Prognostik Kritikalitas Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Kamojang 3 Berdasarkan Fusi
Data Reliabilitas Dan Termodinamika
Meigi Rama, Dr. Ing. Ir. Sihana, IPU., Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

PROGNOSTIK KRITIKALITAS TURBIN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI KAMOJANG BERDASARKAN FUSI DATA RELIABILITAS DAN TERMODINAMIKA

oleh
Meigi Rama

Diajukan ke Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada. Pada 6 Juli 2026 untuk memenuhi sebagian
persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Turbin uap merupakan komponen paling kritis dalam operasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), di mana degradasi komponen berdampak langsung pada efisiensi konversi energi dan keandalan operasi. Pendekatan pemeliharaan yang ada belum mampu mengintegrasikan data operasional dan reliabilitas komponen secara terpadu untuk menghasilkan penilaian kritikalitas yang kuantitatif dan dapat dijustifikasi secara teknis. Penelitian ini mengembangkan kerangka prognostik kritikalitas turbin uap PLTP Kamojang 3 berbasis fusi data termodinamika dan reliabilitas sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan.

Data operasional periode 1 Juni hingga 31 Agustus 2016 digunakan untuk menghitung efisiensi isentropik turbin berdasarkan formulasi IAPWS-IF97 dan membangun model prediktif parameter vibrasi rotor serta temperatur bantalan menggunakan rekayasa fitur temporal. Data probabilitas kegagalan komponen dari riwayat pemeliharaan tahun 1987–2015 dikuantifikasi dan dipetakan terhadap metrik operasional berdasarkan relasi kausal mode kegagalan, kemudian digunakan sebagai koefisien reliabilitas dalam mekanisme fusi data. Fusi bobot status anomali metrik operasional dengan koefisien reliabilitas menghasilkan indeks kritikalitas yang menjadi target model klasifikasi *machine learning*.

Algoritma Adaptive Boost memberikan performa terbaik untuk prediksi efisiensi isentropik dengan $R^2 = 0{,}811$ dan MAPE = 0,650%, sementara Gradient Boosting unggul untuk prediksi parameter mekanikal dengan R^2 berkisar 0,678–0,885 untuk vibrasi rotor dan 0,909–0,933 untuk temperatur bantalan. Distribusi status kritikalitas menunjukkan 92,7% periode Normal, 5,3% Warning, dan 2,1% Alarm. Model klasifikasi mencapai AUC = 0,969 dan F1-score = 0,998. Analisis *feature importance* mengonfirmasi bahwa entalpi isentropik keluar dan rasio tekanan mendominasi prediksi efisiensi isentropik, Sedangkan fitur *lag1* dan *diff1* mendominasi prediksi parameter mekanikal, dan efisiensi isentropik menjadi fitur paling dominan dalam model klasifikasi.

Kerangka prognostik berbasis fusi data termodinamika dan reliabilitas menghasilkan indeks kritikalitas yang lebih komprehensif dibandingkan evaluasi parameter individual dan menyediakan justifikasi teknis terukur untuk mendukung pemeliharaan berbasis kondisi aktual pada turbin uap PLTP Kamojang 3.

Kata kunci: prognostik kritikalitas turbin, efisiensi isentropik, machine learning, fusi data reliabilitas dan termodinamika, pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Pembimbing Utama	:	Dr. Ing. Ir. Sihana, IPU.
Pembimbing Pendamping	:	Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.

Prognostik Kritikalitas Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Kamojang 3 Berdasarkan Fusi
Data Reliabilitas Dan Termodinamika
Meigi Rama, Dr. Ing. Ir. Sihana, IPU., Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

TURBINE CRITICALITY PROGNOSTICS OF THE KAMOJANG 3 GEOTHERMAL POWER PLANT BASED ON RELIABILITY AND THERMODYNAMIC DATA FUSION

by
Meigi Rama

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada as one of the requirements to
obtains the Master's Degree in Engineering Physics

ABSTRACT

Steam turbines are the most critical components in geothermal power plant (GPP) operations, where component degradation directly impacts energy conversion efficiency and operational reliability. Existing maintenance approaches have not been able to integrate operational data and component reliability data comprehensively to produce a criticality assessment that is quantitative and technically justifiable. This study develops a turbine criticality prognostic framework for Kamojang GPP based on thermodynamic and reliability data fusion as a basis for maintenance decision-making.

Operational data from 1 June to 31 August 2016 were used to calculate turbine isentropic efficiency based on the IAPWS-IF97 formulation and to develop predictive models for rotor vibration and bearing temperature using temporal feature engineering. Component failure probability data derived from maintenance records spanning 1987–2015 were quantified and mapped to operational metrics based on causal relationships of failure modes, then used as reliability coefficients in the data fusion mechanism. The fusion of operational anomaly status weights and reliability coefficients produces a criticality index that serves as the target for a machine learning classification model.

The Adaptive Boosting algorithm delivered the best performance for isentropic efficiency prediction with $R^2 = 0.811$ and MAPE = 0.650%, while Gradient Boosting achieved the best performance for mechanical parameter prediction with R^2 ranging from 0.678 to 0.885 for rotor vibration and 0.909 to 0.933 for bearing temperature. The criticality status distribution shows 92.7% Normal, 5.3% Warning, and 2.1% Alarm periods. The classification model achieved AUC = 0.969 and F1-score = 0.998. Feature importance analysis confirms that isentropic outlet enthalpy and pressure ratio dominate isentropic efficiency prediction, meanwhile lag1 and diff1 features dominate mechanical parameter prediction, and isentropic efficiency is the most dominant feature in criticality status classification.

The prognostic framework based on thermodynamic and reliability data fusion produces a more comprehensive criticality index compared to individual parameter evaluation and provides measurable technical justification to support condition-based maintenance decision-making for Kamojang 3 Geothermal Power Plant steam turbines.

Keywords: turbine criticality prognostics, isentropic efficiency, machine learning, reliability and thermodynamic data fusion, geothermal power plant.

Supervisor	:	Dr. Ing. Ir. Sihana, IPU.
Co-Supervisor	:	Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.