

PEMANFAATAN BIOFUEL DALAM PENYEDIAAN ENERGI NASIONAL JANGKA PANJANG

Agus Sugiyono
PTPSE - BPPT

Abstract

Demand of petroleum products in transport sector is continuously increasing. Meanwhile, the Indonesian oil resources and the installed capacity of the oil refineries are not sufficient to fulfill domestic demand. Therefore, we have to find an alternative fuel to substitute the petroleum based fuel products. Biofuel, such as biodiesel or bioethanol, can be an option. It can be developed to support the long run national energy supply. This paper discuss an opportunity of utilizing biodiesel as an alternative fuel for diesel engines and bioethanol for gasoline engines in transport sector. At the crude oil price of 40 US\$/barrel, transport technologies fueled by diesel oil and gasoline are still more economically competitive compared with biodiesel or bioethanol. But, when the crude oil price is above 55 US\$/barrel, biodiesel and bioethanol will be used as petroleum base fuel products substitution. In addition, the gas based transport technology also gain its competitiveness.

Kata kunci: biofuel, kebutuhan energi, model MARKAL

1. PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan ekonomi serta populasi dengan segala aktivitasnya akan meningkatkan kebutuhan energi di semua sektor pengguna energi. Konsumsi energi final meningkat dari 221,33 juta Setara Barel Minyak (SBM) pada tahun 1990 menjadi 489,01 juta SBM pada tahun 2003 atau meningkat sebesar 6,3% per tahun. Berdasarkan jenis energinya, konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan konsumsi energi final terbesar. Pada tahun 2003 konsumsi BBM sebesar 329 juta SBM (67,7%), Bahan Bakar Gas (BBG) sebesar 63 juta SBM (13,0%), listrik sebesar 55 juta SBM (11,3%), batubara sebesar 31 juta SBM (6,4%), dan LPG sebesar 8 juta SBM (1,6%). Sebagian besar konsumsi BBM digunakan untuk sektor transportasi.

Peningkatan kebutuhan energi tersebut harus didukung adanya pasokan energi jangka panjang secara berkesinambungan, terintegrasi, dan ramah lingkungan. Pasokan energi diusahakan berasal dari sumber energi dalam negeri dan dari impor dari negara lain apabila pasokan energi dalam negeri tidak mencukupi. Mengingat potensi sumberdaya minyak bumi dan kemampuan kapasitas kilang di dalam negeri yang terbatas maka perlu dicarikan bahan bakar alternatif untuk substitusi BBM.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, pemerintah melalui Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 telah mengeluarkan kebijakan energi nasional. Kebijakan ini bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri. Kebijakan utama meliputi penyediaan

energi yang optimal, pemanfaatan energi yang efisien, penetapan harga energi ke arah harga keekonomian dan pelestarian lingkungan. Kebijakan utama tersebut didukung dengan pengembangan infrastruktur, kemitraan dunia usaha, pemberdayaan masyarakat dan pengembangan penelitian. Kebijakan energi nasional ini juga memuat upaya untuk melakukan diversifikasi dalam pemanfaatan energi. Usaha diversifikasi ini ditindaklanjuti dengan dikeluarkannya Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain. Dalam mendukung kebijakan ini pemerintah juga mengeluarkan *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional.

Pengembangan dalam pemanfaatan biofuel menjadi lebih menarik dengan semakin meningkatnya harga minyak mentah dunia yang mencapai US\$70 per barel pada akhir tahun 2005. Berdasarkan *road map biofuel* pada *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional ditargetkan Indonesia mampu mensubstitusi minyak solar dengan biodiesel sebanyak 2% pada tahun 2010, 3% tahun 2015 dan 5% tahun 2025 serta mensubstitusi bensin dengan bioethanol (*gasohol*) sebanyak 2% pada tahun 2010, 3% tahun 2015 dan 5% tahun 2025.

Biofuel yang sudah dikembangkan sebagai substitusi BBM saat ini adalah biodiesel dan bioethanol. Biodiesel dapat diperoleh dari esterifikasi minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil - CPO*) atau minyak jarak sedangkan hidrolisa dan fermentasi ubi kayu menghasilkan bioethanol. Dalam makalah ini akan dibahas peluang pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar

alternatif untuk mesin diesel dan bioethanol sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin bensin di sektor transportasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Model

Model MARKAL Answer merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dalam bidang ekonomi energi (Jacobs, 1999). Model dinyatakan dalam bentuk sistem energi referensi (*reference energy system - RES*) yang merepresentasikan keterkaitan antar keseluruhan sektor energi. Keterkaitan antar sumber energi, teknologi energi, dan penggunaannya dinyatakan dalam bentuk jaringan sistem energi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Ada empat kategori teknologi dalam RES ini, yaitu:

- Teknologi sumber daya (*resource technology*), seperti: penambangan, impor dan ekspor.
- Teknologi proses yang mengubah dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya, misalnya kilang minyak.
- Teknologi konversi, yang mengubah energi primer menjadi tenaga listrik atau panas.
- Teknologi pengguna akhir (*end use*), yang mengubah satu bentuk energi final menjadi energi bermanfaat (*useful energy*), seperti penggunaan peralatan kompor untuk memasak, lampu penerangan, dan ketel uap.

Model akan membuat formulasi dalam bentuk *linear programming* berdasarkan RES yang sudah dibuat. Model akan mengalokasikan penyediaan energi primer dan sekunder dengan fungsi obyektif meminimumkan total biaya

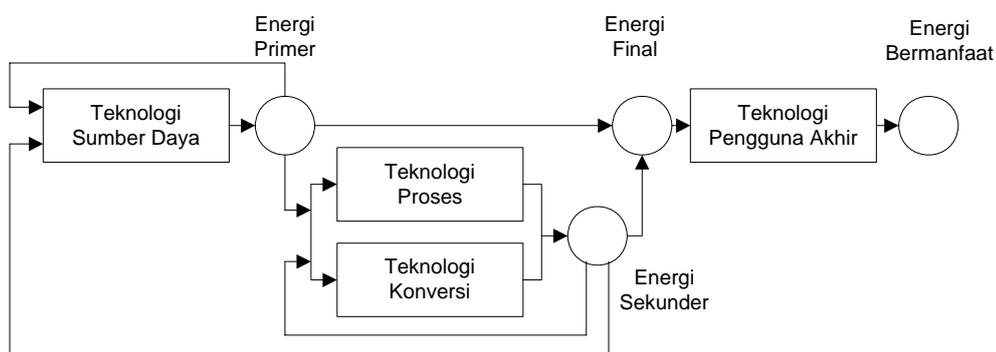
penyediaan energi dan dengan kendala berbagai pilihan sumber dan teknologi energi untuk memenuhi kebutuhan energi final maupun energi bermanfaat. Analisis dilakukan dengan tahun dasar 2003 dan periode analisis sampai dengan tahun 2025. Proyeksi kebutuhan energi merupakan masukan model MARKAL dan diproyeksikan dengan mempertimbangkan pertumbuhan sektor ekonomi dan populasi. Proyeksi kebutuhan energi diperhitungkan dengan menggunakan model MAED (*Model for Analysis of Energy Demand*).

2.2. Skenario

Skenario merupakan deskripsi pola pengembangan jangka panjang berdasarkan arah kebijakan pemerintah. Penetapan skenario terkait dengan evolusi sosial dan ekonomi suatu negara yang menggabungkan isu-isu yang terkait dengan kebijakan pembangunan nasional seperti: pertumbuhan ekonomi, modifikasi struktur ekonomi, evolusi demografi, perbaikan taraf hidup, serta perkembangan teknologi. Skenario yang akan ditinjau ada dua yaitu kasus dasar dan kasus harga minyak mentah tinggi.

2.2.1. Kasus Dasar

Kasus dasar menganggap bahwa perkembangan perekonomian sesuai dengan kondisi saat ini. Asumsi yang digunakan pada kasus dasar adalah *discount rate* sebesar 10%, harga minyak bumi tahun 2003 – 2004 sebesar 28 US \$/barel dan mulai tahun 2005 sebesar 40 US\$/barel. Sedangkan harga bahan baku biofuel adalah untuk CPO sebesar 60,2 US\$/SBM dan untuk ubi kayu sebesar 60,8 US\$/SBM. Dengan mempertimbangkan bahan bakau tersebut maka



Gambar 1. Sistem Energi Referensi (diadaptasi dari Kleemann and Wilde, 1990)

biaya produksi biodiesel dari CPO dengan kapasitas 100.000 ton/tahun adalah Rp. 4.240/liter dan biaya produksi bioethanol dari ubi kayu dengan kapasitas 60 kl/hari adalah sebesar Rp. 4.720/liter.

2.2.2. Kasus Harga Minyak Mentah Tinggi

Asumsi pada kasus ini sama seperti pada kasus dasar, kecuali untuk harga minyak mentah sebesar 50 US\$/barel dan 60 US\$/barel mulai tahun 2005. Masing-masing kasus dilakukan optimasi untuk melihat peluang pemanfaatan biofuel.

3. SEKTOR ENERGI DAN BIOFUEL

3.1. Sektor Energi

Perkembangan konsumsi energi final untuk sektor transportasi, sektor rumah tangga (termasuk komersial) dan sektor industri dari tahun 1990 sampai dengan tahun 2003 ditunjukkan pada Gambar 2. Pada tahun 1990 besarnya konsumsi energi final di sektor industri mencapai sebesar 84 juta SBM kemudian disusul sektor transportasi sebesar 80 juta SBM dan sektor rumah tangga sebesar 58 juta SBM. Sedangkan dari pangsa konsumsi energi maka sektor industri merupakan sektor pengguna energi terbesar yaitu sekitar 38% diikuti oleh sektor transportasi (36%) dan sektor rumah tangga (26%). Pada tahun 2003 konsumsi energi final di sektor industri meningkat rata-rata sebesar 6% per tahun atau menjadi 188 juta SBM, konsumsi di sektor transportasi naik rata-

rata sebesar 7% per tahun atau menjadi 186 juta SBM, sedangkan di sektor rumah tangga meningkat rata-rata sebesar 5% per tahun atau menjadi 115 juta SBM.

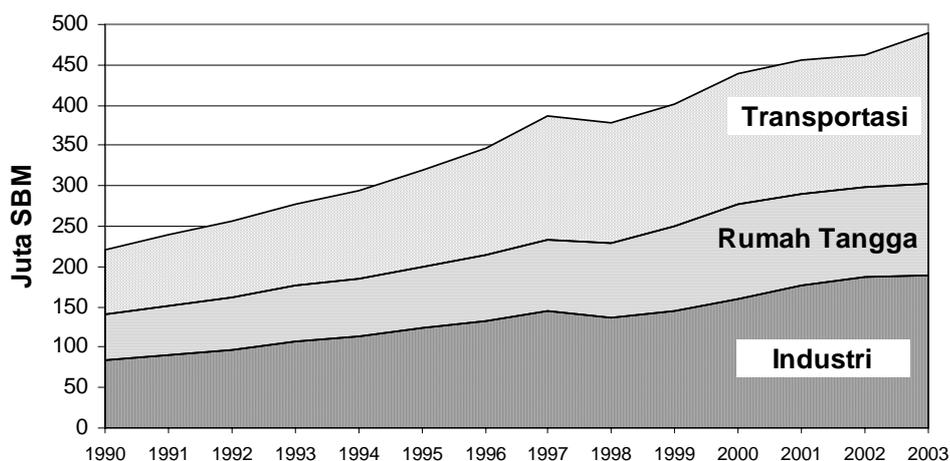
Perkembangan konsumsi energi final per jenis energi di Indonesia dari tahun 1990 sampai dengan tahun 2003 ditunjukkan pada Gambar 3. Konsumsi BBM pada tahun 1990 mempunyai pangsa yang paling tinggi yaitu sebesar 76% diikuti oleh BBG (10%), listrik (8%), batubara (4%) dan pangsa yang paling kecil adalah LPG (1%). Pada tahun 2003 meskipun pangsa konsumsi BBM masih paling besar tetapi sudah berkurang menjadi 67%. Kemudian diikuti oleh BBG (13%), listrik (11%), batubara (6%) dan LPG (2%). Pertumbuhan konsumsi batubara dan LPG paling besar yaitu sekitar 10% per tahun diikuti oleh pertumbuhan konsumsi listrik (9% per tahun), BBG (8% per tahun), dan BBM hanya tumbuh sekitar 5% per tahun.

3.2. Biofuel

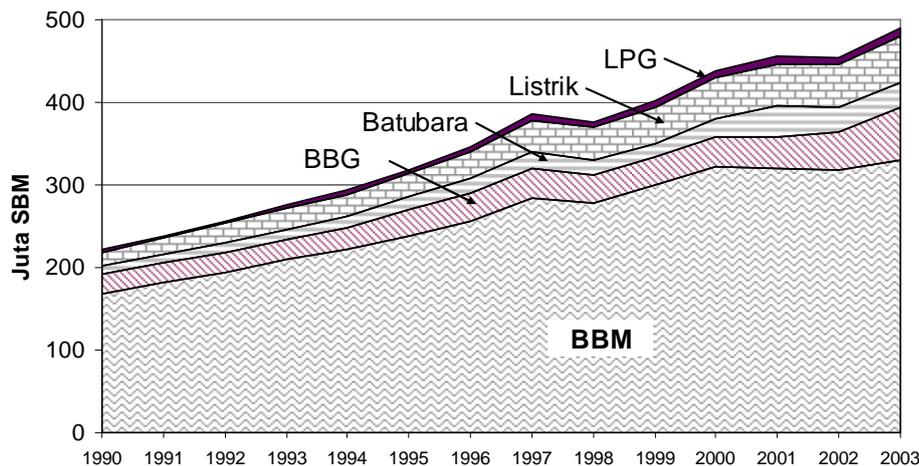
Penelitian tentang penggunaan biofuel sebagai energi alternatif saat ini telah dilakukan oleh banyak negara di dunia. Sebagian negara ada yang mengembangkan biodiesel, sebagian lainnya mengembangkan bioethanol.

3.2.1. Biodiesel

Biodiesel dapat dibuat dari bahan baku minyak kelapa sawit, jarak pagar, dan kedelai. Berdasarkan jumlah ketersediaan dan potensi pengembangan tanaman untuk bahan baku maka biodiesel dengan bahan baku minyak kelapa sawit mempunyai prospek untuk



Gambar 2. Konsumsi Energi Final per Sektor di Indonesia



Gambar 3. Konsumsi Energi Final per Jenis Energi di Indonesia

dikembangkan (Wirawan dan Shalikhah, 2005). Biodiesel dapat dipergunakan sebagai bahan bakar pengganti ataupun campuran minyak diesel atau minyak solar. Biodiesel selain mempunyai keunggulan dari sisi penyediaan yang merupakan sumber yang dapat diperbaharui, juga merupakan bahan bakar yang relatif bersih dari emisi bahan pencemar.

Secara umum, ada tiga cara proses produksi yang dipergunakan untuk membuat biodiesel dari minyak nabati, yaitu:

- Trans-esterifikasi dengan katalis basa;
- Trans-esterifikasi dengan katalis asam langsung; dan
- Konversi minyak nabati menjadi asam lemak dilanjutkan menjadi biodiesel.

Dari ke tiga proses produksi biodiesel tersebut, proses trans-esterifikasi dengan katalis basa telah dimanfaatkan untuk memproduksi biodiesel secara komersial. Proses trans-esterifikasi dengan katalis basa saat ini sudah cukup ekonomis dan dapat dilakukan pada suhu dan tekanan rendah. Selain itu, hasil konversi yang bisa dicapai dari proses ini mendekati 98%. Proses trans-esterifikasi merupakan reaksi dari trigliserin dengan bio-alkohol (methanol atau ethanol) untuk membentuk methyl ester dan gliserol menggunakan katalis basa NaOH atau KOH.

3.2.2. Bioethanol

Bioethanol atau ethanol dapat dibuat dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, sagu, dan tetes. Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang biasa ditanam rakyat hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga

jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dipertimbangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bioethanol. Bioethanol dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor, baik sebagai bahan bakar tunggal (hanya ethanol) maupun sebagai campuran bensin atau premium. Ethanol dikenal pula sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena bersih dari emisi bahan pencemar.

Pembuatan bioethanol dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) yang larut air. Proses konversi tersebut dilakukan dengan penambahan air dan enzyme; kemudian dilakukan proses peragian dari gula menjadi ethanol. Bila bahan baku tersebut dari jenis tanaman gula-gulaan maka proses tersebut menjadi lebih pendek karena bahan tersebut bisa langsung dilakukan proses peragian menjadi ethanol.

Pembuatan ethanol dari bahan tanaman yang mengandung selulosa juga dapat dilakukan namun prosesnya menjadi lebih sulit karena adanya lignin. Meskipun teknik pembuatan ethanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, tetapi ethanol untuk bahan bakar harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga proses pembuatan ethanol masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

4. PROSPEK PEMANFAATAN BIOFUEL

Penggunaan biofuel dapat langsung berupa 100% biofuel murni maupun dalam bentuk campuran dengan komposisi tertentu. Prospek pemanfaatan biofuel yang akan dibahas

dalam makalah ini tidak mempertimbangkan komposisi campuran yang optimal. Biofuel dianggap dapat mensubstitusi sebagian atau keseluruhan penggunaan BBM di sektor transportasi.

Penggunaan biodiesel murni (100% biodiesel murni) sering disingkat dengan nama B100. Penggunaan dalam bentuk campuran, misalnya B5 merupakan campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak solar. Setiap negara mempunyai kebijakan tertentu dalam memberikan batas ijin pencampuran biodiesel dengan minyak solar. Amerika Serikat mengizinkan pencampuran hingga 20%, sedangkan di Eropa saat ini baru mengizinkan hingga 5%. Di Indonesia, Direktorat Jenderal Migas dengan masukan dari Agen Tunggal Pemegang Merk (ATPM), Gabungan Pengusaha Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) dan mempertimbangkan peraturan yang berlaku di *World Wide Fuel Charter* (WWFC) mengusulkan pencampuran biodiesel hingga 5%, sedangkan Forum Biodiesel Indonesia (FBI) mengusulkan komposisi campuran yang lebih besar minimal hingga 10%.

Sebagian besar kendaraan bensin dapat dijalankan dengan menggunakan bahan bakar ethanol 10% yang dicampur dengan bensin 90% (BE10) tanpa melakukan modifikasi mesin. Sekarang ini, banyak pabrik mobil sudah mengembangkan mobil yang dapat beroperasi dengan kandungan ethanol lebih tinggi, yaitu BE85 (ethanol 85% dan bensin 15%). Mobil yang dapat berjalan dengan bahan bakar BE85 tersebut sering diberi nama *Flexible Fuel Vehicles* (FFV). Ford, GM, Chrysler, Mazda, Isuzu, dan Mercedes sudah menyediakan sekitar 20 model kendaraan jenis mobil dan truk yang mampu menggunakan campuran bensin dengan ethanol sampai 85% tanpa modifikasi. Sekitar tiga juta kendaraan FFV sudah beroperasi dan sekitar 240 buah Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Amerika Serikat sekarang menawarkan E85.

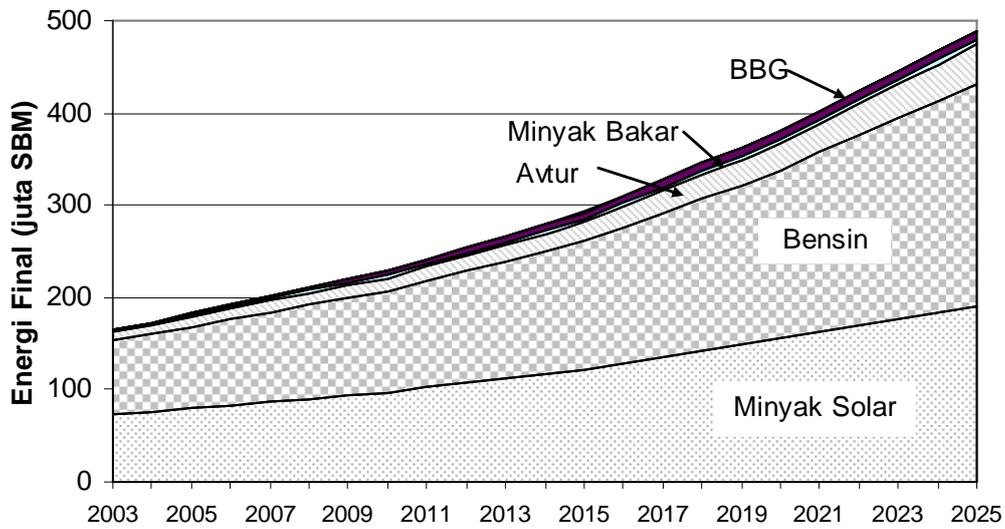
Pencampuran biofuel dapat dilakukan di kilang minyak, di depot penyaluran BBM, dan di SPBU. Jarak dan lokasi masing-masing plant produksi dengan kilang minyak, depot penyaluran maupun SPBU akan berpengaruh terhadap peningkatan total biaya energi sistem. Hal tersebut karena makin jauh jarak pengangkutan dan volume biofuel yang diangkut ke lokasi pencampuran menyebabkan biaya angkutan dan biaya pencampuran makin besar. Aspek-aspek dalam pencampuran biofuel tersebut tidak dibahas dalam masalah ini.

4.1. Kasus Dasar

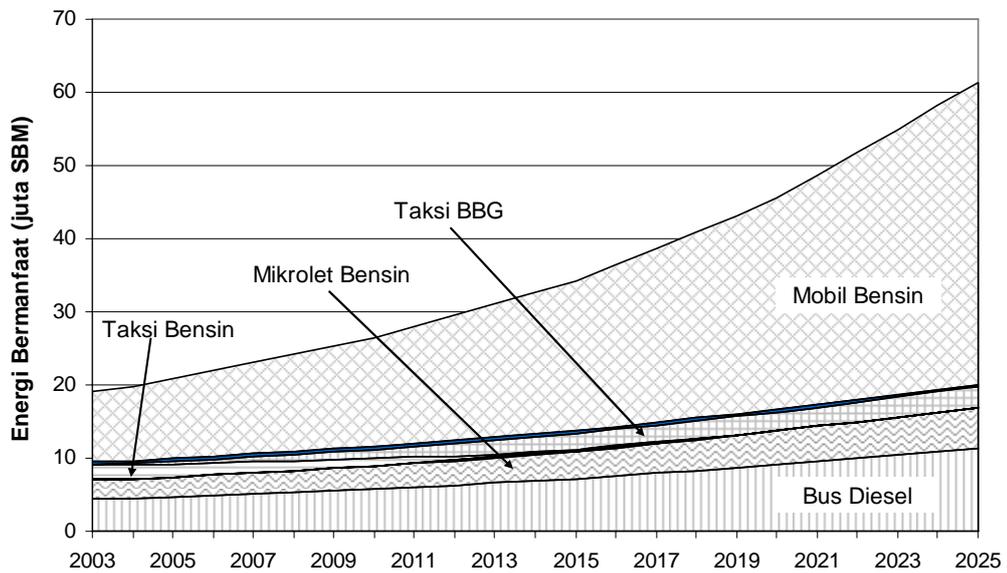
Dari hasil optimasi diperoleh biaya total sistem (*discounted total cost*) pada kasus dasar adalah sebesar 590,7 milyar US\$. BBM hasil kilang minyak bumi merupakan bahan bakar yang paling dominan digunakan di sektor transportasi. Biofuel baik berupa biodiesel maupun bioethanol belum dapat bersaing dengan BBM. Tanpa ada kebijakan pemerintah yang mendorong penggunaan biofuel, maka minyak solar dan bensin akan tetap mendominasi pemakaian energi di sektor transportasi hingga akhir periode studi. Pemanfaatan BBM di sektor transportasi di Indonesia dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2025 diperkirakan meningkat rata-rata sekitar 6% per tahun.

Pada umumnya minyak solar dan bensin banyak dimanfaatkan pada sektor transportasi darat, minyak bakar lebih diutamakan untuk memenuhi kebutuhan transportasi laut atau sungai, sedangkan avtur dimanfaatkan di sektor transportasi udara. Prakiraan pemakaian energi final di sektor transportasi per jenis energi ditunjukkan pada Gambar 4. Pada tahun 2003 pangsa penggunaan bensin paling besar yaitu sebesar 49% diikuti oleh minyak solar (44%), avtur (6%), dan minyak bakar (1%). Penggunaan BBG meningkat sedikit demi sedikit mulai tahun 2005. Penggunaan energi di sektor transportasi meningkat dari sekitar 165 juta SBM pada tahun 2003 menjadi 488 juta SBM pada tahun 2025. Penggunaan minyak solar dan bensin masih mendominasi selama periode tersebut dan tidak ada kenaikan yang signifikan dalam penggunaan minyak bakar.

Dengan harga minyak mentah sebesar 40 US\$/barel, teknologi transportasi berbasis minyak solar dan bensin ternyata masih tetap lebih ekonomis dibanding dengan BBG, apalagi dibandingkan dengan menggunakan biodiesel atau bioethanol. Biaya pemanfaatan biodiesel dan bioethanol masih lebih tinggi dibanding bahan bakar konvensional. Pemanfaatan BBG di kendaraan umum, khususnya taksi diperkirakan merupakan opsi yang cukup menarik, mengingat taksi mempunyai jarak tempuh per hari yang cukup panjang. Untuk memberi gambaran yang lebih rinci pada Gambar 5 ditampilkan prakiraan pemakaian energi bermanfaat per jenis kendaraan di Jawa. Untuk luar Jawa tidak ditampilkan karena jenis kendaraan yang digunakan sedikit sehingga tidak merepresentasikan adanya substitusi antar teknologi untuk jangka panjang.



Gambar 4. Prakiraan Pemakaian Energi Final di Sektor Transportasi per Jenis Energi (Di Indonesia, Kasus Dasar)



Gambar 5. Prakiraan Pemakaian Energi di Sektor Transportasi per Jenis Kendaraan (Di Jawa, Kasus Dasar)

4.2. Kasus Harga Minyak Mentah Tinggi

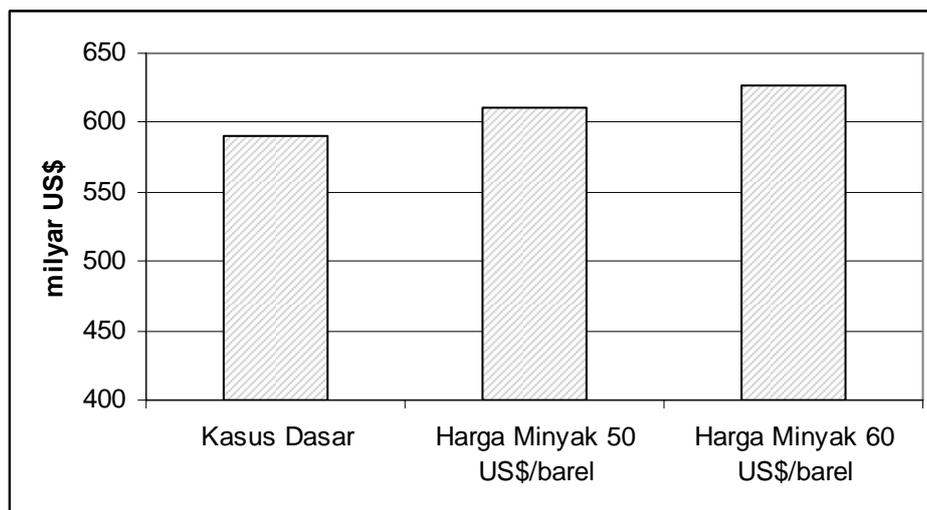
Harga minyak yang tinggi akan mempengaruhi pemilihan teknologi penyediaan energi nasional dan akhirnya akan mempengaruhi total biaya sistem energi di Indonesia. Besarnya total biaya sistem energi untuk harga minyak mentah sebesar 50 US\$/barel dan 60 US\$/barel masing-masing adalah sebesar 610,8 milyar US\$ dan 627,4 milyar US\$. Perbandingan biaya total sistem untuk masing-masing kasus ditunjukkan pada Gambar 6. Pertambahan total biaya sistem energi ini disebabkan masuknya teknologi baru yang mempunyai biaya lebih mahal dibandingkan dengan teknologi yang telah tersedia.

Pada harga minyak mentah sebesar 50 US\$/barel, pola pemakaian energi final di sektor transportasi masih relatif tetap seperti pada kasus dasar. Hal tersebut disebabkan biaya produksi biodiesel berbahan baku dan biaya produksi bioethanol berbahan baku ubi kayu masih lebih mahal dari biaya produksi BBM di kilang minyak. Sedangkan dengan harga minyak 60 US\$/barel maka biodiesel dan bioethanol berpotensi untuk dimanfaatkan di sektor transportasi. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa pada harga minyak mentah sebesar 55 US\$/barel maka biodiesel dan bioethanol sudah dapat bersaing dengan BBM. Sehingga pada harga minyak mentah di atas 55 US\$/barel maka sebagian besar penggunaan minyak solar dan bensin digantikan dengan biodiesel dan

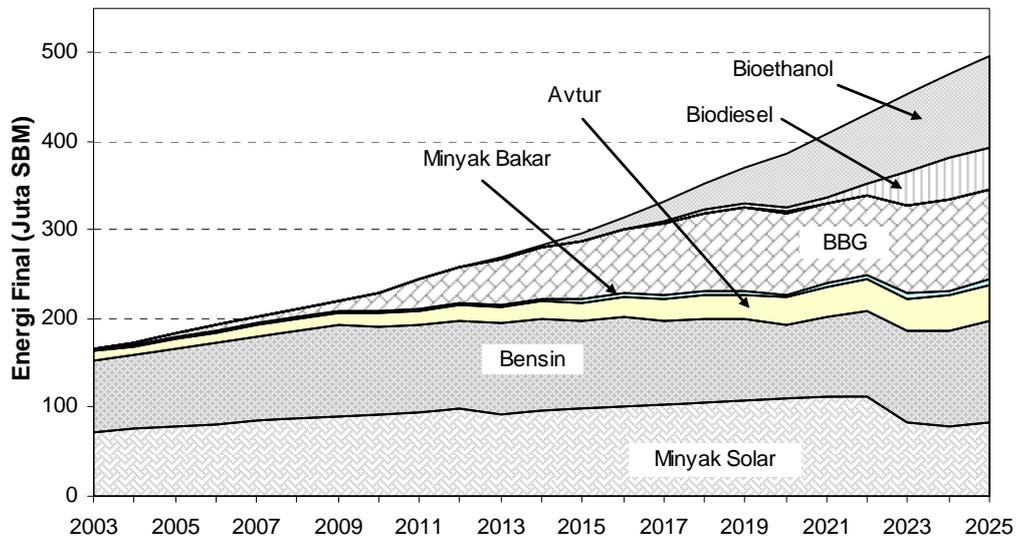
bioethanol seperti pada Gambar 7.

Pemanfaatan biodiesel dan bioethanol terus meningkat hingga pada tahun 2025 mencapai 47 juta SBM untuk biodiesel dan 103 juta SBM untuk bioethanol, sehingga kenaikan penggunaan minyak solar dan bensin di sektor ini dari tahun 2003 hingga tahun 2025 relatif kecil. Penggunaan minyak solar meningkat dari sebesar 72 juta SBM pada tahun 2003 menjadi 82 juta SBM pada tahun 2025 dan penggunaan bensin meningkat dari 81 juta SBM pada tahun 2003 menjadi 114 juta SBM pada tahun 2025. Pemakaian avtur yang tidak dapat digantikan oleh bahan bakar lain relatif tetap pertumbuhannya yaitu sekitar 6.8 % per tahun. Selain biodiesel dan bioethanol, diperkirakan BBG juga dapat bersaing dengan minyak solar dan bensin, sehingga pada tahun 2025 kontribusi BBG di sektor transportasi meningkat menjadi 20.6 % terhadap total pemakaian energi di sektor transportasi.

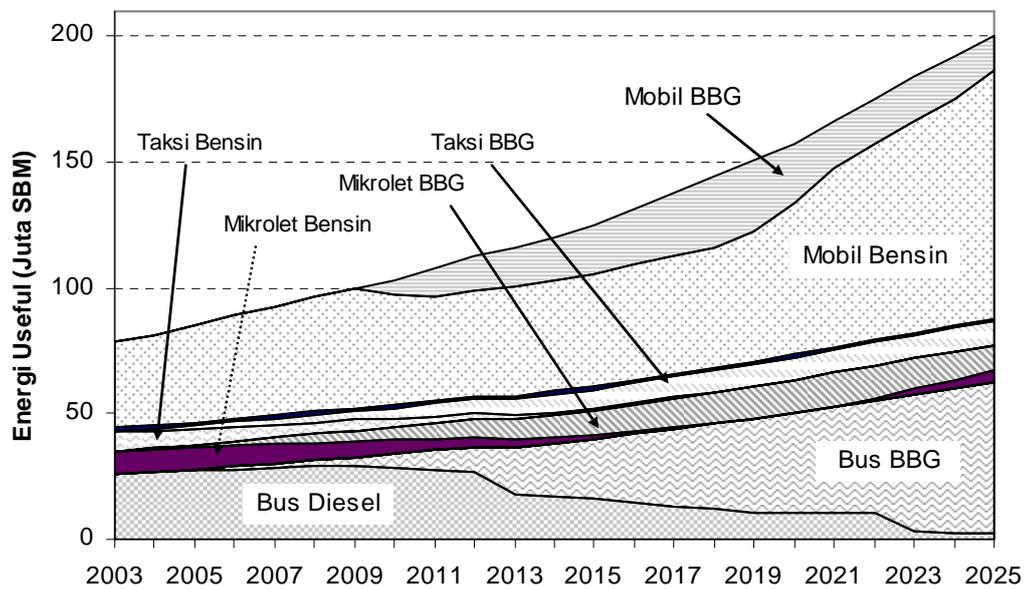
Gambar 8 menunjukkan pemakaian energi bermanfaat per jenis kendaraan di sektor transportasi di Jawa untuk harga minyak mentah 60 US\$/barel. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terjadi substitusi antar teknologi transportasi. Bus diesel yang menggunakan minyak solar atau biodiesel serta mobil bensin yang menggunakan bensin atau bioethanol berkurang pangsaanya dengan munculnya teknologi mobil dan bus yang menggunakan BBG.



Gambar 6. Perbandingan Biaya Total Sistem



Gambar 7. Prakiraan Pemakaian Energi Final di Sektor Transportasi per Jenis Energi (Di Indonesia, Harga Minyak Mentah 60 US\$/barel)



Catatan: Teknologi transportasi yang menggunakan minyak solar atau bensin sudah termasuk juga yang menggunakan biodiesel maupun bioethanol.

Gambar 8. Prakiraan Pemakaian Energi di Sektor Transportasi per Jenis Kendaraan (Di Jawa, Harga Minyak Mentah 60 US\$/barel)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan harga minyak mentah sebesar 40 US\$/barel, teknologi transportasi berbasis minyak solar dan bensin ternyata masih tetap lebih ekonomis dibanding dengan penggunaan biodiesel atau bioethanol. Biodiesel dan bioethanol dapat bersaing dengan BBM pada harga minyak mentah di atas 55 US\$/barel. Namun demikian pada harga minyak mentah di atas 55 US\$/barel menyebabkan teknologi transportasi berbasis BBG juga menjadi pilihan yang optimal.

Makalah ini membahas salah satu aspek pengembangan biofuel yang berkaitan dengan harga minyak mentah. Masih banyak aspek seperti: aspek lingkungan, aspek pencampuran biofuel dengan BBM, aspek teknologi pemrosesan, dan aspek sumber daya alam perlu menjadi pertimbangan dalam pengembangan. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut berbagai aspek tersebut dalam membuat strategi untuk pengembangan biodiesel dan bioethanol di masa datang.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPPT (2005) *Perencanaan Energi Nasional Dengan Memperhitungkan Pemanfaatan Bio-fuel, PLTU Skala Kecil, PLTN, dan Bahan Bakar Batubara Cair*, Laporan Proyek, Jakarta.
2. DESDM (2004) *Kebijakan Energi Nasional 2003-2020*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
3. DESDM (2005) *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
4. DJLPE (2004) *Statistik Ketenagalistrikan dan Energi No.17 Tahun 2004*, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi.
5. G.W. Mushrush, D.G. Mose, C.L. Wray, and K.T. Sullivan (2001) *Biofuels as a Means of Improving the Quality of Petroleum Middle Distillate Fuels*, *Energy Source*, No.23, p.649-655, Taylor and Francis.
6. Jacobs, B (1999) *ANSWER: MARKAL Energy Modelling for Windows*, ABARE, Canberra.
7. Kleemann, M. and Wilde, D. (1990) *Intertemporal Capacity Expansion Models*, *Energy - The International Journal*, Vol.15, No.7/8, p.549-571, Pergamon Press, UK.
8. Larsen, H., J. Kossmann and L.S. Petersen (2003) *New and Emerging Bioenergy Technologies*, Riso Energy Report 2, Riso National Laboratory.
9. National Academy of Sciences (2003) *Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels*, National Academy Press, Washington, D.C.
10. Wirawan, S.S. dan Shalikhah, M.D. (2005) *Kajian Hasil-Hasil Riset Biodiesel di Indonesia*, BRDST-BPPT.