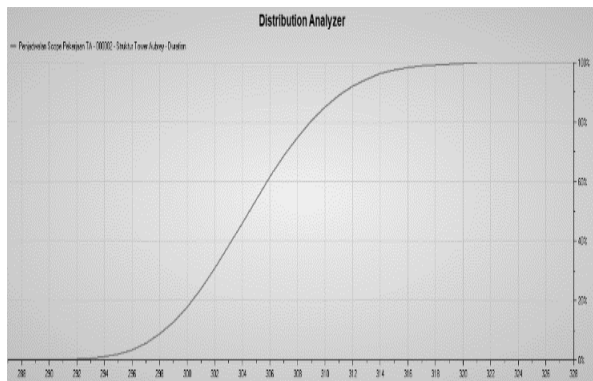
$$V_{TE} = \delta_{te}^2$$



Gambar 4. Tampilan PDF dan CDF Pekerjaan Struktur Tower Aubrey.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Simulasi

Parameter	Waktu Mulai	Waktu Selesai	Durasi	Probabilitas
Minimum (Optimis)	18/09/2023	14/07/2024	293	1%
Mean	18/09/2023	31/07/2024	304	50%
Maksimum (Pesimis)	18/09/2023	23/08/2024	327	100%



Gambar 5. Grafik Rentang Durasi Probabilistik.

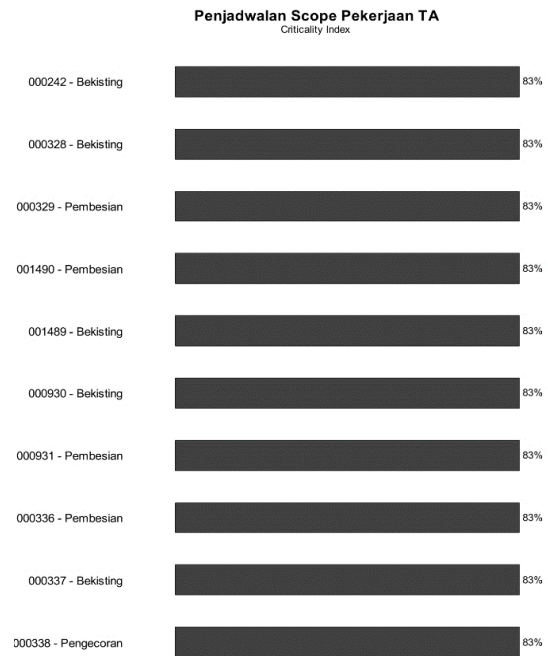
Tabel 2 menunjukkan contoh hasil perhitungan standar deviasi dan varians pada pekerjaan lantai 9 Zona 1. Selanjutnya, total varians pada lintasan kritis dijumlahkan dan diperoleh 56,2 hari, sehingga total standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta_{TE} = \sqrt{56,2} = 7,5$$

Dengan demikian, dapat dilakukan perhitungan untuk probabilitas durasi rencana proyek (Z), yaitu:

$$Z = \frac{Td - TE}{\delta_{TE}} = \frac{319 - 303,7}{7,5} = 2,04$$

Dengan nilai Z = 2,04, akan diperoleh persentase probabilitas durasi rencana proyek menggunakan tabel distribusi normal. Dari tabel 2 diperoleh probabilitas durasi rencana proyek Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey sebesar 97,93%.



Gambar 3. Criticality Index 10 Pekerjaan Teratas.

Tabel 3. Keterangan Lokasi Pekerjaan Criticality Index

No	Lokasi	Persentase
1	Balok Lantai 14 Zona 2	83%
2	Balok Lantai 16 Zona 2	83%
3	Balok Lantai 16 Zona 2	83%
4	Balok Lantai 43 Zona 2	83%
5	Balok Lantai 43 Zona 2	83%
6	Balok Lantai 30 Zona 2	83%
7	Balok Lantai 30 Zona 2	83%
8	Kolom Lantai 16 Zona 2	83%
9	Kolom Lantai 16 Zona 2	83%
10	Kolom Lantai 16 Zona 2	83%

D. Analisis Durasi Probabilistik

Dalam membantu menganalisis durasi probabilistik, diperlukan adanya bantuan software yang dalam penelitian ini menggunakan Primavera Risk Analysis. Distribusi yang sering digunakan untuk analisis risiko kuantitatif adalah distribusi triangular dan distribusi betaPERT [3]. Distribusi beta yang disebut juga betaPERT atau three point estimates adalah versi halus dari distribusi triangular [4]. Dengan asumsi bahwa banyak fenomena dunia nyata yang terdistribusi normal, pertimbangan dalam penggunaan distribusi betaPERT akan menghasilkan kurva yang mirip dengan bentuk kurva normal tanpa mengetahui parameter yang tepat dari kurva normal yang terkait. Dalam penelitian ini, distribusi betaPERT digunakan karena dalam pengaplikasiannya, distribusi ini juga biasanya digunakan dalam mensimulasikan risiko pada penjadwalan proyek dan simulasi ini akan menyesuaikan perhitungan metode PERT.

Jumlah iterasi pada penelitian ini dihitung menggunakan formula nilai kesalahan (ε) [5]. Diperoleh jumlah iterasi terbesar melalui hasil perhitungan jumlah iterasi setiap pekerjaan adalah sebanyak 21.000 kali iterasi. Setelah melakukan penyesuaian distribusi dan iterasi, dilakukan run risk analysis untuk menghasilkan total durasi probabilistik

melalui grafik CDF dan PDF dengan pilihan “*Distribution Graph*”. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.

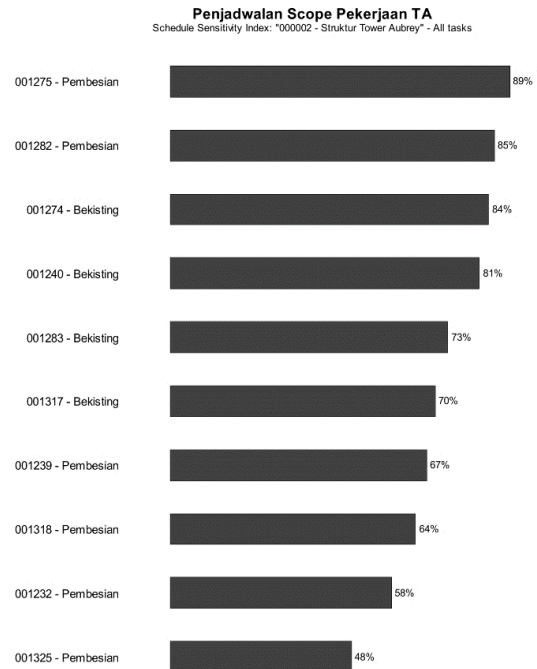
Pada Gambar 3, PDF ditandai dengan diagram batang dan CDF ditandai dengan grafik garis dari 0% hingga 100%. Berikut ini adalah ringkasan dari informasi statistik yang diperoleh:

1. Minimum, yakni nilai paling kecil yang dalam hal ini durasi paling cepat yang ditampilkan pada grafik PDF hasil Simulasi Monte Carlo dengan 21.000 kali iterasi. Pada penelitian ini, durasi tercepat dengan tingkat probabilitas <1% adalah 287 hari.
2. Maximum, yakni nilai paling besar yang dalam hal ini durasi paling lama yang ditampilkan pada grafik PDF hasil Simulasi Monte Carlo dengan 21.000 kali iterasi. Pada penelitian ini, durasi terlama dengan tingkat probabilitas 100% adalah 327 hari.
3. Mean, yakni nilai akumulasi dari total durasi yang dibagi dengan jumlah iterasi sebanyak 21.000. Pada penelitian ini, didapatkan nilai mean sebesar 304 hari.
4. Standar Deviasi, yakni ukuran statistik yang mengukur sejauh mana nilai-nilai individu dalam kumpulan data cenderung berbeda dari nilai mean dari kumpulan tersebut. Standar deviasi merupakan akar kuadrat dari varians. Pada penelitian ini, didapatkan nilai standar deviasi sebesar 5,059.
5. Varians, yakni ukuran statistik yang mengukur seberapa jauh nilai-nilai dalam kumpulan data di sekitar nilai mean. Nilai varians pada penelitian ini adalah sebesar 25,60.
6. Skewness, yakni ukuran statistik yang digunakan untuk menggambarkan asimetris atau ketidaksimetrisan dalam distribusi data. Skewness ditandai dengan nilai positif (kanan), nilai negatif (kiri), dan *zero* (simetris). Pada penelitian ini, didapatkan nilai skewness sebesar 0,217. Hal ini berarti tail/ ekor kanan distribusi lebih besar daripada sebelah kiri.
7. Kurtosis, yakni ukuran puncak dari sebuah distribusi. Semakin tinggi nilai, kurtosis berarti semakin banyak varians yang diakibatkan oleh penyimpangan ekstrim yang jarang terjadi. Pada penelitian ini, didapatkan nilai kurtosis sebesar 3,019. Rekapitulasi durasi tercepat (minimum), durasi mean, dan durasi terlama (maksimum) hasil simulasi Monte Carlo dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Melalui hasil simulasi, durasi yang masuk dalam rentang kemungkinan 1% sampai dengan 100% adalah 293 – 327 hari, dimana 304 hari adalah durasi mean dengan probabilitas penyelesaian 50%. Dengan demikian, penjadwalan rencana (durasi deterministik) selama 319 hari masuk dalam rentang waktu tersebut dimana hasil perhitungan probabilitas menggunakan metode PERT sebesar 97,93% dan simulasi Monte Carlo sebesar 99,85%. Gambar 4 di bawah ini menunjukkan posisi durasi rencana proyek terhadap persentase probabilistik hasil dari metode PERT dan simulasi Monte Carlo.

Hal ini menunjukkan bahwa penjadwalan rencana proyek apartemen masuk dalam rentang waktu probabilitas penyelesaian dengan persentase tinggi yang dianggap sudah memperhitungkan faktor ketidakpastian (*uncertainty*) dan masuk dalam tingkat akurasi yang cukup tinggi. Adanya durasi probabilistik yang bervariasi juga terjadi karena

adanya durasi estimasi yang di-*input* memiliki rentang yang cukup besar antara durasi pesimis dan optimis. Perkiraan



Gambar 6. *Schedule Sensitivity Index* 10 Pekerjaan Teratas.

Tabel 5. Keterangan Lokasi Pekerjaan *Schedule Sensitivity Index*

No	Lokasi	Persentase
1	Balok Lantai 38 Zona 2	89%
2	Kolom Lantai 38 Zona 2	85%
3	Balok Lantai 38 Zona 2	84%
4	Kolom Lantai 37 Zona 2	81%
5	Kolom Lantai 38 Zona 2	73%
6	Balok Lantai 39 Zona 2	70%
7	Kolom Lantai 37 Zona 2	67%
8	Balok Lantai 39 Zona 2	64%
9	Balok Lantai 37 Zona 2	58%
10	Kolom Lantai 39 Zona 2	48%

risiko atau ketidakpastian yang sudah dipertimbangkan dalam pembuatan penjadwalan yang juga didukung oleh pendapat pihak proyek antara lain, cuaca, mobilisasi peralatan dan material, lemahnya pengawasan lapangan, rumitnya pekerjaan karena struktur apartemen yang kompleks, terlebih proyek Apartemen Grand Shamaya ini akan menjadi apartemen dengan tower tertinggi di Surabaya.

E. Analisis dan Identifikasi Aktivitas Kritis

Dengan menggunakan *software* dan pengaturan distribusi serta jumlah iterasi yang sama, dilakukan *run risk analysis* pada pilihan *Tornado Graph* yang akan menunjukkan *Criticality Index* (CI). CI menyatakan aktivitas-aktivitas yang sering berada pada lintasan kritis selama menjalani iterasi simulasi. Aktivitas yang memiliki nilai CI yang tinggi menunjukkan bahwa aktivitas tersebut cenderung memiliki risiko terbesar karena berada pada lintasan kritis. Pada penelitian ini, nilai CI terbesar adalah sebesar 83% seperti pada Gambar 5 dan keterangannya dijelaskan pada Tabel 4 berikut.

Selain CI, terdapat diagram SSI yang digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu jalur kritis sensitif terhadap perubahan waktu. SSI menyatakan hasil analisis risiko yang

melibatkan rasio standar deviasi dengan CI. Berikut ini terdapat Gambar 6 dan Tabel 5 yang memberikan keterangan gambar yang menunjukkan SSI.

Lintasan kritis yang ditunjukkan pada penjadwalan rencana juga memberikan hasil yang sama dengan hasil dari simulasi pada CI, yang menyatakan bahwa pekerjaan pembesian, bekisting, dan pengecoran pada pekerjaan balok dan kolom zona 2 akan sering berada pada lintasan kritis. Namun, didukung oleh data SSI, pekerjaan-pekerjaan yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi adalah pekerjaan pada lantai 37 sampai dengan lantai 39 dimana pada saat pengerjaan tersebut, terdapat jeda waktu libur yang mempengaruhi sensitivitas pekerjaan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pekerjaan yang sering berada pada lintasan kritis adalah pekerjaan yang pembesian, bekisting, dan pengecoran pada pekerjaan balok dan kolom zona 2, dengan catatan bahwa pekerjaan pada lantai 37 sampai dengan 39 memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dikarenakan adanya jeda waktu pengerjaan 2 minggu pada tanggal 8 sampai dengan 21 April 2024. Selanjutnya, tingkat sensitivitas kembali menurun pada pekerjaan lantai 40.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil yang menjawab tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:(1)Tingkat probabilitas terlaksananya penjadwalan deterministik yang direncanakan selama 319 hari menggunakan metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) adalah sebesar 97,93%, sedangkan tingkat probabilitas yang diperoleh melalui simulasi Monte Carlo

adalah sebesar 99,85%. Hal ini berarti durasi rencana proyek masuk dalam rentang probabilitas penyelesaian;(2)Total durasi paling cepat (optimis) untuk pekerjaan struktur pada proyek Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey adalah selama 293 hari dengan tingkat probabilitas 1%, total durasi paling lama (pesimis) untuk pekerjaan struktur pada proyek Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey adalah selama 327 hari dengan tingkat probabilitas sebesar 100%, dan total durasi yang paling mungkin terjadi (*mean*) dengan tingkat probabilitas 50% adalah selama 304 hari;(3)Berdasarkan hasil *Criticality Index* (CI), dapat dilihat pekerjaan yang paling sering berada pada lintasan kritis, yaitu pekerjaan-pekerjaan pembesian, bekisting, dan pengecoran balok dan kolom di zona 2. Didukung oleh hasil *Schedule Sensitivity Index* (SSI), pekerjaan dengan sensitivitas tertinggi adalah pekerjaan pembesian, bekisting, dan pengecoran balok dan kolom di lantai 37 sampai 39 zona 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Deshmukh and N. Rajhans, "Comparison of Project Scheduling techniques: PERT versus Monte Carlo simulation," *Industrial Engineering Journal*, vol. 11, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.26488/iej.11.7.1134.
- [2] S. A. Mubarak, *Construction Project*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [3] Project Management Institute, *A Guide To The Project Management Body Of Knowledge*, 5th ed. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013.doi : 978-1-935589-67-9.
- [4] H. Maulana, "Analisis Probabilitas Durasi Proyek dengan Metode PERT-CPM Untuk Pekerjaan Struktur LW-OHS GHX211. PT Freeport Indonesia," Papua, 2016.
- [5] S. M. Carlo, B. Wijaya, and I. Jacob, "Monte Carlo Simulation," Jakarta, Center for Risk Management & Sustainability.2019.