

Perencanaan Risiko Keterlambatan Proyek EBT dengan Pendekatan PERT dan Simulasi Monte Carlo

Risk Planning for Delays in New and Renewable Energy Projects Using the PERT Approach and Monte Carlo Simulation

¹Windhy Wicaksana, ²Mia Juliana, ³I Made Dwi Budiana Penindra

^{1, 2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

¹aywindhy@gmail.com, ²mia.juliana@unud.ac.id, ³budiana_penindra@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Kata Kunci:
Energi Baru Terbarukan; Manajemen Risiko; PERT; RUPTL; Simulasi Monte Carlo

Keywords:
Monte Carlo Simulation; Renewable Energy; Risk Management; PERT; RUPTL;

ABSTRAK

Pembangunan pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034 memiliki peran penting dalam mendukung transisi energi nasional. Namun, pelaksanaan proyek EBT masih menghadapi risiko keterlambatan yang dapat memengaruhi pencapaian target penambahan kapasitas pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan risiko keterlambatan proyek EBT secara kuantitatif serta menunjukkan pemanfaatan hasil pemodelan sebagai dasar pertimbangan pengelolaan risiko di PT XYZ. Metode yang digunakan adalah Simulasi Monte Carlo dengan pendekatan distribusi Beta-PERT, berdasarkan data historis deviasi milestone proyek EBT tahun 2024 sebagai baseline. Parameter distribusi ditentukan dari nilai minimum, nilai paling mungkin, dan nilai maksimum keterlambatan, kemudian dilakukan simulasi sebanyak 10.000 iterasi. Hasil simulasi menunjukkan adanya variasi risiko keterlambatan yang signifikan, dengan nilai P50 sebesar 65 hari, P90 sebesar 107 hari, dan P95 sebesar 118 hari. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian proyek memiliki keterlambatan ringan atau tepat waktu, secara probabilistik tetap terdapat potensi keterlambatan yang cukup besar. Simpulan penelitian ini adalah bahwa Simulasi Monte Carlo dengan distribusi Beta-PERT mampu memberikan gambaran risiko keterlambatan yang lebih realistis dan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan jadwal proyek EBT di PT XYZ.

ABSTRACT

Renewable Energy (RE) power plant development in the Electricity Supply Business Plan (RUPTL) 2025–2034 plays a crucial role in supporting Indonesia's energy transition. However, the implementation of RE projects remains exposed to schedule delay risks that may affect the achievement of planned capacity additions. This study aims to quantitatively model the risk of RE project delays and demonstrate how the modeling results can be used as a consideration for risk management at PT XYZ. The research applies Monte Carlo Simulation using the Beta-PERT distribution approach, based on historical milestone deviation data of RE projects in 2024 as a baseline. Distribution parameters are defined using minimum, most likely, and maximum delay values, followed by 10,000 simulation iterations. The results indicate significant variability in delay risk, with P50, P90, and P95 values of 65 days, 107 days, and 118 days, respectively. These findings suggest that although some projects experienced minor delays or were completed on schedule, there remains a substantial probability of longer delays at higher confidence levels. This study concludes that Monte Carlo Simulation with the Beta-PERT distribution provides a more realistic representation of schedule delay risk and can serve as a quantitative basis for schedule planning of renewable energy projects at PT XYZ.

*Corresponding author: aywindhy@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Pengembangan pembangkit listrik berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi bagian penting dalam upaya transisi energi nasional. Pemerintah Indonesia menargetkan peningkatan porsi EBT dalam bauran energi nasional melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034, yang menekankan percepatan pembangunan pembangkit EBT secara bertahap dan terencana [1]. Pencapaian target tersebut menuntut pelaksanaan proyek pembangkit yang tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga mampu diselesaikan sesuai

dengan jadwal yang telah ditetapkan [2].

Pada praktiknya, proyek EBT memiliki tingkat ketidakpastian yang relatif tinggi. Kompleksitas proses perizinan, pengadaan peralatan dengan waktu tunggu panjang, keterbatasan pendanaan, serta kendala teknis di lapangan sering kali menjadi penyebab utama keterlambatan proyek [3]. Keterlambatan ini tidak hanya berdampak pada waktu penyelesaian proyek, tetapi juga berpotensi mengganggu pencapaian target penambahan kapasitas pembangkit listrik sebagaimana direncanakan dalam RUPTL [4].



Kondisi tersebut juga dihadapi oleh PT XYZ sebagai perusahaan yang bergerak di sektor ketenagalistrikan dan terlibat dalam pengelolaan proyek EBT. Berdasarkan evaluasi pencapaian milestone proyek EBT, terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara waktu rencana dan realisasi pada beberapa proyek [5]. Sebagian proyek dapat diselesaikan tepat waktu, sementara proyek lainnya mengalami keterlambatan dengan durasi yang bervariasi. Variasi ini menunjukkan bahwa risiko keterlambatan merupakan fenomena nyata yang memerlukan analisis yang lebih sistematis dan terukur [6].

Selama ini, evaluasi keterlambatan proyek umumnya dilakukan secara retrospektif dengan membandingkan rencana dan realisasi setelah proyek berjalan. Pendekatan tersebut belum mampu menggambarkan ketidakpastian durasi proyek di masa mendatang secara komprehensif [7]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kuantitatif yang mampu memodelkan risiko keterlambatan secara probabilistik. Simulasi Monte Carlo banyak digunakan dalam analisis risiko proyek karena mampu menghasilkan sebaran kemungkinan keterlambatan berdasarkan distribusi probabilitas, bukan hanya satu nilai estimasi tunggal [8].

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan risiko keterlambatan proyek EBT menggunakan Simulasi Monte Carlo dengan pendekatan distribusi Beta-PERT serta menunjukkan bagaimana hasil pemodelan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan jadwal proyek EBT di PT XYZ. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu perusahaan memahami profil risiko keterlambatan proyek serta memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan studi manajemen risiko proyek di sektor ketenagalistrikan.

II. TINJAUAN LITERATUR

Keterlambatan proyek merupakan permasalahan krusial dalam manajemen proyek infrastruktur dan energi karena berdampak langsung pada biaya, kinerja proyek, serta pencapaian target strategis jangka panjang, termasuk pengembangan pembangkit listrik berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT). Kompleksitas teknis, ketergantungan pada perizinan, serta ketidakpastian pengadaan menjadikan durasi proyek EBT sulit diprediksi secara pasti, sehingga diperlukan pendekatan analisis risiko yang mampu merepresentasikan ketidakpastian waktu secara realistis.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode penjadwalan deterministik seperti PERT dan CPM konvensional memiliki keterbatasan karena hanya menghasilkan estimasi tunggal yang cenderung optimistis. Shofa et al. [9] menyatakan bahwa pendekatan ini tidak mampu menangkap variasi durasi dan kemungkinan keterlambatan ekstrem yang sering terjadi di lapangan. Oleh karena itu, pendekatan probabilistik mulai banyak digunakan untuk melengkapi analisis waktu proyek.

Simulasi Monte Carlo merupakan metode yang umum diterapkan dalam analisis risiko waktu proyek karena mampu menghasilkan sebaran probabilitas durasi melalui proses pengacakan berbasis distribusi tertentu. Febrianti et al. [10] menunjukkan bahwa integrasi PERT dan Simulasi Monte Carlo pada proyek pembangkit listrik dapat memberikan estimasi keterlambatan yang lebih informatif, terutama melalui indikator probabilistik seperti P50 dan P90, dibandingkan metode deterministik.

Distribusi Beta-PERT banyak digunakan dalam Simulasi Monte Carlo karena sesuai dengan karakteristik durasi proyek yang memiliki batas minimum, nilai paling mungkin, dan batas maksimum. Rahmayana et al. [11] menyatakan bahwa distribusi ini lebih representatif dibandingkan distribusi normal atau seragam karena durasi proyek umumnya bersifat tidak simetris dan cenderung *right-skewed*.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada proyek konstruksi umum dan belum mengaitkan hasil simulasi risiko keterlambatan dengan perencanaan ketenagalistrikan jangka panjang, seperti RUPTL, maupun pemanfaatannya sebagai dasar pertimbangan perlakuan risiko. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pemodelan risiko keterlambatan proyek EBT menggunakan pendekatan PERT dan Simulasi Monte Carlo sebagai dasar pertimbangan pengambilan keputusan perencanaan proyek pada horizon RUPTL 2025–2034 di PT XYZ.

Kajian ini didukung oleh sejumlah landasan teori yang relevan :

1. Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sumber energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti tenaga surya, angin, panas bumi, air, dan biomassa. EBT memiliki peran penting dalam transisi energi global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menekan emisi gas rumah kaca, serta mendukung ketahanan energi nasional [12]
2. Risiko proyek adalah ketidakpastian yang dapat memengaruhi pencapaian tujuan proyek baik dari segi waktu, biaya, maupun kualitas [13]. Salah satu risiko utama dalam proyek ketenagalistrikan adalah keterlambatan proyek, yang dapat berdampak pada terganggunya jadwal operasi komersial, meningkatnya biaya investasi, dan berkurangnya keandalan pasokan listrik. Manajemen risiko adalah serangkaian aktivitas terstruktur untuk mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko agar dampaknya dapat diminimalisasi (ISO 31000:2018). Siklus manajemen risiko menurut ISO 31000 [14], meliputi:
 - A. Penetapan konteks,
 - B. Identifikasi risiko,
 - C. Analisis risiko,
 - D. Evaluasi risiko,
 - E. Perlakuan risiko,
 - F. Pemantauan dan komunikasi risiko.
3. PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) adalah metode estimasi dan penjadwalan proyek yang memakai tiga taksiran waktu untuk tiap aktivitas: waktu optimis/tercepat (a), waktu paling mungkin (m), dan waktu pesimis/terpanjang (b). Dari tiga taksiran ini, PERT klasik menghitung nilai harapan (*expected value*) durasi aktivitas dengan rumus:

$$E(X) = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (1)$$

Rumus-rumus tersebut banyak digunakan dalam studi penjadwalan proyek di Indonesia untuk memberikan estimasi waktu berbobot yang mencerminkan ketidakpastian aktivitas [15].

4. Beta-PERT adalah implementasi praktis dari distribusi Beta yang ditransformasi ke interval $[a, b]$ sehingga cocok memodelkan variabilitas durasi aktivitas yang terbatas. Dari parameter a, m, b dapat dihitung parameter bentuk α dan β untuk fungsi kepadatan Beta yang digunakan dalam simulasi dan perhitungan probabilitas. Banyak penelitian lokal yang mengaplikasikan PERT/Beta-PERT untuk menilai kemungkinan penyelesaian proyek dan menghitung persentil (P50, P90, P95) [16].
5. Simulasi Monte Carlo merupakan bentuk simulasi probabilistik yang mana solusi suatu permasalahan diberikan berdasarkan proses acak [17]. Proses acak tersebut meliputi distribusi probabilitas variabel data yang dikumpulkan berdasarkan data dan probabilitas teoritis distribusi. Angka acak dipakai untuk menggambarkan kejadian acak dan berurutan mengikuti perubahan yang terjadi pada proses simulasi. Metode Monte Carlo dipakai untuk menentukan prediksi yang diinginkan [18]. Tahapan metode Monte Carlo meliputi [19]:
 1. Menentukan distribusi probabilitas dari variabel utama
 2. Membuat distribusi probabilitas kumulatif
 3. Menentukan interval angka acak (random)
 4. Menetapkan bilangan acak (random)
 5. Melakukan serangkaian percobaan
6. Program perlakuan risiko (*risk treatment program*) adalah kumpulan strategi dan tindakan yang dirancang untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau meminimalkan dampaknya. Menurut ISO 31000 [20] perlakuan risiko dapat berupa:
 1. Menghindari risiko – mengubah rencana agar risiko tidak terjadi.
 2. Mengurangi risiko – menerapkan kontrol atau mitigasi agar probabilitas/dampak berkurang.
 3. Mentransfer risiko – misalnya melalui kontrak atau asuransi.
 4. Menerima risiko – jika risiko dinilai rendah atau mitigasi tidak ekonomis.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan memodelkan risiko keterlambatan proyek Energi Baru Terbarukan (EBT) secara probabilistik. Pendekatan ini dipilih karena risiko keterlambatan proyek tidak bersifat pasti, melainkan mengandung ketidakpastian yang dapat dianalisis melalui distribusi probabilitas. Studi kasus dilakukan pada proyek-proyek EBT yang dikelola oleh PT XYZ sebagai perusahaan yang bergerak di sektor ketenagalistrikan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa pencapaian milestone

proyek EBT tahun 2024. Data tersebut mencakup informasi waktu rencana (*plan*), waktu realisasi (*real*), serta deviasi keterlambatan dalam satuan hari. Data historis ini digunakan sebagai baseline untuk menggambarkan pola keterlambatan proyek yang kemudian diproyeksikan ke periode perencanaan selanjutnya sesuai horizon RUPTL 2025–2034. Pemilihan data tahun 2024 didasarkan pada ketersediaan data yang lengkap dan relevan untuk merepresentasikan kondisi aktual proyek EBT.

Tabel 1. Data Pencapaian Milestone Proyek

NAMA PROYEK	TARGET (PLAN)	REALISASI (REAL)	KETERLAM- BATAN (HARI)
PROJECT PLTS KARANG KATES	31/12/2024	20/01/2025	+11
PLTS TERAPUNG TEMBESI BATAM	31/12/2024	23/02/2025	+69
KERJASAMA PENYEDIAAN DAN PENYALURAN LISTRIK 650 MW KAWASAN TERPADU SUBANG SMARTPOLITAN - PT SURYACIPTA SWADAYA	31/12/2024	02/04/2025	+151
KERJASAMA PENGEMBANGAN DAN PENYEDIAAN PEMBANGKIT LISTRIK 1.500 MW KAWASAN PARIGI - PT ANUGRAH TEKNIK INDUSTRI	31/12/2024	31/12/2024	0
KERJASAMA PENGEMBANGAN EBT DI PABRIK SEMEN PT SEMEN GRESIK INDONESIA - SEMEN INDONESIA GROUP	31/12/2024	25/05/2025	+159
PENUNJUKKAN KONSULTAN FEASIBILITY STUDY ("FS") PLTA MAMBERAMO TAHAP 1	31/05/2024	11/06/2024	+10
LAPORAN PENDAHULUAN KAJIAN FS PLTA MAMBERAMO TAHAP 1 ATAS DEMAND CREATION GREEN INDUSTRIAL MAMBERAMO	31/12/2024	21/01/2025	+21

Dalam dataset ini, terdapat variasi keterlambatan mulai dari tepat waktu (0 hari) hingga sangat terlambat (159 hari). Informasi keterlambatan waktu ini menjadi indikator awal tingkat risiko keterlambatan untuk pendekatan PERT, menyusun distribusi probabilitas (Beta-PERT) dan menjadi dasar untuk analisis probabilistik menggunakan Simulasi Monte Carlo. Hasil model ini bisa dijadikan dasar pertimbangan dalam mengantisipasi keterlambatan proyek EBT pada horizon RUPTL 2025–2034.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data pencapaian milestone keterlambatan proyek Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dikelola oleh PT XYZ. Data pencapaian milestone keterlambatan proyek tahun 2024 digunakan sebagai baseline historis untuk memodelkan risiko keterlambatan proyek EBT. Data milestone berisi target



waktu (plan), realisasi aktual (real), dan selisih hari (keterlambatan) antara rencana dan realisasi.

Dalam dataset ini, terdapat variasi keterlambatan mulai dari tepat waktu (0 hari) hingga sangat terlambat (159 hari). Informasi keterlambatan waktu ini menjadi indikator awal tingkat risiko keterlambatan untuk pendekatan PERT, menyusun distribusi probabilitas (Beta-PERT) dan menjadi dasar untuk analisis probabilistik menggunakan Simulasi Monte Carlo. Hasil model ini bisa dijadikan dasar pertimbangan dalam mengantisipasi keterlambatan proyek EBT pada horizon RUPTL 2025–2034.

Dari data pada Tabel 1, ditentukan tiga parameter utama yang menjadi dasar pendekatan PERT, yaitu :

- Pmin (minimum) = 0 hari
- Pmost Likely (paling mungkin) = 60,14 hari. Nilai ini dihitung sebagai rata-rata keterlambatan proyek karena data yang tersedia tidak terlalu banyak, maka rata-rata digunakan sebagai pendekatan nilai yang paling mungkin
- Pmax (maksimum) = 159 hari

Ketiga nilai ini akan menjadi dasar dalam membentuk distribusi probabilitas keterlambatan proyek.

Distribusi probabilitas yang digunakan adalah distribusi Beta-PERT. Distribusi Beta-PERT membutuhkan dua parameter bentuk, yaitu alpha (α) dan beta (β), yang dihitung dengan Pmin, Pmostlikely, dan Pmax. Rumus yang digunakan adalah:

$$\alpha = 1 + \lambda \cdot (m - a)/(b - a) \quad (2)$$

$$\beta = 1 + \lambda \cdot (b - m)/(b - a) \quad (3)$$

Dengan:

- a = Pmin = 0
- m = Pmostlikely = 60,14
- b = Pmax = 159
- $\lambda = 4$ (nilai standar dalam distribusi PERT)

Substitusi nilai menghasilkan:

$$\alpha = 1 + 4 \cdot \frac{(60,14-0)}{(159-0)} = 2,51 \quad (4)$$

$$\beta = 1 + 4 \cdot \frac{(159-60,14)}{(159-0)} = 3,49 \quad (5)$$

Distribusi Beta standar hanya berlaku di interval [0,1], dikarenakan durasi keterlambatan proyek ini 0 sampai 159 hari maka distribusi ini harus di normalisasi, rumus yang digunakan yaitu:

$$Xstd = \frac{(x-Pmin)}{(Pmax-Pmin)} \quad (6)$$

Setelah data dinormalisasi, langkah berikutnya adalah menghitung *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi Beta-PERT. PDF ini digunakan untuk mengetahui kepadatan probabilitas pada setiap nilai keterlambatan, sehingga dapat dilihat di titik dimana kemungkinan terbesar keterlambatan terjadi. Rumus yang digunakan yaitu:

$$f(x) = \frac{(Xstd)^{\alpha-1} (Xstd)^{\beta-1}}{(B(\alpha, \beta))} \cdot \frac{1}{Pmax - Pmin} \quad (7)$$

Hasil perhitungan normalisasi dan PDF kemudian diplot ke dalam bentuk grafik. Grafik tersebut akan membentuk kurva distribusi Beta-PERT yang menggambarkan pola penyebaran probabilitas keterlambatan proyek. Kurva inilah yang nantinya digunakan sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai peluang keterlambatan dan estimasi persentil. Namun, kurva distribusi saja belum cukup untuk memberikan ringkasan kuantitatif yang dapat dipakai manajemen sebagai bahan pertimbangan awal. Oleh karena itu, untuk mendapatkan estimasi keterlambatan rata-rata, perlu dihitung nilai harapan (*expected value*) menggunakan rumus klasik PERT:

$$E(X) = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (8)$$

Berdasarkan hasil analisis data keterlambatan proyek PT XYZ, diperoleh parameter:

- a = 0 hari
- m = 60,14 hari
- b = 159 hari

Sehingga nilai harapan dapat dihitung sebagai berikut:

$$E(X) = \frac{0 + 4(60,14) + 159}{6} \quad (9)$$

$$E(X) = \frac{399,56}{6} = 66,59 \text{ hari} \quad (10)$$

Artinya, secara rata-rata, proyek berpotensi mengalami keterlambatan sekitar 67 hari. Perhitungan ini berfungsi sebagai validasi awal sebelum dilakukan simulasi Monte Carlo. Jika hasil rata-rata (*Expected Value*) dari pendekatan PERT ini mendekati hasil rata-rata dari Monte Carlo, maka hal itu menunjukkan bahwa distribusi Beta-PERT yang digunakan sudah cukup sesuai dengan kondisi data di lapangan. Dengan demikian, analisis dapat dianggap konsisten dan hasil simulasi Monte Carlo dapat dipercaya sebagai representasi probabilistik dari keterlambatan proyek.

Selanjutnya melakukan simulasi monte carlo, simulasi ini dilakukan dengan menghasilkan angka acak menggunakan fungsi random sampling sebanyak 10.000 kali dari distribusi Beta-PERT yang telah dibentuk. Data yang diperlukan adalah Pmin, Pmax, Alpha, Beta. Untuk rumus durasi menggunakan angka acak sebagai berikut:

$$= BETA.INV(A, Alpha, Beta, Pmin, Pmax) \quad (11)$$

Dimana A = angka acak

Hasil simulasi ini memberikan sebaran kemungkinan keterlambatan yang lebih realistis dibandingkan hanya menggunakan satu nilai tunggal. Adapun sebagian hasil iterasi simulasi Monte Carlo ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Data Hasil Simulasi Monte Carlo

ITERASI	RAND()	DURASI (HARI)
---------	--------	---------------

1	0,270757224	45,68428264
2	0,456245239	61,35563894
3	0,745008983	87,22024132
4	0,244807808	43,34010149
5	0,469285717	62,4345194
9996	0,560031535	70,04033544
9997	0,805569362	93,96786722
9998	0,275380753	46,09530232
9999	0,928407967	112,7156762
10000	0,971986038	124,7193288

Nilai durasi simulasi monte carlo ini perlu dihitung nilai rata-rata keterlambatan sebagai validasi. Berikut rumus rata-rata keterlambatan dari hasil simulasi :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (12)$$

Rumus rata-rata pada excel sebagai berikut:

$$= AVERAGE (Durasi 1; 10000) \quad (13)$$

= 66,71 hari

Hasil ini menunjukkan bahwa keterlambatan rata-rata proyek diperkirakan sekitar 67 hari. Nilai ini cukup dekat dengan median distribusi simulasi, sehingga dapat dianggap konsisten dan digunakan sebagai validasi bahwa model Beta-PERT sesuai dengan data yang ada.

Setelah distribusi terbentuk, perhitungan probabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan proyek selesai sesuai jadwal.

Hasil yang diperoleh sebagai berikut:

$$\Pr(P \leq 1 \text{ hari}) = 0,00\%$$

$$\Pr(P > 1 \text{ hari}) = 100,00\%$$

Tabel 3. Data Hasil Fungsi Distribusi Kumulatif

PRENCANA (HARI)	Pr (P ≤ X HARI)	Pr (P > X HARI)
1	0,00	100,00
10	0,93	99,07
20	4,70	95,30
30	11,51	88,49
40	20,84	79,16
130	31,93	68,07
140	43,88	56,12
150	55,85	44,15

Selain rata-rata, hasil simulasi Monte Carlo juga menyajikan nilai persentil keterlambatan dimana persentil ini adalah titik pada distribusi yang membatasi sekian % data di bawahnya, untuk menghitung nilai persentil menggunakan excel sebagai berikut:

$$P50 = BETA.INV(0.5, Palpha, Pbeta, Pmin, Pmax)$$

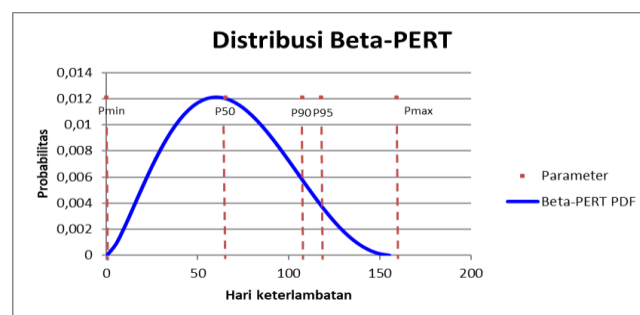
$$P90 = BETA.INV(0.9, Palpha, Pbeta, Pmin, Pmax)$$

$$P95 = BETA.INV(0.95, Palpha, Pbeta, Pmin, Pmax)$$

Hasil yang diperoleh sebagai berikut:

- P50 = 65,07 hari → peluang 50% proyek selesai dalam ≤ 65 hari
- P90 = 107,38 hari → peluang 90% proyek selesai dalam ≤ 107 hari
- P95 = 117,88 hari → peluang 95% proyek selesai dalam ≤ 118 hari

Setelah parameter distribusi Beta-PERT ditentukan dan simulasi Monte Carlo dijalankan dengan jumlah iterasi sebanyak 10.000 kali, diperoleh sebaran probabilitas keterlambatan proyek Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dikelola PT XYZ. Simulasi ini menghasilkan distribusi probabilitas yang dapat menggambarkan peluang keterlambatan proyek secara lebih realistis dibandingkan pendekatan deterministik.



Gambar 1. Distribusi Beta-PERT Carlo

Distribusi hasil simulasi divisualisasikan dalam grafik Beta-PERT *Distribution*, yang menunjukkan pola sebaran keterlambatan dari nilai minimum 0 hari hingga maksimum 159 hari. Pada grafik ini, sumbu horizontal (X) menunjukkan hari keterlambatan, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan nilai probabilitas terjadinya keterlambatan tersebut. Garis biru adalah Probability Density Function (PDF) dari distribusi Beta-PERT, yang menggambarkan sebaran kemungkinan keterlambatan dari batas optimis ($P_{min} = 0$ hari) hingga batas pesimis ($P_{max} = 159$ hari). Grafik ini memperlihatkan bahwa distribusi cenderung miring ke kanan (*right-skewed*). Artinya, sebagian besar nilai keterlambatan berada pada kisaran 60–70 hari, namun terdapat kemungkinan kecil terjadinya keterlambatan yang lebih panjang hingga mendekati 159 hari. Kondisi ini sangat sesuai dengan karakteristik proyek EBT, di mana keterlambatan sedang cukup sering terjadi, tetapi selalu ada risiko keterlambatan ekstrem akibat faktor eksternal seperti perizinan, pengadaan peralatan, atau pendanaan.

Analisis hasil simulasi Monte Carlo dilakukan untuk mengetahui sejauh mana risiko keterlambatan dapat memengaruhi proyek-proyek Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dikelola oleh PT XYZ. Dari hasil simulasi terlihat bahwa risiko keterlambatan tidak terjadi

secara merata pada semua proyek. Ada proyek yang memiliki keterlambatan besar sehingga tergolong berisiko tinggi, sementara ada juga yang menunjukkan keterlambatan nol sehingga bisa dikategorikan berisiko rendah. Perbedaan ini penting karena berimplikasi langsung terhadap keandalan jadwal pembangunan yang telah ditetapkan dalam RUPTL 2025–2034.

- a. **Proyek dengan Risiko Keterlambatan Tinggi**
Salah satu proyek yang menunjukkan keterlambatan besar adalah proyek EBT di Pabrik Semen Gresik, dengan keterlambatan tercatat mencapai 159 hari dari target rencana. Keterlambatan yang signifikan ini dipicu oleh beberapa faktor seperti proses perizinan yang panjang, kesiapan infrastruktur pendukung, kendala teknis di lapangan, keterlambatan pengadaan peralatan dan administrasi. Dampaknya tidak hanya pada bergesernya jadwal operasi proyek tersebut, tetapi juga berpotensi memberikan efek domino terhadap pencapaian target penambahan kapasitas EBT dalam RUPTL 2025–2034.
- b. **Proyek dengan Risiko Rendah**
Sebaliknya, proyek PLTU Parigi menunjukkan keterlambatan nol hari, yang berarti proyek ini selesai tepat waktu sesuai jadwal. Faktor keberhasilan ini didukung oleh kesiapan lahan yang matang, ketersediaan dana yang lancar, serta pengalaman kontraktor dalam mengelola pekerjaan. Keberhasilan PLTU Parigi dapat dijadikan contoh atau *benchmark* bagi proyek lainnya. Praktik terbaik seperti disiplin jadwal, efisiensi dalam pengadaan, dan pengendalian proyek yang konsisten dapat direplikasi untuk meminimalkan keterlambatan pada proyek-proyek EBT lain yang masih dalam tahap pembangunan.
- c. **Implikasi terhadap Jadwal RUPTL 2025–2034**
RUPTL 2025–2034 menargetkan peningkatan porsi Energi Baru Terbarukan dalam bauran energi nasional secara bertahap. Keterlambatan proyek besar seperti EBT Semen Gresik dengan keterlambatan lebih dari 150 hari berpotensi menggagalkan pencapaian target tahunan ini berpotensi memberikan efek terhadap pencapaian target penambahan kapasitas EBT dalam RUPTL 2025–2034. Jika hal ini terjadi secara berulang, maka keseluruhan jadwal penambahan kapasitas EBT dalam RUPTL bisa terganggu, yang pada akhirnya menghambat pencapaian target bauran energi nasional dan program transisi energi bersih. Sebaliknya, proyek-proyek dengan keterlambatan rendah atau tepat waktu seperti PLTU Parigi dapat membantu menjaga stabilitas jadwal. Proyek semacam ini berfungsi sebagai penyeimbang, sehingga ketika proyek besar tertunda, sistem kelistrikan nasional masih memiliki pasokan yang relatif stabil.
- d. **Rekomendasi Perlakuan Risiko**
Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo yang menunjukkan adanya variasi probabilitas keterlambatan antar proyek, PT XYZ perlu menyusun strategi perlakuan risiko yang tidak hanya berbasis pengalaman masa lalu, tetapi juga menggunakan hasil kuantifikasi risiko sebagai dasar pengambilan keputusan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada kerangka ISO 31000:2018, yang membagi perlakuan risiko ke dalam

beberapa kategori: mengurangi (*reduce*), mentransfer (*transfer*), menghindari (*avoid*), dan menerima (*accept*).

1. **Mengurangi (*Reduce*)**

Untuk kategori ini, PT XYZ dapat menetapkan cadangan waktu (*schedule contingency*) yang dihitung berdasarkan nilai P90 atau P95 dari distribusi simulasi. Dengan cara ini, risiko keterlambatan bisa ditekan sejak awal karena jadwal proyek disusun lebih realistis, bukan hanya berdasarkan asumsi optimis.

2. **Mentransfer (*Transfer*)**

Untuk risiko yang berasal dari faktor eksternal seperti pengadaan peralatan impor atau kontraktor pihak ketiga, hasil simulasi bisa digunakan sebagai dasar dalam perumusan kontrak berbasis kinerja. Menetapkan penalti jika keterlambatan melebihi nilai probabilitas P90, kontraktor akan lebih disiplin terhadap jadwal dan terdorong untuk menghindari keterlambatan.

3. **Menghindari (*Avoid*)**

Jika hasil simulasi menunjukkan probabilitas keterlambatan yang sangat tinggi, maka pada tahap perencanaan perlu dilakukan revisi jadwal target agar tidak terlalu optimis. Dengan menghindari penetapan jadwal yang tidak realistis, PT XYZ bisa mencegah risiko sejak fase perencanaan proyek.

4. **Menerima (*Accept*)**

Untuk keterlambatan kecil yang tidak berpengaruh signifikan terhadap target bauran energi nasional, PT XYZ dapat memilih untuk menerima risiko tersebut karena tidak semua risiko perlu dihindari atau dialihkan.

Dengan menerapkan strategi perlakuan risiko berbasis ISO 31000, PT XYZ dapat mengelola keterlambatan proyek secara lebih sistematis. Proyek dengan keterlambatan tinggi memerlukan strategi mengurangi dan mentransfer, sedangkan proyek dengan risiko rendah dapat dijadikan contoh pengelolaan yang baik. Kombinasi dari keempat pendekatan ini membantu PT XYZ tetap berada pada jalur yang sesuai untuk mencapai target RUPTL 2025–2034 sekaligus mendukung transisi energi nasional

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dalam laporan kerja praktik ini dapat disimpulkan bahwa pendekatan PERT memberikan gambaran realistis terhadap risiko keterlambatan proyek. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata keterlambatan proyek berdasarkan pendekatan PERT adalah 66,59 hari, sedangkan hasil simulasi Monte Carlo sebesar 66,71 hari. Selisih yang sangat kecil ini menandakan bahwa pendekatan PERT cukup representatif terhadap kondisi nyata di lapangan dan pendekatan ini tidak hanya berfungsi sebagai dasar perhitungan awal tetapi juga menjadi bentuk validasi terhadap hasil simulasi Monte Carlo. Selain itu, hasil persentil memperlihatkan peluang 50% proyek akan keterlambatan ≤ 65 hari (P50), 90% proyek akan terlambat ≤ 107 hari, dan 95% proyek akan terlambat ≤ 118 hari (P95). Nilai-nilai tersebut menggambarkan sebaran probabilitas keterlambatan secara

terukur, sehingga perusahaan dapat memahami rentang risiko waktu proyek secara lebih realistis.

Selain itu informasi hasil analisis dapat menjadi dasar bagi PT XYZ dalam penyusunan program perlakuan risiko. Informasi mengenai probabilitas dan durasi keterlambatan yang diperoleh dari Pendekatan PERT dan Simulasi Monte Carlo dapat dimanfaatkan untuk merancang strategi mitigasi yang lebih tepat. Data ini juga dapat dijadikan dasar dalam merancang perlakuan risiko (*risk treatment*), seperti menyiapkan waktu cadangan (*buffer*), menyesuaikan rencana proyek berikutnya, dan memperbaiki strategi monitoring agar lebih realistis dengan kondisi di lapangan. Dengan langkah tersebut, PT XYZ dapat lebih siap dalam mengendalikan potensi keterlambatan sekaligus menjaga pencapaian target RUPTL 2025–2034 secara berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2025–2034, Jakarta, 2024.
- [2] Wirabakti, D. M., Abdullah, R., & Maddeppungeng, A. Studi Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Konstruksia*, 6(1), 2017.
- [3] A. Santoso dan Y. Nugroho, “Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Konstruksi Energi,” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 20, no. 2, pp. 134–143, 2020.
- [4] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Kajian Transisi Energi Indonesia, Jakarta, 2022.
- [5] Maddeppungeng, A., Ujianto, R., & Fella, M. Penerapan Metode Simulasi Monte Carlo Terhadap Risiko Finansial Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Apartemen X di Cipulir). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 2018.
- [6] R. Febrianti, Y. Nugroho, dan D. P. Sari, “Evaluasi Risiko Jadwal Proyek Pembangkit Listrik,” *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 89–98, 2021.
- [7] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual hingga Operasional*, Jakarta: Erlangga, 2018.
- [8] W. N. Shofa, I. Soejanto, dan T. Ristyowati, “Penjadwalan Proyek dengan Simulasi Monte Carlo pada Metode PERT,” *OPSI*, vol. 12, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- [9] W. N. Shofa, I. Soejanto, dan T. Ristyowati, “PENJADWALAN PROYEK DENGAN PENERAPAN SIMULASI MONTE CARLO PADA METODE PROGRAM EVALUATION REVIEW AND TECHNIQUE (PERT),” *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 10, no. 2, hlm. 150, Des 2017, doi: 10.31315/opsi.v10i2.2110.
- [10] W. S. Ibrahim, “Application of Monte Carlo Simulation and PERT/CPM Techniques in the Construction Project Planning of PLTMG Ambon-2”.
- [11] R. Rahmayana, S. Bachmid, dan H. Maricar, “Kajian pengendalian waktu dan biaya dengan metode nilai hasil dan simulasi monte carlo,” *JUTIN*, vol. 8, no. 1, hlm. 1230–1238, Jan 2025, doi: 10.31004/jutin.v8i1.41834.
- [12] “Renewables 2021 - Analysis and forecast to 2026,” 2026.
- [13] Project Management Institute, Ed., *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, Sixth edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [14] *Risk management - guidelines*. London: BSI, 2018.
- [15] S. Wahyudiono, F. R. Andardi, Y. Rusdianto, dan R. Awalludieny, “Penerapan Metode Program Evaluation and Review Technique (PERT) Pada Proyek Malang Creative Center (MCC) Berdasarkan Building Information Modelling (BIM),” *JMTS*, vol. 21, no. 2, hlm. 66–76, Agu 2023, doi: 10.22219/jmts.v21i2.28969.
- [16] W. Yuwono, M. E. Kaukab, dan Y. Mahfud, “Kajian Metode PERT-CPM dan Pemanfaatannya dalam Manajemen Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek,” *JEMATEch*, vol. 4, no. 2, hlm. 192–214, Agu 2021, doi: 10.32500/jematech.v4i2.1925.
- [17] R. J. Simamora, “SIMULASI MONTE CARLO DENGAN MODEL PERSEDIAAN STOKASTIK PADA PT.BINGEI MEDAN,” vol. 1, no. 2, 2017.
- [18] I. A. Hasugian, K. Muhyi, dan N. Firlidany, “SIMULASI MONTE CARLO DALAM MEMPREDIKSI JUMLAH PENGIRIMAN DAN TOTAL PENDAPATAN”.
- [19] I. Sari dan F. Maulana, “Simulasi Terbaik Dalam Persediaan Komponen Darah Menggunakan Metode Monte Carlo,” no. 1, 2021.
- [20] *Risk management - guidelines*. London: BSI, 2018.

