



TUGAS AKHIR - KS 184822

**OPTIMASI PERFORMA KENDARAAN JENIS
*INTERNAL COMBUSTION ENGINE, HYBRID
ELECTRIC VEHICLE* DAN *PLUG-IN HYBRID
ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN PCR-TOPSIS**

**ROSSY BUDHI PRATIWI
NRP 062117 4500 0023**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



TUGAS AKHIR - KS184822

**OPTIMASI PERFORMA KENDARAAN JENIS
*INTERNAL COMBUSTION ENGINE, HYBRID
ELECTRIC VEHICLE* DAN *PLUG-IN HYBRID
ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN PCR-TOPSIS**

**ROSSY BUDHI PRATIWI
NRP 062117 4500 0023**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



FINAL PROJECT - KS184822

**OPTIMIZATION OF INTERNAL COMBUSTION
ENGINE, HYBRID ELECTRIC VEHICLE AND PLUG-
IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE PERFORMANCES
USING TAGUCHI METHOD BASED ON PCR-
TOPSIS APPROACH**

**ROSSY BUDHI PRATIWI
NRP 062117 4500 0023**

**Supervisor
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PERFORMA KENDARAAN JENIS *INTERNAL COMBUSTION ENGINE, HYBRID ELECTRIC VEHICLE* DAN *PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN PCR-TOPSIS

TUGAS AKHIR

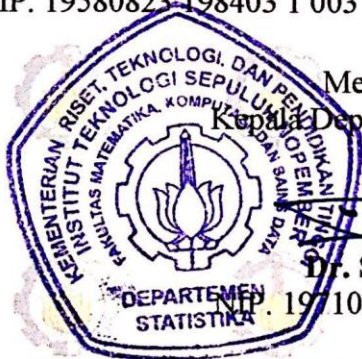
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rossy Budhi Pratiwi
NRP. 062117 4500 0023

Disetujui oleh Pembimbing:
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
NIP. 19580823 198403 1 003



Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika

Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

OPTIMASI PERFORMA KENDARAAN JENIS *INTERNAL COMBUSTION ENGINE*, *HYBRID ELECTRIC VEHICLE* DAN *PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN PCR-TOPSIS

Nama Mahasiswa : Rossy Budhi Pratiwi
NRP : 0621174500023
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

Abstrak

Kebutuhan energi nasional hingga tahun 2050 diprediksikan akan terus meningkat akibat kebutuhan energi pada sektor transportasi dan industri yang tinggi. Sumber energi yang digunakan saat ini mayoritas berasal dari energi fosil. Energi fosil merupakan sumber energi tak terbarukan sehingga lambat laun akan habis. Penurunan cadangan energi fosil tersebut menjadi salah satu faktor untuk mulai menggunakan Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Inovasi yang diberikan adalah penggunaan bahan bakar nabati (biofuel). Selain penggunaan biofuel, pengembangan teknologi pada bidang otomotif dirasa perlu untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penerapan teknologi otomotif berbasis sumber energi listrik perlu ditingkatkan untuk menggantikan peran kendaraan konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan performa kendaraan terbaik dengan kombinasi bahan bakar nabati dan pembebanan pada tiga jenis kendaraan yaitu ICE, HEV dan PHEV menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS. Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil uji performansi faktor pembebanan memiliki kontribusi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar campuran. Kemudian pada kondisi optimum didapatkan kombinasi beban 8A dan bahan bakar campuran E15 pada kendaraan jenis ICE, beban 7A dan bahan bakar campuran E20 pada kendaraan jenis HEV serta beban 8A dan bahan bakar campuran E10 pada kendaraan jenis PHEV.

Kata Kunci : PCR-TOPSIS, Performa Kendaraan, Taguchi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

OPTIMIZATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE, HYBRID ELECTRIC VEHICLE AND PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE PERFORMANCES USING TAGUCHI METHOD BASED ON PCR-TOPSIS APPROACH

Name : Rossy Budhi Pratiwi
Student Number : 062117 4500 0023
Departement : Statistics
Supervisor : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

Abstract

It is predicted that the necessity of nationwide power/energy supply until 2050 will keep on rising due to the increasing demand of energy for both transportation and industry sectors. Currently the majority of power source is exhausted from fossil-based energy. However, fossil-generated power which is known as unreplenished power source will cease to exist gradually. The depletion of this stored power source becomes one of many denominator for us to start using the New and Replenishable Energy or known as renewable energy. One of the more common substitute in this new iteration of power source is the use of biofuel. Besides that, an advancement in automotive technology deemed to be more necessary than previously in order to further the biofuel application. An assimilation of electric-based technology for automotive is also needed in preparation to replace a more conventional vehicles. For this reason, the research is conducted to find the best vehicle performance based on biofuel in comparison to the application of weight for three vehicle variation which is ICE, HEV and PHEV by using Taguchi method in combination with PCR-TOPSIS approach. The result shows that weighted test contributes in a bigger value than the one using an alternative fuel variation. Based on the research conducted in an optimized condition, the weight test has a value of 8A while the one using mixed fuel components has a value of E15 for ICE vehicle, then another 7A compared to E20 for HEV, and lastly the value of 8A compared to E10 for PHEV.

Keywords : PCR-TOPSIS, Taguchi, Vehicle Performances

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat, hidayah dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Optimasi Performa Kendaraan Jenis *Internal Combustion Engine, Hybrid Electric Vehicle* dan *Plug-In Hybrid Engine Vehicle* Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan PCR-TOPSIS”**. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S dan Novri Suhermi, S.Si., M.Sc, selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, masukan, serta saran dalam membimbing penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika telah memberikan fasilitas untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Dr. Santi Wulan Purnami selaku Ketua Program Studi Sarjana Statistika yang telah membantu dan memberikan informasi untuk kelancaran Tugas Akhir ini.
4. Dr. M. Mashuri., M.T dan Wibawati, S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini..
5. Seluruh civitas akademika Departemen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat dan memfasilitasi selama penulis menempuh masa perkuliahan.
6. Alm. Bapak Slamet Budiarto, Ibu Sri Utami, Mas Senja Budhi Kusuma dan Mbak Rinda Nariswari yang selalu memberikan doa dan motivasi.
7. Bayu Adhi Saputro dan rekan-rekan Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin yang telah membantu penulis dalam melaksanakan kegiatan eksperimen.
8. Sahabat selama kuliah Ilma Tamarina A, Rizki Febriasto, Affanda Abdul H dan Rahmat Dwi A atas tempat berbagi

selama masa perkuliahan hingga memacu semangat untuk Wisuda 120.

9. Teman-teman Lintas Jalur angkatan 2017 Departemen Statistika ITS yang telah bekerja sama dan memberikan dukungan mulai awal perkuliahan yang telah memberikan pengalaman dan kenangan yang berharga bagi penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam proses dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dengan selesainya laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penelitian Tugas Akhir ini belum sempurna sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Metode Taguchi	7
2.1.1 <i>Orthogonal Array</i>	8
2.2.2 <i>Signal to Noise Ratio</i>	8
2.2 PCR-TOPSIS	9
2.2.1 <i>Process Capability Ratio (PCR)</i>	10
2.2.2 <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>	11
2.3 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	12
2.4 Persentase Kontribusi	14
2.5 Dynotest	15
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	17
3.2 Variabel Penelitian	17
3.3 Rancangan Percobaan	18
3.4 Langkah Analisis	20
3.4 Diagram Alir	21

	Halaman
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Data	23
4.2 Taguchi-PCR TOPSIS.....	31
4.3 Pengujian Signifikansi Faktor	35
4.4 Penentuan Kombinasi Level Faktor Optimum dan Besarnya Kontribusi Faktor	38
4.5 Estimasi Performa Kendaraan pada Kondisi Optimum	48
4.5.1 Estimasi Torsi pada Kondisi Optimum	48
4.5.2 Estimasi Daya pada Kondisi Optimum	50
4.5.3 Estimasi SFC pada Kondisi Optimum	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 ANOVA.....	13
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	17
Tabel 3.2 Level Faktor.....	18
Tabel 3.3 Orthogonal Array L_{25}	18
Tabel 4.1 PCR-TOPSIS	34
Tabel 4.2 ANOVA pada Kendaraan Jenis ICE	36
Tabel 4.3 ANOVA pada Kendaraan Jenis HEV	37
Tabel 4.4 ANOVA pada Kendaraan Jenis PHEV	38
Tabel 4.5 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan ICE	40
Tabel 4.6 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan HEV	43
Tabel 4.7 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan PHEV	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Pengambilan Data.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir	21
Gambar 4.1 Torsi ICE terhadap Variasi Pembebanan	23
Gambar 4.2 Daya ICE terhadap Variasi Pembebanan	24
Gambar 4.3 SFC ICE terhadap Variasi Pembebanan	25
Gambar 4.4 Torsi HEV terhadap Variasi Pembebanan	26
Gambar 4.5 Daya HEV terhadap Variasi Pembebanan	27
Gambar 4.6 SFC HEV terhadap Variasi Pembebanan	28
Gambar 4.7 Torsi PHEV terhadap Variasi Pembebanan.....	29
Gambar 4.8 Daya PHEV terhadap Variasi Pembebanan.....	29
Gambar 4.9 SFC PHEV terhadap Variasi Pembebanan	30
Gambar 4.10 Plot Pengaruh Utama Kendaraan ICE	39
Gambar 4.11 Plot Pengaruh Utama Kendaraan HEV.....	42
Gambar 4.12 Plot Pengaruh Utama Kendaraan PHEV	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Orthogonal Array</i>	59
Lampiran 2. <i>Signal to Noise Ratio</i>	60
Lampiran 3. <i>PCR S/N Ratio</i>	61
Lampiran 4. Jarak Ideal Positif dan Negatif.....	62
Lampiran 5. ANOVA ICE.....	63
Lampiran 6. ANOVA HEV	65
Lampiran 7. ANOVA PHEV.....	67
Lampiran 8. Surat Pernyataan Sumber Data	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara. Berdasarkan *BTTP-OEI 2018* menunjukkan bahwa kebutuhan energi nasional hingga tahun 2050 diprediksikan akan terus mengalami peningkatan sesuai dengan pertumbuhan dalam ekonomi, penduduk, harga energi serta kebijakan pemerintah. Seperti yang diketahui bahwa energi yang digunakan saat ini didominasi oleh energi fosil. Energi fosil adalah energi tak terbarukan sehingga lambat laun akan habis. Hal tersebut dikarenakan pasokan energi fosil dipenuhi dari sumber daya alam nasional yang jumlahnya kian terbatas selain itu juga berasal dari impor. Guna menjaga keseimbangan pasokan energi, salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan peran Energi Baru dan Terbarukan (EBT).

Penggunaan EBT telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menargetkan pada tahun 2025 mencapai 23% dan pada tahun 2050 mencapai 31%. Bioenergi merupakan contoh penerapan EBT yang memiliki potensi untuk dikembangkan karena ketersediaan bahan baku dan lahan yang cukup melimpah. Berdasarkan sumber energinya bioenergi terbagi atas 2 jenis yaitu bioenergi generasi pertama dan bioenergi generasi kedua dimana generasi pertama bersumber dari bahan baku pangan sedangkan generasi kedua bersumber dari bahan baku non pangan. Penggunaan bioenergi generasi kedua lebih dianjurkan karena penggunaan bioenergi generasi pertama akan menimbulkan berkurangnya ketersediaan bahan baku pangan. Salah satu bentuk bioenergi generasi kedua yaitu *mo-lase* tebu sebagai bahan baku bioetanol.

Bioetanol merupakan etanol hasil fermentasi dari pati dan sukrosa yang berasal dari tanaman jagung dan tebu (Ceballos, 2018). Secara kimiawi, etanol termasuk dalam rantai tunggal,

dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Bioetanol sering disingkat menjadi EtOH, dimana “Et” merupakan singkatan dari gugus etil (C_2H_5). Bioetanol dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin. Jenis bioetanol yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin yaitu *fuel grade etanol* dengan kadar 99,5%. Selain sebagai bahan bakar campuran, bioethanol juga memiliki keunggulan yaitu ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi emisi gas buang. Terlepas dari manfaat lingkungan, bioethanol sebagai contoh aplikasi EBT memiliki potensi untuk menjaga ketahanan energi dan stabilitas ekonomi dikarenakan akan berkurangnya ketergantungan impor bahan bakar fosil yang mahal, fluktuatif dan semakin terbatas. Penelitian mengenai bioethanol sebagai campuran bahan bakar bensin di-lakukan oleh Winarno (2011) mengenai pengaruh penambahan bioethanol pada bahan bakar pertamax untuk unjuk kerja motor bensin. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa torsi dan daya terbesar pada perputaran rendah hingga sedang diperoleh pada bahan bakar campuran dengan prosentase bioethanol sebesar 20%, sedangkan pada perputaran yang tinggi (>7000 rpm), torsi dan daya yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan seiring dengan kenaikan prosentase bioethanol. Penurunan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) terbesar diperoleh dari bahan bakar campuran bioethanol 20%. Lalu penelitian oleh Winanda dan Sudarmanta (2016) mengenai pengaruh pemakaian campuran bahan bakar premium dan bioethanol pada kendaraan Toyota Vios menunjukkan hasil bahwa kenaikan tinggi torsi rata-rata sebesar 4,2% pada E10, daya rata-rata tertinggi pada E10 dengan kenaikan 2,96% dibandingkan dengan bensin murni. Penurunan SFC tertinggi terjadi pada campuran E10 dan emisi gas CO (karbon monoksida) terendah didapatkan oleh campuran E10 dan E15 sedangkan pada emisi gas HC (hidro karbon) terendah didapatkan pada campuran E10. Pemakaian bahan bakar E5, E10 dan E15 menghasilkan pengotoran yang relatif lebih tipis dibandingkan dengan bahan bakar premium. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peng-

gunaan bioethanol menghasilkan kesimpulan yang lebih baik, oleh karena itu perlu adanya pengembangan teknologi otomotif yang adaptif terhadap perkembangan bahan bakar campuran bioenergi.

Penerapan teknologi terbaru dan peningkatan penggunaan energi yang efisien merupakan solusi untuk mengurangi ketergantungan penggunaan energi fosil. Salah satu sektor yang mendominasi penggunaan energi adalah sektor transportasi. Peristiwa tersebut apabila tidak terdapat perubahan pola pemakaian energi maka keberlangsungan dan ketahanan energi akan terganggu. Transportasi berkelanjutan merupakan solusi alternatif yang diusulkan oleh Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM). Transportasi berkelanjutan diharapkan mampu mendorong penggunaan moda transportasi yang ramah lingkungan atau biasa disebut *Low Carbon Emission Vehicle* (LCEV). Kendaraan LCEV bukan hanya kendaraan bertenaga listrik saja, namun juga diantaranya terdapat jenis *hybrid*, *plug-in hybrid*, dan *hydrogen*. Kurangnya infrastruktur yang mendukung kendaraan LCEV maka lebih tepat digunakan di Indonesia sementara ini adalah kendaraan dengan jenis *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dan *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV). Menurut Rencana Umum Energi Nasional, pemerintah akan mengembangkan kendaraan bertenaga listrik / hybrid pada tahun 2025 sebesar 2200 unit kendaraan roda 4 dan 2,1 juta unit kendaraan roda 2. Perbedaan keduanya adalah pada jenis HEV tidak terdapat *port charging* yang bisa digunakan untuk mengisi daya baterai dari sumber eksternal, sehingga proses pengisian baterai berasal dari gaya regeneratif yang dihasilkan oleh deselerasi putaran roda kendaraan. Bioenergi dan kendaraan berbasis listrik/hybrid merupakan paduan inovasi yang dapat membantu dalam mengurangi penggunaan BBM dan juga kendaraan ramah lingkungan. Sehingga apabila keduanya dipadukan maka akan menjadi salah satu solusi untuk melakukan perubahan pola konsumsi energi.

Dalam bidang industri, statistika digunakan dalam hal pengambilan keputusan dalam suatu masalah, salah satunya dalam bidang optimasi untuk memilih hasil yang paling baik. Metode optimasi digunakan untuk menentukan kombinasi penggunaan sumber daya yang terbatas agar dicapai keuntungan yang optimum. Metode optimasi diterapkan untuk pengembangan produk, dis-tribusi, produksi, pemasaran, sumber daya manusia dan optimasi sumber daya industri lainnya (Djami & Sunaryo, 2014). Metode statistika yang diterapkan dalam optimasi salah satunya adalah Taguchi (Balavendram, 1995). Taguchi menggunakan perancangan eksperimen sebagai alat untuk membuat produk lebih *robust*, yakni produk menjadi tidak terpengaruh oleh faktor *noise*. Penggunaan metode Taguchi dalam desain eksperimen berdasar-kan pada *Orthogonal Array* (OA) untuk mendapatkan jumlah maksimum informasi dengan percobaan yang minimal. OA adalah suatu matriks yang elemen-elemennya tersusun atas baris dan kolom, dimana baris merupakan kombinasi level dan faktor dalam eksperimen, sedangkan pada kolom merupakan hasil dari eksperimennya. Hasil eksperimen yang memiliki multirespon dapat dianalisis menggunakan optimasi Taguchi multirespon yang di-kombinasikan dengan TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yang kemudian dikembangkan menjadi PCR-TOPSIS (*Process Capability Ratio*) dan TOPSIS (Tong & Su, 1997). Penelitian sebelumnya yang telah meng-gunakan PCR-TOPSIS dilakukan oleh Oktaviasari dan Mashuri (2016) untuk mengoptimasi parameter *jar test* menghasilkan kesimpulan bahwa parameter proses *jar test* yang telah memberikan pengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH air adalah dosis koagulan, lama waktu pengadukan cepat dan pengadukan lambat dengan persentase kontribusi sebesar 62%, 10,39% dan 16,03%. Kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level dosis koagulan 110 ppm, dengan pengadukan cepat dilakukan selama 120 detik dan pengadukan lambat dilakukan dengan kecepatan 40 rpm. Faktor pengadukan cepat dan lama waktu pengadukan lambat tidak

memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon dan hasil estimasi rata-rata kualitas pada kondisi tersebut dapat memenuhi standar PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Selain itu juga dilakukan oleh Kusumawardani, Mustafid dan Yasin (2015) mengenai optimasi parameter teknik pengelasan *flux cored arc welding (FCAW)* menunjukkan bahwa kombinasi optimal pada pengelasan FCAW yaitu faktor *welding current* pada level 280 A, dan Electrode stickout pada level 21mm. Nilai optimum untuk respon lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi awal sehingga memenuhi karakteristik *larger is better*.

Penelitian sebelumnya menunjukkan metode PCR-TOPSIS Taguchi dapat menghasilkan solusi terbaik dan menyelesaikan kasus multi-respon dengan baik. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan optimasi pada performa kendaraan masing-masing jenis dengan kombinasi bahan bakar campuran dan pembebanan menggunakan PCR-TOPSIS.

1.2 Rumusan Masalah

Performa kendaraan merupakan hal penting sehingga semakin baik performa kendaraan maka akan meningkatkan nilai jualnya. Dengan adanya perkembangan teknologi otomotif basis listrik/hybrid serta inovasi bahan bakar nabati maka perlu untuk dilakukan penelitian dalam penerapan bahan bakar nabati dalam kendaraan berbasis listrik/hybrid untuk mengetahui performa terbaiknya. Oleh karena itu rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana kombinasi faktor dan level yang optimum untuk menghasilkan performa yang terbaik dari penerapan bahan bakar nabati dan pembebanan menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS. Dimana performa kendaraan dapat diukur dalam berbagai variabel diantaranya torsi, daya dan *specific fuel consumption (SFC)*. Selain itu juga ingin diketahui kontribusi faktor dari penggunaan bahan bakar nabati dan pembebanan terhadap performa dari masing-masing kendaraan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mendapatkan kombinasi level faktor yang optimum serta mengetahui besaran kontribusi faktor-faktor yang mempengaruhi performa dari masing-masing jenis kendaraan yaitu bahan bakar, pembebanan agar didapatkan torsi, daya dan SFC sesuai karakteristik kualitas-nya.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk perusahaan manufaktur kendaraan, pengembangan energi dan pemerintah untuk pengaplikasian penggunaan bioenergi dalam kendaraan baik kendaraan konvensional maupun *hybrid* dan *plug-in hybrid*. Serta dapat digunakan sebagai bahan referensi pada penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang optimasi parameter pada performa kendaraan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini agar mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah data penelitian di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi (PSE) Departemen Teknik Mesin ITS.
2. Bahan bakar *bioethanol* yang digunakan adalah jenis *fuel grade* 99,5% dicampurkan pada bahan bakar pertamax turbo.
3. Faktor yang tidak diteliti dianggap selalu konstan dan tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil penelitian.
4. Tidak terdapat interaksi antara variabel kontrol.
5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *chassis dynamometer* di *workshop* Laboratorium PSE dengan alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru di bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses sekaligus menekan biaya dan sumber daya (Soejanto, 2009). Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*) seperti : material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat kokoh (*robust*) terhadap faktor-faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu metode Taguchi juga disebut perancangan kokoh (*robust design*). Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep utama, yaitu :

1. Kualitas harus didesign ke dalam produk, sehingga tidak hanya cukup dengan memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sedemikian rupa hingga *robust* terhadap faktor lingkungan.
3. Kualitas harus diukur sebagai fungsi dari deviasi standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan desain eksperimen yang dapat merancang suatu produk dan proses yang kokoh terhadap kondisi lingkungan, mengembangkan kualitas produk yang kokoh terhadap variasi komponen, dan meminimalkan variasi di sekitar target. Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya (Soejanto, 2009) diantaranya :

1. Metode Taguchi lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Metode Taguchi dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.

3. Metode Taguchi dapat menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

2.1.1 Orthogonal Array

Orthogonal Array digunakan untuk menganalisis data eksperimen dan merancang eksperimen yang efisien. Sehingga dapat ditentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi taraf atau level dari variabel-variabel input untuk masing-masing eksperimen. Pemilihan jenis *orthogonal array* yang digunakan pada eksperimen tergantung pada derajat bebas total. Penentuan derajat bebas total berdasar atas 3 hal yaitu banyaknya variabel proses, faktor interaksi dan jumlah taraf atau level yang diamati. Notasi untuk *orthogonal array* sebagai berikut.

$$L_n(l^f) \quad (2.1)$$

Keterangan :

- L : notasi rancangan bujur sangkar latin
- n : jumlah percobaan
- l : jumlah level
- f : jumlah faktor

2.1.2 Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio atau biasa disebut *S/N Ratio* merupakan komponen penting dari desain parameter. *Noise* (gangguan) dapat menunjukkan kondisi lingkungan (*outer noise*), kerusakan internal (*inner noise*), atau variasi dari dari unit ke unit (*between product noise*). Relevansi persamaan *S/N Ratio* terkait dengan menafsirkan sinyal dari pembilang rasio sebagai kemampuan proses untuk membentuk produk yang baik. Dengan menerapkan konsep eksperimen ini, maka dapat ditentukan pengaturan faktor kontrol yang dapat menghasilkan performa terbaik dalam proses atau produk dan meminimalisir pengaruh faktor yang tidak dapat

dikendalikan. Dalam langkah analisis ini, S/N *Ratio* dihitung dengan tiga rumus pada Persamaan (2.2), (2.3), dan (2.4).

1. Untuk karakteristik respon *smaller-the-better*

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i)^2 \right) \quad (2.2)$$

2. Untuk karakteristik respon *larger-the-better*

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \frac{1}{(y_{jk}^i)^2} \right), 0 \leq y_{jk}^i \leq \infty \quad (2.3)$$

3. Untuk karakteristik respon *nominal-is-the-best*

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left(\frac{(\bar{y}_j^i)^2}{(S_j^i)^2} \right), 0 \leq y_{jk}^i < \infty \quad (2.4)$$

Keterangan :

η_j^i : S/N *Ratio* respon ke- j pada percobaan ke- i , $i=1,2,3,\dots,m$
dan $j=1,2,3,\dots,n$

y_{jk}^i : data yang diamati untuk respon ke- j pada percobaan ke- i
dan pengulangan ke k

\bar{y}_j^i : rata-rata data respon ke- j percobaan ke- i

$(S_j^i)^2$: variasi data yang diamati untuk respon ke- j percobaan ke- i .

2.2 PCR-TOPSIS

Djami dan Sunaryo (2014) menjelaskan bahwa metode PCR-TOPSIS berdasar pada ratio kemampuan proses (PCR) dan *technique for order preference by similiraty to ideal solution* (TOPSIS) yang menggunakan prinsip bahwa alternatif terpilih harus memiliki jarak terdekat pada solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak *euclidean* (jarak antar 2 titik) untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal. Sehingga hal tersebut dapat membantuk mengetahui kondisi optimum dalam level faktor pada masalah multirespon.

2.2.1 Process Capability Ratio (PCR)

PCR sudah banyak diterapkan pada bidang industri manufaktur khususnya pada bagian quality control. PCR bertujuan untuk menentukan apakah proses kapabilitas yang ada dapat menghasilkan produk yang baik sesuai dengan spesifikasi design yang telah ditentukan. Proses kapabilitas dikatakan baik jika nilainya berada diantara batas spesifikasi atas dan bawah. Hal ini berarti kemampuan proses berada pada $\pm 3s$, sehingga rentang nilai sebesar $6s$ (Liao, 2003).

$$PCR = \frac{\text{design limits}}{\text{process capability}} = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (2.5)$$

Keterangan :

USL : batas spesifikasi atas

LSL : batas spesifikasi bawah

s : standar deviasi sampel

Dari hasil perhitungan PCR maka dapat melihat bahwa jika $PCR > 1$ maka proses yang dilakukan baik (*Capable*), $PCR = 1$ maka proses sesuai dengan spesifikasi konsumen, $PCR < 1$ maka proses yang dilakukan tidak baik (*Not Capable*). Jika $PCR < 1$ maka proses menghasilkan produk atau jasa berada diluar toleransi yang diperbolehkan. Semakin tinggi rasio kemampuan proses, semakin besar kecenderungan proses berada dalam spesifikasi yang diinginkan. Banyak perusahaan telah memilih $PCR = 1,33$ sebagai target untuk mengurangi variabel proses. PCR berkaitan dengan penyebaran output proses relatif terhadap toleransinya, PCR tidak melihat seberapa baik rata-rata sebuah proses berada ditengah nilai target.

Pada pendekatan PCR-TOPSIS nilai S/N Ratio dari respon ke- j pada percobaan ke- i dapat dimisalkan C_j^i (PCR-SNR dalam respon ke- j untuk percobaan ke- i) dengan perhitungan seperti pada Persamaan (2.6) (Djami & Sunaryo, 2014).

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \quad (2.6)$$

$$\bar{x}_{\eta_j} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m-1} \quad (2.7)$$

$$s_{\eta_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m-1}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

\bar{x}_{η_j} : rata-rata sampel untuk SNR pada respon ke- j

s_{η_j} : standart deviasi sampel untuk SNR dalam respon ke- j

2.2.2 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Pengambilan keputusan dari suatu masalah untuk proses multikriteria disebut juga *Multiple Attribute Decision Making* (MADM). Guna mengatasi masalah MADM Yoon dan Hwang mengembangkan metode TOPSIS. Dengan TOPSIS, alternatif yang terpilih memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan terjauh dari solusi ideal negatif. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dicapai pada setiap atribut. Sedangkan solusi ideal negatif terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai pada setiap atribut. Berdasarkan perbandingan terhadap jarak relatifnya, susunan prioritas alternatif dapat dicapai. Metode TOPSIS banyak digunakan untuk menyelesaikan keputusan secara praktis karena konsepnya sederhana, mudah dipahami, komputasinya efisien, dan memiliki kemampuan mengukur kinerja relatif dari alternatif-alternatif keputusan. Kelebihan lain dari metode TOPSIS adalah dapat diketahui urutan optimasi dari berbagai alternatif percobaan yang ada. Jika dalam pemilihan eksperimen diinginkan secara objektif maka pembobotan merupakan salah satu kriteria terpenting yang harus dilakukan secara *unbiased* sebelum menerapkan prosedur optimasi bersama. TOPSIS dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Djami & Sunaryo, 2014).

$$s^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \quad (2.9)$$

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^+)^2} \quad (2.10)$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^-)^2} \quad (2.11)$$

Keterangan :

d^{i+} : jarak percobaan ke- i dari solusi ideal positif, $i=1,2,\dots,m$

d^{i-} : jarak percobaan ke- i dari solusi ideal negative, $i=1,2,\dots,m$

C_j^+ : $\max \{C_j^i, \text{ untuk } i=1,2,\dots,m\}, \forall C_j^i (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$

C_j^- : $\min \{C_j^i, \text{ untuk } i=1,2,\dots,m\}, \forall C_j^i (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$

2.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi setiap faktor pada semua pengukuran respon. ANOVA pada parameter desain berguna membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Tujuan dari ANOVA adalah untuk mengetahui hasil seberapa besar variasi dari setiap faktor atau interaksi yang memengaruhi variasi total dari hasil yang diamati. Variasi total diuraikan menjadi beberapa komponen. Dalam kasus yang paling sederhana, variasi total diuraikan menjadi 2 komponen yaitu variasi dari rata-rata (mean) dan variasi dari data individu disekitar rata-ratanya atau *experimental error (e)*. Tabel ANOVA dapat disusun seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 ANOVA

Source of Variance	Sum of Square	Degrees of freedom	Mean Square	F-Hitung
A	SS _A	df _A	MS _A	F _A hitung
B	SS _B	df _B	MS _B	F _B hitung
Error	SS _e	df _e	MS _e	
Total	SS _T	df _T		

$$SS_A = \left[\sum_{l=1}^{k_A} \left(\frac{A_l^2}{n_{A_l}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.12)$$

$$SS_B = \left[\sum_{l=1}^{k_B} \left(\frac{B_l^2}{n_{B_l}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.13)$$

$$SS_T = \left[\sum_{j=1}^N y_j^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.14)$$

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B \quad (2.15)$$

Keterangan :

A_l : Faktor A level l , $l=1,2,3,4,5$

B_l : Faktor B level l , $l=1,2,3,4,5$

T^2 : Kuadrat jumlah keseluruhan respon pada level 1,2 dan 3

N : Jumlah total percobaan

n : Jumlah total pengamatan pada faktor tertentu

df_A : derajat bebas faktor A (a-1)

df_B : derajat bebas faktor B (b-1)

df_T : derajat bebas total yaitu $(N-1)-(a-1)-(b-1)$

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variasi eror. Variansi eror adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah sebagai berikut.

Model eksperimen seperti pada Persamaan (2.16).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad (2.16)$$

Hipotesis :

1. Untuk taraf faktor A
 $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$
2. Untuk taraf faktor B
 $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0$

Gagal tolak H_0 mengindikasikan tidak adanya pengaruh sedangkan tolak H_0 mengindikasikan adanya pengaruh faktor A dan B terhadap respon. Gagal tolak H_0 didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan seperti pada Persamaan (2.17) dan (2.18).

$$F_{\text{hitung A}} = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (2.17)$$

$$F_{\text{hitung B}} = \frac{MS_B}{MS_e} \quad (2.18)$$

Tolak H_0 jika,

Taraf Faktor A maka $F_{\text{hitung A}} > F_{\alpha, df_A, df_e}$

Taraf Faktor B maka $F_{\text{hitung B}} > F_{\alpha, df_B, df_e}$

Hasil estimasi pada kondisi optimum dapat diperkirakan dari faktor-faktor yang signifikan. Estimasi hasil pada kondisi optimum dengan faktor A dan B yang signifikan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19).

$$\bar{Y}_{\text{optimum}} = \bar{Y} + (\bar{A}_{\alpha \text{ opt}} - \bar{Y}) + (\bar{B}_{b \text{ opt}} - \bar{Y}) \quad (2.19)$$

Dimana \bar{Y} adalah rata-rata dari observasi, $\bar{A}_{\alpha \text{ opt}}$ merupakan rata-rata respon faktor A pada level a yang optimum dan $\bar{B}_{b \text{ opt}}$ merupakan rata-rata respon faktor B pada level b yang optimum.

2.4 Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persentase kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persentase kontribusi adalah faktor, dan *error*. Persentase kontribusi suatu faktor A (ρ_A) dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.20) (Ross,1996).

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (2.20)$$

$$SS'_A = SS_A - (df_A \times MS_e) \quad (2.21)$$

Keterangan :

SS_A : jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

SS_T : jumlah kuadrat total

df_A : derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

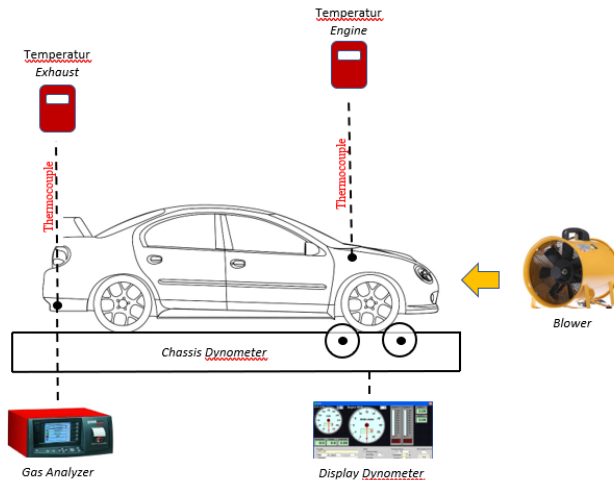
MS_e : rata-rata kuadrat dari faktor *error*

Jika persentase kontribusi *error* kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semua-nya. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar

2.5 Dynotest

Dynotest adalah metode pengujian performa kendaraan yang diujikan pada alat bernama dynamometer. Dynamometer berkerja menggunakan prinsip *eddy current* dimana *eddy current* membentuk medan magnet sebagai penghambat atau pembeban. Medan magnet terbentuk dari lilitan-lilitan yang ada pada *eddy current*. *Dynotest* sendiri terbagi menjadi 2 jenis yaitu *engine dyno* dan *chassis dyno*. Pada *engine dyno*, *eddy current* tersambung satu

poros dengan poros engkol mesin. Sedangkan pada *chassis dyno*, *eddy current* tersambung satu poros dengan *roller*. *Roller* akan bersinggungan dengan roda kendaraan uji. Sehingga ketika roda kendaraan uji berputar maka *roller* juga akan ikut berputar.



Gambar 2.1 Skema Pengambilan Data

Pengujian dilakukan secara ekperimental pada kendaraan Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle (PHEV), Hybrid Electric Vehicle (HEV) dan Internal combustion engine (ICE) menggunakan rancangan acak lengkap. Plug In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) dan Hybrid Electric Vehicle (HEV) dalam mode *full-engine*. Pengujian dilakukan pada kendaraan sebagai alat uji dengan menggunakan *dynamometer* dengan metode *chassys dyno* dan pengujian uji jalan dengan variasi bahan bakar tertentu. Variasi bahan bakar yang digunakan adalah dengan cara menambahkan bioethanol *fuel grade* 99,5 % pada bahan bakar pertamax turbo dengan variasi E0, E5, E10, E15, dan E20 pada kendaraan uji kondisi *full throttle*. Pengujian dilakukan di Workshop Laborato-rium Pembakaran dan Sistem Energi Gedung Teknik Mesin ITS.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Sumber data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian mahasiswa departemen Teknik Mesin ITS di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi. Data diuji tanpa adanya pengulangan karena mempertimbangkan waktu dan biaya penelitian. Terdapat 3 respon yang digunakan yaitu torsi, daya dan SFC. Sedangkan faktor kontrol yang digunakan ada 2, diantaranya bahan bakar campuran pertamax turbo dengan bioethanol dan pembebanan semua kombinasi diujikan pada 3 jenis kendaraan diantaranya ICE, HEV dan PHEV.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2, yaitu variabel respon dan variabel kontrol. Tabel 3.1 menunjukkan variabel yang digunakan dalam penelitian.

Tabel. 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan
Y_1	Torsi	Nm
Y_2	Daya	kW
Y_3	<i>Specific Fuel Consumption</i>	(kg/Kwh)
X_1	Bahan Bakar Campuran	liter
X_2	Pembebanan	Ampere

Variabel respon yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Torsi (Y_1)

Torsi didefinisikan sebagai besar momen putar yang terjadi pada output mesin akibat adanya pembebanan dengan sejumlah massa (kg) (Heywood,1998). Pada penelitian ini, gaya tekan diukur dengan menggunakan *dynamometer*. Nilai yang diharapkan pada variabel ini adalah *larger-the-better*.

2. Daya (Y_2)

Daya didefinisikan sebagai besar tenaga didefinisikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satu satuan

waktu (Heywood, 1988). Pada penelitian ini, gaya tekan diukur dengan menggunakan *dynamometer*. Nilai yang diharapkan pada variabel ini adalah *larger-the-better*.

3. *Specific Fuel Consumption* (Y_3)

SFC adalah jumlah massa bahan bakar yang dikonsumsi per 1 Kwh (Heywood,1998). Nilai yang diharapkan pada variabel ini adalah *smaller-the-better*.

3.3 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 2 faktor dengan masing-masing memiliki level yang berbeda. Pada faktor bahan bakar campuran terdapat 5 level dan faktor pembebanan terdapat 5 level. Tabel 3.2 merupakan penjabaran dari variabel kontrol.

Tabel. 3.2 Level Faktor

Jenis Kendaraan	Faktor Kontrol	Level
<i>Internal Combustion Engine</i> (ICE)	Pembebanan (A)	A ₁ : 2A A ₂ : 4A A ₃ : 6A A ₄ : 8A A ₅ : 10A
	Bahan Bakar Campuran (B)	B ₁ : 100% Pertamina Turbo (E0) B ₂ : 95% Pertamina Turbo dengan 5% bioethanol (E5) B ₃ : 90% Pertamina Turbo dengan 10% bioethanol (E10) B ₄ : 85% Pertamina Turbo dengan 15% bioethanol (E15) B ₅ : 80% Pertamina Turbo dengan 20% bioethanol (E20)
<i>Hybrid Engine Vehicle</i> (HEV)	Pembebanan (A)	A ₁ : 4A A ₂ : 5A A ₃ : 6A A ₄ : 7A A ₅ : 8A

Tabel. 3.2 Level Faktor (Lanjutan)

Jenis Kendaraan	Faktor Kontrol	Level
<i>Hybrid Engine Vehicle</i> (HEV)	Bahan Bakar Campuran (B)	B ₁ : 100% Pertamina Turbo (E0) B ₂ : 95% Pertamina Turbo dengan 5% bioethanol (E5) B ₃ : 90% Pertamina Turbo dengan 10% bioethanol (E10) B ₄ : 85% Pertamina Turbo dengan 15% bioethanol (E15) B ₅ : 80% Pertamina Turbo dengan 20% bioethanol (E20)
<i>Plug-In Hybrid Engine Vehicle</i> (PHEV)	Pembebanan (A)	A ₁ : 4A A ₂ : 5A A ₃ : 6A A ₄ : 7A A ₅ : 8A
	Bahan Bakar Campuran (B)	B ₁ : 100% Pertamina Turbo (E0) B ₂ : 95% Pertamina Turbo dengan 5% bioethanol (E5) B ₃ : 90% Pertamina Turbo dengan 10% bioethanol (E10) B ₄ : 85% Pertamina Turbo dengan 15% bioethanol (E15) B ₅ : 80% Pertamina Turbo dengan 20% bioethanol (E20)

Faktor konstan adalah faktor yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai konstan dijaga agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Sehingga rancangan *orthogonal array* yang dipilih dengan jumlah percobaan sebanyak 25 percobaan dengan jumlah faktor yang digunakan adalah 2. *Orthogonal array* pada percobaan merujuk pada Persamaan (2.1) adalah $L_{25}(5^2)$. Berdasarkan Tabel 3.2 maka struktur data berdasarkan variabel-variabel tersebut tertera pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 *Orthogonal Array* L_{25}

Percobaan ke-	Beban (A)	Bahan Bakar Campuran (B)
1	1	1
2	1	2

Tabel 3.3 *Orthogonal Array* L₂₅ (Lanjutan)

Percobaan ke-	Beban (A)	Bahan Bakar Campuran (B)
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	2	1
7	2	2
8	2	3
9	2	4
10	2	5
11	3	1
12	3	2
13	3	3
14	3	4
15	3	5
16	4	1
17	4	2
18	4	3
19	4	4
20	4	5
21	5	1
22	5	2
23	5	3
24	5	4
25	5	5

3.4 Langkah Analisis

Tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

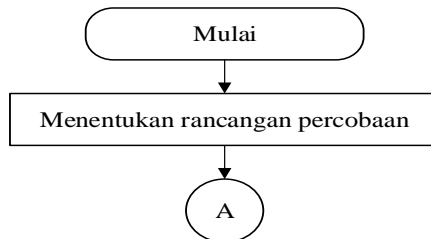
1. Menentukan *Orthogonal Array* dan rancangan percobaan
2. Melakukan transformasi masing-masing respon ke dalam *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang sesuai karakteristik data yang digunakan sesuai dengan persamaan (2.2) dan (2.3).
3. Menghitung PCR berdasarkan SNR dari setiap variabel respon. Dengan menghitung rata-rata sampel dan variasi masing-masing respon terlebih dahulu lalu menggunakan

Persamaan (2.6) maka akan didapatkan nilai PCR-SNR masing-masing respon.

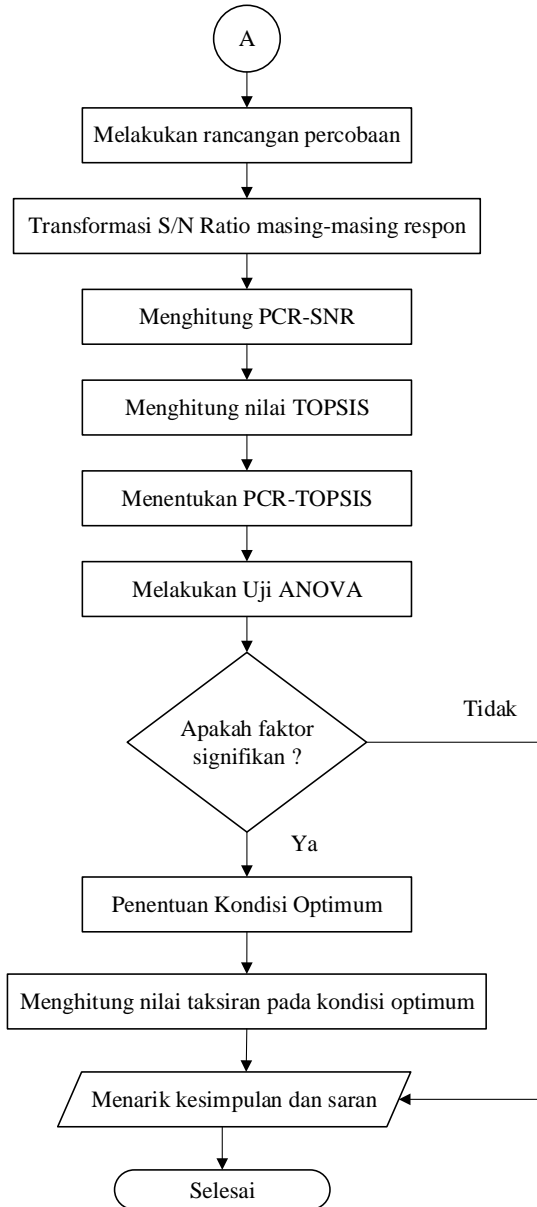
4. Mendapatkan nilai TOPSIS dari hasil PCR-SNR. Sehingga diperoleh alternatif yang memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif (d^+) dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif (d^-) sesuai dengan Persamaan (2.10) dan (2.11).
5. Menghitung PCR-TOPSIS menggunakan Persamaan (2.9).
6. Membuat ANOVA hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon secara serentak serta menghitung persentase kontribusi masing-masing faktor dan persentase kontribusi error.
7. Membuat *main effect plot* dari hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak serta menghitung nilai mean setiap level. Sehingga pada langkah ini dapat diketahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon pada masing-masing variabel kontrol.
8. Menghitung nilai taksiran pada kondisi optimum setiap dengan menggunakan rancangan level optimum yang telah diperoleh pada langkah sebelumnya.
9. Membuat kesimpulan dan saran.

3.5 Diagram Alir

Berdasarkan langkah analisis data, diagram alir dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir



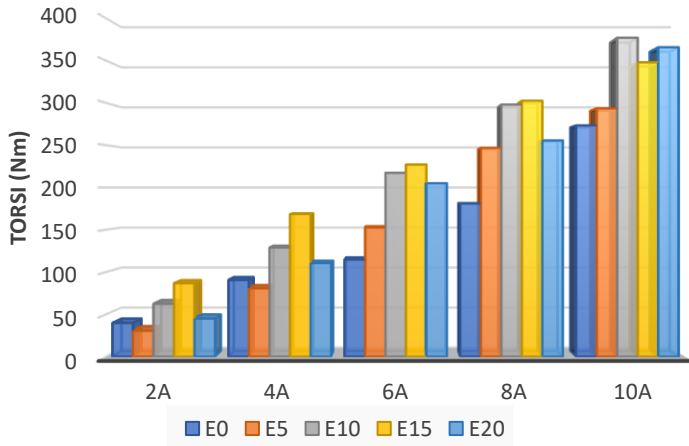
Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab analisis dan pembahasan ini akan membahas mengenai hasil percobaan pada tiga jenis kendaraan yaitu *Internal Combustion Engine (ICE)*, *Hybrid Electric Vehicle (HEV)* dan *Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)* untuk mengetahui hasil yang optimal pada performa kendaraan berdasarkan nilai torsi, daya dan *specific fuel consumption (SFC)* yang diduga dipengaruhi oleh pembebanan dan variasi bahan bakar campuran menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS

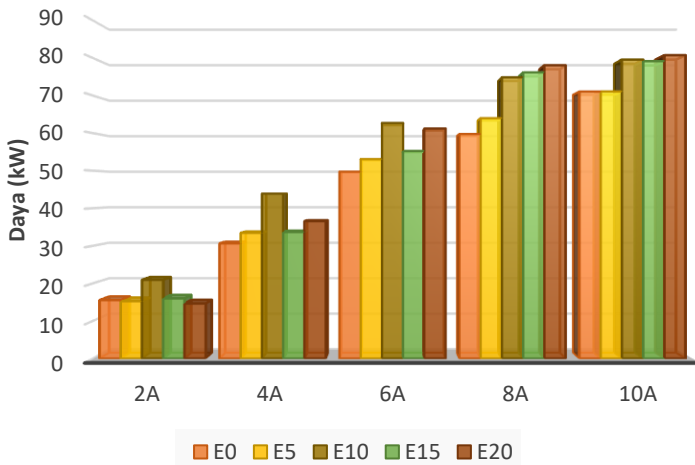
4.1. Karakteristik Data

Hasil uji dynotest pada pengujian bahan bakar campuran bioethanol dengan variasi pembebanan terhadap kendaraan jenis ICE, HEV dan PHEV sesuai dengan rancangan percobaan $L_{25}(5^2)$ menunjukkan hasil torsi, daya dan SFC sebagai indikator performa kendaraan secara visual dapat dideskripsikan dalam bentuk diagram batang. Berikut adalah hasil performa kendaraan jenis ICE untuk hasil torsi ditampilkan pada Gambar 4.1.



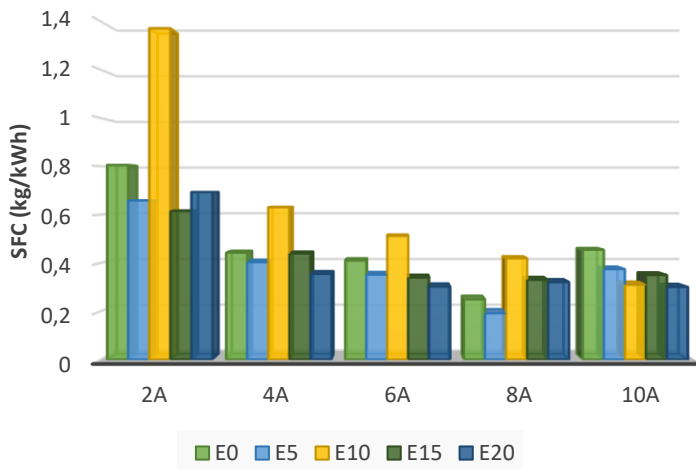
Gambar 4.1 Torsi ICE Terhadap Variasi Pembebanan

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan torsi akan meningkat sejalan dengan peningkatan variasi pembebanan dimana nilai torsi tertinggi yaitu pada pembebanan 10A. Pada masing-masing pembebanan nilai torsi yang paling tinggi yaitu pada bahan bakar campuran pertamax turbo 85% dan bioethanol 15% (E15), kecuali pada pembebanan 10A nilai torsi tertinggi yaitu pada campuran pertamax turbo 90% dan bioethanol 10% (E10). Kemudian nilai torsi pada kondisi existing yaitu dengan penggunaan pertamax turbo 100% (E0) dibandingkan dengan seluruh variasi bahan bakar campuran menunjukkan bahwa sebagian besar mengalami peningkatan. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa dengan campuran bioethanol kedalam pertamax turbo dapat meningkatkan nilai torsi dari kendaraan jenis ICE. Spesifikasi nilai torsi pada kendaraan jenis ICE adalah sebesar 173 Nm, merujuk pada Gambar 4.1 hasil dynotest menunjukkan bahwa dengan adanya variasi pembebanan dan variasi bahan bakar campuran bioethanol torsi melebihi dari spesifikasi kendaraan dimulai pada pembebanan 6A hingga 10A.



Gambar 4.2 Daya ICE Terhadap Variasi Pembebanan

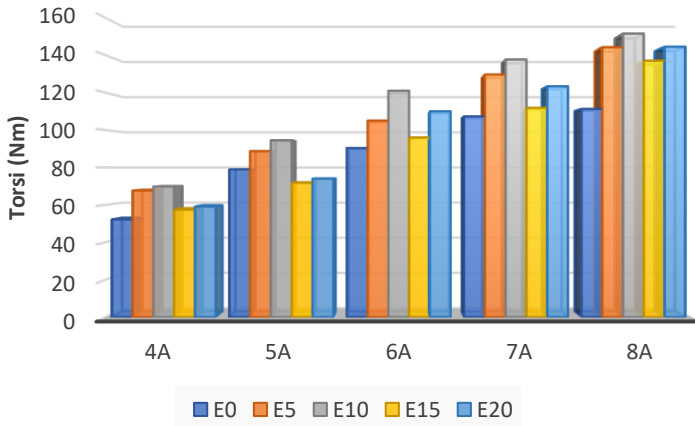
Gambar 4.2 menunjukkan daya pada kendaraan jenis ICE meningkat sering dengan peningkatan pembebanan serta campuran bioethanol dan pertamax turbo. Pada masing-masing pembebanan menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan kendaraan cenderung tidak fluktuatif antar variasi bahan bakar campuran. Namun apabila dibandingkan dengan hasil pada penggunaan pertamax turbo 100% (E0), adanya campuran bioethanol lebih tinggi jika dibandingkan dengan daya pada E0 pada masing-masing pembebanan. Nilai daya terbesar adalah pada variasi bahan bakar pertamax turbo 80% dan bioethanol 20% (E20) pembebanan 10A.



Gambar 4.3 SFC ICE Terhadap Variasi Pembebanan

SFC merupakan konsumsi bahan bakar (kg) yang digunakan untuk menghasilkan 1kW daya dalam waktu 1 jam. Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai SFC terendah yaitu pada bahan bakar campuran bioethanol 5% (E5) pembebanan 8A. Secara keseluruhan nilai SFC pada bahan bakar campuran lebih rendah dari SFC pada penggunaan E0. Semakin besar variasi pembebanan yang diberikan maka semakin kecil nilai SFC yang dihasilkan.

Setelah mengetahui karakteristik dari performa kendaraan jenis ICE, maka selanjutnya adalah karakteristik data pada kendaraan jenis HEV. Gambar 4.4 adalah hasil nilai torsi pada kendaraan jenis HEV dengan variasi pembebanan dan bahan bakar campuran pertamax turbo dengan bioethanol.

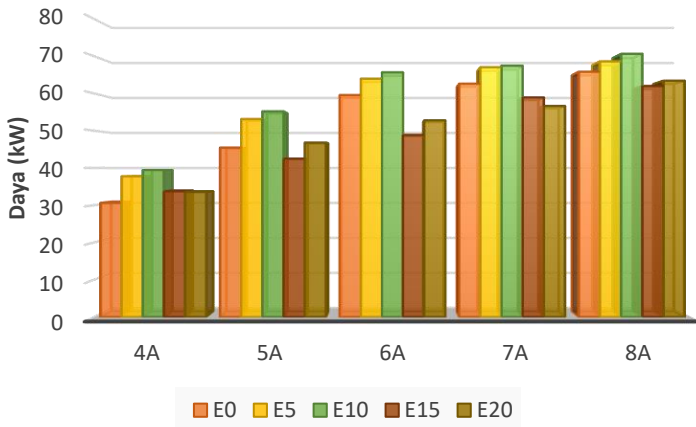


Gambar 4.4 Torsi HEV Terhadap Variasi Pembebanan

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai torsi pada kendaraan jenis HEV menunjukkan adanya peningkatan sejalan dengan peningkatan pembebanan. Karakteristik kualitas dari torsi adalah *larger-the-better* sehingga semakin besar nilai torsi akan semakin baik. Nilai torsi tertinggi pada kendaraan jenis HEV ditunjukkan oleh bahan bakar campuran bioethanol 10% dan pertamax turbo 90% (E10) yaitu sebesar 205,407 Nm. Pada bahan bakar campuran menunjukkan hasil yang fluktuatif dalam pembebanan yang sama sehingga dapat mengindikasikan bahwa variasi bahan bakar campuran bioethanol dalam bahan bakar campuran berpengaruh secara signifikan.

Gambar 4.5 merupakan hasil visualisasi dari nilai daya pada kendaraan jenis HEV. Dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan pola naik seiring dengan peningkatan beban. Nilai

daya tertinggi diperoleh ketika bahan bakar campuran bioethanol 10% dengan pertamax turbo 90% (E10) pembebanan 8A.

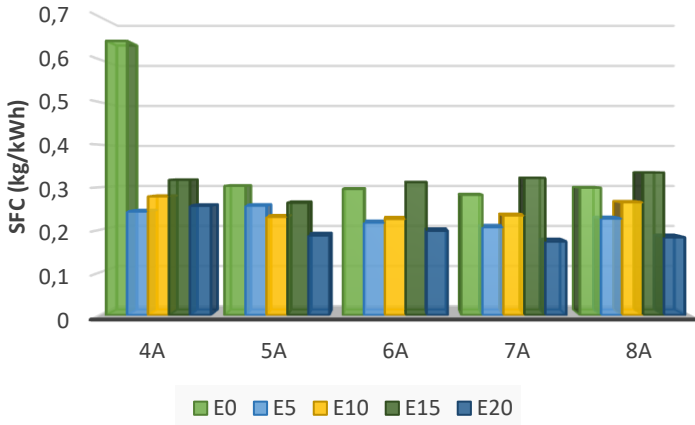


Gambar 4.5 Daya HEV Terhadap Variasi Pembebanan

Hasil grafik menunjukkan pada masing-masing pembebanan nilai daya cenderung fluktuatif akibat adanya variasi bahan bakar campuran. Secara keseluruhan bahan bakar campuran E10 selalu lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar campuran lainnya. Sedangkan bahan bakar campuran bioethanol 15% dan pertamax 85% (E15) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan variasi bahan bakar campuran lainnya pada kendaraan jenis HEV.

Setelah mengetahui karakteristik data torsi dan daya pada kendaraan jenis HEV, indikator performa terakhir yang digunakan dalam penelitian ini adalah *specific fuel consumption* (SFC). Hasil visualisasi SFC kendaraan jenis HEV ditunjukkan pada Gambar 4.6 dalam bentuk diagram batang. Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai SFC terendah adalah pada bahan bakar campuran bioethanol 20% dan pertamax turbo 80% (E20) pembebanan 7A. Pada masing-masing pembebanan grafik menunjukkan hasil yang fluktuatif antara nilai SFC pada masing-masing variasi bahan bakar. Secara keseluruhan nilai SFC dari

hasil bahan bakar campuran menunjukkan lebih rendah dari nilai SFC pada penggunaan pertamax turbo 100% (E0).

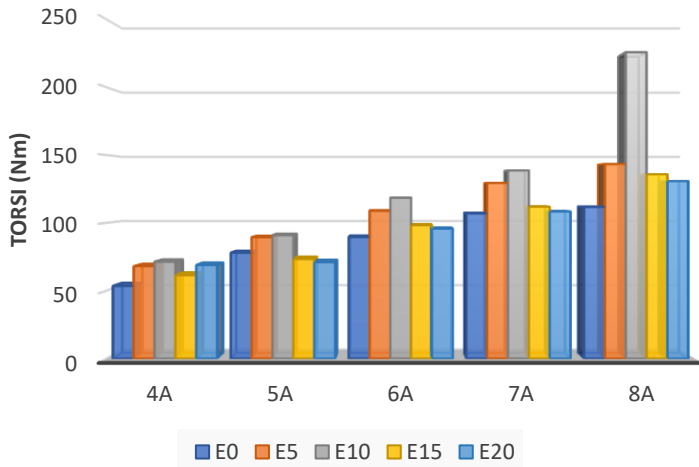


Gambar 4.6 SFC HEV Terhadap Variasi Pembebanan

Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar pada kendaraan jenis HEV menggunakan bahan bakar campuran bioethanol lebih hemat jika dibandingkan dengan penggunaan E0. Selanjutnya yaitu adalah karakteristik data pada kendaraan jenis PHEV. Performa kendaraan yang divisualisasikan dengan diagram batang meliputi torsi, daya dan SFC. Pemberian treatment pada variasi pembebanan dan bahan bakar campuran bioethanol menghasilkan karakteristik seperti pada Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.

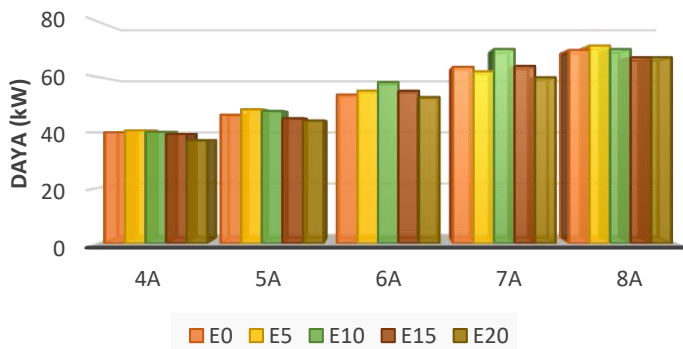
Berdasarkan Gambar 4.7 secara visual dapat dilihat bahwa semakin besar pembebanan maka nilai torsi akan cenderung meningkat. Pada hasil uji dynotest menunjukkan bahwa nilai torsi terbesar adalah pada bahan bakar campuran bioethanol 10% pertamax turbo 90% (E10) dengan pembebanan 8A. Secara keseluruhan dari pembebanan 4A-7A menunjukkan bahwa bahan bakar campuran bioethanol 10% (E10) menghasilkan torsi tertinggi pada tiap pembebanan. Perbedaan hasil torsi pada masing-masing nilai beban cukup fluktuatif dengan adanya

perubahan persentase bioethanol dalam pertamax turbo pada kendaraan jenis PHEV.



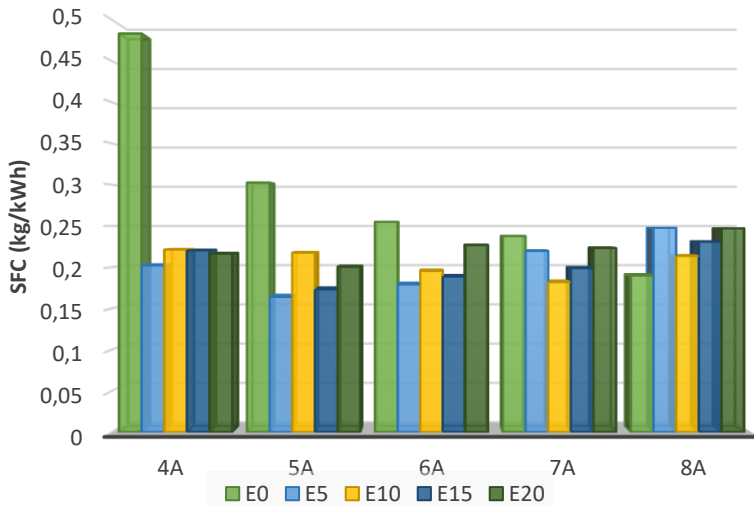
Gambar 4.7 Torsi PHEV Terhadap Variasi Pembebanan

Setelah hasil visualisasi torsi, indikator performa lainnya adalah daya. Hasil dynotest nilai daya pada kendaraan jenis PHEV divisualisasikan menggunakan diagram batang yang tertera pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Daya PHEV Terhadap Variasi Pembebanan

Gambar 4.8 merupakan hasil visualisasi dalam bentuk diagram batang pada pengujian daya kendaraan jenis PHEV. Diagram tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi pembebanan maka nilai daya juga cenderung meningkat. Nilai daya tertinggi adalah pada bahan bakar campuran bioethanol 5% pertamax turbo 95% dengan pembebanan sebesar 8A. Nilai torsi pada masing-masing pembebanan menunjukkan bahwa daya cenderung tidak fluktuatif terhadap variasi bahan bakar campuran. Kendaraan jenis PHEV memiliki 2 sumber energi yaitu dari energi listrik dan energi bahan bakar minyak. Variasi penggunaan bahan bakar minyak dicampur dengan bioethanol menghasilkan nilai SFC yang tertera pada Gambar 4.9. Secara visual dapat diketahui bahwa nilai SFC pada kendaraan jenis PHEV cenderung fluktuatif dari pembebanan 4A-8A. Nilai SFC terendah yaitu pada variasi bahan bakar bioethanol 5% dan pertamax turbo 95% pembebanan 5A.



Gambar 4.9 SFC PHEV Terhadap Variasi Pembebanan

4.2. Taguchi-PCR TOSIS

Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah torsi, daya dan SFC. Ketiga variabel tersebut dipilih sebagai variabel indikator dari performa kendaraan jenis *Internal Combustion Engine*, *Hybrid Electric Vehicle* dan *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*. Ketiga variabel respon tersebut ditransformasikan menjadi variabel baru dengan menggunakan PCR-TOPSIS. Langkah pertama adalah mentransformasikan nilai masing-masing variabel respon ke S/N ratio. Masing-masing variabel respon memiliki karakteristik yang berbeda yaitu *larger-the-better* pada variabel torsi dan daya sedangkan *smaller-the-better* pada variabel SFC. S/N ratio ini menggambarkan variasi dari masing-masing variabel dengan meminimalisir adanya faktor noise. Dengan menggunakan Persamaan (2.3) dan (2.4), berikut adalah hasil perhitungan S/N Ratio pada masing-masing variabel respon.

- S/N Ratio pada variabel torsi percobaan ke-1 kendaran jenis ICE.

$$\begin{aligned}\eta_{11} &= -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \\ &= -10 \log_{10} \left(\frac{1}{40,064^2} \right) = 32,055 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Torsi pada kendaraan jenis ICE memiliki karakteristik kualitas *larger-the-better* sehingga apabila nilai torsi semakin besar maka akan semakin baik. Agar nilai yg didapatkan meminimalisir sensitivitas terhadap faktor noise maka dilakukan transformasi S/N Ratio. Hasil transformasi menunjukkan bahwa nilai torsi kendaraan ICE pada percobaan pertama adalah sebesar 32,055 Nm setelah diminimalisir adanya pengaruh dari faktor noise.

- S/N Ratio pada variabel daya percobaan ke-1 kendaraan jenis ICE.

$$\begin{aligned}\eta_{12} &= -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \\ &= -10\log_{10}\left(\frac{1}{15,570^2}\right) = 23,846 \text{ kW}\end{aligned}$$

Transformasi S/N Ratio digunakan agar dalam penelitian *robust* terhadap faktor yang tidak dapat dikendalikan seperti temperatur, rpm, kesalahan teknisi (*human error*) dan lain sebagainya. Pada variabel daya setelah ditransformasi S/N Ratio didapatkan hasil 23,846 kW. Variabel ini memiliki karakteristik kualitas sama seperti torsi yaitu *larger-the-better* sehingga apabila nilai daya semakin besar maka akan semakin baik.

- S/N Ratio pada variabel SFC percobaan ke-1 kendaraan jenis ICE.

$$\begin{aligned}\eta_{13} &= -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \\ &= -10\log_{10}(0,806^2) = 1,876 \text{ kg/kWh}\end{aligned}$$

Karakteristik kualitas dari *specific fuel consumption* (SFC) adalah *smaller-the-better* oleh karena itu maka semakin kecil hasil dari SFC maka akan semakin baik. Pada penelitian seringkali terdapat faktor yang tidak dapat dikendalikan atau biasa disebut faktor *noise*. Oleh karena itu agar hasil yang didapatkan lebih akurat dan meminimalisir adanya pengaruh dari faktor noise maka dilakukan transformasi S/N Ratio. Pada SFC kendaraan jenis ICE menunjukkan bahwa setelah dilakukan transformasi S/N Ratio didapatkan hasil SFC sebesar 1,876 kg/kWh pada percobaan pertama. Selanjutnya untuk percobaan ke-2 hingga ke-25 pada masing-masing variabel respon dilakukan dengan cara yang sama untuk mendapatkan nilai transformasi S/N Ratio. Hasil perhitungan S/N Ratio secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Suatu proses dikatakan kapabel atau baik jika nilainya memenuhi dari karakteristik kualitas yang diterapkan. Pada penelitian ini karakteristik kualitas yang digunakan berbeda-beda, pada torsi dan daya memiliki karakteristik kualitas *larger-the-better* sedangkan pada SFC memiliki karakteristik kualitas *smaller-the-better*. Indeks kemampuan proses digunakan untuk menghitung perbandingan dimensi yang diinginkan dan yang baik dari suatu produk yang dihasilkan. Berdasarkan indeks kemampuan proses, nilai PCR-S/N Ratio dapat dihitung dengan mentransformasikan nilai S/N Ratio dari tiap variabel respon yang digunakan ke dalam persamaan indeks kemampuan proses. Hasil transformasi nilai S/N Ratio respon menjadi PCR-S/N Ratio dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.6).

$$C_1^1 = \frac{\eta_{ij} - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} = \frac{32,055 - 43,658}{3 \times 6,315} = -0,612$$

Perhitungan nilai transformasi PCR-S/N Ratio untuk percobaan ke 2 hingga ke 25 dilakukan dengan cara yang sama untuk seluruh jenis kendaraan. Hasil PCR-S/N Ratio secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 3.

Setelah mendapatkan nilai PCR-S/N Ratio maka tahap langkah terakhir yaitu menghitung nilai PCR-TOPSIS. TOPSIS adalah salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang memiliki ide dasar alternatif terpilih memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi negatif. Dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan (2.11) didapatkan hasil jarak solusi ideal positif dan negatif sebagai berikut.

- Jarak percobaan ke-1 pada solusi ideal positif

$$\begin{aligned} d^{1+} &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (C_j^i - C_j^+)^2} \\ &= \sqrt{(-0,612 - 0,415)^2 + (-0,595 - 0,338)^2 + (-0,517 - 0,638)^2} \\ &= 1,805 \end{aligned}$$

- Jarak percobaan ke-1 pada solusi ideal negatif

$$\begin{aligned}
 d^{1-} &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (C_j^i - C_j^-)^2} \\
 &= \sqrt{(-0,612 - (-0,734))^2 + (-0,595 - (-0,629))^2 + (-0,517 - (-0,945))^2} \\
 &= 0,446
 \end{aligned}$$

Perhitungan solusi ideal positif dan negatif secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 4 untuk keseluruhan percobaan yang diujikan pada kendaraan jenis ICE, HEV maupun PHEV. Berdasarkan perhitungan jarak solusi ideal positif maupun negatif tersebut, maka dapat diperoleh nilai PCR-TOPSIS dengan menggunakan Persamaan (2.9).

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} = \frac{0,446}{1,805 + 0,446} = 0,198$$

Perhitungan PCR-TOPSIS tersebut dilakukan pada ketiga jenis kendaraan uji, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 PCR-TOPSIS

Percobaan no.	PCR-TOPSIS ICE	PCR-TOPSIS HEV	PCR-TOPSIS PHEV
1	0.198	0.000	0.047
2	0.249	0.503	0.474
3	0.165	0.472	0.448
4	0.353	0.358	0.423
5	0.251	0.439	0.437
6	0.507	0.504	0.359
7	0.528	0.637	0.617
8	0.493	0.700	0.540
9	0.587	0.517	0.550
10	0.606	0.642	0.500
11	0.608	0.616	0.503
12	0.689	0.786	0.679
13	0.634	0.817	0.694
14	0.745	0.558	0.638
15	0.778	0.771	0.562
16	0.805	0.686	0.615

Tabel 4.1 PCR-TOPSIS (Lanjutan)

Percobaan no.	PCR-TOPSIS ICE	PCR-TOPSIS HEV	PCR-TOPSIS PHEV
17	0.896	0.875	0.694
18	0.726	0.830	0.797
19	0.801	0.626	0.692
20	0.799	0.849	0.631
21	0.693	0.678	0.717
22	0.756	0.853	0.691
23	0.832	0.784	0.841
24	0.791	0.654	0.701
25	0.842	0.927	0.662

Hasil perhitungan PCR-TOPSIS yang terangkum dalam Tabel 4.1 merupakan variabel baru yang terbentuk untuk merepresentasikan ketiga variabel respon pada masing-masing jenis kendaraan. Sebagai contoh performa kendaraan jenis ICE pada percobaan pertama direpresentasikan oleh nilai sebesar 0,198. Nilai tersebut mewakili dari ketiga variabel respon torsi, daya dan SFC. Selanjutnya, untuk menentukan kombinasi level yang optimum dan mengetahui persentase kontribusi dari masing-masing faktor maka dilakukan analisis varians (ANOVA) berdasarkan nilai PCR-TOPSIS.

4.3. Pengujian Signifikansi Faktor

ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel kontrol terhadap variabel serentak yang direpresentasikan oleh hasil PCR-TOPSIS. Faktor yang memberikan pengaruh signifikan dapat digunakan untuk menentukan level faktor yang optimum. Selain itu juga berdasarkan dari hasil perhitungan ANOVA juga dapat digunakan untuk menghitung besar persentase kontribusi dari setiap faktor yang diteiti dalam mempengaruhi respon. Berdasarkan Lampiran 5, 6 dan 7 maka berikut Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan hasil ANOVA pada masing-masing jenis kendaraan.

Hipotesis :

1. Faktor pembebanan
 $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$
2. Faktor bahan bakar
 $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0$

Taraf signifikan : 5%

Daerah penolakan : Tolak H_0 jika $F_{\text{hit}} > F_{0,05(4,16)}$

Tabel 4.2 ANOVA pada Kendaraan Jenis ICE

Source	DF	SS	MS	F
Pembebanan	4	1,06730	0,266826	107,60
Bahan Bakar	4	0,04070	0,010175	4,10
Residual Error	16	0,03968	0,002480	
Total	24	1,14768		

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pembebanan dan bahan bakar campuran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa kendaraan jenis Internal Combustion Engine (ICE). Performa kendaraan diukur berdasarkan nilai representatif dari ketiga variabel respon diantaranya torsi, daya dan *Specific Fuel Consumption* (SFC). Kesimpulan tersebut berdasarkan nilai F_{hitung} pada variabel respon yang secara berturut-turut sebesar 107,6 dan 4,10 lebih besar dari $F_{0,05(4,16)}$ (3,006).

Setelah melakukan uji signifikansi parameter pada kendaraan jenis ICE maka dilanjutkan menguji hal yang sama pada kendaraan jenis HEV. Tabel 4.3 adalah hasil uji ANOVA pada kendaraan jenis HEV.

Hipotesis :

1. Faktor pembebanan
 $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$
2. Faktor bahan bakar
 $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$

H_1 : minimal ada satu $\beta_j \neq 0$

Taraf signifikan : 5%

Daerah penolakan : Tolak H_0 jika $F_{hit} > F_{0,05(4,16)}$

Tabel 4.3 ANOVA pada Kendaraan Jenis HEV

Source	DF	SS	MS	F
Pembebanan	4	0,62519	0,156299	27,02
Bahan Bakar	4	0,26019	0,065048	11,24
Residual Error	16	0,09256	0,005785	
Total	24	0,97795		

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada Tabel 4.3 didapatkan hasil bahwa nilai F_{hitung} pada kedua variabel kontrol yaitu pembebanan dan bahan bakar campuran menunjukkan nilai sebesar 27,02 dan 11,24 yang lebih dari $F_{0,05(4,16)}$ (3,006). Sehingga keputusan yang didapatkan adalah Tolak H_0 oleh karenanya dapat diambil kesimpulan bahwa pada kendaraan jenis HEV, kedua faktor kontrol mempengaruhi secara signifikan performa dari kendaraan tersebut.

Kemudian dilanjutkan pada kendaraan uji ketiga yaitu jeni *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) dengan hasil ANOVA yang ditertera pada Tabel 4.4.

Hipotesis :

1. Faktor pembebanan

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$$

2. Faktor bahan bakar

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0$$

Taraf signifikan : 5%

Daerah penolakan : Tolak H_0 jika $F_{hit} > F_{0,05(4,16)}$

Tabel 4.4 ANOVA pada Kendaraan Jenis PHEV

Source	DF	SS	MS	F
Pembebanan	4	0,41484	0,103710	18,12
Bahan Bakar	4	0,13931	0,034828	6,08
Residual Error	16	0,09160	0,005725	
Total	24	0,64575		

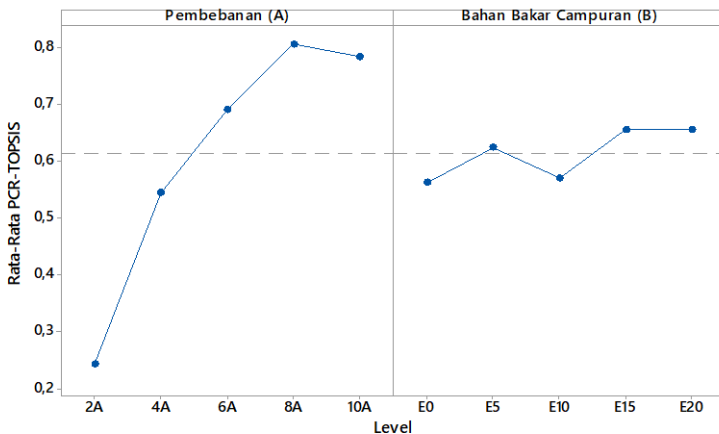
Pada taraf signifikan 5% maka dapat diambil kesimpulan berdasarkan Tabel 4.1 bahwa pembebanan dan variasi bahan bakar campuran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa kendaraan PHEV. Kesimpulan tersebut berdasarkan nilai F_{hitung} pada variabel pembebanan sebesar 18,12 dan F_{hitung} variabel bahan bakar campuran dibandingkan dengan $F_{0,05(4,16)}$ adalah 3,006 sehingga dapat diambil keputusan bahwa tolak H_0 . Setelah mengetahui bahwa variabel telah signifikan terhadap variabel respon maka dapat ditentukan kombinasi level faktor yang optimum untuk mendapatkan performa kendaraan terbaik berdasarkan karakteristik kualitasnya.

4.4 Penentuan Kombinasi Level Faktor Optimum dan Besar Kontribusi Faktor

Kondisi optimum yang didasarkan pada nilai PCR-TOPSIS menunjukkan bahwa nilai tertinggi yang tertera pada Tabel 4.1 adalah sebesar 0,896 yaitu kombinasi pada percobaan ke 17 untuk kendaraan jenis ICE, kombinasi pada percobaan ke 25 untuk kendaraan jenis HEV dengan nilai tertinggi yaitu 0,927 dan nilai tertinggi pada kendaraan PHEV adalah 0,841 yaitu kombinasi percobaan ke 23. Sehingga kondisi optimum dapat dicapai dengan kombinasi sebagai berikut.

- Kendaraan jenis ICE yaitu beban 8A dan bahan bakar pertamax turbo 95% bioethanol 5%.
- Kendaraan jenis HEV yaitu beban 8A dan bahan bakar pertamax turbo 80% bioethanol 20%.
- Kendaraan jenis PHEV yaitu beban 8A dan bahan bakar pertamax turbo 90% bioethanol 10% (E10).

Namun penentuan kondisi optimum tersebut hanya dapat dipilih berdasarkan 25 percobaan yang dilakukan, karena selain dari itu tidak mengetahui nilai dari PCR-TOPSIS dari kombinasi lain yang tidak dicobakan. Selain itu juga, penentuan kombinasi optimum dapat didekati dengan cara menghitung rata-rata PCR-TOPSIS pada masing-masing level faktor yang diteliti. Level yang dipilih untuk menentukan kondisi optimum adalah level yang memberikan nilai rata-rata PCR-TOPSIS yang terbesar pada masing-masing respon. Nilai rata-rata PCR-TOPSIS pada kendaraan jenis ICE dari masing-masing level faktor dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Plot Pengaruh Faktor Utama pada Kendaraan ICE

Berdasarkan pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa rata-rata performa kendaraan jenis ICE paling baik ketika menggunakan pembebanan 8A dan paling buruk pada ketika beban 2A. Hal tersebut diketahui berdasarkan hasil plot tertinggi dan terendah pada faktor pembebanan. Sehingga secara visual didapatkan bahwa semakin besar penambahan beban pada kendaraan jenis ICE maka performa kendaraan akan semakin baik sesuai dengan karakteristik kualitasnya. Setelah mencapai titik optimum performa kendaraan akan perlahan mengalami

penurunan. Dalam pengujian ini, beban dihasilkan oleh *loadcell* yg kemudian disalurkan ke roller dynamometer. Pada beban 10 A, terjadi slip pada roda akbat besarnya pembebanan yang disalurkan. Sehingga besar nilai performa tidak optimum karena kerugian gesek (*friction losses*) yg timbul pada kendaraan.

Kemudian pada jenis bahan bakar campuran yang digunakan akan menghasilkan performa kendaraan terbaik pada saat menggunakan bahan bakar campuran E15 yang merupakan plot tertinggi dan rata-rata performa terburuknya adalah ketika menggunakan bahan bakar campuran E10. Hal tersebut terjadi akibat adanya batasan perbandingan udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*) dalam pembakaran oleh mesin sehingga menghasilkan tenaga penggerak atau biasa disebut *Ignition Limits*. Campuran yang kelebihan bahan bakar dinamakan campuran kaya dan campuran yang kelebihan oksigen dinamakan campuran miskin. Penambahan campuran bioethanol mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin. Hal ini akibat dari bioethanol yang memiliki kandungan pembentuk berupa oksigen. Selain itu pengaruh temperatur mesin yang tidak dijaga secara seragam ketika proses pengambilan data dapat mempengaruhi pembakaran bahan bakar. Oleh karena itu kondisi optimum yang dapat dicapai kendaraan jenis ICE adalah pada kombinasi A_4 dan B_4 . A_4 adalah faktor pembebanan pada level 8A sedangkan B_4 adalah faktor bahan bakar campuran pada level pertamax turbo 85% dan bioethanol 15%. Nilai masing-masing rata-rata setiap level pada plot Gambar 10 tertera pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan ICE

Level	Pembebanan (A)	Bahan Bakar Campuran (B)
1	0,2432	0,5623
2	0,5444	0,6236
3	0,6907	0,5700
4	0,8054	0,6555
5	0,7831	0,6554
Delta	0,5622	0,0933
Rank	1	2

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa ranking dari besar pengaruh setiap faktor terhadap respon yang diteliti. Ranking dari pengaruh faktor diperoleh dari selisih rata-rata level terkecil dengan yang terbesar pada setiap faktor. Berdasarkan pengujian signifikansi parameter diketahui bahwa kedua faktor kontrol yang digunakan yaitu pembebanan dan bahan bakar campuran merupakan variabel yang signifikan, dimana pembebanan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap ketiga respon. Hal ini dapat dilihat dari peringkat pada masing-masing faktor yang menunjukkan faktor pembebanan peringkat 1 dan bahan bakar campuran peringkat 2.

Besar pengaruh dari kedua faktor tersebut dapat diketahui dengan menghitung persentase dari kontribusi yang diberikan masing-masing faktor dalam mempengaruhi ketiga respon. Perhitungan kontribusi faktor adalah sebagai berikut.

- Persentase kontribusi pembebanan

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - (df_A \times MS_e) \\ &= 1,067 - (4 \times 0,002) \\ &= 1,057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{1,057}{1,148} \times 100\% \\ &= 92,07\% \end{aligned}$$

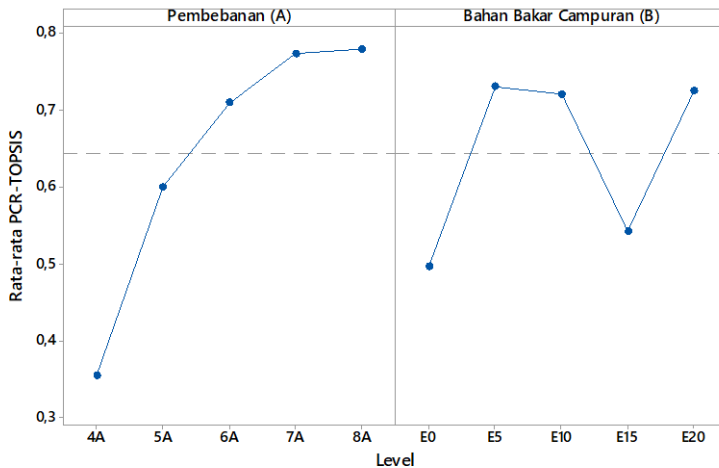
- Persentase kontribusi bahan bakar campuran

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - (df_B \times MS_e) \\ &= 0,041 - (4 \times 0,002) \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_B &= \frac{SS'_B}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{0,031}{1,148} \times 100\% \\ &= 2,681\%\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap ketiga respon dapat menunjukkan bahwa pembebanan adalah faktor yang memang memberikan pengaruh yang paling besar terhadap ketiga respon dengan kontribusi sebesar 92% sedangkan faktor variasi bahan bakar campuran hanya berkontribusi sebesar 2,68%.

Kemudian penentuan kombinasi level faktor yang optimum pada kendaraan jenis HEV berdasarkan nilai rata-rata PCR-TOPSIS tertera pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Plot Pengaruh Faktor Utama pada Kendaraan HEV

Berdasarkan pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa rata-rata performa kendaraan HEV terbaik sesuai dengan karakteristik kualitasnya adalah ketika rata-rata pada masing-masing faktor memiliki nilai tertinggi. Faktor A merupakan faktor pembebanan

yang memiliki 5 level, berdasarkan plot diketahui performa terbaiknya adalah pada pembebanan 8A sebagai plot tertinggi yang menunjukkan nilai performa paling besar. Sehingga secara visual dapat diambil kesimpulan bawa semakin besar pembebanan maka akan menghasilkan performa terbaik. Selanjutnya pada faktor B merupakan faktor bahan bakar campuran menunjukkan rata-rata performa terbaiknya ketika menggunakan bahan bakar campuran E5. Pembakaran bioethanol menghasilkan karbon dioksida dan air. Bioethanol adalah bahan bakar oktan tinggi yang menggantikan timbal sebagai penambah oktan bensin. Dengan mencampur bioethanol dengan bahan bakar bensin seperti pertamax turbo dapat menghasilkan pembakaran yang maksimal. Namun pengaruh dari kedua komposisi tersebut dapat menyebabkan campuran bahan bakar dan udara menjadi campuran miskin dimana kandungan udara lebih tinggi daripada bahan bakar. Sehingga besarnya perbandingan udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*) dapat mempengaruhi performa kendaraan dari hasil bahan bakar campuran tersebut. Oleh karena itu kondisi optimum yang dapat dicapai kendaraan jenis HEV adalah pada kombinasi A₅ dan B₂. A₅ adalah faktor pembebanan pada level 8A sedangkan B₂ adalah faktor bahan bakar campuran pada level pertamax turbo 95% dan bioethanol 5%.

Selanjutnya nilai rata-rata PCR-TOPSIS pada setiap level faktor pada Gambar 4.11 tertera pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan HEV

Level	Pembebanan (A)	Bahan Bakar Campuran (B)
1	0,3544	0,4965
2	0,5998	0,7306
3	0,7095	0,7206
4	0,7732	0,5427
5	0,7791	0,7256
Delta	0,4247	0,2341
Rank	1	2

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa ranking dari besar pengaruh setiap faktor terhadap respon yang diteliti.

Ranking dari pengaruh faktor diperoleh dari selisih rata-rata level terkecil dengan yang terbesar pada setiap faktor. Berdasarkan pengujian signifikansi parameter diketahui bahwa kedua faktor kontrol yang digunakan yaitu pembebanan dan bahan bakar campuran merupakan variabel yang berpengaruh signifikan, dimana pembebanan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap ketiga respon. Hal ini dapat dilihat dari peringkat pada masing-masing faktor yang menunjukkan faktor pembebanan peringkat 1 dan bahan bakar campuran peringkat 2.

Besar pengaruh dari kedua faktor tersebut dapat diketahui dengan menghitung persentase dari kontribusi yang diberikan masing-masing faktor dalam mempengaruhi ketiga respon. Perhitungan kontribusi faktor adalah sebagai berikut.

- Persentase kontribusi pembebanan

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - (df_A \times MS_e) \\ &= 0,625 - (4 \times 0,005) \\ &= 0,602 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{0,602}{0,978} \times 100\% \\ &= 61,56\% \end{aligned}$$

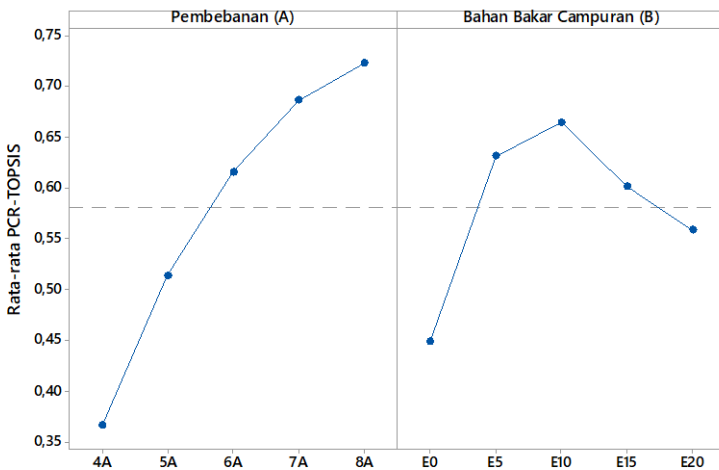
- Persentase kontribusi bahan bakar campuran

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - (df_B \times MS_e) \\ &= 0,260 - (4 \times 0,005) \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_B &= \frac{SS'_B}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{0,24}{0,834} \times 100\% \\ &= 24,54\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap ketiga respon dapat menunjukkan bahwa pembebanan adalah faktor yang memang memberikan pengaruh yang paling besar terhadap ketiga respon dengan kontribusi sebesar 61,56% sedangkan faktor variasi bahan bakar campuran hanya berkontribusi sebesar 24,54%.

Selanjutnya yaitu penentuan kombinasi level faktor yang optimum pada kendaraan jenis PHEV berdasarkan nilai rata-rata PCR-TOPSIS tertera pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Plot Pengaruh Faktor Utama pada Kendaraan PHEV

Berdasarkan pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa kondisi optimum yang dapat dicapai kendaraan jenis PHEV adalah pada kombinasi A₅ dan B₃. A₅ adalah faktor pembebanan pada level 8A yang memiliki nilai rata-rata tertinggi sedangkan B₃ adalah faktor bahan bakar campuran pada level pertamax turbo 90% dan bioethanol 10% yang juga merupakan nilai tertinggi untuk performa kendaraan jenis PHEV. Nilai tertinggi tersebut menunjukkan bahwa performa terbaik dapat dicapai pada level tersebut berdasarkan nilai rata-ratanya. Seperti halnya kendaraan jenis ICE dan HEV, pembebanan yang optimum berada pada 8A

sedangkan jika melebihi itu mengakibatkan penurunan performa dan muncul indikasi yang menyebabkan kerusakan pada kendaraan. Hal tersebut diakibatkan adanya pengaruh kelebihan pembebanan sehingga terjadi *loses*. Dalam pengujian ini pembebanan didapat dari kerja *loadcell* yang menyalurkan beban ke roller dynamometer yang bergesekan langsung dengan roda kendaraan. Beban yang diterima roller akan menghambat laju putaran roda kendaraan. Oleh karenanya kelebihan pembebanan dapat mengakibatkan slip pada roda dan juga overheating yang terjadi pada mesin.

Kemudian komposisi dari pertamax turbo dan bioethanol berpengaruh besar terhadap reaksi dari campuran bahan bakar tersebut. Penambahan bioethanol menaikkan besar *air-fuel ratio* pada kendaraan sehingga terjadi peningkatan tekanan pembakaran yang ada di ruang bakar. Pada kendaraan PHEV ditunjukkan bahwa setelah mencapai level terbaik pada E5 terjadi penurunan rata-rata performa kendaraan hal tersebut diakibatkan pencampuran kedua bahan bakar yg tidak mendekati homogen. Selanjutnya nilai rata-rata PCR-TOPSIS setiap level faktor pada Gambar 4.12 tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai Rata-rata Setiap Level Faktor Kendaraan PHEV

Level	Pembebanan (A)	Bahan Bakar Campuran (B)
1	0,3660	0,4485
2	0,5132	0,6309
3	0,6152	0,6640
4	0,6859	0,6010
5	0,7224	0,5582
Delta	0,3563	0,2155
Rank	1	2

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa ranking dari besar pengaruh setiap faktor terhadap respon yang diteliti. Ranking dari pengaruh faktor diperoleh dari selisih rata-rata level terkecil dengan yang terbesar pada setiap faktor. Berdasarkan pengujian signifikansi parameter diketahui bahwa kedua faktor kontrol yang digunakan yaitu pembebanan dan bahan bakar

campuran merupakan variabel yang berpengaruh signifikan, dimana pembebanan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap ketiga respon. Hal ini dapat dilihat dari peringkat pada masing-masing faktor yang menunjukkan faktor pembebanan peringkat 1 dan bahan bakar campuran peringkat 2.

Besar pengaruh dari kedua faktor tersebut dapat diketahui dengan menghitung persentase dari kontribusi yang diberikan masing-masing faktor dalam mempengaruhi ketiga respon. Perhitungan kontribusi faktor adalah sebagai berikut.

- Persentase kontribusi pembebanan

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - (df_A \times MS_e) \\ &= 0,415 - (4 \times 0,005) \\ &= 0,395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{0,395}{0,646} \times 100\% \\ &= 61,14\% \end{aligned}$$

- Persentase kontribusi bahan bakar campuran

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - (df_B \times MS_e) \\ &= 0,139 - (4 \times 0,005) \\ &= 0,116 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_B &= \frac{SS'_B}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{0,116}{0,646} \times 100\% \\ &= 18,02\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap ketiga respon dapat menunjukkan bahwa pembebanan adalah faktor yang memang memberikan pengaruh yang paling besar terhadap ketiga respon dengan kontribusi

sebesar 61,14% sedangkan faktor variasi bahan bakar campuran hanya berkontribusi sebesar 18,02%.

4.5 Estimasi Performa Kendaraan pada Kondisi Optimum

Analisis optimasi dengan menggunakan metode taguchi pendekatan PCR-TOPSIS dilakukan dengan tujuan agar mendapatkan kondisi optimum yang dapat mengoptimalkan ketiga respon yang diteliti. Oleh karena itu perlu dilakukan estimasi untuk melihat apakah kondisi optimum optimum yang telah diperoleh tersebut dapat menghasilkan nilai yang optimum untuk respon.

4.5.1 Estimasi Torsi pada Kondisi Optimum

Langkah setelah kondisi optimum ditentukan maka dilakukan estimasi rata-rata respon berdasarkan kondisi optimum tersebut. Pada kendaraan jenis ICE, kondisi optimum yang diperoleh adalah kombinasi A_4 dan B_4 . Sehingga perhitungan estimasi torsi pada kendaraan jenis ICE adaah sebagai berikut.

$$\bar{A}_4 = \frac{181,002 + 246,813 + 297,900 + 302,456 + 255,599}{5}$$

$$= 256,754$$

$$\bar{B}_4 = \frac{86,881 + 168,555 + 227,127 + 302,456 + 347,849}{5}$$

$$= 226,573$$

$$\bar{Y}_{torsi} = \bar{y}_1$$

$$= \frac{40,064 + 30,750 + \dots + 347,849 + 365,583}{25}$$

$$= 188,144$$

$$\bar{Y}_{opt} = \bar{Y}_{torsi} + (\bar{A}_4 - \bar{Y}_{torsi}) + (\bar{B}_4 - \bar{Y}_{torsi})$$

$$= 188,114 + (256,754 - 188,114) + (226,573 - 188,114)$$

$$= 295,213$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_4 dan B_4 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai torsi pada kendaraan jenis ICE adalah sebesar 295,213 Nm. Kemudian juga mencari nilai estimasi torsi pada kendaraan jenis HEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis HEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_2 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\bar{A}_5 = \frac{111,233 + 144,245 + 151,501 + 137 + 144,457}{5}$$

$$= 137,687$$

$$\bar{B}_2 = \frac{67,680 + 88,788 + 105 + 129,610 + 144,245}{5}$$

$$= 107,065$$

$$\bar{Y}_{torsi} = \bar{y}_1$$

$$= \frac{52,200 + 67,680 + \dots + 137 + 144,457}{25}$$

$$= 101,396$$

$$\bar{Y}_{opt} = \bar{Y}_{torsi} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{torsi}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}_{torsi})$$

$$= 101,396 + (137,687 - 101,396) + (107,065 - 101,396)$$

$$= 143,356$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_5 dan B_2 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai torsi pada kendaraan jenis HEV adalah sebesar 143,356 Nm. Kemudian juga mencari nilai estimasi torsi pada kendaraan jenis PHEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis PHEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_3 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\bar{A}_5 = \frac{111,757 + 143,429 + 225,662 + 135,827 + 130,789}{5}$$

$$= 149,493$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_3 &= \frac{71,424 + 90,923 + 118,467 + 138,676 + 225,662}{5} \\ &= 129,031\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{torsi} &= \bar{y}_1 \\ &= \frac{53,567 + 68,099 + \dots + 135,827 + 1130,789}{25} \\ &= 103,212\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{opt} &= \bar{Y}_{torsi} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{torsi}) + (\bar{B}_3 - \bar{Y}_{torsi}) \\ &= 103,212 + (149,493 - 103,212) + (129,031 - 103,212) \\ &= 175,312\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_5 dan B_3 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai torsi pada kendaraan jenis PHEV adalah sebesar 175,312 Nm.

4.5.2 Estimasi Daya pada Kondisi Optimum

Sama halnya dengan torsi, nilai prediksi rata-rata pada daya di kondisi yang optimum juga harus diketahui. Berikut adalah estimasi daya pada kendaraan jenis ICE.

$$\begin{aligned}\bar{A}_4 &= \frac{59,731 + 63,945 + 74,809 + 76,115 + 78,057}{5} \\ &= 70,531\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_4 &= \frac{16,018 + 33,682 + 55,247 + 76,115 + 79,113}{5} \\ &= 52,035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{daya} &= \bar{y}_2 \\ &= \frac{15,570 + 15,275 + \dots + 79,113 + 80,715}{25} \\ &= 51,070\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{opt} &= \bar{Y}_{daya} + (\bar{A}_4 - \bar{Y}_{daya}) + (\bar{B}_4 - \bar{Y}_{daya}) \\ &= 51,070 + (70,531 - 51,070) + (52,035 - 51,070) \\ &= 71,496\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_4 dan B_4 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai daya pada kendaraan jenis ICE adalah sebesar 71,496 kW. Kemudian juga mencari nilai estimasi daya pada kendaraan jenis HEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis HEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_2 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\bar{A}_5 &= \frac{65,771 + 68,563 + 70,593 + 61,966 + 63,370}{5} \\ &= 66,053 \\ \bar{B}_2 &= \frac{37,78 + 53,136 + 63,927 + 66,997 + 68,563}{5} \\ &= 58,081 \\ \bar{Y}_{daya} &= \bar{y}_2 \\ &= \frac{30,639 + 37,780 + \dots + 61,966 + 63,370}{25} = 54,067 \\ \bar{Y}_{opt} &= \bar{Y}_{daya} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{daya}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}_{daya}) \\ &= 54,067 + (66,053 - 54,067) + (58,081 - 54,067) \\ &= 70,066\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_5 dan B_2 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai daya pada kendaraan jenis HEV adalah sebesar 70,066 kW. Kemudian juga mencari nilai estimasi daya pada kendaraan jenis PHEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis PHEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_3 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\bar{A}_5 = \frac{69,756 + 71,338 + 70,066 + 67,122 + 67,115}{5}$$

$$= 69,079$$

$$\bar{B}_3 = \frac{40,260 + 47,802 + 58,165 + 70,066 + 70,066}{5}$$

$$= 57,272$$

$$\bar{Y}_{daya} = \bar{y}_2$$

$$= \frac{40,089 + 40,778 + \dots + 67,122 + 67,115}{25}$$

$$= 54,784$$

$$\bar{Y}_{opt} = \bar{Y}_{daya} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{daya}) + (\bar{B}_3 - \bar{Y}_{daya})$$

$$= 54,784 + (69,079 - 54,784) + (57,272 - 54,784)$$

$$= 71,567$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_5 dan B_3 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai daya pada kendaraan jenis PHEV adalah sebesar 71,567 kW.

4.5.3 Estimasi SFC pada Kondisi Optimum

Estimasi nilai SFC pada masing-masing jenis kendaraan juga dilakukan pada level faktor terbaik untuk mengetahui besar SFC yang paling optimum. Pertama adalah kendaraan jenis ICE dengan hasil perhitungan estimasi SFC adalah sebagai berikut.

$$\bar{A}_4 = \frac{0,25 + 0,192 + 0,419 + 0,331 + 0,321}{5}$$

$$= 0,303$$

$$\bar{B}_4 = \frac{0,615 + 0,439 + 0,34 + 0,331 + 0,35}{5}$$

$$= 0,415$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{SFC} &= \bar{y}_3 \\ &= \frac{0,806 + 0,658 + \dots + 0,35 + 0,301}{25} \\ &= 0,465\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{opt} &= \bar{Y}_{SFC} + (\bar{A}_4 - \bar{Y}_{SFC}) + (\bar{B}_4 - \bar{Y}_{SFC}) \\ &= 0,465 + (0,303 - 0,465) + (0,415 - 0,465) \\ &= 0,252\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_4 dan B_4 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai SFC pada kendaraan jenis ICE adalah sebesar 0,2520,20 kg/kWh. Kemudian juga mencari nilai estimasi SFC pada kendaraan jenis HEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis HEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_2 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\bar{A}_5 &= \frac{0,299 + 0,227 + 0,265 + 0,335 + 0,183}{5} \\ &= 0,262\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_2 &= \frac{0,243 + 0,256 + 0,217 + 0,206 + 0,227}{5} \\ &= 0,230\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{SFC} &= \bar{y}_3 \\ &= \frac{0,643 + 0,243 + \dots + 0,335 + 0,183}{25} \\ &= 0,270\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{opt} &= \bar{Y}_{SFC} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{SFC}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}_{SFC}) \\ &= 0,270 + (0,262 - 0,270) + (0,230 - 0,270) \\ &= 0,221\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_4 dan B_5 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai SFC pada kendaraan jenis HEV adalah sebesar 0,221

kg/kWh. Kemudian juga mencari nilai estimasi SFC pada kendaraan jenis PHEV. Kondisi optimum pada kendaraan jenis PHEV adalah dengan menggunakan kombinasi A_5 dan B_3 . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\bar{A}_5 = \frac{0,190 + 0,248 + 0,214 + 0,231 + 0,247}{5}$$

$$= 0,226$$

$$\bar{B}_3 = \frac{0,221 + 0,218 + 0,195 + 0,182 + 0,214}{5}$$

$$= 0,206$$

$$\bar{Y}_{SFC} = \bar{y}_3$$

$$= \frac{0,483 + 0,202 + \dots + 0,231 + 0,247}{25}$$

$$= 0,226$$

$$\bar{Y}_{opt} = \bar{Y}_{SFC} + (\bar{A}_5 - \bar{Y}_{SFC}) + (\bar{B}_3 - \bar{Y}_{SFC})$$

$$= 0,226 + (0,226 - 0,226) + (0,206 - 0,226)$$

$$= 0,206$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, apabila menggunakan kombinasi level A_5 dan B_3 , maka akan diperoleh hasil estimasi nilai SFC pada kendaraan jenis PHEV adalah sebesar 0,206 kg/kWh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tentang optimasi kendaraan jenis ICE, HEV dan PHEV menggunakan metode taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Kedua faktor kontrol yang digunakan yaitu pembebanan dan bahan bakar campuran pertamax turbo dengan bioethanol berpengaruh signifikan terhadap performa kendaraan.
2. Persentase kontribusi dari ketiga jenis kendaraan menunjukkan bahwa pembebanan memiliki kontribusi lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar campuran.
3. Kondisi optimum yang dicapai adalah kombinasi pembebanan 8A dan bahan bakar campuran pertamax turbo 85% dengan bioethanol 15% untuk kendaraan jenis ICE. Kemudian pada kendaraan jenis HEV kombinasi optimumnya adalah 8A dengan bahan bakar campuran pertamax turbo 95% dan bioethanol 5%. Lalu pada kendaraan jenis PHEV menunjukkan untuk mendapatkan kondisi yang optimum maka kombinasi terbaiknya adalah pembebanan 8A dengan bahan bakar campuran pertamax turbo 90% dan bioethanol 10%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis adalah dengan berpengaruh signifikannya hasil uji bahan bakar campuran, maka bahan bakar campuran bioethanol dapat dijadikan sebagai solusi untuk mengatasi permintaan bahan bakar yang terus meningkat. Selain itu dapat dijadikan referensi untuk pengembangan bahan bakar nabati agar menjadi masukan untuk mengembangkan *bioenergy* lebih gencar sehingga dapat dijual secara komersil.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2018. *Indoneisa Outlook Energi 2018*. [Online] Available at: www.bppt.go.id
- Balavendram, N., 1995. *Quality by Design*. Great Britain: Prentice Hall International.
- Ceballos, R. M., 2018. *Bioethanol and Natural Resources*. Boca Roton(Florida): CRC Press.
- Djami, R. J. & Sunaryo, S., 2014. Metode PCR-TOPSIS untuk Optimasi Taguchi Multirespon. *Statistika*, 2(1), pp. 46-55.
- Fowlkes, W. Y. & Creveling, C. M., 1995. *Engineering Methods For Robust Product Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Delevopment*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Heywood, J., 1988. *Internal Combustion Engine*. London: Mc. Graw Hill.
- Hwang, C. L. & Yoon, K., 1981. *Lecture Notes in Economics and Mathematical System*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.
- Kusumawardani, M., Mustafid & Yasin, H., 2015. Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan Flux Cored ARC Welding (FCAW) Menggunakan Metode Taguchi Multirespon PCR-TOPSIS. *Jurnal Gaussian*, 4(3), pp. 573-582.
- Liao, H. C., 2003. Using PCR-TOPSIS to Optimise Taguchi's Multi-response Problem. *International Journal Advance of Manufacture Technology*, 22, pp. 649-655.
- Oktaviasari, S. A. & Mashuri, M., 2016. Optimasi Parameter Proses Jar Test Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan PCR-TOPSIS (Studi Kasus : PDAM Surya Sembada Kota Surabaya). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2), pp. D372-D377.
- Ross, P. J., 1996. *Taguchi Techniques For Quality Engineering*. 2 ed. New York: Mc.Graw-Hill International.

- Soejanto, I., 2009. *Design Experimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tong, L. & Su, 1997. Optimizing Multi-Response Problems in the Taguchi Method by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making.. *Quality and Reliability Engineering Enviromental Science*, 13(1), pp. 25-34.
- Winanda, P. H. & Sudarmanta, B., 2016. Uji Unjuk Kerja dan Durability 5000 KM Mobil Bensin 1497 CC Berbahan Bakar Campuran Bensin-Bioethanol. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), pp. 1-6.
- Winarno, J., 2011. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioethano pada Bahan Bakar Pertamax terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin. *Jurnal Teknik*, 1(1), pp. 33-39

LAMPIRAN

Lampiran 1. Orthogonal Array

**Taguchi Design
Design Summary**

Taguchi Array $L_{25}(5^2)$

Factors: 2

Runs: 25

Columns of $L_{25}(5^6)$ array: 1 2

exp	A	B	exp	A	B
	Beban	bahan bakar		Beban	bahan bakar
1	1	1	16	4	1
2	1	2	17	4	2
3	1	3	18	4	3
4	1	4	19	4	4
5	1	5	20	4	5
6	2	1	21	5	1
7	2	2	22	5	2
8	2	3	23	5	3
9	2	4	24	5	4
10	2	5	25	5	5
11	3	1			
12	3	2			
13	3	3			
14	3	4			
15	3	5			

Lampiran 2. S/N Ratio

ICE			HEV			PHEV		
Torsi (η_{i1})	Daya (η_{i2})	SFC (η_{i3})	Torsi (η_{i1})	Daya (η_{i2})	SFC (η_{i3})	Torsi (η_{i1})	Daya (η_{i2})	SFC (η_{i3})
32.055	23.846	1.876	34.353	29.726	3.833	34.578	32.060	6.319
29.757	23.680	3.631	36.609	31.545	12.280	36.663	32.208	13.888
35.937	26.423	-2.740	36.872	31.918	11.106	37.077	32.098	13.100
38.778	24.092	4.220	35.189	30.567	9.969	35.785	31.924	13.134
33.077	23.321	3.178	35.436	30.512	11.817	36.776	31.394	13.292
39.151	29.728	7.082	37.948	33.152	10.363	37.840	33.330	10.380
38.155	30.488	7.882	38.967	34.508	11.809	39.027	33.695	15.700
42.213	32.846	4.008	39.514	34.834	12.745	39.173	33.589	13.247
44.535	30.548	7.151	37.127	32.569	11.585	37.321	33.096	15.224
40.878	31.259	8.995	37.385	33.407	14.559	37.037	32.936	13.957
41.195	33.934	7.743	39.122	35.497	10.577	39.044	34.598	11.871
43.681	34.499	9.076	40.424	36.114	13.271	40.740	34.819	14.933
46.744	35.942	5.816	41.655	36.340	12.924	41.472	35.293	14.179
47.125	34.846	9.373	39.645	33.779	10.131	39.851	34.818	14.478
46.235	35.739	10.396	40.827	34.449	14.070	39.624	34.449	12.889
45.154	35.524	12.042	40.612	35.928	10.989	40.582	36.075	12.478
47.847	36.116	14.326	42.253	36.521	13.702	42.242	35.852	13.164
49.481	37.479	7.554	42.776	36.571	12.621	42.840	36.910	14.803
49.613	37.629	9.611	40.971	35.402	9.848	40.976	36.120	14.028
48.151	37.848	9.875	41.822	35.058	15.248	40.698	35.550	13.024
48.734	37.028	6.848	40.925	36.361	10.487	40.966	36.872	14.430
49.348	37.031	8.529	43.182	36.722	12.894	43.133	37.066	12.120
51.522	38.013	10.166	43.608	36.975	11.545	47.069	36.910	13.404
50.828	37.965	9.114	42.734	35.843	9.508	42.660	36.537	12.731
51.260	38.139	10.440	43.195	36.038	14.765	42.331	36.536	12.143

Lampiran 3. PCR-S/N Ratio

ICE			HEV			PHEV		
Torsi	Daya	SFC	Torsi	Daya	SFC	Torsi	Daya	SFC
-0.612	-0.595	-0.517	-0.655	-0.717	-1.134	-0.620	-0.458	-1.233
-0.734	-0.606	-0.354	-0.380	-0.439	0.083	-0.374	-0.431	0.132
-0.408	-0.427	-0.945	-0.348	-0.382	-0.086	-0.325	-0.451	-0.010
-0.258	-0.579	-0.299	-0.553	-0.588	-0.250	-0.477	-0.483	-0.004
-0.558	-0.629	-0.396	-0.523	-0.597	0.016	-0.360	-0.579	0.024
-0.238	-0.211	-0.034	-0.217	-0.193	-0.193	-0.234	-0.228	-0.501
-0.290	-0.161	0.040	-0.093	0.014	0.015	-0.094	-0.162	0.459
-0.076	-0.007	-0.319	-0.026	0.064	0.150	-0.077	-0.181	0.016
0.046	-0.157	-0.028	-0.317	-0.282	-0.017	-0.296	-0.270	0.373
-0.147	-0.111	0.143	-0.285	-0.154	0.411	-0.329	-0.299	0.144
-0.130	0.064	0.027	-0.074	0.166	-0.163	-0.092	0.002	-0.232
0.001	0.101	0.151	0.085	0.260	0.225	0.109	0.042	0.320
0.163	0.195	-0.151	0.235	0.295	0.176	0.195	0.127	0.184
0.183	0.123	0.179	-0.010	-0.097	-0.227	0.004	0.041	0.238
0.136	0.182	0.273	0.134	0.005	0.341	-0.023	-0.025	-0.048
0.079	0.168	0.426	0.108	0.232	-0.103	0.090	0.269	-0.122
0.221	0.206	0.638	0.308	0.322	0.288	0.287	0.229	0.001
0.307	0.295	0.010	0.372	0.330	0.132	0.357	0.420	0.297
0.314	0.305	0.201	0.152	0.151	-0.268	0.137	0.277	0.157
0.237	0.319	0.225	0.255	0.099	0.510	0.104	0.174	-0.024
0.268	0.266	-0.056	0.146	0.298	-0.176	0.135	0.413	0.230
0.300	0.266	0.100	0.421	0.353	0.171	0.392	0.449	-0.187
0.415	0.330	0.252	0.473	0.392	-0.023	0.857	0.420	0.045
0.378	0.327	0.154	0.367	0.219	-0.317	0.336	0.353	-0.077
0.401	0.338	0.278	0.423	0.248	0.441	0.297	0.353	-0.183

Lampiran 4. Jarak Ideal Positif dan Negatif

ICE		HEV		PHEV	
d^{i+}	d^{i-}	d^{i+}	d^{i-}	d^{i+}	d^{i-}
1.805	0.446	2.282	0.000	2.422	0.121
1.787	0.591	1.265	1.278	1.548	1.395
1.941	0.384	1.276	1.142	1.558	1.264
1.474	0.804	1.610	0.899	1.692	1.241
1.718	0.576	1.488	1.164	1.651	1.284
1.086	1.118	1.146	1.163	1.603	0.899
1.051	1.177	0.841	1.474	1.130	1.820
1.130	1.100	0.697	1.629	1.210	1.419
0.908	1.293	1.165	1.245	1.362	1.667
0.873	1.341	0.940	1.686	1.438	1.435
0.863	1.338	0.896	1.436	1.256	1.272
0.682	1.508	0.499	1.831	0.863	1.825
0.841	1.453	0.422	1.879	0.785	1.781
0.558	1.633	1.008	1.274	0.971	1.714
0.485	1.702	0.541	1.822	1.121	1.437
0.432	1.782	0.732	1.595	0.979	1.567
0.235	2.028	0.286	2.007	0.764	1.731
0.639	1.688	0.397	1.937	0.527	2.072
0.450	1.812	0.875	1.468	0.800	1.799
0.450	1.792	0.365	2.049	0.936	1.598
0.713	1.611	0.766	1.610	0.758	1.922
0.554	1.721	0.345	2.002	0.796	1.781
0.386	1.916	0.534	1.933	0.415	2.194
0.485	1.833	0.852	1.609	0.754	1.766
0.361	1.928	0.167	2.139	0.857	1.677

Lampiran 5. ANOVA ICE

Taguchi Analysis: PCR-TOPSIS ICE versus A; B Linear Model Analysis: Means versus A; B Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,61337	0,009960	61,585	0,000
A 1	-0,37019	0,019919	-18,585	0,000
A 2	-0,06893	0,019919	-3,460	0,003
A 3	0,07738	0,019919	3,885	0,001
A 4	0,19203	0,019919	9,640	0,000
B 1	-0,05111	0,019919	-2,566	0,021
B 2	0,01028	0,019919	0,516	0,613
B 3	-0,04335	0,019919	-2,176	0,045
B 4	0,04218	0,019919	2,118	0,050

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	1,06730	1,06730	0,266826	107,60	0,000
B	4	0,04070	0,04070	0,010175	4,10	0,018
Residual Error	16	0,03968	0,03968	0,002480		
Total	24	1,14768				

Response Table for Means

Level	A	B
1	0,2432	0,5623
2	0,5444	0,6236
3	0,6907	0,5700
4	0,8054	0,6555
5	0,7831	0,6554
Delta	0,5622	0,0933
Rank	1	2

Lampiran 6. ANOVA HEV

Taguchi Analysis: PCR-TOPSIS HEV versus A; B
Linear Model Analysis: Means versus A; B
Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,64322	0,01521	42,284	0,000
A 1	-0,28878	0,03042	-9,492	0,000
A 2	-0,04339	0,03042	-1,426	0,173
A 3	0,06625	0,03042	2,178	0,045
A 4	0,13001	0,03042	4,273	0,001
B 1	-0,14672	0,03042	-4,822	0,000
B 2	0,08741	0,03042	2,873	0,011
B 3	0,07737	0,03042	2,543	0,022
B 4	-0,10047	0,03042	-3,302	0,004

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	0,62519	0,62519	0,156299	27,02	0,000
B	4	0,26019	0,26019	0,065048	11,24	0,000
Residual Error	16	0,09256	0,09256	0,005785		
Total	24	0,97795				

Response Table for Means

Level	A	B
1	0,3544	0,4965
2	0,5998	0,7306
3	0,7095	0,7206
4	0,7732	0,5427
5	0,7791	0,7256
Delta	0,4247	0,2341
Rank	1	2

Lampiran 7. ANOVA PHEV

Taguchi Analysis: PCR-TOPSIS PHEV versus A; B						
Linear Model Analysis: Means versus A; B						
Estimated Model Coefficients for Means						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	0,58054	0,01513	38,364	0,000		
A 1	-0,21452	0,03027	-7,088	0,000		
A 2	-0,06734	0,03027	-2,225	0,041		
A 3	0,03468	0,03027	1,146	0,269		
A 4	0,10536	0,03027	3,481	0,003		
B 1	-0,13204	0,03027	-4,363	0,000		
B 2	0,05041	0,03027	1,666	0,115		
B 3	0,08349	0,03027	2,759	0,014		
B 4	0,02046	0,03027	0,676	0,509		
Analysis of Variance for Means						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	0,41484	0,41484	0,103710	18,12	0,000
B	4	0,13931	0,13931	0,034828	6,08	0,004
Residual Error	16	0,09160	0,09160	0,005725		
Total	24	0,64575				
Response Table for Means						
Level	A	B				
1	0,3660	0,4485				
2	0,5132	0,6309				
3	0,6152	0,6640				
4	0,6859	0,6010				
5	0,7224	0,5582				
Delta	0,3563	0,2155				
Rank	1	2				

Lampiran 8. Surat Pernyataan Sumber Data**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMKSD ITS:

Nama : Rossy Budhi Pratiwi

NRP : 06211745000023

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir/ Thesis ini merupakan data sekunder yang diambil dari ~~penelitian / buku / Tugas Akhir / Thesis / publikasi lainnya~~ yaitu:

Nama : Bayu Adhi Saputro

NRP : 021113 4000 0046

Judul : Studi Experimental Pengaruh Penambahan Campuran Ethanol terhadap Performa dan Emisi Kendaraan Jenis Plug-In Hybrid, Hybrid dan Internal Combustion Engine

Keterangan : Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi, Departemen Teknik Mesin ITS

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui,
Pemilik Data



(Bayu Adhi Saputro)
NRP. 02111340000046

Surabaya, 27 Juni 2019



(Rossy Budhi Pratiwi)
NRP. 06211745000023

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rossy Budhi Pratiwi atau biasa dipanggil Ocik. Penulis merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara. Lahir di Kabupaten Malang, 26 Juli 1996. Riwayat pendidikan yang ditempuh penulis diantaranya TK PGRI 03 Sumberoto, SDN 02 Sumberoto, SMPN 01 Donomulyo, MAN 3 Malang, Diploma 3 Departemen Statistika Bisnis lalu melanjutkan Lintas Jalur di Departemen Statistika ITS. Masuk pada tahun 2017 sebagai mahasiswa baru dengan NRP 06211745000023. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti organisasi, pelatihan dan kepanitiaan. Organisasi yang diikuti oleh penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Diploma Statistika-ITS sebagai staf Hubungan Luar periode 2015/2016 dan ketua biro Internal Hubungan Luar periode 2016/2017. Organisasi lain yang penulis ikut bergabung didalamnya yaitu Gerakan Melukis Harapan sebagai Sekretaris Hubungan Masyarakat. Selain itu penulis juga aktif dalam Tim Futsal Putri HIMADATA-ITS tiga tahun berturut-turut. Cukup banyak kegiatan kepanitiaan dan pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis sehingga tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis sangat berharap akan kritik dan saran yang membangun sehingga untuk informasi dan komunikasi lebih lanjut maka penulis dapat dihubungi melalui :

ID Line : rossybudhipratiwi

Email : rossypratiwi7@gmail.com