Jurnal Teknik Indonesia

Volume 5 Nomor 3 Agustus 2026

https://jti.publicascientificsolution.com/index.php/rp

Keputusan Investasi Proyek Refurbish dan Uprating Unit 6 Plta Ir. H. Djuanda dengan Penganggaran Modal Inkremental

Emilia Rahmadani*, Christiono Utomo

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: emiliarahmadani20112@gmail.com*

Keywords:

Investment Decision; Refurbishment; Uprating; Capital Budgeting; Incremental Analysis; Sensitivity Analysis.

Abstract

This study aims to analyze the financial performance of refurbishment and uprating alternatives and determine investment alternatives based on an incremental capital budgeting approach. The analysis method used is capital budgeting with Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Discounted Payback Period (DPP) indicators. Furthermore, because both alternatives are mutually exclusive, an Incremental IRR analysis is conducted to evaluate additional investment in the uprating alternative compared to the refurbishment alternative. Sensitivity analysis is also conducted with a deterministic approach to changes in CAPEX, OPEX, and revenue to determine the effect of parameter changes on the NPV value and to determine the limit of parameter changes that cause the NPV to become negative. The results show that both investment alternatives produce financial performance that meets the evaluation criteria under basic conditions. The results of the sensitivity analysis indicate that revenue is the most sensitive parameter to changes in the NPV value in both alternatives. Based on the switching value, the refurbishment alternative has a greater tolerance limit for increases in CAPEX and decreases in revenue, namely CAPEX increases by up to 76% and revenue decreases by up to 17% before the NPV becomes negative. Meanwhile, the uprating alternative yields a negative NPV when CAPEX increases by 27% and revenue decreases by 14%. In terms of OPEX, the uprating alternative has a tolerance limit of 38%, while the refurbishment alternative has a tolerance limit of 33%. The incremental analysis results show an Incremental IRR of 6.82%, higher than the MARR of 6.49%. Thus, the additional investment in the uprating alternative still generates an additional rate of return above the minimum required rate of return, albeit by a relatively limited margin.

Kata Kunci:

Keputusan Investasi; Refurbish; Uprating; Capital Budgeting; Analisis Incremental Analisis Sensitivitas.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja finansial alternatif refurbish dan uprating serta menentukan alternatif investasi berdasarkan pendekatan penganggaran modal inkremental. Metode analisis yang digunakan adalah capital budgeting dengan indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Discounted Payback Period (DPP). Selanjutnya, karena kedua alternatif bersifat mutually exclusive, dilakukan analisis Incremental IRR untuk mengevaluasi tambahan investasi pada alternatif uprating dibandingkan alternatif refurbish. Analisis sensitivitas juga dilakukan dengan pendekatan deterministik terhadap perubahan CAPEX, OPEX, dan revenue untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter terhadap nilai NPV serta menentukan batas perubahan parameter yang menyebabkan NPV menjadi negatif.Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua alternatif investasi menghasilkan kinerja finansial

yang memenuhi kriteria evaluasi pada kondisi dasar. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa revenue merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai NPV pada kedua alternatif. Berdasarkan nilai switching value, alternatif refurbish memiliki batas toleransi yang lebih besar terhadap kenaikan CAPEX dan penurunan revenue, yaitu CAPEX meningkat hingga 76% dan revenue menurun hingga 17% sebelum NPV menjadi negatif. Sementara itu, alternatif uprating menghasilkan NPV negatif ketika CAPEX meningkat hingga 27% dan revenue menurun hingga 14%. Pada parameter OPEX, alternatif uprating memiliki batas toleransi sebesar 38%, sedangkan alternatif refurbish sebesar 33%. Hasil analisis inkremental menunjukkan nilai Incremental IRR sebesar 6,82%, lebih tinggi dibandingkan MARR sebesar 6,49%. Dengan demikian, tambahan investasi pada alternatif uprating masih menghasilkan tingkat pengembalian tambahan di atas tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan, meskipun dengan margin yang relatif terbatas.

Pendahuluan

Indonesia terus mendukung transisi menuju energi bersih dan rendah karbon sesuai target bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 dan minimal 31% pada tahun 2050 (Kementerian ESDM, 2017). Sehingga dalam konteks tersebut, upaya untuk menjaga kontinuitas pasokan energi serta meningkatkan efisiensi pembangkitan menjadi semakin penting. PLTA Ir. H. Djuanda merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi potensial dari air Waduk Jatiluhur dengan mengoperasikan 6 unit pembangkit dengan total kapasitas daya 187,5 MW(Amrozi, Parikesit et al., 2025).

Pada 02 Desember 2022, Unit 6 mengalami partial discharge dan tidak dapat beroperasi. Hasil Initial Inspection menunjukkan bahwa Unit 6 hanya bisa dioperasikan maksimal 25% dari daya nominal dengan risiko terjadi kapitasi pada turbin (vibrasi tinggi). Pemeriksaan lanjutan melalui Generator Assessment Test Report (November – Desember 2023) Unit 6 dinyatakan tidak layak operasi.

Kerusakan ini berdampak pada penurunan kapasitas terpasang dan berkurangnya jumlah produksi listrik PLTA Ir. H. Djuanda. Kondisi idle pada Unit 6 mendasari adanya keputusan investasi strategis agar kapasitas pembangkitan dan unit dapat beroperasi kembali.

Berdasarkan hasil kajian PT Indra Karya serta diskusi teknis dengan HEPP-M/E Principles (Alstom, Voith, Andritz), terdapat dua alternatif penanganan, yaitu Refurbish dan Uprating. Kedua alternatif tersebut menimbulkan adanya gap yang signifikan dari sisi biaya, lingkup pekerjaan, jangka waktu pelaksanaan, serta manfaat yang akan dihasilkan. Alternatif refurbish tidak dilakukann peningkatan kapasitas daya, yaitu kapasitas akan tetap pada 25 MW, sedangkan Uprating dilakukan peningkatan kapasitas daya menjadi ≥32,5 MW (identik dengan unit lainnya). Refurbish memerlukan estimasi biaya sebesar Rp134,48 Miliar dan Uprating memerlukan estimasi biaya sebesar Rp430,08 Miliar.

Oleh karena itu, diperlukan evaluasi finansial secara objektif melalui pendekatan Capital Budgeting, yang dalam penelitian ini menggunakan indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Discounted Payback Period (DPP).

Alternatif investasi proyek antara Refurbish dan Uprating ini bersifat mutually exclusive, yaitu hanya satu dari kedua alternatif tersebut yang dapat dipilih untuk dilaksanakan. Maka diperlukan Analisis Inkremental yang kemudian menggunakan metode IRR Inkremental, untuk membandingkan manfaat tambahan (incremental benefit) dengan biaya tambahan

(incremental cost) antara kedua alternatif. Sehingga dapat dinilai apakah investasi tambahan yang diperlukan untuk Uprating sebanding dengan manfaat ekonomi yang dihasilkan.

Selain evaluasi finansial dasar, proyek pembangkitan listrik memiliki tingkat ketidakpastian tinggi, khususnya pada variabel CAPEX, OPEX, dan revenue/pendapatan. Perubahan pada variabel-variabel tersebut dapat memengaruhi hasil analisis. Oleh karena itu, penelitian ini juga memasukkan analisis sensitivitas untuk menilai ketahanan keputusan investasi terhadap variasi kondisi finansial.

Urgensi penelitian ini didasarkan pada kebutuhan mendesak untuk memulihkan kapasitas terpasang Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda yang saat ini tidak beroperasi. Kondisi idle pada Unit 6 tidak hanya mengurangi kapasitas pembangkitan tetapi juga berdampak pada hilangnya pendapatan penjualan listrik dan menurunnya kontribusi PLTA terhadap sistem kelistrikan Jawa–Madura-Bali. International Energy Agency (IEA) (2021) menekankan bahwa peningkatan kapasitas PLTA melalui modernisasi merupakan salah satu strategi kunci untuk mendukung transisi energi dan mencapai target emisi rendah karbon . Dalam konteks kebijakan nasional, keputusan investasi pada Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda juga sejalan dengan upaya pemerintah Indonesia untuk meningkatkan bauran energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan penganggaran modal inkremental yang mengintegrasikan analisis NPV, IRR, DPP, analisis sensitivitas dengan metode switching value, serta Incremental IRR untuk membandingkan dua alternatif investasi yang bersifat mutually exclusive. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan deterministik dalam analisis sensitivitas untuk mengidentifikasi parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai NPV serta menentukan batas toleransi perubahan parameter sebelum investasi menjadi tidak layak. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menggunakan satu atau dua indikator evaluasi tanpa analisis sensitivitas dan inkremental yang komprehensif. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan konteks operasional waduk multipurpose dan implikasi strategis terhadap pengembangan energi terbarukan.

Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada analisis finansial investasi Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda untuk membandingkan dua alternatif. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan dasar pertimbangan yang komprehensif dan terukur bagi manajemen dalam menentukan pilihan strategi investasi, dengan tetap mempertimbangkan aspek teknis, strategis, dan kebijakan perusahaan.

Metode Penelitian

Pengumpulan Data

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan sekunder, sehingga proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengajukan permohonan data kepada instansi terkait yaitu Perum Jasa Tirta II selaku pengelola Waduk dan PLTA Ir. H. Djuanda. Data primer dan sekunder yang diperlukan adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Inventarisasi Data

No.	Data	Jenis Data	Sumber Data
1	Data teknis dan hasil asesmen teknis Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda	Sekunder	Perum Jasa Tirta II
2	Data biaya aktual proyek - Biaya investasi - Biaya operation & maintenance	Sekunder	Perum Jasa Tirta II
3	Estimasi peningkatan kapasitas daya	Sekunder	Perum Jasa Tirta II
4	Laporan keuangan	Sekunder	Perum Jasa Tirta II
5	Data historis produksi listrik	Sekunder	Perum Jasa Tirta II
6	Risk-free rate	Sekunder	Bank Indonesia
7	Expected market return dan Koefisien Beta	Sekunder	Dataset Damodaran

Hasil dan Pembahasan

Ringkasan hasil analisis investasi pada alternatif refurbish dan uprating dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil tersebut, kedua alternatif investasi menunjukkan karakteristik finansial yang berbeda baik dari sisi kebutuhan investasi awal, tingkat pengembalian investasi, sensitivitas terhadap perubahan parameter, maupun manfaat finansial yang dihasilkan selama masa investasi proyek berlangsung.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Analisis Investasi Refurbish dan Uprating

No.	Parameter	Refurbish	Uprating
1	MARR	6,49%	
2	CAPEX	Rp 134.483.840.430	Rp 430.079.784.173
3	NPV	Rp 89.910.049.246	Rp 99.855.020.208
4	IRR	20,31%	9,17%
5	DPP	5,59 Tahun	20,14 Tahun
6	Sensitivitas	1. Revenue2. OPEX3. CAPEX	1. Revenue2. CAPEX3. OPEX
7	Incremental IRR	**6,82%**	

Berdasarkan hasil analisis NPV, alternatif uprating menghasilkan nilai NPV yang lebih besar dibandingkan alternatif refurbish. Hal tersebut menunjukkan bahwa alternatif uprating mampu menghasilkan manfaat finansial total yang lebih besar selama masa investasi proyek berlangsung.

Namun demikian, hasil analisis IRR menunjukkan bahwa alternatif refurbish memiliki nilai IRR yang lebih tinggi dibandingkan alternatif uprating. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa alternatif refurbish memiliki tingkat efisiensi pengembalian investasi yang lebih baik terhadap modal yang diinvestasikan dibandingkan alternatif uprating.

Selain itu, hasil analisis DPP menunjukkan bahwa alternatif refurbish memiliki periode pengembalian investasi yang lebih cepat dibandingkan alternatif uprating. Hal tersebut menunjukkan bahwa alternatif refurbish memiliki risiko pengembalian modal yang relatif lebih rendah dibandingkan alternatif uprating karena waktu pengembalian investasi yang lebih singkat.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter pendapatan (*revenue*) merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai NPV pada kedua alternatif. Hal ini disebabkan karena pendapatan merupakan komponen utama arus kas masuk proyek.

Perubahan pada pendapatan, baik akibat perubahan produksi listrik maupun tarif tenaga listrik, akan langsung memengaruhi kemampuan proyek dalam menghasilkan arus kas bersih.

Berdasarkan hasil *switching value*, alternatif *refurbish* menunjukkan tingkat ketahanan finansial yang lebih baik dibandingkan alternatif *uprating*. Alternatif *refurbish* baru menghasilkan NPV negatif ketika CAPEX meningkat sebesar 76%, OPEX meningkat sebesar 33%, atau pendapatan menurun sebesar 17%. Sementara itu, alternatif *uprating* menghasilkan NPV negatif ketika CAPEX meningkat sebesar 27%, OPEX meningkat sebesar 38%, atau pendapatan menurun sebesar 14%. Hasil ini menunjukkan bahwa alternatif *uprating* lebih rentan terhadap perubahan biaya investasi, biaya operasional, maupun penurunan pendapatan.

Meskipun demikian, hasil analisis inkremental menunjukkan bahwa nilai *Incremental IRR* sebesar 6,82% masih lebih besar dibandingkan MARR sebesar 6,49%. Hal ini menunjukkan bahwa tambahan investasi pada alternatif *uprating* masih mampu menghasilkan tingkat pengembalian tambahan yang memenuhi tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan. Dengan demikian, secara inkremental, tambahan investasi pada alternatif *uprating* masih dapat diterima.

Namun, selisih antara *Incremental IRR* dan MARR relatif kecil, yaitu sebesar 0,33%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keputusan investasi pada alternatif *uprating* memiliki margin pengembalian tambahan yang terbatas. Meskipun tambahan investasi *uprating* masih dapat diterima secara inkremental, alternatif tersebut memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan parameter investasi dibandingkan alternatif *refurbish*.

Implikasi Manajerial

Hasil penelitian ini memberikan implikasi manajerial terhadap proses pengambilan keputusan investasi pada Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda. Implikasi tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek finansial, tetapi juga mencakup aspek operasional pembangkit, pengelolaan risiko, fungsi multipurpose waduk, serta kontribusi terhadap pengembangan energi baru terbarukan. Oleh karena itu, hasil analisis investasi perlu dipahami sebagai dasar evaluasi yang bersifat komprehensif, tidak hanya berdasarkan indikator finansial, tetapi juga berdasarkan konsekuensi teknis dan strategis dalam pengelolaan aset pembangkit.

a. Implikasi terhadap Pengambilan Keputusan dan Pengelolaan Risiko Finansial

Hasil analisis menunjukkan bahwa Alternatif *refurbish* memiliki kebutuhan investasi awal yang lebih rendah, periode pengembalian investasi yang lebih cepat, serta tingkat ketahanan finansial yang lebih baik terhadap perubahan parameter investasi. Sementara itu, alternatif *uprating* membutuhkan investasi awal yang lebih besar, tetapi memberikan potensi peningkatan kapasitas pembangkit dan manfaat operasional yang lebih luas dalam jangka panjang.

Dari sisi finansial, hasil analisis inkremental menunjukkan bahwa tambahan investasi pada alternatif *uprating* masih menghasilkan *Incremental IRR* sebesar 6,82%, atau sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai MARR sebesar 6,49%. Kondisi ini menunjukkan bahwa tambahan investasi pada alternatif *uprating* masih dapat diterima secara finansial, meskipun margin pengembaliannya relatif terbatas.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa pendapatan merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai NPV pada kedua alternatif investasi. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan proyek sangat dipengaruhi oleh kemampuan pembangkit dalam mempertahankan produksi listrik dan pendapatan penjualan tenaga listrik selama masa

investasi. Dalam konteks PLTA, produksi listrik sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, pola operasi waduk, kebutuhan pelepasan air ke hilir, dan keandalan unit pembangkit.

Apabila alternatif *uprating* dipertimbangkan, manajemen perlu memperkuat mekanisme pengendalian risiko, terutama pada aspek pengendalian CAPEX, pengelolaan OPEX, serta validasi proyeksi pendapatan. Kenaikan biaya investasi atau penurunan pendapatan yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan nilai investasi secara signifikan.

b. Implikasi terhadap Preferensi Risiko Stakeholder

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keputusan investasi antara alternatif refurbish dan uprating tidak hanya menghasilkan perbedaan dari sisi indikator finansial, tetapi juga menunjukkan adanya perbedaan karakteristik risiko dan orientasi manfaat. Alternatif refurbish memiliki keunggulan pada tingkat pengembalian investasi yang lebih tinggi, periode pengembalian yang lebih cepat, serta ketahanan finansial yang lebih baik terhadap perubahan parameter investasi. Sebaliknya, alternatif uprating memiliki keunggulan pada nilai NPV yang lebih besar, peningkatan kapasitas pembangkit, fleksibilitas operasi, serta kesesuaian dengan arah strategis pengembangan energi baru terbarukan. Namun demikian, hasil analisis inkremental menunjukkan bahwa selisih antara Incremental IRR dan MARR relatif kecil, yaitu sebesar 0,33%. Kondisi ini menunjukkan bahwa alternatif uprating masih dapat diterima secara finansial, tetapi memiliki ruang toleransi yang terbatas terhadap perubahan asumsi investasi.

Dengan demikian, keputusan investasi perlu mempertimbangkan preferensi risiko stakeholder. Apabila perusahaan lebih menekankan pada efisiensi pengembalian modal, periode pengembalian yang cepat, dan ketahanan terhadap risiko perubahan parameter, maka alternatif refurbish menjadi pilihan yang lebih konservatif. Namun, apabila perusahaan lebih berorientasi pada peningkatan kapasitas, optimalisasi aset jangka panjang, fleksibilitas operasi pembangkit, dan nilai strategis terhadap pengembangan energi terbarukan, maka alternatif uprating dapat dipertimbangkan sebagai pilihan investasi yang lebih bernilai secara strategis.

Oleh karena itu, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan sebagai ilustrasi tambahan untuk menggambarkan bagaimana pembobotan terhadap kriteria finansial dan non-finansial dapat memengaruhi arah keputusan investasi. Analisis ini tidak diposisikan sebagai metode utama penelitian, melainkan sebagai alat bantu manajerial untuk memahami preferensi pengambilan keputusan.

Kriteria yang digunakan dalam ilustrasi pembobotan meliputi NPV, IRR, DPP, Risiko Sensitivitas, Kapasitas dan Keandalan Pembangkit, serta Nilai Strategis Perusahaan. Berdasarkan hasil pembobotan expert judgment, kriteria dengan bobot terbesar adalah Nilai Strategis Perusahaan, diikuti oleh Kapasitas dan Keandalan Pembangkit serta Risiko Sensitivitas. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks pengambilan keputusan manajerial, aspek strategis dan operasional dapat menjadi pertimbangan penting di luar indikator finansial individual.

Hasil ilustrasi pembobotan menunjukkan bahwa alternatif uprating memperoleh nilai prioritas yang lebih tinggi dibandingkan alternatif refurbish. Kondisi ini terjadi karena uprating lebih unggul pada kriteria NPV, Kapasitas dan Keandalan Pembangkit, serta Nilai Strategis Perusahaan. Sementara itu, alternatif refurbish tetap memiliki keunggulan pada kriteria IRR, DPP, dan Risiko Sensitivitas. Dengan demikian, hasil tersebut memperlihatkan adanya perbedaan orientasi keputusan antara pendekatan konservatif dan pendekatan strategis.

Apabila stakeholder memiliki preferensi risiko yang konservatif, maka alternatif refurbish dapat dipandang lebih sesuai karena memiliki investasi awal lebih rendah, periode pengembalian lebih cepat, dan ketahanan finansial yang lebih baik terhadap perubahan parameter. Namun, apabila stakeholder lebih berorientasi pada peningkatan kapasitas, optimalisasi aset pembangkit, fleksibilitas operasi, dan dukungan terhadap strategi pengembangan energi baru terbarukan, maka alternatif uprating dapat dipertimbangkan sebagai pilihan yang lebih bernilai secara strategis.

Dengan demikian, implikasi manajerial dari hasil ini adalah bahwa keputusan akhir investasi perlu mempertimbangkan preferensi risiko stakeholder. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar bagi manajemen untuk mengevaluasi keseimbangan antara manfaat finansial, risiko investasi, kebutuhan operasional, dan arah strategis perusahaan dalam menentukan alternatif investasi Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda.

c. Implikasi terhadap Operasi Waduk Multipurpose

PLTA Ir. H. Djuanda berada pada sistem Waduk Jatiluhur yang memiliki fungsi multipurpose. Artinya, operasi waduk tidak hanya ditujukan untuk pembangkitan listrik, tetapi juga berkaitan dengan kebutuhan pengairan di hilir, penyediaan air baku, pengendalian banjir, serta pengelolaan sumber daya air secara keseluruhan. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas pembangkit melalui alternatif uprating tidak secara otomatis berarti peningkatan produksi listrik dapat dilakukan setiap saat secara maksimal.

Dalam konteks PLTA pada waduk multipurpose, pelepasan air melalui turbin tetap harus mempertimbangkan kebutuhan air di hilir. Pembangkit tidak dapat secara sepihak meningkatkan debit air keluar turbin hanya untuk mengejar produksi energi listrik, karena pengaturan debit harus disesuaikan dengan kebutuhan irigasi, air baku, kondisi waduk, dan kebijakan pengelolaan sumber daya air. Dengan demikian, potensi peningkatan kapasitas pada alternatif uprating perlu dipertimbangkan dengan adanya batasan operasional waduk.

d. Implikasi terhadap Fleksibilitas Operasi Pembangkit

Meskipun terdapat keterbatasan operasi akibat fungsi multipurpose waduk, alternatif uprating tetap memiliki nilai strategis dari sisi fleksibilitas operasi pembangkit. Kapasitas Unit 6 yang lebih besar dapat memberikan manfaat ketika ketersediaan air tinggi, terutama pada musim basah. Pada kondisi tersebut, debit air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih optimal untuk menghasilkan energi listrik apabila kapasitas pembangkit mencukupi.

Selain itu, peningkatan kapasitas Unit 6 juga dapat memberikan manfaat ketika unit lain, yaitu Unit 1 sampai Unit 5, sedang berada dalam masa pemeliharaan, gangguan, atau overhaul. Dalam kondisi tersebut, Unit 6 dengan kapasitas yang lebih besar dapat berperan sebagai unit pendukung untuk menjaga kemampuan produksi energi listrik pembangkit secara keseluruhan. Dengan demikian, alternatif *uprating* dapat meningkatkan fleksibilitas sistem pembangkit dalam merespons kondisi operasi yang dinamis.

Sebaliknya, apabila alternatif yang dipilih hanya refurbish, maka kapasitas Unit 6 tetap relatif terbatas. Alternatif tersebut memang memiliki risiko finansial yang lebih rendah dan periode pengembalian investasi yang lebih cepat, tetapi kemampuan unit untuk mengakomodasi peningkatan produksi pada saat debit tinggi atau ketika unit lain tidak beroperasi menjadi lebih terbatas.

e. Implikasi terhadap Strategi Pengembangan Energi Baru Terbarukan

Alternatif *uprating* juga memiliki implikasi strategis terhadap pengembangan energi baru terbarukan (EBT). PLTA merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berperan penting dalam mendukung bauran energi bersih. Dengan adanya peningkatan kapasitas pembangkit, alternatif uprating berpotensi meningkatkan kontribusi terhadap produksi energi listrik berbasis EBT.

Dari sudut pandang perusahaan, peningkatan kapasitas PLTA dapat mendukung pencapaian kinerja perusahaan dalam pengembangan pembangkit berbasis energi terbarukan. Hal ini relevan dengan arah kebijakan transisi energi serta peningkatan kontribusi BUMN dalam mendukung agenda energi bersih nasional. Dengan demikian, manfaat alternatif *uprating* tidak hanya terbatas pada aspek finansial proyek, tetapi juga berkaitan dengan nilai strategis perusahaan dalam mendukung pengembangan EBT.

f. Implikasi terhadap Kesiapan Implementasi Proyek

Selain mempertimbangkan aspek finansial, operasional, dan strategis, keputusan investasi juga perlu memperhatikan kesiapan implementasi proyek. Alternatif uprating memiliki ruang lingkup pekerjaan yang lebih kompleks dibandingkan alternatif refurbish karena tidak hanya bertujuan memulihkan fungsi unit, tetapi juga meningkatkan kapasitas dan memperbarui sistem utama pembangkit. Kompleksitas tersebut menuntut kesiapan yang lebih tinggi dalam perencanaan teknis, pengadaan peralatan, koordinasi dengan kontraktor atau vendor, serta pengaturan jadwal pelaksanaan proyek.

Kesiapan implementasi menjadi penting karena hasil analisis inkremental menunjukkan bahwa margin pengembalian tambahan pada alternatif uprating relatif terbatas. Dengan nilai Incremental IRR sebesar 6,82% yang hanya sedikit lebih tinggi dibandingkan MARR sebesar 6,49%, adanya keterlambatan pelaksanaan, kenaikan biaya investasi, atau ketidaksesuaian jadwal pekerjaan dapat berdampak terhadap kelayakan finansial proyek. Oleh karena itu, apabila alternatif uprating dipertimbangkan, manajemen perlu memastikan adanya pengendalian proyek yang ketat, mulai dari tahap perencanaan, penyusunan jadwal, pengendalian biaya, hingga mitigasi risiko pelaksanaan di lapangan. Dengan demikian, keberhasilan investasi tidak hanya ditentukan oleh hasil analisis finansial, tetapi juga oleh kemampuan perusahaan dalam mengelola implementasi proyek secara efektif.

Dengan demikian, implikasi manajerial dari penelitian ini adalah bahwa keputusan investasi pada Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda perlu dilakukan secara komprehensif. Hasil analisis finansial memberikan dasar kuantitatif dalam menilai alternatif investasi, sedangkan pertimbangan operasional dan strategis memberikan konteks yang lebih luas terhadap konsekuensi keputusan tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis investasi pada alternatif refurbish dan uprating Unit 6 PLTA Ir. H. Djuanda menggunakan pendekatan capital budgeting, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Alternatif refurbish dan uprating sama-sama menghasilkan nilai investasi yang memenuhi berdasarkan parameter NPV, IRR, dan DPP. Alternatif refurbish menghasilkan nilai NPV sebesar Rp89.910.049.246, nilai IRR sebesar 20,31%, dan DPP selama 5,59 tahun (5 tahun 7 bulan). Sementara itu, alternatif uprating menghasilkan nilai NPV sebesar

Rp99.855.020.208, nilai IRR sebesar 9,17%, dan DPP selama 20,14 tahun (20 tahun 2 bulan). Alternatif uprating memiliki nilai NPV yang lebih besar, sehingga menunjukkan manfaat finansial total yang lebih tinggi selama masa investasi proyek. Namun demikian, alternatif refurbish memiliki nilai IRR yang lebih tinggi dan periode pengembalian investasi yang lebih cepat, sehingga menunjukkan tingkat efisiensi pengembalian investasi yang lebih baik terhadap modal yang diinvestasikan.

Hasil analisis Incremental IRR menunjukkan nilai sebesar 6,82% > MARR sebesar 6,49% yang menunjukkan bahwa tambahan investasi pada alternatif uprating masih mampu menghasilkan tingkat pengembalian tambahan yang memenuhi tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan. Namun demikian, selisih antara Incremental IRR dan MARR relatif terbatas, yaitu sebesar 0,33%, sehingga keputusan investasi perlu mempertimbangkan preferensi risiko stakeholder dan kesiapan pengendalian risiko proyek.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter Revenue merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai NPV pada kedua alternatif investasi. Pada alternatif refurbish, parameter OPEX memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan CAPEX, sedangkan pada alternatif uprating parameter CAPEX memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan OPEX. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan pendapatan, biaya investasi, dan biaya operasional perlu diperhatikan dalam evaluasi risiko investasi proyek.

REFERENSI

Amrozi, Parikesit, D., Fahmi, M. R., Rachmawati, F., Utomo, C., Hatmoko, J. U. D., Hermawan, F., Handayani, F. S., Safitri, E., & Hendrawan, V. S. A. (2025). *Ekonomi Teknik: Pembelajaran Berbasis Kasus Proyek*. UGM PRESS.

Badan Pusat Statistik. (2026). Suku Bunga Deposito Berjangka Bank Umum. Diakses pada 06 Mei 2026, dari https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjM2OCMy/suku-bunga-deposito-berjangka-bank-umum.html.

Bank Indonesia. (2026). BI-Rate. Diakses pada 06 Mei 2026, dari https://www.bi.go.id/id/fungsi-utama/moneter/bi-rate/default.aspx.

Bank Indonesia. (2026). Data Inflasi. Diakses pada 06 Mei 2026, dari https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx.

Blank, Leland T. dan Anthony J. Tarquin, (2005), Engineering Economy. Edisi ke-7, New York: McGraw-Hill.

Charles T. Horngren, Srikant M. Datar, Madhav V. Rajan (2015), Cost Accounting: A Managerial Emphasis, 15th edition, Pearson Education Limited, London.

Damodaran, A. (2023). Equity risk premiums (ERP): Determinants, estimation, and implications—The 2023 edition. Stern School of Business, New York University. SSRN.

Direktorat Jenderal Pajak. (2026). PPh Pasal 22. Diakses pada 06 Mei 2026, dari https://www.pajak.go.id/id/pph-pasal-22.

Felicioni, L., Casalone, M., L., dan Gaspari, J. (2025), "Integrating Life Cycle Assessment and Cost Analysis in Decision Making: Optimising Design Choices in a Public Building Case Study", Energy and Buildings Research, Vol 347 Part B.

Haque, M.M. et al. (2021). "Impact Of Hydrological Optimization on Hydropower Generation." Renewable Energy, Vol. 163, Hal 1895–1908.

Hartoyo, Y. dan Utomo, C. (2020), Sensitivity Analysis to Determine the Prospect of Toll Road Investment: Case Study Krian–Legundi–Bunder–Manyar Toll Road, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Internatioanl Energy Agency (IEA) (2021). Hydropower Special Market Report: Analysis and forecast to 2030, International Energy Agency, Prancis.
International Hydropower Association (IHA) (2020). Hydropower Sustainability Guidelines. IHA, England.
International Renewable Energy Agency. (2012). Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series: Hydropower. IRENA.
Kementerian ESDM. (2017). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral .
Kementerian PUPR (2017), Modul 08 Operasi Waduk, Bandung: Kementerian PUPR.
Kementerian PUPR (2021), Modul 06 Operasi Bendungan, Bandung: Kementerian PUPR.
Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2017), "Hydropower Resources Assessment and Management." Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, No. (5), Hal. 1125–1159.
K. Kumar and R. P. Saini, "Economic analysis of operation and maintenance costs of hydropower plants," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 53, Art. no. 102704, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102704.
Kothari, D. P., dan Nagrath, I. J. (2019), Modern Power System Analysis, 4th edition, Tata McGraw Hill Education Private Limited, New Delhi.
Kundur, P. (1994), Power System Stability and Control, McGraw-Hill Inc., Toronto.
Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., & Lavelle, J. P. (2014), Engineering Economic Analysis, 12th edition, Oxford University Press, England.
Nurochman, Maman (2023), Analisis Investasi Pembangunan Pabrik Aspal Ekstraksi di Buton, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
Ogayar, B., Vidal, P. G., & Hernandez, J. C. (2009). Analysis of the cost for the refurbishment of small hydropower plants. Renewable Energy, 34(11), 2501–2509. Elsevier.
Perum Jasa Tirta II (2023), Selayang Pandang PLTA Ir. H. Djuanda, Purwakarta: Perum Jasa Tirta II.
PT. Indra Karya (Persero) (2023), Laporan Akhir Rencana Rehabilitasi Pekerjaan Assessment Generator Unit 6 PLTA Jatiluhur - Perum Jasa Tirta II, Laporan Utama, PT. Indra Karya (Persero).
Rahi, O. P., & Chandel, S. S. (2015). Refurbishment and Uprating of Hydropower Plants – a Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48, 126–140.
Rhazzali, A. L., Lakatos, E. S., Minea, G., Cioca, L.-I., Barnisca, M., Ferenci, S., Szabo, L., & Munteanu, R. A. (2025). Measuring circular economy indicator in hydropower refurbishment. Energies, 18(22), 5922.
Ridwan, A.F., Romli, Z., dan Wisudanto (2022), Analisa Kelayakan Investasi Proyek Penggantian Secondary Crusher pada PT Berau Coal Site Binungan, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2015), Engineering Economy, 16th edition. Pearson Education Limited, London.
Supriharta, I.W. (2023), Investment Project Analysis of PT Berau Coal Block A, Block B, and Block C Coal Mining Project Using Discounted Cash Flow Method, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
Suyanto, Hary (2020), Kajian Aspek Finansial pada Analisis Investasi Proyek Peningkatan Kecepatan Kereta Api Koridor Jakarta–Surabaya, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
Todorov, G., Terziev, T., & Kolev, K. (2025). A Methodology for Modernization of Hydropower Unit in Pumped Hydro Energy Storage Systems. Engineering Proceedings, 100(1), 3.

Tomczyk, P., Mastalerek, K., Kociszewski, K., Orzepowski, W., & Wiatkowski, M. (2025). Economic analysis of the operation of a hydropower plant in a wastewater treatment plant: Toruń, Poland. Energies, 18(3).
Van Horne, J. C., & Wachowicz, J. M. (2012). Fundamentals of Financial Management, 13th edition, Pearson Education Limited, London.
Weil, Roman L. dan Michael W. Maher. 2005. Handbook of Cost Management. Edisi ke-2. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
Yadav, N. & Singh, L. (2020), "Performance Improvement of Hydro Turbines Through Refurbishment and Retrofitting." Renewable Energy, Vol. 156, Hal. 1125–1136.
Zugarramurdi. A. dan Maria A. Parin (1995), Economic Engineering Applied to The Fishery Industry, Paper, National University of Mar del Plata, Argentina.