



WHITE PAPER

DESEMBER 2021

KOMPATIBILITAS CAMPURAN BAHAN BAKAR METANOL PADA KENDARAAN DAN MESIN BERBAHAN BAKAR BENSIN DI INDONESIA

Abigail Martin dan Jane O'Malley

www.theicct.org

communications@theicct.org

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

BEIJING | BERLIN | SAN FRANCISCO | SÃO PAULO | WASHINGTON



icct
THE INTERNATIONAL COUNCIL
ON CLEAN TRANSPORTATION

ACKNOWLEDGMENTS

Studi ini mendapatkan dukungan yang luar biasa dari David and Lucile Packard Foundation. Terima kasih kami sampaikan kepada John German, Tenny Kristiana, dan Stephanie Searle atas ulasan yang bermanfaat.

International Council on Clean Transportation
1500 K Street NW, Suite 650
Washington, DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2021 International Council on Clean Transportation

RANGKUMAN EKSEKUTIF

Mandiri dalam hal energi merupakan topik yang menarik perhatian yang semakin besar di Indonesia, dan apalagi saat ini Indonesia merupakan negara yang mengimpor bensin lebih besar daripada mengekspornya (*net importer*). Untuk membantu menutup defisit antara konsumsi bensin dengan persediaan dalam negeri, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) bersama dengan perusahaan minyak milik negara, Pertamina, mempertimbangkan untuk mencampurkan 20% alkohol, atau A20, ke dalam bensin dengan menggunakan alkohol produksi dalam negeri. A20 adalah alkohol tingkat menengah yang dicampurkan ke dalam bensin yang terdiri atas metanol 15% dan etanol 5%.

Studi ini mengkaji literatur untuk menyoroti keuntungan-keuntungan dan risiko-risiko yang berkaitan dengan penggunaan campuran bensin dan metanol tingkat menengah pada kendaraan ringan tanpa modifikasi, kendaraan beroda dua dan tiga, dan mesin-mesin kecil seperti yang ditemukan pada peralatan pemotong rumput dan konstruksi. Kami menemukan bukti bahwa campuran bensin dan metanol dapat meningkatkan sifat-sifat terkait kinerja seperti angka oktan, daya dan torsi, serta emisi pembakaran, tergantung pada konfigurasi mesin. Namun demikian, manfaat-manfaat tersebut dapat terkalahkan oleh penurunan kandungan volume energi, peningkatan fase risiko pemisahan, peningkatan korosi material, dan peningkatan volatilitas bahan bakar, yang seluruhnya disebabkan oleh metanol. Kondisi-kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, masa pakai material yang lebih singkat, kendaraan mogok, dan masalah-masalah kelincahan berkendara (*drivability*) lainnya.

Salah satu hal yang menjadi perhatian utama terkait campuran metanol tingkat menengah adalah kompatibilitas material. Alkohol seperti metanol lebih bersifat korosif dibandingkan dengan bensin, dan hal ini menyebabkan kerusakan lebih cepat pada logam, logam campuran, dan polimer yang ada pada sistem bahan bakar kendaraan dan peralatan serta infrastruktur pengisian bahan bakar retail. Kerusakan material dapat menyebabkan masa pakai yang lebih singkat, risiko kebocoran bahan bakar, risiko bahaya kebakaran, dan peningkatan endapan pada sistem bahan bakar. Beberapa masalah tersebut dapat menyebabkan penurunan kelincahan berkendara (*drivability*) kendaraan dan peningkatan risiko kerusakan mesin.

Beberapa negara telah berhasil mengatasi berbagai risiko yang mungkin timbul tersebut dengan mengambil langkah-langkah pencegahan sementara melakukan uji armada dengan menggunakan campuran metanol atau ketika mencampurkan metanol ke dalam bahan bakar transportasi. Negara-negara tersebut meliputi, tetapi tidak terbatas pada, Cina, Israel, dan Italia. Langkah-langkah untuk mengurangi risiko-risiko kompatibilitas meliputi penggunaan campuran bensin dan metanol hanya pada kendaraan yang kompatibel dengan metanol (yaitu, bahan bakar fleksibel) atau penggunaan pada kendaraan yang lebih baru; pembatasan paparan bahan bakar terhadap udara, kontaminan, dan air; pengurangan kandungan sulfur dan aromatik pada bahan bakar; pembaharuan material-material yang tidak kompatibel dengan alkohol pada infrastruktur pengisian bahan bakar transportasi, tempat penyimpanan dan di SPBU; serta penambahan penghambat laju korosi dan pelarut seperti etanol pada bahan bakar. Modifikasi-modifikasi tersebut seluruhnya hadir dengan biaya tambahan dan memerlukan baik tenaga maupun perhatian.

Sementara itu, semua kendaraan yang tidak dimodifikasi pada tingkat tertentu tidak kompatibel dengan alkohol, Indonesia akan menghadapi berbagai tantangan, khususnya dalam memperkenalkan A20. Tantangan-tantangan tersebut meliputi tingginya kandungan sulfur dan aromatik pada bahan dasar bensin di Indonesia, relatif tingginya persentase kendaraan yang lebih tua, khususnya yang tidak kompatibel dengan alkohol dan mesin-mesin kecil pada armada, serta peningkatan risiko yang disebabkan oleh iklim Indonesia yang panas dan lembab, seperti peningkatan

kontaminasi air melalui kondensasi, peningkatan kemungkinan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) melalui penguapan bahan bakar, dan laju korosi yang semakin tinggi. Risiko yang mungkin timbul serta modal dan tambahan biaya pemeliharaan yang berkaitan dengan penggunaan A20 diprediksi mungkin cukup besar.

DAFTAR ISI

Rangkuman Eksekutif	i
Pendahuluan	1
Pencampuran alkohol dan kualitas bahan bakar	2
Dampak metanol terhadap kinerja kendaraan penumpang	3
Daya dan torsi.....	3
Kandungan energi volumetrik	4
Emisi gas buang.....	4
Pemisahan fase	5
Volatilitas	6
Masalah kompatibilitas material dengan metanol	8
Korosi	8
Degradasi polimer	10
Modifikasi yang diperlukan untuk kelancaran transisi pada penggunaan campuran bensin dan metanol tingkat menengah	15
Kesimpulan	17
Referensi	18

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan pasar bensin terbesar kesembilan di dunia dan sangat bergantung pada impor bahan bakar (U.S. Energy Information Administration, 2021). Antara tahun 2013 dan 2018, Indonesia mengimpor kurang lebih 320.000 barel bensin per hari ((Xie & Harjono, 2020a), setara dengan 57% konsumsi tahunan. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor dan memperkuat ketahanan energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) bersama dengan perusahaan minyak milik negara, Pertamina, mempertimbangkan untuk mencampurkan alkohol dengan bensin (Widyawati, 2020). Campuran bensin dan alkohol yang diusulkan, akan terdiri dari 80% bensin, 15% metanol menurut volume, dan 5% etanol menurut volume (Meilanova, 2021). Campuran ini akan digunakan pada semua produk utama bensin yang dijual, termasuk Premium milik Pertamina¹ (RON 88), Peralite (RON 90), dan Pertamax (RON 92). Campuran A20 juga akan digunakan pada pemilik SPBU yang lebih kecil termasuk Shell, AKR, dan Vivo.

Sepeda motor merupakan kendaraan yang paling lazim dijumpai di jalan di Indonesia. Pada tahun 2018, Badan Pusat Statistik Indonesia melaporkan bahwa armada kendaraan bermotor terdiri dari 84% sepeda motor dan 12% mobil penumpang (Badan Pusat Statistik, 2019). Meskipun mengonsumsi lebih sedikit energi dibandingkan dengan kendaraan penumpang, sepeda motor tetap bertanggung jawab atas sebagian besar kebutuhan energi Indonesia. Pada tahun 2018, sepeda motor mengonsumsi 41% total kebutuhan energi di sektor transportasi dan kendaraan penumpang hanya mengonsumsi 12% (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Sepeda motor dan kendaraan beroda tiga dengan kapasitas mesin lebih besar dari 50 sentimeter kubik (cm³) telah mengikuti standar emisi Euro 3 sejak tahun 2013 dan kendaraan dengan kapasitas mesin (*engine*) kurang dari 50 cm³ telah mengikuti standar Euro 2 sejak tahun 2005 (Shao *et al*, 2020). Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah mendiskusikan penggunaan standar Euro 5 untuk sepeda motor untuk tahun mendatang. Sejak tahun 2018, seluruh kendaraan bensin baru yang dijual di Indonesia mengikuti standar emisi Euro 4 dengan tujuan untuk mengimplementasikan standar Euro 4/IV untuk semua kendaraan, termasuk kendaraan yang menggunakan diesel, di tahun depan (Xie & Harjono, 2020b). Namun demikian, pemerintah akan mengambil waktu tiga tahun lagi untuk mengamankan batas sulfur bahan bakar terkait standar Euro 4/IV (50 ppm). Baik kendaraan penumpang maupun sepeda motor yang saat ini berada di jalan memiliki tahun model dan standar emisi yang berbeda-beda, maka kita perlu mempertimbangkan dampak bahan bakar campuran metanol pada berbagai konfigurasi mesin dan komponen kendaraan.

Infrastruktur dan armada kendaraan di Indonesia saat ini tidak dirancang untuk menggunakan bahan bakar alkohol. Sudah diketahui secara umum bahwa penggunaan campuran bensin dan gas tingkat menengah pada infrastruktur pengisian bahan bakar dan kendaraan yang tidak dimodifikasi dapat menyebabkan penurunan kinerja berkendara dan permasalahan kompatibilitas material pada pompa di SPBU dan sistem bahan bakar, terutama pada kendaraan yang lebih tua. Metanol juga dapat menurunkan kinerja mesin pada mesin yang kecil seperti mesin pemotong rumput dan peniup daun (Arendt, 2019). Modifikasi pada kendaraan dan infrastruktur pengisian bahan bakar dapat mengurangi risiko-risiko tersebut, tetapi modifikasi ini memerlukan biaya tambahan dan perhatian. Kajian ini mengeksplorasi pertimbangan-pertimbangan tersebut di literatur dan mendiskusikan permasalahan kompatibilitas kendaraan terhadap metanol dalam konteks Indonesia. Kami memadukan hasil dari hampir 30 kajian kinerja kendaraan, kompatibilitas material, dan emisi gas buang yang dilakukan menggunakan campuran bensin dan alkohol. Kami mempertimbangkan kajian dari wilayah mana pun di dunia, tetapi kami menyoroti penggunaan riil di Cina, Italia, dan Israel.

¹ Berbeda dengan di Amerika Serikat, gas “Premium” Pertamina memiliki angka oktan terendah dari seluruh bensin yang dijual di pasar.

PENCAMPURAN ALKOHOL DAN KUALITAS BAHAN BAKAR

Mencampur alkohol seperti metanol dan etanol dengan bensin dapat meningkatkan kualitas bensin. Alkohol termasuk bebas sulfur dan dapat membantu mengurangi konsentrasi sulfur pada bahan bakar ketika dicampurkan ke dalam bensin. Sulfur dalam bensin tidak diinginkan karena menimbulkan polusi udara dan mempengaruhi kinerja sistem kendali emisi kendaraan seperti konverter katalis (Methanol Institute, 2016). Sesuai dengan standar Euro 2 untuk kendaraan penumpang yang berlaku di Indonesia saat ini, kandungan sulfur pada sebagian besar bensin yang dijual saat ini dibatasi hingga 500 ppm. Batas sulfur 500 ppm ini berlaku untuk bahan bakar termasuk Premium (RON 88), Pertalite (RON 90), dan Pertamax (RON 92) milik Pertamina. Di antara dari ketiga bahan bakar ini, Pertalite adalah yang paling populer dan menguasai hampir 70% pasar (Xie & Harjono, 2020b). Satu-satunya bahan bakar yang mematuhi batas sulfur Euro 4/IV sebesar 50 ppm saat ini hanya Pertamax Turbo and Racing (RON 95+) milik Pertamina dan bahan bakar bernilai oktan tinggi yang dijual oleh SPBU lainnya. Apabila dihitung, bahan bakar tersebut hanya menjangkau 1% pasar bensin.

Keuntungan lain dari metanol adalah angka oktannya yang tinggi dibandingkan dengan bensin (Singh *et al.*, 2020). Angka oktan yang lebih tinggi mengurangi *knocking*, yang terjadi apabila terdapat pembakaran prematur dan tidak merata pada mesin. *Knocking* dapat merusak piston dan dinding silinder kendaraan (CarsDirect, 2013). Meskipun oktan bahan bakar juga dapat ditingkatkan dengan menambahkan kandungan aromatik, hal ini sering kali tidak berani dilakukan oleh karena tingginya toksisitas dan bahaya kesehatan dari aromatik (U.S. Environmental Protection Agency, 2013). Banyak negara selain Indonesia membatasi kandungan aromatik bahan bakar secara keseluruhan sebesar 35% menurut volume dan secara khusus membatasi kandungan bensol antara 0,8% hingga 1% menurut volume. Sementara itu, sebagian besar bensin yang dijual di pasar Indonesia memiliki batas aromatik 40% dan batas bensol 5%. RON 88 tidak memiliki batas kandungan bensol atau aromatik secara keseluruhan.

Karena metanol bertindak sebagai peningkat oktan dan tidak mengandung campuran aromatik, metanol dapat membantu mencapai standar emisi terbaru dan kualitas bahan bakar. Namun demikian, pencampuran bensin dan metanol menurut persentase volume masih sangat terbatas di Amerika Serikat dan Eropa karena masalah korosi pada material. Fuel Quality Directive atau Pedoman Mutu Bahan Bakar milik Uni Eropa (2009/30/EC) membatasi kandungan metanol dalam bensin hingga 3% menurut volume. Di Amerika Serikat, hanya hingga 0.3% metanol dapat dicampurkan ke dalam bensin menurut volume atau hingga 2.75% menurut volume apabila dicampurkan dengan pelarut lain (IEA-AMF, n.d.).

DAMPAK METANOL TERHADAP KINERJA KENDARAAN PENUMPANG

Campuran bensin dan metanol tingkat menengah seperti A20 dapat mempengaruhi kinerja kendaraan dalam beberapa cara, termasuk kelincihan berkendara. Kelincihan berkendara dianggap meningkat apabila kondisi berkendara dan akselerasi lebih halus dan stabil, dan penurunan kelincihan berkendara terjadi apabila sering terjadi kondisi mesin sulit menyala, sentakan, mesin kasar saat tidak bergerak (*idle*), atau mogok (Publow & Grinberg, 1978; Koenig *et al.*, 1976; Agarwal *et al.*, 2021). Dampak pencampuran metanol terhadap kelincihan berkendara dan parameter kinerja bahan bakar lainnya dibahas di bawah ini.

DAYA DAN TORSI

Daya dan torsi yang lebih besar diperlukan untuk operasi kendaraan karena memungkinkan akselerasi yang lebih cepat pada segala kecepatan, kecepatan maksimum yang lebih tinggi, dan kemampuan untuk menahan muatan yang lebih besar (Anand, 2020). Alkohol, khususnya metanol, secara umum dapat diharapkan untuk menghasilkan daya dan torsi yang lebih tinggi oleh karena meningkatnya resistensi ketukan, meningkatnya penyerapan panas, dan lebih tingginya kecepatan pembakaran laminar. Kecepatan pembakaran laminar adalah kecepatan reaksi oksidasi selama pembakaran dan berkaitan dengan efisiensi pembakaran. Namun demikian, penambahan alkohol tidak menjamin daya dan torsi yang lebih tinggi pada semua mesin. Apabila sistem bahan bakar tidak dapat meningkatkan volume bahan bakar yang disalurkan, daya dan torsi dapat menurun. Dampak-dampak ini khususnya penting untuk bahan bakar berbasis alkohol oleh karena kandungan oksigen yang tinggi pada bahan bakar tersebut.

Berbeda dengan bensin, alkohol mengandung oksigen, dan hal ini mengubah rasio udara dan bahan bakar pembakaran (*air-to-fuel ratio*/AFR). Apabila sistem bahan bakar tidak dapat mengkompensasi bahan bakar yang mengalami oksigenasi tinggi, hal ini dapat menyebabkan campuran yang terlalu buruk (*overly lean mixture*). Mesin mencapai daya terbesarnya saat kekayaan bahan bakar mencapai kurang lebih 10%; dengan demikian, pembakaran bahan bakar dengan adanya oksigen sisa akan mengurangi daya maksimum (Heywood, 2001). Kurang lebih 50% kandungan metanol adalah oksigen dan kurang lebih sepertiga kandungan etanol adalah oksigen (Robert Bosch GmbH, 1995). Guna memelihara AFR stoikiometri untuk setiap bahan bakar, penyaluran metanol harus meningkat 131% dibandingkan dengan bensin sementara etanol harus meningkat 64%.² Untuk A20, ini berarti keseluruhan penyaluran bahan bakar harus ditingkatkan hingga kurang lebih 16,2%. Apabila mesin dilengkapi sensor oksigen (yaitu, operasi lup tertutup), mesin dapat menyalurkan tambahan bahan bakar untuk mengoptimalkan AFR dan meningkatkan kinerja. Kendaraan yang lebih baru cenderung memiliki lup tertutup dan oleh karenanya dapat menyesuaikan bahan bakar yang disalurkan untuk secara otomatis memelihara AFR.

Alkohol juga memiliki keluaran energi yang cukup tinggi untuk sejumlah tertentu aliran udara ke dalam mesin oleh karena tingginya rasio hidrogen dan karbon yang dimilikinya. Untuk etanol, peningkatan energi stoikiometri secara teori adalah 3,2% dan untuk metanol adalah 6,7%. Dengan demikian, peningkatan kinerja secara teori untuk A20 adalah 3,2% untuk etanol dikali 5% kandungan ditambah 6,7% untuk metanol dikali 15% kandungan, atau sekitar 1,2% secara keseluruhan. Namun demikian, peningkatan daya dan torsi ini hanya terjadi apabila injektor bahan bakar atau karburator dapat menyalurkan lebih banyak bahan bakar dari pada yang dirancang. Di samping itu

² Tingkat aliran bahan bakar dihitung berdasarkan AFR stoikiometri untuk setiap jenis bahan bakar. Ini setara dengan 14.8:1 untuk bensin, 9.0:1 untuk etanol, dan 6.4:1 untuk metanol.

sistem lup tertutup dapat beroperasi lemah selama kondisi katup penutup terbuka penuh (Knoll *et al.*, 2009), sehingga berpele bensin saja (Xlaofu, 1989). Dengan demikian, kendaraan yang lebih tua, dan kendaraan beroda dua dan tiga yang tidak dapat menyesuaikan aliran bahan bakar untuk memelihara kinerja AFR, mengalami masalah kinerja saat beroperasi menggunakan campuran metanol. Meskipun tidak jelas bagaimana kondisi mesin yang lebih tua secara umum di jalan Indonesia saat ini, diperkirakan 85% kendaraan di negara tersebut menggunakan teknologi model lama seperti karburator pada tahun 2001 (Steckdaub & Sekartini, 2001).

KANDUNGAN ENERGI VOLUMETRIK

Metanol mengandung sekitar setengah dari energi bensin secara volumetrik dan dengan demikian sebuah tangki yang berisi bahan bakar campuran metanol akan menawarkan jarak berkendara yang lebih pendek dibandingkan dengan tangki yang sama diisi dengan bensin. Kandungan energi volumetrik yang lebih rendah ditunjukkan pada uji lapangan dan *bench test* di Cina di mana truk model Jiefang dan Dongfeng secara bersama-sama berkendara sejauh 34.000-50.000 km menggunakan M15 dan mengonsumsi masing-masing 2%-4% dan 2%-7% lebih banyak bahan bakar (Xlaofu, 1989). Pada uji dinamometer casis, Eyidogan *et al.* (2010) juga melaporkan bahwa kendaraan ringan yang beroperasi menggunakan campuran metanol memerlukan lebih banyak bahan bakar untuk mencapai tingkat daya roda yang sama.

Satu pengukuran yang menunjukkan penurunan kandungan energi volumetrik metanol selama operasi mesin adalah konsumsi bahan bakar khusus rem (*brake specific fuel consumption*/BSFC). BSFC merupakan fungsi laju dan daya alir massa dan digunakan untuk mengukur efisiensi termis mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*/ICE). BSFC yang lebih rendah berkaitan dengan peningkatan efisiensi mesin.

Sebuah studi yang dilakukan di Universitas Negeri Jakarta menguji sebuah mesin pada nilai RPM yang tinggi yaitu 5.000 hingga 8.500 RPM dan mendapati bahwa BSFC, rata-rata, 63% lebih tinggi untuk M30 (metanol 30% dan Pertalite 70%) dibandingkan dengan Pertalite 100% (Wayan Sugita *et al.*, 2019). Angka ini lebih tinggi daripada 30% peningkatan BSFC yang diharapkan secara teori. Studi-studi yang dilakukan di Cina dan Turki juga melihat kecenderungan peningkatan BSFC dengan campuran bahan bakar alkohol; sebuah studi mengamati BSFC 1% lebih tinggi menurut massa dengan penggunaan M15 dibandingkan dengan bensin (Xlaofu, 1989) dan studi lainnya mencatat BSFC 3,3% dan 1,2% lebih tinggi dengan penggunaan M10 masing-masing pada kecepatan 80 dan 100 km/jam (Eyidogan *et al.*, 2010). Kecenderungan lain yang terpantau melalui studi-studi tersebut adalah bahwa peningkatan BSFC lebih besar ketika kendaraan dioperasikan pada kecepatan yang lebih tinggi.

Meskipun campuran bensin dan alkohol memiliki kandungan energi volumetrik yang lebih rendah dan dengan demikian BSCF yang lebih tinggi, dampak ini diringankan dengan pembakaran bahan bakar yang lebih efisien. Ini sebabnya peningkatan BSFC umumnya terlihat berdampingan dengan peningkatan efisiensi termis rem, fungsi efisiensi termis dan mekanis, ketika kendaraan menggunakan campuran bensin dan alkohol (Ijaz Malik *et al.*, 2021). Oleh karena peningkatan konsumsi bahan bakar yang terlihat pada kendaraan yang menggunakan campuran bensin dan metanol, peningkatan efisiensi pembakaran tidak sepenuhnya menggantikan kandungan energi volumetrik yang hilang.

EMISI GAS BUANG

Kandungan oksigen yang tinggi pada metanol dan kurangnya ikatan antar karbon cenderung menghasilkan pembakaran yang lebih bersih, lebih efisien, dan bebas jelaga (Ijaz Malik *et al.*, 2021). Namun demikian, manfaat emisi sangat bergantung pada moda pengoperasian mesin.

Untuk kendaraan dengan konverter katalis “tiga arah”, yang lazim sejak tahun 1980-an, sangat penting untuk memelihara AFR stoikiometri ketika alkohol dan tambahan oksigennya ditambahkan pada bensin. Apabila aliran bahan bakar tidak meningkat untuk memelihara stoikiometri (yaitu, operasi lup terbuka), mesin akan beroperasi lemah dan tidak akan terdapat penurunan NO_x (Campbell *et al.*, 2000). Berbeda dengan NO_x , emisi gas buang HC dan CO diharapkan mencapai angka terendah selama operasi lup terbuka. Hal ini karena kandungan oksigen yang tinggi pada alkohol menghasilkan kondisi pembakaran yang lemah yang memfasilitasi oksidasi CO dan HC. Selama operasi lup terbuka apabila AFR terpelihara, penurunan HC dan CO diharapkan berkurang.

Sebuah studi yang dilakukan oleh para peneliti di Pakistan menemukan bahwa penggunaan M12 sebagai ganti bensin menurunkan emisi CO dan HC, tetapi meningkatkan emisi NO_x hingga lebih dari 30% (Ijaz Malik *et al.*, 2021); hal ini menunjukkan mesin tidak memiliki kendali lup tertutup. Studi laboratorium lain yang menggunakan mesin sepeda motor dengan Pertalite sebagai bensin dasar menemukan bahwa M30 menghasilkan lebih sedikit emisi CO dan HC daripada bensin pada sebagian besar RPM yang diujicobakan (Wayan Sugita *et al.*, 2019). Pada uji armada menggunakan M15 di Israel, para produsen mobil mengamati penurunan emisi CO, HC dan kadar partikular (PN) dengan sedikit perubahan pada emisi NO_x dibandingkan dengan bensin RON 95 (Antverg *et al.*, 2017). Pengamatan yang sama terlihat pada studi yang dilakukan di Shaanxi, Cina (Liu *et al.*, 2007). Secara umum, emisi HC dan CO menurun, dan emisi NO_x bervariasi dengan campuran bensin dan metanol.

PEMISAHAN FASE

Pada campuran bensin dan alkohol, pemisahan fase terjadi ketika kandungan air pada bahan bakar melampaui batas kritis (Lojkásek *et al.*, 1992). Setelah dilakukan pemisahan, bahan bakar membentuk dua lapisan: lapisan terkonsentrasi bensin serta lapisan terkonsentrasi air dan alkohol. Campuran bensin dengan metanol dan etanol rentan mengalami pemisahan fase karena kemampuan Alkohol untuk menyerap dan bercampur dengan air. Alkohol dapat sepenuhnya bercampur dengan air oleh karena momen dipolnya yang tinggi (Olah *et al.*, 2009). Apabila sebuah molekul memiliki momen dipol yang tinggi, berarti molekul tersebut bersifat polar atau memiliki kutub positif dan negatif. Untuk metanol dan etanol, oksigen pada kelompok hidroksil alkohol (-OH) berkutub negatif sementara karbon dan hidrogen pada kelompok hidroksil berkutub positif. Polaritas metanol dan etanol merupakan hal yang penting karena membantu kedua senyawa membentuk ikatan hidrogen dengan dan sepenuhnya bercampur dengan air (Bharath & Arul Mozhi Selvan, 2021). Sementara itu, bensin terutama terdiri atas molekul-molekul hidrokarbon, sehingga memiliki momen dipol yang rendah atau bersifat non polar, dan oleh karenanya tidak bercampur dengan air (Klein, 2020). Ini sebabnya kelebihan air pada campuran bensin dan alkohol mengakibatkan terbentuknya lapisan yang terpisah antara bensin dengan air dan alkohol.

Satu alasan mengapa pemisahan fase tidak diinginkan adalah karena korosifitas akan meningkat pada bagian dasar tangki, di mana lapisan air dan alkohol yang bersifat polar mengendap (Agarwal *et al.*, 2021). Alasan lainnya adalah bahwa lapisan atas dari bensin terkonsentrasi akan memiliki angka oktan yang lebih rendah karena terdapat lebih sedikit metanol. Apabila pemisahan fase terjadi sebelum memasuki kendaraan, misalnya pada tangki penyimpanan bawah tanah, hal ini dapat menghasilkan bahan bakar yang tidak sesuai spesifikasi yang harus dibuang oleh stasiun pengisi bahan bakar umum; hal tersebut juga dapat menyebabkan tangki mengalami korosi berat. Dampak-dampak ini pada akhirnya dapat menyebabkan penutupan sementara pada stasiun-stasiun pengisian bahan bakar (Jain, 2015). Apabila terjadi pada tangki bahan bakar kendaraan, hal ini dapat menyebabkan peningkatan ketukan, kendaraan mogok, dan kerusakan mesin (Franklin Fueling Systems, n.d.; Gas Devices, 2019). Pemisahan fase dapat menimbulkan biaya layanan dan perbaikan yang tinggi bagi stasiun-stasiun

pengisian bahan bakar dan para pemilik kendaraan, dengan oleh karenanya harus dipikirkan secara serius.

Satu faktor penting yang mempengaruhi risiko pemisahan fase adalah suhu. Ketika suhu menurun, tingkat toleransi air, atau daya tampung air pada bahan bakar, menurun, dan ini berarti kemungkinan pemisahan fase meningkat (Lantz, 2019; Linder, 2012). Suhu yang lebih rendah menurunkan tingkat toleransi air karena ketika suhu menurun, lebih banyak ikatan hidrogen terbentuk antara air dan alkohol, disebabkan oleh jarak antar molekul yang lebih dekat. Meskipun iklim Indonesia umumnya sangat panas dan bahan bakarnya memiliki tingkat toleransi air yang lebih tinggi dibandingkan dengan negara-negara dengan iklim yang lebih dingin, pemisahan fase tetap menjadi perhatian karena tingkat kelembaban yang tinggi di Indonesia meningkatkan kemungkinan terjadinya kontaminasi air. Dengan kata lain, meskipun kondisi cuaca di Indonesia mendukung tingkat toleransi air yang lebih tinggi, kondisi cuaca juga meningkatkan kemungkinan air memasuki bahan bakar, dan hal tersebut meningkatkan kemungkinan terjadinya pemisahan fase.

Faktor lain yang mempengaruhi kemungkinan terjadinya pemisahan fase adalah jumlah alkohol yang dicampurkan. Risiko pemisahan fase lebih tinggi pada bahan bakar dengan campuran metanol dalam jumlah rendah hingga menengah, seperti A20, dibandingkan dengan campuran metanol dengan jumlah tinggi. Hal ini karena campuran dengan tingkat yang lebih tinggi (lebih besar dari 30%) telah meningkatkan toleransi air (Menrad & Nierhauve, 1983).

VOLATILITAS

Salah satu masalah terbesar dari bahan bakar campuran metanol adalah volatilitas yang tinggi. Tekanan uap Reid, atau RVP, mengukur volatilitas bahan bakar; semakin tinggi RVP, semakin besar kemungkinan bahan bakar cair menguap. Penguapan bahan bakar yang berlebihan merupakan masalah karena uap dapat menutup saluran bahan bakar kendaraan dan menyebabkan penurunan kelincahan berkendara (Agarwal *et al.*, 2021). Metanol murni memiliki RVP rendah sebesar 32 kPa sementara campuran metanol memiliki RVP dengan kisaran hingga 85 kPa (IEA-AMF, n.d.; Methanol Institute, 2016). RVP umumnya diukur pada suhu 37,8°C (100°F). Peningkatan RVP terbesar terjadi pada campuran rendah metanol; dengan pencampuran sebanyak lebih dari 3%, peningkatan RVP mulai berkurang.

Untuk M15, RVP bensin, 62 kPa, ditingkatkan hingga 84,5 kPa (Methanol Institute, 2016). Hal ini karena ikatan hidrogen yang kuat menstabilkan cairan pada metanol murni (Gaspar *et al.*, 2019). Apabila metanol dicampur dengan hidrokarbon, ikatan hidrogen terputus, dan sebagai akibatnya, campuran menjadi azeotropik, sehingga mengubah titik didihnya n.d.). Oleh karena dampak tersebut, meskipun metanol murni memiliki RVP yang lebih rendah daripada bensin, RVP pada campuran metanol lebih besar daripada RVP pada metanol murni maupun pada bensin.

Kisaran tekanan uap untuk bahan bakar umumnya diatur agar mencegah tingkat penguapan yang rendah atau berlebih. Untuk menetapkan konteks bagi kisaran tekanan uap yang lazim, standar Israel (SI 90 Bagian 4) untuk M15 membatasi tekanan uap antara 50 hingga 80 kPa pada musim dingin dan 45 hingga 68 kPa pada musim panas (Antverg *et al.*, 2017). Apabila tekanan uap terlalu rendah, permasalahan terkait munculnya suhu dingin dan kelincahan berkendara lazim terjadi. Apabila tekanan uap terlalu tinggi, maka terlalu banyak jumlah bahan bakar akan menguap, menutup saluran bahan bakar (yaitu, sumbatan uap), dan sekali lagi menimbulkan masalah kelincahan berkendara (Agarwal *et al.*, 2021). Karena iklim panas di Indonesia, sumbatan uap menjadi masalah yang lebih sering timbul.

Sumbatan uap juga lebih lazim terjadi pada lalu lintas yang lambat atau *stop-and-go* (Grabner Instruments, n.d.). Oleh karenanya, kendaraan di Indonesia selalu menghadapi risiko sumbatan uap oleh karena iklim yang panas dan lalu lintas yang padat di wilayah-wilayah perkotaan seperti Jakarta. Kandungan alkohol umumnya menurunkan suhu dimana kemudian terjadi sumbatan uap; dengan demikian, campuran metanol yang lebih tinggi meningkatkan risiko timbulnya kondisi ini. Untuk sepenuhnya memahami risiko penguapan pada sistem bahan bakar mesin ini, rasio uap/cairan harus diuji untuk bahan bakar A20. Hal ini dapat dilakukan menggunakan standar uji ASTM D5188.

MASALAH KOMPATIBILITAS MATERIAL DENGAN METANOL

Masalah besar terkait metanol adalah korosifitasnya terhadap material-material yang terdapat pada sistem bahan bakar mesin dan infrastruktur pengisian bahan bakar. Material-material yang bermasalah meliputi logam, logam campuran, polimer, dan elastomer (yaitu, polimer elastis). Apabila tidak dilakukan langkah-langkah yang tepat untuk mengatasi risiko ini, mesin atau infrastruktur pengisian bahan bakar mungkin memiliki masa pakai yang lebih pendek dan/atau mengalami kerusakan.

KOROSI

Alkohol bersifat korosif karena peningkatan konduktivitas kelompok hidroksil polarnya. Tingkat korosi semakin meningkat apabila bahan bakar juga mengandung kontaminan polar lain seperti air, serapan oksigen dari udara, sulfur, ion, dan asam atau basa lainnya (Groysman, 2014; Westbrook, 1999; Bechtold, 1997; Menrad & Nierhaue, 1983).

Meskipun risiko korosi mencapai angka tertinggi melalui kontaminasi air, hal tersebut masih dapat terjadi tanpa adanya atau dengan adanya sejumlah kecil air. Bentuk korosi semacam ini disebut korosi kering, kimia, atau alkohol (Westbrook, 1999). Dalam hal ini, elektron dari logam atau campuran logam bereaksi dengan alkohol dan oksigen pada udara di sekitarnya. Lapisan korosi oksida dan hidroksida kemudian mengendap pada permukaan logam. Lapisan atau produk korosi memiliki sifat-sifat yang diperlukan karena menyediakan lapisan pelindung pada logam untuk mencegah kerusakan logam lebih dalam. Namun demikian, produk korosi juga membawa risiko, khususnya apabila larut dalam bahan bakar. Sebagian besar produk korosi dapat menyebabkan sumbatan pada filter bahan bakar (Groysman, 2014). Apabila lolos filter bahan bakar, endapan korosi dapat mengurangi daya, efisiensi, dan kelincihan berkendara kendaraan (Lantz, 2019). Endapan korosi mungkin berbahaya untuk pompa bahan bakar serta sensor tingkat bahan bakar. Apabila endapan melekat pada kontak listrik pompa bahan bakar, pompa tersebut mungkin beroperasi pada suhu lebih panas, sehingga mengurangi masa pakai pompa atau menyebabkan kerusakan pompa. Apabila endapan menempel pada sensor tingkat bahan bakar, alat ukur tingkat bahan bakar mungkin beroperasi dengan tidak baik. Pada mesin-mesin yang dilengkapi karburator, produk-produk korosi dapat menyumbat jet karburator, sehingga mengurangi kelincihan berkendara, termasuk kondisi mesin sulit menyala, hentakan, dan mesin kasar saat tidak bergerak.

Meskipun sebagian kecil logam seperti titanium dan magnesium mengalami korosi lebih lambat ketika terdapat air, sebagian besar logam dan campuran logam mengalami korosi lebih cepat dengan kehadiran air (Groysman, 2014). Air umumnya meningkatkan laju korosi karena air bersifat polar dan dengan demikian bersifat konduktif. Apabila air berpadu dengan partikel-partikel ini, maka akan membentuk larutan konduktif atau elektrolit yang dapat mendorong mekanisme korosi baru, bersama-sama disebut sebagai korosi elektrokimia. Korosi elektrokimia terjadi antara dua logam yang terendam dalam larutan konduktif. Larutan konduktif dapat meluruhkan elektron dari salah satu logam tersebut dan kemudian merusaknya. Laju korosi elektrokimia meningkat seiring meningkatnya perbedaan potensi elektroda antara kedua logam atau campuran logam tersebut, serta seiring meningkatnya keberadaan kontaminan ionik (Westbrook, 1999).

Kontaminasi air merupakan risiko yang lebih tinggi oleh karena iklim Indonesia yang lembab, dan tangki-tangki berisi metanol harus betul-betul tertutup dari udara karena alkohol mudah menyerap uap air (Bechtold, 1997). Kontaminasi air merupakan masalah utama pada mesin-mesin berukuran kecil yang tidak digunakan di jalan, yang sesekali digunakan (Hay *et al.*, 2014).

Tidak ditemukan studi di dunia nyata yang mengukur kontaminasi air menurut pengamatan kami dan oleh karenanya kami melihat uji laboratorium sebagai contoh. Pada uji laboratorium, 100 ml metanol yang ditempatkan pada suhu 25 °C dengan tingkat kelembaban relatif 55%. Pada awalnya, metanol mengandung 350 ppm air dan setelah dua jam, kandungan air mencapai 4.200 ppm (Groysman, 2014). Skenario persis seperti ini mungkin tidak terjadi di dunia nyata, tetapi kontaminasi air masih dapat terjadi apabila metanol tidak sengaja terpapar udara karena penyegelan (*sealing*) yang kurang baik selama penyimpanan atau distribusi.

Suhu yang tinggi berhubungan langsung dengan peningkatan korosi. Studi dari Jyothy Institute of Technology's Centre for Incubation Innovation Research and Consultancy di Bengaluru, India (Meenakshi & More, 2021) menemukan hubungan positif antara suhu dan laju korosi kuningan. Dalam studi tersebut, kuningan direndam dalam berbagai bahan bakar hingga tingkat pencampuran metanol mencapai 30% pada suhu ruangan 30° C atau 40° C. Material tersebut kemudian dievaluasi pada hari ke-4, hari ke-10, dan hari ke-30. Hasil menunjukkan bahwa laju korosi meningkat seiring peningkatan suhu dan kandungan metanol, dan bahwa laju korosi menurun seiring peningkatan waktu. Hal ini diasumsikan terjadi karena lapisan pasif pelindung dari endapan korosi yang terbentuk pada permukaan logam seiring waktu. Lapisan ini dapat rusak dalam kondisi aliran memutar yang terjadi pada saluran pipa (Wang, 1997). Mungkin ini sebabnya studi menemukan laju korosi yang lebih tinggi dalam kondisi mengalir dibandingkan dengan dalam kondisi statis. Meenakshi and More (2021) hanya mengevaluasi kuningan, tetapi sebuah studi yang berbeda dari Jyothy Institute mengamati kecenderungan yang sama ketika uji coba serupa dilakukan pada dua bentuk baja yang berbeda (Nandhakrishnan & Thakare, 2020).

Karena material mengalami korosi yang berbeda dalam kondisi yang berbeda, penting bahwa material yang digunakan pada infrastruktur pengisian bahan bakar di Indonesia dan sistem bahan bakar kendaraan secara umum dievaluasi dan diperbarui sebagaimana perlu sebelum memperkenalkan bahan bakar baru. Peninjauan luas atas logam-logam yang lazim digunakan pada kendaraan dan infrastruktur pengisian bahan bakar serta kompatibilitas dari logam-logam tersebut ditunjukkan pada Tabel1.

Tabel 1. Logam-logam yang lazim digunakan pada kendaraan dan infrastruktur pengisian bahan bakar serta kompatibilitas logam-logam tersebut dengan campuran bensin dan metanol.

Logam/ Campuran logam	Tingkat keseriusan korosi	Catatan	Sumber
Aluminium	Sedang-tinggi	<ul style="list-style-type: none"> Produk-produk aluminium hidroksida dapat menyumbat filter, menimbulkan korosi pada injektor bahan bakar, dan meningkatkan keausan mesin Hanya aluminium berlapis nikel yang dapat digunakan 	IEA-AMF (n.d.) Menrad & Nierhauve (1983) Groysman (2014) Bechtold (1997)
Perunggu	Rendah	—	Groysman (2014) Bechtold (1997)
Kuningan	Sedang	<ul style="list-style-type: none"> Konsentrasi air yang lebih tinggi meningkatkan korosi 	Bechtold (1997) Westbrook (1999) Meenakshi & More (2021)
Titanium	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> Korosi <i>cracking</i> dan pelapukan akibat hidrogen terjadi dengan adanya klorida Salah satu dari beberapa logam yang mengalami korosi lebih cepat dengan adanya lebih sedikit air 	IEA-AMF (n.d.) Groysman (2014)
Seng	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> Konsentrasi air, alkohol, dan asam yang lebih tinggi meningkatkan risiko korosi 	IEA-AMF (n.d.) Groysman (2014) Menrad & Nierhauve (1983)
Magnesium	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> Salah satu dari beberapa logam yang mengalami korosi lebih cepat dengan adanya lebih sedikit air 	IEA-AMF (n.d.) Groysman (2014) Bechtold (1997)
Baja karbon (baja ringan)	Rendah	<ul style="list-style-type: none"> Risiko korosi rendah tanpa adanya air atau kotoran Risiko korosi sensitif terhadap kandungan air yang tinggi dan kotoran (misalnya, ion klorida atau sulfat, oksigen terlarut, asam) Material yang kompatibel untuk tangki penyimpanan 	Groysman (2014) Bechtold (1997) Nandhakrishnan & Thakare (2020)
Baja galvanis	Tidak kompatibel	<ul style="list-style-type: none"> Tidak direkomendasikan untuk digunakan dengan bahan bakar campuran metanol Metanol akan meluruhkan lapisan seng pelindung dan mengontaminasi bahan bakar 	Groysman (2014) Dolan (2019) Westbrook (1999) Bechtold (1997)
Baja antikorosi	Rendah	<ul style="list-style-type: none"> Material yang kompatibel untuk saluran pipa metanol Lebih mahal 	Nandhakrishnan & Thakare (2020) Bechtold (1997)

Perlu dicatat bahwa meskipun penting untuk memperbarui material yang tidak kompatibel, mungkin sulit dan mahal untuk mengimplementasikannya pada skala besar. Biaya pembaruan akan bervariasi antar negara dan bergantung pada infrastruktur yang ada. Sebuah studi yang mencontohkan penggunaan metanol di Cina (Nami, 2017) mengestimasi bahwa pembaruan infrastruktur penyimpanan dan distribusi akan memakan biaya sebesar \$80.000 per 10.000 galon kapasitas penyimpanan tambahan dan \$30.000 untuk memperbarui unit-unit penyimpanan bensin yang ada dengan ukuran serupa.

DEGRADASI POLIMER

Methanol dianggap bersifat korosif atau agresif terhadap polimer dan elastomer (yaitu, polimer elastis), yang digunakan untuk bagian-bagian seperti segel (*seal*). Apabila terpapar metanol, polimer mungkin mengembang dan sifat-sifat material seperti daya tarik, bobot, kekerasan, dan elastisitas mungkin berubah (Westbrook, 1999). Hal ini dapat menyebabkan risiko kerusakan polimer dan kebocoran bahan bakar. Apabila terjadi kebocoran pada bagian-bagian penghubung dan penyegel yang penting seperti kubah pipa, rangka filter bahan bakar, segel, gasket, atau saluran bahan bakar, timbul risiko kebakaran (Menrad & Nierhauve, 1983). Oleh karenanya, material-material untuk bagian-bagian ini perlu diteliti sebelum terkena campuran bensin dan metanol. Material-material yang digunakan untuk kubah pipa dan *gasket* umumnya tidak kompatibel dengan campuran alkohol dan akan perlu diperbarui menggunakan material berbahan dasar Teflon (Bechtold, 1997). Pada umumnya, elastomer seperti Teflon yang memiliki kandungan fluorin menunjukkan kinerja terbaik dengan bahan bakar metanol.

Peninjauan luas kompatibilitas elastomer dan polimer ditunjukkan pada Tabel 2. Informasi penggunaan material pada Tabel 2 dikumpulkan dari Kass *et al.* (2020).

Tabel 2. Elastomer dan polimer serta kompatibilitas mereka dengan bahan bakar bensin yang dicampur metanol.

Elastomer/polimer	Penggunaan/aplikasi	Kompatibel?	Sumber
FKM FPM Karet fluorokarbon Fluorel Viton®	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O-rings</i> • Segel • Saluran bahan bakar • Filter gas • Injektor bahan bakar • Katup karburator • Sistem pipa karburator 	Ya, dengan campuran metanol (tidak dengan metanol murni)	Westbrook (1999) ^a IEA-AMF (n.d.) Bechtold (1997) Methanol Institute (2016) Antverg <i>et al.</i> (2017)
Asetal Polioksi metilena (POM)	<ul style="list-style-type: none"> • Bagian-bagian yang dicetak • Katup saluran bahan bakar • Komponen pompa dan tangki 	Ya	Dolan (2019) Westbrook (1999)
Polietilena cross-linked (PEX)	<ul style="list-style-type: none"> • Saluran bahan bakar 	Ya (hanya polietilena (PE) yang kompatibel)	Dolan (2019) Bechtold (1997)
Politetrafluoroetilena teflon (PTFE)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Liners</i> • Material segel • Kubah pipa 	Ya	Dolan (2019)
Fluorosilikon (FVMQ)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O-rings</i> • Gasket • Segel 	Inkonklusif*	Dolan (2019) IEA-AMF (n.d.) Westbrook (1999) Virant <i>et al.</i> (1991) Antverg <i>et al.</i> (2017)
Polikloropena Neoprena (CR)	<ul style="list-style-type: none"> • Gasket • Saluran bahan bakar • Pelindung selang • Segel 	Tidak menggunakan segel; inkonklusif untuk yang lainnya	Dolan (2019) IEA-AMF (n.d.)
Serat kaca-bertulang^b	<ul style="list-style-type: none"> • Tangki • Saluran pipa 	Hanya apabila dirancang kompatibel dengan metanol	Dolan (2019) Bechtold (1997) Westbrook (1999)
Karet butadiena nitril, Buna-N (NBR)	<ul style="list-style-type: none"> • Saluran bahan bakar • Gasket • Sambungan kedap udara 	Inkonklusif*	Dolan (2019) Westbrook (1999) Bechtold (1997) Antverg <i>et al.</i> (2017)
Karet klorobutil (CIIR)	<ul style="list-style-type: none"> • Saluran bahan bakar • Gasket 	Ya, tetapi tidak pada segel	Westbrook (1999)
Karet butadiena nitril terhidrogenasi (HNBR)	<ul style="list-style-type: none"> • Saluran bahan bakar • Segel • <i>O-rings</i> 	Tidak	IEA-AMF (n.d.)
Poliuretana (PUR)	<ul style="list-style-type: none"> • Saluran bahan bakar kendaraan 	Tidak	Dolan (2019) Westbrook (1999) IEA-AMF (n.d.) SGS INSPIRE (2020) Bechtold (1997) Antverg <i>et al.</i> (2017)
Polivinil klorida (PVC)	<ul style="list-style-type: none"> • Tangki kimia • Pelapis dalam • Pelapis • <i>Sealant</i> 	Tidak	IEA-AMF (n.d.) Riedl (2019) SGS INSPIRE (2020)

* Inkonklusif berarti terdapat dua sumber atau lebih saling bertentangan.

^a Rekomendasi Westbrook mengasumsikan campuran bensin dan metanol mengandung pelarut.

^b Menurut Westbrook (1999), beberapa serat kaca UST dan pipa hanya direkomendasikan untuk digunakan sebatas E10, M5, atau MTBE15.

Kualitas bahan bakar juga dapat menyebabkan elastomer mengembang. Kandungan aromatik yang tinggi pada bahan dasar bensin dapat meningkatkan kerusakan elastomer (Menrad & Nierhauve, 1983). Menurunkan kandungan aromatik pada bahan dasar bensin dianggap penting untuk mengurangi kerusakan elastomer yang disebabkan oleh campuran bensin dan metanol.

STUDI KASUS INTERNASIONAL

Beberapa negara dan perusahaan otomotif telah bereksperimen menggunakan atau mengimplementasikan campuran bensin dan metanol rendah hingga menengah pada kendaraan penumpang. Riwayat peninjauan luas uji armada disajikan pada Tabel 3. Negara yang paling nyata mencampurkan metanol pada armada kendaraannya adalah Cina. Negara-negara lain yang tidak disebutkan pada Tabel 3 yang juga telah mempertimbangkan metanol sebagai bahan bakar transportasi meliputi Australia, Mesir, Selandia Baru, dan India (Dolan, 2019).

Tabel 3. Peninjauan Luas uji armada dan temuan atas penggunaan campuran bensin dan metanol tingkat menengah.

Negara/ organisasi, tahun	Batas campuran bahan bakar	Rincian uji armada	Temuan	Sumber
Kompilasi Methanol Institute, 40+ tahun	<ul style="list-style-type: none"> M7 untuk kendaraan dengan karburator M15 untuk kendaraan yang lebih baru 	<ul style="list-style-type: none"> Kompilasi uji armada tahun 1970-an/1980-an dari: <ul style="list-style-type: none"> Jerman Swedia Selandia Baru Cina California, Amerika Serikat Cina Uji M15 (2004) 	<ul style="list-style-type: none"> Kendaraan yang lebih tua dengan sistem bahan bakar karburator dapat menggunakan campuran bahan bakar alkohol hingga 3,7% berat oksigen (E10 atau M7). Kendaraan modern dapat menggunakan campuran bahan bakar alkohol hingga 7,5% berat oksigen (E20 atau M15). Untuk tingkat campuran >M3, gunakan penghambat laju korosi dan pelarut pada kendaraan yang dilengkapi logam sistem bahan bakar terproteksi. 	Dolan (2019) Methanol Institute (2014)
Italia/FCA, 2017	<ul style="list-style-type: none"> A20 (M15/E5) untuk model tahun 2001+ 	<ul style="list-style-type: none"> 5 Fiat 500 telah disewa 9.000 kali dan melakukan perjalanan sejauh 50.000 km selama 13 bulan Bahan bakar dibatasi pada 10 ppm sulfur, 0,2% air 	<ul style="list-style-type: none"> A20 kompatibel dengan kendaraan yang kompatibel dengan E10 (yaitu, kendaraan yang diproduksi pada tahun 2001 atau setelahnya). Tabung logam, <i>O-ring</i>, dan tabung plastik tidak menunjukkan permasalahan kompatibilitas. Tidak dijumpai permasalahan pemisahan fase. 	Dolan (2019) ("Eni and FCA," 2019)
Israel/Dor Chemicals/ FCA, 2012	<ul style="list-style-type: none"> M15 untuk kendaraan yang lebih baru atau kendaraan khusus yang ditujukan untuk penggunaan metanol 	<ul style="list-style-type: none"> Uji coba jarak jauh dilakukan terhadap dua kendaraan Fiat 500 MTA FIRE 1.2 8V Euro 6 Mobil Fiat khusus dirancang untuk beroperasi menggunakan M15 atau bensin Digunakan berkendara 220.000 km Campuran bahan bakar: 83% hidrokarbon, 2% pelarut, 15% metanol 	<ul style="list-style-type: none"> Tiga malfungsi ketika mesin mogok dan mati. Setelah mobil dinyalakan, mobil baik-baik saja. Permasalahan terkait kontaminasi pada bahan bakar. Daya dan torsi sedikit meningkat dengan penggunaan M15. Peningkatan akumulasi residu awal. Permasalahan selesai saat oli diganti setiap 10.000 km dan bukan setiap 15.000 km. Dekonstruksi salah satu kendaraan setelah beberapa berkendara beberapa mil menunjukkan residu pada saluran masuk, injektor bahan bakar, dan katup saluran. 	Winther, (2019) ("FCA menyajikan Fiat 500 M15" (2016) The Standards Institution of Israel (2016) Antverg <i>et al.</i> (2017)

Negara/ organisasi, tahun	Batas campuran bahan bakar	Rincian uji armada	Temuan	Sumber
Cina, 1983-1985	<ul style="list-style-type: none"> M15 (10% metanol, 5% pelarut MTBE) 	<ul style="list-style-type: none"> 500 truk Jiefang dan Dongfeng Brand berbasis bensin melakukan perjalanan >60.000 ton-km dengan menggunakan M15 <i>Bench test</i> dilakukan terhadap BJ-212 Beijing Brand Jeep dengan menggunakan M15 Digunakan metanol berkualitas tinggi dengan kandungan air dibatasi hingga <0,025% Tekanan uap saturasi M15: 61,3 kPa 	<ul style="list-style-type: none"> Normal terkait kondisi aus karena pemakaian (<i>wear</i>) dan pelumasan. Masalah sumbatan uap terjadi ketika suhu > 32 °C, kecuali pompa bahan bakar listrik digunakan. Konsumsi bahan bakar pada penggunaan M15 di lapangan dan <i>bench test</i> masing-masing 1,8%-3,8% dan 1,8%-6,7% lebih tinggi pada truk Jiefang dan Dongfeng. 	Xlaofu (1989)
Italia, 1983	<ul style="list-style-type: none"> Campuran 7,5% metanol, 7,5% tersier butil alkohol (TBA) 	<ul style="list-style-type: none"> Hanya diuji untuk kinerja kelincahan berkendara pada kondisi panas Enam mobil yang menggunakan karburator tahun model 1982 diuji pada suhu 30-35 °C 	<ul style="list-style-type: none"> M15 menunjukkan permasalahan kelincahan berkendara pada cuaca panas oleh karena volatilitas bahan bakar. Campuran metanol-TBA 50/50 metanol-TBA berkinerja lebih baik pada cuaca panas daripada M15. 	Palmer and Tontodonati (1983)
Jerman, 1979-1982	<ul style="list-style-type: none"> M3 untuk kendaraan yang tidak disesuaikan M15 untuk kendaraan yang sedikit dimodifikasi 	<ul style="list-style-type: none"> Program Uji Bahan Bakar Alkohol Jerman yang disponsori oleh Kementerian Federal untuk Riset dan Teknologi 1.000 mobil M15 yang sedikit dimodifikasi secara bersama-sama berkendara sejauh 33 juta mil dan mengonsumsi 1,7 juta galon bahan bakar Sistem karburator dan injeksi bahan bakar dipertimbangkan Modifikasi yang dilakukan: pembaruan material, penyesuaian untuk dampak melemah, penyesuaian pemanasan, meningkatkan sirkulasi bahan bakar untuk mencegah sumbatan uap, sistem penyalaan berenergi tinggi Digunakan pelumas mesin komersial 	<ul style="list-style-type: none"> Sedikit modifikasi diperlukan sebelum M15 digunakan. Pelarut seperti TBA optimal pada rasio 1:1 dengan metanol. Campuran yang lebih tinggi daripada metanol 3% menimbulkan permasalahan sumbatan uap, kompatibilitas material, dan dampak melemah. Campuran M15 yang digunakan pada kendaraan yang tidak dimodifikasi menyebabkan masalah terkait material pada semakin banyak kendaraan, tetapi tidak semua. Masalah material mengakibatkan bahaya kebocoran hingga kebakaran. Kandungan aromatik pada bensin harus diminimalisir. Hasil penggunaan M15 pada kendaraan yang dimodifikasi: Kondisi tidak bergerak (<i>idle</i>) tidak stabil dan mati mesin terjadi tanpa deterjen bahan bakar. Beberapa bagian NBR rusak setelah 6-12 bulan. Beberapa permasalahan sumbatan uap dilaporkan pada cuaca panas dan diselesaikan melalui modifikasi. Kondisi aus karena pemakaian (<i>wear</i>) yang normal pada mesin dan sistem bahan bakar. 	Menrad and Nierhaue (1983)

Setelah mengevaluasi semua uji coba yang ditunjukkan pada Tabel 3, kita lihat tidak terdapat batas pencampuran metanol yang diakui oleh semua negara dan organisasi. Namun demikian, Tabel 3 menunjukkan dua hal terkait berbagai uji coba campuran bensin dan metanol tingkat menengah: (1) kendaraan yang lebih tua sangat kurang toleran dibandingkan dengan campuran metanol yang lebih tinggi; dan (2) pada hampir semua kasus, kendaraan memerlukan modifikasi sebelum berhasil menggunakan campuran bensin dan metanol tingkat menengah. (Modifikasi nampaknya juga diperlukan untuk mesin-mesin yang tidak dioperasikan di jalan yang

tidak dapat mengatur pengiriman bahan bakar.) Melalui serangkaian uji armada, para peneliti menemukan bahwa kendaraan yang lebih baru dapat menolerir campuran metanol hingga M15 sementara kendaraan yang lebih tua hanya dapat menolerir M3 hingga M7.

Israel tertarik pada bensin M15 dengan 2% pelarut, dan hal ini khususnya relevan dengan Indonesia. Israel baru-baru ini menyelesaikan uji coba yang sukses terhadap dua kendaraan Fiat menggunakan M15; uji coba tersebut dilakukan oleh Dor Chemicals dan FCA (The Standards Institution of Israel, 2016). Bahan bakar M15 hanya untuk digunakan oleh kendaraan yang dirancang untuk M15, seperti dua Fiat dari uji armada tersebut di atas, atau kendaraan yang dianggap kompatibel oleh para produsen. Selama uji coba, para peneliti mengidentifikasi beberapa permasalahan awal dengan M15.

Permasalahan yang terbesar adalah tiga kali terjadinya mogok dan kendaraan mati (Antverg *et al.*, 2017), dan salah satunya disebabkan oleh pemisahan fase dan mengakibatkan penggantian pompa bahan bakar kendaraan. Para peneliti juga menemukan bahwa selang fleksibel stasiun pengisian bahan bakar merupakan sumber kontaminasi dan perlu diganti. Setelah uji coba, kondisi aus karena pemakaian pada sistem bahan bakar mesin normal atau sedikit lebih buruk, tetapi masih dapat diterima. Namun demikian, terdapat akumulasi residu yang perlu diperhatikan pada saluran masuk dan katup saluran dan hal tersebut menghasilkan rekomendasi untuk mengganti oli mesin setiap 10.000 km dan bukan setiap 15.000 km. Sebagai hasil dari uji lapangan tersebut, *Ministry of National Infrastructures and Energy Water Resources* Israel menciptakan standar baru M15, yang disebut dengan SI 90 Bagian 4. Beberapa batas yang perlu diperhatikan dalam standar ini meliputi: kandungan sulfur 10 ppm, kandungan air 0,1%, RVP musim panas sebesar 45 hingga 60 kPa, RVP musim dingin sebesar 50 hingga 80 kPa, dan kandungan aromatik 35%.

MODIFIKASI YANG DIPERLUKAN UNTUK KELANCARAN TRANSISI PADA PENGGUNAAN CAMPURAN BENSIN DAN METANOL TINGKAT MENENGAH

Mencampur alkohol dengan bensin mungkin berhasil, sebagaimana dibuktikan oleh pengalaman berbagai negara diluar Indonesia. Namun keberhasilan ini tidak mungkin tercapai tanpa persiapan yang berarti. Persiapan tersebut meliputi pembaruan bahan bakar hingga standar tertentu, memperbaiki material-material yang tidak kompatibel pada infrastruktur pengisian bahan bakar dan sistem bahan bakar mesin, penggunaan zat aditif yang diperlukan, dan modifikasi kondisi operasional kendaraan yang lebih tua. Alternatifnya adalah hanya menggunakan campuran bensin dan metanol pada kendaraan yang kompatibel, kendaraan roda dua dan tiga, dan mesin yang tidak dioperasikan di jalan. Untuk mencegah metanol masuk ke dalam kendaraan dan mesin yang tidak dirancang untuk campuran tingkat menengah, Indonesia juga akan perlu untuk bergerak menuju pompa khusus campuran metanol yang hanya akan digunakan untuk mesin-mesin yang kompatibel.

Karena terdapat berbagai kontaminan yang menjadi perhatian, standar kualitas bahan bakar yang ketat perlu ditetapkan oleh pemerintah Indonesia apabila bahan bakar A20 akan digunakan. Referensi yang tepat adalah standar M15 SI 90 Bagian 4 dari Israel (Antverg *et al.*, 2017; Winther, 2019). Dalam standar ini, sulfur dibatasi hingga 10 ppm, mangan dibatasi hingga 2 ppm, air dibatasi hingga 0,1%, kandungan aromatik dibatasi hingga 35%, dan oksigen dibatasi hingga 9% menurut berat. Membatasi kontaminan dalam bahan bakar penting karena kontaminan umumnya meningkatkan konduktivitas bahan bakar dan dengan demikian meningkatkan laju korosi. Kontaminan meliputi kelebihan air yang masuk melalui fitting yang longgar dalam saluran pipa. Kelebihan air dapat menyebabkan pemisahan fase, sehingga kandungan air dalam bensin harus dipantau sebelum dan setelah dilakukannya pencampuran metanol.

Agar kendaraan kompatibel dengan metanol, kendaraan harus menggunakan material yang kompatibel seperti NBR, neoprena, dan poliuretana untuk segel, rangka filter bahan bakar, dan saluran bahan bakar. Para produsen otomobil bergeser menggunakan material-material tersebut untuk produksi kendaraan baru. Kendaraan yang sudah ada akan perlu diperbarui dengan menggunakan material-material tersebut agar kompatibel, dan ini berarti biaya tambahan bagi konsumen.

Pada infrastruktur pengisian bahan bakar retail atau SPBU, para retailer dapat memperbaiki mulut selang, selang dispenser bahan bakar retail, dan filter dispenser pompa bahan bakar menggunakan versi yang kompatibel dengan metanol. Untuk mengurangi endapan korosi dari selang yang memasuki tangki bahan bakar kendaraan, filter bahan bakar harus memiliki bukaan mikron yang lebih kecil yaitu diameter tengah 3 μm dan bukan 10 μm seperti pada umumnya (Bechtold, 1997; Methanol Institute, 2016). Filter pada dispenser dan untuk oli mesin kendaraan umumnya direkatkan dengan lem yang tidak kompatibel dengan metanol dan harus diganti menjadi lem yang kompatibel dengan metanol (Bechtold, 1997). Mengganti mulut selang, selang dispenser, dan filter menggunakan material yang kompatibel dengan metanol penting untuk membatasi kontaminan yang terpompa masuk ke dalam kendaraan konsumen (Bechtold, 1997). Dengan melakukan hal ini akan melindungi kendaraan dari sedimen dan kontaminan yang dapat menurunkan baik kelincahan berkendara maupun kemampuan operasional komponen-komponen sistem bahan bakar seperti sensor dan pompa bahan bakar. Pada tempat-tempat di mana metanol murni disimpan atau diangkut, fluoroelastomer dan poliuretana elastomer juga dapat diperbarui menggunakan material lain untuk mencegah kebocoran (Methanol Institute, 2016).

Memperbarui material yang tidak kompatibel merupakan langkah yang sulit dan mahal, tetapi juga penting karena adanya risiko kebocoran dan kompatibilitas. Risiko

kebocoran merupakan hal yang serius karena dapat menyebabkan masalah kebakaran dan kontaminasi lingkungan.

Sejumlah kecil zat aditif seperti penghambat laju korosi, zat aditif pelumas, dan deterjen bahan bakar dapat digunakan pada campuran metanol untuk mengurangi kondisi aus material dan endapan korosi. Penghambat laju korosi umumnya ditambahkan pada campuran bensin dan metanol dan penghambat laju korosi yang umum digunakan meliputi amia, amida, asetat, dan sulfonat (Groysman, 2014). Peningkatan kondisi aus pada kendaraan juga dapat terjadi dengan penggunaan campuran bahan bakar metanol. Hal ini karena kelekatan metanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin (Bechtold, 1997). Pelumas mesin dapat digunakan untuk mengurangi kondisi aus (Groysman, 2014; Menrad & Nierhauve, 1983) dan solusi lainnya adalah lebih sering mengganti oli mesin kendaraan. Hal ini dianggap perlu karena uji armada oleh Israel, yang beralih mengganti oli mesin setiap 10.000 km dan bukan setiap 15.000 km (Antverg *et al.*, 2017). Deterjen bahan bakar juga mungkin perlu untuk melindungi kendaraan lebih tua yang menggunakan karburator. Sebuah studi menemukan bahwa menambahkan deterjen bahan bakar pada kendaraan model lebih tua yang menggunakan M15 menyelesaikan permasalahan korosi termasuk pembentukan endapan pada karburator dan saluran masuk (Menrad & Nierhauve, 1983).

Pelarut juga mungkin diperlukan untuk menstabilkan bahan bakar dan meningkatkan daya larut antara campuran alkohol dan bensin. Dengan meningkatkan daya larut, pelarut dapat meningkatkan toleransi air pada bahan bakar sebelum terjadinya pemisahan fase dan mengurangi peningkatan RVP. Pelarut menjadi lebih penting pada campuran alkohol tingkat menengah seperti M15 dibandingkan pada campuran alkohol tingkat tinggi seperti M85, karena penurunan stabilitas (Winther, 2019). Agar alkohol menjadi pelarut, alkohol harus memiliki kandungan karbon per molekul yang lebih tinggi dibandingkan campuran alkohol, dan semakin tinggi kandungan karbon, semakin baik pelarut tersebut (Methanol Institute, 2016; Koenig *et al.*, 1976). Pelarut yang umumnya digunakan untuk metanol meliputi etanol, propanol, butanol, isopropil alkohol (IPA), isobutanol, metil tersier butil eter (MTBE), dan tersier butil alkohol (TBA). Penggunaan etanol 5% sebagai pelarut untuk M15 menjadi pertimbangan dan diuji oleh Italia (IRENA & Methanol Institute, 2021).

Karena seluruh modifikasi diperlukan, persiapan yang cukup untuk memasukkan A20 pada armada kendaraan bensin di Indonesia akan memakan biaya yang tinggi. Di samping itu, akan terdapat peningkatan biaya pemeliharaan terkait penggunaan bahan bakar A20, khususnya apabila persiapan tidak dilakukan secara menyeluruh. Mengubah bensin menjadi campuran bensin dan metanol akan meluruhkan endapan dari sistem distribusi dan awalnya dapat menyebabkan berkurangnya masa pakai filter bahan bakar pada pompa dispenser bensin (Methanol Institute, 2016). Di samping itu, pemeriksaan yang lebih teratur untuk melihat adanya kelebihan air pada tangki penyimpanan bahan bakar harus dilakukan. Apabila terdapat terlalu banyak air pada campuran bahan bakar, bahan bakar mungkin perlu dibuang dan SPBU tersebut mungkin perlu tutup sementara (Jain, 2015). Terakhir, Indonesia harus lebih teratur memantau saluran pipa dan tangki penyimpanan untuk memastikan bahwa saluran pipa dan tangki penyimpanan tersebut sepenuhnya tertutup dan tidak rusak lebih cepat daripada ketika saluran dan tangki tersebut menyimpan bensin murni. Setiap fitting yang longgar pada saluran pipa dan tangki penyimpanan dapat meningkatkan jumlah kontaminan dalam bahan bakar dan dengan demikian meningkatkan risiko pemisahan fase dan korosi.

KESIMPULAN

Kami meninjau kembali literatur yang mengevaluasi manfaat dan risiko teknis campuran bensin dan metanol tingkat menengah pada kendaraan dan infrastruktur pengisian bahan bakar. Keuntungan yang mungkin diperoleh dari penggunaan A20 dibandingkan dengan bensin murni meliputi peningkatan daya dan torsi selama operasi lup tertutup dan resistensi terhadap ketukan. Masalah yang mungkin timbul meliputi peningkatan risiko pemisahan fase, sumbatan uap, serta korosi dan kerusakan logam, campuran logam, dan polimer pada kendaraan dan infrastruktur pengisian bahan bakar. Apabila dipahami, risiko-risiko tersebut dapat menyebabkan penurunan kelincahan berkendara kendaraan, kondisi kendaraan mogok, atau kerusakan pada sistem bahan bakar mesin dan infrastruktur pengisian bahan bakar, dan dengan demikian harus dianggap serius.

Meskipun terdapat risiko-risiko tersebut, negara-negara termasuk Cina, Italia, dan Israel telah berhasil menyelesaikan uji armada menggunakan campuran metanol atau berhasil mengintegrasikan campuran bensin dan metanol. Dalam semua kasus, jalan menuju keberhasilan memerlukan langkah-langkah pencegahan termasuk memperketat standar bahan bakar guna mencegah terdapatnya kandungan air, aromatik, dan sulfur, serta menetapkan batas aman kisaran RVP. Langkah-langkah lain meliputi zat tambahan seperti pelarut, penghambat laju korosi, dan penggantian oli lebih sering. Terakhir, campuran bensin dan metanol tingkat menengah hanya direkomendasikan untuk digunakan oleh kendaraan dengan sensor kendali oksigen atau kendaraan yang khusus dibuat untuk beroperasi menggunakan campuran metanol.

Biaya untuk berhasil beralih ke A20 tidak kecil. Kandungan sulfur dan aromatik yang tinggi pada bensin Indonesia serta iklimnya yang panas dan lembab dapat memperburuk sumbatan uap, korosi, dan risiko pemisahan fase, di samping tambahan biaya dan pemeliharaan. Pengalihan sebagian besar pasokan bensin menjadi A20 akan menimbulkan biaya yang tinggi terkait pembaruan infrastruktur pengangkutan, penyimpanan, dan pemompaan bahan bakar agar menggunakan material yang kompatibel dengan alkohol, dan konfirmasi bahwa fitting yang longgar dikencangkan untuk meminimalisir masuknya air dan kontaminan lain seperti oksigen di udara. Bahkan selain biaya modal yang tinggi di depan, nampaknya akan terdapat lebih banyak biaya pemeliharaan bagi para pemilik pompa pengisian bahan bakar umum (SPBU) dan para pemilik kendaraan. Permasalahan kinerja juga nampaknya akan timbul pada sebagian besar mesin yang tidak digunakan di jalan, yang menggunakan sistem lup terbuka.

REFERENSI

- Agarwal, A. K., Valera, H., Pexa, M., & Čedík, J. (2021). *Methanol: A sustainable transport fuel for SI engines*. Singapore: Springer Nature.
- Anand, R. (2020, August 29). Difference between power and torque: Which one is more important in vehicles? *Times Drive*. Retrieved from <https://www.timesnownews.com/auto/features/article/difference-between-power-and-torque-which-one-is-more-important-in-vehicles/644468>
- Antverg, Y., Baitel, S., & Ferrera, M. (2017). *Adaptation of FCA vehicles to run on methanol Blends*. Retrieved from <http://danskbiomethanol.dk/Papers/RD-12-17%20Adaptation%20of%20FCA%20vehicles%20to%20run%20on%20methanol%20blends.pdf>
- Arendt, A. (2019, November 19). How to fight ethanol problems in small engines [Blog post]. Retrieved from <https://blog.amsoil.com/how-to-fight-ethanol-problems-in-small-engines/>
- Bechtold, R. L. (1997). *Alternative fuels guidebook—Properties, storage, dispensing, and vehicle facility modifications*. Warrendale, PA: SAE International.
- Bharath, B. K., & Arul Mozhi Selvan, V. (2021). Influence of higher alcohol additives in methanol-gasoline blends on the performance and emissions of an unmodified automotive SI engine: A Review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(8), 7057-7085. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05408-x>
- Robert Bosch GmbH. (1995). *Bosch automotive handbook (4th edition)*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Campbell, B., Farrington, R., Inman, G., Dinsdale, S., Gregory, D., Eade, D., & Kisenyi, J. (2000). Improved three-way catalyst performance using an active bias control regeneration system (Technical Paper No. 2000-01-0499). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2000-01-0499>
- CarsDirect. (2013, November 7). *3 causes of engine knock*. Retrieved from <https://www.carsdirect.com/car-repair/3-causes-of-engine-knock>
- Central Bureau of Statistics. (2019). <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>
- Dolan, G. (2019). *Methanol: A future proof fuel*. Presented at the KAUST Research Conference. Retrieved from <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2019/03/Dolan-Methanol-Future-Proof-Fuel-KAUST-4-March-2018.pdf>
- Eni and FCA develop A20: 15% methanol, 5% ethanol high-octane gasoline blend. (2019, April 24). Green Car Congress. Retrieved from <https://www.greencarcongress.com/2019/04/20190424-enifca.html>
- Eyidogan, M., Ozsezen, A. N., Canakci, M., & Turkcan, A. (2010). Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel*, 89(10), 2713-2720. <https://doi.org/10/bkp>
- FCA presents Fiat 500 M15 (methanol); to be sold in Israel. (2016, November 3). Green Car Congress. Retrieved from <https://www.greencarcongress.com/2016/11/20161103-fcam15.html>
- Franklin Fueling Systems. (n.d.). *Why phase separation occurs and what you can do about it* [White Paper]. Retrieved August 18, 2021 from <https://ffsbrasil.com/media/397357/ffs-0238-phase-separation-whitepaper-07-12-web.pdf>
- Gas Devices. (2019, May 3). *Phase separation in ethanol gasoline: The hidden killer in your gas station*. GasDevs.Com. Retrieved from <https://www.gasdevs.com/blog/phase-separation-in-ethanol-gasoline-the-hidden-killer-in-your-gas-station/>
- Gaspar, D. J., Phillips, S. D., Polikarpov, E., Albrecht, K. O., Jones, S. B., George, A., ... & Bays, J. T. (2019). Measuring and predicting the vapor pressure of gasoline containing oxygenates. *Fuel*, 243, 630-644. <https://doi.org/10/gfxb7r>
- Grabner Instruments. (n.d.). *Ethanol blending: How to prevent vapor lock*. Retrieved June 16, 2021 from <https://www.grabner-instruments.com/-/media/ametekgrabnerinstruments/files/pdfs/application--vapor-pressure--vl-ratio-of-gasolineethanol-blends.pdf?la=en&revision=00f78dc8-029e-4481-ba85-e640bdc7e338>
- Groysman, A. (2014). *Corrosion in systems for storage and transportation of petroleum products and biofuels*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7884-9>
- IEA-AMF. (n.d.). *Methanol*. Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels. https://iea-amf.org/content/fuel_information/methanol
- Ijaz Malik, M. A., Usman, M., Hayat, N., Zubair, S. W. H., Bashir, R., & Ahmed, E. (2021). Experimental evaluation of methanol-gasoline fuel blend on performance, emissions and lubricant oil deterioration in SI engine. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(6), 1-17. <https://doi.org/10/gk8gqx>
- IRENA, & Methanol Institute. (2021). *Innovation outlook: Renewable methanol*. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol>

- Jain, S. (2015). *Ethanol-water phase separation* [White Paper]. Veeder-Root. Retrieved from <https://southeastpetro.com/wp-content/uploads/2015/08/Veeder-Root-Ethanol-Water-Phase-Separation-Facts.pdf>
- Kass, M., Janke, C., Connatser, R. M., Lewis, S., Baustian, J., Wolf, L., & Koch, W. (2020). Performance of vehicle fuel system elastomers and plastics with test fuels representing gasoline blended with 10% ethanol (E10) and 16% isobutanol (iBu16). *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 13(2), 137–150. <https://doi.org/10/gk78hs>
- Koenig, A., Lee, W., & Bernhardt, W. (1976). *Technical and economical aspects of methanol as an automotive fuel* (Technical Paper No. 760545). SAE International. <https://doi.org/10.4271/760545>
- Lantz, S. (2019, September 13). *Fighting the effects of corrosion in fuel systems*. Retrieved from Chevron Lubricants, https://www.chevronlubricants.com/en_us/home/learning/from-chevron/personal-rec-vechicles-and-equipment/fighting-the-effects-of-corrosion-in-fuel-systems.html
- Linder, J. (2012). *Alcoholate corrosion of aluminium in ethanol blends* (Master's thesis). Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Alcoholate-corrosion-of-aluminium-in-ethanol-blends-Linder/2a1fbda5fcf38fb8945c91917bf43f30d8f3e8f3>
- Lojkásek, M., Růžička, V., & Kohoutová, A. (1992). Solubility of water in blends of gasoline, methanol and a solubilizer. *Fluid Phase Equilibria*, 71(1–2), 113–123. [https://doi.org/10.1016/0378-3812\(92\)85008-V](https://doi.org/10.1016/0378-3812(92)85008-V)
- Meenakshi, H. N., & More, S. D. (2021). Corrosion behavior of brass in methanol-gasoline fuel blends. In G. Kumaresan, N. S. Shanmugam, & V. Dhinakaran (Eds.), *Advances in Materials Research* (Vol. 5, pp. 393–401). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8319-3_40
- Meilanova, D. R. (2021, March 26). Penggunaan campuran metanol sebagai bahan bakar perlu dikaji ulang. *Bisnis.Com*. Retrieved from <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210326/44/1372785/penggunaan-campuran-metanol-sebagai-bahan-bakar-perlu-dikaji-ulang>
- Menrad, H., & Nierhauve, B. (1983). *Engine and vehicle concepts for methanol-gasoline Blends*. (Technical Paper No. 831686). SAE International. <https://doi.org/10/djt84d>
- Methanol Institute. (2014). *M15 methanol gasoline blends*. Retrieved from <http://methanolfuels.org/wp-content/uploads/2013/10/M15-Methanol-Gasoline-Blends-Fact-Sheet.pdf>
- Methanol Institute. (2016). *Methanol gasoline blends* (Methanol Blending Technical Product Bulletin). Retrieved from <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/Blenders-Product-Bulletin-Final.pdf>
- Nami, M. (2017). *Modelling the prospects and impacts of methanol use in transportation in China at computable general equilibrium* (Master's thesis). Retrieved from the Massachusetts Institute of Technology, <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/111319>
- Nandhakrishnan, M. H., & Thakare, S. P. (2020). Alcoholate corrosion of ferrous metals in methanol-gasoline fuel blends. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 55(6), 2187–2196. Retrieved from https://dl.uctm.edu/journal/node/j2020-6/28_19-214_p_2187-2196.pdf
- Olah, G. A., Goepfert, A., & Prakash, G. K. S. (2009). *Beyond oil and gas: The methanol economy* (2nd edition). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Palmer, F. H., & Tontodonati, A. (1983). *Road trials to assess the hot weather driveability characteristics of gasolines containing oxygenates in European cars* (Technical Paper No. 831706). SAE International. <https://doi.org/10/bcgvyz2>
- Publow, G., & Grinberg, L. (1978). *Performance of late model cars with gasoline-methanol fuel* (Technical Paper No. 780948). SAE International. <https://doi.org/10.4271/780948>
- Riedl, M. (2019, November 14). Top 7 thermoplastics in automotive manufacturing. [Blog post]. Retrieved from <https://ta-netzsch.com/top-7-thermoplastics-in-automotive-manufacturing>
- Secretariat General of National Energy Council. (2019). *Indonesia energy outlook 2019*. Retrieved from <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-indonesia-energy-outlook-2019-english-version.pdf>
- SGS INSPIRE. (2019). *Methanol: Properties and uses*. Retrieved from the Methanol Institute. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/03/SGS-INSPIRE-Methanol-Properties-and-Uses-Technical-Report.pdf>
- Shao, Z., Miller, J., & Jin, L. (2020). *Soot-free road transport in Indonesia: A cost-benefit analysis and implications for fuel policy*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/soot-free-road-transport-indonesia-cost-benefit-analysis>
- Liu, S., Cuty Clemente, E. R., Hu, T., & Wei, Y. (2007). Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends. *Applied Thermal Engineering*, 27(11–12), 1904–1910. <https://doi.org/10/dqs9hh>
- Singh, A. P., Sharma, N., Agarwal, R., & Agarwal, A. K. (Eds.). (2020). *Advanced combustion techniques and engine technologies for the automotive sector*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0368-9>

- Steckdaub, M., & Sekartini, R. (2001). *Environmental policy & vehicles inspection in Indonesia*. Retrieved from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KDgh1LaTJCoJ:www.un.org/esa/gite/iandm/swisscontactpaper.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=us&client=firefox-b-1-d>
- The Standards Institution of Israel. (2016, August 19). *One more step towards the minimizing of use of oil for transportation and for environmental protection: The Standards Institution of Israel issued a new Standard for gasoline – a methanol/gasoline mixture* [Press release]. Retrieved from http://methanolfuels.wpengine.com/wp-content/uploads/2013/05/Israel-M15-Press-Release-8_2016.pdf
- Hay, J.F., Sousa, I.M., & Makino, I.F. (2014, November 21). *Ethanol and water contamination— Comparing water removal additives*. CropWatch. <https://cropwatch.unl.edu/ethanol-and-water-contamination-%E2%80%94-comparing-water-removal-additives>
- U.S. Energy Information Administration. (2021). *Annual energy outlook 2021, table 12, petroleum and other liquids prices*. Retrieved from <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2021®ion=0-0&cases=ref2021-highprice-lowprice&start=2019&end=2050&f=A&sourcekey=0>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013). *Assessing the effect of five gasoline properties on exhaust emissions from light-duty vehicles certified to Tier 2 standards: Analysis of data from EPA Act Phase 3* (EPA-420-R-13-002). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100GAOV.PDF?Dockey=P100GAOV.PDF>
- Virant, M. S., Fiedler, L. D., Knapp, T. L., & Norris, A. W. (1991). *The effect of alternative fuels on fluorosilicone elastomers* (Technical Paper No. 910102). SAE International. <https://doi.org/10.4271/910102>
- Wang, Y. (1997). *Flow-dependent corrosion in turbulent pipe flow* (Doctoral dissertation). Retrieved from University of Saskatchewan, Saskatoon, <https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/ftp05/nq23972.pdf>
- Wayan Sugita, I., Rio Budi Syaka, D., & Irianto Wahyudi, A. (2019). Effect of Pertalite – methanol blends on performance and exhaust emission of a four-stroke 125 CC motorcycle engine. *KnE Social Sciences*, 3(12), 384–393. <https://doi.org/10/gk78hh>
- Westbrook, P. (1999). *Compatibility and permeability of oxygenated fuels to materials in underground storage and dispensing equipment*. Retrieved from the U.S. Environmental Protection Agency's website, https://archive.epa.gov/oust/mtbe-a/web/pdf/ust_team1_attachment_a.pdf
- Widyawati, N. (2020, June 20). *Nicke Widyawati Pertamina harus jadi “ddriver” pertumbuhan ekonomi nasional* [Interview]. Retrieved from <https://koran-jakarta.com/nicke-widyawati-pertamina-harus-jadi-driver-pertumbuhan-ekonomi-nasional>
- Winther, K. (2019). *Methanol as motor fuel*. Retrieved from the Danish Technological Institute, <http://danskbiomethanol.dk/Papers/Report%20DK.pdf>
- Xie, Y., & Harjono, M. (2020a). *A review of motor vehicle fuel demand and supply in Indonesia*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/indonesia-fuel-demand-supply-sept2020>
- Xie, Y., & Harjono, M. (2020b). *The retail fuels market in Indonesia*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/retail-fuels-indonesia-oct2020>
- Xlaofu, C. (1989). *A Review of the study on alcohol fuels for automotive engines* (Technical Paper No. 890433). SAE International. <https://doi.org/10.4271/890433>