Penjadwalan Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Critical Path Method

Arief Suardi Nur Chairat¹; Utami Wahyuningsih¹; Irma Sepriyanna²

¹ Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN

² Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi PLN

¹ arief.suardi@itpln.ac.id

ABSTRACT

It is not adequate to rely on fossil energy as the primary source of energy to meet the demand for energy. Solar power, which may be employed as the primary source of solar power generation in Indonesia, is one of the renewable energy sources with enormous potential (PLTS). A PV mini-grid project might be difficult to complete because it necessitates a large investment of time, money, and labor. One of the most significant jobs that must be completed for the control of the construction process and thorough preparation prior to the start of a project is activity scheduling. This study attempts to apply the method of arranging a solar power development project in this regard. The results of the study show that the total time required to complete the project, based on calculations, would be 37 weeks if there were no delays. The application of the critical method can improve the schedule used previously and this will help managers deal with problems so that project completion can be done on time.

Keywords: Project, Solar Power Generation, Schedulling, Critical Path Method

ABSTRAK

Untuk memenuhi kebutuhan pasokan energi, tidak cukup hanya mengandalkan energi fosil sebagai sumber utama. Tenaga surya, sebagai salah satu jenis energi terbarukan yang tersedia di Indonesia, memiliki kemampuan yang sangat besar untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui suatu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pelaksanaan pembangunan proyek PLTS dapat menjadi tugas yang rumit karena membutuhkan investasi waktu, biaya, dan tenaga kerja yang tidak sedikit. Masalah penjadwalan aktivitas adalah salah satu tugas penting yang harus dilakukan untuk pengendalian proses konstruksi dan perencanaan yang cermat sebelum dimulainya suatu proyek. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini mencoba menerapkan metode penjadwalan proyek pembangunan pembangkit tenaga surya terpusat off-grid, dengan metode jalur kritis (Critical Path Method). Hasil studi menunjukkan bahwa jumlah durasi waktu yang dibutuhkan untuk merampungkan proyek, berdasarkan penghitungan, menjadi 37 minggu jika tidak ada penundaan. Penerapan metode jalur kritis dapat memperbaiki jadwal yang digunakan sebelumnya dan hal ini akan membantu manajer proyek dalam menangani masalah agar penyelesaian proyek dapat dikerjakan tepat waktu.

Kata kunci: Proyek, PLTS, Penjadwalan, Critical Path Method

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara dengan total jumlah kepulauan mencapai lebih dari 18.000 pulau dengan populasi lebih dari 265 juta jiwa pada tahun 2018, menempati peringkat sebagai negara terpadat keempat di dunia, dan telah mengalami pertumbuhan dan perkembangan ekonomi yang pesat [1], [2]. Peningkatan pertumbuhan populasi, pendapatan rumah tangga, dan urbanisasi telah menyebabkan meningkatnya permintaan energi dan kendala pasokan energi [3]. Sebagai salah satu negara berkembang di Asia, energi adalah elemen yang sangat krusial dalam meningkatkan sektor pembangunan di Indonesia [4].

Untuk memenuhi kebutuhan pasokan energi, tidak cukup hanya mengandalkan energi fosil sebagai sumber utama. Dengan kondisi tersebut diperlukan sumber-sumber potensi energi baru dan terbarukan yang ketersediaannya sangat melimpah di Indonesia. Sektor energi terbarukan di Indonesia memegang peranan untuk berkontribusi dalam pengembangan diberbagai bidang, seperti masyarakat di desa dan daerah terpencil dapat mempunyai akses terhadap energi, memenuhi sasaran pemerintah dalam mereduksi tingkat emisi gas rumah kaca dari sektor energi, mendiversifikasi bauran sumber energi nasional, dan mengurangi nilai subsidi pemerintah pusat untuk listrik yang dihasilkan dari berbagai macam pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil [5]. Tenaga surya dapat menjadi sumber energi terbarukan di Indonesia adalah karena jumlahnya yang sangat melimpah. Dengan potensi energi matahari sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ yang dapat dimanfaatkan untuk sumber utama sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk pulau-pulau kecil, daerah terpencil, dan daerah perbatasan yang belum ada jaringan listrik [6]. Dengan semakin berkembangnya teknologi, pembangunan proyek PLTS di Indonesia telah meningkat dari sistem tersebar ke sistem komunal atau terpusat.

Pelaksanaan pembangunan proyek PLTS dapat menjadi tugas yang rumit karena membutuhkan investasi waktu, pembiayaan, dan jumlah tenaga kerja yang tidak sedikit. Perencanaan yang terkelola dengan baik adalah kunci keberhasilan sebuah proyek [7]. Untuk mencapai keberhasilan sebuah proyek instalasi PLTS dibutuhkan suatu manajemen proyek yang terorganisir [8]. Mengelola proyek skala besar, seperti pembangunan PLTS, perlu mengoordinasikan banyak aktivitas dengan durasi pengerjaan dan ketergantungan yang bervariasi. Dengan kata lain, masalah penjadwalan aktivitas adalah tugas penting yang harus dilakukan untuk pengendalian proses konstruksi dan perencanaan yang cermat sebelum dimulainya suatu proyek [9].

Berbagai metode dan model, seperti *Gantt Chart*, Metode Jalur Kritis (CPM), dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), telah dikembangkan untuk mendukung perencanaan proyek yang lebih baik. Metode ini digunakan secara komprehensif oleh sebagian besar manajer proyek untuk menentukan kegiatan kritis dan mengestimasi durasi waktu minimum yang diperlukan untuk penuntasan proyek [10]. Di antara metode ini, sebagian besar teknik penjadwalan tradisional menggunakan *Gantt Chart*. Meskipun metode ini masih merupakan alat yang berharga, tapi aplikasinya sangat terbatas sekali untuk menjadwalkan operasi skala besar. Metode jalur kritis (CPM) adalah salah satu metode paling awal dan paling populer yang digunakan dalam manajemen proyek, dan merupakan kaidah untuk menganalisis jaringan yang digunakan dalam proses perencanaan proyek yang kompleks dengan jumlah kegiatan yang banyak. Intinya, CPM membangun model suatu proyek dengan memperhatikan 5 parameter berikut: daftar aktivitas, durasi aktivitas, durasi percepatan, dependensi, dan titik akhir dari proyek [11].

Penundaan jadwal dapat terjadi di berbagai proyek konstruksi dan metode manajemen proyek yang efektif menjadi penting untuk memastikan kinerja proyek yang sukses. Sehingga, strategi yang buruk dapat mengakibatkan semua keuntungan menuju kerugian ekonomi [12]. Manajemen proyek konstruksi melibatkan elemen perencanaan dari sejumlah besar disiplin ilmu, yang membutuhkan

informasi yang berbeda-beda yang harus dikelola secara efisien. Solusi dari isu tersebut adalah penerapan analisis jaringan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap perencanaan dan pengendalian proyek-proyek besar di berbagai bidang, seperti konstruksi. Durasi suatu proyek tidak akan lebih lama dari jalur terpanjang, sehingga total waktu yang diperlukan untuk penyelesaian proyek setara dengan panjang jalur kritis, yaitu jalur terpanjang melalui suatu jaringan pada setiap aktivitas kritis. Setiap keterlambatan pada aktivitas kritis dapat memperlambat penyelesaian proyek secara keseluruhan dan proyek harus dikelola untuk menghindari masalah keterlambatan ini.

Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini mencoba menerapkan metode penjadwalan proyek pembangunan pembangkit tenaga surya terpusat *off-grid*, dengan metode jalur kritis (CPM).

2. METODE JALUR KRITIS (*CRITICAL PATH METHOD*)

Penelitian dilakukan di Provinsi Jawa Barat, Desa Curug Cilember (Gambar 1) pada tahun 2019. Data-data yang terkait tentang keadaan proyek konstruksi dikumpulkan melalui pengamatan langsung, diskusi dengan manajer lapangan, dan ahli konstruksi PLTS. Perencanaan instalasi PLTS pada dasarnya tidak mudah karena diperlukan data yang cukup banyak sebelum kegiatan pembangunan dapat dimulai.

Gambar 1. Lokasi Proyek PLTS

Sistem PLTS terpusat dirancang dengan pendekatan *bottom-up* dengan terlebih dahulu menentukan spesifik kebutuhan listrik masyarakat. Pada awalnya, proyek harus dipecah menjadi beberapa tugas yang terdiri dari studi kelayakan (estimasi kebutuhan listrik, profil beban, pengukuran potensi radiasi, kondisi sosial dan budaya masyarakat, karakteristik geografis, dan kondisi tanah), koordinasi dan negosiasi dengan penduduk setempat, pemilihan lokasi dan desain tata letak pembangkit, penyusunan rencana anggaran, kerjasama pembiayaan, pembelian komponen-komponen PLTS dan peralatan konstruksi, perekrutan tenaga kerja, persiapan lokasi PLTS, pengangkutan komponen dan material ke lokasi, pemasangan komponen utama, pemasangan sistem proteksi, pemasangan terminal monitoring, penyambungan jaringan, pengujian, pelatihan kepada masyarakat. Misalnya, dalam pemilihan lokasi, area yang dipilih harus cukup untuk menampung semua komponen PLTS; Arah mata angin di lokasi harus diidentifikasi karena penentuan posisi panel surya harus menghadap utara atau selatan untuk mendapat penyinaran yang optimal. Selain itu, untuk menghindari kemungkinan pencemaran lingkungan, patut dievaluasi apakah lokasi yang diusulkan berada dekat dengan kawasan konservasi/hutan lindung, atau akses jalan menuju lokasi harus melalui sebuah kawasan konservasi/hutan lindung.

Setelah menetapkan aktivitas-aktivitas dan prosedur yang akan diterapkan pada pembangunan instalasi pembangkit tenaga surya, selanjutnya ditentukan durasi setiap aktivitas. Estimasi durasi pada setiap aktivitas digunakan untuk menghitung durasi penyelesaian proyek. Pada langkah berikutnya, aktivitas pendahulu harus didefinisikan untuk setiap aktivitas. Suatu kegiatan x merupakan aktivitas pendahulu dari kegiatan y yang harus diselesaikan paling lambat saat waktu dimulainya kegiatan y . Ketika suatu aktivitas memiliki lebih dari satu aktivitas pendahulu, seluruh aktivitas-aktivitas tersebut harus diselesaikan sebelum memulai aktivitas. Jaringan aktivitas proyek juga diusulkan untuk menggambarkan hubungan antara aktivitas dan memantau kemajuan proyek.

Untuk menentukan jalur kritis, lima parameter dipertimbangkan untuk setiap aktivitas termasuk waktu mulai dan selesai paling awal (*earliest start* dan *earliest finish*), waktu mulai dan selesai paling akhir (*latest start* dan *latest finish*), dan waktu penundaan (*slack time*). Kegiatan atau aktivitas yang harus dilaksanakan untuk menuntaskan proyek dengan durasi setiap aktivitas dan ketergantungan aktivitas satu sama lain, penjadwalan jalur kritis untuk jaringan *activity-on-node* (AON) dapat ditentukan secara matematis. Simbol *node* untuk perhitungan jalur kritis disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2. Simbol *Node*

ES(i) didefinisikan sebagai waktu mulai paling awal (*earliest start*) untuk kegiatan ke-i, EF(i) adalah waktu selesai paling awal (*earliest finish*) untuk kegiatan ke-i, LS(i) adalah waktu mulai paling akhir (*latest start*) dan LF(i) adalah waktu selesai paling akhir (*latest finish*) untuk kegiatan ke-i. Perhitungan yang terkait dengan *node* pada jaringan yaitu, teknik *forward pass* (penghitungan dari *node* pertama hingga *node* terakhir dalam jaringan) dan teknik *backward pass* (penghitungan dari *node* akhir hingga *node* pertama dalam jaringan) disajikan sebagai berikut:

- Langkah 1: aktivitas awal akan diberi nomor 0.
- Langkah 2: penomoran berikutnya akan ditetapkan untuk aktivitas yang tidak bernomor yang aktivitas pendahulunya sudah diberi nomor. Langkah 2 diulang hingga seluruh aktivitas memiliki nomor.

2.1. Penghitungan Dengan *Forward Pass*

Pada setiap aktivitas dalam jaringan, parameter *Earliest start* dan *earliest finish* dihitung dengan Teknik *forward pass*. Dalam penghitungan, waktu penyelesaian suatu aktivitas diperhatikan dengan waktu penyelesaian minimum dan kemudian mengurangnya dengan durasi aktivitas. Pada langkah berikutnya dapat ditentukan *earliest start* dari setiap aktivitas. Jika t adalah durasi dari suatu aktivitas dan tidak ada penundaan yang terjadi, maka waktu *earliest finish* untuk suatu aktivitas dapat ditentukan sebagai berikut:

$$EF = ES + t \quad (1)$$

Prosedur teknik *forward pass* untuk menghitung ES dan EF dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Untuk setiap aktivitas tanpa pendahulunya, tetapkan $ES = 0$.
2. Berikutnya, tentukan ES suatu aktivitas yaitu sama dengan maksimum EF dari aktivitas-aktivitas pendahulunya.
3. Hitung waktu EF menggunakan persamaan 1.
4. Ulangi langkah 2 hingga diperoleh ES dan EF untuk semua aktivitas.

2.2. Penghitungan Dengan *Backward Pass*

Penghitungan dengan Teknik *Backward Pass* mengikuti prosedur yang sama dengan Teknik *Forward Pass*, tetapi fokus pada waktu *earliest* dan *latest finish*. Dalam Teknik ini, waktu *earliest finish* ditentukan secara konsisten dengan batasan pada waktu mulai suatu aktivitas. Berarti, jadwal suatu aktivitas tidak mungkin dikerjakan jika waktu *latest finish* (LF) lebih kecil dari waktu *earliest start* (ES). Oleh karena itu, jika tidak ada penundaan dalam proyek, waktu mulai paling lambat untuk suatu aktivitas adalah:

$$LS = LF - t \quad (2)$$

Prosedur pada *Backward Pass* dapat diringkas sebagai berikut:

1. Untuk setiap aktivitas di *node* terakhir (termasuk simpul akhir), tetapkan LF dengan LS .
2. Berikutnya, tentukan LF suatu aktivitas yaitu sama dengan minimum LS dari aktivitas-aktivitas penerusnya.
3. Hitung waktu LS menggunakan persamaan 2.
4. Ulangi langkah 2 hingga diperoleh LS dan LF untuk semua aktivitas.

2.3. Penghitungan Waktu *Slack*

Hasil penghitungan dengan kedua teknik di atas memberikan informasi waktu aktivitas yang meliputi parameter waktu mulai paling awal, waktu mulai paling akhir, waktu selesai paling awal dan waktu selesai paling akhir, secara langsung. Waktu *slack* untuk suatu aktivitas mengacu pada lamanya waktu yang dapat ditoleransi tanpa menimbulkan penundaan dalam waktu penyelesaian proyek yang telah dijadwalkan. Waktu *slack* per aktivitas perlu dihitung terlebih dahulu untuk mengidentifikasi jalur kritis, dengan mempertimbangkan waktu mulai atau waktu selesai suatu aktivitas. Oleh karena itu, untuk setiap aktivitas dalam jaringan proyek, waktu *slack* dapat dihitung sebagai berikut:

$$Slack = LS - ES = LF - EF \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjadwalan proyek adalah faktor penting dalam keberhasilan manajemen proyek. Jika informasi disajikan dengan cara yang efektif, hal tersebut dapat membantu pihak pengelola dalam memahami seluruh aktivitas dan hubungan antar aktivitas [13]. Selain itu, banyak individu dan pihak yang terlibat dalam setiap proyek, yang perlu memahami tugas dan masing-masing tanggung jawab. Dalam hal ini, representasi secara grafis dari penjadwalan proyek dapat membuat pihak pengelola lebih mudah memahami informasi-informasi penting tersebut [14].

Pada model jaringan proyek, berdasarkan durasi jalur kritis, waktu minimum yang diperlukan untuk penyelesaian suatu proyek dapat diidentifikasi. Jika jalur kritis yang dihasilkan lebih dari satu,

maka waktu penyelesaian proyek dapat ditunda karena adanya keterlambatan aktivitas di jalur kritis mana pun. Hasil penghitungan dengan teknik *Forward Pass* dan *Backward Pass* selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Aktivitas dan Penghitungan Waktu Penyelesaian Proyek PLTS Dengan CPM

Aktivitas	Kode	Aktivitas Pendahuluan	Durasi (Minggu)	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack
Studi Kelayakan	A	-	4	0	4	0	4	0
Koordinasi dan negosiasi dengan masyarakat	B	A	2	4	6	5	7	1
Desain & Penentuan lokasi	C	A	3	4	7	4	7	0
Penyusunan anggaran dan kerjasama pembiayaan	D	B, C	3	7	10	7	10	0
Pembelian material	E	D	2	10	12	10	12	0
Rekrut tenaga kerja	F	D	2	10	12	10	12	0
Penyiapan lokasi	G	E, F	3	12	15	12	15	0
Pengangkutan material ke lokasi	H	G	4	15	19	15	19	0
Pemasangan komponen utama	I	H	2	19	21	20	22	1
Pemasangan sistem proteksi	J	H	3	19	22	19	22	0
Pemasangan terminal monitoring	K	H	2	19	21	20	22	1
Penyambungan jaringan	L	I, J, K	5	22	27	22	27	0
Pengujian	M	L	6	27	33	27	33	0
Pelatihan kepada masyarakat	N	M	2	33	35	33	35	0
Serah terima	O	N	2	35	37	35	37	0

Dengan menggunakan informasi dari Tabel 1, proyek pembangunan instalasi PLTS melalui jaringan *Critical Path Method* telah digambar dalam bentuk jaringan *activity-on-node* dan aktivitas-aktivitas kritis ditampilkan dengan tanda bintang di jaringan (Gambar 3). Setiap aktivitas diwakili oleh sebuah *node* dan busur kemudian digunakan hanya untuk menunjukkan hubungan prioritas antara aktivitas. Secara khusus, *node* untuk setiap aktivitas dengan aktivitas pendahulu memiliki busur yang berasal dari masing-masing aktivitas pendahulunya.

Gambar 3. Jaringan Aktivitas Proyek PLTS

Hasil analisis untuk setiap aktivitas proyek pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat 4 jalur kritis dan aktivitas A, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N dan O termasuk aktivitas kritis. Artinya, keterlambatan terhadap pengerjaan aktivitas-aktivitas tersebut akan menunda waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Jumlah waktu total yang diperlukan untuk menuntaskan pekerjaan proyek PLTS adalah 37 minggu jika tidak ada penundaan. Dengan membandingkan hasil penelitian saat ini dengan penelitian lain yang dilakukan pada topik serupa, dapat disimpulkan bahwa penjadwalan pembangunan pembangkit tenaga surya adalah skenario yang berbeda dari yang disajikan dalam literatur meskipun juga ada kesamaan dalam banyak aspek. Perbedaan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor seperti ketidakpastian durasi yang diharapkan dari setiap aktivitas. Akhirnya, perlu diingat bahwa kompleksitas proyek PLTS tersebut meningkat ketika ketergantungan antar aktivitas juga dipertimbangkan.

4. KESIMPULAN

Perencanaan dan pengendalian jadwal suatu proyek adalah hal utama dalam manajemen proyek konstruksi. Selain itu, teknik pengelolaan proyek yang efektif penting untuk memastikan keberhasilan kinerja proyek. Dalam hal ini, studi ini menerapkan metode penjadwalan proyek untuk analisis dan evaluasi pembangunan pabrik PLTS terpusat *off-grid* dengan kapasitas 3 kW, di Desa Curug Cilember, menggunakan metode jalur kritis (CPM) untuk mengidentifikasi jalur dan aktivitas kritis. Penjadwalan proyek terdiri dari waktu penyelesaian proyek minimum, waktu mulai aktivitas paling awal (*earliest start*) dan paling akhir (*latest start*), waktu selesai aktivitas paling awal (*earliest finish*) dan paling akhir (*latest finish*), waktu *slack* dan aktivitas kritis. Perhitungan parameter-parameter ini dilakukan melalui analisis aktivitas berdasarkan waktu normal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 4 jalur kritis dan aktivitas A, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N dan O termasuk dalam jalur kritis, dimana munculnya keterlambatan dalam dimulainya aktivitas-aktivitas tersebut akan menunda waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Jumlah waktu total yang diperlukan untuk menuntaskan pekerjaan proyek PLTS adalah 37 minggu jika tidak ada penundaan. Penerapan metode jalur kritis dapat memperbaiki jadwal yang digunakan sebelumnya dan hal ini akan membantu manajer proyek dalam menangani masalah agar penyelesaian proyek dapat dikerjakan tepat waktu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) yang telah memberi dukungan untuk membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Agustian, A. Sofyan, N. Thi, and K. Oanh, "Assessment of emissions of greenhouse gases and air pollutants in Indonesia and impacts of national policy for elimination of kerosene use in cooking," *Atmos. Environ.*, vol. 154, pp. 82–94, 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.01.041.
- [2] K. Kunaifi, A. J. Veldhuis, and A. H. M. E. Reinders, *The electricity grid in Indonesia: the experiences of end-users and their attitudes toward solar photovoltaics*. 2020.
- [3] D. J. Ji and P. Zhou, "Marginal abatement cost, air pollution and economic growth: Evidence from Chinese cities," *Energy Econ.*, vol. 86, 2020, doi: 10.1016/j.eneco.2019.104658.
- [4] M. H. Hasan, T. M. I. Mahlia, and H. Nur, "A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 2316–2328, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.12.007.
- [5] Otoritas Jasa Keuangan, "Energi Bersih Untuk Lembaga Jasa Keuangan," 2014.
- [6] A. J. Veldhuis and A. H. M. E. Reinders, "Reviewing the potential and cost-effectiveness of off-grid PV systems in Indonesia on a provincial level," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 757–769, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.126.
- [7] H. H. Goh, S. W. Lee, Q. S. Chua, K. C. Goh, B. C. Kok, and K. T. K. Teo, "Renewable energy project: Project management, challenges and risk," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 917–932, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.078.
- [8] A. H. I. Lee, H. Y. Kang, and T. T. Huang, "Project Management Model for Constructing a Renewable Energy Plant," *Procedia Eng.*, vol. 174, pp. 145–154, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.186.
- [9] S. Zareei, "Project scheduling for constructing biogas plant using critical path method," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. August 2017, pp. 756–759, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.025.
- [10] S. Hartmann and D. Briskorn, "A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 207, no. 1, pp. 1–14, 2010, doi: 10.1016/j.ejor.2009.11.005.
- [11] D. R. Kiran, "Critical path method," in *Production Planning and Control*, Elsevier Inc., 2019, pp. 457–471.
- [12] H. Abdallah, H. M. Emara, H. T. Dorrah, and A. Bahgat, "Using Ant Colony Optimization algorithm for solving project management problems," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 6, pp. 10004–10015, 2009, doi: 10.1016/j.eswa.2008.12.064.
- [13] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction To Operations Research*, Seventh. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [14] T. K. Lim, H. S. Gwak, B. S. Kim, and D. E. Lee, "Integrated carbon emission estimation method for construction operation and project scheduling," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 1211–1220, 2016, doi: 10.1007/s12205-015-0360-x.