

## DAMPAK PENGURANGAN EMISI KENDARAAN PADA PEMAKAIAN CAMPURAN BIODIESEL 20%

**Agung Wijono**

Balai Teknologi Bahan Bakar & Rekayasa Disain - Badan Pengkajian & Penerapan Teknologi  
Gedung 480, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15314  
E-mail: agung.wijono@gmail.com

### ABSTRAK

Biodiesel adalah bahan bakar nabati sebagai pengganti minyak diesel pada kendaraan bermotor, sebagai solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak pada saat ini. Penggunaan biodiesel juga berdampak positif pada pengurangan emisi yang ditimbulkan akibat proses pembakaran di mesin kendaraan bermotor. Kajian dampak pengurangan emisi kendaraan pada pemakaian campuran biodiesel 20 % (B20) merupakan wujud dukungan dalam menyukseskan mandatori pemanfaatan biodiesel sebesar 20% pada 2016 sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 yang mewajibkan pemakaian B20 pada kendaraan bermotor pada tahun 2016. Kajian dampak lingkungan dilakukan memakai metoda Life Cycle Assessment Cradle to Wheel, yang dimulai dari pembukaan lahan, perkebunan kelapa sawit, produksi minyak sawit, produksi biodiesel, pencampuran biodiesel 20%, distribusi di SPBU, serta pemakaian B20 di kendaraan transportasi dan industri. Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui keuntungan dari pemakaian campuran biodiesel pada kendaraan bermotor, serta mengetahui sampai sejauh mana campuran biodiesel bisa mengurangi emisinya untuk menekan pengaruh dampak terhadap lingkungan. Hasil kajian ini menunjukkan adanya efek kualitas campuran biodiesel terhadap: unjuk kerja mesin, emisi gas buang, pembakaran mesin, serta pelumasan. Skenario berbagai campuran biodiesel menunjukkan penurunan dampak lingkungan yang signifikan pada B20 dan didapatkan juga campuran biodiesel yang optimal.

**Kata kunci:** Campuran biodiesel, Emisi transportasi, Penurunan dampak lingkungan.

### ABSTRACT

Biodiesel is a biofuel as a substitute for diesel oil in motor vehicles, as a solution to overcome the current fuel oil crisis. The use of biodiesel also has a positive impact on the reduction of emissions caused by the combustion process in motor vehicles. The assessment of the impact of vehicle emission reduction on the use of 20% biodiesel blending (B20) is a form of support in the success of mandatory 20% biodiesel utilization in 2016 as stated in Regulation of Minister of Energy and Mineral Resources No. 12 of 2015 which requires the use B20 in motor vehicles by 2016. The environmental impact assessment is carried out using the Life Cycle Assessment Cradle to Wheel method, starting from land clearing, oil palm plantation, palm oil production, biodiesel production, 20% biodiesel blending, distribution at gas stations, and used of B20 in vehicles of transportation and industrial. The purpose of this study is to determine the advantages of using biodiesel blending in motor vehicles, and to know to what extent biodiesel blending reduce emissions to minimize impacts on the environment. The results of this study show the effect of biodiesel blending quality on: engine performance, exhaust emissions, engine combustion, and lubrication. Scenarios of various biodiesel blends show a significant decrease in environmental impact on B20 and also obtained the optimal mixture of biodiesel.

**Keywords:** Biodiesel mix, Transportation emissions, Reduce environmental impact.

### PENDAHULUAN

Biodiesel campuran yang dinotasikan dengan B-XX merupakan bahan bakar yang terdiri dari XX-% biodiesel dan (100-XX)-% minyak diesel. Sebagai contoh, B100 merupakan biodiesel murni, B0 merupakan minyak diesel murni, sedangkan B20 merupakan campuran 20% biodiesel dan 80% minyak diesel. Pada prinsipnya, biodiesel

murni maupun campuran dapat digunakan pada semua jenis mesin diesel/kompresi termasuk kendaraan penumpang, truk, traktor, kapal, genset, dan peralatan industri lainnya.

Hingga saat ini, persentase maksimum biodiesel yang dicampurkan ke dalam minyak solar sebesar 20%-volume. Di Indonesia, spesifikasi bahan bakar B20 mengacu pada standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48 yang diatur dalam Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas

Bumi No. 28.K/10/DJM.T/2016. Bahan bakar campuran (B-XX) yang dimaksud adalah campuran antara bahan bakar minyak diesel dan biodiesel dengan rasio tertentu, diperoleh dengan proses pencampuran. Misalnya B20 adalah campuran antara 80%-volume minyak solar dengan 20%-volume biodiesel. Semakin tinggi persentase biodiesel yang dicampurkan ke dalam minyak solar, maka sifat dan karakteristik campuran bahan bakar akan semakin 'mirip' dengan biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang stabil, bersifat mengurangi tingkat emisi gas buang, bercampur secara sempurna dengan minyak diesel mineral (solar) dan bekerja dengan baik pada semua jenis mesin diesel. Selain mengurangi emisi keunggulan biodiesel yang utama adalah tidak diperlukan modifikasi mesin untuk menjalankan mesin diesel. Biodiesel dapat dituang langsung kedalam tangki bahan bakar kendaraan. Biodiesel biasanya digunakan dalam bentuk campuran dengan minyak diesel. Biodiesel murni maupun campuran dapat digunakan pada semua jenis mesin diesel seperti pada kendaraan diesel untuk penumpang, truk, kereta, kapal, serta peralatan traktor, genset dan mesin industri lainnya.

Salah satu keunggulan biodiesel dibanding dengan minyak diesel adalah ramah lingkungan, tidak beracun, dan bebas sulfur. Biodiesel merupakan satu-satunya bahan bakar alternatif yang telah selesai menjalani test *health effect* yang berat dari persyaratan *The Clean Air Act*. Biodiesel (100%) telah diteliti mengurangi emisi dibanding minyak diesel sebagai berikut mengurangi emisi partikulat 40-60%, emisi gas karbonmonoksida (CO) 10-50%, emisi gas hidrokarbon (HC) 10-50%, emisi *aldehyde-aromatic* 13% dan emisi gas beracun *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH, *carcinogenic*) 70-97%. Beberapa sifat kimia fisika biodiesel telah diidentifikasi memiliki korelasi dengan kandungan emisi gas buang, diantaranya bilangan iodine (kandungan rantai tak jenuh), panjang rantai hidrokarbon, densitas, bilangan setana, viskositas, kandungan oksigen.

Kandungan kalori dalam biodiesel sekitar 10% lebih rendah dibanding minyak diesel mineral. Biodiesel mengandung sekitar 37 mega joule per kg dimana minyak diesel mineral mengandung 42 mega joule per kg. Meskipun demikian biodiesel memiliki

efisiensi pembakaran yang lebih bagus sekitar 7% dibanding minyak diesel mineral, sehingga power dan torsi yang dihasilkan mesin sedikit lebih rendah yaitu sekitar 5%. Dalam praktek, perbedaan dalam power dan torsi ini tidak terlalu dirasakan oleh pengendara kendaraan.

Bilangan setana biodiesel berkisar antara 50 dan 60, tergantung dari bahan baku yang digunakan. Biodiesel berbahan baku dari lemak jenuh seperti, minyak hewan dan minyak goreng bekas akan memiliki bilangan setana yang lebih tinggi dari yang berbahan baku lemak tidak jenuh (kelapa sawit, kedelai, jagung dll). Efek dari biodiesel yang mempunyai bilangan setana tinggi adalah mempersingkat waktu penyalaan setelah dilakukan penyemprotan bahan bakar. Hal ini akan memperlambat kenaikan temperatur dalam ruang bakar dan mengurangi kebisingan mesin. Hasil penelitian Lemigas mengenai kebisingan secara umum dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar B30 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kebisingan mesin.

Menurut penelitian, penambahan biodiesel sebanyak 0,4-5% kedalam minyak diesel mineral akan meningkatkan pelumasan bahan bakar dan mesin. Komponen dalam pompa bahan bakar memerlukan sulfur yang terkandung dalam minyak diesel mineral sebagai pelumas. Namun demikian, jika sulfur terbakar dalam mesin akan menghasilkan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) yang merupakan komponen utama hujan asam. Regulasi bahan bakar internasional (Amerika, Eropa dan Jepang) telah membatasi kandungan sulfur dalam minyak diesel mineral. Oleh karena itu peran sulfur dapat digantikan oleh biodiesel (methyl ester) dalam mempertahankan daya pelumasan bahan bakar.

Hasil penelitian pada tahun 1980-an tentang pengaruh penggunaan biodiesel pada pelumas mesin menunjukkan bahwa pelumas mesin akan sedikit mengalami penurunan viskositas. Namun demikian hal ini tidak memperburuk kondisi pelumas maupun kondisi/tingkat keausan mesin. Beberapa penelitian justru terlalu melaporkan hal yang sebaliknya dimana tingkat keausan mesin lebih rendah, hal ini karena biodiesel sendiri merupakan pelumas yang bagus. Selain itu mesin diesel produksi mulai tahun 1990-an sudah dilengkapi ring piston yang dapat mengontrol jumlah kelarutan bahan bakar

kedalam oli. Hasil penelitian tentang penggunaan biodiesel sawit pada mesin melaporkan adanya penurunan jumlah partikel soot dalam oli dan tingkat keausan logam besi (Fe). Sebagian besar peneliti berpendapat bahwa jika menggunakan biodiesel sebaiknya periode penggantian oli dikurangi dari biasanya hal ini untuk mencegah efek penurunan viskositas.

Biodiesel adalah materi yang dapat terurai dengan mudah (*biodegradable*) dan tidak beracun (*non-toxic*). 100% biodiesel dapat terurai sama mudahnya dengan gula dan lebih rendah tingkat keracunannya dibanding garam. Penelitian menunjukkan bahwa biodiesel dapat terurai empat kali lebih cepat dibanding minyak diesel mineral (terurai sebanyak 98% dalam waktu tiga minggu). Dengan tingkat emisi yang rendah, mudah terurai dan aman dalam penggunaannya membuat biodiesel sangat cocok untuk operasional mesin di daerah wisata, taman-taman nasional dan hutan.

Biodiesel sebenarnya merupakan senyawa ester yang banyak digunakan sebagai *mild solvent* (pelarut). Senyawa ester ini sudah lama menjadi senyawa organik *low volatile* untuk bahan pembersih, karena mampu melarutkan *sludge* atau kerak yang sering timbul di tangki timbun BBM. Sifat pelarut ini juga memberikan manfaat pada pembersihan kerak-kerak pada mesin dan tangki bahan bakar kendaraan. Selain itu, sifat biodiesel sebagai pelarut juga dapat mempengaruhi kondisi beberapa material bila terkena biodiesel, khususnya yang terbuat dari karet alami. Material yang terbuat dari karet alami akan mengembang (*swelling*) bila terkena biodiesel. Penggunaan gasket pada sistem perpipaan dan *spare part* pompa (seal, o-ring) yang terbuat dari karet alami harus diganti dengan material yang terbuat dari karet sintetis seperti viton. (NREL, 2016)

## METODE

Kajian dilakukan memakai metoda *Life Cycle Assessment Cradle to Wheel*, yang dimulai dari pembukaan lahan, perkebunan, produksi bahan baku, produksi biodiesel, pencampuran biodiesel, distribusi di SPBU, serta pemakaian campuran biodiesel di kendaraan transportasi dan industri. Berikut adalah metodologi kajian ini:

1. Rantai pasok industri biodiesel sawit: perkebunan sawit, transport tandan buah segar sawit (*FFB*) dari perkebunan ke pabrik kelapa sawit (*CPO Mill*), proses pengolahan *CPO*, transport *CPO* dari *CPO Mill* ke pabrik biodiesel, proses pengolahan biodiesel, transport biodiesel dari pabrik biodiesel ke *blending plant*, proses pencampuran biodiesel, transport campuran biodiesel dari *blending plant* ke SPBU, proses pengisian campuran biodiesel ke kendaraan, pemakaian campuran biodiesel di kendaraan bermesin diesel sesuai Roadmap Biodiesel Nasional.
2. Asumsi input/ output: Hanya input/ output proses utama saja, mulai dari pembukaan lahan sampai dengan pemakaian biodiesel transportasi.
3. Sumber input/ output: Data sekunder dari journal/ buku/ publikasi, selanjutnya diambil yang paling sesuai dengan kondisi di Indonesia (melalui verifikasi dan konsultasi).
4. Emisi Kendaraan Transportasi: Koleksi data dari B2TMP-BPPT dan koleksi data dari data sekunder, dan keduanya diambil pada nilai maksimum.
5. Campuran Biodiesel Terhadap Emisi: Simulasi dilakukan pada campuran biodiesel B0, B5, B10, B15, B20, B30, B50, dan B100.
6. Kajian LCA diasumsikan dalam jangka waktu selama 25 tahun sesuai dengan road map biodiesel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dalam metoda LCA dimana sistem produk didefinisikan, bahwa setiap aliran masuk dan keluar dari sistem ditranslasikan menjadi intervensi lingkungan. Ekstraksi dan konsumsi sumber daya alam dan emisi, dan juga proses pertukaran dalam lingkungan pada setiap fase yang relevan dalam siklus hidup produk dikompilasi. Kompilasi dari semua ini disebut *Life Cycle Inventory* (LCI). LCI digunakan untuk dapat menginterpretasikan indikator dari dampak lingkungan yang potensial. Pengumpulan data dilakukan untuk enam unit bisnis yang dibahas pada rantai suplai industri biodiesel ini, yaitu Perkebunan Kelapa Sawit, *CPO Mill*, Pabrik Biodiesel, *Blending Plant*, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), dan Transportasi kendaraan pengguna biodiesel. Data merupakan data sekunder yang dikumpulkan dari jurnal, hasil penelitian, serta buku yang berkaitan. Data akan dikumpulkan meliputi LCI pada perkebunan, *CPO Mill*, pabrik Biodiesel, *Blending Plant*, SPBU, dan Transportasi. Data yang dibutuhkan untuk transportasi adalah data kendaraan bermotor pengguna biodiesel, kebutuhan bahan bakar,

dan data spesifikasi emisi yang sesuai. Sesuai dengan kebutuhan skenario roadmap biodiesel, maka diperlukan data mulai dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2025. Periode siklus selama 25 tahun sesuai dengan umur pohon kelapa sawit sebagai sumber bahan baku Biodiesel. Sumber data diantaranya diperoleh dari B2TMP-BPPT, industri kelapa sawit, beberapa referensi buku dan berbagai journal. Tabel 1 menunjukkan konsumsi bahan bakar untuk berbagai jenis kendaraan per 100 km dan per liter, sedang pada Tabel 2 menunjukkan data total jumlah kendaraan di Indonesia untuk tiap jenis kendaraan pada periode tahun 2000 sampai dengan tahun 2015 (Sumber: Korlantas Polri, 2016).

Tabel 1. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan

Konsumsi Bahan Bakar berbagai jenis Kendaraan		
Tipe Kendaraan	liter/100km	km/liter
Passanger car	11.36	8.80
Med/small bus/truck	11.83	8.45
Big bus	16.89	5.92
Big truck	15.82	6.32

Tabel 2. Data Kendaraan di Indonesia

Tahun	Mobil Penumpang	Bus	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
2000	3,038,913	666,280	1,707,134	13,563,017	18,975,344
2001	3,189,319	680,550	1,777,293	15,275,073	20,922,235
2002	3,403,433	714,222	1,865,398	17,002,130	22,985,183
2003	3,792,510	798,079	2,047,022	19,976,376	26,613,987
2004	4,231,901	933,251	2,315,781	23,061,021	30,541,954
2005	5,076,230	1,110,255	2,875,116	28,531,831	37,623,432
2006	6,035,291	1,350,047	3,398,956	32,528,758	43,313,052
2007	6,877,229	1,736,087	4,234,236	41,955,128	54,802,680
2008	7,489,852	2,059,187	4,452,343	47,683,681	61,685,063
2009	7,910,407	2,160,973	4,452,343	52,767,093	67,336,644
2010	8,891,041	2,250,109	4,687,789	61,078,188	76,907,127
2011	9,548,866	2,254,406	4,958,738	68,839,341	85,601,351
2012	10,432,259	2,273,821	5,286,061	76,381,183	94,373,324
2013	11,484,514	2,286,309	5,615,494	84,732,652	104,118,969
2014	12,599,038	2,398,846	6,235,136	92,976,240	114,209,260
2015	13,480,973	2,420,917	6,611,028	98,881,267	121,394,185

Tabel 3 di bawah ini menunjukkan kebutuhan bahan bakar solar transportasi (ADO) di Indonesia, sebagai acuan memenuhi kebutuhan biodiesel sesuai roadmap yang

disimulasikan mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2025. Selanjutnya pada Tabel 4 menunjukkan emisi yang dihasilkan dari berbagai komposisi campuran biodiesel B-XX.

Tabel 3. Kebutuhan Solar (ADO) untuk Transportasi di Indonesia

ROADMAP KEBUTUHAN SOLAR UNTUK TRANSPORTASI (KILO LITER)						TON
Tahun	Passanger car	Med/small bus/truck	Big bus	Big truck	Total Kbthn Solar	SOLAR
2000	760,350	3,463,328	322,648	462,907	5,009,233	4,307,940
2001	797,982	3,601,638	331,789	481,931	5,213,341	4,483,473
2002	851,554	3,777,864	345,864	505,822	5,481,104	4,713,750
2003	972,102	4,152,466	386,472	555,071	6,066,111	5,216,856
2004	1,116,983	4,712,001	451,905	627,947	6,908,836	5,941,599
2005	1,374,632	5,946,850	573,800	792,012	8,687,294	7,471,073
2006	1,537,280	6,416,741	632,443	852,682	9,439,145	8,117,665
2007	1,699,532	6,889,785	693,269	913,502	10,196,089	8,768,636
2008	1,869,224	7,355,541	755,831	973,002	10,953,598	9,420,094
2009	2,046,218	7,815,515	819,975	1,031,424	11,713,132	10,073,294
2010	2,230,419	8,271,401	885,568	1,089,036	12,476,424	10,729,724
2011	2,421,778	8,724,961	952,494	1,146,115	13,245,348	11,390,999
2012	2,620,292	9,177,952	1,020,663	1,202,932	14,021,840	12,058,782
2013	2,826,007	9,632,076	1,090,001	1,259,748	14,807,832	12,734,736
2014	3,039,014	10,088,948	1,160,458	1,316,807	15,605,228	13,420,496
2015	3,259,453	10,550,088	1,231,996	1,374,339	16,415,875	14,117,653
2016	3,487,506	11,016,909	1,304,599	1,432,552	17,241,567	14,827,748
2017	3,723,401	11,490,727	1,378,263	1,491,643	18,084,034	15,552,269
2018	3,967,405	11,972,762	1,452,999	1,551,787	18,944,953	16,292,659
2019	4,219,828	12,464,146	1,528,827	1,613,149	19,825,951	17,050,318
2020	4,481,015	12,965,937	1,605,783	1,675,880	20,728,614	17,826,608
2021	4,751,349	13,479,123	1,683,907	1,740,118	21,654,497	18,622,867
2022	5,031,247	14,004,635	1,763,249	1,805,994	22,605,125	19,440,408
2023	5,321,163	14,543,352	1,843,867	1,873,628	23,582,011	20,280,529
2024	5,621,579	15,096,114	1,925,824	1,943,135	24,586,652	21,144,521
2025	5,933,012	15,663,723	2,009,188	2,014,623	25,620,547	22,033,670
Total	75,960,327	243,274,584	28,151,683	31,727,787	379,114,380	326,038,367

Tabel 4. Data Koefisien Emisi

Tabel Koefisien Emisi dalam (gram/liter) – Maksimum versi BPPT						
B-XX	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM	CO	CO <sub>2</sub>
B0	16.119	9.292	11.125	2.383	36.852	2,013.025
B5	15.360	9.292	10.619	2.351	35.651	1,959.739
B10	14.475	9.229	9.924	2.301	34.513	1,900.533
B15	13.780	9.166	9.418	2.174	33.375	1,876.850
B20	12.895	9.102	8.913	2.054	32.364	1,847.247
B30	11.315	9.039	8.091	1.947	29.583	1,758.437
B50	8.091	8.850	6.384	1.726	24.083	1,586.738
B100		8.407	3.603	1.315	19.090	1,385.435

Pemakaian biodiesel pada berbagai jenis kendaraan dengan berbagai komposisi campuran biodiesel B-XX akan didapat sebaran koefisien emisi pada Tabel 5 di bawah.

Hasil analisis inventori diklasifikasikan pada kategori dampak yang sesuai, dan klasifikasi dampak input/ output hasil inventarisasi untuk transportasi diberikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Tabel Koefisien Emisi Tiap Jenis Kendaraan

Tipe Kendaraan	B-XX	Koefisien Emisi dalam (ton/kilo liter) – versi BPPT					
		SO2	NOx	HC	PM	CO	CO2
Passanger car	B0	0.01109	0.00643	0.00845	0.00141	0.02526	1.22359
	B5	0.01065	0.00634	0.00810	0.00132	0.02438	1.18838
	B10	0.00995	0.00634	0.00748	0.00132	0.02368	1.15317
	B15	0.00951	0.00625	0.00722	0.00132	0.02298	1.14437
	B20	0.00889	0.00625	0.00678	0.00123	0.02218	1.11796
	B30	0.00775	0.00616	0.00616	0.00114	0.02086	1.06514
	B50	0.00555	0.00607	0.00484	0.00106	0.01822	0.95951
	B100	0	0.00581	0.00273	0.00070	0.01312	0.84507
Med/small bus/truck	B0	0.01445	0.00828	0.01090	0.00178	0.03297	1.90194
	B5	0.01386	0.00828	0.01048	0.00178	0.03187	1.85123
	B10	0.01302	0.00828	0.00981	0.00178	0.03085	1.79205
	B15	0.01234	0.00820	0.00947	0.00169	0.02984	1.77515
	B20	0.01158	0.00811	0.00879	0.00161	0.02891	1.74979
	B30	0.01014	0.00803	0.00795	0.00152	0.02722	1.66526
	B50	0.00719	0.00795	0.00626	0.00135	0.02375	1.49620
	B100	0	0.00752	0.00355	0.00093	0.01708	1.31023
Big bus	B0	0.01374	0.00787	0.01042	0.00172	0.03126	2.01303
	B5	0.01314	0.00787	0.00989	0.00172	0.03025	1.95974
	B10	0.01231	0.00782	0.00930	0.00166	0.02931	1.90053
	B15	0.01172	0.00782	0.00882	0.00160	0.02830	1.87685
	B20	0.01095	0.00776	0.00835	0.00148	0.02747	1.84725
	B30	0.00959	0.00770	0.00758	0.00142	0.02658	1.75844
	B50	0.00687	0.00752	0.00598	0.00124	0.02487	1.58674
	B100	0	0.00716	0.00337	0.00095	0.01622	1.38544
Big truck	B0	0.01612	0.00929	0.01113	0.00238	0.03685	1.70670
	B5	0.01536	0.00929	0.01062	0.00235	0.03565	1.66245
	B10	0.01448	0.00923	0.00992	0.00230	0.03451	1.61188
	B15	0.01378	0.00917	0.00942	0.00217	0.03338	1.59292
	B20	0.01290	0.00910	0.00891	0.00205	0.03236	1.56764
	B30	0.01131	0.00904	0.00809	0.00195	0.02958	1.49178
	B50	0.00809	0.00885	0.00638	0.00173	0.02408	1.34640
	B100	0	0.00841	0.00360	0.00131	0.01909	1.17573

Tabel 6. Tahap Klasifikasi pada Input/ Output dari Transportasi

Klasifikasi Dampak pada Transportasi		
Input / Output		Dampak Potensial
Input	Biodiesel B-XX	-
Output	SO2	Dampak Bahan Beracun pada Manusia
		Pembentukan Photo-Oxidant
		Pengasaman
	NOx	Dampak Bahan Beracun pada Manusia
		Pembentukan Photo-Oxidant
		Pengasaman
	HC	Eutrofikasi
		Perubahan Iklim
	PM	Pembentukan Photo-Oxidant
-		
CO	Pembentukan Photo-Oxidant	
CO2	Perubahan Iklim	

Data input biodiesel/ output emisi pada kendaraan ditampilkan pada Tabel 7 di bawah.

Hasil perhitungan dengan normalisasi pengolahan data ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Tabel Input Output Transportasi

Tabel Input dan Output Transportasi pada Maksimal Emisi pemakaian Campuran Biodiesel (B-XX) Selama 25 Tahun									
Tahun	Campuran Biodiesel (B-XX)	INPUT		OUTPUT - VERSI BPPT MAX					
		B-XX (ton)	B-XX (kilo liter)	Emisi					
				SO <sub>2</sub> (ton)	NO <sub>x</sub> l	HC (ton)	PM (ton)	CO (ton)	CO <sub>2</sub> (ton)
2000	B5	4,307,940	5,009,233	76,943.339	46,545.970	53,195.395	11,778.980	178,584.539	9,816,791.729
2001	B5	4,483,473	5,213,341	80,078.500	48,442.549	55,362.913	12,258.931	185,861.209	10,216,790.237
2002	B5	4,713,749	5,481,104	84,191.420	50,930.612	58,206.414	12,888.563	195,407.248	10,741,535.962
2003	B5	5,216,855	6,066,111	93,177.305	56,366.518	64,418.878	14,264.180	216,263.376	11,887,997.282
2004	B5	5,941,599	6,908,836	106,121.817	64,197.149	73,368.170	16,245.809	246,307.428	13,539,518.745
2005	B10	7,471,073	8,687,294	125,751.601	80,173.510	86,213.980	19,988.464	299,826.961	16,510,487.709
2006	B10	8,117,665	9,439,145	136,634.905	87,112.210	93,675.459	21,718.387	325,775.801	17,939,405.240
2007	B10	8,768,637	10,196,089	147,591.933	94,097.914	101,187.482	23,460.028	351,900.417	19,378,002.185
2008	B10	9,420,094	10,953,598	158,557.139	101,088.831	108,705.113	25,202.969	378,044.533	20,817,672.931
2009	B10	10,073,294	11,713,132	169,551.658	108,098.437	116,242.840	26,950.569	404,258.538	22,261,192.256
2010	B10	10,729,725	12,476,424	180,600.575	115,142.725	123,817.861	28,706.816	430,602.244	23,711,853.783
2011	B15	11,390,999	13,245,348	182,521.230	121,401.736	124,750.749	28,801.515	442,069.769	24,859,534.139
2012	B15	12,058,782	14,021,840	193,221.310	128,518.761	132,064.106	30,489.968	467,985.558	26,316,893.310
2013	B15	12,734,736	14,807,832	204,052.299	135,722.860	139,466.939	32,199.078	494,218.413	27,792,082.558
2014	B15	13,420,496	15,605,228	215,040.436	143,031.483	146,977.179	33,932.986	520,831.883	29,288,675.406
2015	B15	14,117,653	16,415,875	226,211.173	150,461.560	154,612.223	35,695.708	547,887.611	30,810,138.396
2016	B20	14,827,748	17,241,567	222,331.205	156,939.674	153,670.098	35,420.413	558,007.731	31,849,431.048
2017	B20	15,552,269	18,084,034	233,194.876	164,608.148	161,178.811	37,151.144	585,273.414	33,405,675.595
2018	B20	16,292,660	18,944,953	244,296.486	172,444.579	168,851.983	38,919.783	613,136.279	34,996,005.542
2019	B20	17,050,318	19,825,951	255,657.017	180,463.776	176,704.114	40,729.672	641,648.983	36,623,426.359
2020	B20	17,826,608	20,728,614	267,296.919	188,680.178	184,749.341	42,584.068	670,862.855	38,290,867.780
2021	B20	18,622,867	21,654,497	279,236.245	197,107.937	193,001.522	44,486.166	700,828.221	40,001,202.274
2022	B20	19,440,408	22,605,125	291,494.659	205,760.936	201,474.249	46,439.100	731,594.437	41,757,246.892
2023	B20	20,280,529	23,582,011	304,091.672	214,652.945	210,181.008	48,445.977	763,210.470	43,561,796.519
2024	B20	21,144,521	24,586,652	317,046.587	223,797.591	219,135.141	50,509.873	795,724.768	45,417,616.483
2025	B20	22,033,670	25,620,547	330,378.735	233,208.519	228,350.008	52,633.867	829,185.845	47,327,475.808
Total		326,038,368	379,114,381	5,125,271.041	3,468,997.107	3,529,561.978	811,903.016	12,575,298.529	709,119,316.163

Tabel 8. Hasil Normalisasi Pada 6 Unit Bisnis dan Pada 9 Kategori Dampak

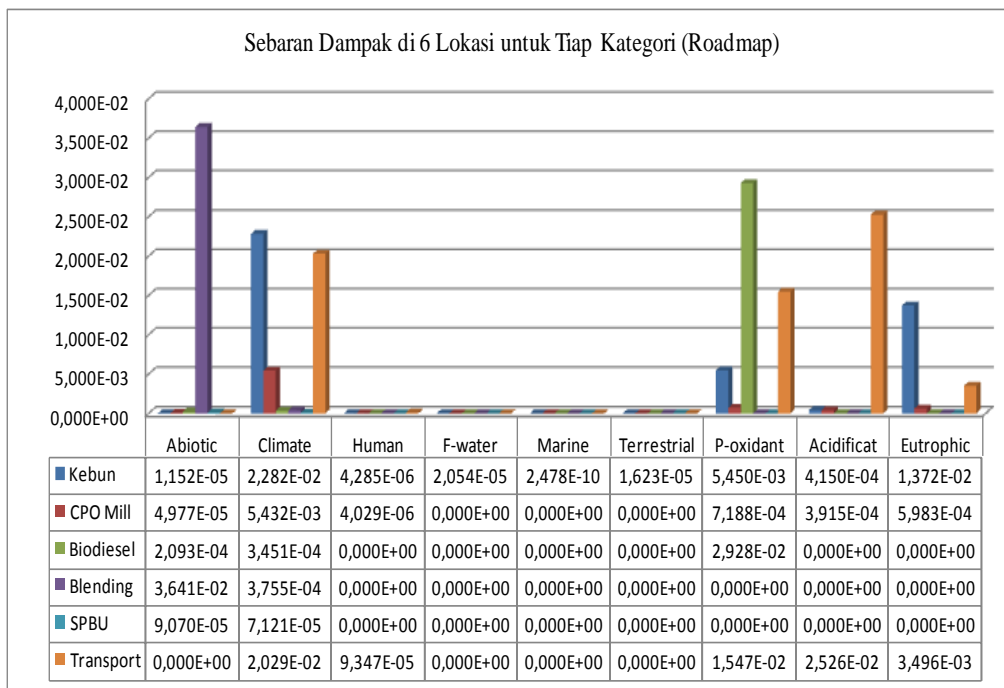
Hasil Normalisasi Per Kategori Dampak Per Unit Bisnis dan Prosentasenya								
Kategori Dampak	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total/ KD	% / Kat Dpk
Abiotic	1.152E-05	4.977E-05	2.093E-04	3.639E-02	7.344E-05	0.000E+00	3.673E-02	20.30
Climate	2.282E-02	5.432E-03	3.451E-04	3.352E-04	4.541E-05	2.029E-02	4.927E-02	27.23
Human	4.285E-06	4.029E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.347E-05	1.018E-04	0.06
F-water	2.054E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.054E-05	0.01
Marine	2.478E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.478E-10	0.00
Terrestrial	1.623E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.623E-05	0.01
P-oxidant	5.450E-03	7.188E-04	2.928E-02	0.000E+00	0.000E+00	1.547E-02	5.092E-02	28.14
Acidificat	4.150E-04	3.915E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.526E-02	2.607E-02	14.41
Eutrophic	1.372E-02	5.983E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.496E-03	1.781E-02	9.84
Total per U.B.	4.246E-02	7.195E-03	2.983E-02	3.672E-02	1.188E-04	6.461E-02	1.809E-01	100.00
% per Unit Bisnis	23.46	3.98	16.49	20.30	0.07	35.71	100.00	

### Dampak Emisi di 6 Unit Bisnis

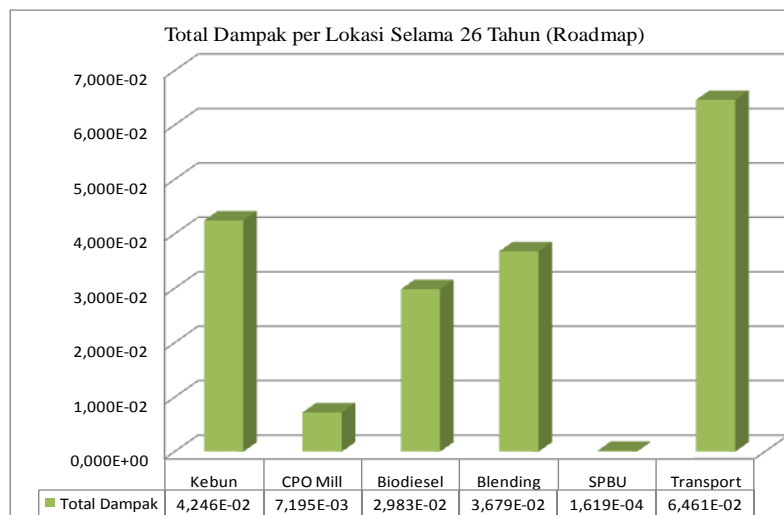
Merujuk pada Tabel 8 dibuatlah diagram sebaran dampak di 6 lokasi Unit Bisnis untuk tiap kategori dampak, seperti terlihat pada Gambar 1. Pada unit bisnis kebun kelapa sawit (23,46%) berdampak besar di perubahan iklim dan *euthrophic*, pada *CPO Mill* (3,98%) berdampak di perubahan iklim, pada pabrik biodiesel (16,49%) berdampak di *photo oxidant*, pada *blending plant* (20,30%) berdampak di *abiotic*, pada SPBU (0,07%)

dampaknya relatif kecil atau tidak signifikan, dan pada transportasi (35,71%) berdampak besar di pengasaman, perubahan iklim, dan *photo oxidant*.

Merujuk data hasil normalisasi pada Tabel 8 dibuatlah diagram akumulasi dampak pada setiap lokasi unit bisnis seperti pada Gambar 2. Total dampak yang terbesar ada di transportasi (35,71%), ke dua ada di perkebunan kelapa sawit (23,46%), serta ke tiga ada di *blending plant* (20,30%).



Gambar 1. Diagram dan Tabel Data per Kategori Dampak di 6 Unit Bisnis



Gambar 2. Diagram Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis



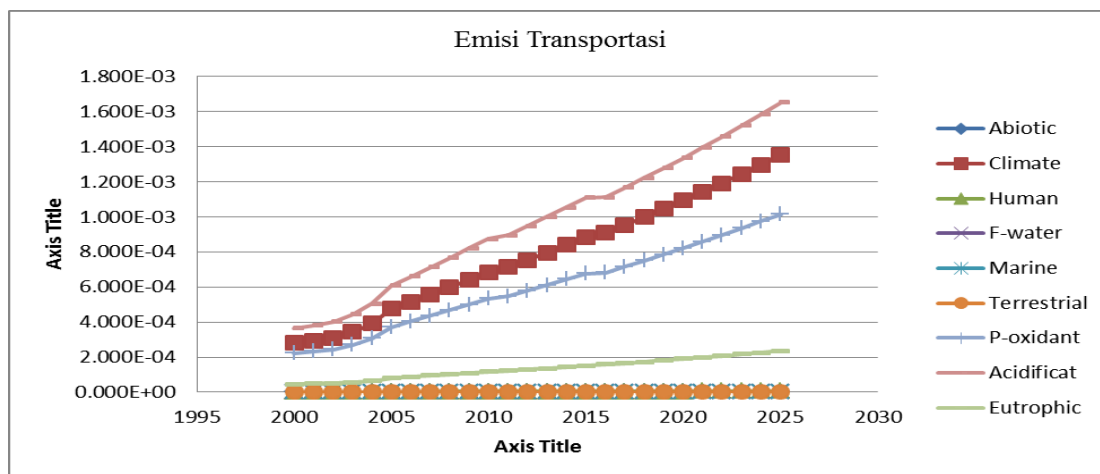
### Dampak Emisi Pada Transportasi

Pada Tabel 9 menunjukkan dampak di unit bisnis Transportasi (dampaknya 35,71% yang terbesar dari total dampak di 6 Unit Bisnis) dengan besaran prosentase untuk setiap kategori dampaknya. Tiga dampak terbesar pada unit bisnis transportasi yaitu dampak pertama ada pada pengasaman (39,10%), dampak kedua ada pada perubahan iklim (31,40%), dampak ketiga pada *photo oxidant* (23,94%), dan dampak *eutrophic* (5,41%).

Pada Gambar 3 menunjukkan grafik rekapitulasi dampak di unit bisnis Transportasi, yang menggambarkan pola grafik untuk dampak pengasaman (*acidification*), dampak perubahan iklim (*climat change*), serta dampak *photo oxidant* yang sangat besar dan dominan dampaknya. Tiga dampak besar tersebut naik secara linear pada perioda selama 25 tahun sesuai penambahan kebutuhan bahan bakar solar dan biodiesel campurannya (B-XX) sesuai roadmap biodiesel nasional.

Tabel 9. Dampak di Unit Bisnis (Transportasi) dan Prosentase Per Kategori Dampak

Per Kategori Dampak Per Unis Bisnis	Prosentase Kategori Dampak Pada Unit Bisnis Transportasi									
	Abiotic	Climate	Human	F-water	Marine	Terrestrial	P-oxidant	Acidificat	Eutrophic	Total
Kebun	1.152E-05	2.282E-02	4.285E-06	2.054E-05	2.478E-10	1.623E-05	5.450E-03	4.150E-04	1.372E-02	4.246E-02
CPO Mill	4.977E-05	5.432E-03	4.029E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	7.188E-04	3.915E-04	5.983E-04	7.195E-03
Biodiesel	2.093E-04	3.451E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.928E-02	0.000E+00	0.000E+00	2.983E-02
Blending	3.639E-02	3.352E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.672E-02
SPBU	7.344E-05	4.541E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.188E-04
Transportasi	0.000E+00	2.029E-02	9.347E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.547E-02	2.526E-02	3.496E-03	6.461E-02
Tot per Kat	3.673E-02	4.927E-02	1.018E-04	2.054E-05	2.478E-10	1.623E-05	5.092E-02	2.607E-02	1.781E-02	1.809E-01
% Kat Dmpk pd Transport	0.00	31.40	0.14	0.00	0.00	0.00	23.94	39.10	5.41	100.00



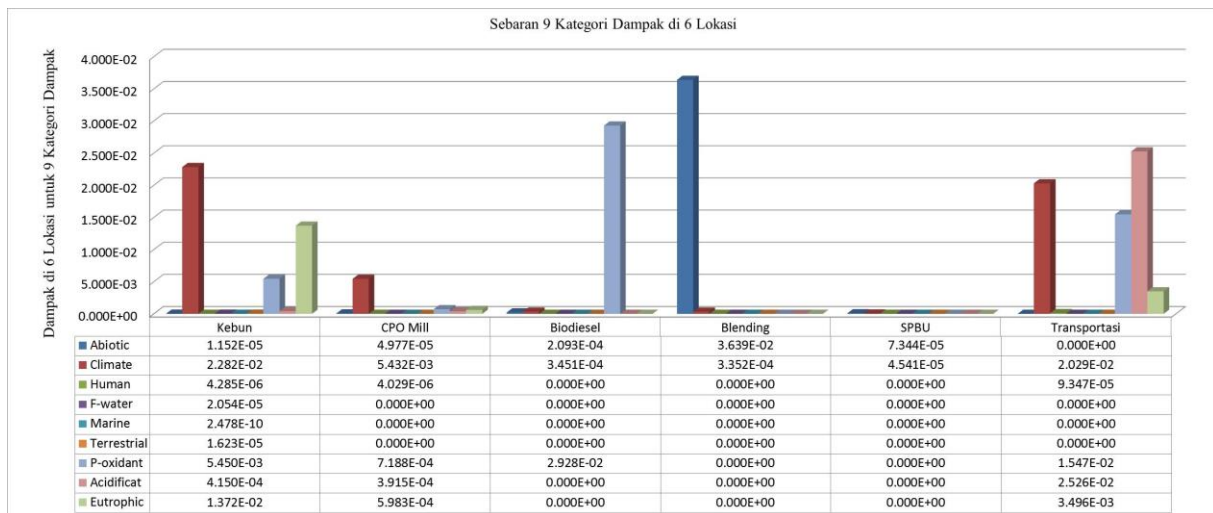
Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Unit Transportasi

Emisi transportasi ada dalam range 30% sampai dengan 50% dengan rata-rata sekitar 35%, maka hal tersebut menunjukkan adanya potensi permasalahan yang sangat signifikan. Besar kecilnya emisi bergantung pada berapa prosen campuran biodiesel, semakin besar campuran biodiesel semakin mengecil dampaknya. Selain itu ada faktor lain lagi yang mempengaruhi besarnya emisi, yaitu jenis mesin kendaraan yang dipakainya.

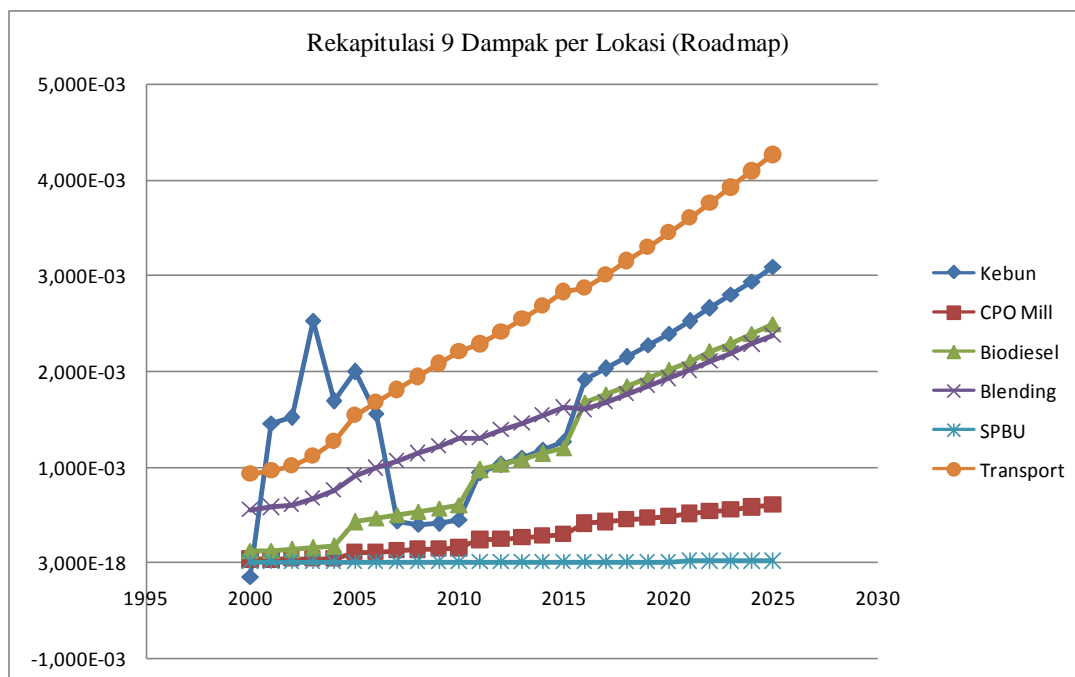
Dampak pengasaman berasal dari emisi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$ , dampak perubahan iklim dari emisi  $\text{CO}_2$  dan HC, serta pembentukan *photo-oxidant* berasal dari emisi  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Hydro Carbon (HC), dan CO. Ada juga emisi *Particulat Material* (PM) namun belum didapat referensinya, padahal PM sangat besar bahayanya bagi kesehatan manusia. Dampak bahan beracun pada manusia diakibatkan oleh emisi  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , serta emisi PM.

Untuk melihat secara global maka pada Gambar 4 di bawah ini ditunjukkan diagram dan tabel data per unit bisnis dengan 9 kategori dampak. Pada unit bisnis kebun berdampak pada perubahan iklim, human toxid, dan photo oxidant. CPO mill berdampak pada perubahan iklim, Pabrik biodiesel berdampak pada *photo oxidant*. *Blending plant* berdampak pada *abiotic*. Pada SPBU tidak ada dampak yang signifikan. Untuk transportasi berdampak pada pengasaman (*acidification*), perubahan iklim, *photo oxidant*, dan *eutrophic*.

Pada Gambar 5 adalah merupakan grafik rekapitulasi total dampak pada setiap unit bisnis dalam perioda 25 tahun. Perkebunan sawit berdampak besar di awalnya karena proses pembukaan lahan. Emisi transportasi sangat besar dampaknya dan terus bertambah besar sesuai pemakaian bahan bakar (B-XX) untuk transportasi. Emisi pada pabrik biodiesel karena *photo oxidant* pemakaian methanol. *Blending plant* karena pengurangan *abiotic* pemakaian BBM. CPO mill emisi gas metan dari POME menyebabkan perubahan iklim.



Gambar 4. Diagram dan Tabel Data per Unit Bisnis dengan 9 Kategori Dampak

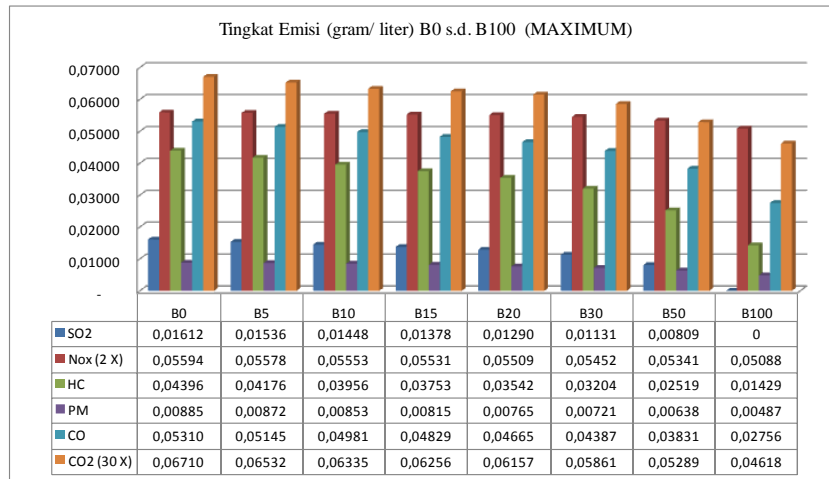


Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis

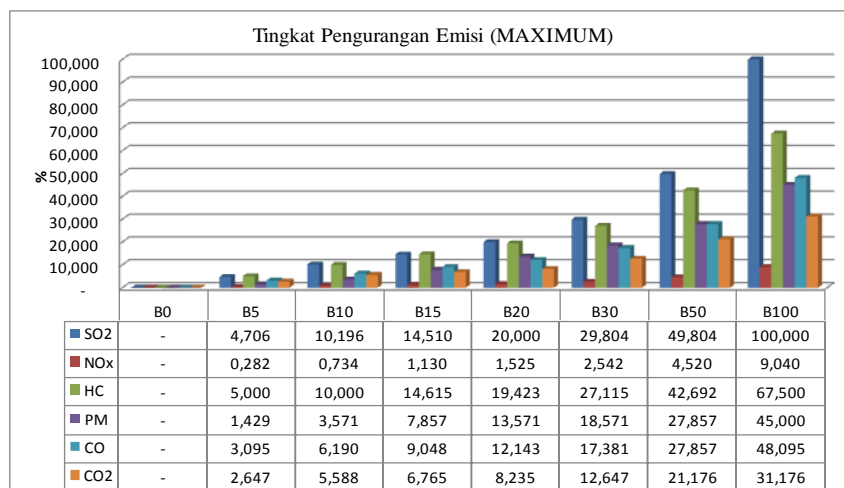
### Dampak B-XX Terhadap Emisi

Pada Gambar 6 menunjukkan adanya pengaruh setiap penambahan persentase campuran biodiesel (B-XX) akan berdampak pada penurunan dampak emisi gas buang dari transportasi. Seperti emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, PM, CO, dan CO<sub>2</sub>. Pada Gambar 7 menunjukkan pola penurunan emisi dalam prosentase, semakin tinggi tingkat kandungan biodiesel maka emisi semakin berkurang. Pada grafik

dan tabel tampak jelas, bahwa pada range antara B20 sampai B50 dampaknya sangat signifikan. Untuk pemakaian B100 (100% biodiesel) tidak ada emisi SO<sub>2</sub>, karena dalam biodiesel murni tidak mengandung sulfur (S). Campuran biodiesel dalam range B10 sampai dengan B100, besaran dampak terhadap penurunan emisi adalah sebagai berikut: SO<sub>2</sub> (10–100)%; NO<sub>x</sub> (1–9)%; HC (10–68)%; PM (4–45)%; CO (6–48)%; CO<sub>2</sub> (6–31)%.



Gambar 6. Diagram Tingkat Emisi Campuran Biodiesel



Gambar 7. Diagram Pengurangan Emisi Campuran Biodiesel

### SIMPULAN DAN SARAN

Hasil LCA Biodiesel Sawit dampak pada 6 Unit Bisnis adalah sebagai berikut: pada Kebun kelapa sawit (23,46%) berdampak besar di perubahan iklim dan *euthrophic*, pada *CPO Mill* (3,98%) berdampak di perubahan iklim, pada Pabrik biodiesel (16,49%) berdampak di *photo oxidant*, pada *Blending plant* (20,30%)

berdampak di *abiotic*, pada SPBU (0,07%) dampaknya relatif kecil atau tidak signifikan, dan pada Transportasi (35,71%) berdampak besar di pengasaman, perubahan iklim, dan *photo oxidant*. Dampak paling besar ada di Transportasi (35,71%), ke dua ada di Kebun kelapa sawit (23,46%), serta ke tiga ada di *Blending plant* (20,30%).

Tiga dampak terbesar pada unit bisnis Transportasi yaitu dampak pertama ada pada pengasaman atau *acidification* (39,10%), dampak kedua ada pada perubahan iklim atau *climate change* (31,40%), serta dampak ketiga ada pada *photo oxidant* (23,94%), dan dampak ke empat pada *eutrophic* (5,41%).

Dampak pengasaman berasal dari emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>, dampak perubahan iklim dari emisi CO<sub>2</sub> dan HC, dampak pembentukan *photo-oxidant* berasal dari emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Hydro Carbon (HC), dan CO, serta dampak *eutrophic* berasal dari emisi NO<sub>x</sub>. Ada juga emisi *Particulat Material* (PM) sebagai bahan beracun pada manusia yang sangat besar bahayanya bagi kesehatan manusia.

Emisi transportasi ada dalam range 30% sampai dengan 50% dengan rata-rata sekitar 35%, maka hal tersebut menunjukkan adanya potensi permasalahan yang sangat signifikan. Besar kecilnya emisi bergantung pada berapa prosen campuran biodiesel, semakin besar campuran biodiesel semakin mengecil dampaknya. Selain itu ada faktor lain lagi yang mempengaruhi besarnya emisi, yaitu jenis mesin kendaraan yang dipakainya.

Campuran biodiesel menunjukkan adanya penurunan dampak lingkungan yang signifikan mulai dari B20 sampai B50. Diperkirakan campuran yang paling optimal dari segi keekonomian, teknis, dan lingkungan adalah pada campuran biodiesel B30. Campuran biodiesel B30 paling optimal, yaitu karena ekonomis dari segi harga bahan baku, secara teknis menguntungkan karena tidak membutuhkan modifikasi mesin kendaraan dan tidak perlu mengganti karet/ gasket, serta dari segi lingkungan penekanan dampaknya sudah cukup signifikan yaitu penurunan dampak sekitar 30% untuk emisi SO<sub>2</sub> dan HC, penurunan dampak 20% untuk emisi PM dan CO, penurunan dampak 13% untuk CO<sub>2</sub>, serta penurunan dampak 3% untuk NO<sub>x</sub>.

#### DAFTAR PUSTAKA

André Valente Bueno, Mariana Paulinia Bento Pereira, João Victor de Oliveira Pontes, Francisco Murilo Tavares de Luna, Célio Loureiro Cavalcante Jr. 2017. *Performance and emissions characteristics of castor oil biodiesel*

*fuel blends*. Applied Thermal Engineering, Volume 125 (2017), Pages 559–566.

Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2012. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2012 tentang Biodiesel*.

Ditjen Perkebunan. 2017. *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit 2015-2017*. Jakarta, Ditjenbun Kementan.

Mohanad Aldhaidhawi, Radu Chiriac, Viorel B\_adescu, Georges Descombes, Pierre Podevin. 2017. *Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen addition*. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42 (2017), Pages 16793-16807.

M.M. Hasana, Rahman. 2017. *Performance and emission characteristics of biodiesel - diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74 (2017), Pages 938–948.

NREL. 2016. *Biodiesel Handling and Use Guide 5<sup>th</sup> edition*.

Radu Chiriac, Nicolae Apostolescu. 2013. *Emissions of a diesel engine using B20 and effects of hydrogen addition*. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 38 (2013), Pages 13453-13462.

S. Bari. 2014. *Performance, combustion and emission tests of a metro-bus running on biodiesel-ULSD blended (B20) fuel*. Applied Energy, Volume 124 (2014), Pages 35–43.

Senthil Ramalingam, Silambarasan Rajendran, Pranesh Ganesan. 2017. *Performance improvement and exhaust emissions reduction in biodiesel operated diesel engine through h the use of operating parameters and catalytic converter: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74 (2017) 938–948.