TRANSFORMASI SISTEM KUASA MELALUI PERAMALAN AI DAN TEKNOLOGI PENGESANAN PINTAR

Pengarang: Ir. Dr. GOH Hui Hwang | 30 Oktober, 2025

PENDAHULUAN

Seiring dengan peralihan sistem tenaga dunia ke arah yang lebih mampan, seni bina sistem elektrik moden sedang disusun semula melalui pengintegrasian sumber tenaga boleh diperbaharui *(Renewable Energy Sources, RES)* dan teknologi digital termaju. Dua kajian komprehensif terkini; satu mengenai peramalan pintar bagi penjanaan tenaga boleh diperbaharui dan satu lagi mengenai teknologi pengesanan pintar serta termaju untuk sistem kuasa baharu yang menekankan keperluan integrasi lancar antara Kecerdasan Buatan *(Artificial Intelligence, AI)*, pembelajaran mesin (*Machine Learning*, ML), dan pengkomputeran pinggir (*edge computing*) bagi membangunkan infrastruktur tenaga yang lebih pintar, berdaya tahan, dan adaptif.

PERAMALAN PINTAR UNTUK PENJANAAN TENAGA BOLEH DIPERBAHARUI

Kajian ini memberikan ulasan menyeluruh mengenai teknologi peramalan bagi tenaga boleh diperbaharui - khususnya tenaga solar dan angin. Variabiliti dan ketidakpastian sumber tenaga ini memerlukan pemprosesan data pelbagai dimensi serta model peramalan pintar selaras dengan perspektif dan pertimbangan terkini yang dibincangkan dalam kajian tersebut.

Pendekatan peramalan diklasifikasikan kepada model deterministik dan model kebarangkalian. Model deterministik menghasilkan ramalan titik tunggal berdasarkan hukum fizikal, teknik statistik, atau kaedah kecerdasan buatan. Sebaliknya, model kebarangkalian menghasilkan ramalan dalam bentuk julat *(interval)* dan taburan kebarangkalian yang penting untuk operasi grid yang berasaskan pertimbangan risiko.

Peramalan dilakukan dalam tiga julat masa, iaitu ultra pendek (0-4 jam), jangka pendek (4-24 jam), dan jangka sederhana dan panjang (hari hingga bulan). Model perlu dibangunkan untuk tiga skala berbeza, iaitu peringkat unit, peringkat loji, dan kluster berbilang loji, di mana setiap skala mempunyai keperluan data dan pemodelan yang berbeza dari segi ruang.

Kajian ini juga menangani isu data hilang, hingar *(noise)*, dan anomali dalam set data tenaga boleh diperbaharui. Pelbagai jenis anomali dikenal pasti, seperti taburan periferal dan corak pertindihan di bahagian bawah, dan dikesan menggunakan kaedah tradisional serta kaedah berasaskan AI seperti Faktor Pencilan Tempatan *(Local Outlier Factor, LOF)*, pengelompokan *K-means*, dan Mesin Vektor Sokongan *(Support Vector Machine, SVM)*.

Faktor utama dalam menghasilkan ramalan yang tepat ialah proses pengekstrakan ciri ramalan daripada data atmosfera, peralatan, dan persekitaran. Teknik seperti pengurangan dimensi, contohnya PCA, pembelajaran pemindahan (*transfer learning*), dan rangkaian adversarial generatif (*generative adversarial networks*, GANs) digunakan untuk mengoptimumkan kualiti data input yang digunakan oleh model.

Selain itu, model hibrid turut digunakan dengan menggabungkan teknik penguraian isyarat (contohnya CEEMDAN, VMD) bersama model pembelajaran mendalam seperti LSTM, CNN, dan variasi Transformer. Model-model ini menunjukkan keupayaan yang lebih baik dalam menangani hubungan ruang-masa bukan linear yang kompleks.

KESIMPULAN

Sifat saling melengkapi antara kedua-dua kajian ini menunjukkan hala tuju yang semakin selari dalam inovasi sistem kuasa, iaitu peramalan pintar dan teknologi pengesanan termaju saling memperkukuh antara satu sama lain ke arah sistem tenaga yang adaptif, berdaya tahan, dan cekap. Model peramalan berasaskan AI membolehkan perancangan tenaga yang lebih tepat, manakala sensor pintar, meter pintar, dan teknologi penjejakan tenaga boleh diperbaharui menyediakan maklumat situasi secara pintar yang diperlukan untuk pengurusan grid secara masa nyata atau hampir masa nyata.

Namun, penggabungan teknologi ini bukan sekadar peningkatan teknikal semata-mata. Ia merupakan satu transformasi ke arah sistem kuasa autonomi yang kaya dengan data dan mampu mengendalikan ketidakpastian tenaga boleh diperbaharui serta keadaan grid yang dinamik. Inovasi sebegini dijangka menjadi teras dalam pembangunan rangkaian tenaga yang mampan, boleh dipercayai, dan kos efektif seiring dengan percepatan peralihan tenaga global.

Ir. Dr. GOH Hui Hwang
Pengasas
IPM Group

Rujukan:
[1] He, T., Xie, H., Goh, H. H., Liang, X., Yew, W. K., Zhang, D. (2025). Advanced sensing and holistic perception technologies for new-type power systems: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 223, 116023.
[2] Liu, T., Shan, L., Jiang, M., Li, F., Kong, F., Du, P. & Zhang, D. (2025). Multi-dimensional data processing and intelligent forecasting technologies for renewable energy generation. Applied Energy, 398, 126419.

***This Malay translation is for reference only. If the meaning of the Malay translation is inconsistent with the original English version, the original English version shall prevail.*