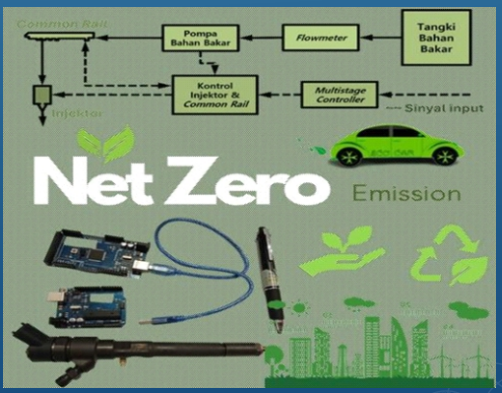
# IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION*

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET**
**ILMU TEKNIK**
**BIDANG TEKNIK MESIN**
**KEPAKARAN TEKNIK OTOMOTIF**




**OLEH:**

**YANUANDRI PUTRASARI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**

# IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION*

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id

Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).
Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

# IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION*

## ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET ILMU TEKNIK BIDANG TEKNIK MESIN KEPAKARAN TEKNIK OTOMOTIF

OLEH:

**YANUANDRI PUTRASARI**

Reviewer:
Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin, S.Si., M.Si.
Prof. Dr. Goib Wiranto
Prof. Novie Ayub Windarko, S.T., M.T., Ph.D.

Penerbit BRIN

© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Implementasi Kontrol Injeksi Bahan Bakar Alternatif untuk Mendukung Program *Net Zero Emission*/Yanuandri Putrasari–Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

ix + 105 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-602-6303-55-4 (*e-book*)

1. Bahan Bakar Alternatif
2. Kontrol Injeksi
3. Diesel
4. Mesin
5. Emisi

662.8

*Copy editor* : Nadifa Azzahra Putri
*Proofreader* : Rina Kamila
Penata Isi : Rina Kamila & S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan & Rina Kamila

Cetakan : Desember 2024

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
*E-mail*: penerbit@brin.go.id
*Website*: penerbit.brin.go.id
PenerbitBRIN
@Penerbit_BRIN
@penerbit.brin

# DAFTAR ISI


BIODATA RINGKAS ..... 1
PRAKATA PENGUKUHAN ..... 5

I. PENDAHULUAN ..... 7
II. TEKNOLOGI KONTROL INJEKSI, PENINGKATAN EFISIENSI, DAN PENGURANGAN EMISI PADA MESIN OTOMOTIF ..... 11
A. Konsep Peningkatkan Efisiensi dan Pengurangan Emisi pada Mesin Otomotif ..... 11
B. Kontrol Injeksi Bahan Bakar Pada Mesin Otomotif ..... 13
C. Perkembangan Kontrol Injeksi Bahan Bakar pada Mesin Otomotif Saat Ini ..... 15
D. Tantangan Masa Depan Teknologi Kontrol Injeksi dan Prospek Komersialisasinya ..... 18
III. IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION* ..... 21
A. Pemanfaatan Kontrol Injeksi Mode Tunggal dan Mode Ganda pada Penggunaan Biodiesel ..... 24
B. Implementasi Kontrol Injeksi pada Penggunaan *Dimethyl Ether* ..... 37
C. Implementasi Kontrol Injeksi pada Penggunaan *Compressed Natural Gas,* Biogas, dan Hidrogen. ..... 42
IV. PELUANG DAN TANTANGAN KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION* DI INDONESIA ..... 57
V. KESIMPULAN ..... 61
VI. PENUTUP ..... 63

UCAPAN TERIMA KASIH ..... 67
DAFTAR PUSTAKA..... 71
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH..... 83
DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... 95

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 2.1 Beberapa mode injeksi dan pengaruhnya pada mesin ..... 17
Gambar 2.2 Mode injeksi ganda berisi *pilot*, *main*, dan *post injection*..... *17*
Gambar 2.3 Perkembangan Sistem Injeksi ..... 20
Gambar 3.1 Rekam Jejak Riset Kontrol Injeksi Bahan Bakar Alternatif..... 22
Gambar 3.2 Skema pengujian mesin dengan kontrol injeksi dan campuran bahan bakar alternatif..... 26
Gambar 3.3 Efisiensi pembakaran mesin..... 27
Gambar 3.4 Emisi THC..... 28
Gambar 3.5 Skema diagram mode kontrol injeksi..... 33
Gambar 3.6 Efisiensi pembakaran pada kontrol injeksi Tunggal maupun ganda..... 34
Gambar 3.7 Emisi THC..... 35
Gambar 3.8 Skema pemanfaatan kontrol injeksi pada DME..... 39
Gambar 3.9 Hasil pengujian pemanfaatan kontrol injeksi pada DME..... 40
Gambar 3.10 Hasil pengujian pemanfaatan kontrol injeksi pada DME (Emisi NOx, CO, dan THC)..... 41
Gambar 3.11 Sistem injeksi bahan bakar *natural gas* ..... 43
Gambar 3.12 Daya yang dihasilkan mesin dengan kontrol injeksi bahan bakar *natural gas*..... 44
Gambar 3.13 Emisi CO yang dihasilkan mesin dengan kontrol injeksi bahan bakar *natural gas*..... 45
Gambar 3.14 Diagram skema kontrol injeksi biogas. ..... 47
Gambar 3.15 Profil tekanan silinder mesin dengan penerapan kontrol injeksi biogas POME..... 49

Gambar 3.16 Penurunan bahan bakar diesel pada mesin dengan penerapan kontrol injeksi biogas POME. ..... 50
Gambar 3.17 Emisi NOx mesin dengan kontrol injeksi biogas. ..... 51
Gambar 3.18 Emisi opasitas mesin dengan kontrol injeksi biogas. ..... 52
Gambar 3.19 Skema susunan pengujian mesin dan kontrol injeksi bahan bakar hidrogen ..... 53
Gambar 3.20 Thermal efisiensi mesin dengan kontrol injeksi hidrogen ..... 54
Gambar 3.21 NOx emission dengan bahan bakar hidrogen ..... 55

# DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kondisi pengoperasian mesin untuk kontrol mode injeksi Tunggal ..... 26
Tabel 3.2 Kondisi operasi(Putrasari & LIM, 2018) ..... 32
Tabel 3.3 Strategi kontrol injeksi ..... 32
Tabel 3.4 Spesifikasi mesin dan pengaturan waktu kontrol injeksi pada pemanfaatan biogas ..... 47

# BIODATA RINGKAS

Yanuandri Putrasari lahir di Karanganyar, Jawa Tengah, 18 Januari 1982, adalah putra kedua dari tiga bersaudara dari Bapak H. Kisdiparno, S.Pd. dan Ibu Hj. Sadremi, S.Pd. Menikah dengan Dr. Hafiziani Eka Putri, M.Pd., dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Fathiyyah Haura Azizah dan Faizah Halimah Rosyidah.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 2/M Tahun 2023 tanggal 9 Januari 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Februari 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 247/I/HK/2024 tanggal 8 November 2024 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah di SDN Kretek 1 Bantul tahun 1994, SMPN 1 Bantul tahun 1997, dan SMUN 1 Bantul tahun 2000. Mengenyam Pendidikan pada Program DIII Teknik Mesin UGM tahun 2003, gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin didapat dari UNY tahun 2005, gelar Sarjana Teknik Mesin dari STTM Bandung tahun 2007, gelar *Master of Mechanical and Manufacturing Engineering* dari Universiti Tun Hussein Onn Malaysia tahun 2011, dan gelar *Doctor of Phylosophy in*

*Mechanical and Automotive Engineering* dari *University of Ulsan Republik of Korea* tahun 2019.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/b tahun 2012, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2014, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2020, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/e di tahun 2023.

Penugasan khusus yang pernah diemban antara lain : Postdoctoral di University of Ulsan Korea (November 2018-Februari 2019), Committee Member of FISITA 2016 World Automotive Congress, Pembina Fakultas Teknik dan sekaligus Pengajar Universitas Sangga Buana YPKP Bandung (2023-sekarang), Chairman of ICSEEA (2019), Ketua Tim Monev Puslit Tenaga Listrik Mekatronik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) (2019 – 2021), Koordinator PRN Teknologi Kendaraan Listrik (2020 – 2021), Koordinator RP Sistem Otonomous Kendaraan Listrik (2021 – 2021), Asesor Jabatan Fungsional Peneliti LIPI/BRIN (2019 – sekarang), Anggota Tim Monev Kedeputian Ilmu Pengetahuan Teknik LIPI (2020), Plt. Kepala Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN (2022), Kepala Pusat Riset Mekatronika Cerdas (2022 – Sekarang).

Menghasilkan 84 publikasi ilmiah baik yang ditulis sendiri maupun bersama berupa karya tulis ilmiah (KTI) dalam bentuk jurnal dan prosiding baik nasional maupun internasional, hak kekayaan intelektual (HKI), dan buku/bagian buku.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai Kepala Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN, Pembimbingan Periset Muda dan Madya LIPI dan BRIN, Pembimbingan pada jenjang Doktor (S3) Universitas Diponegoro dan Universitas Padjadjaran, Pembimbingan Mahsiswa Master (S2) di Universiti Teknologi Mara (UiTM) Malaysia, dan Pembimbingan Tugas Akhir (S1) di Institut Teknologi Bandung.

Aktif dalam kegiatan ilmiah, antara lain; *Expert* pada Workshop ASEAN Autonomous Vehicle 2024, committee Workshop on Biofuels for Transportation in ASEAN Countries 2019, Editor Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology (MEV), dan *Chairman* International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) 2019. Menjadi mitra bestari di beberapa jurnal internasional dari penerbit Elsevier (Fuel, Alexandria Engineering Journal, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Case Studies in Thermal Engineering ), penerbit Taylor and Francis (Energy Source, Part A), Wiley (International Robust and Nonlinear Control, Energy Science & Engineering), penerbit MDPI (Energies, Fluids, Sensors, Mathematics, Fractal and Fractional, Fire), reviewer beberapa konferensi internasional published in IEEE Xplore, AIP dan IOP, serta JMEV. Tim Dewan Juri Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) BPTI Kemendikbudristek.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota IEEE (2019), anggota Korean Society of Automotive Engineers-KSAE (2015–2019), anggota participant Ikatan Ahli

Teknik Otomotif-SAE Indonesia (2019–sekarang), anggota HIMPENINDO (2016–2021), dan anggota Perhimpunan Periset Indonesia (2022–sekarang).

Menerima beasiswa Sarjana dari LIPI 2006, Peserta terbaik Diklat Metodologi Penelitian LIPI 2006, *Master Degree Scholarship* dari UTHM Malaysia 2009-2011, menerima *Research Grant* dari UTHM *vot number* 0625, 0361, and 0729 (2009 – 2010), *Awardee Doctoral Course Scholarship* dari *University of Ulsan* Korea (2015-2019), *The Best Paper Presentation Award at the 2018 International Conference on Advanced Automotive Technology (ICAT) Korea*, *Awardee Scholarship Program for Research and Innovation in Science and Technology* (Riset-Pro) Kemenristekdikti Indonesia (2015-2019), Satyalancana Karya Satya 10 Tahun (2015) dari Presiden RI.

# PRAKATA PENGUKUHAN

*Assalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, Kepala BRIN, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 11 Desember 2024 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

"IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION*"

Pada orasi ini, akan disampaikan state of the art tentang perkembangan, peluang dan tantangan penelitian kontrol injeksi bahan bakar alternatif untuk mendukung program net zero emission. Perbaikan performa dan monitoring kondisi mesin berupa kontrol injeksi modern dan canggih dilengkapi dengan

banyak sensor dan sistem monitoring yang memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi mesin, ruang bakar, atau komposisi bahan bakar dan udara yang dapat mewujudkan mesin konvensional namun ramah lingkungan.

Orasi ini akan memberikan pemahaman terkait manfaat perkembangan teknologi sistem bahan bakar khususnya pemanfaatan kontrol injeksi untuk aplikasi bahan bakar alternatif dalam mendukung program net zero emission. Orasi ini juga diharapkan dapat mendorong keberlanjutan riset mengenai pengembangan dan pemanfaatan kontrol injeksi untuk aplikasi bahan bakar alternatif. Terutama yang berasal dari sumber daya alam Indonesia. Sebagaimana diketahui sumber daya alam Indonesia sangat melimpah dan dapat menjadi aset yang besar bagi pengembangan riset kontrol injeksi bahan bakar alternatif yang tidak hanya akan memberikan manfaat bagi perkembangan sains saja, tetapi juga bagi masyarakat Indonesia seluruhnya.

# I. PENDAHULUAN

Penghematan energi, pengurangan emisi, teknologi ramah lingkungan dan sumber energi berkelanjutan, serta perubahan iklim adalah isu-isu yang menarik banyak perhatian saat ini, baik di tingkat nasional maupun internasional(Putrasari & Lim, 2019a). Usulan dari berbagai negara untuk memperkecil dampak perubahan iklim dengan mengurangi emisi dari kontributor utama gas rumah kaca seperti pertanian, transportasi, pembangkit listrik, industri semen, industri minyak dan gas, industri besi dan baja, perumahan, dan lain sebagainya(Putrasari et al., 2016). Selain perubahan iklim, gas rumah kaca juga akan berdampak buruk pada kesehatan manusia(Nur et al., 2012; Praptijanto, Muharam, et al., 2015). Saat ini, produsen otomotif sedang berusaha keras untuk mengurangi emisi dari mesin pembakaran internal untuk mendukung pengurangan contributor gas rumah kaca sehingga tercapai tujuan *net zero emision*.

Mobil hibrida dan listrik mendapat perhatian lebih karena emisinya dianggap lebih rendah dan kemampuan berkendaranya lebih fleksible(Praptijanto et al., 2017; Putrasari et al., 2021). Bahkan dengan kecanggihan teknologi termasuk kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin dua jenis kendaraan ini dapat beroperasi secara otonom(Waskito et al., 2023). Namun, biaya yang mahal dan kompleksitas kecanggihan teknologi adalah tantangan utama mobil hibrida, listrik, dan otononom tersebut(Putrasari et al., 2021; Waskito et al., 2023).

Biofuel yang terbuat dari berbagai sumber daya terbarukan diketahui sangat cocok sebagai bahan bakar alternatif berkelanjutan untuk mesin pembakaran dalam terutama jenis *Compression Ignition Engine* yang sangat dibutuhkan sebagai sumber penggerak bagi kendaraan terutama untuk daya yang besar (Putrasari & Lim, 2019a)(Praptijanto, Agustian, et al., 2015; Putrasari et al., 2019a; Putrasari & Lim, 2017b; Putrasari et al., 2013).

Salah satu kebijakan utama pengembangan biofuel di Indonesia adalah Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Kebijakan tersebut menetapkan target penggabungan bahan bakar nabati sebesar 2% dari konsumsi energi nasional pada tahun 2010, dan meningkat menjadi 5% pada tahun 2025. Kebijakan ini menugaskan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk mengembangkan cetak biru pengelolaan energi nasional, yang mencakup berbagai sumber energi, termasuk bahan bakar nabati. Saat ini pemanfaatan biofuel di Indonesia sudah mencapai implementasi B30 atau 30% biodiesel (Permen ESDM No. 41/2018). Untuk mendukung tercapainya *net zero emision* perlu juga diimplemantasikan untuk sumber bahan bakar alternatif lainnya yang ramah lingkungan seperti biogas dan dimetil ether (DME)(Putrasari et al., 2017a; Putrasari & Lim, 2022).

Beberapa produsen otomotif ternama di dunia telah berfokus pada teknologi pengendalian emisi seperti sistem *homogeneous charge compression ignition (HCCI)* dan *aftertreatment* sedang dikembangkan saat ini(Jamsran et al., 2016). Namun, teknologi

*aftertreatment* mahal, rumit dan mengurangi keunggulan utama mesin pembakaran dalam itu sendiri. Kemudian regulasi emisi kendaraan mesin pembakaran dalam juga lebih ketat di seluruh dunia sehingga merepotkan bagi produsen otomotif (Santoso et al., 2019a). Oleh karena itu, untuk mendapatkan pembakaran mesin dengan efisiensi tinggi tetapi rendah emisi memotivasi penulis untuk mempelajari, meneliti dan berinovasi pada teknologi kontrol injeksi sistem bahan bakar alternatif mesin pembakaran dalam.

Dengan menggabungkan teknologi kontrol injeksi yang canggih dan bahan bakar alternatif, kita dapat mewujudkan kendaraan dengan mesin konvensional namun ramah lingkungan yang mendukung program *net zero emission.* Hal ini penting dalam mengurangi jejak karbon transportasi dan mencapai target keseluruhan *net zero emission.*

Naskah orasi ini berfokus pada pembahasan terkait perkembangan teknologi sistem bahan bakar khususnya pemanfaatan kontrol injeksi untuk aplikasi bahan bakar alternatif dalam mendukung program *net zero emission*. Teknologi injeksi sudah sangat maju saat ini, namun pemanfaatan pada bahan bakar alternatif kurang efektif, contoh pada biodiesel, karena memiliki kharakteristik yang berbeda dan hanya menggunakan injeksi mekanik sehingga alih-alih mengurangi emisi, justru pembakaran tidak sempurna dan emisi meningkat (Heywood, 2018; Khoa et al., 2022a; Luo et al., 2018; Moon et al., 2016; Wang et al., 2017; Xu et al., 2018). Untuk itu diperlukan sistem kontrol injeksi yang sesuai dengan kharakteristik bahan

bakar alternatif sehingga efisiensi mesin tinggi dan emisi menjadi semakin rendah yang dapat mendukung program *net zero emission.* Naskah ini dibagi kedalam lima Bab, diawali perkembangan teknologi sistem bahan bakar untuk efisiensi tinggi dan rendah emisi. Pada bab ke dua berisi teknologi kontrol injeksi, peningkatan efisiensi, dan pengurangan emisi pada mesin otomotif. Bab ke tiga berisi kegiatan riset berupa implementasi kontrol injeksi pada penggunaan bahan bakar alternatif di bidang otomotif; mode ganda dan tunggal untuk biodiesel, *dimethyl ether* (DME), *natural gas*, biogas, dan hidrogen. Bab keempat dibahas peluang dan tantangan kontrol injeksi bahan bakar alternatif untuk mendukung program *net zero emission* di Indonesia. Bab ke lima Kesimpulan dan Bab ke enam sebagai penutup.

# II. TEKNOLOGI KONTROL INJEKSI, PENINGKATAN EFISIENSI, DAN PENGURANGAN EMISI PADA MESIN OTOMOTIF

Perkembangan teknologi sistem bahan bakar khususnya pemanfaatan kontrol injeksi erat kaitannya dengan peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi pada sebuah mesin. Hal tersebut diulas dengan komprehensif pada pembahasan lebih lanjut dari bab ini.

## A. Konsep peningkatkan efisiensi dan pengurangan emisi pada mesin otomotif

Sasaran strategi pengoperasian mesin otomotif mutakir adalah meningkatkan efisiensi dan menurunkan emisi gas buang pada mesin otomotif berupa konsep *low temperature combustion* (LTC) atau pembakaran suhu rendah. LTC menawarkan potensi untuk mengurangi nitrogen oksida (NOx) dan *partikulat matter* (PM) melalui peningkatan pencampuran dan pengenceran udara-bahan bakar yang masuk sehingga menghasilkan puncak suhu pembakaran yang lebih rendah (Nur et al., 2015; Praptijanto, Agustian, et al., 2015b, 2015a; Praptijanto et al., 2017; Praptijanto, Santoso, Nur, Putrasari, Dimyani, et al., 2019a; Pratama, Budi, et al., 2019; Pratama, Santoso, et al., 2019; Putrasari et al., 2013; Putrasari, Jwa, et al., 2019a; Santoso et al., 2019a; Sebayang et al., 2011; Wahono, Putrasari, et al., 2019; Wahono, Setiawan, et al., 2019) Berdasarkan distribusi udara-bahan bakar dan suhu

pembakaran dalam silinder pada berbagai titik operasi, terdapat daerah dengan pembentukan jelaga atau NOx yang berlebihan (biasa disebut sebagai 'pulau' jelaga atau NOx)(Lawler et al., 2017).

Menurut Putrasari et al., 2017, (Putrasari & Lim, 2019b) prinsip dan penjelasan LTC berdasarkan pulau jelaga atau Nox. Mengurangi emisi jelaga dan NOx secara bersamaan dalam pembakaran diesel konvensional telah lama menjadi tantangan dalam dunia mesin otomotif, karena titik operasi dilematis di dalam "pulau" jelaga tersebut. Dilema pilihan pencapaian NOx rendah atau pembentukan jelaga, namun tidak bisa kedua-duanya disebut sebagai *trade-off* jelaga-NOx. Tingkat pembentukan NOx yang rendah dapat dicapai dengan mengurangi suhu pembakaran, namun hal ini biasanya disertai dengan pembentukan jelaga yang tinggi. Tentu saja, pembentukan jelaga dapat dikurangi dengan pemanfaatan udara yang lebih baik namun menghasilkan suhu pembakaran dan laju pembentukan NOx yang lebih tinggi. Kompromi dalam pembakaran diesel konvensional ini telah mendorong para peneliti mesin untuk mencari strategi pembakaran (misalnya, LTC, HCCI, dll.) yang dapat menghilangkan pulau NOx-jelaga sama sekali.

Bentuk LTC yang paling umum dilakukan peneliti mesin otomotif adalah pembakaran HCCI(Putrasari & Lim, 2019b). HCCI adalah salah satu bentuk LTC paling awal dan mungkin yang paling banyak diteliti(Putrasari & Lim, 2019b). Dalam HCCI, campuran udara-bahan bakar yang homogen dikompresi hingga terbakar secara otomatis. Oleh karena itu, HCCI

menggabungkan karakteristik hasil jelaga yang sangat rendah dan homogen dari pembakaran SI konvensional yang tercampur dengan baik dengan efisiensi tinggi (yang dicapai melalui campuran miskin dan tanpa hambatan) yang biasanya merupakan ciri khas pembakaran CI. Emisi NOx dijaga tetap rendah melalui pengenceran tingkat tinggi dengan udara dan residu. Karena faktor-faktor ini, HCCI telah menunjukkan emisi NOx dan jelaga yang mendekati nol dengan efisiensi yang serupa atau lebih besar dari pembakaran diesel konvensional(Putrasari & Lim, 2019b). Namun, HCCI hanya dapat dicapai pada rentang pengoperasian beban sebagian yang sempit karena kurangnya kontrol langsung terhadap permulaan dan laju pelepasan panas. Untuk memberikan kontrol atas pelepasan panas di HCCI, diperlukan pemahaman yang lebih baik tentang proses pembakaran mendasar(Putrasari et al., 2021; Wang et al., 2015). Strategi LTC yang lebih praktis yang dapat mengatasi permasalahan dari mesin HCCI adalah GCI, dimana bahan bakar (bensin) dengan kualitas penyalaan rendah langsung diinjeksikan ke dalam ruang bakar menggunakan sistem pengisian bahan bakar common rail pada mesin diesel(Kalghatgi et al., 2006; Putrasari, Jwa, et al., 2019b; Putrasari & Lim, 2017a; Putrasari & LIM, 2018; Putrasari & Lim, 2019a, 2017c).

## B. Kontrol Injeksi Bahan Bakar Pada Mesin Otomotif

Selain sistem bahan bakar terdahulu berbasis mekanik berupa pompa injeksi dan injektor manual(Heywood, 2018). Sistem injeksi bahan bakar yang fleksibel dan terkontrol secara elektronik merupakan terobosan teknologi untuk mesin diesel

setelah sistem mekanik. Selain variasi jumlah bahan bakar dan permulaan injeksi, teknologi ini memungkinkan untuk memilih secara bebas tekanan injeksi antara 150 hingga 1400 bar dan menginjeksikan bahan bakar dalam beberapa ukuran. Komponen ini disebut system bahan bakar *common-rail* terkontrol yang akan memberikan kontribusi terhadap perbaikan dan peningkatan lebih lanjut mesin diesel terkait kebisingan, emisi gas buang, dan torsi mesin(Mata et al., 2023; Xu et al., 2018).

Sistem injeksi bahan bakar yang fleksibel untuk mesin otomotif, memungkinkan tercapainya beberapa target yang dapat diatur dengan mudah yaitu: 1) awal mulai injeksi; 2) jumlah bahan bakar; 3) tekanan injeksi; dan 4) kecepatan injeksi(Ferrari et al., 2018; Khalid et al., 2024).

Pada sistem *common rail* pompa suplai mendorong bahan bakar dari tangki dan menyalurkannya ke pompa bertekanan tinggi. Pompa bertekanan tinggi digerakkan oleh mesin otomotif dan menyalurkan bahan bakar melalui *rail* ke injektor di dalam silinder mesin. Salah satu bagian bahan bakar ini diinjeksikan ke ruang bakar mesin, sebagian kecil mengontrol tekanan nozel injeksi pada injektor dan kemudian dialirkan kembali ke tangki.

Sensor tekanan mengukur tekanan bahan bakar di rail. Sinyalnya dibandingkan dengan nilai yang diinginkan yang disimpan di *electronic control unit (ECU).* Jika nilai terukur dan nilai yang diinginkan berbeda, lubang luapan pada pengatur tekanan di sisi *rail* tekanan tinggi dibuka atau ditutup. Bahan bakar yang meluap kembali ke tangki. Injektor dibuka dan ditutup oleh ECU pada waktu yang ditentukan. Durasi injeksi,

tekanan bahan bakar di rail, dan area aliran injektor menentukan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan.

ECU berisi semua fungsi untuk mengontrol sistem injeksi bahan bakar antarai lain sebagai berikut:

1) Nilai tekanan bahan bakar yang diinginkan ditentukan oleh informasi pengoperasian mesin. Jika tekanan bahan bakar yang diukur menyimpang dari nilai yang diinginkan, arus listrik pada pengatur tekanan divariasikan hingga tekanan *rail* yang diukur dan nilai yang diinginkan sama.
2) Katup solenoid injektor dikontrol sesuai dengan posisi pedal akselerator dan informasi pengoperasian mesin.
3) Katup solenoid pada pompa bertekanan tinggi diaktifkan sesuai dengan informasi pengoperasian mesin.
4) Pompa umpan listrik dapat dihidupkan dan dimatikan. Katup solenoid pada umpan bahan bakar dapat dibuka dan ditutup jika digunakan pompa umpan yang digerakkan oleh mesin.

Selain itu, ECU menjalankan fungsi untuk mengendalikan mesin dan kendaraan serta menyediakan informasi untuk pengemudi dan data-data diagnostik.

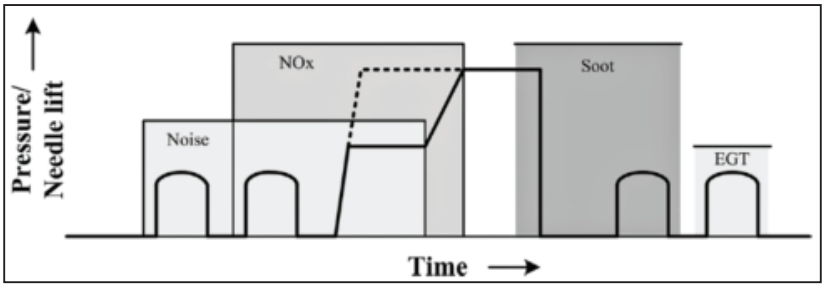
## C. Perkembangan Kontrol Injeksi Bahan Bakar Pada Mesin Otomotif Saat Ini

Sistem injeksi bahan bakar elektronik mutakir diketahui dapat menjaga tingkat emisi sesuai ambang batas yang diinginkan tanpa mengurangi kinerja mesin dan akan terus memainkan

peran penting dalam pengembangan mesin otomotif yang lebih baik di masa mendatang. Prinsip dan strategi berikut akan meningkatkan pencampuran bahan bakar-udara dan proses pembakaran yang mengarah pada pengurangan emisi yaitu proses pembentukan NOx dan partikulat matter(Ferrari et al., 2018; Khoa et al., 2022b; Mata et al., 2023).

1) Tingkat tekanan injeksi mengontrol penetrasi semprotan dan meningkatkan atomisasi.
2) Bahan bakar harus didistribusikan terutama melalui udara di dalam ruang bakar dengan kemungkinan pembasahan dinding yang seminimal mungkin.
3) Konfigurasi nosel, seperti jumlah lubang penyemprot, diameter, orientasi, tonjolan ujung nosel di dalam ruang bakar, semuanya mempengaruhi distribusi bahan bakar dan atomisasi di dalam ruang bakar.
4) Penggunaan teknologi waktu injeksi variabel dan kecepatan injeksi variabel.

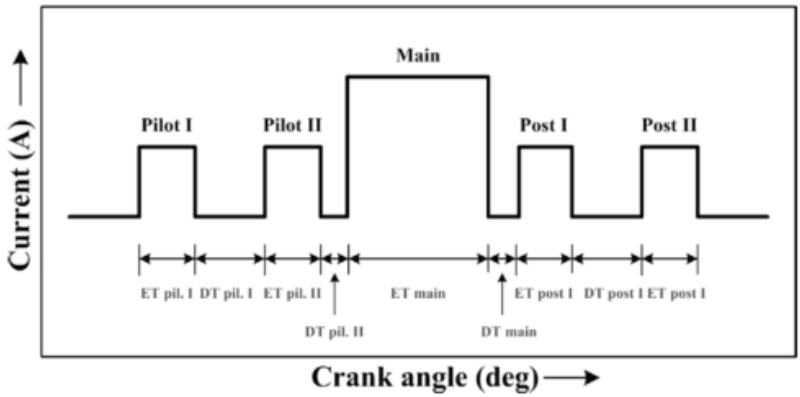
Saat ini, sistem injeksi bahan bakar common rail bertekanan tinggi memungkinkan tingkat fleksibilitas yang sangat tinggi dalam pengaturan waktu dan kuantitas beberapa injeksi, yang dapat digunakan untuk mendapatkan pengurangan kebisingan dan emisi mesin secara signifikan tanpa mengurangi kinerja dan konsumsi bahan bakarnya(Han et al., 2016; Khalid et al., 2024; Maurya & Mishra, 2017). Gambar 2.1 menunjukkan beberapa injeksi tertentu dan manfaatnya terhadap kinerja mesin dan pengurangan emisi. Satu atau dua pilot injeksi pada tekanan rendah membantu mengurangi kebisingan mesin serta emisi NO,




Sumber: Khoa et al. (2022a), Mohan et al. (2013)

**Gambar 2.1** Beberapa mode injeksi dan pengaruhnya pada mesin

yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada bentuk persegi panjang yaitu jarum yang terbuka penuh atau injeksi utama berbentuk sepatu bot akan membantu pengurangan NO, dalam mendukung proses penutupan pilot injeksi. Beberapa injeksi setelahnya dengan tekanan tinggi akan membantu dalam mengurangi emisi jelaga sedangkan pasca injeksi lambat pada tekanan sedang membantu




Sumber: Khoa et al. (2022a), Mohan et al. (2013)

**Gambar 2.2** Mode injeksi ganda berisi *pilot*, *main*, dan *post injection*

mengatur suhu gas buang untuk regenerasi filter partikulat diesel dan menyediakan hidrokarbon untuk katalis penyerap NOx(Khoa et al., 2022a; Praptijanto, Santoso, Nur, Putrasari, Dimyani, et al., 2019b; Putrasari & Lim, 2019b).

## D. Tantangan Masa Depan Teknologi Kontrol Injeksi dan Prospek Komersialisasinya

Beberapa poin penting yang menunjukkan pengaruh strategi kontrol injeksi bahan bakar terhadap kinerja dan emisi mesin dan biofuel lainnya (Putrasari & Lim, 2021; Sebayang et al., 2012; Wahono et al., 2017), tercantum di bawah ini antara lain sebagai berikut:

1) Pembentukan laju injeksi merupakan strategi yang lebih baik dalam mengurangi NO pada kondisi pembebanan tertentu, namun penggunaan laju injeksi berbentuk ramp atau boot selalu disertai dengan peningkatan pembentukan jelaga dan konsumsi bahan bakar. Pembentukan laju injeksi telah terbukti mengurangi kebisingan pembakaran.
2) Pengaturan waktu injeksi yang lebih maju menghasilkan peningkatan NO sekaligus mengurangi konsumsi bahan bakar, dan emisi seperti CO, HC, dan asap, meskipun jika dilakukan melebihi batas tertentu dapat mengakibatkan asap yang tinggi dan kinerja yang buruk. Dikombinasikan dengan tekanan injeksi yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya konsentrasi jumlah partikel.
3) Beberapa injeksi diketahui dapat mengurangi emisi NO dan PM secara bersamaan, namun perlu dilakukan uji coba yang sangat besar dilakukan sebelumnya untuk memperbaiki

berbagai parameter seperti waktu tunggu, waktu injeksi dan durasi semua injeksi untuk menyeimbangkan emisi dan kinerja mesin.

Banyak penelitian yang menunjukkan secara komprehensif bahwa terdapat potensi perbaikan parameter injeksi bahan bakar yang sangat besar dan masih belum tereksploitasi. Secara keseluruhan, berdasarkan parameter pengoperasian dan desain mesin, jenis strategi atau kombinasi injeksi bahan bakar harus dipilih dengan tepat. Umumnya kombinasi dari satu atau lebih strategi kontrol injeksi dapat membantu mencapai keseimbangan antara pengurangan emisi dan meningkatkan kinerja mesin. Untuk itu pemanfaatan kontrol injeksi bahan bakar alternatif sangat potensial dimasa datang dan mendukung program *net zero emission*. Hal ini juga memberikan pengurangan besar dalam polusi khususnya yang berkaitan dengan pengurangan NO dan PM sehingga memberikan fleksibilitas dalam mengendalikan trade-off PM-NOx untuk kendaraan masa depan agar dapat memenuhi norma emisi yang semakin ketat. Implementasi kontrol injeksi bahan bakar alternatif tentunya dapat dimulai dengan komersialisasi oleh perusahaan-perusahaan otomotif dalam negeri dengan payung regulasi dari pemerintah guna mendukung *sustainable goal development* dan *net zero emission.* Meskipun tantangan penggunaan teknologi kontrol injeksi ini adalah maraknya perkembangan industri kendaraan listrik, namun jika sudah menjadi regulasi dari pemerintah dan harus dilaksanakan oleh stake holder maka akan terlaksana dengan baik, dan potensi bahan bakar alternatif di Indonesia yang banyak akan terserap dan termanfaatkan dengan baik.

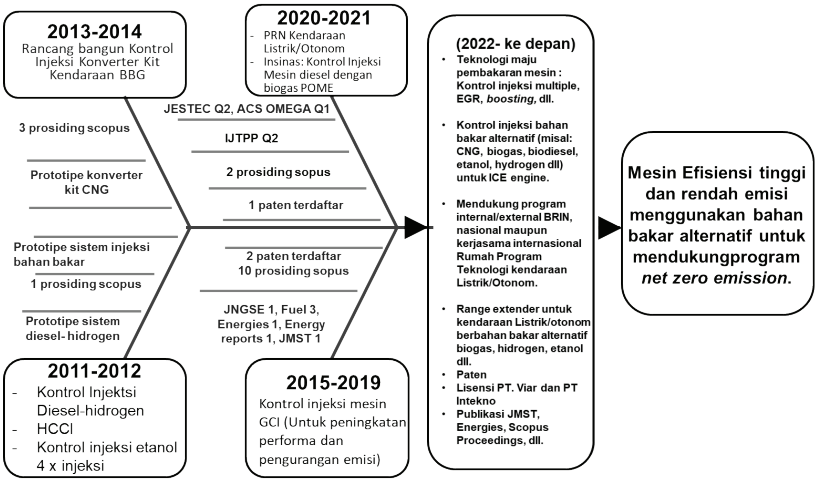
Secara umum perkembangan teknologi injeksi bahan bakar dari awal sampai sekarang dan area penelitian kandidat dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Heywood, 2018; Luo et al., 2018; Moon et al., 2016; Wang et al., 2017; Xu et al., 2018).

Sumber: Heywood (2018); Luo et al. (2018); Moon et al. (2016); Wang et al. (2017); Xu et al. (2018)

**Gambar 2.3** Perkembangan Sistem Injeksi

# III. IMPLEMENTASI KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION*

Perjalanan penelitian kandidat dalam mendukung target *net zero emission* tampak pada capaian bersama tim risetnya berupa kekayaan ilmiah, lisensi, dan komersialisasi produk diantaranya; Lisensi Alat Pengendali/Kontrol Tegangan Pada Range Extender Hibrid di Kendaraan Listrik dengan PT. Triangle Motorindo (Viar), Lisensi Paten Pengaman Tutup Otomatis yang Dipasang pada Kontainer Kendaraan Niaga, Lisensi Desain Industri Kendaraan Roda Tiga Elektrik untuk Berniaga dengan PT. Triangle Motorindo (Viar), dan Lisensi Teknologi Sistem Otonom Kendaraan Listrik dengan PT. Intekno Industri Indonesia. Namun, yang akan dibahas lebih lanjut adalah terkait rekam jejak kandidat dalam riset pemanfaatan kontrol injeksi bahan bakar alternatif dengan paten terkait yaitu Bahan Bakar Bensin Biodiesel Pada Motor Bakar Penyalaan Kompresi, nomor P00202007377, tahun 2022. Dengan hasil-hasil data riset yang telah dilakukan dapat mendukung program target *net zero emission*. Rekam jejak dalam bentuk bagan dapat dilihat pada diagram duri ikan pada Gambar 3.1 (Dimyani et al., 2021; Ghany et al., 2024; Khoa et al., 2022b; Praptijanto, Santoso, Nur, Putrasari, & Suherman, 2019; Putrasari et al., 2012, 2014; Putrasari, Santoso, et al., 2019; Sebayang et al., 2010; Tamam et al., 2021; Tongroon et al., 2023; Wardana et al., 2024).




Sumber: Khoa et al. (2022a); Putrasari & Lim (2019b)

**Gambar 3.1** Rekam Jejak Riset Kontrol Injeksi Bahan Bakar Alternatif

Pemanfaatan kontrol injeksi berperan penting dalam mendukung penggunaan bahan bakar alternatif guna mencapai target *net zero emission*. Berikut adalah beberapa cara di mana kontrol injeksi dapat diterapkan untuk mendukung tujuan tersebut:

1) Optimasi campuran bahan bakar pada mesin: Kontrol injeksi memungkinkan untuk mengatur waktu, pola, dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Ini sangat penting ketika menggunakan bahan bakar alternatif seperti biofuel (misalnya, bioetanol atau biodiesel) atau gas alam terkompresi (CNG). Dengan mengatur injeksi, campuran udara-bahan bakar dapat dioptimalkan untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi.

2) Penyesuaian terhadap jenis bahan bakar: Bahan bakar alternatif memiliki karakteristik pembakaran yang berbeda dari bahan bakar fosil. Kontrol injeksi dapat digunakan untuk menyesuaikan mesin terhadap jenis bahan bakar yang berbeda. Misalnya, mengubah waktu injeksi dan tekanan untuk bahan bakar yang lebih kental atau mudah menguap, kemudian mengatur perbandingan udara-bahan bakar untuk jenis bahan bakar dengan komposisi kimia yang berbeda.

3) Mengurangi emisi: Kontrol injeksi yang cerdas dapat membantu mengurangi emisi dengan cara mengoptimalkan pembakaran di dalam ruang bakar. Ini termasuk mengurangi emisi CO2, NOx, dan partikulat matter. Dengan pengaturan yang tepat injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar, proses pembakaran dapat ditingkatkan sampai sempurna sehingga mengurangi sisa-sisa pembakaran dan didapat emisi yang tidak bersih.

4) Pemilihan bahan bakar yang fleksibel: Dengan kontrol injeksi yang tepat, kendaraan dapat dirancang untuk beroperasi dengan berbagai jenis bahan bakar alternatif tanpa perlu mengubah desain mesin secara drastis. Ini memberikan fleksibilitas yang penting dalam transisi menuju bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan mendukung net zero emission.

5) Peningkatan efisiensi mesin: Kontrol injeksi yang canggih dan tepat dapat meningkatkan efisiensi mesin secara keseluruhan melalui optimalisasi siklus pembakaran dan mengurangi kerugian energi atau terbuangnya bahan bakar yang tidak perlu, membantu mempercepat penggunaan teknologi bahan bakar alternatif yang lebih efisien.

6) Perbaikan performa dan monitoring kondisi mesin: Kontrol injeksi modern and canggih dilengkapi dengan banyak sensor dan sistem monitoring yang memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi mesin, ruang bakar atau komposisi bahan bakar dan udara.

Beberapa paparan dari esensi hasil-hasil riset yang telah dilakukan oleh penulis mengenai teknologi kontrol injeksi dengan berbagai bahan bakar alternatif diuraikan pada sub bab selanjutnya.

## A. Pemanfaatan kontrol injeksi mode tunggal dan mode ganda pada penggunaan biodiesel

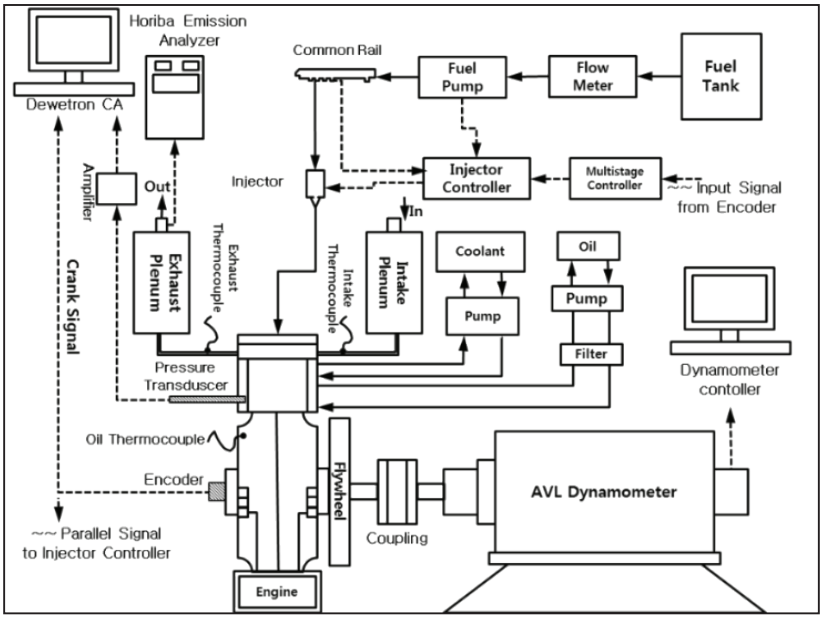
Pengaruh berbagai strategi injeksi, yaitu mode injeksi tunggal dan ganda, yang terdiri dari injeksi pilot dan injeksi utama terhadap pembakaran dan penurunan emisi mesin diesel berbahan bakar biodiesel dengan campuran bensin telah berhasil dipelajari(Putrasari, Jwa, et al., 2019b; Putrasari & Lim, 2017a; Putrasari & LIM, 2018; Putrasari & Lim, 2017c; Yanuandri Putrasari, Achmad Praptijanto, et al., 2022) dan sudah dipatenkan dengan nomor registrasi P00202007377(Yanuandri Putrasari et al., 2022). Untuk mendapatkan analisis yang jelas dan komprehensif mengenai pengaruh berbagai strategi injeksi tunggal terhadap pembakaran dan penurunan emisi mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel bensin, input energi dasar yang sama dari bahan bakar yang diinjeksi digunakan untuk

membandingkan berbagai parameter. Mode pilot dan injeksi utama campuran bensin-biodiesel juga dipadukan dengan modifikasi beberapa kondisi awal, seperti temperatur masuk, oli, dan cairan pendingin. Analisis karakteristik pembakaran berupa tekanan silinder, laju pelepasan panas, kestabilan pembakaran, ignition delay, dan karakteristik emisi dibahas sebagai fokus penelitian ini.

Mesin diesel 4-tak satu silinder, berpendingin air, aliran udara masuk alamiah, dengan volume 498 cm3 dan single overhead camshaft (SOHC) 4-katup digunakan untuk melakukan pengujian mesin. Injektor 7 lubang Bosch digunakan untuk mengalirkan bahan bakar ke ruang bakar mesin. Injektor dikendalikan menggunakan pengontrol mesin injeksi multi-tahap dikombinasikan dengan driver injektor dan encoder untuk menyesuaikan waktu dan durasi injeksi. Mode trigger eksternal dipilih karena sinyal yang digunakan berasal dari encoder yang dipasang pada poros engkol mesin. Diagram skema mesin uji dan pengaturan pengukuran disajikan pada Gambar 3.2.

Kondisi pengoperasian mesin disajikan pada Tabel 3.1. Data tekanan dalam silinder dicatat untuk 100 siklus mesin. Pada langkah ini hanya emisi reguler dari total hidrokarbon dan NOx yang tidak terbakar yang diukur menggunakan alat ukur emisi.

Gambar 3.3 menunjukkan hasil dari efisiensi pembakaran mesin pengaruh dari kontrol injeksi untuk berbagai SOI dan bahan bakar berbeda, yaitu Diesel dan GB20. Efisiensi pembakaran




Sumber: Putrasari & Lim (2017a); Putrasari & LIM (2018)

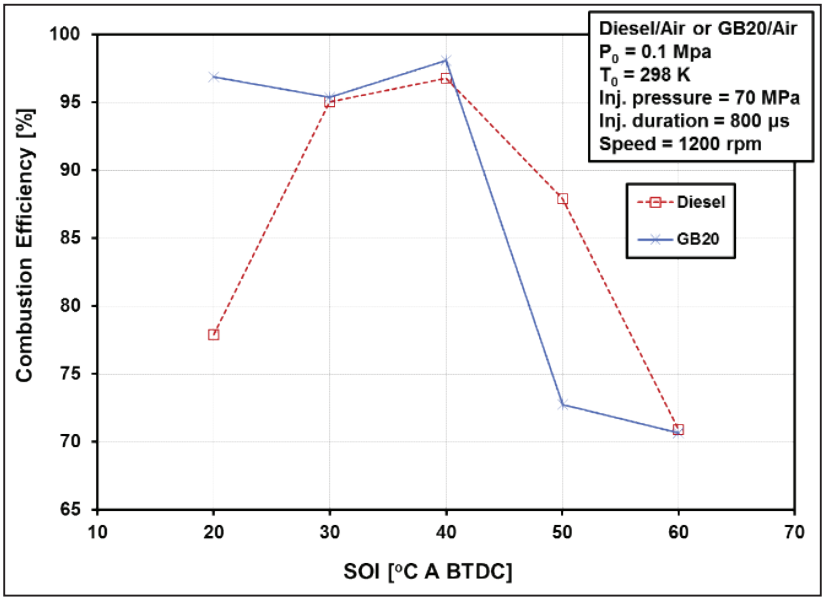
**Gambar 3.2** Skema pengujian mesin dengan kontrol injeksi dan campuran bahan bakar alternatif

**Tabel 3.1** Kondisi pengoperasian mesin untuk kontrol mode injeksi Tunggal

| **Parameters** | ***Value*** |
|---|---|
| Engine speed | 1200 rpm |
| IVO | 7$^{o}$ BTDC |
| IVC | 43$^{o}$ ATDC |
| EVO | 52$^{o}$ BBDC |
| EVC | 6$^{ow}$ ATDC |
| Rail pressure | 700 bar |

| Parameters | *Value* |
|---|---|
| SOI | 18 to 75 BTDC |
| Duration | 800 μs |
| Intake pressure | 0.1 MPa |
| Intake temperature | 298 K |
| EGR | 0 % |

Sumber: Putrasari & Lim (2017a)

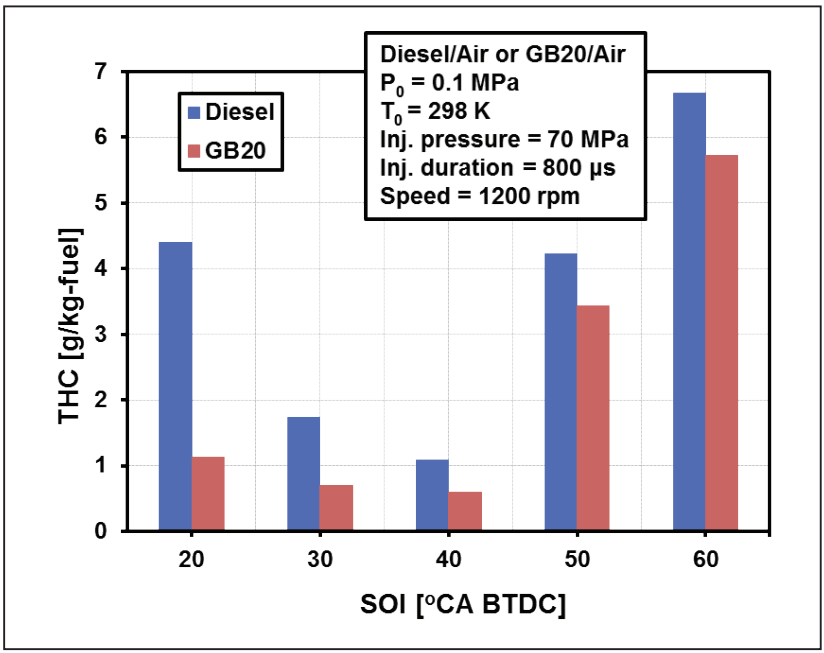



Sumber: Putrasari & Lim (2017a)

**Gambar 3.3** Efisiensi pembakaran mesin

dievaluasi berdasarkan komposisi gas buang. Umumnya, masih terdapat spesies mudah terbakar yang tertinggal dalam gas buang, misalnya CO, HC, dan hidrokarbon yang tidak terbakar. Tingginya kandungan spesies ini pada gas buang menunjukkan ketidakefisienan pembakaran. Inefisiensi pembakaran terutama bergantung pada konsentrasi HC dan THC dalam gas buang.

Total emisi hidrokarbon pada mesin dapat digunakan untuk memprediksi ketidakefisienan dari mesin. Total emisi hidrokarbon yang lebih tinggi disebabkan oleh pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Gambar 3.4 menunjukkan




Sumber: Putrasari & Lim (2017a)

**Gambar 3.4** Emisi THC

emisi THC mesin saat dioperasikan menggunakan bahan bakar D100 dan GB20. Dari gambar tersebut terlihat bahwa emisi THC GB20 lebih rendah dibandingkan bahan bakar D100 pada setiap variasi SOI. Rentang SOI terbelakang dari 20 hingga 40°C A BTDC untuk kedua bahan bakar biasanya menghasilkan suhu gas dalam silinder yang lebih tinggi dan HRR yang lebih besar sehingga meningkatkan NOx dan mengurangi emisi THC.

Efisiensi termal yang rendah untuk SOI yang lebih maju pada 50 dan 60°C A BTDC dapat mengakibatkan rendahnya suhu gas dalam silinder. Suhu gas dalam silinder yang sangat rendah dan HRR yang lebih rendah dapat meningkatkan emisi THC. Lebih rendahnya emisi THC yang dihasilkan dari GB20 dibandingkan D100 pada setiap variasi SOI, khususnya untuk SOI yang lambat, diduga disebabkan oleh pengaruh kandungan bensin yang lebih tinggi sehingga menyebabkan campuran bahan bakar-udara yang homogen terbakar sempurna. Kandungan 80 % bensin dan 20 % biodiesel dalam campuran mungkin memiliki volatilitas bahan bakar yang tinggi (penurunan suhu distilasi) yang akan mendorong penguapan dan pencampuran, serta mengurangi lapisan bahan bakar cair pada permukaan silinder. Selain itu, dengan 20 % bensin dalam campuran, pada proses pencampuran bahan bakar dengan udara yang ditingkatkan sehingga campuran lebih miskin tercapai. Oleh karena itu, tingkat homogen yang lebih tinggi dapat dicapai. Kondisi ini dapat menghasilkan pembakaran yang lebih baik di dalam silinder selama siklus berlangsung. Emisi THC D100 lebih tinggi dibandingkan GB20,

hal ini juga disebabkan oleh karakteristik bahan bakar solar yang sangat tidak homogen pada proses injeksi dan pembakaran secara bersamaan. Titik lokal berkisar dari kondisi sangat kaya hingga sangat miskin karena pencampuran udara-bahan bakar yang tidak homogen dengan durasi pembakaran yang sangat terbatas, mengakibatkan sejumlah bahan bakar tidak terbakar dengan baik. Oleh karena itu, akan dihasilkan emisi THC yang lebih tinggi.

Pada kontrol injeksi ganda, mesin dioperasikan pada 1200 rpm dengan tekanan injeksi *common rail* 70 MP. Uji kuantitas injeksi dilakukan 1000 siklus sebelum pengujian mesin untuk mendapatkan masukan energi yang sama untuk setiap bahan bakar(Putrasari & LIM, 2018). Berdasarkan *lower heating value* (LHV) GB05 dan D100 pada Tabel 3.2, digunakan untuk menentukan input energi yang sama untuk kedua bahan bakar tersebut. Rata-rata total bahan bakar yang diinjeksikan per siklus harus sebesar 41 mg, baik untuk injeksi tunggal maupun ganda. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rata-rata 41 mg per siklus bahan bakar yang diinjeksikan dalam mode injeksi tunggal pada 40 $^{o}$C A BTDC, diterapkan durasi injeksi sekitar 1200 μs. Beberapa tahap injeksi digunakan yang terdiri dari *pilot* injeksi pada 350 $^{o}$C A BTDC selama sekitar 1140 μs (sekitar 31 mg), diikuti dengan injeksi utama pada 40 $^{o}$C A BTDC selama sekitar 350 μs (kira-kira 10 mg). Untuk bahan bakar solar, parameter awal temperatur masuk, temperatur oli, dan temperatur cairan

pendingin ditetapkan sebesar 25 °C. Sedangkan untuk mengatasi masalah *auto-ignition* pada GB05, temperatur awal udara masuk, oli, dan cairan pendingin dijaga masing-masing pada 85 °C, 75 °C, dan 65 °C. Temperatur udara masuk dinaikkan merujuk pada hasil para peneliti terdahulu untuk mengontrol pembakaran otomatis bahan bakar bensin di mesin penyalaan kompresi (Khoa et al., 2022a; Putrasari & Lim, 2019b). Bensin lebih sulit dinyalakan pada beban ringan sampai sedang dengan penyalaan kompresi (Putrasari & Lim, 2019b, 2017c). Namun, jika suhu masuk ditingkatkan cukup melalui penggunaan EGR internal, hal ini dapat dicapai dengan bensin bahkan pada beban rendah(Khoa et al., 2022b). Pengaruh temperatur udara masuk terhadap kompresi mesin bensin telah dipelajari oleh beberapa kelompok penelitian (Khoa et al., 2022b) dan Putrasari (Khoa et al., 2022b; Putrasari & Lim, 2021) menggunakan udara masuk hingga 75 °C untuk mensimulasikan jalan pintas pendingin pada EGR dan untuk meningkatkan stabilitas pembakaran. Sensitivitas beban mesin akibat perubahan suhu masuk dan mempertahankan suhu masuk awal antara 80-90 °C hingga PRR 8 bar/derajat tercapai(Putrasari & Lim, 2019b). Sementara itu, mesin CI yang berbahan bakar campuran solar dan bensin, untuk mendapatkan pembakaran yang stabil untuk semua kondisi pengoperasian suhu masuk dinaikkan dengan mempertahankan suhu EGR pada 85 °C telah dipelajari sebelumnya(Putrasari & Lim, 2021).

**Tabel 3.2** Kondisi operasi(Putrasari & LIM, 2018)

| Parameters | Diesel | GCI |
|---|---|---|
| Speed (rpm) | 1200 | |
| Inj. Pressure (MPa) | 70 | |
| Inj. Timing | Single, Pilot and Main | |
| Inj. Quantity (mg) | 41, 31, 10 | |
| T intake (°C) | 25 | 85 |
| T oil (°C) | 25 | 75 |
| T coolant (°C) | 25 | 65 |

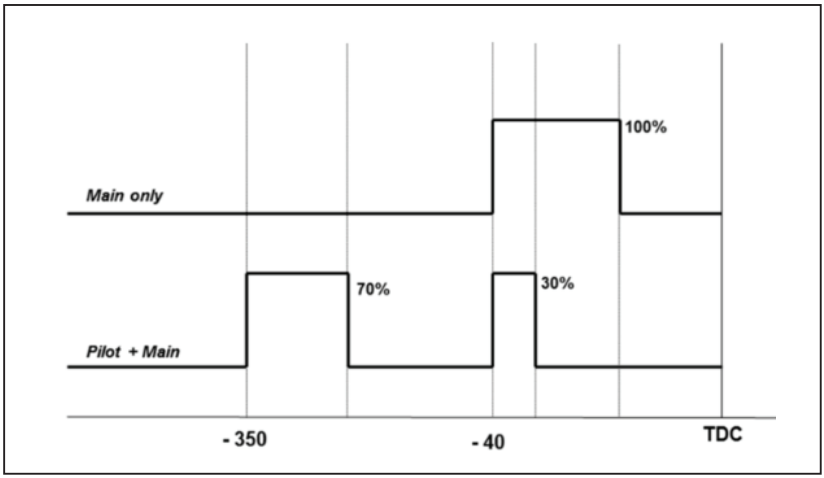
Sumber: Putrasari & Lim (2018)

**Tabel 3.3** Strategi kontrol injeksi

| Mode Injeksi | Waktu | D100 | GB05 |
|---|---|---|---|
| Pilot | 350 °C A BTDC | 1135 µs (31.34 mg) | 1140 µs (31.36 mg) |
| Main | 40 °C A BTDC | 350 µs (9.66 mg) | 350 µs (9.64 mg) |
| Single | 40 °C A BTDC | 1165 µs (41 mg) | 1200 µs (41 mg) |

Sumber: Putrasari & Lim (2018)

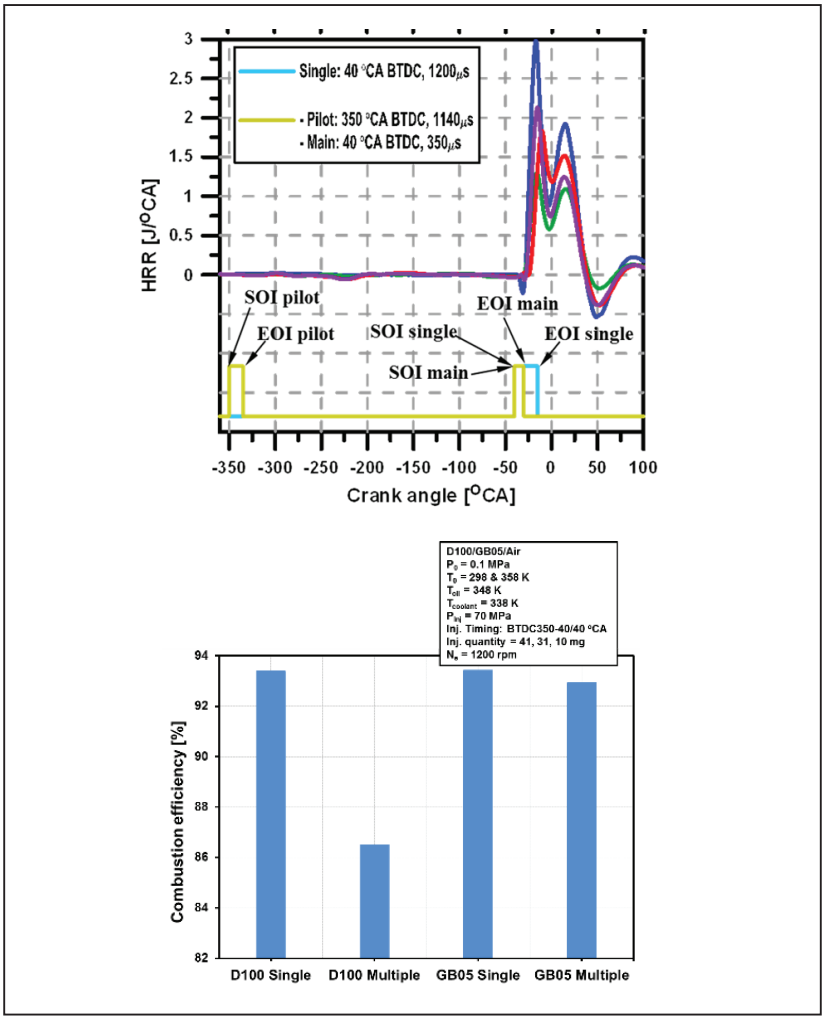
Parameter pengoperasian mesin dan strategi injeksi masing-masing disajikan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. Ilustrasi skema injeksi digambarkan pada Gambar 3.5. Data tekanan dalam silinder dicatat untuk 100 siklus mesin. Emisi total hidrokarbon yang tidak terbakar, karbon monoksida, dan NOx diukur menggunakan alat ukur emisi.




Sumber: Putrasari & Lim (2018)

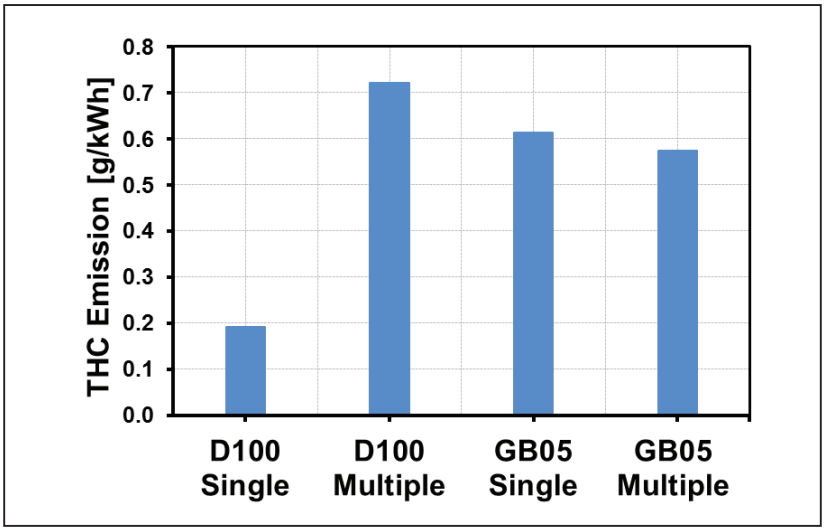
**Gambar 3.5** Skema diagram mode kontrol injeksi

Gambar 3.6 menunjukkan *heat release rate* dan efisiensi pembakaran mesin otomotif berbahan bakar GB05 dan D100 dengan mode injeksi tunggal dan ganda. Pada penelitian ini, efisiensi pembakaran dievaluasi berdasarkan komposisi gas buangnya. Pada Gambar 3.9 tampak bahwa efisiensi pembakaran injeksi tunggal D100, injeksi tunggal GB05, dan injeksi ganda GB05 adalah hampir sama yaitu lebih tinggi dari 93%. Sedangkan efisiensi pembakaran injeksi ganda D100 bernilai paling rendah, yaitu sekitar 86%. Efisiensi pembakaran GB05 yang tinggi terutama disebabkan oleh pembakaran sempurna karena periode pencampuran GB05 yang diinjeksikan lebih lama dan sifat bahan bakarnya yang mudah menguap. Hal ini didukung oleh temperatur udara masuk yang relatif tinggi dan temperatur dinding yang tinggi karena temperatur oli mesin dan




Sumber: Putrasari & Lim (2018)

**Gambar 3.6** Efisiensi pembakaran pada kontrol injeksi Tunggal maupun ganda




Sumber: Putrasari & Lim (2018)

**Gambar 3.7** Emisi THC

cairan pendingin juga meningkat; oleh karena itu, pembakaran yang lebih sempurna dapat dicapai. Efisiensi pembakaran meningkat karena dua alasan. Pertama, suhu dinding dalam silinder semakin meningkat, yang membantu mempertahankan reaksi di dekat dinding. Kedua, proses pencampuran GB05 yang lebih homogen menyebabkan pengurangan emisi HC dan CO secara proporsional.

Gambar 3.7 menunjukkan emisi THC dari mesin otomotif berbahan bakar D100 dan GB05 untuk injeksi tunggal dan ganda. Total emisi hidrokarbon pada mesin tersebut dapat digunakan untuk memprediksi ketidak efisienan dari mesin. Jumlah total emisi hidrokarbon yang lebih tinggi merupakan konsekuensi dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Emisi THC

yang lebih tinggi untuk strategi kontrol injeksi ganda, dalam hal ini D100 dapat diamati pada gambar tersebut, yang mungkin menunjukkan bahwa waktu injeksi ganda dan distribusi massa mungkin jauh dari titik optimalnya. Putrasari dan Lim (Putrasari & Lim, 2021) menunjukkan bahwa *unburned hyadrocarbon* (UHC) yang signifikan berasal dari *pilot* injeksi dan memasuki wilayah celah antara ring piston dan dinding silinder *(crevice region)*, dan waktu injeksi optimal harus ditentukan oleh pilihan salah satu (*trade-off)* antara emisi NOx dan UHC/CO. Pilot injeksi yang diterapkan pada penelitian ini mungkin terlalu jauh dari injeksi utama yang diikuti, sebelum pembakaran dimulai, sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya penempelan pada dinding silinder (*wall-impingement*) dari bahan bakar yang diinjeksikan sehingga mengakibatkan pembakaran tidak sempurna pada bahan bakar dan terjadilah peningkatan emisi THC. Ada juga kemungkinan interaksi antara bahan bakar yang diinjeksikan dan lapisan oli pada dinding liner silinder selama langkah kompresi yang menyebabkan emisi UHC mungkin diprediksi berlebihan. Alasan lainnya adalah bahwa pilot injeksi awal dapat menyebabkan wilayah campuran terlalu miskin *(over-lean),* yang merupakan sumber utama emisi HC, kondisi ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Kim dan Bae (Kim & Bae, 2017).

Dalam kasus GB05, serupa dengan tren emisi CO, kandungan biodiesel, dan bensin sebagai bahan bakar yang sangat mudah menguap pada GB05 menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan emisi THC pada mesin otomotif. Sumber utama emisi THC adalah celah antara ring piston dan dinding

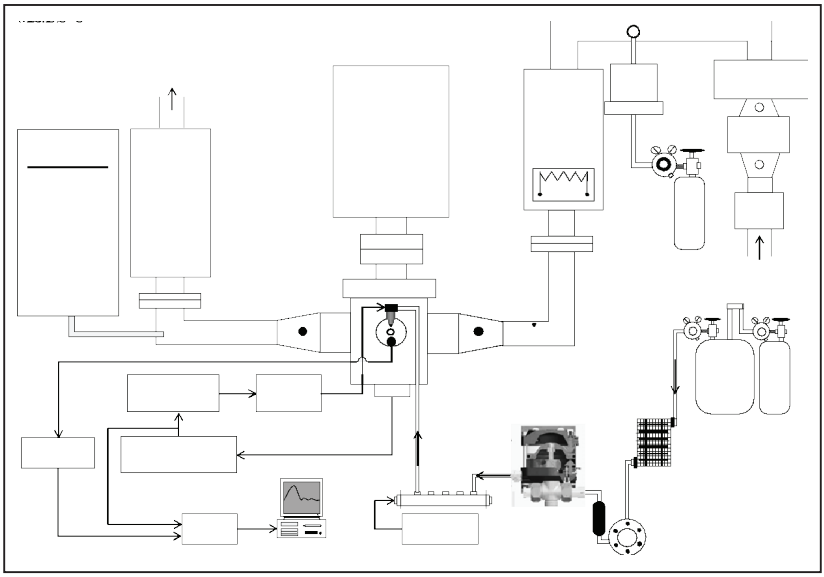
silinder, lapisan batas, dan pendinginan massal. Emisi THC menjadi lebih tinggi sebanding dengan kuantitas bahan bakar yang dipasok hingga terjadi penyalaan otomatis. Pilot injeksi GB05 dapat menjadi alasan penurunan emisi THC, di mana hanya 70% dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sebelum penyalaan otomatis. Setelah itu, injeksi utama diterapkan dengan 30% dari total jumlah bahan bakar pada setiap siklus. Selain itu, penggunaan suhu udara masuk yang lebih tinggi juga dapat mendukung penurunan emisi THC. Emisi THC terutama dihasilkan oleh oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna. Kandungan bahan bakar beroksigen dalam hal ini biodiesel sebesar 5% bisa menjadi penyebab penurunan emisi THC. Dengan adanya biodiesel dalam campurannya, emisi THC berkurang. Namun, jika bahan bakar dan udara sudah tercampur terlebih dahulu sebelum pembakaran, volatilitas bahan bakar memainkan peran yang kurang penting. Karena ketahanan penyalaan otomatis yang tinggi pada GB05 terkadang menyebabkan gagal pembakaran *(miss fire)* atau kurangnya pembakaran, emisi THC juga akan lebih tinggi.

## B. Implementasi kontrol injeksi pada penggunaan *Dimethyl Ether*

Riset dan pengembangan dalam rangka pemanfaatan kontrol injeksi dengan bahan bakar dimethyl ether (DME) telah sukses dilakukan pada mesin otomotif(Putrasari et al., 2017b; Putrasari & Lim, 2022). DME dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin-mesin otomotif yang ramah linhkungan. Selain itu, DME dapat menggantikan bahan bakar solar pada

mesin pengapian kompresi secara langsung karena memiliki sifat-sifat *autoignition* yang mirip dengan solar. Keunggulan bahan bakar DME adalah suhu penyalaan otomatis yang rendah, angka setana yang tinggi (di atas 55), titik didih yang rendah (-25 $^{o}$C), struktur kimia yang sederhana dan kandungan oksigen yang tinggi sehingga pembakaran mesin bebas jelaga. Kelebihan lainnya adalah DME dapat dihasilkan dari berbagai sumber bahan baku yang terbarukan(Putrasari et al., 2017a). Namun implementasi kontrol injeksi dan pentahapan pembakaran pada mesin DME supaya dapat mencapai pembakaran bersih atau HCCI perlu dipahami secara mendalam. Proses penginjeksian DME ke mesin otomotif dapat dibarengi dengan strategi kombinasi EGR dan boosting. Dalam penelitian ini, semua data diperoleh dengan fase pembakaran CA50 pada 5 $^{o}$C A aTDC dengan menyesuaikan suhu awal untuk menghindari pengaruh penundaan fase pembakaran, dimana telah dilaporkan juga bahwa keluaran daya tertinggi dapat diperoleh dengan tetap mempertahankan laju kenaikan tekanan yang lebih rendah (PRR) terhadap getaran dering mesin atau ketukan sering disebut *knocking*(Jung & Iida, 2015). Oleh karena itu, dipilih kondisi fase pembakaran pada 5 $^{o}$C A aTDC untuk menjaga sebanyak mungkin parameter operasi tetap konstan.

Mesin yang digunakan dipasangkan dengan dinamometer asinkron generator, seperti tampak pada ilustrasi skema di Gambar 3.8. Penelitian ini memanfaatkan gas $CO_2$ yang dimasukkan ke ruang bakar sebagai pengganti EGR, atau disebut artifial EGR. Bukan EGR yang sebenarnya karena $CO_2$ memiliki kapasitas

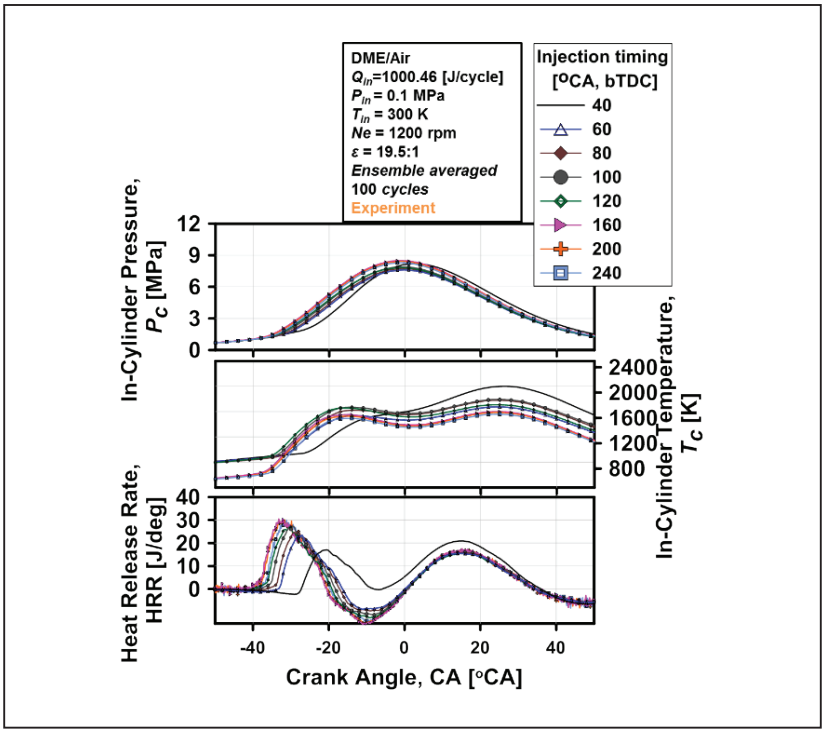


Sumber: Putrasari et al. (2017a)

**Gambar 3.8** Skema pemanfaatan kontrol injeksi pada DME

panas spesifik mol tertinggi di antara gas sisa lainnya seperti $H_2O$, $N_2$ dan Ar (Jamsran et al., 2013). EGR disuplai masuk ke ruang mesin sebelum intake plenum.

Gambar 3.9 menunjukkan karakteristik pembakaran mesin menggunakan kontrol injeksi pada operasi DME HCCI untuk timing injeksi 40 hingga 240 $^oC$ A bTDC dengan masukan panas terukur dari kontrol injeksi DME yang sama dengab nilai 1000,46 J/cycle. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui waktu injeksi DME yang optimal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar hasil, injeksi awal DME dari 120 $^oC$ A ke 240 $^oC$ A cenderung menurunkan tekanan dan suhu dalam

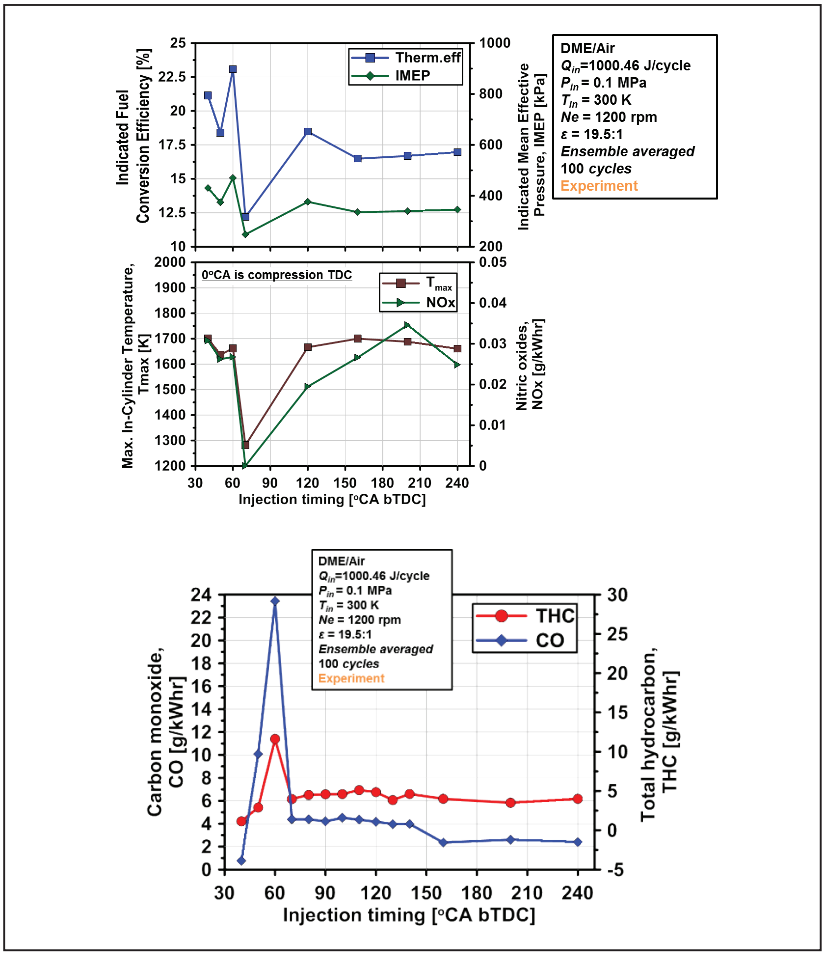



Sumber: Putrasari et al. (2017a)

**Gambar 3.9** Hasil pengujian pemanfaatan kontrol injeksi pada DME

silinder, dan HRR suhu rendah meningkat. Namun, HTHR tidak berubah secara signifikan dengan waktu injeksi yang bervariasi.

Gambar 3.10 menunjukkan indikasi efisiensi konversi bahan bakar, indikasi tekanan efektif rata-rata (IMEP), temperatur maksimum dalam silinder dan emisi NOx sebagai fungsi waktu kontrol injeksi DME pada pembakaran HCCI. Efisiensi konversi



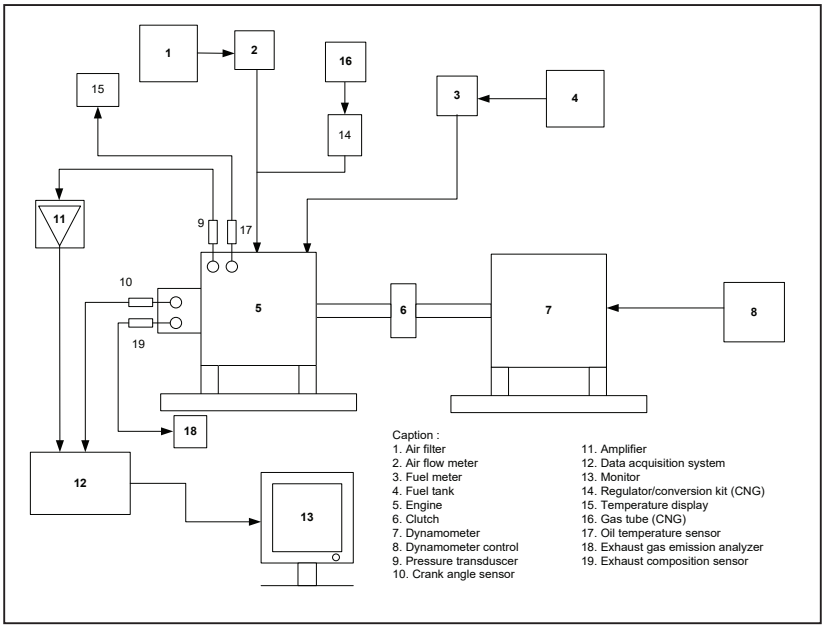

Sumber: Putrasari et al. (2017a)

**Gambar 3.10** Hasil pengujian pemanfaatan kontrol injeksi pada DME (Emisi NOx, CO, dan THC)

bahan bakar yang ditunjukkan ditentukan dengan cara klasik, dihitung dari input daya dan energi yang ditunjukkan dengan menggunakan rumus seperti yang digunakan pada persamaan yang digunakan peneliti terdahulu (Putrasari et al., 2017a).

## C. Implementasi kontrol injeksi pada penggunaan *compressed natural gas,* biogas, dan hidrogen.

Pemanfaatan kontrol injeksi pada penggunaan *compressed natural gas* (CNG) untuk mesin-mesin otomotif sudah dilakukan pada beberapa kegiatan sebelumnya(Jamsran et al., 2016; Praptijanto et al., 2020; Praptijanto, Santoso, Nur, Putrasari, Dimyani, et al., 2019b; Putrasari et al., 2015; Santoso et al., 2019b). Penelitian salah satunya telah dilakukan dengan menyelidiki mesin SI Honda L15A, 4 tak, 4 silinder, dan 1.497 $cm^3$ pada engine test bed. Mesin tersebut dipadukan dengan dinamometer dan digunakan dengan beberapa instrumen seperti pengukur bahan bakar AVL 733s, penganalisis emisi gas, sensor sudut engkol, sensor tekanan ruang bakar, sensor suhu oli dan pengukur aliran udara yaitu anemometer. Dinamometer digunakan untuk mengontrol dan mengukur putaran dan torsi mesin, kemudian penimbang bahan bakar AVL untuk mengukur konsumsi bahan bakar bensin dan anemometer hotwire untuk mengukur aliran udara yang masuk ke manifold, sedangkan sensor tekanan dan sensor sudut engkol dipadukan dengan akuisisi data digunakan untuk mengukur IMEP. Konsumsi CNG diukur menggunakan pengontrol aliran massa *Smartrek 2-Sierra*. Alat analisa gas

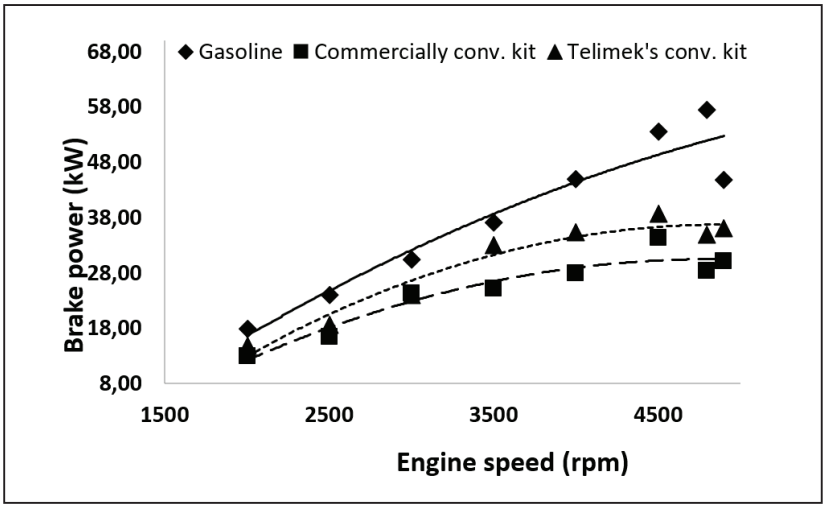



Sumber: Putrasari et al. (2015)

**Gambar 3.11** Sistem injeksi bahan bakar *natural gas*

buang Shukyoung digunakan untuk memperoleh data uji emisi. Diagram skema detail pengujian kontrol injeksi CNG ke mesin diilustrasikan pada Gambar 3.11. Dua kipas besar disiapkan di ruang pengujian untuk menyuplai udara segar ke mesin untuk keperluan pendinginan.

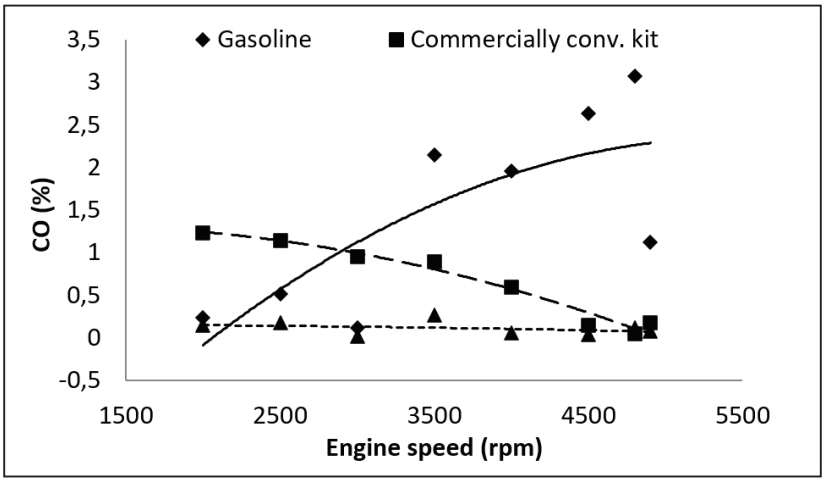
Hasil yang ditunjukan pada Gambar 3.12 adalah ketika mesin dioperasikan pada posisi bukaan throttle 80%(Putrasari et al., 2015). Terlihat bahwa daya tertinggi mesin terjadi pada putaran mesin rendah kurang lebih 2000 rpm yaitu pada penggunaan




Sumber: Putrasari et al. (2015)

**Gambar 3.12** Daya yang dihasilkan mesin dengan kontrol injeksi bahan bakar *natural gas*

sistem bahan bakar bensin standar, kemudian disusul dengan penggunaan kontrol injeksi kit konversi CNG rancangan, dan terendah pada penggunaan kit konversi komersial. Terlihat jelas sekali pada saat mesin dijalankan pada kecepatan tinggi, sekitar 5.000 rpm dengan posisi bukaan throttle 80% daya pengereman tertinggi masih sama yaitu dengan menggunakan sistem kontrol injeksi bahan bakar bensin, kemudian dengan menggunakan kontrol injeksi kit konversi CNG rancangan, dan terendah adalah untuk kontrol injeksi kit konversi CNG komersial. Daya pengereman maksimum mesin mesin yang dijalankan pada posisi pembukaan throttle 80% dengan menggunakan sistem




Sumber: Putrasari et al. (2015)

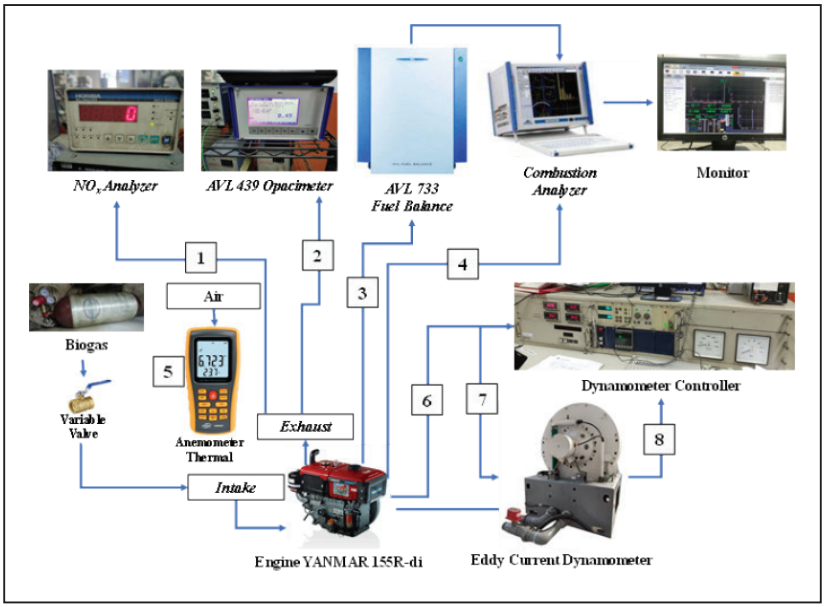
**Gambar 3.13** Emisi CO yang dihasilkan mesin dengan kontrol injeksi bahan bakar *natural gas*

bahan bakar bensin yaitu 57,52 kW terjadi pada 4.800 rpm, sedangkan dengan menggunakan kontrol injeksi kit konversi CNG yang dirancang adalah 38,67 kW pada 4.500 rpm, dan dengan menggunakan kontrol injeksi kit konversi CNG komersial adalah 34,29 kW pada 4.500 rpm (Putrasari et al., 2015).

Gambar 3.13 menunjukkan hasil emisi mesin berupa konsentrasi CO (%) versus putaran mesin mesin yang menggunakan kontrol injeksi sistem bahan bakar bensin standar, kontrol injeksi kit konversi CNG komersial, kontrol injeksi kit konversi CNG rancangan pada kondisi posisi pembukaan throttle 80%(Putrasari et al., 2015). Terlihat dari Gambar 3.13

kecenderungan konsentrasi CO mesin yang menggunakan sistem kontrol injeksi bahan bakar bensin standar mengalami peningkatan dari putaran mesin rendah sekitar 2000 rpm hingga putaran mesin tinggi sekitar 4900 rpm. Terlihat jelas juga dari Gambar 3.13 bahwa konsentrasi CO yang dihasilkan dari mesin yang menggunakan kontrol injeksi kit konversi CNG komersial dan kontrol injeksi kit konversi CNG rancangan menunjukkan tren konsentrasi CO yang berlawanan dari mesin yang menggunakan kontrol injeksi sistem bahan bakar bensin standar. Konsentrasi CO maksimum mesin ketika dioperasikan pada posisi bukaan throttle 80% menggunakan kontrol injeksi sistem bahan bakar bensin standar, menggunakan kontrol injeksi kit CNG komersial dan kontrol injeksi kit konversi CNG rancangan adalah 3,08% pada 4800 rpm, 1,24% pada 2000 rpm, dan 0,27% pada 3500 rpm , berturut-turut.

Pemanfaatan kontrol injeksi biogas yang berasal dari berbagai limbah termasuk limbah cair *palm oil mill effluent (POME)* pada mesin otomotif termasuk *range extender* sudah dilakukan dalam skala laboratorium(Putrasari et al., 2020, 2021), bahkan dari rangkaian kegiatan ini dihasilkan paten dan produk yang dilisensi oleh industri otomotif (PT. Viar/PT. Triangle Motorindo)(Yanuandri Putrasari et al., 2023a, 2023b; Yanuandri Putrasari, Suherman, et al., 2022). Dimana lisensi merupakan bukti bahwa kegiatan riset telah sampai pada tahap dimanfaatkan




**Gambar 3.14** Diagram skema kontrol injeksi biogas.

**Tabel 3.4** Spesifikasi mesin dan pengaturan waktu kontrol injeksi pada pemanfaatan biogas

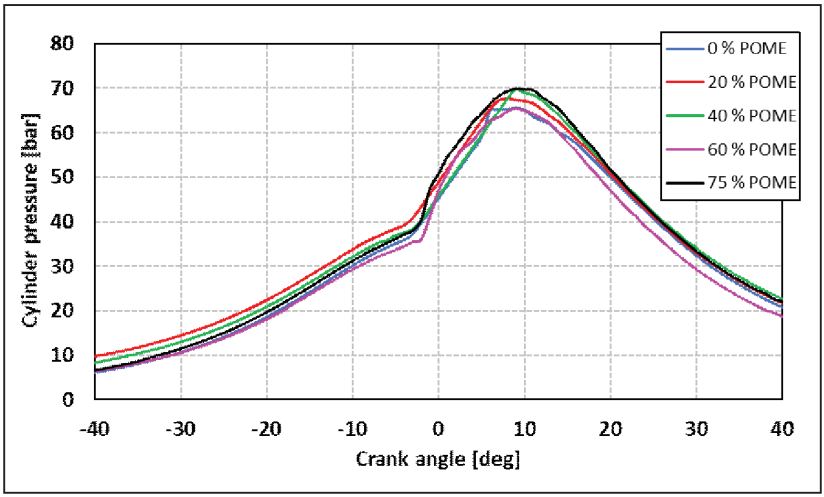
| Parameters | Yanmar TF 155R-di |
|---|---|
| Engine type | Direct Injection, 1 cylinder. |
| Injection timing | 17˚ bTDC |
| Diameter x Stroke | 102 mm × 105 mm |
| Volume cylinder | 857 cc |
| Max. Power | 15,5 s / 2400 rpm |
| Max. Torque | 6,3 kg.m / 1600 rpm |
| Compression ratio | 17,8 |

oleh Masyarakat luas. Proses percobaan laboratorium dapat dilihat pada flowchart pada Gambar 3.14, sedangkan spesifikasi mesin dan timing kontrol injeksi dapat dilihat pada Tabel 3.4. Kemudian, detil percobaan mesin sebagai berikut; mesin dijalankan pada putaran 1800 rpm. Mesin diuji dengan variasi torsi 0, 10, 20, 30, dan 40 Nm. Bahan bakar dipasok dengan sistem kontrol injeksi berupa solar murni, variasi biogas 20%, 40%, dan 60%.

Pada saat melakukan pengujian, data keluaran yang dicatat adalah data tekanan ruang bakar, laju aliran massa bahan bakar solar, laju aliran massa udara yang masuk ke ruang bakar, laju aliran massa bahan bakar gas, temperatur oli, temperatur gas buang, AFR, Rasio Udara, persentase sisa oksigen dalam gas buang, jumlah NOx dalam gas buang, dan opasitas.

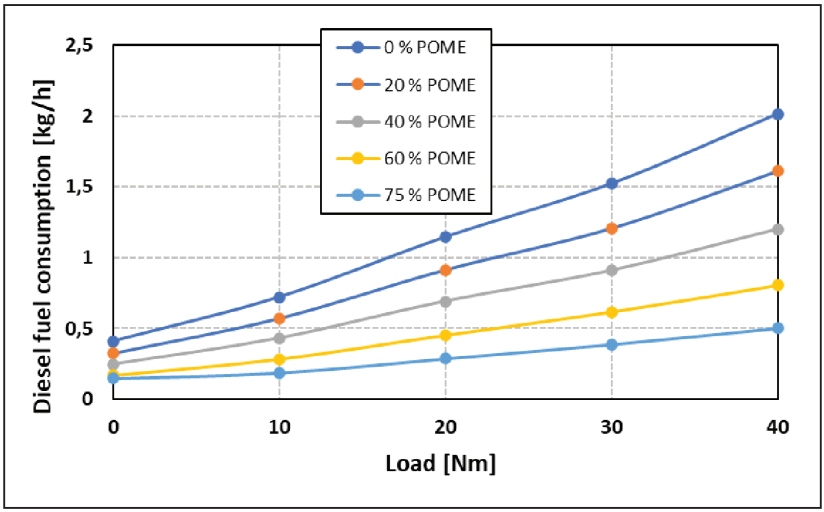
Data tersebut kemudian dianalisis dengan menghitung beberapa parameter keluaran seperti BMEP, daya, torsi, efisiensi volumetrik, BSFC, dan BSEC.

Biogas biasanya mengandung komponen utama yaitu $CH_4$ dan beberapa pengotor seperti $CO_2$, sulfur dan senyawa lainnya. Diketahui bahwa ada dua jenis POME biogas berdasarkan kandungan $CH_4$nya(Putrasari et al., 2021). Yang pertama adalah POME biogas dengan kandungan $CH_4$ 75 % dan yang kedua adalah POME Biogas dengan kandungan $CH_4$ 55 %. Pada penelitian ini akan dibahas biogas POME dengan kandungan $CH_4$ 75%.




**Gambar 3.15** Profil tekanan silinder mesin dengan penerapan kontrol injeksi biogas POME.

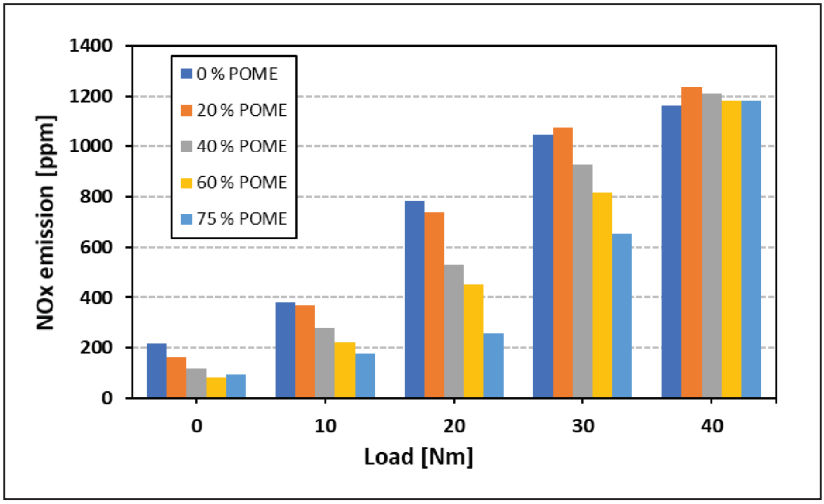
Gambar 3.15 menunjukkan profil tekanan silinder mesin Dual-Fuel pada putaran 1800 rpm, beban 40 Nm, dengan persentase penerapan POME biogas yang bervariasi. Dapat dilihat bahwa puncak tekanan silinder tertinggi terjadi pada 75 % POME biogas dalam campuran bahan bakar. Sedangkan tekanan silinder paling rendah adalah bahan bakar solar yang murni. Dapat dikatakan bahwa penambahan POME biogas pada campuran bahan bakar dapat meningkatkan tekanan puncak silinder. Kehadiran biogas yang dihasilkan dari POME sebagai bagian campuran bahan bakar dapat meningkatkan tekanan silinder. Namun peningkatan tekanan puncak silinder mesin tidak konsisten sesuai dengan persentase kandungan biogas.




**Gambar 3.16** Penurunan bahan bakar diesel pada mesin dengan penerapan kontrol injeksi biogas POME.

Kondisi ini dapat dijelaskan bahwa peningkatan kandungan biogas pada bahan bakar tidak dapat menjamin kestabilan pembakaran. Pembakaran yang tidak stabil dapat menyebabkan kinerja mesin menjadi buruk, salah satunya ditandai dengan penurunan tekanan puncak pada silinder.

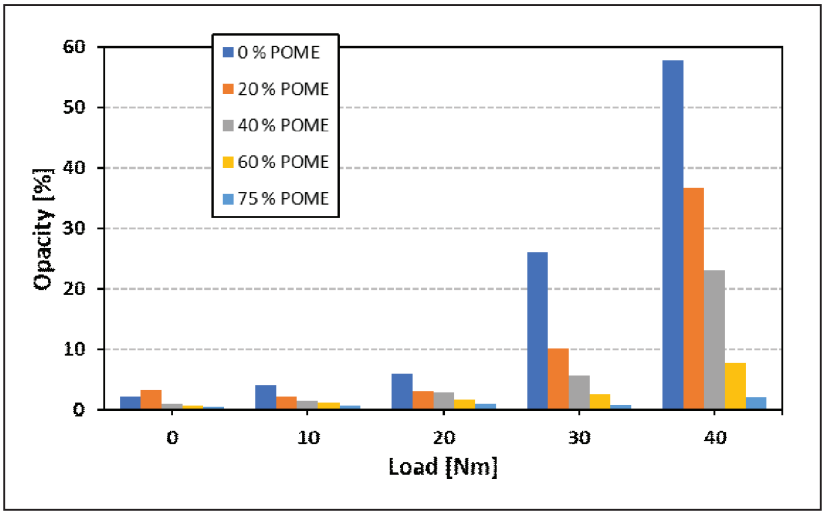
Gambar 3.16 menunjukkan penurunan konsumsi bahan bakar solar pada mesin Dual-Fuel pada putaran 1800 rpm, variasi beban dengan persentase penerapan POME biogas pada campuran bahan bakar yang bervariasi. Terlihat bahwa sebagian bahan bakar solar dapat digantikan dengan menggunakan POME biogas. Trennya adalah bahan bakar diesel berkurang seiring dengan meningkatnya persentase biogas. Percobaan dilakukan untuk memperoleh beban tertentu pada putaran mesin tertentu. Selama proses percobaan konsumsi solar ditetapkan seminimal




**Gambar 3.17** emisi NOx mesin dengan kontrol injeksi biogas.

mungkin, dan konsumsi biogas semaksimal mungkin untuk menggantikan bahan bakar solar sebagaimana tujuan penelitian ini. Hal inilah yang menyebabkan konsumsi bahan bakar diesel berkurang pada semua variasi beban dan semua variasi persentase biogas.

Gambar 3.17 menunjukkan emisi NOx, sedangkan Gambar 3.18 menunjukkan opacity emisi mesin dengan penerapan kontrol injeksi biogas. Tren emisi NOx menurun seiring dengan meningkatnya kandungan POME biogas pada campuran bahan bakar saat beban mesin mencapai 30 Nm. Namun pada saat beban mesin berada pada angka 40 Nm, emisi NOx yang dihasilkan hampir sama pada semua persentase POME biogas. Seperti yang telah diketahui bahwa NOx sangat sensitif dengan suhu pembakaran yang lebih tinggi dari 1800K. Sedangkan POME

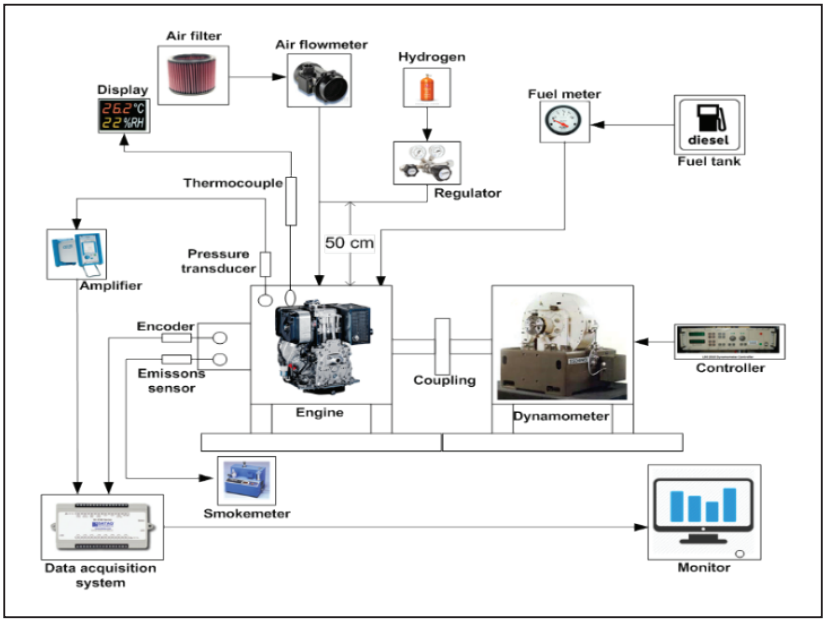



**Gambar 3.18** Emisi opasitas mesin dengan kontrol injeksi biogas.

0% pada beban 40 Nm tampaknya merupakan NOx yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini temperatur pembakaran lebih dari 1800K. Penambahan biogas yang mengandung $CH_4$ dan $CO_2$ dapat menjadi promotor penurunan emisi NOx pada hasil pembakaran. Seperti yang telah diketahui penerapan EGR pada mesin dapat menurunkan NOx, karena efek $CO_2$ yang dapat menurunkan temperatur pembakaran. Dari segi emisi opasitas terlihat bahwa peningkatan persentase POME biogas menurunkan emisi opasitas pada semua variasi beban. Telah diketahui juga bahwa pada mesin terdapat trade-off antara emisi NOx dan opasiti. Ketika NOx berkurang maka opasiti akan meningkat dan sebaliknya. Upaya untuk mencapai keseimbangan terendah antara keduanya masih diperlukan. Pada

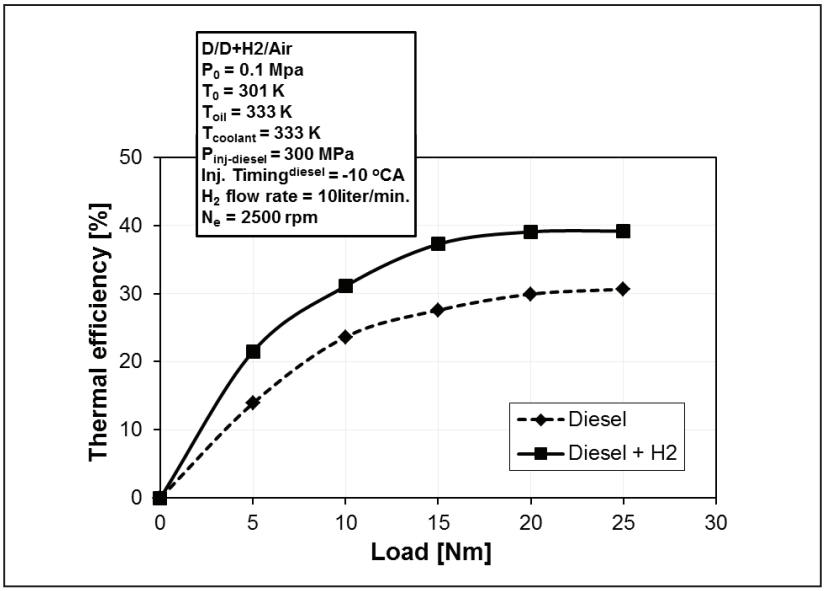
penelitian eksperimental ini terlihat bahwa potensi komposisi optimum untuk menurunkan NOx dan opasiti secara simultan adalah POME 75% pada beban 10 dan 20 Nm.

Pemanfaatan kontrol injeksi pada penggunaan hidrogen untuk mesin-mesin otomotif sudah dilakukan pada beberapa kegiatan sebelumnya(Praptijanto et al., 2019; Putrasari et al., 2018). Skema susunan pengujian mesin dan kontrol injeksi bahan bakar hidrogen dapat dilihat pada Gambar 3.19.




Sumber: Putrasari et al. (2018)

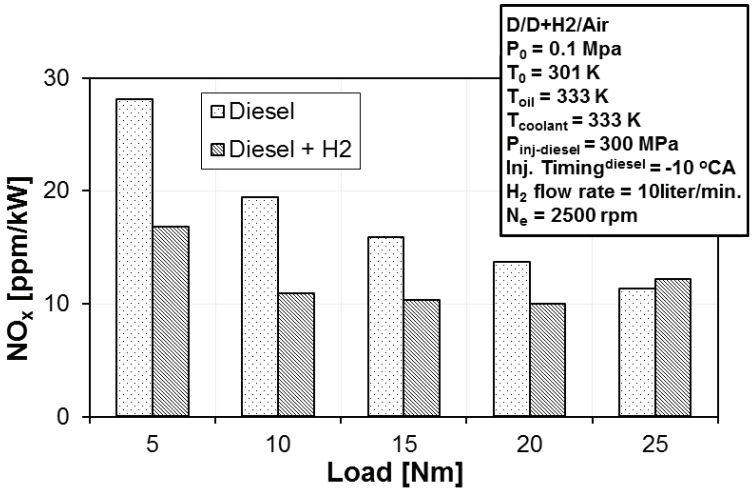
**Gambar 3.19** Skema susunan pengujian mesin dan kontrol injeksi bahan bakar hidrogen




Sumber: Putrasari et al. (2018)

**Gambar 3.20** Thermal efisiensi mesin dengan kontrol injeksi hidrogen

Gambar 3.20 menunjukkan efisiensi termal *(brake thermal efficiency, BTE)* mesin berdasarkan variasi beban pada putaran 2500 rpm, mengacu pada konsumsi solar saja. Pada putaran 2500 rpm penambahan hidrogen menyebabkan peningkatan efisiensi termal pada setiap variasi beban. Kondisi ini terjadi karena sebagian solar digantikan oleh hidrogen yang mempunyai kecepatan penyalaan tinggi (sekitar 3,24-4,40 $ms^{-1}$). Mengacu pada hasil(Putrasari et al., 2018) penambahan hidrogen dalam bentuk bahan bakar gas pada mesin yang bercampur dengan udara memberikan dampak yang cukup besar terhadap beban silinder pada saat kompresi dan tenaga pada saat terjadi ledakan pembakaran.




Sumber: Putrasari et al. (2018)

**Gambar 3.21** NOx emission dengan bahan bakar hidrogen

Gambar 3.21 menunjukkan emisi NOx terhadap variasi beban mesin pada 2500 rpm. Grafik tersebut menunjukkan pada beban rendah, nilai NOx pada solar dengan penambahan hidrogen mengalami penurunan. Pada putaran mesin sekitar 2500 rpm, pola penurunan NOx masih terjadi pada variasi beban 0, 5, 10, 15 dan 20 Nm masing-masing sebesar 35%, 40%, 44%, 35%, dan 27%. Sedangkan, pada beban mesin sekitar 25 Nm terjadi peningkatan nilai NOx sebesar 7%. Pola penurunan NOx ini terjadi karena pada beban rendah terjadi peningkatan fraksi bahan bakar hidrogen. Oleh karena itu, NOx berkurang secara signifikan. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan(Praptijanto, Santoso, Nur, Putrasari, Dimyani, et al., 2019a; Putrasari et al., 2018).

# IV. PELUANG DAN TANTANGAN KONTROL INJEKSI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK MENDUKUNG PROGRAM *NET ZERO EMISSION* DI INDONESIA

Peluang untuk menerapkan hasil penelitian terkait sistem bahan bakar, khususnya kontrol injeksi bahan bakar alternatif untuk mendukung *net zero emission* sangat besar baik di kendaraan maupun di pembangkit atau industri lainnya. Hal ini didukung dengan banyaknya ketersediaan bahan bakar alternatif di Indonesia, masih belum termanfaatkannya secara optimal karena sistem bahan bakar yang digunakan masih konvensional dimana penggunaannya yang tidak sesuai dengan spesifikasi bahan bakar sehingga alih-alih emisinya berkurang malah justru bertambah, serta program pemerintah yang menargetkan tercapainya *net zero emission* di tahun 2030 yang memerlukan dukungan riset dan teknologi. Untuk itu, peran riset dan inovasi di bidang kontrol injeksi bahan bakar alternatif sangatlah penting diterapkan di Indonesia. Disamping itu industri otomotif di Indonesia sudah sangat siap baik dari infrastrutktur maupun sumber daya manusianya.

Riset kontrol injeksi bahan bakar alternatif adalah salah satu topik riset yang menggabungkan bidang kontrol, AI dan energi di mana topik-topik ini masuk dalam Rencana Induk Riset Nasional 2025-2029 dan SDGs. Sehingga sangat terbuka luas pengembangan riset dan pemanfaatan kontrol injeksi untuk

mendukung kemajuan teknologi dalam pencapaian *net zero emission*.

Penguatan riset teknologi sistem bahan bakar utamanya kontrol injeksi untuk bahan bakar alternatif sangat penting dalam mendukung target *net zero emission*. Terdapat beberapa tahapan riset dan pengembangan kontrol injeksi sehingga dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar alternatif. Berikut ini adalah beberapa hal penting yang merupakan peran dari beberapa stakeholder berkaitan dengan riset kontrol injeksi bahan bakar alternatif yang perlu diperkuat antara lain; identifikasi performa, efisiensi dan emisi mesin yang ditargetkan, pemahaman terhadap kebutuhan konsumen, produsen dan pasar terkait dengan sistem bahan bakar yang digunakan di Indonesia, penyesuaian antara kebutuhan konsumen, produsen, pasar dan regulasi yang berlaku di Indonesia.

Tantangan penerapan kontrol injeksi bahan bakar alternatif adalah kurangnya penguasaan kontrol pembakaran *real-time* berbasis model fisik/statistik yang menggunakan bantuan AI. Diperlukan juga optimalisasi sistem yang berupa multi-input/multi-output dengan kontrol prediktif model. Selain itu, penggunaan *V2X (vehicle to everithing)* yaitu kendaraan dapat berkomunikasi dengan kondisi lingkungan sekitar, misalnya informasi kondisi sedang macet, perkotaan, dan kontur jalan menanjak atau menurun terhubung ke kontroler untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan dalam kondisi berkendara *on the road*. Tantangan selanjutnya adalah ketersediaan komponen elektronik berupa sensor maupun

kontroler yang masih bergantung pada produk impor. Belum lagi perkembangan kendaraan listrik yang diklaim lebih ramah lingkungan yang menggeser sebagian pasar kendaraan berbahan bakar minyak dan bahan bakar alternarif. Meskipun regulasi terkait insentif pengurangan karbon sudah mulai diterapkan di Indonesia. Salah satu kebijakannya adalah diselenggarakan di bidang pajak yaitu adanya pajak karbon (*carbon tax*) melalui Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Undang-Undang Perpajakan (selanjutnya disebut UU HPP). Dengan adanya pajak karbon diharapkan dapat menurunkan emisi GRK hingga mencapai *Net Zero Emission* (NZE) selambat-lambatnya tahun 2060 sesuai dengan peta jalan (*roadmap*) pajak karbon.

# V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan sangat mungkin dihasilkan mesin yang sepenuhnya fleksibel dalam penggunaan semua jenis bahan bakar seperti rangkaian penelitian yang sudah dilakukan oleh penulis. Mesin yang sangat efisien dengan solusi kontrol injeksi yang mumpuni akan menjadi bagian besar dari peningkatan efisiensi dari mesin yang diinginkan, serta pengurangan emisi/ gas rumah kaca (GRK) sehingga *net zero emission* dapat tercapai. Terakhir, harus diakui bahwa, dalam praktiknya, masyarakat memilih sumber penggerak (*powertrain*) berdasarkan berbagai faktor, termasuk biaya. Preferensi konsumen bisa jadi ditentukan oleh pemerintah, politisi, pembuat mobil, atau akademisi. Kebijakan yang secara sepihak memihak pada satu solusi teknologi mungkin sangat tidak efisien dan bahkan mungkin merupakan solusi yang salah.

Pendekatan yang lebih baik dalam hal ini penerapan teknologi kontrol injeksi untuk bahan bakar alternatif dimana penelitian dan ujicoba dengan berbagai skema desain sistem dan pengaturan/kontrol waktu serta jumlah bahan bakar telah dikontribusikan oleh kandidat. Hasilnya telah menunjukkan peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi dari mesin, dengan bahan bakar biodiesel total emisi hidrokarbon bisa diturunkan sampai 0.5 g/kWh, pada bahan bakar DME 3 g/ kWh, CNG sangat bersih hanya 0.5% emisi CO, POME 700 ppm, dan dengan hidrogen hanya 10 ppm, maka hal tersebut

perlu dilaksanakan sesegera mungkin di Indonesia. Kemajuan yang berkelanjutan mengharuskan kita merekrut generasi muda paling cerdas untuk terlibat dalam upaya mewujudkan masa depan mesin pembakaran dalam yang cerah, berkelanjutan dan ramah lingkungan.

# VI. PENUTUP

Sangat memprihatinkan jika kekayaan sumber-sumber bahan bakar alternatif kita yang melimpah tidak dapat termanfaatkan untuk kesejahteraan kita, apalagi justru dimanfaatkan oleh negara-negara lain. Hal ini merupakan tantangan bagi periset dan akademisi untuk mengkontribusikan hasil kerja riset dan inovasi kita guna memanfaatkan sumber daya alam untuk kepentingan kita sendiri. Untuk itu, penulis merekomendasikan adanya peran dari pemangku kepentingan terkait dalam menumbuh kembangkan teknologi sistem kontrol injeksi bahan bakar alternatif di Indonesia.

Pertama, Pemerintah, melalui kementerian terkait (seperti Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Perindustrian, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan), perlu mengeluarkan regulasi yang mendukung penggunaan bahan bakar alternatif. Insentif pajak untuk kendaraan dengan bahan bakar alternatif, standar emisi yang lebih ketat, serta roadmap transisi ke energi bersih perlu dibuat. Perumusan standar teknis untuk kontrol injeksi bahan bakar alternatif, seperti standar keamanan, efisiensi, dan spesifikasi teknis yang harus dipenuhi oleh produsen kendaraan. Menyediakan subsidi bagi penelitian dan pengembangan (R&D) terkait bahan bakar alternatif serta memberikan insentif pajak bagi konsumen dan produsen yang mengadopsi teknologi kontrol injeksi bahan bakar alternatif.

Kedua, Pertamina sebagai satu-satunya BUMN penyedia bahan bakar di negeri ini, berperan dalam menyediakan bahan bakar alternatif, seperti biofuel, hidrogen, atau bahan bakar berbasis etanol. Pengembangan infrastruktur distribusi bahan bakar alternatif perlu dibangun dan ditingkatkan seperti stasiun pengisian bahan bakar hidrogen, biofuel, atau stasiun pengisian lainnya yang kompatibel dengan bahan bakar alternatif. Melakukan kerja sama dengan lembaga riset dan universitas untuk mengembangkan teknologi yang mendukung bahan bakar alternatif serta meningkatkan kualitas bahan bakar yang diproduksi.

Ketiga, tentunya industri otomotif, yang sangat berperan untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi kontrol injeksi bahan bakar alternatif pada produk kendaraan mereka. Ini memerlukan adaptasi teknologi, perbaikan lini produksi, dan pelatihan teknisi. Industri otomotif juga sangat berperan membangun kerja sama dengan lembaga riset, universitas, dan pemasok komponen untuk mengembangkan teknologi kontrol injeksi bahan bakar yang sesuai dengan standar bahan bakar alternatif yang digunakan. Selanjutnya industri otomotif dapat berperan dalam edukasi kepada konsumen terkait manfaat dan keuntungan kendaraan dengan bahan bakar alternatif dibandingkan dengan kendaraan konvensional.

Terakhir, Lembaga riset (BRIN) memprioritaskan riset, mempersiapkan SDM dan memperjuangkan alokasi anggaran dalam teknologi kontrol injeksi bahan bakar alternatif, serta

dampaknya terhadap emisi kendaraan dan lingkungan. Ini melibatkan kolaborasi dengan industri otomotif dan BUMN.

Dengan peran optimal semua pemangku kepentingan, kendaraan dilengkapi teknologi kontrol injeksi yang sesuai pada bahan bakar alternatif dapat lebih kompetitif terutama di negara-negara yang infrastrukturnya belum siap untuk mendukung kendaraan listrik sepenuhnya. Teknologi kontrol injeksi pada bahan bakar alternatif bisa menawarkan solusi transisi yang lebih cepat menuju *net zero emission* dibandingkan dengan kendaraan listrik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Assalamualaykum warahmatullahi wabarakatuh.*

Syukur Alhamdulillah, karena atas ridho Allah SWT maka orasi profesor riset ini dapat terlaksana dengan baik, Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk yang mendapat syafaatnya di yaumil akhir kelak. Perkenankan saya menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan andil pada perjalanan hidup dan karir saya.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia, Jenderal TNI (Purn) H. Prabowo Subianto; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, ST., M.Sc., DESD., IPI., ASEAN.Eng. Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Sekretaris Majelis Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D; Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Goib Wiranto, Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin S.Si., M.Si., Prof. Novie Ayub Windarko ,S.T., M.T., Ph.D. serta Tim Penelaah Naskah Orasi Tingkat Organisasi Riset Prof. Dr.Eng. Hilman Ferdinandus Pardede S.T, M.Eng., dan atas bantuan dan bimbingannya sehingga naskah orasi ini layak dan memenuhi syarat untuk diorasikan. Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A.; dan Kepala

Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si. atas pelaksanaan orasi ilmiah ini.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Organisasi Riset Elektronika dan Informatika (OREI)-BRIN Dr. Eng. Budi Prawara; dan para Kepala Pusat Riset di lingkungan OREI-BRIN, para sekretaris dan staf sekretariat di lingkungan OREI-BRIN. Terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh periset di Pusat Riset Mekatronika Cerdas, para kolega riset di Kelompok Riset Mesin Cerdas dan Sistem Otonom.

Saya ucapkan terima kasih dan semoga Allah SWT membalas dengan yang lebih baik kepada semua guru saya; Para Guru dan kolega di SDN 1 Kretek, SMP N 1 Bantul, dan SMU N 1 Bantul; Para Dosen dan kolega di D3 & S1 Teknik Mesin UGM, S1 Pend. Teknik Mesin UNY dan di S1 Teknik Mesin STT Mandala; Pembimbing S2 saya Prof. Darwin Sebayang dan Dr. Ing. Pudji Untoro serta Kolega di Malaysia; Pembimbing S3 saya Prof. Ocktaeck Lim dan Kolega di Korea. Terima kasih saya ucapkan kepada kolega riset dari berbagai universitas di Indonesia yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Ucapan terima kasih dan semoga Allah SWT menyayangi kepada orang tua saya Bapak H. Kisdiparno, S.Pd dan Ibu Hj. Sadremi, S.Pd., dan mertua saya H. Hamnazir, S.Pd. dan Ibu Hj. Misnarti, S.Pd. Kepada saudara kandung saya Awal Ratna Margasari, S.E., Ak,t., S.H., M.H. dan Marvita Akhiri Rimbasari, S.P., M.P., kepada saudara saya Edison Jasin, M.Pd., Asep Saefullah, S.P., Dr. Hirmas Fuady Putra, M.Sc., dan Pramesti Anggraeni, M.Pd. Terima kasih kepada istri saya Dr. Hafiziani

Eka Putri, M.Pd., dan anak kami Fathiyyah Haura Azizah dan Faizah Halimah Rosyidah, yang sabar, mendukung, mendoa, dan senantiasa menjadi qurrota a'yun bagi saya.

Terakhir, terima kasih kepada panitia penyelenggara dan seluruh undangan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik. Terima kasih atas perhatian hadirin semua. Mohon maaf atas kekhilafan dalam penyampaian orasi ilmiah ini. *Jazakumullah khoiron.*

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

# DAFTAR PUSTAKA


Curran, S., Prikhodko, V., Cho, K., Sluder, C. S., Parks, J., Wagner, R., Kokjohn, S., & Reitz, R. D. (2010). In-Cylinder Fuel Blending of Gasoline/Diesel for Improved Efficiency and Lowest Possible Emissions on a Multi-Cylinder Light-Duty Diesel Engine. *SAE Technical Paper 2010-01-2206*, 1–20. https://doi.org/10.4271/2010-01-2206

Dimyani, A., Pratama, M., Nur, A., Suherman, ., Praptijanto, A., Santoso, W. B., & **Putrasari, Y.** (2021). Experimental Overview of Ethanol-Diesel Blends on Combustion of CI Engine. In *New Approaches in Engineering Research Vol. 11*. https://doi.org/10.9734/bpi/naer/v11/12181d

Ferrari, A., Novara, C., Paolucci, E., Vento, O., Violante, M., & Zhang, T. (2018). A new closed-loop control of the injected mass for a full exploitation of digital and continuous injection-rate shaping. *Energy Conversion and Management*, *177*, 629–639. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.037

Ghany, F. A., Wahono, B., Praptijanto, A., **Putrasari, Y.**, Dimyani, A., Nur, A., Suherman, Pratama, M., & Wardana, M. K. A. (2024). Study on the Effect of High-Concentration Oxygen Enrichment on Engine Performance and Exhaust Emissions Using Diesel Fuel and Palm Biodiesel Substitute Fuel. *Energies*, *17*(1). https://doi.org/10.3390/en17010244

Han, D., Duan, Y., Wang, C., Lin, H., Huang, Z., & Wooldridge, M. S. (2016). Experimental study on the two stage injection of diesel and gasoline blends on a common rail injection system. *Fuel*, *163*, 214–222. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.066

Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals / John B. Heywood. *Internal Combustion Engine Fundamentals, 2nd Edition*, 1056. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106

Jamsran, N., Lim, O. T., & Iida, N. (2013). Numerical study of the effects of exhaust gas recirculation stratification on reducing the rate of pressure rise in dimethyl ether homogeneous charge compression ignition combustion. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0954407013484013*, *227*(10), 1389–1397. https://doi.org/10.1177/0954407013484013

Jamsran, N., **Putrasari, Y.**, & Lim, O. (2016). A computational study on the autoignition characteristics of an HCCI engine fueled with natural gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, *29*, 469–478. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.01.008

Jung, D., & Iida, N. (2015). Closed-loop control of HCCI combustion for DME using external EGR and rebreathed EGR to reduce pressure-rise rate with combustion-phasing retard. *Applied Energy*, *138*, 315–330. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2014.10.085

Kalghatgi, G. T., Risberg, P., & Ångström, H. (2006). Advantages of Fuels with High Resistance to. *SAE Int.*, *2006-01–33*(724), SAE 2006-01-3385. https://doi.org/10.4271/2006-01-3385

Khalid, A. H., Muhamad Said, M. F., Veza, I., Abas, M. A., Roslan, M. F., Abubakar, S., & Jalal, M. R. (2024). Hydrogen port fuel injection: Review of fuel injection control strategies to mitigate backfire in internal combustion engine fuelled with hydrogen. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 66, pp. 571–581). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.087

Khoa, N. X., **Putrasari, Y.,** Vu, D. N., Duy, N. H. X., & Lim, O. (2022a). The Effect of Control Strategies on the Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine: Injection Strategy, Exhaust Residual Gas Strategy, Biodiesel Addition Strategy, and Oxygen Content Strategy. *Energy, Environment, and Sustainability*, 27–71. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8735-8_3

Khoa, N. X., **Putrasari, Y.,** Vu, D. N., Duy, N. H. X., & Lim, O. (2022b). The Effect of Control Strategies on the Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine: Injection Strategy, Exhaust Residual Gas Strategy, Biodiesel Addition Strategy, and Oxygen Content Strategy. In *Energy, Environment, and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8735-8_3

Kim, D., & Bae, C. (2017). Application of double-injection strategy on gasoline compression ignition engine under low load condition. *Fuel*, *203*, 792–801. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.107

Lawler, B., Splitter, D., Szybist, J., & Kaul, B. (2017). Thermally Stratified Compression Ignition: A new advanced low temperature combustion mode with load flexibility. *Applied Energy*, *189*, 122–132. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.034

Luo, T., Jiang, S., Moro, A., Wang, C., Zhou, L., & Luo, F. (2018). Measurement and validation of hole-to-hole fuel injection rate from a diesel injector. *Flow Measurement and Instrumentation*, *61*, 66–78. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.03.014

Mata, C., Rojas-Reinoso, V., & Soriano, J. A. (2023). Experimental determination and modelling of fuel rate of injection: A review. In *Fuel* (Vol. 343). https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127895

Maurya, R. K., & Mishra, P. (2017). Parametric investigation on combustion and emissions characteristics of a dual fuel (natural gas port injection and diesel pilot injection) engine using 0-D SRM and 3D CFD approach. *Fuel*, *210*(September), 900–913. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.021

Mohan, B., Yang, W., & Chou, S. K. (2013). Fuel injection strategies for performance improvement and emissions reduction in compression ignition engines - A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 28, pp. 664–676). https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.051

Moon, S., Huang, W., Li, Z., & Wang, J. (2016). End-of-injection fuel dribble of multi-hole diesel injector: Comprehensive investigation of phenomenon and discussion on control strategy. *Applied Energy*, *179*, 7–16. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.116

Nur, A., **Putrasari, Y.,** & Reksowardojo, I. K. (2012). The Effect of Ethanol-Diesel Blends on The Performance of A Direct Injection Diesel Engine. *Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *3*(1), 49–56. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.064

Nur, A., **Putrasari, Y.**, Santoso, W. B., Kosasih, T., & Reksowardojo, I. K. (2015). Performance Characteristic of Indirect Diesel Engine Fuelled with Diesel-bioethanol Using Uniplot Software. *Energy Procedia*, *68*, 167–176. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.245

Praptijanto, A., Agustian, E., **Putrasari, Y.**, Sebayang, D., Rus, A. Z. M., Hasan, S., & Untoro, P. (2015a). Sonochemistry Approach to Reducing Biodiesel Reaction Time From Jatropha Curcas Oil by Clamp on Tubular Reactor. *Energy Procedia*, *68*, 480–489. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.280

Praptijanto, A., Agustian, E., **Putrasari, Y.**, Sebayang, D., Rus, A. Z. M., Hasan, S., & Untoro, P. (2015b). Sonochemistry approach to reducing biodiesel reaction time from Jatropha Curcas oil by clamp on tubular reactor. *Energy Procedia*, *68*. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.280

Praptijanto, A., Muharam, A., Nur, A., & **Putrasari, Y.** (2015). Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool. *Energy Procedia*, *68*, 345–354. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.265

Praptijanto, A., Santoso, W. B., Nur, A., **Putrasari, Y**., Dimyani, A., Suherman, Pratama, M., Wahono, B., Wardana, M. K. A., & Bakar, R. A. (2019a). CFD Study Several Injection Timing on Homogeneous Charge Compression Ignition Hydrogen Diesel Dual Fuels. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938644

Praptijanto, A., Santoso, W. B., Nur, A., **Putrasari, Y.,** Dimyani, A., Suherman, Pratama, M., Wahono, B., Wardana, M. K. A., & Bakar, R. A. (2019b). CFD Study Several Injection Timing on Homogeneous Charge Compression Ignition Hydrogen Diesel Dual Fuels. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*, 95–100. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938644

Praptijanto, A., Santoso, W. B., Nur, A., **Putrasari, Y**., & Suherman, S. (2019). Study of combustion and emission characteristic of homogenous charge compression ignition engine using computational fluid dynamic. *Proceedings - 6th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2018*. https://doi.org/10.1109/ICSEEA.2018.8627138

Praptijanto, A., Santoso, W. B., Nur, A., Wahono, B., & **Putrasari, Y.** (2017). Performance and driveline analyses of engine capacity in range extender engine hybrid vehicle. *AIP Conference Proceedings*, *1788*, 030001. https://doi.org/10.1063/1.4968254

Praptijanto, A., Santoso, W. B., **Putrasari, Y**., Nur, A., Dimyani, A., & Erada, I. S. (2020). Performance and Emission Diesel Engine Using Diesel-Normal Heptane Volatility Fuel. *Proceeding - 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Sustainable Energy and Transportation: Towards All-Renewable Future, ICSEEA 2020*, 141–146. https://doi.org/10.1109/ICSEEA50711.2020.9306129

Pratama, M., Budi, W., Dimyani, S. A., Praptijanto, A., Nur, A., & **Putrasari, Y.** (2019). Performance of Inter-vehicular Distance Estimation: Pose from Orthography and Triangle Similarity. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938648

Pratama, M., Santoso, W. B., Dimyani, A., Praptijanto, A., Nur, A., & **Putrasari, Y.** (2019). Software Design of Sequential Injector Controller for Double Cylinders Diesel Engine using 8-Bit Microcontroller. *2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 168–174. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938621

**Putrasari, Y.,** Abimanyu, H., Praptijanto, A., Nur, A., Irawan, Y., & Simanungkalit, S. P. (2014). Experimental Investigation of 2nd Generation Bioethanol Derived from Empty-Fruit-Bunch (EFB) of Oil-Palmon Performance and Exhaust Emission of SI Engine. *Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *5*, 9–16. https://doi.org/10.14203/j.mev.2014.v5.9-16

**Putrasari, Y.**, Eka Putri, H., Dimyani, A., Pratama, M., Nur, A., Praptijanto, A., & Budi Santoso, W. (2021). COMPUTATIONAL INVESTIGATIONS ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS CHARACTERISTICS OF RANGE EXTENDER SPARK IGNITION ENGINE FUELED WITH BIOGAS APPLIED FOR SMALL ELECTRIC VEHICLES. In *Journal of Engineering Science and Technology* (Vol. 16, Issue 6).

**Putrasari, Y.,** Jamsran, N., & Lim, O. (2017a). An investigation on the DME HCCI autoignition under EGR and boosted operation. *Fuel*, *200*, 447–457. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.074

**Putrasari, Y.**, Jamsran, N., & Lim, O. (2017b). An investigation on the DME HCCI autoignition under EGR and boosted operation. *Fuel*, *200*, 447–457. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.074

**Putrasari, Y.**, Jwa, K., & Lim, O. (2019a). Influence of EGR and intake boost on GCI engine fueled with gasoline-biodiesel blend using early single injection mode. *Energy Procedia*, *158*, 565–570. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.153

**Putrasari, Y.,** Jwa, K., & Lim, O. (2019b). Influence of EGR and intake boost on GCI engine fueled with gasoline-biodiesel blend using early single injection mode. *Energy Procedia*, *158*, 565–570. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.153

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2017a). A study on combustion and emission of GCI engines fueled with gasoline-biodiesel blends. *Fuel*, *189*, 141–154. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.076

**Putrasari, Y.,** & LIM, O. (2018). A study of a GCI engine fueled with gasoline-biodiesel blends under pilot and main injection strategies. *Fuel*, *221*, 269–282. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.063

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2019a). A review of gasoline compression ignition: A promising technology potentially fueled with mixtures of gasoline and biodiesel to meet future engine efficiency and emission targets. *Energies*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/en12020238

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2019b). A review of gasoline compression ignition: A promising technology potentially fueled with mixtures of gasoline and biodiesel to meet future engine efficiency and emission targets. *Energies*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/en12020238

**Putrasari, Y.**, & Lim, O. (2021). Combustion and Emissions of Gasoline Compression Ignition Engine Fuelled with Gasoline-Biodiesel Blends. In *Internal Combustion Engine Technology and Applications of Biodiesel Fuel*. https://doi.org/10.5772/intechopen.95877

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2022). Dimethyl Ether as the Next Generation Fuel to Control Nitrogen Oxides and Particulate Matter Emissions from Internal Combustion Engines: A Review. In *ACS Omega* (Vol. 7, Issue 1, pp. 32–37). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03885

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. T. (2017b). Performance and Emission of Gasoline Compression Ignition Engine Fueled with 5 and 20% Gasoline-Biodiesel Blends under Single Injection Strategy. *Energy Procedia*, *105*, 1743–1750. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.501

**Putrasari, Y.,** & Lim, O. T. (2017c). Performance and Emission of Gasoline Compression Ignition Engine Fueled with 5 and 20% Gasoline-Biodiesel Blends under Single Injection Strategy. *Energy Procedia*, *105*, 1743–1750. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.501

**Putrasari, Y.,** Nur, A., & Muharam, A. (2013a). Performance and emission characteristic on a two cylinder di diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Energy Procedia*, *32*. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.004

**Putrasari, Y.**, Nur, A., & Muharam, A. (2013b). The Influence of Two Cylinder Diesel Engine Modification (IDI to DI) on the Performance and Its Emission. *Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *4*(1), 17–24. https://doi.org/10.14203/j.mev.2013.v4.17-24

**Putrasari, Y.**, Praptijanto, A., Nur, A., Santoso, W. B., Pratama, M., Dimyani, A., Suherman, S., Wahono, B., Wardana, M. K. A., & Lim, O. (2018). Thermal efficiency and emission characteristics of a diesel-hydrogen dual fuel CI engine at various loads condition. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *9*(2), 49–56. https://doi.org/10.14203/j.mev.2018.v9.49-56

**Putrasari, Y.,** Praptijanto, A., Nur, A., Wahono, B., & Santoso, W. B. (2015). Evaluation of Performance and Emission of SI Engine Fuelled with CNG at Low and High Load Condition. *Energy Procedia*, *68*, 147–156. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.243

**Putrasari, Y.,** Praptijanto, A., Santoso, W. B., & Lim, O. (2016). Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review. *Energy Reports*, *2*, 237–245. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.08.005

**Putrasari, Y.**, Praptijanto, A., Santoso, W. B., Pratama, M., Suherman, & Abdurahman, I. (2020). Study on Combustion of Range Extender Spark Ignition Engine Fueled with Biogas. *Proceeding - 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Sustainable Energy and Transportation: Towards All-Renewable Future, ICSEEA 2020*, 147–150. https://doi.org/10.1109/ICSEEA50711.2020.9306156

**Putrasari, Y.,** Santoso, W. B., Praptijanto, A., & Lim, O. (2019). Emission control strategy on GCI engines fueled with biodiesel blended in gasoline. *Proceedings - 6th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2018*. https://doi.org/10.1109/ICSEEA.2018.8627101

**Putrasari, Y.,** Untoro, P., Hasan, S., Huda, N., & Sebayang, D. (2012). Modification of Surface Roughness and Area of FeCrAl Substrate for Catalytic Converter using Ultrasonic Treatment. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *1*(2). https://doi.org/10.14203/j.mev.2010.v1.53-60

Santoso, W. B., Praptijanto, A., Nur, A., Suherman, S., **Putrasari, Y.,** & Erada, I. S. (2019a). Study of Cyclic Variability in Diesel Dual Fuel Engine with Different Fuel Volatility. *2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 201–206. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938625

Santoso, W. B., Praptijanto, A., Nur, A., Suherman, S., **Putrasari, Y.,** & Erada, I. S. (2019b). Study of Cyclic Variability in Diesel Dual Fuel Engine with Different Fuel Volatility. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*, 201–206. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938625

Sebayang, D., **Putrasari, Y.,** Firdianto, A., Bin Hasan, S., Bin Othman, A., & Untoro, P. (2011). Ni layer evolution of FeCrAl substrate treated by ultrasonic and electroplating methods in long term oxidation at 900?C. In *Advanced Materials Research* (Vols. 181–182). https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.181-182.501

Sebayang, D., **Putrasari, Y.**, Hasan, S., Ashraf, M., & Untoro, P. (2012). Preparation of NiO Catalyst on FeCrAl Substrate Using Various Techniques at Higher Oxidation Process. In *Electroplating*. https://doi.org/10.5772/32862

Sebayang, D., Untoro, P., & **Putrasari, Y.** (2010). Effect of pretreatment using ultrasonic technique with Sic or Al2O3 on high temperature oxidation behavior of the FeCrAl. *The International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering*, *14*(14). https://doi.org/10.21608/amme.2010.38153

Tamam, M. Q. M., Abdullah, N. R., Yahya, W. J., Kadir, H. A., **Putrasari, Y.,** & Ahmad, M. A. (2021). Effects of Ethanol Blending with Methanol-Gasoline fuel on Spark Ignition Engine Performance and Emissions. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *83*(2). https://doi.org/10.37934/ARFMTS.83.2.5472

Tongroon, M., **Putrasari, Y.,** & Thongchai, S. (2023). Influence of engine operating conditions on effect of ethanol combined with biodiesel in ternary blends on combustion behavior in a compression ignition engine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *37*(1). https://doi.org/10.1007/s12206-022-1238-8

Wahono, B., **Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2017). Construction of Response Surface Model for Compression Ignition. *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, *28*(1), 98–105.

Wahono, B., **Putrasari, Y.,** & Lim, O. (2019). A study on in-cylinder flow field of a 125cc motorcycle engine at low engine speeds. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *33*(9). https://doi.org/10.1007/s12206-019-0844-6

Wahono, B., Setiawan, A., Lim, O., Praptijanto, A., & **Putrasari, Y.** (2019). Study on the Effect of the Intake Port Configuration on the In-cylinder of Small Engine. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*. https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938616

Wang, B., Jiang, Y., Hutchins, P., Badawy, T., Xu, H., Zhang, X., Rack, A., & Tafforeau, P. (2017). Numerical analysis of deposit effect on nozzle flow and spray characteristics of GDI injectors. *Applied Energy*, *204*, 1215–1224. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.094

Wang, B., Wang, Z., Shuai, S., & Wang, J. (2015). Investigations into Multiple Premixed Compression Ignition mode Fuelled with Different Mixtures of Gasoline and Diesel. *SAE Int. J. Fuels Lubr.*, *2015-01–08*. https://doi.org/10.4271/2015-01-0833.Copyright

Wardana, M. K. A., Wahono, B., Pratama, M., **Putrasari, Y.,** Nur, A., Praptijanto, A., Dimyani, A., Suherman, & Lim, O. (2024). Study on super-hydrophobic pattern to increase the NH3adsorption and desorption in SCR systems. *AIP Conference Proceedings*, *3003*(1). https://doi.org/10.1063/5.0186240

Waskito, A., Christian, B., Firmasnyah, R. D., Arifin, M., Salim, T. I., Pratama, M., Nur, A., Krisnandi, D., Wahono, B., Dimyani, A., **Putrasari, Y.**, Prawara, B., Tjolleng, A., & Aditya Wardana, M. K. (2023). Analysis of Power Consumption for Electrical Motor on Automatic Micro Electric Vehicle (MEVi). *2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation, ICAMIMIA 2023 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427582

Xu, L., Bai, X. S., Jia, M., Qian, Y., Qiao, X., & Lu, X. (2018). Experimental and modeling study of liquid fuel injection and combustion in diesel engines with a common rail injection system. *Applied Energy*, *230*, 287–304. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.08.104

**Yanuandri Putrasari,** Achmad Praptijanto, Ahmad Dimyani, Mulia Pratama, Suherman, & Widodo Budi Santoso. (2022). *BAHAN BAKAR BENSIN BIODIESEL PADA MOTOR BAKAR PENYALAAN KOMPRESI*. https://intipdaqu.brin.go.id/proses-hki/show/MIG-2020-1650216342.1842

**Yanuandri Putrasari,** Suherman, Bambang Wahono, Achmad Praptijanto, Ahmad Dimyani, Arifin Nur, Mulia Pratama, & Muhammad Khristamto Aditya Wardana. (2022). *SISTEM PENAMBAH JARAK TEMPUH PADA KENDARAAN HIBRID* (Patent S00202207488).

**Yanuandri Putrasari,** Suherman, Bambang Wahono, Mulia Pratama, Arifin Nur, Muhammad Khristamto Aditya Wardana, Achmad Praptijanto, Ahmad Dimyani, Iman Abdurahman, Heru Sugiantoro, & Dimas Tommy Radityo. (2023a). *ALAT PENGENDALI TEGANGAN PADA RANGE EXTENDER HIBRID DI KENDARAAN* (Patent P00202304821).

**Yanuandri Putrasari,** Suherman, Bambang Wahono, Mulia Pratama, Arifin Nur, Muhammad Khristamto Aditya Wardana, Achmad Praptijanto, Ahmad Dimyani, Iman Abdurahman, Heru Sugiantoro, & Dimas Tommy Radityo. (2023b). *Perjanjian Lisensi BRIN-PT. Triangle Motorindo: Alat Pengendali Tegangan Pada Range Extender Hibrid di Kendaraan*.

# DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

## Buku/ Bagian Buku:

1. Khoa, N.X., **Putrasari, Y.,** Vu, D.N., Duy, N.H.X., Lim, O. (2022). The Effect of Control Strategies on the Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine: Injection Strategy, Exhaust Residual Gas Strategy, Biodiesel Addition Strategy, and Oxygen Content Strategy. In: Kalghatgi, G., Agarwal, A.K., Goyal, H., Houidi, M.B. (eds) Gasoline Compression Ignition Technology. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8735-8_3
2. A Dimyani, M Pratama, A Nur, A Praptijanto, WB Santoso, **Y. Putrasari**: Experimental Overview of Ethanol-Diesel Blends on Combustion of CI Engine, New Approaches in Engineering Research Vol. 11, 129-139, 2021
3. **Y. Putrasari**, O Lim: Combustion and Emissions of Gasoline Compression Ignition Engine Fuelled with Gasoline-Biodiesel Blends, Intechopen: Internal Combustion Engine Technology and Applications of Biodiesel Fuel, 113, 2021
4. Darwin Sebayang, **Yanuandri Putrasari**, Sulaiman Hasan, Mohd Ashraf Othman, Pudji Untoro: *Preparation of NiO Catalyst on FeCrAl Substrate Using Various Techniques at Higher Oxidation Process*. Electroplating, 04/2012; , ISBN: 978-953-51-0471-1, DOI:10.5772/32862

## Jurnal Internasional

5. Fariza Almira Ghany, Bambang Wahono, Achmad Praptijanto, **Yanuandri Putrasari**, Ahmad Dimyani, Arifin Nur, Suherman, Mulia Pratama, Muhammad Khristamto Aditya Wardana: Study on the Effect of High-Concentration Oxygen Enrichment on Engine Performance and Exhaust Emissions Using Diesel Fuel and Palm Biodiesel Substitute Fuel, Energies 2024, 17(1), 244; https://doi.org/10.3390/en17010244

6. M Tongroon, **Y Putrasari**, S Thongchai: Influence of engine operating conditions on effect of ethanol combined with biodiesel in ternary blends on combustion behavior in a compression ignition engine, Journal of Mechanical Science and Technology, 1-15, 2023. https://doi.org/10.1007/s12206-022-1238-8

7. **Y Putrasari**, O Lim: Dimethyl Ether as the Next Generation Fuel to Control Nitrogen Oxides and Particulate Matter Emissions from Internal Combustion Engines: A Review, ACS Omega 2022, 7, 32−37. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03885

8. **Yanuandri Putrasari**, Hafiziani Eka Putri, Ahmad Dimyani, Mulia Pratama, Arifin Nur Suherman, Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso: Computational Investigations On The Performance And Emissions Characteristics Of Range Extender Spark Ignition Engine Fueled With Biogas Applied For Small Electric Vehicles, Journal of Engineering Science and Technology 16 (6), 4791-4807, 2021.

9. MQM Tamam, NR Abdullah, WJ Yahya, HA Kadir, **Y Putrasari**, MA Ahmad: Effects of Ethanol Blending with Methanol-Gasoline fuel on Spark Ignition Engine Performance and Emissions, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol 83, 2021.

10. **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim: A Review of Gasoline Compression Ignition: A Promising Technology Potentially Fueled with Mixtures of Gasoline and Biodiesel to Meet Future Engine Efficiency and Emission Targets. Energies 01/2019; 12(2):238., DOI:10.3390/en12020238

11. Bambang Wahono, **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim: A study on in-cylinder flow field of a 125cc motorcycle engine at low engine speeds. Journal of Mechanical Science and Technology 09/2019; 33(1)., DOI:10.1007/s12206-019-0844-6

12. **Yanuandri Putrasari**, Kyeonghun Jwa, Ocktaeck Lim: *Influence of EGR and intake boost on GCI engine fueled with gasoline-biodiesel blend using early single injection mode*. Energy Procedia 02/2019; 158:565-570., DOI:10.1016/j.egypro.2019.01.153

13. **Yanuandri Putrasari**, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Widodo Budi Santoso, Mulia Pratama, Ahmad Dimyani, Suherman Suherman, Bambang Wahono, Muhammad Khristamto Aditya Wardana, Ocktaeck Lim: *Thermal efficiency and emission characteristics of a diesel-hydrogen dual fuel CI engine at various loads condition*. 12/2018; 9(2):49., DOI:10.14203/j.mev.2018.v9.49-56

14. **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck LIM: *A study of a GCI engine fueled with gasoline-biodiesel blends under pilot and main injection strategies*. Fuel 06/2018; 221:269-282., DOI:10.1016/j.fuel.2018.01.063

15. **Yanuandri Putrasari**, Narankhuu Jamsran, Ocktaeck Lim: *An investigation on the DME HCCI autoignition under EGR and boosted operation*. Fuel 07/2017; 200:447-457., DOI:10.1016/j.fuel.2017.03.074

16. **Yanuandri Putrasari**, Ock Taeck Lim: *Performance and Emission of Gasoline Compression Ignition Engine Fueled with 5 and 20% Gasoline-Biodiesel Blends under Single Injection Strategy*. Energy Procedia 05/2017; 105:1743-1750., DOI:10.1016/j.egypro.2017.03.501

17. Bambang Wahono, **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim: *Construction of Response Surface Model for Compression Ignition Engine Using Stepwise Method*. 02/2017; 28(1):98-105., DOI:10.7316/KHNES.2017.28.1.98

18. **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim: *A study on combustion and emission of GCI engines fueled with gasoline-biodiesel blends*. Fuel 02/2017; 189., DOI:10.1016/j.fuel.2016.10.076

19. **Yanuandri Putrasari**, Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Ocktaeck Lim: *Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review*. 11/2016; 2(C):237-245., DOI:10.1016/j.egyr.2016.08.005

20. Narankhuu Jamsran, **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim: *A Computational Study on the Autoignition Characteristics of an HCCI Engine Fueled with Natural Gas*. Journal of Natural Gas Science and Engineering 01/2016; 29., DOI:10.1016/j.jngse.2016.01.008

21. **Yanuandri Putrasari**, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Bambang Wahono, Widodo Budi Santoso: *Evaluation of Performance and Emission of SI Engine Fuelled with CNG at Low and High Load Condition*. Energy Procedia 04/2015; 68., DOI:10.1016/j.egypro.2015.03.243

22. Arifin Nur, **Y. Putrasari**, W.B. Santoso, Tony Kosasih, I.K. Reksowardojo: *Performance Characteristic of Indirect Diesel Engine Fuelled with Diesel-bioethanol Using Uniplot Software*. Energy Procedia 04/2015; 68., DOI:10.1016/j.egypro.2015.03.245

23. Achmad Praptijanto, Aam Muharam, Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**: *Effect of Ethanol Percentage for Diesel Engine Performance Using Virtual Engine Simulation Tool*. Energy Procedia 04/2015; 68., DOI:10.1016/j.egypro.2015.03.265

24. Achmad Praptijanto, Egi Agustian, **Yanuandri Putrasari**, Darwin Sebayang, Anika Zafiah M. Rus, Sulaiman Hasan, Pudji Untoro: *Sonochemistry Approach to Reducing Biodiesel Reaction Time From Jatropha Curcas Oil by Clamp on Tubular Reactor*. Energy Procedia 04/2015; 68:480-489., DOI:10.1016/j.egypro.2015.03.280

25. **Yanuandri Putrasari**, Haznan Abimanyu, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Yan Irawan, Pangihutan Sabar Simanungkalit: *Experimental Investigation of 2nd Generation Bioethanol Derived from Empty-Fruit-Bunch (EFB) of Oil-Palmon Performance and Exhaust Emission of SI Engine*. 07/2014; 05(1):9-16., DOI:10.14203/j.mev.2014.v5.9-16

26. **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Aam Muharam: *Performance and Emission Characteristic on a Two Cylinder DI Diesel Engine Fuelled with Ethanol-Diesel Blends*. Energy Procedia 12/2013; 32:21–30., DOI:10.1016/j.egypro.2013.05.004

27. **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Aam Muharam: *The Influence of Two Cylinder Diesel Engine Modification (IDI to DI) on Its Performance and Emission*. 06/2013; 4(01):17-24., DOI:10.14203/j.mev.2013.v4.17-24

28. Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**, Iman Kartolaksono Reksowardojo: *The Effect of Ethanol-Diesel Blends on The Performance of A Direct Injection Diesel Engine*. 07/2012; 3(1)., DOI:10.14203/j.mev.2012.v3.49-56

29. **Yanuandri Putrasari**, P Untoro, Sulaiman Hasan, Naili Huda, Darwin Sebayang: *Modification of Surface Roughness and Area of FeCrAl Substrate for Catalytic Converter using Ultrasonic Treatment*. 03/2012; 1(2)., DOI:10.14203/j.mev.2010.v1.53-60

30. Darwin Sebayang, **Putrasari Yanuandri**, Firdianto Ade, Bin Hasan Sulaiman, Bin Othman Ashraf, Pudji Untoro: *Ni Layer Evolution of FeCrAl Substrate Treated by Ultrasonic and Electroplating Methods in Long Term Oxidation at 900°C*. 01/2011; 181-182:501-506., DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.181-182.501

31. Sebayang Darwin, Firdianto Ade, **Putrasari Yanuandri**, Agustian Egi, Saryanto Hendi, Untoro Pudji: *Preparation of Nanocrystalline γ-Alumina Using Ultrasonic Technique*. Advanced Materials Research 08/2010; 129-131:1034-1038., DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.129-131.1034

32. Sebayang Darwin, **Putrasari Yanuandri**, Bin Hasan Sulaiman, Untoro Pudji: *NiO Development on FeCrAl Substrate for Catalytic Converter Using Ultrasonic and Nickel Electroplating Methods*. Advanced Materials Research 08/2010; 129-131:1262-1266., DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.129-131.1262

## Jurnal Nasional

33. **Yanuandri Putrasari,** Arifin Nur dan Aam Muharam, *"Performance Test of Dual Fuel Engine Using Diesel Ethanol,"* Majalah Ilmiah Widyariset vol 16.2 2012.

## Prosiding Internasional

34. Bambang Wahono, **Yanuandri Putrasari**, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Suherman Suherman, Mulia Pratama, Ahmad Dimyani, Muhammad KA Wardana, Ardhika Setiawan, Ocktaeck Lim, *Study on in-cylinder flow characteristics based on the intake port inclination in motorcycles engine*, Proceedings of The 10th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2022 (ICSEEA2022), https://doi.org/10.1063/5.0205778

35. Iman Abdurahman, Yoyon Ahmudiarto, **Yanuandri Putrasari,** Ahmad Dimyani, Tri Admono, Agus Salim, Achmad Praptijanto, Teguh Tri Lusijarto, *Design of automatic temperature-humidity control system in mushroom chamber for energy optimization in mushrooms production*, Proceedings of The 10th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2022 (ICSEEA2022), https://doi.org/10.1063/5.0205784

36. Ahmad Dimyani, Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Bambang Wahono, Arifin Nur, Iman Abdurahman, Mulia Pratama, Suherman Suherman, Aam Muharam, **Yanuandri Putrasari**, *Dual-Fuel-Engine using biogas-POME*, Proceedings of The 10th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2022 (ICSEEA2022), https://doi.org/10.1063/5.0205783.

37. Muhammad Khristamto Aditya Wardana, Bambang Wahono, Mulia Pratama, **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Achmad Praptijanto, Ahmad Dimyani, Suherman Suherman, Ocktaeck Lim: *Study on super-hydrophobic pattern to increase the NH3 adsorption and desorption in SCR systems*, AIP Conf. Proc. 3003, 020012 (2024), https://doi.org/10.1063/5.0186240

38. Adi Waskito, Bright Christian, Rendra Dwi Firmasnyah, Muhammad Arifin, Taufik Ibnu Salim, Mulia Pratama, Arifin Nur, Dikdik Krisnandi, Bambang Wahono, Ahmad Dimyani, **Yanuandri Putrasari**, Budi Prawara, Amir Tjolleng, Muhammad Khristamto Aditya Wardana: *Analysis of Power Consumption for Electrical Motor on Automatic Micro Electric Vehicle (MEVi*), 2023

International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA). https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427582

39. **Yanuandri Putrasari,** Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Mulia Pratama, Iman Abdurahman, *Study on Combustion of Range Extender Spark Ignition Engine Fueled with Biogas*, 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), DOI: 10.1109/ICSEEA50711.2020.9306156.

40. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, **Yanuandri Putrasari,** Arifin Nur, Ahmad Dimyani, Ivan Sebastian Erada, *Performance and Emission Diesel Engine Using Diesel-Normal Heptane Volatility Fuel,* 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), DOI: 10.1109/ICSEEA50711.2020.9306129.

41. B Wahono, A Setiawan, O Lim, A Praptijanto, **Y Putrasari,** *Study on the Effect of the Intake Port Configuration on the In-cylinder of Small Engine*, 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2019 (ICSEEA), DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938616

42. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**, Ahmad Dimyani, Suherman, Mulia Pratama, Bambang Wahono, Muhammad Khristamto Aditya Wardana, Rosli Abu Bakar: *CFD Study Several Injection Timing on Homogeneous Charge Compression Ignition Hydro gen Diesel Dual Fuels*. 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019; DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938644

43. Mulia Pratama, Widodo Budi Santoso, Ahmad Dimyani, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**: *Performance of Inter-vehicular Distance Estimation: Pose from Orthograph y and Triangle Similarity*. 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019; DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938648

44. Mulia Pratama, Widodo Budi Santoso, Ahmad Dimyani, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**: *Software Design of Sequential Injector Controller for Double Cylinders Diesel Engine using 8-Bit Microcontroller*. 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019; DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938621

45. Widodo Budi Santoso, Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Suherman, **Yanuandri Putrasari**, Ivan Sebastian Erada: *Study of Cyclic Variability in Diesel Dual Fuel Engine with Different Fuel Volatility*. 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019; DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938625

46. Bambang Wahono, Ardhika Setiawan, Ocktaeck Lim, Achmad Praptijanto, **Yanuandri Putrasari**: *Study on the Effect of the Intake Port Configuratio n on the In-cylinder of Small Engine*. 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019; DOI: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938616

47. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**, Suherman: *Study of Combustion and Emission Characteristic of Homogenous Charge Compression Ignition Engine Using Computational Fluid Dynamic*. 2018 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA); 11/2018, DOI:10.1109/ICSEEA.2018.8627138

48. **Yanuandri Putrasari**, Widodo Budi Santoso, Achmad Praptijanto, Ocktaeck Lim: *Emission Control Strategy on GCI Engines Fueled with Biodiesel Blended in Gasoline*. 2018 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA); 11/2018, DOI:10.1109/ICSEEA.2018.8627101

49. Yanuandri Putrasari, Ocktaeck Lim, *Experimental investigation on combustion and emission of CI engine fueled with gasoline-biodiesel blends in early injection HCCI mode*, Foitic 2017, https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/foitic/article/view/16.

50. Bambang Wahono, **Yanuandri Putrasari**, Ocktaeck Lim, *Investigation of Flow Field Modeling on Gasoline Engine of Motor Cycles*, Foitic 2017, https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/foitic/issue/archive.

51. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, Arifin Nur, Bambang Wahono, **Yanuandri Putrasari**: *Performance and driveline analyses of engine capacity in range extender engine hybrid vehicle*. International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016); 01/2017, DOI:10.1063/1.4968254

52. **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Achmad Praptijanto, Aam Muharam: *Heat Release Analysis of a Two Cylinders DI Diesel Engine Fuelled With Ethanol-Diesel Blends*. The Proceeding of ASEAN Conference on Science and Technology 2014 – 9th ASEAN Science and Technology Week (ASTW-9), Bogor Indonesia; 01/2014

53. K.Reksowardojo, Arifin Nur, Widodo Budi Santoso, **Yanuandri Putrasari,** *"Statistical Analysis to Determine The Effect of Diesel-Ethanol Blending on Stationary IDI Diesel Engine Performance,"* Proceeding of The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference in Mechanical and Aerospace, hal:211-218, 2012.

54. D.Sebayang, P.Untoro, **Yanuandri Putrasari,** *"Effect of Pretreatment Using Ultrasonic Technique With SiC or Al2O3 On High Temperature Oxidation Behavior Of The FeCrAl,"* Proceeding Of The 14th AMME Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, pp:MS-5,1-8.

55. **Yanuandri Putrasari**, A.Othman, P.Untoro, and D. Sebayang, *"Alumina Whiskers On FeCrAl Substrate After Treated Through Ultrasonic With SiC Powders and Oxidized at 900 and 1100oC,"* Proceeding of Post Graduate Seminar on Engineering, Technology and Social Science 2010, pp:3.

56. D.Sebayang, P.Untoro, **Yanuandri Putrasari,** Y.H.Soon, M.Hashim dan M.Ghooma, *"Influence of Difference Deposition Technique Of Nickel On The FeCrAl Metallic Monolith,"* Proceeding of Malaysian Metallurgical Conference 2009, pp: 27, ISBN: 978-983-42358-8-8.

57. **Yanuandri Putrasari,** Achmad Praptijanto, Arifin Nur, Ahmad Dimyani, and Mulia Pratama, "*Preliminary Study on The Performance and Emission of SI Engine Fuelled with CNG Using Commercial Kit Conversion,"* Proceeding of National Conference RIMTEK, 2013, pp: 311-318.

58. Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari**, Aam Muharam, Ahmad Dimyani, and Mulia Pratama, *"Influence of Bioethanol Addition in Diesel Fuel on The Emission of Common Rail Diesel Engine,"* Proceeding of National Conference RIMTEK, 2013, pp: 271-276.

59. Arifin Nur, **Yanuandri Putrasari,** Aam Muharam, " *Combustion Process Optimalization of Dual Fuel Diesel Engine (Diesel-Bioethanol) Using Response Surface Method,"* Prosiding Teknoin UII Yogyakarta, 2012.

60. **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Widodo Budi Santoso, Mochamad Ichwan, *"Emission Characteristics of Duel Fuel Engine (Diesel-Hydrogen) at 2000 and 2500 rpm on Variation of Loads,*" Kipnas X LIPI, 2011.

61. **Yanuandri Putrasari**, Arifin Nur, Widodo Budi Santoso, dan Mochamad Ichwan, *"Performance and Emission test for DI Diesel Engine Without Modification Using Additional Hydrogen,"* Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2011, hal: E-115 - E120, ISBN:978-979-96964-8-9.

62. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, **Yanuandri Putrasari,** *"Thermodinamics simulation on Influence of NOx and Soot Reduction of DI Diesel Engine (1 Cylinder) 667 cc Using Dual Fuel (Diesel-Biogas),"* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Simulasi IV, 2008, hal: 254-260.

63. **Yanuandri Putrasari,** Widodo Budi Santoso, Achmad Praptijanto, *"Mixer selection for Biogas Utilization on Dual Fuelled Diesel Engine 1200 cc,"* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Simulasi IV, 2008, hal: 361-367

64. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, **Yanuandri Putrasari,** *"Simulation of Performance Test for DI Diesel Engine (1 Cylinder) 667 cc Using Dual Fuel (Diesel-Skin Rice Gasification),"* Prosiding Seminar Nasional Teknoin, 2008, hal: A-1-A5.

65. Achmad Praptijanto, Widodo Budi Santoso, **Yanuandri Putrasari,** *"Thermodinamics simulation on Influence of NOx and Soot Reduction Using Multiple Injection of Single Cylinder Diesel engine 667 cc Fuelled with Metil Butanoate."* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Simulasi III, 2007, hal: E-59-E64.

## Kekayaan Intelektual

66. [Terdaftar] Bahan Bakar Bensin Biodiesel Pada Motor Bakar Penyalaan Kompresi, P00202007377, 2022.

67. [Terdaftar] Sistem Penambah Jarak Tempuh Pada Kendaraan Hibrid, S00202207488, 2022.

68. [Terkabul] Suspensi, IDD000065716, 2023.

69. [Terdaftar] CCTV, A00202204842, 2022.

70. [Terdaftar] Alat Bantu Eksoskeleton Untuk Pemanen Kelapa Sawit, P00202215442, 2023.

71. [Terkabul] Kendaraan Roda Tiga Elektrik Untuk Berniaga, IDD000067491, 2023.

72. [Terdaftar] Alat Pengendali Tegangan Pada Range Extender Hibrid Di Kendaraan, P00202304821, 2023.

73. [Terdaftar] Pengaman tutup otomatis yang dipasang pada kontainer kendaraan niaga, S00202305868, 2023.

74. [Terdaftar] Aplikasi Android Untuk Single-passenger Electric Autonomous Transporter (SEATER), 000545214, 2023.

75. [Terdaftar] Metode Dan Alat Kendali Terdistribusi Nirkabel Pada Kendaraan Listrik Otonom, P00202310530, 2023.

76. [Terdaftar] Sistem kendaraan otonom berbasis aplikasi smartphone, P00202312312, 2023.

77. [Terdaftar] Alat Kontrol Dan Metode Penggerak Kecepatan Kendaraan Hibrid, P00202408112, 2024.
78. [Terdaftar] Sistem navigasi pada kendaraan listrik otonom, P00202314639, 2023.
79. [Terdaftar] Sistem, Perangkat Wearable Telemedis, dan Metode Berbasis Kecerdasan Artifisial Untuk Pemantauan, Deteksi Dini dan Diagnosis Penyakit Jantung Secara Kontinyu, P00202314695, 2023.
80. [Terkabul] Metode pengukuran jarak pada obyek bergerak menggunakan kamera, IDP000081677, 2022.
81. [Terdaftar] Alat Pemutus Sambung Beban Elektrik Kendaraan Berdasarkan Sensor lnklinasi Kemiringan Jalan Dengan Batasan Sudut Kemiringan Yang Bisa Diatur, S00201911708, 2019.
82. [Terdaftar] Sistem Komunikasi Dan Metode Konversi Kendaraan Konvensional Menjadi Kendaraan Otonom, P00202411145, 2024.
83. [Terdaftar] Sistem Penggerak Sepeda Motor Listrik Konversi Kompak, S00202411987, 2024.
84. [Terdaftar] Sistem Kendaraan Dan Metode Kendali Otonom Berbasis Gawai, P00202312312, 2023.

# DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## A. Data Pribadi

| | | |
|---|---|---|
| Nama Lengkap | : | Yanuandri Putrasari, M. Eng., Ph.D. |
| Tempat, Tanggal Lahir | : | Karanganyar, 18 Januari 1982 |
| Anak ke | : | Dua dari tiga bersaudara |
| Nama Ayah Kandung | : | H. Kisdiparno, S.Pd. |
| Nama Ibu Kandung | : | Hj. Sadremi, S.Pd. |
| Nama Istri | : | Dr. Hafiziani Eka Putri, M.Pd. |
| Jumlah Anak | : | 2 |
| Nama Anak | : | 1. Fathiyyah Haura Azizah<br>2. Faizah Halimah Rosyidah |
| Nama Instansi | : | Pusat Riset Mekatronika Cerdas, Organisasi Riset Elektronika dan Informatika BRIN |
| Judul Orasi | : | Implementasi Kontrol Injeksi Bahan Bakar Alternatif untuk Mendukung Program *Net Zero Emission* |
| Ilmu | : | Teknik |
| Bidang | : | Teknik Mesin |
| Kepakaran | : | Teknik Otomotif |
| No. SK Pangkat Terakhir | : | Keputusan Kepala BRIN No 3433/I/KP/2023, tanggal 30 Maret 2023 |
| No. SK Peneliti Ahli Utama | : | Keputusan Presiden 2/M Tahun 2023, tanggal 9 Januari 2023 |

## B. Pendidikan Formal

| No. | Jenjang | Nama Sekolah/PT/ Universitas | Tempat/ Kota/ Negara | Tahun Lulus |
|---|---|---|---|---|
| 1. | SD | SDN 1 Kretek Bantul | Bantul/ Indonesia | 1994 |
| 2. | SMP | SMPN 1 Bantul | Bantul/ Indonesia | 1997 |
| 3. | SMA | SMAN 1 Bantul | Bantul/ Indonesia | 2000 |
| 4. | D3 | Teknik Mesin/ Universitas Gadjah Mada | Yogyakarta/ Indonesia | 2003 |
| 5. | S1 | Teknik Mesin/ Universitas Negeri Yogyakarta | Yogyakarta/ Indonesia | 2005 |
| 6. | S1 | Teknik Mesin/ Sekolah Tinggi Teknologi Mandala | Bandung/ Indonesia | 2007 |
| 7. | S2 | Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering/Universiti Tun Hussein Onn Malaysia | Johor/ Malaysia | 2011 |
| 8. | S3 | Faculty of Mechanical and Automotive Engineering/ University of Ulsan Korea | Ulsan/ Korea | 2019 |

## C. Pendidikan Nonformal

| No. | Nama Pelatihan/Pendidikan | Tempat/Kota/ Negara | Tahun |
|---|---|---|---|
| 1. | Metode Penelitian dan Pengolahan Data: Diklat Metode Penelitian dan Pengolahan Data | LIPI/Bogor/ Indonesia | 2005 |
| 2. | ISO: Pelatihan ISO/IEC 17025: 2005 | LIPI/Bandung/ Indonesia | 2007 |
| 3. | ISO: Peserta Pelatihan dan Praktek Penyusunan Dokumentasi ISO/IEC 17025: 2005 | LIPI/Bandung Indonesia | 2007 |

## D. Jabatan Fungsional

| No. | Jenjang Jabatan | TMT Jabatan |
|---|---|---|
| 1. | Peneliti Ahli Pertama Gol. III/b | 1 September 2012 |
| 2. | Peneliti Ahli Muda Gol. III/c | 1 Oktober 2014 |
| 3. | Peneliti Ahli Madya Gol. IV/c | 1 Desember 2020 |
| 4. | Peneliti Ahli Utama Gol. IV/e | 9 Januari 2023 |

## E. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

| No. | Jabatan/Pekerjaan | Pemberi Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|
| 1. | Koordinator Rumah Program Kendaraan Listrik | IPT- LIPI OR EI BRIN | 2022-2024 |
| 2. | Koordinator Kegiatan Prioritas Nasional: Teknologi Kendaraan Listrik | LIPI, BRIN | 2021 |

| No. | Jabatan/Pekerjaan | Pemberi Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|
| 3. | Ketua Tim PME P2 Telimek | Kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI | 2020 |
| 4. | Koordinator Program Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik | Kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI | 2020 |
| 5. | Insinas: Peningkatan Prestasi dan Emisi Pada Generator Dual Fuel dengan Menggunakan Biogas Limbah Cair Sawit (POME) Sebagai Substitusi Bahan Bakar | Kemenristek | 2021 |
| 6. | Insinas: Peningkatan Prestasi dan Emisi Pada Generator Dual Fuel dengan Menggunakan Biogas Limbah Cair Sawit (POME) Sebagai Substitusi Bahan Bakar | Kemenristek | 2020 |
| 7. | Research and Innovation in Science and Technology Project (Riset-Pro) | Kemenristek | 2015 |
| 8. | Rancang Bangun Konverter Kit Untuk Kendaraan Bahan Bakar Gas (DIPA) | Kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI | 2022–2022 |

## F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

| No. | Nama Kegiatan | Peran/ Tugas | Penyelenggara (Kota, Negara) | Tahun |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2021 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) | Peserta | Indonesia | 2021 |
| 2. | 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) | Peserta | Indonesia | 2020 |
| 3. | 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) | Chairman | Indonesia | 2021 |
| 4. | Workshop on Higher Blending of Biofuels for Transportation in ASEAN Countries: Testing and Strategy | Committee | ASTIF | 2019 |
| 5. | 2018 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) | Peserta | Indonesia | 2018 |

| No. | Nama Kegiatan | Peran/ Tugas | Penyelenggara (Kota, Negara) | Tahun |
|---|---|---|---|---|
| 6. | Peserta One Day Seminar Global Challenge on Renewable Energy | Peserta | LIPI/Indonesia | 2013 |
| 7. | Rancang Bangun Konverter Kit untuk Kendaraan Bahan Bakar Gas | PI | LIPI/Indonesia | 2013 |
| 8. | Optimasi Campuran dan Pembakaran pada Motor Dual Fuel Diesel Hidrogen | PI | LIPI/Indonesia | 2011 |
| 9. | Peserta Research Methodology Workshop | Peserta | | |
| 10. | Peserta International Symposium on Current Advancement and Research in Textile & Packaging Technology 2009 | Peserta | UTHM/ Malaysia | 2010 |
| 11. | Peserta Malaysian Metallurgical Conference 2009 | Peserta | Universiti Malaysia Perlis (UNIMAP) | 2009 |

## G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

| No. | Nama Jurnal | Peran/Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|
| 1. | Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) | Committee/ Reviewer | 2012–2022 |
| 2. | Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology | Dewan Editor/ Reviewer | 2021–2023 |
| 3. | Fuel, Elsevier | Reviewer | 2016–Sekarang |
| 4. | Alexandria Engineering Journal, Elsevier | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 5. | Sustainable Energy Technologies and Assessments, Elsevier | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 6. | Case Studies in Thermal Engineering, Elsevier | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 7. | Energy Source, Part A, Taylor and Francis | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 8. | International Robust and Nonlinear Control, Wiley | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 9. | Energy Science & Engineering, Wiley | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 10. | Energies | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 11. | Fluids | Reviewer | 2019–Sekarang |

| No. | Nama Jurnal | Peran/Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|
| 12. | Sensors | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 13. | Mathematics | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 14. | Fractal and Fractional | Reviewer | 2019–Sekarang |
| 15. | Fire | Reviewer | 2019–Sekarang |

## H. Karya Tulis Ilmiah

| No. | Kualifikasi Penulis | Jumlah |
|---|---|---|
| 1. | Penulis Bersama Peneliti Lainnya | 84 |
| | **Total** | **84** |

| No. | Kualifikasi Bahasa | Jumlah |
|---|---|---|
| 1. | Bahasa Indonesia | 19 |
| 3. | Bahasa Inggris | 65 |
| | **Total** | **84** |

## I. Pembinaan Kader Ilmiah

### Pejabat Fungsional Peneliti

| No. | Nama | Instansi | Peran/Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Achmad Praptijanto | PRMC BRIN | Pembimbing KTI/KI/S3 | 2020–Sekarang |
| 2. | Iman Abdurrahman | PRMC BRIN | Pembimbing KTI/KI | 2020–Sekarang |

| No. | Nama | Instansi | Peran/Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|---|
| 3. | Ahmad Dimyani | PRMC BRIN | Pembimbing KTI/KI | 2020–Sekarang |
| 4. | Bambang Wahono | PRMC BRIN | Pembimbing KTI/KI/S3 | 2016–Sekarang |
| 5. | M.K.A. Wardana | PRMC BRIN | Pembimbing KTI/KI/S3 | 2016–Sekarang |

**Mahasiswa**

| No. | Nama | Universitas | Peran/Tugas | Tahun |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Mardiyono (S3) | UNDIP | Pembimbing Disertasi S-3 | 2023–Sekarang |
| 2. | Achmad Praptijanto (S3) | UNPAD | Pembimbing Disertasi S-3 | 2023–Sekarang |
| 3. | Mohamad Qayyum Mohd Tamam (S2) | Universiti Teknologi MARA | Pembimbing Tesis S-2 | 2021 |
| 4. | Anindya Triana Oktavia (S1) | ITB | Pembimbing Skripsi S-1 | 2020 |
| 5. | Alif Satrio Wicaksono (S1) | ITB | Pembimbing Skripsi S-1 | 2021 |
| 6. | Jeremia Surung Lingga | ITB | - | 2022 |

## J. Organisasi Profesi Ilmiah

| No. | Jabatan | Nama Organisasi | Tahun |
|---|---|---|---|
| 1. | Anggota | Korean Society of Automotive Engineers-KSAE | 2015–2019 |
| 2. | Anggota | Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) | 2019 |
| 3. | Anggota | Ikatan Ahli Teknik Otomotif - SAE Indonesia | 2019– sekarang |
| 4. | Anggota | Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO) | 2016–2021 |
| 5. | Anggota | Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) | 2022– sekarang |

## K. Tanda Penghargaan

| No. | Nama/Jenis Penghargaan | Pemberi Penghargaan | Tahun |
|---|---|---|---|
| 1. | Beasiswa studi jenjang Sarjana | LIPI | 2006 |
| 2. | Master Degree Scholarship | UTHM Malaysia | 2009–2011 |
| 3. | Research Grant dari Research & Innovation Centre, vot number 0625, 0361, and 0729 | UTHM Malaysia | 2009–2010 |
| 4. | Doctoral Course Scholarship | Graduate School of University of Ulsan Korea | 2015–2019 |

| No. | Nama/Jenis Penghargaan | Pemberi Penghargaan | Tahun |
|---|---|---|---|
| 5. | The Best Paper Presentation Award | International Conference on Advanced Automotive Technology (ICAT) | 2018 |
| 6. | Satya Lencana X Tahun | Presiden RI | 2015 |
| 7. | Doctoral-Scholarship Program for Research and Innovation in Science and Technology (Riset-Pro) | Ministry of Research, Technolgy and Higher Education Indonesia | 2015–2019 |

Pemanfaatan kontrol injeksi berperan penting dalam mendukung penggunaan bahan bakar alternatif guna mencapai target *net zero emission*. Perbaikan performa dan monitoring kondisi mesin berupa kontrol injeksi modern dan canggih dilengkapi dengan banyak sensor dan sistem monitoring yang memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi mesin, ruang bakar, atau komposisi bahan bakar dan udara dapat mewujudkan kendaraan dengan mesin konvensional namun ramah lingkungan yang mendukung program *net zero emission*. Hal ini penting dalam mengurangi jejak karbon transportasi dan mencapai target keseluruhan *net zero emission*.

Orasi ini berfokus pada pembahasan terkait perkembangan teknologi sistem bahan bakar khususnya pemanfaatan kontrol injeksi untuk aplikasi bahan bakar alternatif dalam mendukung program *net zero emission*. Naskah ini dibagi kedalam lima Bab dan diawali perkembangan teknologi system bahan bakar untuk efisiensi tinggi dan rendah emisi. Pada bab ke dua akan mendiskusikan tentang teknologi kontrol injeksi, peningkatan efisiensi, dan pengurangan emisi pada mesin otomotif baik perkembangan saat ini dan tantangan masa depan. Bab ke tiga membahas tentang inti dari kegiatan riset berupa implementasi kontrol injeksi pada penggunaan bahan bakar alternatif di bidang otomotif berupa kontrol injeksi mode ganda dan tunggal untuk biodiesel, kontrol injeksi untuk dimethyl ether (DME), kontrol injeksi untuk natural gas, biogas dan hidrogen. Bab keempat membahas tentang peluang dan tantangan kontrol injeksi bahan bakar alternatif untuk mendukung program *net zero emission* di Indonesia. Bab ke lima Kesimpulan dan Bab ke enam sebagai penutup.

Pendekatan yang lebih baik dalam hal ini penerapan teknologi kontrol injeksi untuk bahan bakar alternatif dimana penelitian dan ujicoba tersebut telah menunjukkan peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi dari mesin, maka hal tersebut perlu dilaksanakan sesegera mungkin di Indonesia. Kemajuan yang berkelanjutan mengharuskan kita merekrut generasi muda paling cerdas untuk terlibat dalam upaya mewujudkan masa depan mesin pembakaran dalam yang cerah, berkelanjutan dan ramah lingkungan.

BRIN Publishing
*The Legacy of Knowledge*

Diterbitkan oleh:
**Penerbit BRIN**, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
**E-mail**: penerbit@brin.go.id
**Website**: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin-others.1691