

**KENDALI HEURISTIK DAN APLIKASINYA
SERTA PELUANG PENGEMBANGAN
DI DUNIA OTOMOTIF**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Kendali Heuristik
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Oleh:
Prof. Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D**

*Bismillahirrahmanirrohim,
Assalamu 'alaikum warohmatulloohi wabarokatuh*

Selamat pagi, salam sejahtera dan salam sehat untuk semua.

Yang terhormat Ketua, Sekretaris, dan Anggota
Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat Rektor dan para Wakil Rektor
Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat
Akademik Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat Ketua, Sekretaris, dan Anggota
Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat Dekan dan para Wakil Dekan
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat Ketua dan Sekretaris serta anggota
Senat Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
Yang terhormat rekan-rekan sejawat, para dosen,
mahasiswa, para tamu undangan, para sanak keluarga
dan hadirin semuanya.

Alhamdulillah wa syukrulillah, kita panjatkan puji syukur ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa atas taufik dan semua nikmat yang telah dikaruniakan-Nya kepada kita termasuk nikmat sehat dan kesempatan sehingga kita dapat hadir secara daring maupun luring dalam acara Pidato Pengukuhan jabatan Guru Besar di Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada. Izinkan saya mengucapkan terima kasih kepada Rektor dan Ketua Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada, yang

telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan pidato pengukuhan sebagai bentuk tanggung jawab ilmiah atas amanah jabatan Guru Besar dalam ilmu Kendali Heuristik di Fakultas Teknik. Dalam kesempatan ini, izinkan saya menyampaikan pidato pengukuhan yang berjudul ***Kendali Heuristik dan Aplikasinya serta Peluang Pengembangan di Dunia Otomotif.***

Topik ini berangkat dari perjalanan panjang penelitian dan pengajaran saya di bidang sistem kendali cerdas—sebuah bidang yang terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem yang adaptif, efisien, dan mampu mengambil keputusan dalam lingkungan yang kompleks dan dinamis.

Kendali heuristik adalah pendekatan yang memanfaatkan pengetahuan berbasis pengalaman atau aturan praktis untuk menghasilkan keputusan kendali yang efektif, terutama dalam sistem yang sukar dimodelkan secara matematis. Pendekatan ini telah lama digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, peluang penerapannya di dunia otomotif semakin terbuka lebar, terutama dalam pengembangan sistem bantu mengemudi dan kendaraan cerdas.

Dalam pidato ini, saya ingin mengajak hadirin untuk menelusuri bagaimana pendekatan heuristik dapat menjawab tantangan-tantangan dalam sistem kendali modern. Saya akan menguraikan aplikasinya di sektor

industri, transportasi, dan sistem surveilans, serta menyoroti potensi besar yang dapat digali di dunia otomotif.

Pendahuluan

Para hadirin dan tamu undangan yang saya hormati,

Sistem kendali dan sistem cerdas saat ini telah banyak digunakan di berbagai sektor, seperti: industri, transportasi, sistem surveilans, hingga otomotif. Selain itu, penerapannya juga meluas ke berbagai disiplin ilmu, antara lain: kedokteran, teknik, teknologi informasi, dan lain-lain.

Dalam praktiknya, sistem kendali dan sistem cerdas dapat diintegrasikan secara sinergis membentuk sistem kendali cerdas. Sistem cerdas dapat bekerja berbasis pembelajaran (*learning-based*), maupun berbasis pengalaman, pengetahuan, dan statistika, yang secara umum dikenal sebagai sistem heuristik. Ketika sistem kendali dikombinasikan dengan sistem cerdas berbasis heuristik, maka lahirlah sistem kendali heuristik.

Perkembangan sistem kendali heuristik menunjukkan tren yang cukup pesat dan aplikasinya semakin luas serta kompleks (Samia & Housseem, 2021). Pada pidato ini akan dibahas pengertian dan klasifikasi sistem cerdas, konsep instrumentasi, kendali dan varian sistem kendali, serta sistem kendali cerdas berbasis heuristik. Selain itu, akan disampaikan pula contoh-contoh penerapan sistem kendali heuristik di

sektor industri, transportasi, dan surveilans, serta peluang pengembangannya dalam dunia otomotif.

Pengertian dan Klasifikasi Sistem Cerdas

Para hadirin dan tamu undangan yang saya hormati,

Sistem cerdas adalah sistem yang dirancang untuk menyelesaikan berbagai permasalahan, baik teknis maupun non-teknis, secara cepat, tepat, dan adaptif. Dalam perjalanannya sistem cerdas berfungsi tidak hanya sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai sistem yang mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan maupun kebutuhan pengguna.

Dari sisi perangkat keras (*hardware*), sistem cerdas ditandai dengan kapasitas pemrosesan yang besar serta kecepatan yang tinggi. Sementara dari sisi perangkat lunak (*software*), kecerdasan diwujudkan melalui kemampuan sistem dalam melakukan pengambilan keputusan yang tepat, efisien, serta adaptif terhadap konteks.

Kecerdasan perangkat lunak memerlukan dukungan perangkat keras yang andal. Demikian pula, perangkat keras yang canggih tidak akan memiliki makna tanpa diiringi perangkat lunak yang cerdas. Keduanya harus berjalan beriringan sebagai satu kesatuan sistem.

Perlu juga dibedakan antara istilah sistem cerdas dan sistem pintar (*smart system*). Sistem pintar umumnya sudah mampu beroperasi secara efisien dan fleksibel. Namun, sistem cerdas memiliki tingkatan yang lebih tinggi dalam hal kapabilitas analisis,

prediksi, dan adaptasi terhadap situasi yang kompleks dan dinamis.

Berdasarkan pendekatan pembuatannya, sistem cerdas secara perangkat lunak dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama:

1. Sistem Cerdas Berbasis Matematika

Sistem ini dirancang menggunakan kombinasi algoritme matematis dan logika komputasi yang kompleks, yang memungkinkan penyelesaian persoalan dengan pendekatan deterministik, stokastik, maupun numerik tingkat tinggi. Karakteristik sistem ini biasanya sangat presisi, namun memerlukan ilmu matematika tingkat tinggi yang sangat kompleks terhadap kondisi dinamis.

2. Sistem Cerdas Berbasis Pembelajaran (*Learning-Based Systems*)

Merupakan sistem yang memanfaatkan prinsip pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk mengenali pola, memprediksi hasil, dan memperbaiki diri berdasarkan data. Contohnya dimulai dari *neural network* (NN), berkembang menjadi *deep neural network* (DNN) (Rizky et al., 2024), kemudian *recurrent neural network* (RNN), hingga versi yang lebih canggih seperti *long short-term memory* (LSTM) (Kharel et al., 2024) dan *gated recurrent unit* (GRU) (Stipavonic et al., 2021). Salah satu pengembangan mutakhir adalah arsitektur *transformer*, yang menjadi landasan berbagai model kecerdasan buatan modern seperti ChatGPT dan sejenisnya (Kulkarni et al., 2023).

Transformer memungkinkan sistem memproses konteks panjang secara efisien melalui mekanisme *attention*, tanpa memerlukan struktur perulangan seperti di RNN.

3. Sistem Cerdas Berbasis Pengalaman atau Heuristik

Kategori ini mengandalkan pendekatan berbasis pengalaman atau pendekatan tak-formal dalam menyelesaikan masalah. Umumnya, sistem ini dibagi menjadi dua sebagai berikut.

Pertama, sistem berbasis pengetahuan atau logika seperti *fuzzy logic* (Khairul et al, 2020), yang mampu menangani ambiguitas dan ketidakpastian secara elegan.

Kedua, sistem berbasis evolusi alami atau kecerdasan kelompok (*swarm intelligence*) seperti *genetic algorithm* (GA) (Razali et al., 2022), *particle swarm optimization* (PSO), *ant colony optimization* (ACO), *simulated annealing* (SA), dan lainnya.

Sistem ini sangat cocok untuk masalah pengoptimalan atau pencarian solusi dalam ruang kemungkinan yang sangat besar.

4. Sistem Cerdas Berbasis Kombinasi Pembelajaran dan Heuristik

Kategori ini menggabungkan keunggulan dari pendekatan pembelajaran dan heuristik untuk menghasilkan sistem yang lebih tangguh. Contohnya antara lain: *neurofuzzy* (termasuk *adaptive neurofuzzy*

inference system – ANFIS) (Darwito et al., 2023), *fuzzy-GA*, serta berbagai sistem hibrida lainnya.

Pendekatan kombinatif ini berkemampuan untuk belajar sekaligus beradaptasi dalam kondisi tidak pasti atau dengan data terbatas.

Hadirin yang saya muliakan,

Sejauh apa pun sistem cerdas dikembangkan, kita perlu menyadari bahwa ia tetaplah buatan manusia. Kecerdasannya adalah hasil dari logika, komputasi, dan data, bukan kesadaran, bukan keimanan, dan bukan ruh.

"Dan mereka bertanya kepadamu tentang ruh. Katakanlah: Ruh itu termasuk urusan Tuhanku, dan tidaklah kamu diberi pengetahuan melainkan sedikit."

— (QS Al-Isra: 85)

Oleh karena itu, tidak akan pernah ada ruh buatan. Sistem cerdas hanyalah alat bantu yang akan terus berkembang, tetapi tidak akan pernah menyamai hakikat penciptaan manusia. Maka tugas kitalah sebagai ilmuwan untuk mengarahkan perkembangan sistem cerdas agar tetap berpijak pada nilai-nilai kemanusiaan, etika, dan kebermanfaatannya.

Instrumentasi, Kendali, dan Varian Sistem

Kendali

Para hadirin dan tamu undangan yang saya hormati,

Instrumentasi adalah upaya yang dilakukan oleh manusia untuk mencapai suatu tujuan melalui

pengukuran dan pengaturan variabel proses. Salah satu bagian penting instrumentasi adalah sistem kendali. Kendali adalah upaya sistematis untuk memperoleh hasil sesuai dengan yang dikehendaki. Tujuan sistem kendali antara lain untuk meningkatkan mutu produk, menekan biaya, meningkatkan efisiensi, serta memastikan sistem berjalan secara stabil dan andal.

Secara umum, terdapat dua jenis sistem kendali berdasar struktur, yaitu sistem kendali *open loop* (*feedforward control system*) dan sistem kendali *closed loop* (*feedback control system*). Sistem kendali *open loop* mengatur proses dengan memanipulasi masukan berdasar referensi atau pengukuran awal, tanpa menggunakan umpan balik dari hasil keluaran. Sistem *open loop* bersifat cepat dan implementasinya sederhana, namun memiliki kelemahan karena tidak dapat mengatasi gangguan atau perubahan kondisi proses. Sistem ini sangat bergantung pada pemahaman yang tepat terhadap dinamika sistem yang dikendalikan.

Sistem kendali *closed loop* menggunakan umpan balik dari keluaran untuk mengoreksi masukan, sehingga hasil keluaran dapat dipertahankan sesuai target meskipun terdapat gangguan atau perubahan kondisi. Sistem *closed loop* lebih adaptif terhadap gangguan dan tidak memerlukan model sistem yang sangat akurat. Namun, sistem ini cenderung lebih lambat dan rentan terhadap masalah stabilitas jika tidak dirancang dengan baik.

Dalam praktik modern, sistem kendali sering dirancang sebagai kombinasi *open loop* dan *closed loop*

untuk memaksimalkan keunggulan keduanya. Sistem gabungan ini memungkinkan proses tetap cepat saat kondisi normal (*open loop*) dan tetap tangguh menghadapi gangguan (*closed loop*). Namun, kombinasi ini membuat rancangan sistem menjadi lebih kompleks dan memerlukan teknik perancangan yang lebih canggih serta pemodelan sistem yang akurat.

Berdasar karakteristik sistem atau *plant* yang dikendalikan, sistem kendali dapat dibagi menjadi sistem kendali sederhana dan sistem kendali kompleks. Sistem kendali sederhana memiliki struktur dasar yang terdiri atas *single feedback loop* dengan hubungan input-output yang sederhana dan dapat diprediksi, serta banyaknya komponen yang terbatas. Pengendali yang paling dasar untuk digunakan adalah PID yang kemudian berkembang variasinya ke: IPD (Chinta et al., 2024), *internal model control* (IMC) (Nath et al., 2022), 2DoF PID (Acharya et al., 2020), dsb.

Sistem kendali kompleks memiliki komponen interkoneksi jamak yang melibatkan *loop* jamak, beberapa pengendali dan unit pengolah data yang rumit, serta bersifat adaptif. Sistem kendali kompleks umumnya digunakan di sistem robotika, UAV (drone) seperti untuk surveilans, sistem industri otomatis, dan aplikasi teknik lanjut lainnya. Pengendali yang sering digunakan di sistem kendali kompleks dengan pendekatan modern (*state space based*) adalah: *state feedback* (Li et al., 2021), *linear quadratic regulator* (LQR) (Zhou et al., 2020), *linear quadratic gaussian* (LQG) (Soltani et al., 2024), *backstepping control* (Wang et al., 2022), dsb.

Sistem kendali dapat pula dibuat adaptif menggunakan: *model reference adaptive control* (MRAC) (Balaska et al., 2021), *self-tuning regulator* (STR) (Saleem et al., 2021), *gain scheduling* (Thanyalak et al., 2022), *Lyapunov-based adaptive control* (Wang et al., 2020), dsb. Metode-metode tersebut diperlukan persamaan matematika yang cukup rumit. Sistem kendali kompleks yang adaptif dapat disebut pula sebagai sistem kendali cerdas yang dirancang menggunakan ilmu matematika dan fisika yang sangat rumit, apalagi untuk kombinasi *open loop* dan *closed loop control*. Untuk mengurangi kerumitan tersebut, sistem kendali dapat dikombinasikan dengan sistem cerdas menjadi sistem kendali cerdas.

Sistem Kendali Heuristik dan Contoh Aplikasinya *Para hadirin dan tamu undangan yang berbahagia,*

Sistem kendali yang dikombinasikan dengan sistem cerdas membentuk sistem kendali cerdas, yang klasifikasinya serupa dengan sistem cerdas. Seperti telah disebutkan sebelumnya, fungsi utama sistem cerdas adalah membantu otak manusia dalam berpikir, namun bukan membantu qolbu dalam menentukan langkah yang tepat. Dalam otak manusia terdapat sekitar 100 miliar neuron, sementara di dalam qolbu terdapat sekitar 40.000 neuron yang diyakini berperan sebagai pengendali otak karena di dalamnya terdapat Suara Tuhan. Otak buatan pada sistem cerdas modern, seperti yang digunakan dalam model *transformer* termasuk ChatGPT, kini telah memiliki miliaran

parameter yang meniru neuron otak manusia. Meski demikian, qolbu buatan belum pernah ada, apalagi ruh buatan tidak akan pernah ada. Oleh karena itu, dalam pemanfaatan sistem cerdas, tetap diperlukan keberadaan dan peran manusia pengguna. Dengan kata lain, manusia tetap menjadi perancang utama, sedangkan sistem cerdas hanya berperan sebagai alat bantu dalam proses perancangan. Dalam konteks sistem kendali cerdas, manusialah yang merancang sistem kendali, melakukan pemodelan, serta menentukan parameter-parameternya. Sistem cerdas dapat membantu dalam proses pemodelan maupun pengoptimalan parameter, namun manusia tetap harus menentukan dan memiliki bukti ilmiah bahwa sistem yang dirancang memiliki kinerja yang baik dan stabil.

Sistem kendali cerdas berbasis heuristik dapat diwujudkan dalam bentuk sistem kendali heuristik, dengan jenis sistem cerdas yang digunakan antara lain: *fuzzy logic* yang bekerja berdasar pengalaman, pengetahuan, dan logika; *genetic algorithm* (GA) yang meniru proses evolusi alami; dan lain-lain. Kadang, sistem kendali heuristik juga menggabungkan beberapa pendekatan, seperti kombinasi antara *fuzzy logic* dan *genetic algorithm* sebagai pengendali yang dikenal sebagai *genetic-fuzzy controller*. Selain itu, sistem cerdas berbasis heuristik juga dapat dikombinasikan dengan sistem cerdas berbasis pembelajaran, misalnya menjadi *neuro-fuzzy* atau ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*).

Sistem kendali heuristik dapat diaplikasikan di sektor industri yang biasanya sebagai aktuator *plant*

yang dikendalikan adalah dalam bentuk motor listrik. Sebagai contoh, sebuah motor dc dikendalikan kecepatannya menggunakan *hybrid PID-fuzzy* yang bekerja secara serial, dengan bagian PID dioptimalkan parameter inisialnya menggunakan polinomial ITAE, kemudian bagian *fuzzy logic* dioptimalkan parameternya secara empiris berdasar pengalaman. Dalam peranannya, pengendali utama yang digunakan adalah PID yang parameternya diubah-ubah secara adaptif oleh *fuzzy logic* (Wibawa et al., 2019).

Sistem kendali heuristik dapat diaplikasikan di sektor transportasi, sebagai contoh adalah kendali kecepatan kereta *mass rapid transit* (MRT) Taipei tunggal menggunakan *single input fuzzy controller* (SIFLC) untuk meningkatkan kinerja FLC dengan mengurangi banyaknya aturan. Hasilnya adalah proses *tuning* SIFLC jauh lebih mudah dari FLC biasa dan durasi eksekusi jadi lebih singkat sekitar 17,3% di *track* konstan dan 12,27% di *track* variabel (Maghfiroh et al., 2016).

Sistem kendali heuristik dapat diaplikasikan di sektor surveilans, sebagai contoh adalah menggunakan robot darat atau *unmanned ground vehicle* (UGV). Di contoh ini baru dilakukan pra-kendali berupa penentuan *path planning* menggunakan GA yang dilakukan pengembangan menjadi *efficient* GA. GA adalah salah satu algoritme sistem cerdas heuristik yang termasuk *robust* akan tetapi memiliki kelemahan yang selama ini adalah beban komputasinya sangat tinggi sehingga perlu dilakukan efisiensi. Untuk melakukannya, dilakukan langkah-langkah efisiensi di

proses inialisasi dan *crossover*. Hasilnya adalah durasi komputasi jadi lebih singkat, banyaknya generasi juga berkurang secara adaptif (Wahyunggoro et al., 2023).

Peluang Penelitian dan Pengembangan di Dunia Otomotif

Para hadirin dan tamu undangan yang berbahagia,

Di dunia otomotif masih banyak peluang untuk melakukan penelitian dan pengembangan. Dua contoh di antaranya, yang pertama adalah penelitian dan pengembangan *e-Nose* berbasis sistem kendali heuristik untuk identifikasi jenis BBM yang diisikan, yang keluarannya dapat berupa indikator saja atau *failsafe mode* jika hasil identifikasinya adalah BBM berbahaya. Contoh yang kedua adalah sistem kendali kecepatan dan torsi motor penggerak mobil listrik atau *hybrid* menggunakan sistem kendali heuristik untuk membantu mempertahankan traksi roda penggerak ketika melewati tanjakan berat.

Saat ini ada beberapa mobil modern yang menggunakan teknologi *hybrid* dengan mesin siklus Atkinson memiliki sistem deteksi kualitas bahan bakar yang terdiri atas sensor oktan dan sensor kandungan bahan bakar sehingga untuk bahan bakar palsu akan terdeteksi. Contoh sensor-sensor yang digunakan adalah: *air-fuel ratio (AFR) sensor*, sensor O₂, *knock sensor*, *fuel pressure sensor*, *mass air flow (MAF) sensor*, dan (untuk negara yang sudah mengadopsi euro 6) ada sensor NO_x. Berdasar hasil sensor-sensor

tersebut setelah dimasukkan ke sistem cerdas akan menghasilkan keputusan apakah BBM yang digunakan sesuai atau tidak sesuai. Akan tetapi sistem deteksi tersebut baru bekerja setelah bahan bakar terlanjur masuk dan mesin berjalan beberapa waktu. Peluang penelitian masalah kesesuaian BBM (termasuk kemungkinan BBM palsu) cukup terbuka di bidang kendali heuristik. Dengan menggunakan sensor-sensor yang biasa dipakai oleh sistem e-Nose, seperti: sensor gas berbasis semikonduktor (MOS) seperti SnO_2 yang sensitif terhadap hidrokarbon, alkohol, dan senyawa organik volatil (VOC), *array sensor* untuk menangkap berbagai profil volatil dari premium, pertalite, pertamax, pertamax turbo, dan sebagainya hingga BBM palsu, kemudian dilakukan analisis bau menggunakan sistem cerdas, maka penelitian ini berpeluang untuk berjalan dengan cukup panjang. Contoh hasil penelitian yang mengembangkan e-Nose berbasis piezosensor untuk mendeteksi pemalsuan bensin dengan mencampurkan bensin beda oktan ada di *Journal of Analytical Chemistry* (Kuchmenko et al., 2022). Untuk dilanjutkan dengan pengembangan terutama hingga siap diterapkan, masih perlu adanya pendukung berupa penelitian dan pengembangan sensor-sensor tersebut yang harganya terjangkau dan memiliki daya tahan tinggi terhadap lingkungan keras di dalam tanki, seperti: suhu tinggi, uap BBM, tekanan, dan sebagainya.

Di Indonesia, kendaraan jenis *multi purpose vehicle* (MPV) *7-seater* memiliki peminat yang sangat tinggi. Pada era 1990-an hingga awal 2000-an,

mayoritas MPV menggunakan sasis jenis *ladder frame* dengan penggerak roda belakang atau *rear wheel drive* (RWD). Namun, konfigurasi ini memiliki konsekuensi, yakni baris ketiga sering kali hanya menjadi tambahan yang sempit, bahkan pada beberapa model penumpangnya duduk berhadapan, sebuah solusi yang kurang layak dari sisi kenyamanan maupun keselamatan.

Seiring perkembangan zaman, produsen otomotif melakukan berbagai upaya untuk menjadikan MPV sebagai "*real 7-seater*". Beberapa inovasi yang dilakukan antara lain: peralihan dari sasis *ladder frame* ke *unibody* (semi-monokok), perubahan sistem penggerak dari RWD ke FWD (*Front Wheel Drive*), dan pengembangan *platform* rangka modular yang lebih ringan dan rigid, seperti: Skyactiv (Mazda), TNGA (Toyota), DNGA (Daihatsu), HEARTECT (Suzuki), RISE (Mitsubishi), HGA (Honda), *K Platform* (Hyundai), dan lain-lain.

Platform-platform baru tersebut membuat kendaraan lebih ringan, efisien, rigid, dan tetap memenuhi standar keselamatan. Namun demikian, penggunaan FWD pada MPV *7-seater* masih menyisakan tantangan, terutama saat melewati tanjakan curam (14 sd 22 derajat) dalam kondisi penuh muatan. Kendala paling umum adalah *wheelspin* pada roda depan akibat hilangnya traksi.

Untuk mengatasi masalah tersebut, beberapa solusi telah diterapkan, antara lain: penyempurnaan titik pusat gravitasi dan desain suspensi, penggunaan transmisi otomatis dengan *torque converter*,

implementasi fitur *traction control system* (TCS), dan penggunaan motor listrik penggerak (pada sistem *hybrid* maupun EV) yang mampu menghasilkan torsi tinggi sejak kecepatan rendah (rpm mendekati nol), sehingga mengurangi *crawl speed* yang menyebabkan menurunnya risiko *wheelspin*.

Meskipun demikian, faktor pengemudi tetap menjadi variabel krusial. Banyak pengemudi kurang berpengalaman yang cenderung panik saat menanjak, menginjak pedal gas secara berlebihan, yang justru memicu *wheelspin* dan adanya *traction control* dinilai mengganggu sehingga sering dinonaktifkan. Oleh karena itu, diperlukan sistem bantu baru yang tidak hanya reaktif terhadap kehilangan traksi, tetapi juga proaktif dalam mengatur torsi, kecepatan, dan akselerasi pada saat tanjakan berat. Fitur tersebut dapat disebut *hill up control* (HUC) yang bekerja bersama *traction control*.

HUC merupakan sebuah gagasan baru dalam penelitian dan pengembangan yang mengacu pada prinsip kerja *hill descent control* (HDC) (Ma et al., 2024) dan *crawl control* (Lo et al., 2022). Pada fitur HDC, pengemudi cukup mengaktifkan sistem, kemudian melepaskan kaki dari pedal rem maupun gas. Sistem akan secara otomatis mengatur pengereman, bukaan katup gas, dan *crawl ratio* yang sesuai dengan kondisi jalan menurun. Sementara itu, pada *crawl control*, pengaturan torsi dan rem dilakukan secara sinergis dengan kompleksitas yang lebih tinggi, dan biasanya digunakan ketika kendaraan terjebak di medan ekstrim seperti lumpur atau pasir dalam.

Ide HUC adalah mengatur kecepatan, torsi, dan *crawl ratio* secara otomatis tanpa campur tangan pengemudi, sehingga lebih aman dalam kondisi darurat atau kepanikan. Sistem kendali yang digunakan dapat dirancang secara kombinatif antara *open-loop* dan *closed-loop*, dengan bagian *open-loop* menggunakan pendekatan kendali heuristik untuk menentukan *setpoint* berdasar kemiringan tanjakan, sedangkan bagian *closed-loop* cukup menggunakan pengendali konvensional seperti PID, dan sejenisnya untuk memenuhi *setpoint* tersebut. Saat ini, penelitian masih berada pada tahap inisialisasi.

Demikian pidato dari saya tentang sistem kendali heuristik dan contoh-contoh aplikasinya di sektor industri, transportasi, dan surveilans yang telah menunjukkan keberhasilan dan perannya. Disamping itu dengan kemajuan dunia otomotif yang cukup pesat dan mengarah ke elektrifikasi, baik EV murni maupun *hybrid*, maka sistem kendali heuristik masih ada peluang untuk dikembangkan ke dunia otomotif.

Ucapan Terima Kasih

Para hadirin dan tamu undangan yang saya hormati,

Sebelum menutup pidato pengukuhan ini, izinkan saya mengucapkan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT, yang atas karuniaNya yang sangat besar, saya diberikan izin untuk menjadi salah satu Guru Besar di Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas

Gadjah Mada. Semoga keberkahan bagi kita semua maupun alam semesta atas karunia-Nya.

Penghargaan saya sampaikan kepada Pemerintah Republik Indonesia, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas penetapan Guru Besar saya per 1 September 2024. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Rektor Universitas Gadjah Mada beserta jajarannya, Pimpinan dan Anggota Senat Akademik, Pimpinan dan Anggota Dewan Guru Besar, Dekan Fakultas Teknik beserta jajarannya, Ketua dan Anggota Senat Fakultas Teknik, Tim Penilai Kenaikan Jabatan Guru Besar Fakultas Teknik, Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi yang telah memproses dan memberikan persetujuan kepada saya untuk menjadi Guru Besar dalam bidang Kendali Heuristik Fakultas Teknik UGM.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada semua guru saya di TK Buyung Yogyakarta, SD Netral C Yogyakarta, SMPN 7 Yogyakarta, dan SMAN 4 Yogyakarta. Terima kasih juga kepada para Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM, baik program S1 maupun S2, pembimbing skripsi dan tesis saya, Prof. Dr. Ir. Thomas Sri Widodo, DEA. (alm) sebagai pembimbing 1 di S1 dan pembimbing 2 di S2, Ir. Priyatmadi, M.T. sebagai pembimbing 2 di S1, dan Ir. Bambang Sutopo, M.Phil. sebagai pembimbing 1 di S2. Terima kasih juga kepada *supervisor* saya di *PhD Program of* Universiti Teknologi PETRONAS (UTP), Assoc. Prof. Dr. Nordin B Saad, dan co-supervisor saya, Assoc. Prof.

Dr. Taib Ibrahim. Kepada Bapak Dekan, para Wakil Dekan dan para Ketua Departemen di Fakultas Teknik, teman-teman dosen dan karyawan beserta keluarga besar Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, saya mengucapkan banyak terima kasih atas semua dukungan dan doa selama ini. Secara khusus, saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sasongko Pramono Hadi, DEA. dan Prof. Dr.Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM. yang telah bersedia meluangkan waktu dan memberikan masukan untuk naskah pidato ini. Terima kasih juga kepada Ratna Endah Handayani, S. Kom., Sekar Tristi Apriza, S.Psi., dan teman-teman SDM Departemen, Fakultas dan Universitas yang selalu mengawal dengan baik sehingga proses kenaikan pangkat dan jabatan dapat berjalan dengan lancar. Terima kasih juga kepada Poniyeem, S.E., MPA (Bu Kenok) yang banyak membantu dan memandu saya dalam proses kenaikan jabatan Guru Besar ini.

Terima kasih kepada teman-teman seperjuangan dari TK Buyung Yogyakarta alumni 1973, SD Netral C Yogyakarta almuni 1980, SMP N 7 Yogyakarta alumni 1983, SMA N 4 Yogyakarta alumni 1986, Program S1 Teknik Elektro UGM angkatan 1986 dan sekitarnya, Program S2 Teknik Elektro UGM angkatan 1997 dan sekitarnya, serta teman-teman UTP Malaysia yang senantiasa saling mengingatkan dan mendukung baik dalam suasana suka maupun duka ketika menuntut ilmu di negeri perantauan. Terima kasih kepada teman-teman jama'ah haji Hasuna 2015 untuk persahabatan, dukungan dan doanya. Secara

khusus, saya sampaikan terima kasih kepada Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Mayor Lek Dr. Hendri Himawan Triharminto yang telah membantu melakukan penelitian hingga terwujudnya paper jurnal yang sangat berharga.

Selanjutnya, terima kasih kepada para mahasiswa bimbingan program sarjana, magister dan doktor yang telah membuktikan semangat dan kerja keras dalam penelitian sehingga dapat menghasilkan publikasi dan produk penelitian yang berkualitas. Tidak lupa juga mengucapkan terima kasih kepada Ayu Nuriyanawati, S.Pd., M.Hum. dan Heruwanto, S.T., M.M. yang telah membantu proses publikasi paper jurnal utama. Ucapan terima kasih juga kepada Nuraini Puspita Dewi, S.E. beserta kawan-kawan dari Departemen, Fakultas, maupun Universitas atas bantuannya dalam penyelenggaraan acara pidato pengukuhan ini.

Terakhir, namun tidak kalah penting, penghargaan dan ucapan terima kasih yang mendalam kepada seluruh keluarga dan sahabat yang telah memberikan doa, dukungan, dan kasih sayangnya. Secara khusus, kepada keluarga besar Trah Wirjatjanan dan Trah Abdul Wahab Somomihardjo, terima kasih atas semua semangat dan doa yang selalu mengalir bagaikan sungai kehidupan yang tak pernah kering. Ayahanda, Prof. Dr. Sutanto (Alm) dan Ibunda, Ibu Sutiyah (almh), meskipun saat ini Ayah dan Ibu tak dapat menyaksikan langsung momen ini, ananda yakin bahwa capaian saat ini adalah karena bagian dari doa yang senantiasa Ayahanda dan Ibunda panjatkan

semasa masih hidup. Keteladanan dan kebaikan yang Ayahanda dan Ibunda ajarkan menjadi salah satu sumber kekuatan untuk terus berjuang. Semoga ini menjadi bagian dari amal kebaikan yang terus mengalir untuk Ayahanda dan Ibunda. Kepada Ayah mertua, Ir. Slamet Muhammad Syamsuddin (alm) dan Ibu mertua, ibu Siti Zaitun (almh), terima kasih telah menyambut saya sebagai bagian dari keluarga dengan tangan terbuka. Terima kasih untuk doa dan dukungan selalu dari kakak sulungku, drg. Hardani Wiyatmi dan abang langsungku, Hardo Wibowo Santoso, S.Si., M.T. Terima kasih juga kepada keponakan-keponaaku, Muhammad Eko Hardito, S.T., M.Sc., Yusriza Hanifanti, S.Si., dan Aldi Raihanantyo, S.Tr.Ak. Istriku yang tercinta, Siti Asmaul Khusnah, S.H., terima kasih telah menjadi teman hidup, pelipur lara, dan penopang semangat yang tak tergantikan.

Akhir kata, kepada seluruh hadirin yang telah dengan sabar menyimak dan mendengarkan pidato pengukuhan ini, baik yang berada di Balai Senat Universitas Gadjah Mada maupun yang mengikuti secara daring di manapun hadirin berada, serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu dan berperan secara langsung atau tidak langsung sehingga pencapaian ini dapat terwujud, saya ucapkan terima kasih. Semoga Allah subhanahu wa ta'ala memberikan kita taufik dan senantiasa meridhoi dan memberkahi setiap langkah kita. Aamiin.

Wassalamu'alaykum warohmatulloohi wabarokaatuh.

Daftar Pustaka

Samia, C., and Houssem, J. (2021). "The Use of a Heuristic Optimization Method to Improve the Design of a Discrete-time Gain Scheduling Control". *International Journal of Control, Automation and Systems*, 19(5), pp. 1836-1846. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-019-0774-1>

Rizky, M., Pramuntadi, A., Prastowo, W.D., & Gutama, D.H. "Implementasi Metode Deep Neural Network pada Klasifikasi Penyakit Diabetes Melitus Tipe 2". *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, Vol. 4 No. 3 (2024), pp. 1043-1050, available at: <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i3.1279>.

Kharel, A., Zarean, Z., & Kaur, D. "Long Short-Term Memory (LSTM) Based Deep Learning Models for Predicting Univariate Time Series Data". *International Journal of Machine Learning*, Vol. 14 No. 1 (2024), pp. 30-37, available at: <https://www.ijml.org/show-133-1359-1.html>

Stipanovic, D.M., Kapetina, M.N., Rapaic, M.R., & Murmann, B. "Stability of Gated Recurrent Unit Neural Networks: Convex Combination Formulation Approach". *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 188 (2021), pp.

291-306, available at:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10957-020-01776-w>

Kulkarni, A., Shivananda, A., Kulkarni, A., & Gudivada, D. The ChatGPT Architecture: An In-Depth Exploration of OpenAI's Conversational AI. *Applied Generative AI for Beginners*, Springer Nature Link (2023), pp. 55-77, available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4842-9994-4_4

Khairul, Sk.K., & Dhingra, A.K. "Development of a Fuzzy Logic Controller for Real-time Energy Optimization of a Hybrid vehicle". *Journal of Mechatronics and Robotics*, Vol. 4 No. 1 (2020), pp. 236-253, available at: <https://doi.org/10.3844/jmrsp.2020.236.253>

Razali, M.R., Faudzi, A.A.M., Shamsudin, A.U., & Mohamaddan, S. "A Hybrid Controller Method with Genetic Algorithm Optimization to Measure Position and Angular for Mobile Robot Motion Control". *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 9 (2022), pp. 01-14, available at: <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.1087371>

Darwito, P.A., & Indayu, N. "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on Sliding Mode Control for Quadcopter Trajectory Tracking with the Presence of External Disturbance". *Journal of*

Intelligent Systems and Control, Vol. 2 Issue 1 (2023), pp. 33-46, available at: <https://doi.org/10.56578/jisc020104>

Chinta, D.P., Veeranna, G., Pothula, J., Kumar, K.K., & Azamira, S.S.N. "Application of Cooperation Search-Based I-PD Controller with New Cost Function for Frequency Control of Distributed Energy Integrated Hybrid Power System". *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol. 15 (2024), pp. 725-738, available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-023-04729-z>

Nath, U.M., Dey, C., & Mudi, R.K. "IMC-based Anti-Windup Controller for Real-Time Hot Air Flow and Level Control Loop". *International Journal of Automation and Control*, Vol. 16 No. 2 (2022), pp. 205-218, available at: <https://doi.org/10.1504/IJAAC.2022.121126>

Acharya, D.S., Swain, S.K., & Mishra, S.K. "Real-Time Implementation of a Stable 2 DOF PID Controller for Unstable Second-Order Magnetic Levitation System with Time Delay". *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 45 (2020), pp. 6311-6329, available at: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04425-6>

Li, W., Liu, Y., & Yao, X. "State-feedback stabilization and inverse optimal control for stochastic high-order nonlinear systems with time-varying powers". *Asian Journal of Control*, Vol. 23 Issue 2 (2021), available at: <https://doi.org/10.1002/asjc.2250>

Zhou, B. "On Linear Quadratic Optimal Control of Discrete-Time Complex-Valued Linear Systems". *Optimal Control Applications and Methods*, Vol. 41 Issue 2 (2020), pp. 499-520, available at: <https://doi.org/10.1002/oca.2554>

Soltani, A. & Bajestani, A.V. "Linear Quadratic Gaussian Control for a Liquid-Carrying Quadrotor". *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, Vol. 48 (2024), pp. 395-408, available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40998-023-00657-y>

Wang, L., Liu, X., Xue, X., Wei, Y., Li, T., & Chen, X. "Backstepping control for stochastic nonlinear strict-feedback systems based on observer with incomplete measurements". *International Journal of Control*, Vol. 95 Issue 12 (2022), pp. 3211-3225, available at: <https://doi.org/10.1080/00207179.2021.1964604>

Balaska, H., Ladaci, S., & Djouambi, A. "Direct fractional order MRAC adaptive control design for a class of fractional order commensurate linear systems". *Journal of Control and Decision*, Vol. 8 Issue 3 (2021), available at: <https://doi.org/10.1080/23307706.2020.1809022>

Saleem, O.& Hasan, K.M. "Adaptive State-space Control of Under-actuated Systems Using Error-magnitude Dependent Self-tuning of Cost Weighting-factors". *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 19 (2021), pp. 931-941, available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-020-0209-z>

Thanyalak, J., Kheawhom, S.,& Bumroongsri, P. "Gain-scheduling offline robust predictive controllers for discrete-time systems with varying parameters". *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 10 (2022), pp. 260-269, available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40435-021-00805-4>

Wang, C-X. Qi, L., Liu, J., & Yu, J-l. "Barrier Lyapunov Function Based Adaptive Cross Backstepping Control for Nonlinear Systems with Time-varying Partial State Constraints". *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 18 (2020), pp. 1771-1781, available

at:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-019-0496-4>

Wibawa, H., Wahyunggoro, O. & Cahyadi, A.I. "DC Motor Speed Control Using Hybrid PID-Fuzzy with ITAE Polynomial Initiation". *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering (IJITEE)*, Vol. 3 No. 1 (2019), pp. 7-15, available at: <https://jurnal.ugm.ac.id/ijitee/article/view/46590>.

Maghfiroh, H., Wahyunggoro, O., Cahyadi, A.I., Lian, K.L., & Ke, B.R. "Speed control of a single Taipei mass rapid transit system train by using a single input fuzzy logic controller". *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vo. 6 No. 2 (2016), pp. 621-629, available at: <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/142>

Wahyunggoro, O., Triharminto, H.H., & Cahyadi, A.I. "Safe Robot Path Planning and Obstacle Avoidance using Efficient Genetic Algorithm". *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, Vol. 15 No. 3 (2023), pp. 387-400, available at: <https://ijeei.org/archives-number-79.html>

Kuchmenko, T.A., Lisitskaya, R.P., & Shabel'skii, V.S. "Using a Piezosensor-Based "Electronic

Nose” for Establishing the Adulteration of Gasoline with Different Octane Numbers”, *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 77 (2022), pp. 206-215, available at: https://link.springer.com/article/10.1134/S106193482202006X?utm_source=chatgpt.com

Li, J. Ma, C. & Jiang, Y. "Fuzzy Neural Network PID-Based Constant Deceleration Control for Automated Mine Electric Vehicles Using EMB System". *Sensors*, Vol. 24 Issue 7 (2024), pp. 2129-2145, available at: <https://doi.org/10.3390/s24072129>

Lo, Z. & Liu, X. "Adaptive Sliding Mode Control of Crawler Robot Based on Fuzzy Neural Network", in *Proceeding of The 2021 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy*, Vol. 1 (2022), pp. 152-160, available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-89508-2_20