

Transformasi Energi Terbarukan: Integrasi PLTA Multi-Turbin dengan *Automatic System* dalam Rangka Mendukung *Smart City* dan *Sustainable Development Goals* (SDGs)



Diajukan untuk Lomba Esai Nasional

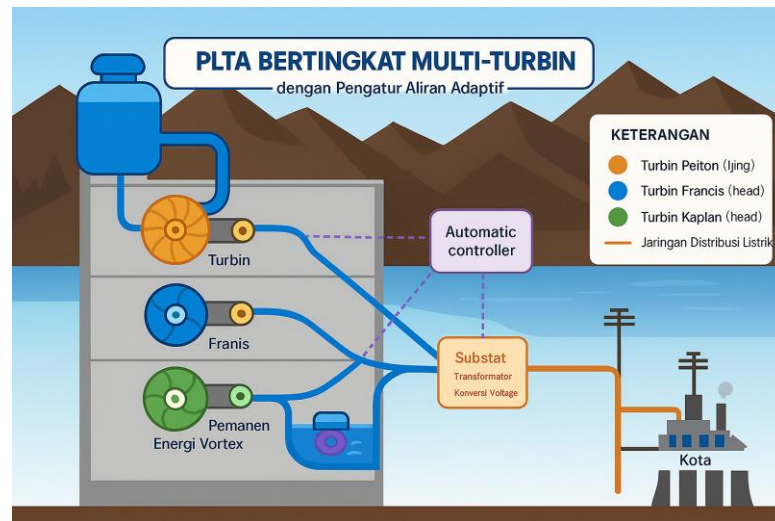
CLEANOVAION

"Youth Action for a Sustainable Energy Future"

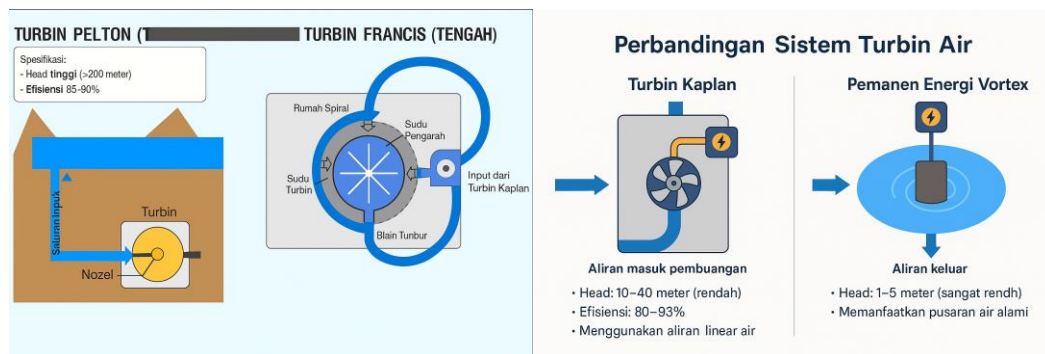
Nama Ketua : Gita Panny Nababan
Nama Anggota : F. Yosua P. Habeahan
Instansi Asal : Universitas Bengkulu
Email & Nomor WA : 1) gitaanababan@gmail.com (082267461009)
2) fyosuaphabeahan@gmail.com (082293955700)
Subtema Esai : Teknologi Energi Terbarukan dan Inovasi Digital
Tahun : 2025

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap berbagai bencana hidrometeorologis, khususnya banjir. Topografi yang kompleks, curah hujan tinggi, serta pesatnya alih fungsi lahan telah memperparah kondisi ini. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa antara tahun 2010 hingga 2020 terjadi 24.969 kejadian bencana yang menyebabkan lebih dari lima juta jiwa terdampak, merusak lebih dari empat juta unit rumah, serta melumpuhkan ribuan fasilitas umum (Azizah et al., 2022). Banjir bandang menjadi salah satu jenis bencana yang paling merusak, ditandai dengan meluapnya air secara tiba-tiba akibat hujan berintensitas tinggi, jebolnya bendungan, atau kerusakan tanggul. Dampaknya meluas pada sektor sosial-ekonomi, mulai dari hilangnya nyawa dan mata pencaharian hingga kerusakan infrastruktur strategis dan terganggunya aktivitas ekonomi masyarakat (Adi, 2013; Ratnaningsih et al., 2023). Di tengah tingginya risiko tersebut, kebutuhan energi nasional juga mengalami peningkatan signifikan. Berdasarkan data dari Ma'ruf et al. (2023), konsumsi listrik nasional meningkat sebesar 16,6% secara tahunan pada Mei 2021, seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri. Sayangnya, Indonesia belum mampu memanfaatkan secara optimal potensi energi terbarukan yang dimilikinya. Energi air, sebagai salah satu sumber energi bersih dan berkelanjutan, baru dimanfaatkan sebesar 5,55% dari total potensi sebesar 75,67 GW pada tahun 2004 (Doda & Mohammad, 2018). Kesenjangan besar antara potensi dan pemanfaatan tersebut mengindikasikan adanya kebutuhan mendesak akan terobosan teknologi dan kebijakan untuk menjembatani permasalahan ketahanan energi dan pengelolaan risiko bencana banjir.

Menanggapi tantangan tersebut, Generasi muda Indonesia hadir dengan sebuah inovasi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bertingkat berbasis sistem otomatis dan kecerdasan buatan (AI). Konsep ini merupakan integrasi antara inovasi digital dan prinsip adaptif dalam pemanfaatan energi, sekaligus sebagai upaya mitigasi bencana banjir. PLTA ini memanfaatkan air hujan sebagai bahan utama untuk menjalankan PLTA multi turbin.

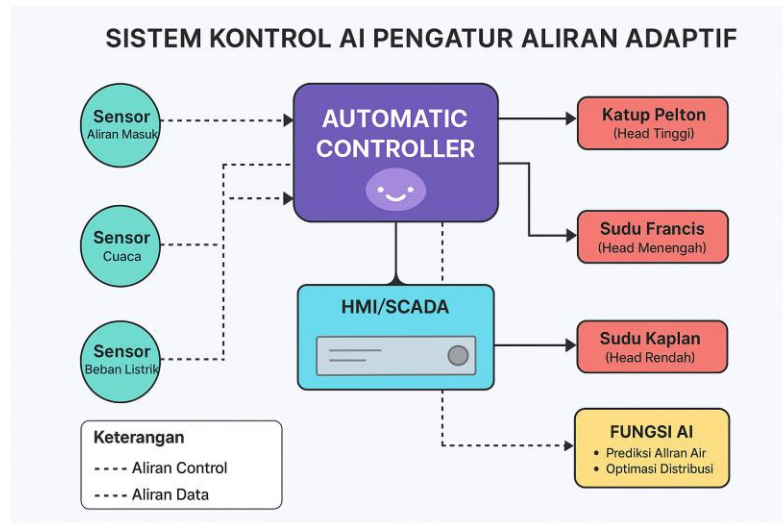


PLTA multi turbin ini terdiri dari tiga tingkat turbin yang masing-masing dirancang untuk menyesuaikan dengan karakteristik aliran dan ketinggian air. Di tingkat atas, digunakan Turbin Pelton yang efisien untuk head tinggi dan debit rendah. Turbin ini bekerja dengan memanfaatkan tekanan air tinggi dari pancaran air yang disalurkan secara terfokus. Di tingkat menengah, sistem memanfaatkan Turbin Francis yang optimal untuk head sedang. Turbin ini memiliki mekanisme sudu pengatur aliran, memungkinkan penyesuaian terhadap aliran air radial ke aksial. Sedangkan pada tingkat terbawah, digunakan Turbin Kaplan yang cocok untuk head rendah dan debit besar. Turbin ini dilengkapi dengan baling-baling fleksibel yang dapat diatur sudutnya secara real-time sesuai perubahan aliran air.



Keunikan dari sistem ini tidak berhenti pada variasi jenis turbin. Salah satu inovasi terpenting adalah pemanfaatan energi sisa dari aliran air melalui pemanen energi vortex, yakni sebuah perangkat silindris yang mengekstraksi energi dari pusaran air yang biasanya terbuang di PLTA konvensional. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, tetapi juga meminimalkan limbah

energi yang sering luput dalam sistem tradisional.



Sistem PLTA bertingkat ini dilengkapi dengan kendali otomatis berbasis kecerdasan buatan yang bekerja dengan mengintegrasikan data historis, sensor aliran real-time, dan prediksi curah hujan. Sistem cerdas ini mampu melakukan penyesuaian distribusi air ke setiap turbin secara otomatis, merespons perubahan musim maupun cuaca ekstrem seperti hujan deras yang tiba-tiba. Dengan demikian, PLTA ini tidak hanya menghasilkan listrik, tetapi juga berfungsi sebagai sistem pengendali banjir adaptif yang menyalurkan aliran air secara terukur dan efisien ke setiap tingkat turbin. Ini menjadikannya sebagai solusi multifungsi yang sangat relevan dalam konteks perubahan iklim dan krisis sumber daya air.

Lebih dari sekadar efisiensi teknis, sistem PLTA bertingkat ini memiliki nilai strategis dalam mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia. Dengan pendekatan modular dan terintegrasi, pemeliharaan sistem dapat dilakukan tanpa menghentikan seluruh operasi. Diversifikasi jenis turbin juga memberikan ketahanan operasional terhadap fluktuasi debit air yang sering terjadi akibat perubahan musim. Model ini sangat cocok diterapkan di berbagai medan, seperti daerah pegunungan, sungai berjenjang, maupun wilayah dengan curah hujan tidak menentu. Selain itu, model ini juga membuka peluang untuk integrasi dengan sumber energi terbarukan lain seperti tenaga surya dan angin, serta penerapan teknologi penyimpanan energi dan *Internet of Things* (IoT) untuk pengawasan kondisi lingkungan secara menyeluruh. Pengembangan ini sejalan dengan visi pembangunan kota cerdas (*smart city*), di mana pengelolaan energi dilakukan secara digital, efisien, dan terukur.

Sehingga model ini menawarkan berbagai keunggulan strategis, diantaranya:

- Efisiensi Energi Tinggi: Dengan penggunaan tiga jenis turbin yang disesuaikan dengan kondisi aliran, sistem mampu menangkap dan memanfaatkan energi air secara optimal.
- Ketahanan Operasional: Struktur modular memungkinkan perawatan tanpa menghentikan sistem, menjadikan PLTA ini lebih andal dibanding model tunggal.
- Fleksibilitas Geografis: Dapat diterapkan di daerah pegunungan, sungai bertingkat, maupun kawasan yang memiliki fluktuasi debit musiman.
- Mitigasi Banjir: Sistem pengendalian aliran air adaptif menjadikan PLTA ini bagian dari solusi pengelolaan risiko banjir.
- Integrasi Masa Depan: Dapat dikombinasikan dengan panel surya, turbin angin, sistem penyimpanan energi, dan jaringan IoT, mendukung konsep kota pintar (*smart city*).

PLTA bertingkat multi-turbin berbasis AI merupakan solusi multifungsi yang menjawab dua tantangan utama Indonesia: 1) ketahanan energi dan pengelolaan bencana banjir dan, 2) memanfaatkan teknologi digital dan pendekatan ekologis, inovasi ini memperkuat kontribusi terhadap agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim).

Dengan memadukan inovasi teknologi dan kepedulian terhadap keberlanjutan, PLTA bertingkat multi-turbin ini menjadi simbol dari paradigma baru dalam pengelolaan sumber daya alam. Solusi ini bukan hanya jawaban atas permasalahan teknis dalam energi dan kebencanaan, tetapi juga representasi dari semangat kolaboratif dan keberanian generasi muda dalam merumuskan masa depan energi Indonesia yang lebih bersih dan tangguh. Oleh karena itu, inovasi ini perlu didukung secara serius oleh berbagai pihak, mulai dari pemerintah, sektor swasta, akademisi, hingga masyarakat umum. Investasi dalam bentuk riset lanjutan, pembangunan infrastruktur, dan pelatihan sumber daya manusia menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa potensi besar dari sistem ini dapat diwujudkan secara nyata.

Lampiran 1. Biodata Informal :

Biodata Ketua

Nama Lengkap : Gita Panny Nababan
Tempat, Tanggal Lahir : Siharbang, 21 Agustus 2004
Jenis Kelamin : Perempuan
Program Studi : S1 Geofisika, Universitas Bengkulu
NIM : F1H022014
Email : gitaanababan@gmail.com
Nomor HP : 082267461009

Biodata Anggota

Nama Lengkap : F Yosua P Habeahan
Tempat, Tanggal Lahir : Sidikalang, 22 Februari 2005
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Program Studi : Sistem Informasi
NIM : G1F022025
Email : fyosuaphabeahan@gmail.com
Nomor HP : 082293955700

Lampiran 2. Hasil Turnitin Dari Keseluruhan Esai

