

# Integrating Life Cycle Management and Risk Assessment for Enhanced Investment in Power Plant Equipment Maintenance

Oleh:

Anggara Ibnu Sidharta L

Rita Ambarwati Sukmono

Progam Studi Magister Manajemen  
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Asam Asam, 11 Juli 2025

# Pendahuluan

Investasi memegang peranan penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan bisnis. Dalam lingkup global, kemampuan mengambil keputusan investasi yang tepat menjadi salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh banyak perusahaan. Keputusan investasi yang strategis dapat menjadi penggerak utama dalam menciptakan nilai tambah dan memastikan stabilitas operasional.



Pemeliharaan Pembangkit Listrik merupakan investasi yang berperan penting dalam menjaga keandalan, efisiensi dan operasional. Jenis maintenance pada pembangkit : PM, CM dan PdM. Melalui pemeliharaan rutin dan terencana, gangguan operasional dapat diminimalisir, memperpanjang umur pakai peralatan dan memastikan produksi energi yang berkelanjutan.





# Pertanyaan Penelitian (Rumusan Masalah)



1.

- Bagaimana penerapan Pareto Loss dalam meningkatkan efisiensi, operasional dan keandalan pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

2.

- Bagaimana penerapan Failure Mode dalam meningkatkan efisiensi, operasional dan keandalan pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

3.

- Bagaimana penerapan Life Cycle Management (LCM) dalam menghasilkan keputusan Investasi pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

# Pertanyaan Penelitian (Tujuan Penelitian)



1.

- Menganalisis penerapan Pareto Loss terhadap efisiensi, operasional dan keandalan pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

2.

- Menganalisis penerapan Failure Mode dalam meningkatkan efisiensi, operasional dan keandalan pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

3.

- Menganalisis penerapan Life Cycle Management (LCM) dalam menghasilkan keputusan Investasi pemeliharaan peralatan di Pembangkit ?

# Literature Review

Penelitian sebelumnya telah menggali penggunaan beberapa metode pengelolaan risiko seperti Bow-Tie, BIA, FMEA, dan Ekspansi Cornish-Fisher di sektor energi dan manufaktur, terutama di pembangkit listrik Indonesia dan selama krisis pandemi COVID-19. Akan tetapi, masih diperlukan penelitian lebih mendalam untuk memahami seberapa efektif metode-metode ini saat diaplikasikan di berbagai industri lain atau dalam skenario ekonomi yang beragam. Selanjutnya, pemanfaatan teknologi dan penggunaan optimalisasi Pareto dalam pengambilan Keputusan serta implementasi untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan operasional yang lebih baik.

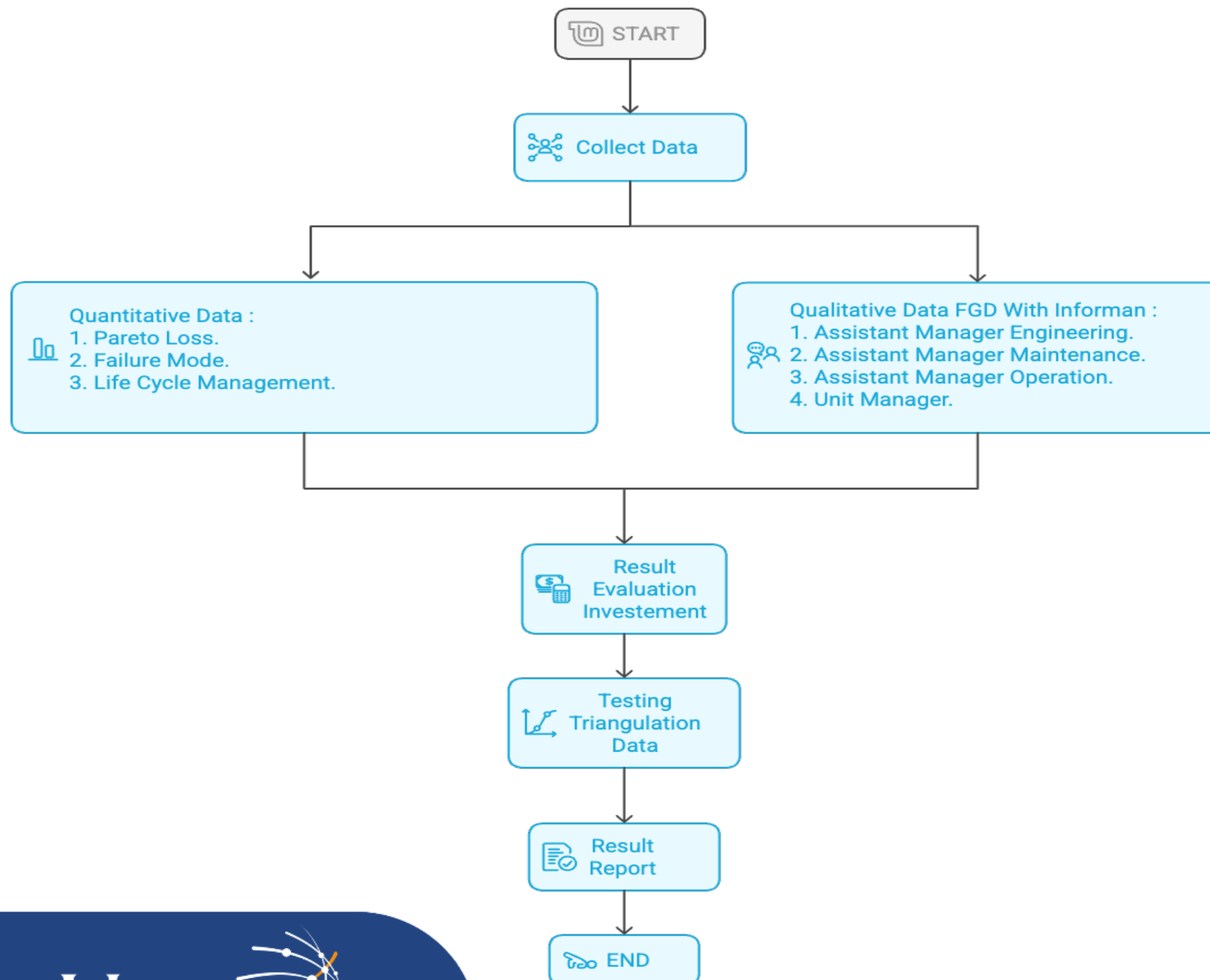


Penelitian berfokus pada pengelolaan investasi di sektor energi melalui integrasi konsep Pareto Loss, Failure Mode dan Life Cycle Management (LCM), dengan studi kasus Pembangkit di Kalimantan Selatan. Penelitian ini menekankan pada pengambilan keputusan investasi strategis untuk memastikan efisiensi operasional dan keberlanjutan jangka panjang. Dengan pendekatan berbasis data, penelitian ini mengisi celah dalam literatur dengan mengaplikasikan prinsip Pareto dan LCM dalam konteks sektor energi, sesuatu yang belum dibahas dalam penelitian sebelumnya.



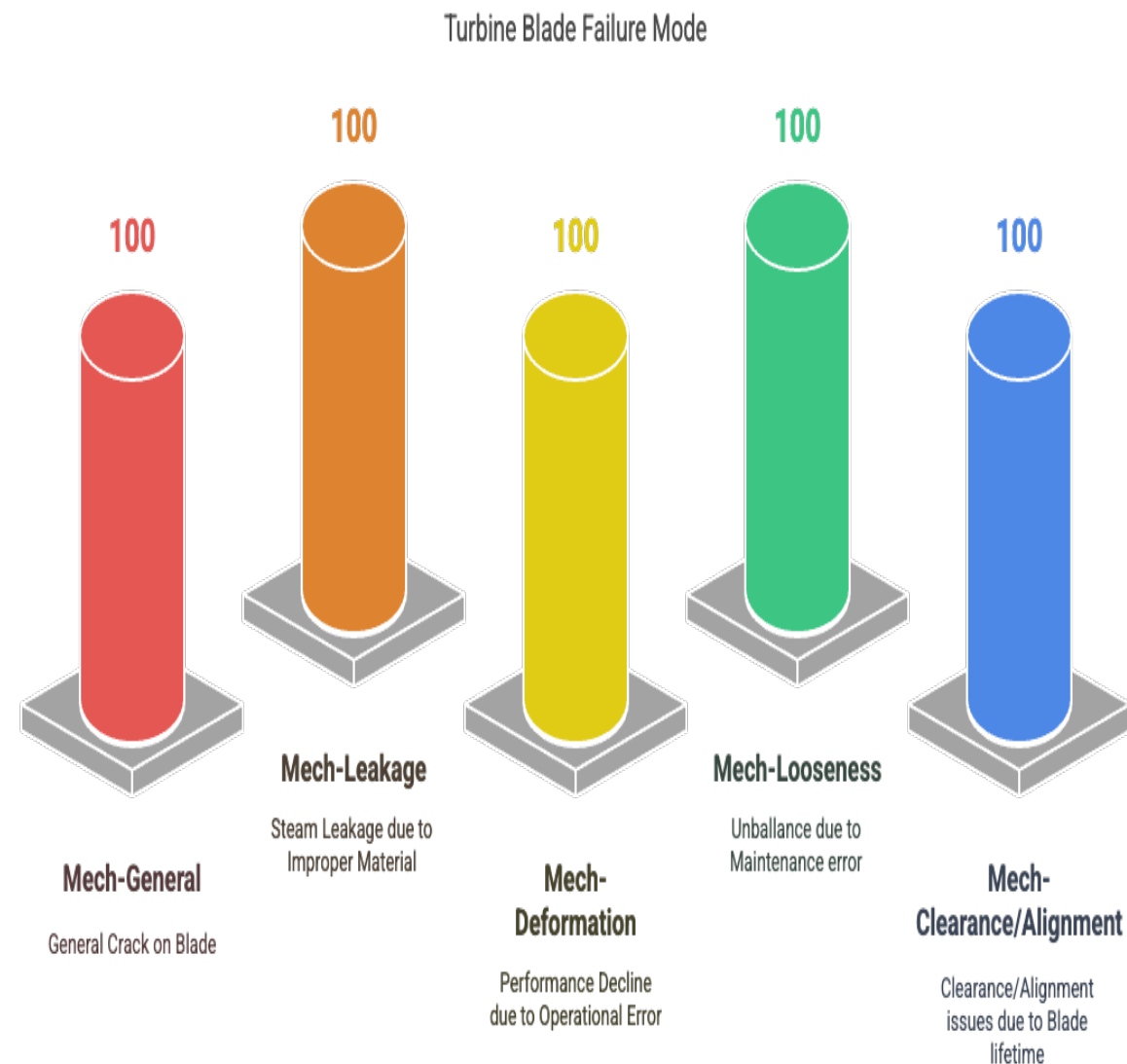
# Metode Penelitian

Investment Decision-Making Flow Chart



Penelitian ini menggunakan Concurrent Mixed Methods dengan menggabungkan secara bersamaan metode kuantitatif dan kualitatif yang menganalisis penerapan konsep Pareto Loss, Failure Mode dan Life Cycle Management (LCM) dalam meningkatkan efisiensi keputusan investasi di Pembangkit.

# Hasil dan Pembahasan



Berdasarkan Top Ten Pareto, komponen penyumbang kegagalan terbesar terhadap menurunnya performa unit pembangkit adalah blade turbine.

Blade Turbine sendiri memiliki peranan penting dalam pembangkit sebagai penggerak rotor turbin secara efisien dengan mengubah mengubah energi termal menjadi energi kinetic.

Derating Operasional sehingga berdampak pada Efisiensi Turun ( $\uparrow$ NPHR,  $\downarrow$ Efisiensi).

*Failure Mode Analysis* yang menunjukkan mode kegagalan pada blade turbine : *Mech-Looseness*, *Mech-Deformation*, *Mech-Leakage*, *Mech-General*, hingga *Mech-Clearance/Alignment* dengan nilai maksimum.

Mode kegagalan paling signifikan berasal dari *Mech-Looseness*, yang menyebabkan ketidakseimbangan rotor dan vibrasi ekstrem, serta *Mech-Deformation* akibat suhu, tekanan operasi yang tinggi dan lifetime blade turbine.

# Hasil dan Pembahasan

$$EFOR = \frac{FOH + EFDH}{FOH + SH + EFDHRS} \times 100\%$$

1.75 %

$$EAF = \frac{POH - FOH - EFDH - EFDHRS}{POH} \times 100\%$$

98.25 %

Berdasarkan hasil perhitungan Equivalent Forced Outage Rate (EFOR), didapatkan nilai sebesar **1,75%** dari total waktu operasional unit PLTU XYZ selama periode pengamatan. Nilai EFOR sebesar 1,75% menunjukkan tingkat gangguan dalam bentuk derating yang masih tergolong rendah, keandalan unit PLTU masih terjaga dengan baik, dengan waktu gangguan relatif kecil dibandingkan total jam operasi. Meskipun gangguan dalam bentuk *forced outage* tidak terjadi sama sekali, kehadiran derating sebesar 151 jam tetap menjadi sinyal penting akan adanya anomali teknis dari kerusakan pada blade turbin.

Nilai **EAF sebesar 98.25%**, nilai EAF sebesar ini merupakan indikasi bahwa tingkat ketersediaan operasional unit sangat tinggi. Artinya, unit mampu menyediakan tenaga listrik mendekati kapasitas penuh hampir sepanjang waktu operasional, dengan gangguan yang relatif kecil. Hal ini menandakan adanya gangguan berat pada sistem, yang disebabkan oleh kerusakan signifikan pada Blade Turbin, sebagaimana dianalisis dalam failure mode sebelumnya. Kerusakan blade menyebabkan penurunan performa (derating), bukan outage penuh.

- FOH = 0 jam
- EFDH = 151 jam
- SH = 8.609 jam
- EFDHRS = 0 jam
- POH = 8.609 jam
- FOH = 0 jam



# Hasil dan Pembahasan

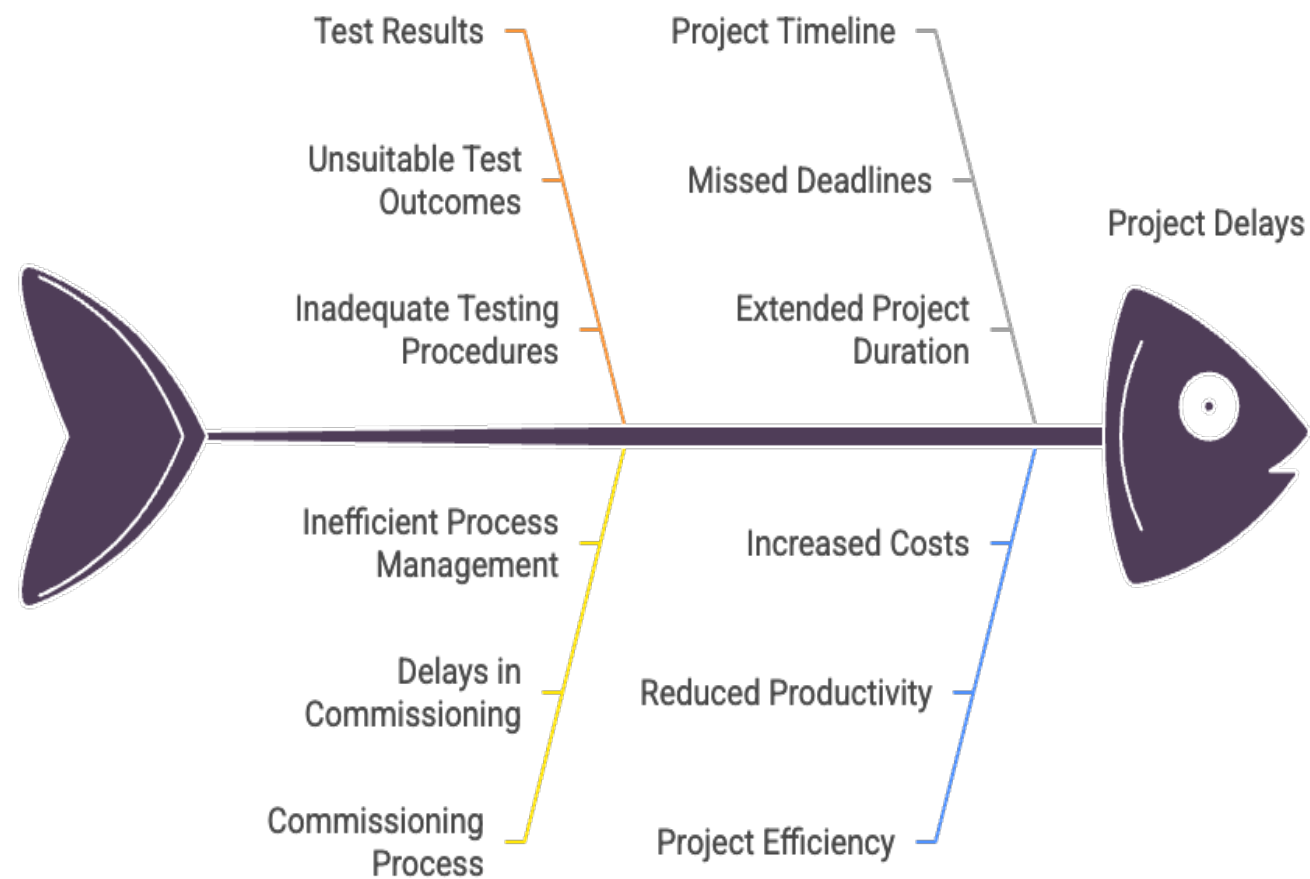
Parameter	Nilai	Interpretasi
Net Present Value	Rp54.966.699.091	NPV sangat positif menunjukkan proyek menghasilkan nilai tambah besar
Internal Rate of Return	164%	IRR jauh lebih tinggi dari discount rate, investasi sangat layak
Payback Period	1 tahun	PP hanya 1 tahun, menunjukkan pengembalian modal sangat cepat
Benefit-Cost Ratio	16,44 kali	Setiap Rp1 investasi menghasilkan Rp16,44 manfaat, sangat efisien

Hasil analisis finansial proyek investasi penggantian Blade Turbine PLTU XYZ dinyatakan sangat layak. Nilai **Net Present Value (NPV)** sebesar **Rp54,97 miliar** menunjukkan keuntungan bersih yang signifikan dalam 10 tahun. **Internal Rate of Return (IRR)** mencapai **164%**, jauh melampaui tingkat diskonto 9,71%, menandakan tingkat pengembalian investasi yang sangat tinggi. **Payback Period (PP)** hanya **1 tahun**, yang mencerminkan pengembalian modal sangat cepat dan minim risiko likuiditas. Sementara itu, **Benefit-Cost Ratio (B/C)** sebesar **16,44** menunjukkan bahwa setiap **Rp1 investasi menghasilkan Rp16,44 manfaat**, menandakan efisiensi finansial yang luar biasa. Temuan ini memperkuat bahwa proyek sangat menguntungkan secara teknis dan ekonomis.



# Hasil dan Pembahasan

## Analyzing Project Delays Due to Test Results



Sumber utama risiko dalam investasi blade turbin PLTU XYZ. Risiko tertinggi berasal dari empat area : **perencanaan, pelaksanaan, pengadaan, dan pengujian/komisioning.**

Pada tahap perencanaan, kesalahan desain dan kurangnya review menyebabkan spesifikasi blade tidak sesuai kondisi lapangan.

Pelaksanaan menghadapi risiko keterlambatan proyek dan kendala logistik yang berdampak pada jadwal shutdown.

Pengadaan, klausul kontrak yang lemah dan keterbatasan vendor meningkatkan risiko kualitas.

Pengujian dan komisioning rawan gagal uji performa dan keterlambatan operasional ulang.

# Hasil dan Pembahasan

Aspek	Tesis Terdahulu	Tesis Ini
Pendekatan	Umumnya menggunakan FMEA, BIA, atau analisis teknis saja	Menggabungkan LCM, Pareto Loss, dan Failure Mode
Objek	Turbin atau sistem secara umum	Spesifik pada Blade Row 14 di PLTU XYZ
Metode Validasi	Sekunder atau survei	Triangulasi: data primer, waktu, metode
Output Keputusan	Rekomendasi teknis atau operasional	Keputusan investasi berbasis kelayakan finansial dan teknis
Kontribusi Praktis	Umumnya untuk pengembangan pengetahuan	Memberikan solusi investasi aplikatif untuk perpanjangan umur aset

**Pendekatan Triangulasi Data**, tesis ini menggunakan pendekatan triangulasi (sumber data, metode, waktu) yang belum banyak diterapkan dalam penelitian-penelitian sebelumnya di sektor pembangkit. Validasi data dilakukan dari wawancara ahli, observasi teknis, dan dokumen historis kinerja peralatan.

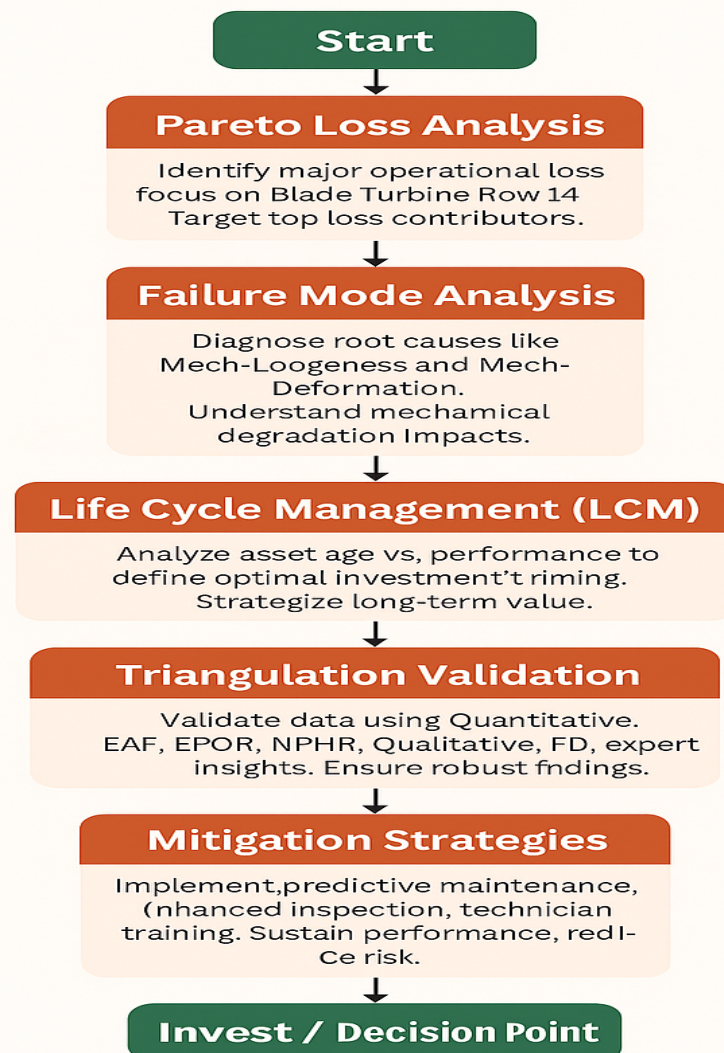
**Fokus Spesifik pada Blade Row 14**, merupakan studi kasus pertama yang secara eksplisit menyoroti *Row 14* blade turbin sebagai objek keputusan investasi berbasis LCM, menjadikannya unik dibanding tesis lain yang biasanya membahas turbin secara umum.

Tesis ini menggabungkan **Life Cycle Management, Pareto Loss Analysis**, dan **Failure Mode** secara dalam dan menganalisa serta mengevaluasi strategi investasi dan menjadikannya framework yang belum digunakan di karya ilmiah sebelumnya. **Hasil berbasis Mix Methods (Kuantitatif-Kualitatif)**, kombinasi antara : NPV, IRR, EAF, dan EFOR dengan FGD teknis serta observasi langsung memperkuat validitas analisis, tidak hanya menampilkan angka tetapi juga insight kontekstual pengambilan keputusan.



# Hasil dan Pembahasan

## Investment Execution Flowchart (Enhanced 8-Step Version)



Framework penelitian dibangun atas dasar keterkaitan antara kinerja operasional pembangkit, risiko teknis komponen kritis, dan strategi pengambilan keputusan investasi berbasis data.

Titik awal dari kerangka pemikiran ini adalah identifikasi kerugian terbesar melalui **analisis Pareto Loss**, yang menyoroti bahwa gangguan derating terbesar berasal dari kerusakan Blade Turbine Row 14.

Selanjutnya, melalui **Failure Mode Analysis**, ditemukan bahwa *Mech-Looseness* dan *Deformation* merupakan penyebab dominan penurunan performa, yang mengarah pada peningkatan **Equivalent Forced Outage Rate (EFOR)** dan penurunan **Equivalent Availability Factor (EAF)** serta efisiensi termal (*Net Plant Heat Rate*).

Langkah berikutnya dalam kerangka ini adalah penerapan **Life Cycle Management (LCM)** sebagai pendekatan strategis untuk memetakan umur teknis aset dan menentukan waktu optimal investasi. LCM digunakan untuk mengintegrasikan temuan teknis dengan analisis kelayakan finansial melalui parameter **Net Present Value (NPV)**, **Internal Rate of Return (IRR)**, **Payback Period (PP)**, dan **Benefit/Cost Ratio (B/C)**. Pendekatan ini memungkinkan penilaian menyeluruh, baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

Untuk memperkuat validitas keputusan, framework ini didukung oleh **metode triangulasi** menggabungkan data kuantitatif (EAF, EFOR, NPHR, NPV, IRR) dan kualitatif (wawancara ahli, observasi lapangan, FGD) serta mempertimbangkan dimensi waktu dan sumber.

# KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan Life Cycle Management (LCM) yang dikombinasikan dengan pendekatan Pareto Loss dan Failure Mode Analysis terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi keputusan investasi pada Blade Turbine Row 14 di PLTU XYZ.

Temuan utama menunjukkan bahwa gangguan bertipe *Mech-Looseness* dan *Deformation* merupakan penyebab dominan derating, dengan total waktu gangguan mencapai lebih dari 700 jam dan berdampak pada penurunan efisiensi termal serta peningkatan NPHR hingga 3637,69 kCal/kWh pada tahun 2024.

Secara finansial, investasi senilai Rp5,95 miliar dinyatakan sangat layak, didukung oleh perhitungan NPV sebesar Rp54,97 miliar, IRR mencapai 164%, *Payback Period* hanya 1 tahun, dan rasio *Benefit/Cost* sebesar 16,44 kali.

Penelitian ini memberikan kontribusi strategis terhadap pengambilan keputusan investasi dengan menyajikan model integratif berbasis data aktual dan konteks operasional. Namun demikian, studi ini memiliki keterbatasan pada cakupan lokasi tunggal dan rentang waktu observasi satu tahun, serta belum mempertimbangkan pengaruh faktor eksternal seperti dinamika pasar atau kebijakan energi nasional.

Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan mencakup lebih banyak unit pembangkit, memperpanjang periode evaluasi, serta mengintegrasikan teknologi digital seperti *real-time monitoring* dan *predictive analytics* untuk menghasilkan keputusan investasi yang lebih presisi dan adaptif terhadap perubahan.

# Referensi

- [1] A. Ocolișanu, G. Dobrotă, and D. Dobrotă, "The Effects of Public Investment on Sustainable Economic Growth: Empirical Evidence from Emerging Countries in Central and Eastern Europe," *Sustainability*, vol. 14, no. 14, p. 8721, 2022, doi: 10.3390/su14148721.
- [2] R. Ambarwati, R. Dijaya, and I. Anshory, "A multi-method study of risk assessment and human risk control for power plant business continuity in Indonesia," *Results in Engineering*, vol. 21, p. 101863, 2024.
- [3] G. Murehwa, D. Zimwara, W. Tumbudzuku, and S. Mhlanga, "Energy efficiency improvement in thermal power plants," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 2, no. 1, pp. 20–25, 2012.
- [4] R. Ambarwati, D. Yuliasri, and W. Sulistiyowati, "Human resource risk control through COVID-19 risk assessment in Indonesian manufacturing," *J Loss Prev Process Ind*, vol. 74, p. 104665, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jlp.2021.104665.
- [5] R. Andespa, D. A. I. Maruddani, and T. Tarno, "EXPECTED SHORTFALL DENGAN EKSPANSI CORNISH-FISHER UNTUK ANALISIS RISIKO INVESTASI SEBELUM DAN SESUDAH PANDEMI COVID-19 DILENGKAPI GUI R," *Jurnal Gauss*, vol. 11, no. 2, pp. 173–182, 2022, doi: 10.14710/j.gauss.v11i2.35457.
- [6] E. Wong, "Data Analysis Support of Artificial Intelligence in Financial Investment Decision-Making".
- [7] A. Abyad, "The pareto principle: applying the 80/20 rule to your business," *Middle East Journal of*, vol. 15, no. 1, pp. 6–9, 2020.
- [8] D. E. Pujiwisanti Putri, "PENJADWALAN PERAWATAN LEVEL LUFFING CRANE 40 TON MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM II)," Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2023.
- [9] N. S. Bhangu, R. Singh, and G. L. Pahuja, "Failure mode and effect analysis of a thermal power plant for enhancing its reliability," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 110, pp. 2969–2975, 2012.
- [10] N. S. Bhangu, R. Singh, and G. L. Pahuja, "Failure Mode and Effect Analysis of a Thermal Power Plant for Enhancing its Reliability," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 110–116, pp. 2969–2975, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.110-116.2969.
- [11] M. S. Nawawi, "Pengaruh Sertifikasi Guru Terhadap Kompetensi, Motivasi Dan Kesejahteraan Guru, Serta Pengaruh Ketiganya Terhadap Kinerja Guru (Suatu Kajian Studi Literatur Review Ilmu Manajemen Sumber Daya Manusia Dan Manajemen Keuangan)," *JMPIS J. Manaj. Pendidik. dan Ilmu Sos.*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [12] F. Latief, L. Hakim, and Burhanuddin, "Pengaruh Tunjangan Sertifikasi Terhadap Kinerja Guru Sekolah Dasar Negeri Di Kecamatan Alla Kabupaten Enrekang," *KIMAP Kaji. Ilm. Mhs. Adm. Publik*, vol. 3, no. 5, 2022.
- [13] L. Latiana, "Peran Sertifikasi Guru Dalam Meningkatkan Profesionalisme Pendidik," *Edukasi*, vol. 13, no. 1, 2019, doi: <https://doi.org/10.15294/edukasi.v13i1.951>.
- [14] S. Hamzali, "Peranan Tingkat Pendidikan dan Diklat Terhadap Disiplin Kerja Pegawai Pada Dinas Sosial dan Tenaga Kerja Kabupaten Aceh Barat Daya," *Socius J. Penelit. Ilmu-Ilmu Sos.*, vol. 1, no. 12, 2024, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13117960>.
- [15] S. Hartati, A. Beni Saputra, and S. Andriani, "Pengaruh Tingkat Pendidikan Terhadap Kinerja Pegawai dalam Melayani Masyarakat," *EDUKATIF J. ILMU Pendidik.*, vol. 4, no. 1, pp. 298–307, Dec. 2021, doi: 10.31004/edukatif.v4i1.1741.
- [16] L. Trisnawati, A. Syamsuadi, S. Hartati, and I. Reskiyanti, "Koordinasi Pemerintah dan Swasta dalam Program Corporate Social Responsibility (CSR) School Improvement di Kabupaten Pelalawan," *J. Gov. Local Polit.*, vol. 3, no. 2, pp. 115–123, Nov. 2021, doi: 10.47650/jglp.v3i2.295.
- [17] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D," *Bandung CV. Alf.*, 2019.
- [18] S. Priadana and D. Sunarsi, *Metode Penelitian Kuantitatif*. Tangerang Selatan: Pascal Books, 2021.
- [19] A. P. Mangkunegara, *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 2021.
- [20] Y. Supriyatna, "Tingkat Pendidikan Dan Masa Kerja Terhadap Kinerja Karyawan Pt Prima Makmur Rotokemindo," *J. Manaj.*, vol. 10, no. 1, pp. 47–60, Feb. 2020, doi: 10.30656/jm.v10i1.1885.



# Bukti Submit

[https://polipapers.upv.es/index.php/IJPME/open\\_access](https://polipapers.upv.es/index.php/IJPME/open_access)

Kupu kupu terbang ke awan  
Seminar Thesis sudah dilakukan  
Mohon maaf apabila ada kekurangan  
Cukup sekian dan terimakasih saya ucapkan

