

ANALISIS PENJADWALAN PROYEK KONSTRUKSI MENGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO STUDI KASUS: PEMBANGUNAN RUMAH TINGGAL DI SURABAYA

Vanessa Paramitha Teguh¹, Januar Budiman² dan Paulus Nugraha³

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya,

^{2&3}Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya,

¹b21180018@john.petra.ac.id, ²jbn2500@gmail.com, ³pnugraha@petra.ac.id

ABSTRAK: Waktu merupakan salah satu indikator keberhasilan proyek. Oleh karena itu, perlu menyusun jadwal proyek yang dapat memperhitungkan resiko serta ketidakpastian. Salah satu caranya, yaitu dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Penelitian ini menggunakan data historis untuk menghasilkan jadwal pekerjaan secara probabilistik dengan menggunakan simulasi Monte Carlo. Kemudian, penelitian ini juga meneliti distribusi probabilistik mana yang lebih tepat digunakan berdasarkan dari data historis yang didapatkan. Kesimpulan yang dicapai adalah penggunaan simulasi Monte Carlo dapat menghasilkan durasi dalam bentuk probabilistik sehingga dapat memperhitungkan risiko-risiko ketidakpastian. Berdasarkan hasil penelitian, dengan menggunakan *normal distribution*, probabilitas untuk menyelesaikan proyek sesuai *schedule* rencana (371 hari) adalah 61.20% dan 54.00% dengan menggunakan *fitted distribution*. Sedangkan probabilitas untuk menyelesaikan proyek sesuai dengan durasi aktual pelaksanaan proyek (389 hari) adalah 92.95% dengan menggunakan *normal distribution* dan 94.23% dengan menggunakan *fitted distribution*. Distribusi yang lebih tepat digunakan untuk mengestimasi durasi probabilistik untuk masing-masing aktivitas yaitu dengan menggunakan *fitted distribution*.

Kata kunci : penjadwalan proyek, simulasi Monte Carlo, estimasi durasi probabilistik

ABSTRACT: Time is one indicator of project success. Therefore, developing a project schedule that considers risks and uncertainties is necessary. One way is by using the Monte Carlo simulation method. Using a Monte Carlo simulation, this study uses historical data to generate a probabilistic work schedule. This study also examines which probabilistic distribution is more appropriate based on the historical data obtained. The conclusion is that using Monte Carlo simulation can produce duration in a probabilistic form to consider uncertainty risks. Based on the research results, using the normal distribution, the probability of completing the project according to the planned schedule (371 days) is 61.20% and 54.00% using the fitted distribution. While the probability of completing the project according to the actual duration of the project implementation (389 days) is 92.95% using the normal distribution and 94.23% using the fitted distribution. Fitted distribution is more appropriate based on the data obtained.

Keywords: project scheduling, Monte Carlo simulation, probabilistic duration estimation

1. PENDAHULUAN

Salah satu indikator keberhasilan suatu proyek adalah ketika proyek berjalan sesuai dengan target waktu pelaksanaan yang direncanakan sebelumnya. Selain itu, total durasi proyek menentukan penggunaan dan pengelolaan sumber daya yang efisien untuk mencapai tujuan proyek dengan mutu yang baik. Oleh karena itu, perencanaan jadwal proyek yang dapat memperhitungkan resiko serta ketidakpastian merupakan salah satu tantangan utama dalam manajemen proyek (Trumper & Virine, 2011).

Penggunaan metode *critical path method* (CPM) dalam penjadwalan proyek dirasa kurang tepat, karena durasi yang dihasilkan dalam bentuk deterministik yang kurang sesuai dengan sifat proyek konstruksi yang unik, dinamis dan cenderung kompleks (Prajoko & Manurung, 2018).

Metode *program evaluation and review technique* (PERT), yang merupakan variasi dari CPM dengan menggunakan waktu secara probabilistik untuk mengestimasi durasi aktivitas, masih dianggap kurang akurat untuk memperhitungkan ketidakpastian durasi proyek secara keseluruhan (Na et al., 2014).

Salah satu metode lain yang dapat digunakan adalah dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi ini merupakan metode yang pengambilan sampelnya dilakukan secara acak dari setiap distribusi probabilitas dalam suatu model untuk menghasilkan ratusan ataupun ribuan iterasi. Dalam bidang konstruksi, simulasi ini dapat digunakan untuk menentukan durasi penyelesaian proyek dan perkiraan biaya total dari suatu proyek (Acebes et al., 2015). Penelitian ini dilakukan untuk meneliti apakah penggunaan simulasi Monte Carlo dalam penjadwalan proyek dapat menghasilkan prediksi penjadwalan yang dapat memperhitungkan ketidakpastian-ketidakpastian serta mendapat distribusi yang paling sesuai untuk digunakan berdasarkan data historis masa lalu. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *crystal ball* yang merupakan *add-ins Ms. Excel*.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah salah satu jenis dari simulasi yang bergantung pada pengambilan sampel secara acak dan berulang yang kemudian dianalisis secara statistik untuk mengolah hasil. Metode ini berkaitan erat dengan eksperimen secara acak yang mana eksperimen tersebut belum memiliki hasil yang spesifik (Raychaudhuri, 2008).

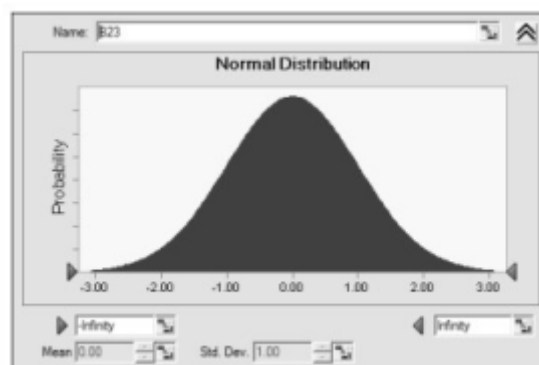
Untuk melakukan simulasi Monte Carlo, sebuah sampel diambil berdasarkan distribusi yang ditentukan. Masing-masing sampel tersebut kemudian diiterasi biasanya sebanyak 100 – 100.000 percobaan untuk memperoleh hasilnya (Button, 2003). Bagian penting dalam proses simulasi adalah dalam pemilihan distribusi yang tepat untuk mewakili ketidakpastian setiap faktor resiko dan ini dapat diturunkan dengan menggunakan data historis atau penilaian dari manajer resiko (Koulinas et al., 2020).

Menurut (Wyrozębski & Wyrozębska, 2013), langkah-langkah untuk melakukan simulasi Monte Carlo adalah sebagai berikut :

1. Merumuskan ruang lingkup masalah dan tujuan analisis
2. Identifikasi sumber daya untuk elemen dan parameternya serta memperoleh data
3. Pemodelan masalah yang akan dianalisis dalam *software* simulasi Monte Carlo
4. Penentuan parameter simulasi
5. Melakukan simulasi
6. Analisis data

2.2. Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan salah satu jenis distribusi variabel acak kontinu. Pada distribusi normal terdapat kurva berbentuk lonceng atau grafik. Persamaan distribusi normal diantaranya sebagai fungsi densitas. Distribusi normal dengan fungsi probabilitas ini kemudian yang akan menunjukkan distribusi atau penyebaran suatu variabel. Parameter yang digunakan pada distribusi normal adalah mean dan standar deviasi. Nilai mean umumnya digunakan sebagai pusat distribusi atau penyebaran nilai lainnya. Nilai ini kemudian akan menentukan lokasi titik puncak dalam suatu kurva lonceng, sementara nilai-nilai lainnya sengaja dibuat menyebar mengikuti rata-rata. Sedangkan standar deviasi sebagai perhitungan variabilitas berfungsi sebagai penentu lebar suatu kurva distribusi normal. Standar ini juga dapat menghitung seberapa jauh kecenderungan data akan melebar dari nilai rata-rata sebagai titik usatnya. Contoh dari penggunaan distribusi normal adalah pendapatan sales, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan yang terdiri dari beberapa pekerjaan.



Gambar 1. *Normal Distribution* dengan $\mu = 0$ dan $\sigma = 1$

2.3. Fitted Distribution

Menurut (Charnes, 2012), *fitted distribution* atau dapat disebut penyesuaian distribusi adalah penyesuaian distribusi yang disesuaikan dengan serangkaian data yang digunakan untuk pengukuran berulang. Tujuan utama dari distribusi ini adalah untuk memprediksi probabilitas dari serangkaian data yang digunakan untuk proses simulasi. Distribusi ini memberikan distribusi yang paling tepat untuk digunakan sehingga dapat memberikan hasil prediksi yang terbaik. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menentukan distribusi yang paling tepat digunakan adalah dengan menggunakan teknik *goodness of fit*. Teknik ini membuat peringkat kecocokan dari berbagai distribusi sehingga pengguna dapat menentukan distribusi mana yang paling tepat digunakan, salah satunya adalah *goodness of fit* Anderson Darling.

Goodness of fit Anderson Darling mengukur area antara *fitted line* (berdasarkan distribusi normal) dengan fungsi distribusi empiris (berdasarkan data). *AD value* digunakan untuk memperhitungkan *P Value*. *P Value* digunakan untuk menghitung probabilitas data terhadap hipotesis nol.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data penelitian meliputi : proyek studi kasus dan data historis untuk proyek sejenis. Data yang didapatkan pada proyek studi kasus meliputi *Bill of Quantity* , jadwal *manpower*, *schedule* dan waktu aktual pelaksanaan proyek. Kriteria yang digunakan untuk tipe proyek sejenis meliputi : lokasi proyek berada di Surabaya, tipe proyek rumah tinggal minimal 2 lantai serta nilai proyek $\geq$ Rp 6.000.000,- / m².

Setelah itu, dilakukan estimasi durasi probabilistik dengan 2 cara, yaitu : *normal distribution* dan dengan menggunakan *fitted distribution*. Proses estimasi tersebut dilakukan dengan bantuan *crystal ball* untuk *Microsoft excel*. Hasil dari kedua cara tersebut kemudian dianalisis serta dibandingkan dengan aktual waktu penyelesaian proyek. Hasil yang ingin didapatkan adalah apakah simulasi Monte Carlo dapat menghasilkan model penjadwalan yang lebih tepat dan akurat dengan memperhitungkan ketidakpastian serta memberikan informasi distribusi probabilistik mana yang lebih tepat digunakan berdasarkan data historis yang dimiliki.

Secara garis besar, urutan kerangka berpikir dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 2.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Proyek Studi Kasus

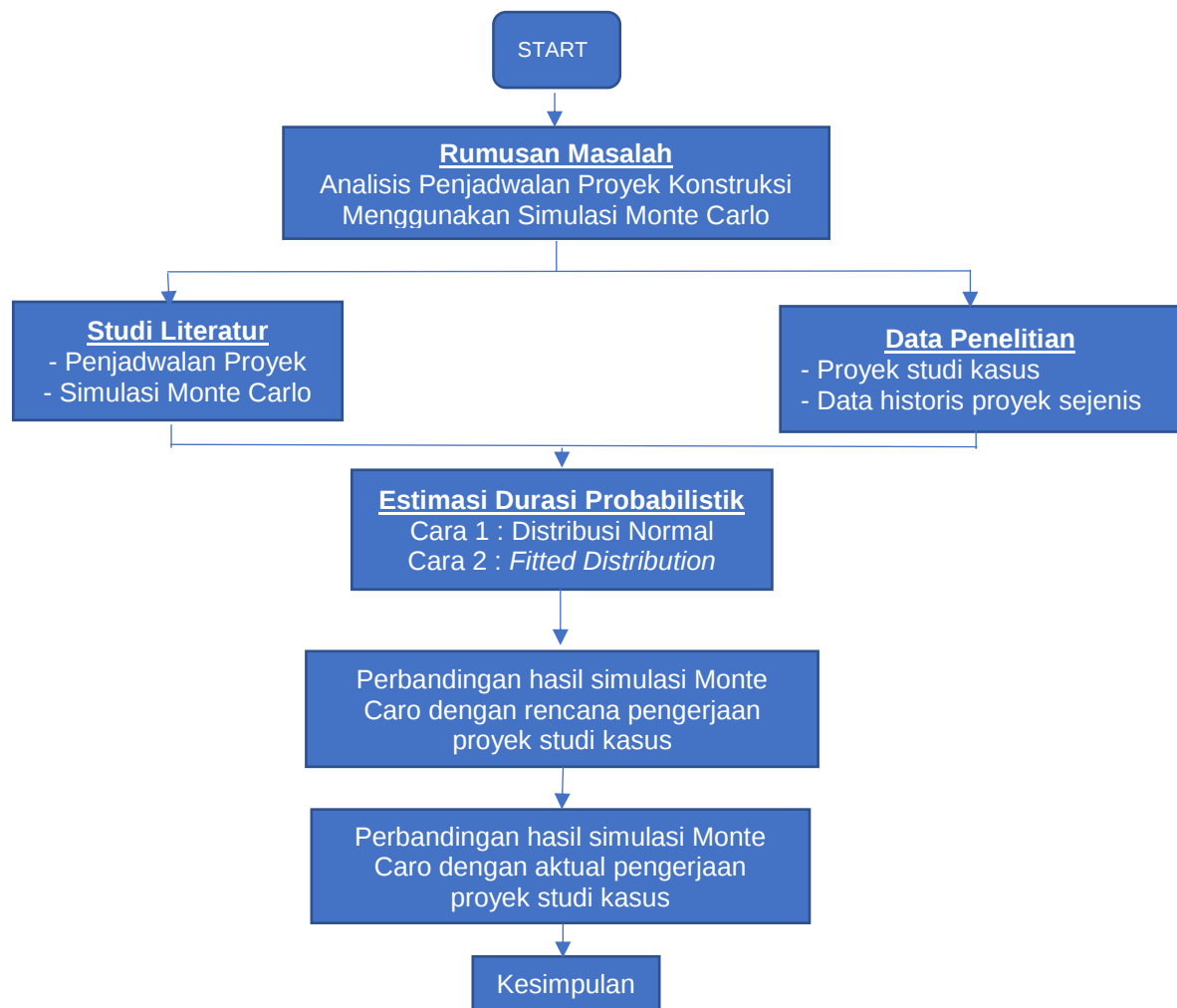
Penelitian dilakukan pada proyek rumah tinggal di Surabaya dengan LT/LB : 337.50/885 m². Proses pembangunan proyek dilakukan 1 Juli 2019 dan selesai pada 7 Juli 2020, atau dengan kata lain proses pembangunan memerlukan waktu selama 389 hari, dengan *scope* pekerjaan kontraktor meliputi struktur dan arsitektur.

4.2. Pengumpulan dan Pengolahan Data Historis

Data historis yang didapatkan pada proyek sejenis diolah sehingga dapat dihasilkan nilai produktivitas masing-masing aktivitas dari masing-masing proyek. Perhitungan produktivitas tersebut menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas}_{\text{Tenaga Kerja}} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Jumlah Tenaga Kerja} * \text{Durasi Kerja}} \quad (4.1)$$

Data produktivitas tenaga kerja tersebut kemudian dikumpulkan sehingga dapat menghasilkan durasi aktivitas secara probabilistik. Volume pekerjaan dan jumlah tenaga kerja didapatkan dari data proyek studi kasus.



Gambar 2. Alur kerangka penelitian

4.3. Estimasi Durasi Secara Deterministik

Berdasarkan *schedule* rencana yang didapatkan dari proyek studi kasus, yang dilakukan dengan deterministik (CPM), total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek studi kasus ini adalah 371 hari. Dari data tersebut, kemudian dilakukan proses memasukkan data sesuai dengan hubungan ketergantungan antar aktivitas, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh *Schedule* Pelaksanaan Proyek Studi Kasus

ID	Uraian Pekerjaan	Durasi	Start	End	Predecessor
1	Bor strauss	10	1 Juli 2019	11 Juli 2019	
2	Pengecoran dan penulangan strauss pile	8	4 Juli 2019	15 Juli 2019	1SS+3
3	Buang tanah bekas pengeboran	3	12 Juli 2019	15 Juli 2019	1
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
112	Cat plafond lt. 3	5	7 Mei 2020	12 Mei 2020	108,109

4.4. Estimasi Durasi Secara Probabilistik

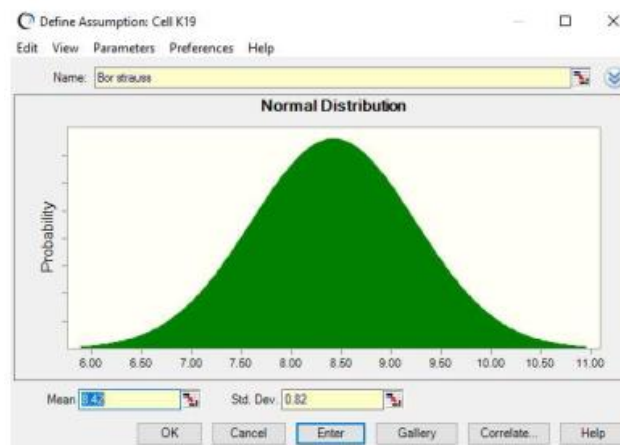
4.4.1. Estimasi Durasi Secara Probabilistik : Distribusi Normal

Untuk mendapatkan estimasi durasi secara probabilistik dengan menggunakan distribusi normal, dibutuhkan nilai rata-rata dan standar deviasi dari masing-masing aktivitas yang didapat dari data historis produktivitas tenaga kerja untuk tipe proyek sejenis. Pada penelitian ini, didapatkan 20 data produktivitas tenaga kerja untuk masing-masing aktivitas, sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Contoh Tabel Produktivitas Tenaga Kerja untuk Setiap Aktivitas

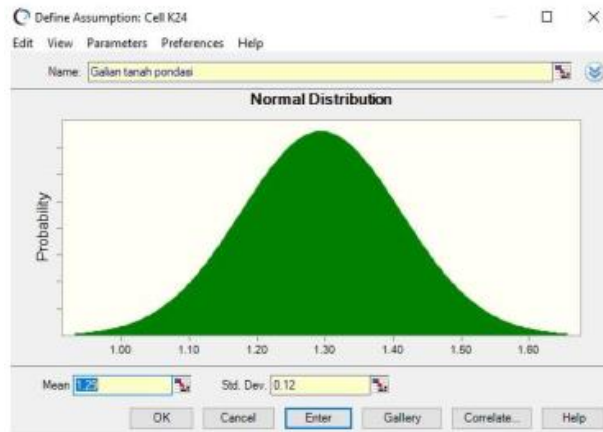
No	Uraian Pekerjaan	Unit	Prod – 1	Prod – 2	...	Prod - 19	Prod - 20
1	Bor strauss	m ³ /oh	7.72	7.54	...	7.44	9.47
2	Pengecoran dan penulangan strauss pile	m ³ /oh	1.51	1.42	...	1.69	1.57
3	Buang tanah sisa pengeboran	m ³ /oh	6.54	6.81	...	6.71	6.54
...	...	...	...	...	...	...	...

Setelah dilakukan penerapan distribusi normal pada setiap aktivitas (Gambar 3 dan Gambar 4), dilakukan perhitungan durasi total penyelesaian proyek menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mendapatkan model penjadwalan sebanyak 10.000 iterasi. Jumlah iterasi dihentikan sampai dengan 10.000 kali iterasi karena telah dicoba digunakan 100.000 kali iterasi dan tidak dihasilkan perbedaan yang signifikan antara 10.000 kali iterasi dengan 100.000 kali iterasi. Secara detail dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

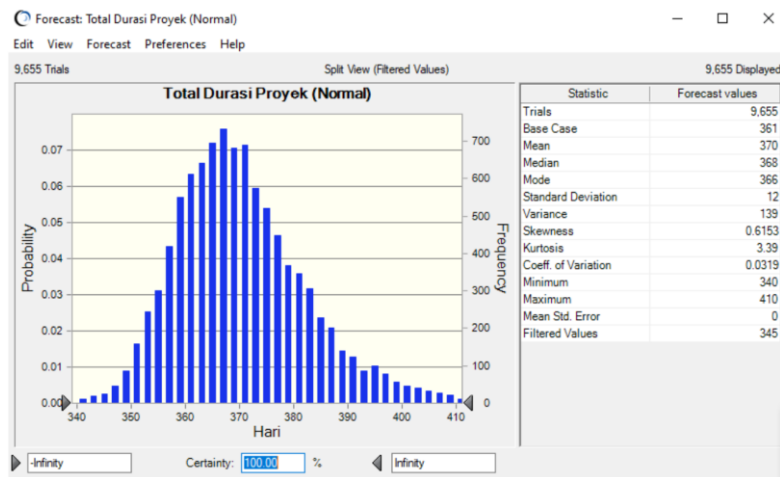


Gambar 3. Contoh penerapan distribusi normal pada aktivitas bor strauss

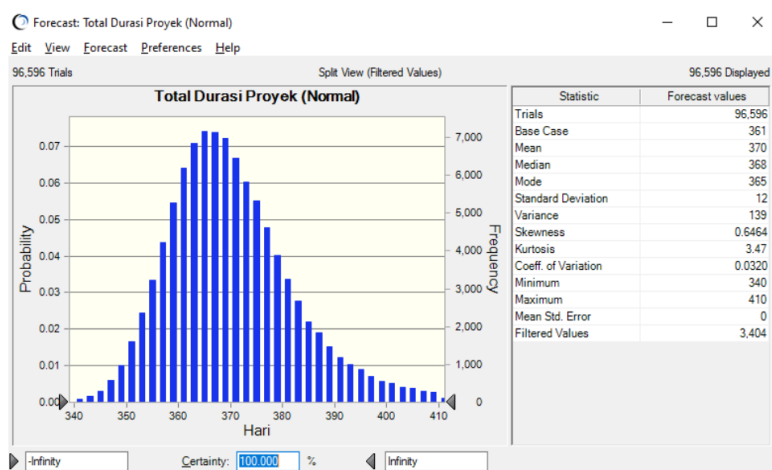
Teguh: Analisis Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Simulasi Monte Carlo



Gambar 4. Contoh penerapan distribusi normal pada aktivitas galian tanah pondasi



Gambar 5. Hasil simulasi Monte Carlo menggunakan distribusi normal dengan 10.000 kali iterasi

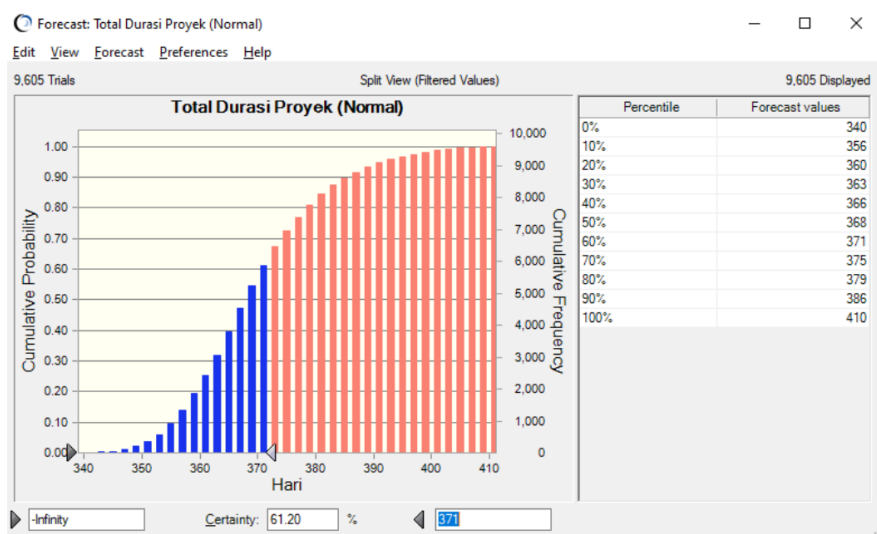


Gambar 6. Hasil simulasi Monte Carlo menggunakan distribusi normal dengan 100.000 kali iterasi

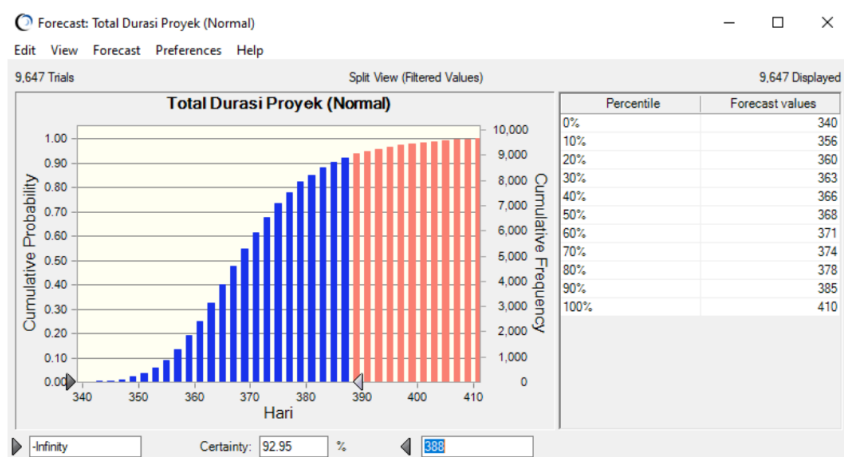
Berdasarkan Gambar 5, dengan menggunakan distribusi normal, hasil simulasi menunjukkan hasil sebagai berikut :

- Minimum durasi : 340 hari
- Maksimum durasi : 410 hari
- Mean : 370 hari
- Standar deviasi : 12

Kemudian, hasil simulasi didapatkan kemudian dilanjutkan dengan perbandingan dengan jadwal rencana pelaksanaan pembangunan secara deterministik yaitu 371 hari (Gambar 7). Berdasarkan hasil simulasi tersebut di atas, kemungkinan terjadinya penyelesaian proyek sesuai dengan *schedule* pelaksanaan proyek yaitu sebesar 61.20%, sedangkan persentase probabilitas selesainya pekerjaan sesuai dengan kondisi aktual (389 hari) yaitu sebesar 92.95% (Gambar 8).



Gambar 7. Perbandingan hasil simulasi menggunakan distribusi normal dengan *schedule* rencana

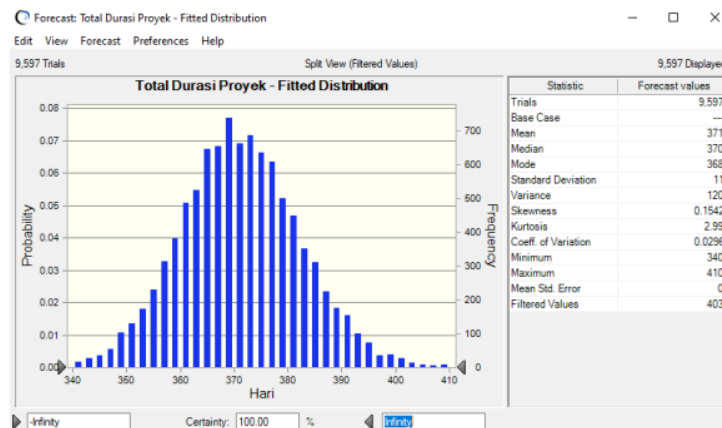


Gambar 8. Perbandingan hasil simulasi menggunakan distribusi normal dengan kondisi aktual

4.4.2. Estimasi Durasi Secara Probabilistik : *Fitted Distribution*

Setiap aktivitas menggunakan hasil dari *fitted distribution* menggunakan *goodness of fit Anderson-darling*. Pemilihan distribusi yang akan digunakan menggunakan nilai *A-D P Value* yang terbesar dari seluruh distribusi yang ada. Nilai *P Value* tersebut harus bernilai $>5\%$.

Setelah dilakukan penerapan setiap distribusi pada setiap aktivitas sesuai dengan pemilihan distribusi sesuai *fitted distribution*, kemudian dilakukan perhitungan durasi total penyelesaian proyek menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mendapatkan model penjadwalan pembangunan rumah tinggal dengan jumlah iterasi sebanyak 10.000 kali iterasi.

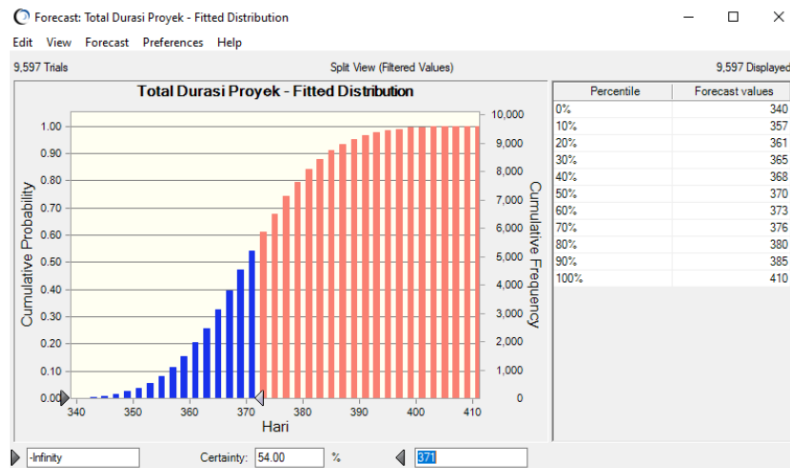
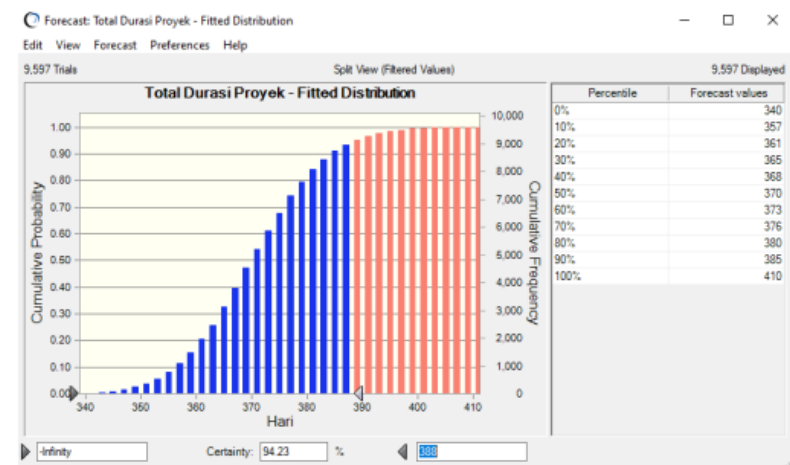


Gambar 9. Hasil simulasi Monte Carlo menggunakan *fitted distribution* dengan 10.000 kali iterasi

Berdasarkan Gambar 9, dengan menggunakan *fitted distribution*, hasil simulasi menunjukkan hasil sebagai berikut :

- Minimum durasi : 340 hari
- Maksimum durasi : 410 hari
- Mean : 371 hari
- Standar deviasi : 11

Kemudian, hasil simulasi didapatkan kemudian dilanjutkan dengan perbandingan dengan jadwal rencana pelaksanaan pembangunan secara deterministik yaitu 371 hari (Gambar 10). Berdasarkan hasil simulasi tersebut di atas, kemungkinan terjadinya penyelesaian proyek sesuai dengan *schedule* pelaksanaan proyek yaitu sebesar 54.00%, sedangkan persentase probabilitas selesainya pekerjaan sesuai dengan kondisi aktual (389 hari) yaitu sebesar 94.23% (Gambar 11).

Gambar 9. Perbandingan hasil simulasi menggunakan *fitted distribution* dengan *schedule* rencanaGambar 10. Perbandingan hasil simulasi menggunakan *fitted distribution* dengan kondisi aktual

4.5. Analisis Hasil Simulasi

Ringkasan hasil model simulasi penjadwalan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan hasil simulasi dengan menggunakan simulasi Monte Carlo

Distribusi	Hasil Simulasi		Probabilitas Penyelesaian sesuai <i>Schedule</i> Rencana	Probabilitas Penyelesaian sesuai Kondisi Aktual
	Mean (hari)	Standar Deviasi		
Normal	370	12	61.20%	92.95%
<i>Fitted</i>	371	11	54.00%	94.23%

Berdasarkan Tabel 3, probabilitas penyelesaian durasi proyek sesuai dengan *schedule* rencana hanya berada <65%. Dengan besaran persentase probabilitas penyelesaian proyek berdasarkan *schedule* rencana, dapat terbilang rendah karena berada <80%, sesuai penelitian yang dilakukan oleh Sukirno pada tahun 2015. Sedangkan probabilitas penyelesaian proyek

studi kasus dengan durasi aktual >90%. Cara paling baik untuk melakukan simulasi Monte Carlo adalah dengan menggunakan *fitted distribution*, karena probabilitas penyelesaian proyek lebih mendekati kondisi aktual. Selain itu, penggunaan *fitted distribution* dirasa lebih realistis karena dapat menentukan tipe distribusi yang paling tepat berdasarkan kumpulan data yang dimiliki pada setiap aktivitas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Perencanaan penjadwalan secara deterministik menghasilkan waktu penyelesaian proyek 371 hari yang mana probabilitas kemungkinan terjadinya <65%. Hal tersebut membuktikan bahwa perhitungan secara deterministik kurang bisa mewakili ketidakpastian yang akan terjadi pada pelaksanaan proyek konstruksi.
2. Perencanaan penjadwalan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo menghasilkan total durasi penyelesaian dalam bentuk probabilistik sehingga dapat memperhitungkan resiko ketidakpastian yang mungkin terjadi dalam pelaksanaan proyek konstruksi.
3. Dengan menggunakan simulasi Monte Carlo, untuk mencapai probabilitas penyelesaian pekerjaan sebesar 80%, maka perencanaan jadwal penyelesaian proyek harus berada di antara 378 – 380 hari.
4. Hasil total durasi penyelesaian dalam bentuk distribusi probabilistik yang dihasilkan pada simulasi Monte Carlo dapat dimanfaatkan untuk memberi masukan mengenai probabilitas terjadinya penyelesaian suatu proyek dengan estimasi penjadwalan yang dibuat sebelumnya. Jika probabilitas yang dihasilkan masih kecil, maka dapat dipertimbangkan kembali apakah jadwal yang dibuat terlalu optimis atau tidak.
5. Distribusi yang lebih tepat digunakan untuk mengestimasi durasi probabilistik yaitu dengan menggunakan *fitted distribution*, karena membantu kita menentukan distribusi yang paling tepat berdasarkan data historis yang dimiliki.

5.2. Saran

1. Menambahkan studi kasus penelitian dengan tujuan dapat dilakukan perbandingan antar proyek studi kasus dari hasil simulasi yang telah dilakukan sehingga mendapatkan data yang lebih konkret.
2. Penambahan data historis untuk proyek sejenis secara lengkap sehingga dapat mengestimasi durasi probabilistik menjadi lebih konkret.
3. Melakukan perbandingan *fitted distribution* dengan distribusi lain, selain distribusi normal, agar memperkuat hasil penelitian mengenai penggunaan *fitted distribution* sebagai distribusi yang lebih tepat.

6. DAFTAR REFERENSI

- Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). "Stochastic Earned Value Analysis Using Monte Carlo Simulation and Statistical Learning Techniques". *International Journal of Project Management*, 33(7), 1597–1609.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.012>

- Button, S. D. (2003). "Project Duration Prediction Using a Monte Carlo Simulation of the Periodic Output of the Project Resources". *Monte Carlo Methods and Applications*, 9(3), 217–225. <https://doi.org/10.1163/156939603322728987>
- Koulinas, G. K., Xanthopoulos, A. S., Tsilipiras, T. T., & Koulouriotis, D. E. (2020). "Schedule Delay Risk Analysis in Construction Projects with a Simulation-Based Expert System". *Buildings*, 10(8). <https://doi.org/10.21071/CCO.V17I0.1115>
- Na, W., Wuliang, P., & Hua, G. (2014). "A Robustness Simulation Method of Project Schedule Based on the Monte Carlo Method". *Open Cybernetics and Systemics Journal*, 8(1), 254–258. <https://doi.org/10.2174/1874110x01408010254>
- Prajoko, A., & Manurung, E. (2018). "Analisis Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus Pembangunan Gedung di Bintaro, Jakarta)". *Seminar Nasional Cendekiawan Ke 4 Tahun 2018*, 4(1), 27–32.
- Raychaudhuri, S. (2008). "Introduction to Monte Carlo Simulation". *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 91–100. <https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736059>
- Sukirno. (2015). "Analisis Resiko Waktu di Proyek Konstruksi Studi Kasus Proyek Ampuh Pressure Maintenance di Duri, Riau". *Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 3, 2015
- Trumper, M., & Virine, L. (2011). "Event Chain Methodology in Project Management". *Cepis Upgrade*, XII(5), 22–33. http://www.cepis.org/upgrade/media/full_2011_51.pdf#page=23
- Wyrozębski, P., & Wyrozębska, A. (2013). "Challenges of Project Planning in the Probabilistic Approach Using PERT, GERT and Monte Carlo". *Journal of Management and Marketing*, 1(1), 1–8.