

POTENSI PENAMBAHAN BUTANOL PADA BAHAN BAKAR TERHADAP PENINGKATAN KINERJA MOTOR MATIC SATU SILINDER

Gatot Setyono^{1*}, Dwi Khusna², Navik Kholili³, Lingga Putra Sanjaya⁴, Fajar Galang Argil Putra⁵

^{1,2,3,4,5} Prodi Teknik Mesin, Universitas Wijaya Putra

*Email: gatotsetyono@uwp.ac.id

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, menggunakan mesin-Spark Ignition (SI) empat langkah satu silinder dan bahan bakar rasio campuran butanol. Penelitian untuk menganalisa performa motor matic kapasitas kecil dengan memvariasikan empat jenis bahan bakar yaitu B0 (0 vol% butanol dan 100 vol% bensin), B5, B10 dan B15, kondisi operasi putaran mesin 4000 r/min dan 9000 r/min, posisi *full open-throttle*; dengan kondisi *ignition-timing* standar. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan meningkatnya rasio campuran-butanol, laju aliran massa bahan bakar meningkat. Daya keluaran, Efisiensi Termal (TE) dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) meningkat dengan penambahan rasio butanol. Pengujian performa mesin menghasilkan output daya dan efisiensi yang maksimal pada campuran 15% ethanol-bensin pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 8,15 kW. Rata-rata kenaikan tekanan cukup maksimal terjadi pada putaran 5000 rpm sebesar 893 kPa. Konsumsi bahan bakar spesifik telah menurun setidaknya 3,75% terhadap bahan bakar RON 90, kemudian campuran bensin-butanol (5% dan 10%) masing-masing berkurang sebesar 3,2% dan 2,4%.

Kata Kunci: butanol; bahan bakar; kinerja; motor matic

PENDAHULUAN

Saat ini, krisis energi dan peningkatan emisi gas buang yang mengalami kenaikan prosentasenya, hal tersebut mendorong eksplorasi bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil konvensional dari negara-negara di seluruh dunia [1], [2], [3], [4], [5]. Oleh karena itu, biofuel memiliki potensi yang besar terhadap bidang transportasi dan penyediaan energi lainnya. Saat ini, biofuel yang banyak digunakan adalah bio-diesel (terutama digunakan untuk mesin diesel) dan alkohol (terutama digunakan untuk mesin bensin). Bahan bakar alkohol tradisional adalah metanol dan etanol: metanol terutama disintesis dari beberapa bahan bakar fosil dan juga dapat diekstraksi dari biomassa; etanol dapat diperoleh dari tanaman (seperti jagung, barley, gula bit, gula merah, sorgum manis dan sebagainya.) atau jerami tanaman melalui fermentasi alkohol [6], [7]. Butanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$) mengandung empat isomer: iso-butanol, n-butanol, tert-butanol dan sec-butanol [8].

Butanol memiliki banyak keunggulan dibandingkan etanol dan metanol sebagai bahan bakar alternatif. Misalnya, butanol memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi daripada etanol dan metanol, sehingga konsumsi bahan bakar lebih sedikit dalam kondisi yang sama.

Butanol memiliki viskositas rendah, korosi kecil, pelumasan yang baik, dan tidak mudah larut dengan air. Sifat fisik butanol yang mirip dengan bensin dapat digunakan secara mandiri sebagai bahan bakar tanpa memodifikasi mesin, dan juga dapat dicampur dengan solar atau bensin [9], [10]. Selain itu, batas pengapian butanol yang bercampur dengan udara sangat lebar; lambda dapat diubah dalam kisaran 0,31 hingga 2,40. Dalam hal transportasi, butanol dapat diaplikasikan melalui pipa baja untuk menghemat biaya karena tidak ada efek korosif pada logam. Butanol dapat diproduksi dengan sintesis dan fermentasi [11]. Pada tahun 2019, kapasitas produksi n-butanol dunia adalah 6,343 juta ton; keluaran n-butanol adalah 4,168 juta ton; konsumsi n-butanol adalah 4,168 juta ton dan tingkat operasi pabrik rata-rata adalah 65,7%. Dengan perkembangan teknologi produksi butanol, butanol semakin kompetitif dengan bensin. Oleh karena itu, dapat diperkirakan bahwa penggantian bensin dengan butanol sangat mungkin terjadi dalam waktu dekat [12], [13].

Dalam beberapa tahun terakhir, bahan bakar butanol dalam mesin SI telah dipelajari oleh banyak peneliti. Namun, hasilnya bervariasi tergantung pada metode penelitian dan kondisi pengoperasian mesin [14], [15], [16], [17]. Di antara studi ini, campuran

butanol dan butanol/bensin menunjukkan banyak keuntungan yang membawa efek positif pada mesin SI. Misalnya, campuran butanol atau butanol/bensin menghasilkan pembakaran yang lebih cepat, emisi CO dan emisi hidrokarbon (HC) yang lebih rendah, serta efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin murni [18], [19].

Penelitian pada mesin turbocharged yang berbahan bakar empat jenis campuran n-butanol/bensin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan n-butanol dalam campuran, semakin tinggi tekanan efektif rata-rata (BMEP) dan BTE, tetapi semakin tinggi juga BSFC. Selain itu, emisi NOx dan karbon dioksida (CO₂) berkurang dengan meningkatnya fraksi n-butanol [20]. N-butanol, etanol, bensin dan campurannya dibakar dalam mesin SI untuk mengevaluasi kinerja mesin dan karakteristik pembakaran. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mesin berbahan bakar n-butanol memiliki performa yang hampir sama jika dibandingkan dengan mesin berbahan bakar bensin, seperti daya terindikasi, BSFC dan sebagainya, namun lebih baik dibandingkan dengan hydrous ethanol. Resirkulasi gas buang terbukti mengurangi emisi gas dan partikulat pada mesin butanol SI proporsi tinggi [21], [22].

Meskipun ada banyak jenis penelitian terkait tentang bahan bakar campuran butanol/bensin di mesin SI, dan sebagian besar penelitian terutama berfokus pada efek butanol pada mesin. Oleh karena itu, masih diperlukan untuk mengeksplorasi pengaruh parameter kontrol mesin terhadap peningkatan kinerja mesin SI yang berbahan bakar campuran butanol/bensin. Misalnya, lambda dan waktu percikan adalah parameter yang sangat penting untuk mesin SI, dan sangat mempengaruhi kinerja mesin. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan pada mesin SI yang berbahan bakar tiga jenis campuran butanol/bensin (5%, 10% dan 15%), rentang waktu percikan dan lambda yang besar pada putaran mesin 3000-8000 rpm dan posisi *full open throttle*. Penelitian sebelumnya digunakan untuk memperbaiki performa pada motor matic 1 silinder. Beberapa artikel telah mempelajari kinerja mesin berbahan bakar butanol/bensin dalam campuran kaya bahan bakar. Dalam penelitian ini, rasio bahan bakar-udara adalah 9:1 dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh campuran butanol/bensin pada kinerja mesin dalam campuran kaya bahan bakar. Oleh karena itu,

penting untuk mempelajari pengaruh rasio campuran butanol, waktu percikan dan lambda pada mesin SI berbahan bakar campuran butanol/bensin dalam makalah ini. Selain itu, mesin SI memiliki banyak parameter kinerja dan tidak memiliki metode untuk mengevaluasi kinerja mesin dengan mengintegrasikan beberapa parameter. Penelitian ini akan menganalisis secara kuantitatif pengaruh rasio campuran butanol.

METODE PENELITIAN

Bahan Bakar

Perbandingan sifat fisika dan kimia penelitian angka oktan (RON) 90 bensin, dan n-butanol ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat dari Tabel 2, n-butanol memiliki kandungan energi yang lebih tinggi dan suhu penyalaan otomatis lebih rendah dengan sifat-sifat bensin. Selain itu, n-butanol memiliki kecepatan nyala dan berat jenis laminar lebih besar daripada bensin. Dapat dilihat bahwa n-butanol memiliki keunggulan lebih dibandingkan bensin di banyak negara saat ini, sehingga n-butanol memiliki prospek aplikasi yang lebih besar sebagai bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini, bahan bakar campuran n-butanol/bensin adalah campuran n-butanol dan bensin RON 90. Tiga variasi bahan bakar campuran diuji dalam penelitian ini, yaitu B5 (perbandingan volume 5% n-butanol dan perbandingan volume bensin RON 90 95%), B10 (perbandingan volume 10% n-butanol dan perbandingan volume bensin RON 90 90%), B15 (perbandingan volume 15% n-butanol dan perbandingan volume bensin RON 90 85%) dan bensin murni RON 90 (B0). Sifat fisik dan kimia utama B5, B10 dan B15 dihitung berdasarkan sifat bahan bakar dan rasio volume campuran, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 juga. Dapat dilihat dari Tabel 2 bahwa dengan meningkatnya kandungan n-butanol dalam bahan bakar campuran, kandungan oksigen, kecepatan nyala laminar, dan panas laten penguapan meningkat secara signifikan. Densitas dan suhu penyalaan otomatis meningkat dengan meningkatnya kandungan n-butanol sedikit. Nilai kalor yang lebih rendah (LHV), bilangan oktan dan rasio stoikiometri udara/bahan bakar menurun dengan meningkatnya kandungan n-butanol. Sifat-sifat campuran butanol/bensin itu pasti akan mempengaruhi kinerja mesin.

Tabel 1. Karakteristik Bahan Bakar Yang Digunakan [23], [3], [1].

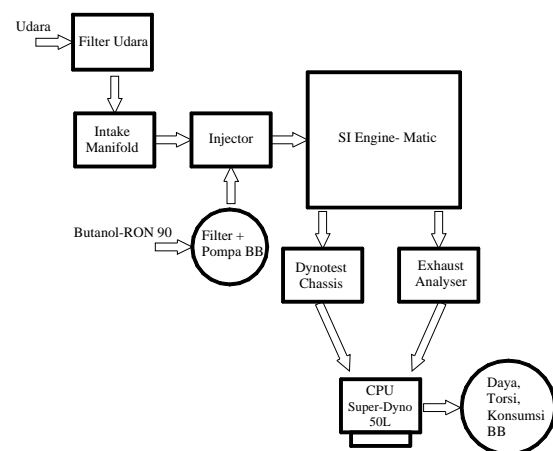
Spesifikasi	RON 90	N-Butanol
Kadar Oksigen (%)	1.01	21.5
Densitas (kg/m ³)	733	810
LHV (MJ/kg)	41.4	33.1
RON	91.3	87
Auto-Ignition Temperature (°C)	294	343
Latent Heat of Vaporization (kJ/kg)	410	716
Stoichiometric AFR (-)	14.5	11.2
Laminar flame velocity (cm/s)	30	48

Uji Performa Mesin

Penelitian ini menggunakan motor matic dengan rasio kompresi 10:1 dengan dimensi silinder panjang langkah 63,1 mm dan lubang 47 mm. Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 8,2 kW pada putaran mesin 8.500 r/menit, dan torsi 9,3 N·m pada putaran mesin 5.500 r/mnt. Kopling yang digunakan tipe kering sentrifugal otomatis. Oleh karena itu, pada percobaan ini mesin memiliki rasio transmisi tetap yang ditunjukkan pada Tabel-2. Pengujian unjuk kerja sepeda motor bensin matic telah dilakukan di Lab. Teknik Mesin Surabaya. Alat uji yang digunakan adalah single roller chassis dynamometer dengan tipe *Super-Dyno* 50L, sesuai dengan Gambar-1 yang ditunjukkan. Pengujian mesin ini dilakukan pada pembagian kecepatan putaran mesin antara 4000 hingga 9000 putaran per menit. Aliran uji pertama adalah dengan mengidentifikasi jumlah udara yang masuk ke *manifold* dan campuran bahan bakar diarahkan ke injektor, yang akan diteruskan ke ruang bakar, kemudian terjadi proses pembakaran yang mempengaruhi putaran mesin. Pengujian diamati pada dinamometer-sasis dan ditampilkan sebagai grafik daya atau torsi pada CPU- *Super-Dyno* 50L.

Tabel 2. Spesifikasi Motor Matic.

Detail	Spesifikasi
Kapasitas Mesin (cm ³)	: 4-Langkah, 124,8
Kompresi Rasio (CR)	: 10 : 1
Daya Maksimal (kW)	: 8,2 kW / 8.500 rpm
Berat Total (kg)	: 112 kg
Sistem Pendinginan	: Udara
Sistem Suplai Bahan Bakar	: Programmed Fuel Injection (PGM-FI)
Sistem Transmisi	: Matic
Model Kopling	: Automatic Centrifugal Clutch Dry Type
Sistem Pengapian	: Busi Iridium

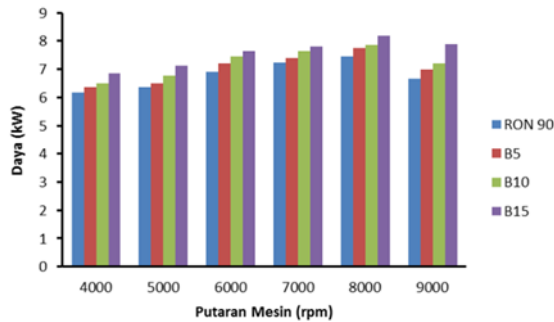


Gambar 1. Uji Performa *Dynotest-Chassis* Pada Motor Matic

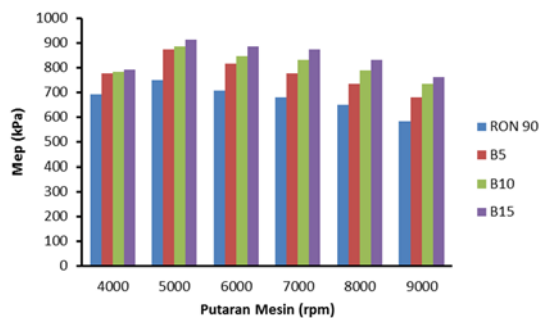
HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya keluaran merupakan ukuran dari kemampuan mesin-SI, tingkat konsumsi bahan bakar sangat berpengaruh terhadap kualitas proses pembakaran, oleh karena itu pada penelitian ini perlu dilakukan inovasi lagi dengan menambahkan bahan bakar-butanol. Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan bensin-butanol dapat meningkatkan tenaga mesin. Campuran bahan bakar dan butanol memiliki nilai kalor yang rendah sehingga menyebabkan proses pembakaran dan putaran mesin meningkat. daya output 8,18 kW meningkat pada putaran mesin 8000 rpm.

Campuran bahan bakar bensin-butanol meningkat sebesar 5% (B5), 10% (B10) dan 15% (B15). pada Gambar 3, nilai campuran bahan bakar tertinggi mempengaruhi tekanan efektif rata-rata yang terjadi di ruang bakar, dan hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai oktan bahan bakar. Peningkatan output daya berbanding lurus dengan peningkatan tekanan di ruang bakar.



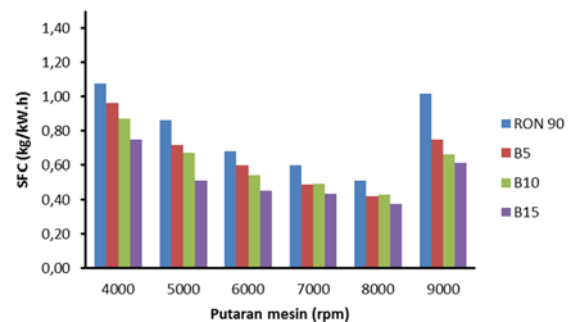
Gambar 2. Grafik Perbandingan Putaran Mesin Dengan Daya Output Pada Mesin Matic



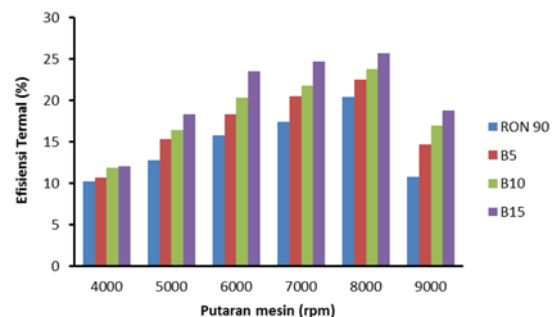
Gambar 3. Grafik Perbandingan Putaran Mesin Dengan Tekanan Efektif Rata-Rata (MEP) Pada Mesin Matic

Campuran bensin-butanol dapat mempengaruhi perubahan konsumsi bahan bakar spesifik. Dapat ditunjukkan pada Gambar 4, campuran butanol dapat menurunkan nilai kalor dan meningkatkan nilai oktan sehingga berdampak pada proses pembakaran yang meningkat di ruang bakar. Kondisi ini juga mempengaruhi keadaan konsumsi bahan bakar spesifik yang menurun. Campuran bensin-butanol (15%) menurun sebesar 3,75% terhadap bahan bakar RON 90, kemudian campuran bensin-butanol (5% dan 10%) masing-masing berkurang sebesar 3,2% dan 2,4% terhadap bahan bakar standar. Efisiensi termal berubah tergantung pada daya keluaran dan daya masukan yang terjadi di ruang bakar. Daya keluaran ditunjukkan dari pergerakan mekanisme poros mesin yang terhubung

dengan roda sepeda motor, sedangkan daya masukan ditunjukkan dari masuknya campuran bahan bakar-butanol dan udara ke dalam ruang bakar. Kemudian nilai efisiensi berbanding lurus dengan daya keluaran, dan efisiensi termal meningkat seiring dengan daya keluaran yang dihasilkan. Campuran bensin-butanol (15%) meningkat sebesar 3,2% terhadap bahan bakar standar, kemudian campuran bensin-butanol (5% dan 10%) masing-masing berkurang sebesar 1,8% dan 1,2% terhadap bahan bakar standar. Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Putaran Mesin Dengan Konsumsi bahan Bakar Spesifik (SFC) Pada Mesin Matic



Gambar 5. Grafik Perbandingan Putaran Mesin Dengan efisiensi Termal Pada Mesin Matic

KESIMPULAN

Bahan bakar campuran butanol merupakan alternatif yang optimal untuk bensin dalam mesin penyalan percikan. Kombinasi yang seimbang antara campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar akan berdampak pada proses pembakaran. Busi iridium yang optimal membantu penyalan ketika campuran bensin-butanol terjadi untuk proses pembakaran yang sempurna. Pengujian performa mesin menghasilkan *output* daya dan efisiensi yang maksimal pada campuran 15%

ethanol-bensin dengan putaran mesin 8000 rpm sebesar 8,15 kW. Rata-rata kenaikan tekanan cukup maksimal terjadi pada putaran 5000 rpm sebesar 893 kPa. Konsumsi bahan bakar spesifik telah menurun setidaknya 0,36 kg/kWh. Penggunaan variabel seperti variasi bahan bakar dan busi akan mempengaruhi kinerja mesin SI. Penelitian kedepan perlu mempertimbangkan faktor variabel lain seperti jumlah silinder, rasio kompresi, kapasitas silinder, waktu pengapian, dll, yang mempengaruhi kinerja mesin SI. Bagian ini berisi kesimpulan, dan atau *open problem*. Ditulis dalam bentuk esai, tidak diberi penomoran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Fakultas Teknik dan Program Studi Teknik Mesin Universitas Wijaya Putra (Hibah Penelitian Internal No. 01/SK/LPPM-UWP/V/2022). Para penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung pada penelitian ini baik internal dan eksternal di Universitas Wijaya Putra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setyono. G, "Hydroxy Gas (HHO) Supplement of Ethanol Fuel Mixture In A Single-Cylinder Spark-Ignition Matic-Engine," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 5, no. 2, pp. 114–121, Oct. 2020, doi: 10.33021/JMEM.V5I2.1136.
- [2] Setyono. G and A. A. Arifin, "Effect Of Ethanol-Gasoline Mixes On Performances In Last Generation Spark-Ignition Engines Within The Spark-Plug No Ground-Electrodes Type," *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 19–26, 2020, doi: <https://doi.org/10.12345/jm.v5i02.3003.g2577>.
- [3] Setyono. G and N. Kholili, "Combustion Conduct Of A Single-Cylinder Spark-Ignition Affected By Ethanol Fuel Mixtures of Supplement Hydroxy Gas (HHO)," *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 125–129, Dec. 2021, doi: 10.30630/JTM.14.2.669.
- [4] Setyono. G, "Pengaruh Penggunaan Variasi Elektroda Busi terhadap Performa Motor Bensin Torak 4 Langkah," *Kopertis 7*, vol. 2, no. 2, pp. 69–73, 2014.
- [5] G. Setyono, M. Ulum, and Z. Lillahulhaq, "An experiment on different type of muffler on spark Ignition engine 110 cc performance," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1010, no. 1, p. 012015, Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1010/1/012015.
- [6] N. Duarte Souza Alvarenga Santos, V. Rückert Roso, A. C. Teixeira Malaquias, and J. G. Coelho Baêta, "Internal combustion engines and biofuels: Examining why this robust combination should not be ignored for future sustainable transportation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 148, p. 111292, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111292.
- [7] C. Jiang, C. Wang, H. Xu, H. Liu, and X. Ma, "Engine performance and emissions of furan-series biofuels under stratified lean-burn combustion mode," *Fuel*, vol. 285, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119113.
- [8] Z. He, G. Liu, Z. Li, C. Jiang, Y. Qian, and X. Lu, "Comparison of four butanol isomers blended with diesel on particulate matter emissions in a common rail diesel engine," *J. Aerosol Sci.*, vol. 137, p. 105434, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.JAEROSCI.2019.105434.
- [9] M. Mohebbi, M. Reyhanian, V. Hosseini, M. F. Muhamad Said, and A. A. Aziz, "Performance and emissions of a reactivity controlled light-duty diesel engine fueled with n-butanol-diesel and gasoline," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 134, pp. 214–228, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.02.003.
- [10] X. Zhen, Y. Wang, and D. Liu, "Bio-butanol as a new generation of clean alternative fuel for SI (spark ignition) and CI (compression ignition) engines," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 2494–2521, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.10.119.
- [11] M. Brito and F. Martins, "Life cycle assessment of butanol production," *Fuel*, vol. 208, pp. 476–482, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.FUEL.2017.07.050.

- [12] Q. Tang, J. Fu, J. Liu, B. Boulet, L. Tan, and Z. Zhao, "Comparison and analysis of the effects of various improved turbocharging approaches on gasoline engine transient performances," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 93, pp. 797–812, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2015.09.063.
- [13] B. Deng, Q. Tang, and M. Li, "Study on the steam-assisted Brayton air cycle for exhaust heat recovery of internal combustion engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 125, pp. 714–726, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2017.07.039.
- [14] A. R. Patil and A. D. Desai, "Parametric optimization of engine performance and emission for various n-butanol blends at different operating parameter condition," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 2, pp. 851–864, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.AEJ.2020.02.006.
- [15] H. Kukharonak, V. Ivashko, S. Pukalskas, A. Rimkus, and J. Matijošius, "Operation of a Spark-ignition Engine on Mixtures of Petrol and N-butanol," *Procedia Eng.*, vol. 187, pp. 588–598, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.04.418.
- [16] G. Dhamodaran, G. S. Esakkimuthu, Y. K. Pochareddy, and H. Sivasubramanian, "Investigation of n-butanol as fuel in a four-cylinder MPFI SI engine," *Energy*, vol. 125, pp. 726–735, Apr. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.02.134.
- [17] M. Mourad and K. Mahmoud, "Investigation into SI engine performance characteristics and emissions fuelled with ethanol/butanol-gasoline blends," *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 762–771, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.05.064.
- [18] B. Deng *et al.*, "Molecular structure of glycogen in diabetic liver," *Glycoconjugate J. 2015 323*, vol. 32, no. 3, pp. 113–118, Mar. 2015, doi: 10.1007/S10719-015-9578-6.
- [19] S. S. Merola, C. Tornatore, A. Irimescu, L. Marchitto, and G. Valentino, "Optical diagnostics of early flame development in a DISI (direct injection spark ignition) engine fueled with n-butanol and gasoline," *Energy*, vol. 108, pp. 50–62, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.ENERGY.2015.10.140.
- [20] D. Feng, H. Wei, M. Pan, L. Zhou, and J. Hua, "Combustion performance of dual-injection using n-butanol direct-injection and gasoline port fuel-injection in a SI engine," *Energy*, vol. 160, pp. 573–581, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.07.042.
- [21] F. L. Sanjaya, Syaiful, and D. N. Sinaga, "Effect of Premium-Butanol Blends on Fuel Consumption and Emissions on Gasoline Engine with Cold EGR System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, p. 012019, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012019.
- [22] L. Zhao, W. Qi, X. Wang, and X. Su, "Potentials of EGR and lean mixture for improving fuel consumption and reducing the emissions of high-proportion butanol-gasoline engines at light load," *Fuel*, vol. 266, p. 116959, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2019.116959.
- [23] Q. Tang, P. Jiang, C. Peng, H. Chang, and Z. Zhao, "Comparison and analysis of the effects of spark timing and lambda on a high-speed spark ignition engine fuelled with n-butanol/gasoline blends," *Fuel*, vol. 287, p. 119505, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.119505.