

ALTERNATIF PEMILIHAN JENIS BAHAN BAKU BIODIESEL DENGAN METODE ANALITIC NETWORK PROCESS (ANP)

Teuku Yunirwan¹, Hasan Yudie Sastra¹, Syahrial¹

¹ Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syekh Abdurauf
As Sinkili No.7, Kopelma Darussalam, Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Aceh 23111.
Email: teuku.yunirwan@gmail.com

ABSTRAK

Biodiesel dianggap energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui secara terus-menerus, karena bersumber dari tumbuhan dan minyak mikroorganisme oleaginous, seperti ; minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), Ganggang (*Algae*), Khamir/Ragi (*Yeast*). Penelitian ini bertujuan untuk memilih sumber bahan baku biodiesel yang paling optimal dan bernilai ekonomis untuk dikembangkan. Metode pengambilan keputusan yang digunakan adalah Analitic Network Process (ANP), dengan enam kriteria untuk memilih bahan baku biodiesel yaitu kualitas dan ketersediaan bahan baku, karakteristik lahan produksi, proses produksi, lingkungan hidup, faktor ekonomi dan pasar, dan faktor pemerintah. Hasil akhir menunjukkan bahwa bahan baku biodiesel dari minyak tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) merupakan sumber bahan baku yang paling potensi untuk dikembangkan dibandingkan dengan dua sumber bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang (*Algae*) dan Khamir/Ragi (*Yeast*).

Kata kunci: *Biodiesel, Analitic Network Process (ANP), Jarak pagar, Ganggang, Khamir.*

ABSTRACT

Biodiesel considers alternative energy that is environmentally friendly and can be accepted continuously, because it comes from plants and oleaginous microorganism oils, such as; Oil of *Jatropha Curcas*, *Algae*, *Yeast / Yeast (Yeast)*. This study aims to choose the most optimal and economical value source of biodiesel raw material to be developed. The decision-making method used is Analytical Network Process (ANP), with six choices for selecting biodiesel raw materials, namely quality and raw materials, characteristics of land production, production processes, environment, economic and market factors, and government factors. The final results show that the raw material for biodiesel from *Jatropha Curcas* is the most potential source of raw material to be developed compared to the two sources of biodiesel raw materials, namely *Algae* and *Yeast (Yeast)*.

Key words: *Biodiesel, Analytic Network Process (ANP), *Jatropha curcas*, *Algae*, *Yeast*.*

PENDAHULUAN

Mulai tahun 2000 an, negara-negara berkembang seperti Brazil, India, Afrika Selatan dan Indonesia mulai memperkenalkan, merumuskan dan menerapkan kebijakan nasional tentang biofuel untuk mempromosikan produksi energi hijau (green energy) dan penggunaan bahan bakar nabati (biofuels) sebagai energi terbarukan (renewable energy) di dalam negeri, sehingga menjamin persediaan energi, mendorong pembangunan pedesaan dengan penciptaan lapangan kerja dan pengurangan kemiskinan, meningkatkan ekspor, dan mengurangi polusi (Lima, 2012). Kebijakan Energi Nasional Indonesia pada tahun 2006 bertujuan menggantikan 10 persen dari solar Indonesia dengan biodiesel (B10) yang diproduksi di dalam negeri, dan pada tahun 2010 akan ditingkatkan secara bertahap (Legowo dkk. 2007).

Indonesia mengalami defisit bahan bakar minyak (BBM) dalam jumlah besar, yang pada tahun 2015 impor BBM Indonesia sudah mencapai 27,9 juta KL. Impor BBM yang sangat besar tersebut sangat menguras devisa negara. Makin rendahnya kemampuan APBN, makin rendah pula kemampuan pemerintah untuk memberikan subsidi harga BBM, sehingga sejak tahun 2005 harga BBM sudah mengalami kenaikan beberapa kali. Di masa-masa mendatang, kebutuhan BBM akan makin besar karena meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang menggunakan solar dan premium, jumlah penduduk yang menggunakan minyak tanah, dan jumlah industri yang menggunakan solar dan minyak bakar. Dengan makin tipisnya cadangan BBM fosil yang ada dalam perut bumi Indonesia, yang menurut data Automotive Diesel Oil diperkirakan akan habis dalam waktu 10-15 tahun

yang akan datang, maka akan makin besar pula impor BBM, dan makin besar pula beban APBN dan perekonomian nasional (ESDM, 2016).

Untuk meringankan beban tersebut, pemerintah berupaya keras mencari sumber-sumber BBM alternatif yang dapat diperbaharui atau disebut biofuel (biofuels) sebagai pengganti sumber daya energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. Sumber biofuel adalah tanaman pertanian, seperti minyak kelapa sawit dan jarak pagar yang menghasilkan biodiesel. Sumber-sumber energi alternatif tersebut sebenarnya sudah lama dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia, walaupun belum pada taraf komersial. Teknologi yang digunakan juga tidak terlalu rumit yaitu teknologi proses trans-esterifikasi atau esterifikasitransesterifikasi (“estrans”). Menurut Blue Print Energi Nasional, pada tahun 2025 peranan energi yang dapat diperbaharui akan meningkat menjadi 4,4% dengan porsi biofuel sebesar 1,335% yang setara dengan 4,7 juta KL (ESDM, 2016).

Pemerintah melalui Menko Perekonomian menyatakan bahwa pada tahun 2006 akan dimulai pemanfaatan jarak pagar untuk menghasilkan biodiesel sebagai substitusi solar. Ditargetkan bahwa 10% dari kebutuhan BBM untuk transportasi yang terdiri dari solar sebesar 12,487 juta KL akan dapat dipenuhi dari produksi biodiesel. Diperkirakan konsumsi BBM dalam negeri akan tembus 2,0 juta barel per hari pada 2020. Sementara kapasitas produksi BBM hanya mampu memproduksi 400 ribu barel per hari (SKK Migas, 2014). Pada tahun 2015 kapasitas terpasang industri biodiesel nasional sebesar 6.887.073 KL dengan kemampuan produksi biodiesel sebesar 1.652.801 KL, distribusi domestik

biodiesel sebesar 915.460 KL dan ekspor biodiesel sebesar 328.574 KL (ESDM, 2016).

Pengembangan biofuel sudah merupakan tekad bulat dan keputusan pemerintah yang menjadi sebuah gerakan nasional. Hal ini terbukti dengan telah diterbitkannya Peraturan Presiden (PP) RI Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden (Inpres) RI Nomor 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuels) (Hadi, Prajogo U. dkk, 2006).

Dalam peraturan menteri (Permen) ESDM RI, nomor 26 tahun 2016 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati jenis biodiesel, disebutkan tujuan pengaturan penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN) jenis biodiesel adalah terwujudnya percepatan pemenuhan penahapan kewajiban minimal pemanfaatan BBN jenis biodiesel dan terselenggaranya administrasi penyediaan dan penyaluran dana pembiayaan biodiesel secara tepat sasaran, tepat waktu, dan tepat manfaat (ESDM, 2016).

Alternatif penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan, mutlak untuk dibutuhkan. Untuk itu pilihan bahan bakar biofuel seperti biodiesel, bioetanol, biometan, akan menjadi pilihan di masa depan (Thapa dkk, 2018).

Penggunaan terhadap bahan bakar biodiesel, telah banyak digunakan oleh beberapa negara. Mereka berhasil mengembangkan penggunaan bahan bakar yang efektif dan efisien yang bersumber dari tumbuhan. Sumber biodiesel dapat dikembangkan seperti minyak kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), minyak buah jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak biji matahari (*Helianthus annuus L*), minyak kacang kedelai, minyak Ganggang (*Algae*) dan lain-lain.

Biodiesel

Bahan bakar hayati atau biofuel adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian. Proses fermentasi menghasilkan dua tipe biofuel yaitu alkohol dan ester. Bahan-bahan ini secara teori dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil tetapi karena kadang-kadang diperlukan perubahan besar pada mesin, biofuel biasanya dicampur dengan bahan bakar fosil. Uni Eropa merencanakan 5,75 persen etanol yang dihasilkan dari gandum, bit, kentang atau jagung ditambahkan pada bahan bakar fosil pada tahun 2010 dan 20 persen pada 2020. (Prihandana, dkk, 2006)

Biofuel menawarkan kemungkinan memproduksi energi tanpa meningkatkan kadar karbon di atmosfer karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi biofuel mengurangi kadar karbondioksida di atmosfer. Dengan begitu biofuel lebih bersifat carbon neutral dan sedikit meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Penggunaan biofuel mengurangi pula ketergantungan pada minyak bumi serta meningkatkan keamanan energi. (Lima, 2012)

Biodiesel merupakan biofuel yang paling umum di Eropa. Biodiesel diproduksi dari minyak atau lemak menggunakan reaksi transesterifikasi dan merupakan cairan yang komposisinya mirip dengan diesel mineral. Nama kimianya adalah methyl asam lemak (atau ethyl) ester, fatty acid methyl ester (FAME). Minyak dicampur dengan sodium hidroksida dan metanol (atau etanol) dan reaksi kimia menghasilkan biodiesel (FAME) dan gliserol. 1 (satu) bagian gliserol dihasilkan untuk setiap 10 bagian

biodiesel. Biodiesel dapat digunakan di setiap mesin diesel, yang dicampur dengan diesel mineral. Di beberapa negara produsen memberikan garansi untuk penggunaan 100% biodiesel. Kebanyakan produsen kendaraan membatasi rekomendasi mereka untuk penggunaan biodiesel sebanyak 15% yang dicampur dengan diesel mineral, dipasaran di sebut B15. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar mesin diesel yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui (renewable). Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak tumbuhan maupun lemak hewan. Minyak tumbuhan yang sering digunakan antara lain minyak sawit (palm oil), minyak kelapa, minyak jarak pagar dan minyak biji kapok randu, sedangkan lemak hewani seperti lemak babi, lemak ayam, lemak sapi, dan juga lemak yang berasal dari ikan (Wibisono, 2007; Sathivel, 2003).

Menurut Das dkk (2018), Biodiesel dapat dibuat dari reaksi transesterifikasi asam lemak. Asam lemak dari minyak lemak nabati direaksikan dengan alkohol menghasilkan ester dan produk samping berupa gliserin yang juga bernilai ekonomis cukup tinggi. Biodiesel telah banyak digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar. Bahan baku biodiesel yang dikembangkan bergantung pada sumber daya alam yang dimiliki suatu negara, minyak kanola di Jerman dan Austria, minyak kedelai di Amerika Serikat, minyak sawit di Malaysia, dan minyak kelapa di Filipina. Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar, biodiesel harus mempunyai kemiripan sifat fisik dan kimia dengan minyak solar. Salah satu sifat fisik yang penting adalah viskositas. Sebenarnya, minyak lemak nabati sendiri dapat dijadikan bahan bakar, namun, viskositasnya terlalu tinggi sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan

bakar mesin diesel. Perbandingan sifat fisik dan kimia biodiesel dengan minyak solar disajikan pada lampiran tabel 1 dengan minyak solar, biodiesel mempunyai beberapa keunggulan. Keunggulan utamanya adalah emisi pembakarannya yang ramah lingkungan karena mudah diserap kembali oleh tumbuhan dan tidak mengandung SOx. Perbandingan emisi pembakaran biodiesel dengan minyak solar disajikan dalam lampiran tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan spesifikasi dan perbandingan emisi Diesel dengan biodiesel (COME, castor oil methyl ester)

Properties	Diesel	COME	Method
Density (g/cc)	0.810 ± 0.003	0.896 ± 0.005	–
Calorific value (MJ/kg)	46.273 ± 0.018	37.931 ± 0.010	ASTM D4809
Flash Point (°C)	66.5 ± 1	124 ± 7	ASTM D93
Surface Tension (dyne/cm) at 40 °C	25.45 ± 0.06	31.83 ± 0.12	ASTM D971
Viscosity (cP) at 40 °C	2.21 ± 0.08	12.59 ± 0.22	ASTM D2983
Elemental Composition			ASTM D3176
• Oxygen %	2.08 ± 0.16	17.22 ± 0.38	
• Nitrogen %	1.97 ± 0.05	1.92 ± 0.04	
• Carbon %	80.97 ± 1.01	70.05 ± 0.46	
• Hydrogen %	12.62 ± 0.16	10.96 ± 0.07	
• Sulphur %	0.15 ± 0.08	0.12 ± 0.04	

All error limits are calculated at 95% confidence interval.

(Sumber : Das dkk, 2018)

Selain itu, beberapa keunggulan biodiesel yang lain adalah lebih aman dalam penyimpanan karena titik kilatnya lebih tinggi, Sumbet ahan bakunya terbaharukan dan angka setananya tinggi.

Aspek produksi biodiesel

Sistem produksi biodiesel di Indonesia menunjukkan volatilitasnya sebagaimana ditunjukkan oleh fakta bahwa beberapa industri biodiesel menghentikan kegiatan produksi mereka karena biaya produksi tinggi yang tidak beralasan dan karena harga jual yang fluktuatif (Tryana, M.S.. dkk, 2015)

Biaya produksi biodiesel komponen penyusun biaya produksi biodiesel meliputi biaya tetap dan biaya tidak tetap. Biaya tetap meliputi gaji

tenaga kerja tak langsung, biaya pemeliharaan alat dan mesin, asuransi, biaya overhead serta pajak bumi dan bangunan. Biaya tidak tetap antara lain biaya bahan baku biodiesel, gaji tenaga kerja langsung, biaya bahan bakar dan listrik, pengemasan dan transportasi (Rochmawati, 2007).

Biaya bahan baku pembuatan biodiesel masih lebih tinggi dari harga jual solar yang beredar saat ini. Pada tabel 2 jika metanol dan KOH yang digunakan adalah analytical grade, biaya bahan baku biodiesel sebesar Rp. 36 130.57,-/kg. Jika bahan yang digunakan bersifat teknis, maka biaya ini dapat ditekan hingga Rp. 8.061.38,-/kg. Perhitungan biaya ini berdasarkan asumsi harga biji jarak pagar kering Rp 1.000/kg dan rendemen minyak jarak pagar sebanyak 25 % bobot kering biji (Sari, 2007).

Hasil samping produksi biodiesel dapat dijual untuk memperoleh pendapatan tambahan. Sudrajat (2007) menyebutkan, hasil sampingan tersebut antara lain bungkil biji jarak, tempurung biji dan gliserol. Gliserol yang telah dimurnikan dapat dijual seharga Rp 25.000/liter, bungkil biji jarak Rp 1.500/kg dan tempurung biji Rp 300/kg.

Tabel 2 Biaya bahan baku untuk setiap 1 kg biodiesel

Kebutuhan bahan baku	Bahan <i>Analytical grade</i> (Rupiah)	Bahan teknis (Rupiah)
Biji jarak pagar	5,128.60	5,128.60
Metanol	23,673.76	2,630.42
KOH	3,922.25	246.37
NaOH	3,405.96	55.99
Total	36,130.57	8,061.38

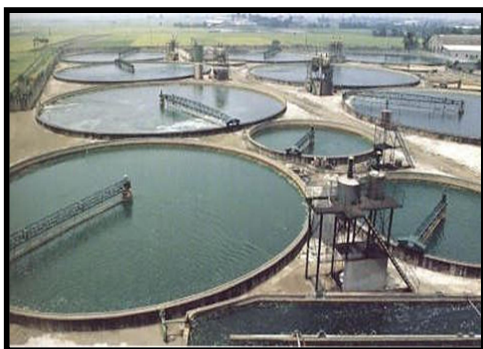
(Sumber : Sari, 2007)

Dalam beberapa tahun terakhir, produksi biodiesel dari mikro organisme seperti mikroalga dan mikroba telah menarik perhatian yang signifikan karena kesadaran akan kehabisan bahan bakar fosil. Mikroalga menjadi alternatif bahan baku yang diminati dari produsen

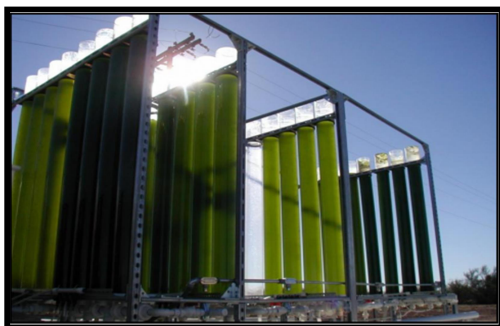
biodiesel karena mereka memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat dan kandungan minyak yang tinggi dibandingkan dengan tanaman. Berbagai upaya terus dilakukan untuk meningkatkan produktivitas mikroalga dan kandungan minyak (Chen dkk, 2018). Dengan keunggulan produksi biomassa bervolume besar dan tidak bersaing dengan tanaman, mikroalga membawa harapan besar untuk menyelesaikan masalah pasokan bioenergi. Proyek demonstrasi sedunia telah diluncurkan dan dilakukan untuk menguji teknologi yang dikembangkan di laboratorium untuk mendukung investasi pemerintah dan kelompok investor (Su dkk, 2017)

Banyak hasil penelitian telah mengungkapkan bahwa bahan baku berkontribusi hingga 70% dari biaya produksi biodiesel dari minyak nabati dan lemak hewani (Singh dkk, 2014). Minyak mikroalga dapat dianggap sebagai bahan baku alternatif ketika biaya produksinya sama atau lebih rendah dari minyak nabati dan lemak hewani. Produksi minyak mikroalga meliputi pembudidayaan, pemanenan, dan ekstraksi lemak (Davis dkk, 2011). Pengaruh utama perhitungan dari dari penilaian ekonomi seperti model budidaya, produktivitas biomassa, kadar lipid, metode pengeringan, metode ekstraksi lipid dan efisiensinya, efisiensi transesterifikasi, penilaian ekonomi juga akan sangat dipengaruhi oleh harga tanah, tenaga kerja, listrik, bahan bakar, bahan kimia, dan pajak, yang memiliki variasi besar dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Inilah yang menjelaskan mengapa ada perbedaan yang besar dari hasil estimasi biaya (Chen., dkk, 2018). Menurut Davis, dkk (2011), untuk memproduksi biodiesel dari mikroalga pada kolam terbuka (OP) yang meliputi

proses budidaya, dewatering, ekstraksi lipid dari biomassa kering dan transesterifikasi, dengan kondisi operasi berkapasitas 1950 Ha, menghasilkan biomass 25 gr/m²/hr, dan kandungan lipid 25% w/w kering biomasnya, jadi membutuhkan biaya untuk menghasilkan Lipid sebesar 8,52 (US \$/gal) dan 9,84 (US \$/gal) untuk menghasilkan biodiesel. Dengan kapasitas yang sama bila menggunakan PBR (Photo bioreactors) menghasilkan biomassa sebesar 1,25 kg/m³/hr dibutuhkan biaya untuk menghasilkan Lipid sebesar 18,10 (US \$/gal) dan 20,53 (US \$/gal) untuk menghasilkan biodiesel.



Gambar 1 Kolom terbuka pembiakan mikroalga yang menghasilkan biodiesel



Gambar 2 PBR (*Photo bioreactors*) pembiakan mikroalga yang menghasilkan biodiesel

Besarnya potensi perairan di Indonesia baik tawar apalagi laut dan kondisi iklim tropis dengan cahaya matahari yang sangat sesuai untuk kehidupan mikroalga. Walaupun sejumlah jenis mikroalga telah

dikembangkan untuk bahan baku kosmetik dan kebutuhan farmasi, namun aplikasinya untuk dikembangkan sebagai biofuel masih jarang dilakukan seperti mikroalga laut *Nannochloropsis oculata* yang merupakan mikroalga laut yang potensinya tersebar luas diseluruh wilayah pesisir dan lautan kepulauan Indonesia. Sebagai produsen primer, jenis ini hidup dalam air yang aksesnya terhadap air, karbondioksida dan nutrient lebih efektif, sehingga mampu tumbuh cepat dan di panen dalam waktu singkat yakni sekitar 7-10 hari saja. Selain itu, mikroalga juga menghasilkan minimal 30 kali lebih banyak dibandingkan tumbuhan darat. Oleh karena itu, kultivasi mikroalga sebagai bahan baku biofuel yang hemat ruang (*safe space*) dan memiliki efisiensi dan efektivitas tinggi (*time efficient and high yield*) cukup menjanjikan dimasa mendatang. Pemanfaatan diversifikasi bahan baku yang menjadi sumber biofuel merupakan hal yang mutlak dilakukan mengingat adanya kampanye negatif terhadap sumber-sumber yang ada yang umumnya merupakan komoditas pangan sehingga perlu dicari alternatif lain untuk guna pemanfaatan mikroalga khususnya adalah mikroalga laut. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi mikroalga laut sebagai sumber energi terbarukan melalui ekstraksi kandungan minyak dari *N. oculata*. Diharapkan dengan mengetahui kondisi awal dari potensi mikro alga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menjadi biodiesel dengan mengembangkan teknik kultivasi mikroalga, ekstraksi minyaknya, transesterifikasi menjadi biodiesel (Suryanto, dkk. 2009).

Chisty (2007) mengatakan bahwa produksi minyak alga bisa mencapai 31-68 % untuk jenis *Nannochloropsis sp.*

Pendapat tersebut di perkuat oleh Vasudevan dan Briggs (2008) menyatakan bahwa potensi alga untuk produksi biodiesel sangat menjanjikan, dikarenakan bahan biologis ini merupakan bahan yang sifatnya dapat diperbarui dan dapat pula dibiodegradasi, sehingga minyak alga menjadikan potensi yang bisa dikembangkan oleh siapa saja sebagai sumber energi terbarukan. Pada kondisi yang sesuai mikroalga dapat menghasilkan Triacylglycerols (TAGs) yang dapat memproduksi lemak hingga 60 % dari jumlah berat keringnya. Proses transesterifikasi dari TAGs menjadi bentuk methyl atau ester menghasilkan bahan bakar yang disebut sebagai biodiesel.

Minyak berbasis mikroba oleaginous (MO) biasanya didapatkan dari berbagai jenis mikroorganisme seperti bakteri, ragi, dan jamur (fungi). Beberapa contoh mikroba yang telah terbukti dapat menghasilkan minyak atau MO, di antaranya adalah *Candida sp.*, *Rhodosporium torulides*, *Cunninghamella echinulata*, dan *Yarrowiya lypolytica* (Dong dkk, 2016). *Yarrowiya lypolytica*, suatu mikroba dari golongan ragi atau yeast. Sampai saat ini telah ditemukan jenis ragi dengan produktivitas lipid paling tinggi dari spesies *Y. lypolytica*, yaitu strain YL-ad9. Strain ragi tersebut mampu mengakumulasi lemak hingga 55 g/L dengan produktivitas mencapai ± 1 g/jam.liter atau setara dengan 24 g/hari.liter bioreaktor (Qiao dkk, 2015).

Aspek pasar biodiesel

Pangsa Pasar biodiesel bergantung pada bagaimana biodiesel tersebut di jual kepada masyarakat. Dari

sisi volume penjualan, terdapat 2 (dua) jenis pasar biodiesel, sebagai berikut, pertama pasar eceran adalah konsumen biodiesel membeli biodiesel dalam paket kecil sebagai aditif untuk bahan bakar kendaraan. Kedua, Pasar kulakan adalah konsumen memerlukan biodiesel dalam jumlah yang besar (ribuan liter atau lebih) untuk dicampur dengan minyak solar dan para end-user dalam bentuk campuran biodiesel dengan minyak solar, misalnya B5, B10 dan B20.

Pengunaan biodiesel murni (B100) telah dilakukan di beberapa negara, seperti Jerman dan Austria, karena aturan perpajakan yang lebih menguntungkan untuk B100. Mereka telah melakukan penjualan B100 di SPBU sejak tahun 2002. Peluang penjualan B100 di Indonesia akan lebih baik jika ditujukan sebagai aditif bahan bakar. Metode penjualan seperti ini akan memerlukan petunjuk penggunaan yang jelas bagi konsumen, terutama bagaimana cara mencampur biodiesel dengan solar biasa. Selain itu, terdapat juga peluang untuk pemakaian internal dan informal, misalnya untuk para nelayan di daerah terpencil, dimana harga solar sangat mahal. Penggunaan biodiesel dalam bentuknya yang sudah tercampur dengan minyak solar merupakan salah satu alternatif untuk penetrasi pasar bahan bakar karena bisa mempergunakan infrastruktur yang sudah ada dan selama ini dipergunakan untuk distribusi minyak solar. Selain itu, secara teknis pengurangan emisi gas buang optimal diperoleh dengan campuran biodiesel 5-30 %. (Nyoman, 2005)

Biodiesel pertama kali diproduksi di Indonesia sekitar tahun 2000-an, bermula dari pabrik-pabrik percontohan (pilot plant). Pabrik-pabrik ini dimiliki dan di operasikan oleh institusi pemerintah dan

universitas yang lebih menekankan aspek riset daripada komersil. Pengembangan lebih lanjut ditandai dengan didirikannya pabrik biodiesel skala kecil, sedang dan besar yang dimiliki oleh sektor swasta. Jumlah dan kapasitas pabrik biodiesel di Indonesia terus berkembang (Tim Penulis BRDST-BPPT, 2008))

Proyeksi konsumsi biodiesel nasional tidak bisa dilepaskan dari konsumsi minyak solar nasional beserta kebijakan yang terkait dengan biodiesel. Pemakaian minyak solar paling banyak adalah untuk sektor transportasi, kemudian diikuti oleh sektor industri dan pembangkit listrik.

Sektor transportasi, seperti tersirat dalam roadmap pengembangan biodiesel, target pencampuran biodiesel untuk sektor transportasi adalah 10%, 15% dan 20% pada tahun 2010, 2015, dan 2025, meskipun saat ini peraturan pencampuran biodiesel dengan minyak solar baru mengakomodasi pencampuran sampai dengan 10%. Dengan mengambil dasar proyeksi kebutuhan minyak solar untuk sektor transportasi maka estimasi substitusi biodiesel adalah seperti diperlihatkan pada lampiran tabel 3

Pada sektor industri, pemakaian biodiesel di sektor industri tidak dibatasi aturan pencampuran 10% biodiesel. Oleh karena itu, biodiesel murni dapat diperjualbelikan tanpa ada batasan. Implikasi dari situasi ini adalah pasar biodiesel bisa menjadi sangat besar dengan syarat harga biodiesel bisa

bersaing dengan harga solar industri. Pada lampiran tabel 4 memberikan sebuah ilustrasi kebutuhan biodiesel sektor industri jika B20 digunakan pada sektor ini.

Tabel 3 Proyeksi substitusi biodiesel untuk sektor transportasi

Tahun	Minyak Solar (juta liter)	Biodiesel (juta liter)	Total (juta liter)	Jenis campuran
2007	11.552	1.284	12.836	B10
2008	12.130	1.348	13.478	B10
2009	12.737	1.415	14.152	B10
2010	13.373	1.486	14.859	B10
2015	16.119	2.845	18.964	B15
2020	20.573	3.631	24.204	B15
2025	24.713	6.178	30.891	B20

Sumber : Tim Penulis BRDST-BPPT, 2008

Tabel 4 Kebutuhan biodiesel sektor industri jika diterapkan B20

Tahun	Minyak Solar (juta liter)	Biodiesel (juta liter)	Total (juta liter)	Jenis campuran
2007	7.062	1.765	8.827	B20
2008	7.273	1.818	9.091	B20
2009	7.491	1.873	9.364	B20
2010	7.716	1.929	9.645	B20
2015	8.945	2.236	11.181	B20
2020	10.370	2.592	12.962	B20
2025	12.022	3.005	15.027	B20

Sumber : Tim Penulis BRDST-BPPT, 2008

METODE PENELITIAN

Metode pengambilan keputusan Analytical Network Process (ANP)

Pendekatan ANP (Analytical Network Process) banyak diabaikan dibandingkan dengan pendekatan AHP (Analytical Hierarchy Process) yang

berstruktur linear dan tidak mengakomodasikan adanya feed-back. Hal ini dikarenakan AHP relatif lebih sederhana dan mudah untuk diterapkan, sedangkan ANP lebih dalam dan luas, sesuai diterapkan pada pengambilan keputusan yang rumit, kompleks serta

memerlukan berbagai variasi intertaksi dan ketergantungan. Sebagai metode pengembangan dari metode AHP, ANP masih menggunakan cara Pairwise Comparison Judgement Matrices (PCJM) antar elemen yang sejenis. Perbandingan berpasangan ANP dilakukan antar elemen dalam komponen/ kluster untuk setiap interaksi dalam network (Saaty, 2007).

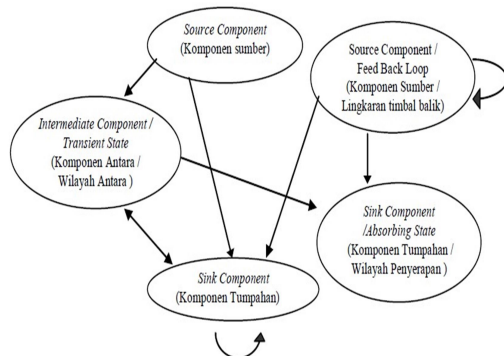
Analytic Network Process (ANP) juga merupakan teori matematis yang mampu menganalisa pengaruh dengan pendekatan asumsi-asumsi untuk menyelesaikan bentuk permasalahan. Metode ini digunakan dalam bentuk penyelesaian dengan pertimbangan atas penyesuaian kompleksitas masalah secara penguraian sintesis disertai adanya skala prioritas yang menghasilkan pengaruh prioritas terbesar. ANP juga mampu menjelaskan model faktor-faktor dependence serta feedback nya secara sistematis. Pengambilan keputusan dalam aplikasi ANP yaitu dengan melakukan pertimbangan dan validasi atas pengalaman empirical. Struktur jaringan yang digunakan yaitu benefit, opportunities, cost and risk (BOCR) membuat metode ini memungkinkan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasi dan menyusun semua faktor yang mempengaruhi output atau keputusan yang dihasilkan (Saaty, 2007).

Dalam implementasi pemecahan masalah, ANP bergantung pada alternatif-alternatif dan kriteria yang ada. Pada Saaty (2007), juga menjelaskan teknis analisis ANP yaitu dengan menggunakan perbandingan berpasangan (pairwise comparison) pada alternatif-alternatif dan kriteria proyek. Pada jaringan AHP terdapat level tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternative, yang masing-masing level memiliki elemen. Sedangkan pada jaringan ANP, level dalam AHP

disebut cluster yang dapat memiliki kriteria dan alternatif didalamnya. Dalam suatu jaringan, elemen dalam suatu komponen/cluster bisa saja berupa orang (contoh, individu di Bank Indonesia) dan elemen dalam komponen/cluster yang lain bisa saja juga berupa orang (contoh, individu di DPR). Elemen dalam suatu komponen/cluster dapat mempengaruhi elemen lain dalam komponen/cluster yang sama (inner dependence), dan dapat pula mempengaruhi elemen pada cluster yang lain (outer dependence) dengan memperhatikan setiap kriteria. Yang diinginkan dalam ANP adalah mengetahui keseluruhan pengaruh dari semua elemen. Oleh karena itu, semua kriteria harus diatur dan dibuat prioritas dalam suatu kerangka kerja hierarki kontrol atau jaringan, melakukan perbandingan dan sintesis untuk memperoleh urutan prioritas dari sekumpulan kriteria ini. Kemudian kita turunkan pengaruh dari elemen dalam sistem feedback dengan memperhatikan masing-masing kriteria. Akhirnya, hasil dari pengaruh ini dibobot dengan tingkat kepentingan dari kriteria, dan ditambahkan untuk memperoleh pengaruh keseluruhan dari masing-masing elemen (Ascarya, 2015).

Saaty (2007), menyatakan bahwa jaringan umpan balik adalah struktur untuk memecahkan masalah yang tidak dapat disusun dengan menggunakan struktur hirarki. Jaringan umpan balik terdiri dari interaksi dan ketergantungan antara elemen pada level yang lebih rendah. Struktur umpan balik tidak mempunyai bentuk linier dari atas ke bawah, tetapi nampak seperti sebuah jaringan siklus pada masing-masing klaster dari setiap elemen serta dapat berbentuk looping pada klaster itu sendiri. Bentuk ini tidak dapat disebut sebagai level. Umpan balik juga mempunyai sumber

(source) dan tumpahan (sink). Titik sumber menunjukkan asal dari jalur kepentingan dan tidak pernah dijadikan tujuan dari jalur kepentingan lain, sedangkan titik tumpahan adalah titik yang menjadi tujuan dari jalur kepentingan dan tidak pernah menjadi asal untuk kepentingan lain.



Gambar 3 Struktur jaringan umpan balik pada ANP (Saaty, 2004)

Sebuah jaringan yang utuh terdiri dari titik sumber (source node), titik antara (intermediate node) yang berasal dari titik asal (source node), titik siklus, atau sebuah jalur yang menuju pada titik tumpahan (sink node), dan bagian akhir adalah titik tumpahan itu sendiri (sink node). Struktur ANP terdiri atas ketergantungan antar elemen dari komponen dalam (inner dependence) dan dari ketergantungan antar elemen dari komponen luar (outer dependence) seperti ditampilkan pada Gambar 3. Adanya jaringan (network) dalam suatu ANP dimungkinkan dapat merepresentasikan beberapa masalah tanpa terfokus pada awal dan kelanjutan akhir seperti pada AHP.

Supermatriks ANP akan secara otomatis menghasilkan bobot yang tepat bagi kriteria dan alternatif jika data yang digunakan adalah vektor prioritas pada supermatriks. Hal ini merupakan cara yang sederhana karena tidak membutuhkan pemikir-an per bagian pada pengguna. Hanya mengetahui data dan supermatriks akan menghasilkan prioritas pada setiap titik pada model

(Saaty, 2004). Menurut Azis (2003) dengan umpan balik, alternatif bukan hanya dapat tergantung pada kriteria tetapi juga dapat tergantung antara satu alternatif dengan alternatif lainnya. Kriteria itu sendiri dapat tergantung pada alternatif dan faktor lain. Untuk merepresentasikan feedback pada metode ANP maka diperlukan matriks berukuran besar yang disebut sebagai supermatrix yang terdiri dari beberapa sub matriks.

Terdapat 3 (tiga) prinsip-prinsip dasar ANP yaitu dekomposisi, penilaian komparasi (comparative judgements), dan komposisi hierarkis atau sintesis dari prioritas (Ascarya, 2015). Pertama, adalah prinsip dekomposisi, yaitu diterapkan untuk menstrukturkan masalah yang kompleks menjadi kerangka hierarki atau kerangka ANP yang terdiri dari jaringan-jaringan cluster. Kedua, prinsip penilaian komparasi diterapkan untuk membangun perbandingan pasangan (pairwise comparison) dari semua kombinasi elemen-elemen dalam cluster dilihat dari cluster induknya. Perbandingan pasangan ini digunakan untuk mendapatkan prioritas lokal dari elemen-elemen di dalam suatu cluster dilihat dari cluster induknya. Ketiga, prinsip komposisi hierarkis atau sintesis diterapkan untuk mengalikan prioritas lokal dari elemen-elemen dalam cluster dengan prioritas „global“ dari elemen induk, yang akan menghasilkan prioritas global seluruh hierarki dan menjumlahkannya untuk menghasilkan prioritas global untuk elemen level terendah (biasanya merupakan alternatif).

Sesuai dengan prinsip-prinsip dasarnya, fungsi utama AHP/ANP ada tiga yaitu menstruktur kompleksitas, pengukuran, dan sintesis (Ascarya, 2015). Pertama, menstruktur kompleksitas, dimana ANP berfungsi untuk mengangani permasalahan yang kompleks. Dari masa ke masa manusia

mencoba untuk memecahkan kompleksitas hingga pada akhirnya ditemukan cara sederhana untuk menanganinya. Yaitu dengan cara menstruktur kompleksitas secara hierarkis ke dalam cluster-cluster yang homogen dari faktor-faktor. Begitu sederhananya sehingga siapapun dapat dengan mudah mengerti.

Kedua, pengukuran ke dalam skala rasio, dimana metodologi pengambilan keputusan yang terdahulu pada umumnya menggunakan pengukuran level rendah (pengukuran ordinal atau interval), sedangkan metodologi AHP/ANP menggunakan pengukuran skala rasio yang diyakini paling akurat dalam mengukur faktor-faktor yang membentuk hierarki. Kelebihan pendekatan ANP salah satunya adalah dengan adanya pengukuran prioritas berdasarkan rasio dan proporsi untuk menangkap hubungan dan pengaruh sehingga menghasilkan prediksi yang akurat dan keputusan yang tepat (Saaty, 2007). Level pengukuran dari terendah ke tertinggi adalah nominal, ordinal, interval, dan rasio. Setiap level pengukuran memiliki semua arti yang dimiliki level yang lebih rendah dengan tambahan arti yang baru.

Tabel 5 Perbedaan dan persamaan AHP dan ANP

No	Perbedaan	AHP	ANP
1	Kerangka	Hierarki	Jaringan
2	Hubungan	Dependensi	Dependensi dan <i>Feedback</i>
3	Prediksi	Kurang Akurat	Lebih Akurat
4	Komparasi	Preferensi / Kepentingan Lebih Subjektif	Pengaruh Lebih Objektif
5	Hasil	Matriks, <i>Eigenvector</i> Kurang Stabil	Supermatriks Lebih Stabil
6	Cakupan	Sempit/Terbatas	Luas

Sumber: Ascarya (2015)

Pengukuran interval tidak memiliki arti rasio, namun memiliki arti interval, ordinal, dan nominal.

Pengukuran rasio diperlukan untuk mencerminkan proporsi. Untuk menjaga kesederhanaan metodologi, Saaty mengusulkan penggunaan penilaian rasio dari setiap pasang faktor dalam hierarki untuk mendapatkan (tidak secara langsung memberikan nilai) pengukuran skala rasio.

Setiap metodologi dengan struktur hierarki harus menggunakan prioritas skala rasio untuk elemen di atas level terendah dari hierarki. Hal ini penting karena prioritas (atau bobot) dari elemen di level manapun dari hierarki ditentukan dengan mengalikan prioritas dari elemen pada level dengan prioritas dari elemen induknya. Karena hasil perkalian dari dua pengukuran level interval secara matematis tidak memiliki arti, skala rasio diperlukan untuk perkalian ini. AHP/ANP menggunakan skala rasio pada semua level terendah dari hierarki/jaringan, termasuk level terendah (alternatif dalam model pilihan). Skala rasio ini menjadi semakin penting jika prioritas tidak hanya digunakan untuk aplikasi pilihan, namun untuk aplikasi lain, seperti aplikasi alokasi sumber daya.

Ketiga, Sintesis merupakan proses menyatukan semua bagian menjadi satu kesatuan. Karena kompleksitas, dalam situasi keputusan penting, perkiraan, atau alokasi sumber daya, sering melibatkan terlalu banyak dimensi bagi manusia untuk dapat melakukan sintesis, sehingga kita memerlukan suatu cara untuk melakukan sintesis. Meskipun AHP/ANP memfasilitasi analisis, fungsi yang lebih penting lagi dalam AHP/ANP adalah kemampuannya untuk membantu kita dalam melakukan pengukuran dan sintesis sejumlah faktor-faktor dalam hierarki atau jaringan (Ascarya, 2015).

Ketika kita hendak membuat keputusan dengan dibatasi batasan-batasan informasi, proses sintesis merupakan cara yang tepat untuk

menghasilkan keputusan.(Saaty, 2007).

Perbedaan AHP dan ANP berawal dari aksioma ketiga tentang struktur hierarki yang tidak berlaku untuk ANP. Aksioma ini menyatakan bahwa judgements (penilaian), atau prioritas dari elemen-elemen tidak tergantung pada elemenelemen pada level yang lebih rendah. Aksioma ini mengharuskan penerapan struktur yang hierarkis. Tidak berlakunya aksioma ini untuk ANP berimplikasi pada beberapa hal, yang antara lain dapat dibaca pada tabel 5.

Perbedaan *pertama*, terletak pada struktur kerangka model yang berbentuk hierarki pada AHP dan berbentuk jaringan pada ANP. Hal ini membuat ANP dapat diaplikasikan lebih luas dari AHP. Bentuk jaringan ANP juga bisa sangat bervariasi dan lebih dapat mencerminkan permasalahan seperti keadaan yang sesungguhnya. *Kedua*, dalam struktur hierarki hanya ada dependensi level yang lebih rendah kepada level yang lebih tinggi, sementara dalam struktur jaringan terdapat juga *feedback*. Dengan *feedback* alternatif dapat dependen terhadap kriteria, seperti pada hierarki, tetapi dapat pula dependen satu sama lain. Sementara kriteria sendiri dapat dependen pada alternatif dan pada satu sama lain. *Ketiga*, *feedback* memperbaiki prioritas yang dihasilkan dari penilaian, dan membuat prediksi lebih akurat. *Keempat*, untuk melakukan komparasi dalam AHP seseorang bertanya mana yang lebih disukai atau lebih penting? Keduanya lebih kurang subyektif dan personal. Sementara itu untuk komparasi dalam ANP seseorang bertanya mana yang lebih berpengaruh? Hal ini membutuhkan observasi faktual dan pengetahuan sehingga menghasilkan jawaban valid yang lebih obyektif.

Kelima, hasil AHP adalah matriks dan eigenvector yang menunjukkan skala prioritas, sedangkan hasil ANP berupa supermatriks skala prioritas yang lebih stabil karena adanya *feedback*. Kestabilan hasil ANP telah dibuktikan oleh Iwan J. Azis dalam papernya (Azis, 2003), dimana masalah Trans Sumatra Highway dianalisis dengan menggunakan AHP dan ANP. Dari analisa sensitivitas yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa hasil ANP lebih stabil dan *robust* dari pada hasil AHP. Keenam, Cakupan AHP terbatas pada struktur yang hierarkis, sedangkan cakupan ANP meluas tak terbatas. AHP dengan asumsi-asumsi dependensinya tentang cluster dan elemen merupakan kasus khusus ANP.

Meskipun demikian penggunaan metode ANP bukan tanpa ada kekurangan. Kelemahannya yang paling mencolok adalah bahwa penelitian yang memakai metode ini relatif menyita waktu yang cukup lama akibat dari beberapa tahap dan proses penelitian yang harus dilalui: pencarian literatur, survei pakar, validasi dan FGD/survei ANP. Di samping itu, tentu saja penelitian yang memakai metode ini relatif lebih *costly* dibanding misalnya penggunaan metode AHP untuk satu masalah riset yang sama.

Dalam analisa prediksi pemilihan bahan baku biodiesel dengan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) berdasarkan penilaian kriteria-kriteria dan alternatif-alternatif. Kriteria-kriteria pemilihan meliputi, kualitas dan ketersediaan bahan baku, karakteristik lahan produksi, kemudahan proses produksi, faktor lingkungan, faktor ekonomi dan pasar, dan faktor pemerintah

Metode ANP merupakan pengembangan dari metode AHP. Metode ANP mengijinkan adanya interaksi dan umpan balik dari elemen-elemen dalam *cluster* (*inner dependence*) dan antar *cluster* (*outer dependence*). ANP juga merupakan metode pemecahan suatu masalah yang tidak terstruktur dan adanya ketergantungan hubungan antar elemennya. Konsep ANP dikembangkan dari teori AHP yang didasarkan pada hubungan saling ketergantungan antara beberapa komponen, sehingga AHP merupakan bentuk khusus dalam ANP. Konsep utama dalam ANP adalah *influence*, sementara konsep utama dalam AHP adalah *preference*. ANP mampu menangani saling ketergantungan antar unsur-unsur dengan memperoleh bobot gabungan melalui pengembangan dari supermatriks (Saaty, 2004).

Menyusun priotitas merupakan salah satu bagian yang penting dan perlu ketelitian di dalamnya. Pada bagian ini ditentukan skala kepentingan suatu elemen terhadap elemen lainnya. Langkah pertama dalam penyusunan prioritas adalah menyusun perbandingan berpasangan. Perbandingan tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk matriks untuk maksud analisis numerik, yaitu matriks $n \times n$.

Pada ANP, data yang diperlukan dapat diperoleh melalui dua cara. Pertama, suatu data yang diperoleh merupakan konsensus dari sekelompok responden yang dikumpulkan secara bersamaan. Kedua, pengumpulan data dilakukan secara terpisah untuk masing-masing responden, dalam kasus ini metode ANP membolehkan menggunakan modus atau rata-rata (*geometric mean*) untuk mendapatkan

suatu hasil urutan prioritas. Pada dasarnya responden yang valid dalam ANP adalah bahwa mereka adalah orang-orang yang ahli di bidangnya (Saaty, 2007).

Dalam metode ANP, jumlah responden menjadi tidak penting, yang paling penting adalah responden yang dipilih merupakan orang yang menguasai dan kompeten pada bidangnya. Dalam analisis ANP jumlah *sample*/responden tidak digunakan sebagai patokan validitas. Pengolahan data dilakukan terhadap hasil kuesioner dari masing-masing responden ahli dan data gabungan dari beberapa responden ahli tersebut, sehingga dapat diketahui pemeringkatan yang dilakukan dengan masing-masing responden pemeringkatan kolektif/gabungan. Data gabungan dihasilkan dengan menghitung *geometric-mean* dari seluruh data tersebut.

Hasil pemrosesan *software super decision* berupa tiga jenis tabel *supermatrix* yaitu (1) *cluster matrix* (kriteria), yang menunjukkan hubungan antar *cluster*/kriteria; (2) *weighted supermatrix*, dimana setiap blok *eigenvector* kolom dari suatu *cluster* dibobot dengan prioritas dari pengaruh *cluster tersebut*, yang membuat kolom *weighted supermatrix* menjadi *stochastic*; dan (3) *limiting supermatrix* diperoleh dengan memangkatkan *weighted supermatrix* sehingga jumlah pada setiap kolom adalah satu.

Data merupakan unsur terpenting dalam suatu penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi dua berdasarkan cara mendapatkannya, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung, sedangkan data sekunder adalah data yang tidak didapatkan secara tidak

langsung akan tetapi didapatkan dari referensi suatu lembaga. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dengan menggunakan teknik wawancara/diskusi pada lintas departemen dan teknik kuesioner yang diberikan pada responden yang dianggap memenuhi kriteria *expert*. Pendekatan sistematis dilakukan dalam memilih ahli untuk menghindari bias.

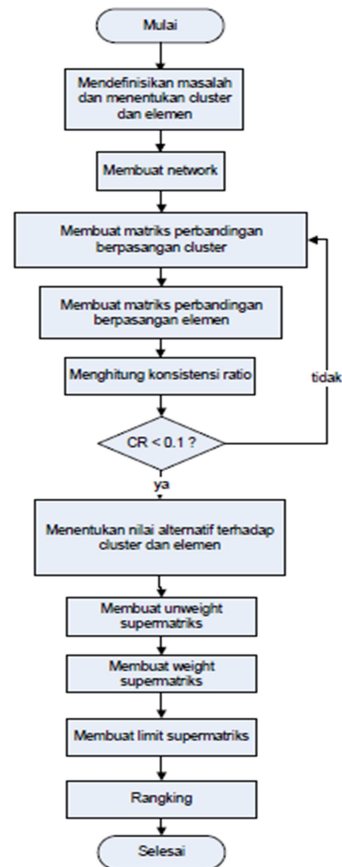
Cooke dan Goossens (2004) merekomendasikan bahwa para ahli dipilih berdasarkan reputasi, pengalaman, dan publikasi. Morgan et al. (2002) merekomendasikan bahwa ahli memiliki kematangan dalam hal afiliasi, pelatihan, dan subyek. Latar belakang sangat penting ketika memilih sebuah panel, karena memungkinkan predisposisi dalam menilai parameter.

Setelah data dimasukkan (diinput) ke dalam model ANP, maka langkah selanjutnya adalah merancang *unweighted* dan *weighted supermatrix*, yang dilakukan secara otomatis dalam *software Superdecision*. Setelah *unweighted* dan *weighted supermatrix* terbentuk, dilakukan penyusunan *limit matrix* yang merupakan output dari model ANP secara keseluruhan.

Metode Pelaksanaan

Tujuan penelitian adalah *pertama*, mencari sumber daya alternatif bahan bakar minyak (BBM) dari sumber daya non-fosil. *Kedua*, membandingkan berbagai sumber bahan baku biodiesel yang optimal dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*). *Ketiga*, mengkaji metode pengambilan keputusan untuk menentukan jenis pilihan sumber bahan baku biodiesel dengan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP).

Jenis dan sumber data, dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data primer yang didapat dari hasil wawancara (*indepth interview*) dengan pakar dan praktisi, yang memiliki pemahaman tentang permasalahan yang dibahas. Dilanjutkan dengan pengisian kuesioner pada pertemuan kedua dengan responden.



Gambar 4 Flowchart Analisa Subsistem Model ANP

Populasi dan sampel dalam pemilihan responden pada penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan pemahaman responden terhadap permasalahan dalam pengambilan keputusan dalam pemilihan bahan baku biodiesel di Indonesia. Jumlah responden dalam penelitian ini terdiri dari lima orang pakar dan praktisi dengan pertimbangan berkompeten.

Syarat responden yang valid dalam ANP adalah bahwa mereka adalah orang-orang yang menguasai atau ahli di bidangnya. Oleh karena itu, responden yang dipilih dalam penelitian ini adalah para pakar/peneliti Energi alternatif non fosil dan praktisi yang berkecimpung dalam Industri Energi alternatif non fosil.

Metodologi penelitian ini merupakan penelitian analisis kualitatif-kuantitatif dimana bertujuan untuk menangkap suatu nilai atau pandangan yang diwakili para pakar dan praktisi Energi alternatif non fosil dan praktisi yang berkecimpung dalam Industri Energi alternatif non fosil. Alat analisis yang digunakan adalah metode ANP dan diolah dengan menggunakan software “Super Decision”.

Gambaran Umum Metode ANP juga merupakan teori matematis yang mampu menganalisa pengaruh dengan pendekatan asumsi-asumsi untuk menyelesaikan bentuk permasalahan. Metode ini digunakan dalam bentuk penyelesaian dengan pertimbangan atas penyesuaian kompleksitas masalah secara penguraian sintesis disertai adanya skala prioritas yang menghasilkan pengaruh prioritas terbesar. ANP juga mampu menjelaskan model faktor-faktor dependence serta feedback nya secara sistematis. Pengambilan keputusan dalam aplikasi ANP yaitu dengan melakukan pertimbangan dan validasi atas pengalaman empirical. Struktur jaringan yang digunakan yaitu benefit, opportunities, cost and risk (BOCR) membuat metode ini memungkinkan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasi dan menyusun semua faktor yang mempengaruhi output atau keputusan yang dihasilkan (Saaty, 2007)

Landasan ANP memiliki empat aksioma yang menjadi landasan teori, antara lain (Saaty, 2007). Pertama, Resiprokal; aksioma ini menyatakan bahwa jika PC (EA,EB) adalah nilai perbandingan pasangan dari elemen A dan B, dilihat dari elemen induknya C, yang menunjukkan berapa kali lebih banyak elemen A memiliki apa yang dimiliki elemen B, maka PC (EB,EA) = 1/ Pc (EA,EB). Misalkan, jika A lima kali lebih besar dari B, maka B besarnya 1/5 dari besar A. Kedua, Homogenitas; menyatakan bahwa elemen-elemen yang dibandingkan dalam struktur kerangka ANP sebaiknya tidak memiliki perbedaan terlalu besar, yang dapat menyebabkan lebih besarnya kesalahan dalam menentukan penilaian elemen pendukung yang mempengaruhi keputusan. Ketiga, Prioritas; yaitu pembobotan secara absolut dengan menggunakan skala interval [0.1] dan sebagai ukuran dominasi relatif. Keempat, Dependence condition; diasumsikan bahwa susunan dapat dikomposisikan ke dalam komponen-komponen yang membentuk bagian berupa cluster.

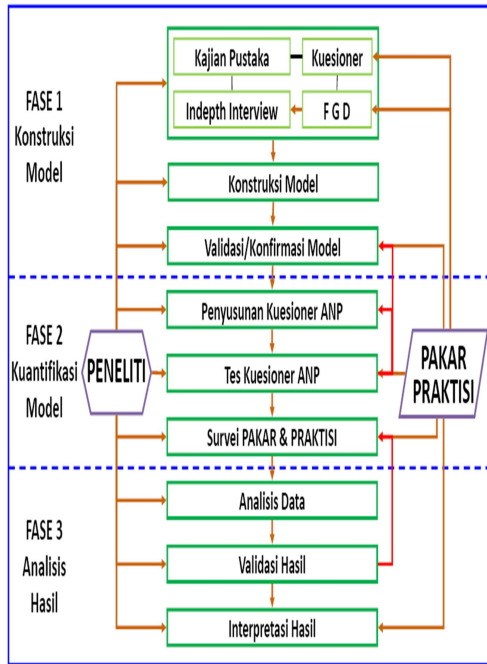
Tabel 6 Definisi Skala Penilaian (verbal) dan Skala Numerik

Skala Penilaian Verbal	Skala Numerik (≥ 9.5)
Amat sangat besar lebih	9
Diantara 7 sd. 9	8
Sangat lebih besar pengaruhnya	7
Diantara 5 sd. 7	6
Lebih besar pengaruhnya	5
Diantara 3 sd. 5	4
Sedikit lebih besar pengaruhnya	3
Diantara 1 sd. 3	2
Sama besar	1

Sumber : Saaty, 2007

Tahapan Penelitian

Tahapan pada metode ANP antara lain:



Sumber: (Ascarya, 2010)

Gambar 5 Tahapan Penelitian

1. Konstruksi Model

Konstruksi model ANP disusun berdasarkan literature review secara teori maupun empiris dan memberikan pertanyaan pada pakar/peneliti Energi alternatif non fosil dan praktisi yang berkecimpung dalam Industri Energi alternatif non fosil serta melalui indepth interview untuk mengkaji informasi secara lebih dalam untuk memperoleh permasalahan yang sebenarnya.

2. Kuantifikasi Model

Tahap kuantifikasi model menggunakan pertanyaan dalam kuesioner ANP berupa *pairwise comparison* (perbandingan pasangan) antar elemen dalam cluster untuk mengetahui mana diantara keduanya yang lebih besar pengaruhnya (lebih dominan) dan seberapa besar perbedaannya melalui skala numerik 1-9.

Data hasil penilaian kemudian dikumpulkan dan diinput melalui *software super decision* untuk diproses sehingga menghasilkan output berbentuk prioritas dan supermatriks. Hasil dari setiap responden akan diinput pada jaringan ANP tersendiri (Ascarya, 2013).

3. Sintesis dan Analisis

a) Geometric Mean

Untuk mengetahui hasil penilaian individu dari para responden dan menentukan hasil pendapat pada satu kelompok dilakukan penilaian dengan menghitung geometric mean (Saaty, 2007). Pertanyaan berupa perbandingan (Pairwise comparison) dari responden akan dikombinasikan sehingga membentuk suatu konsensus. Geometric mean merupakan jenis penghitungan rata-rata yang menunjukkan tendensi atau nilai tertentu dimana memiliki formula sebagai berikut (Ascarya, 2013) :

$$(\prod_i^n = 1 a_i)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n} \quad (3.1)$$

b) Rater Agreement

Rater agreement adalah ukuran yang menunjukkan tingkat kesesuaian (persetujuan) para responden (R1-Rn) terhadap suatu masalah dalam satu cluster. Adapun alat yang digunakan untuk mengukur rater agreement adalah Kendall's Coefficient of Concordance ($W; 0 < W \leq 1$). $W=1$ menunjukkan kesesuaian yang sempurna (Ascarya, 2010). Untuk menghitung Kendall's (W), yang pertama adalah dengan memberi-kan ranking pada setiap jawaban kemudian menjumlahkannya.

$$R_i = \sum_j^m = 1 r_{i,j} \quad (3.2)$$

Nilai rata-rata dari total ranking adalah:

$$R = \frac{1}{2}m(n + 1) \quad (3.3)$$

Jumlah kuadrat deviasi (S), dihitung dengan formula:

$$S = \sum_i^n 1(R_i - \bar{R})^2 \quad (3.4)$$

Sehingga diperoleh Kendall's W, yaitu:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^2 - n)} \quad (3.5)$$

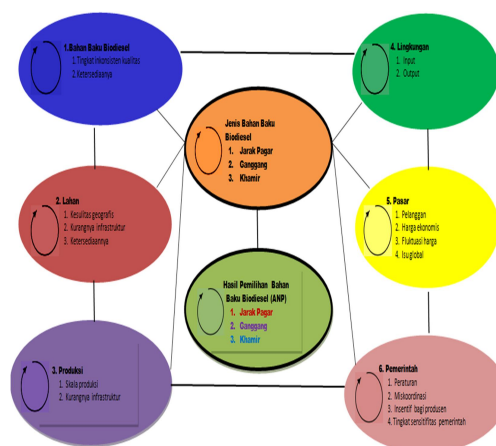
Jika nilai pengujian W sebesar 1 (W=1), dapat disimpulkan bahwa penilaian atau pendapat dari para responden memiliki kesesuaian yang sempurna. Sedangkan ketika nilai W sebesar 0 atau semakin mendekati 0, maka menunjukkan adanya ketidaksesuaian antar jawaban responden atau jawaban bervariasi (Ascarya, 2013).

HASIL DAN PENELITIAN

Karena ada berbagai macam bahan baku yang berpotensi untuk bahan baku biodiesel, akan tetapi dalam penelitian ini dibatasi untuk hanya mencakup 3 jenis bahan baku biodiesel yaitu minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*). Metode Analytic Network Proess (ANP) mengidentifikasi keseluruhan situasi persaingan umum industri biodiesel di Indonesia. Metode ini digunakan sebagai pengganti Analytic Hierarchy Process (AHP) untuk mengidentifikasi bahan baku industri biodiesel. Kekuatan ANP terletak pada penggunaan skala rasio untuk menangkap semua jenis interaksi dan membuat prediksi yang akurat, dan bahkan lebih jauh lagi, untuk membuat keputusan yang lebih baik (Saaty, 1996).

Hal ini memungkinkan interaksi dan umpan balik dalam kelompok dan antar kluster (ketergantungan luar). Umpan balik dapat lebih baik menangkap efek kompleks dari interaksi dalam pendapat. ANP menyediakan kerangka kerja menyeluruh untuk memasukkan kelompok elemen yang terhubung dengan cara apa pun yang diinginkan untuk menyelidiki proses penurunan skala prioritas dari distribusi pengaruh antar elemen dan antar kluster.

Karena komplikasi unsur-unsur yang terlibat dalam industri biodiesel, yang tidak hanya efek hirarki tetapi juga mempengaruhi dan dipengaruhi oleh unsur-unsur lain juga, metode ANP dianggap metode yang lebih baik untuk mengidentifikasi strategi yang akan dikembangkan untuk daya saing industri biodiesel. Para ahli yang dipilih berasal dari lembaga pemerintah, peneliti, serta perusahaan swasta. Opini wawasan mereka digunakan untuk membangun kerangka kerja umum untuk pemilihan bahan baku industri biodiesel yang kompetitif di Indonesia.



Gambar 6 Menunjukkan kerangka kerja ANP akhir dari pemilihan bahan baku biodiesel

Setiap faktor dalam kerangka kerja harus ditentukan secara hati-hati, apakah mereka berhubungan satu sama lain, mempengaruhi yang lain atau hanya dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu. Seluruh faktor penghambat industri biodiesel di Indonesia harus diperhitungkan dan kemudian dirancang ulang untuk memahami hubungan antara masing-masing faktor. Setiap pendapat dari para ahli, studi penelitian sebelumnya, teori dan data di sintesis untuk membangun kerangka kerja yang bisa diterapkan

Pembangunan kerangka itu memakan waktu lebih dari enam bulan. Kerangka ini diuji ulang oleh para ahli untuk menentukan apakah tepat untuk menangkap seluruh situasi industri biodiesel kompetitif. Gambar 6 menunjukkan kerangka kerja ANP akhir dari pemilihan bahan baku industri biodiesel di Indonesia, yang terdiri dari enam kategori termasuk masalah, dan solusi alternatif. Para ahli diminta untuk menjawab pertanyaan perbandingan berpasangan, yang kemudian dihitung bersama, dan diperiksa untuk kemudian persetujuan untuk konsistensi, menentukan hasil perumusan strategi akhir.

Pemilihan Bahan Baku Industri Biodiesel

Pemilihan bahan baku untuk industri pengembangan biodiesel diklasifikasikan ke dalam enam kriteria, yaitu jenis bahan baku, tanah, produksi, lingkungan hidup, pasar dan pemerintah. Jenis bahan baku kemudian dibagi menjadi minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), dan minyak/lipid Khamir (*Yeast*). Pemilihan bahan baku biodiesel menggunakan metode analytic network process (ANP),

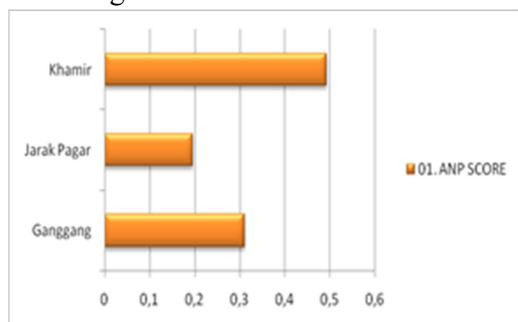
dimana setiap jenis bahan baku akan dibandingkan secara berpasangan yang mana yang lebih prioritas dan diberikan nilai pembobotan dengan angka 1 sampai dengan 9.

Kriteria-kriteria dalam rangka pemilihan bahan baku biodiesel terdiri dari 17 sub kriteria yaitu tingkat kualitas inkonsistensi bahan baku biodiesel, ketersediaannya bahan baku biodiesel, geografis lahan, infrastruktur lahan, ketersediaannya lahan, skala produksi, pilihan teknologi, input dan output lingkungan, pelanggan, harga ekonomis, fluktuasi harga, isu global, peraturan pemerintah, koordinasi pemerintah, insentif bagi produsen dan tingkat sensitivitas pemerintah.

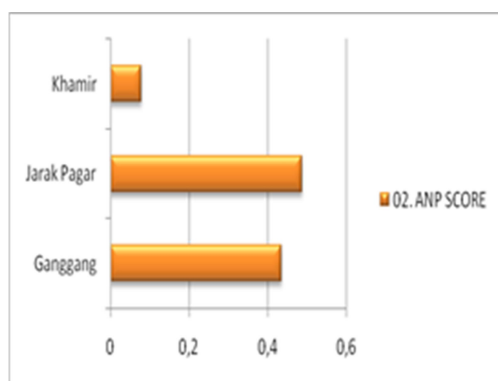
1. Kriteria Bahan Baku Biodiesel

Kriteria bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria tingkat kualitas inkonsisten bahan baku biodiesel dan ketersediaannya bahan baku biodiesel. Dalam penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria tingkat kualitas inkonsisten bahan baku biodiesel, dari metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Khamir mempunyai bobot terbesar (0.493) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.311), dan Jarak Pagar (0.195), dapat dilihat pada gambar 7. Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Khamir mempunyai masalah yang paling besar terhadap tingkat kualitas inkonsisten bahan baku biodiesel, di

bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Jarak Pagar.



Gambar 7 Tingkat Kualitas Inkonsisten Bahan Baku Biodiesel



Gambar 8 Ketersediaannya Bahan Baku Biodiesel

Pada gambar 8 bahan baku biodiesel yang terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria ketersediaan bahan baku biodiesel, dari metode ANP didapat hasil bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot terbesar (0.487) dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.435), dan Khamir (0.078). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai ketersediaan bahan baku biodiesel yang paling besar terhadap dua jenis bahan baku lainnya yaitu Ganggang dan Khamir.

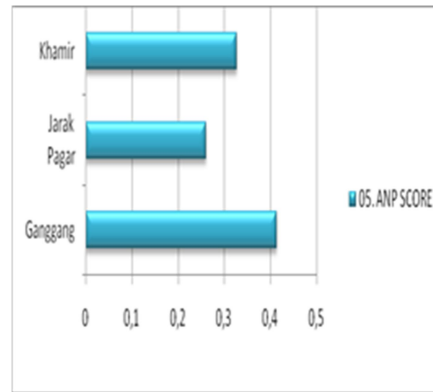
2. Kriteria Lahan

Kriteria lahan yang akan digunakan untuk menghasilkan bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria geografis lahan, infrastruktur lahan, dan ketersediaannya lahan. Dalam penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria geografis lahan untuk bahan baku biodiesel, dari metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot terbesar (0.443) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.387), dan Khamir (0.169), dapat dilihat pada gambar 9. Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai potensi geografis lahan paling besar, bila dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir.

Pada gambar 10 memperlihatkan bahwa bahan baku biodiesel yang terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria infrastruktur lahan untuk bahan baku biodiesel, dengan menggunakan metode ANP didapat hasil bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot terbesar (0.443) dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.387), dan Khamir (0.169). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai infrastruktur lahan yang lebih siap bila dibandingkan

terhadap infrastruktur lahan dua jenis bahan baku lainnya yaitu Ganggang dan Khamir.

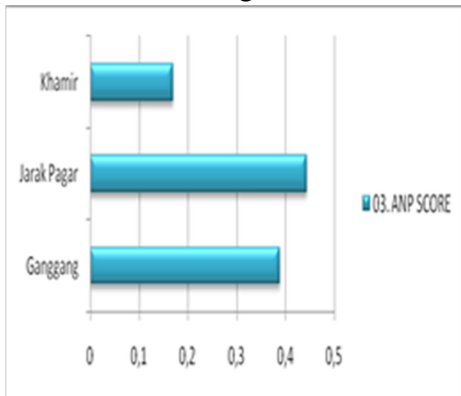
Sedangkan pada gambar 11 setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub ketersediaan lahan untuk bahan baku biodiesel, dengan menggunakan metode ANP didapat hasil bahan baku biodiesel jenis Ganggang mempunyai bobot terbesar (0.413) dibandingkan dengan ketersediaan lahan bagi dua bahan baku biodiesel lainnya Khamir (0.327), dan Jarak Pagar (0.260). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang mempunyai ketersediaan lahan yang lebih besar potensinya bila dibandingkan terhadap ketersediaan lahan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Khamir dan Jarak Pagar.



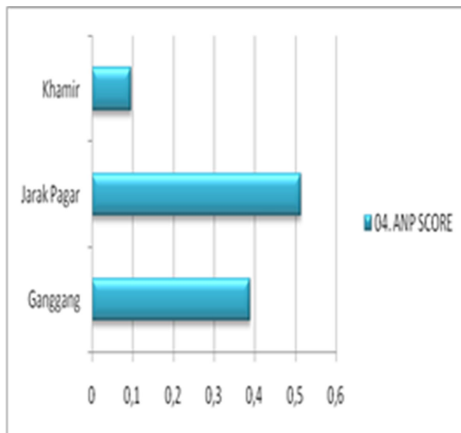
Gambar 11 Ketersediaan Lahan untuk bahan baku biodiesel

3. Kriteria Produksi

Kriteria produksi yang akan digunakan untuk menghasilkan bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria skala produksi biodiesel, dan pilihan teknologi produksi biodiesel. Dalam penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria skala produksi biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang mempunyai bobot lebih besar (0.50) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Jarak Pagar (0.25) dan Khamir (0.25), dapat dilihat pada gambar 12. Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang mempunyai potensi skala biodiesel paling besar, bila dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Jarak Pagar dan Khamir. Menurut Tryana, dkk (2015) bahwa variabel biaya produksi adalah komponen yang berkontribusi dengan biaya yang lebih tinggi.

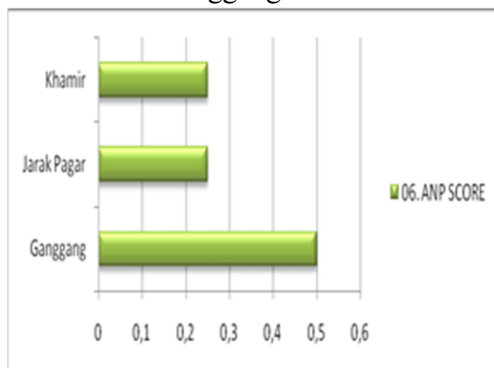


Gambar 9 Geografis Lahan untuk bahan baku biodiesel

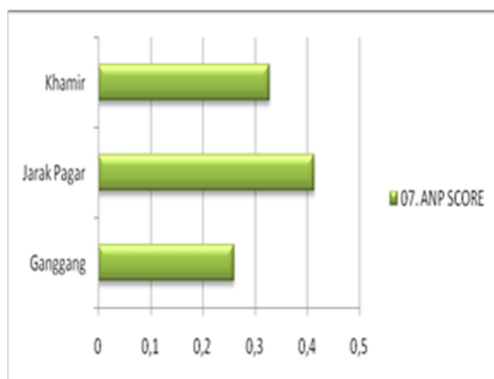


Gambar 10 Infrastruktur Lahan untuk bahan baku biodiesel

Pada gambar 13 memperlihatkan, setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria pilihan teknologi biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan menggunakan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.413) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Khamir (0.327) dan Ganggang (0.26). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai pilihan teknologi produksi biodiesel lebih baik, bila di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Khamir dan Ganggang. Biaya produksi Biodiesel berbahan baku Jarak Pagar lebih murah daripada biaya produksi biodiesel berbahan baku Khamir dan Ganggang.



Gambar 12 Skala produksi biodiesel



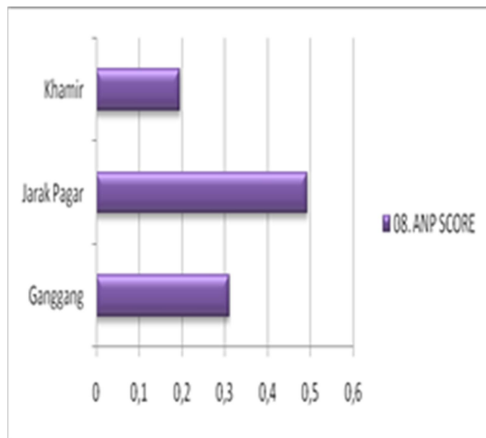
Gambar 13 Pilihan teknologi produksi biodiesel

4. Kriteria Lingkungan Hidup

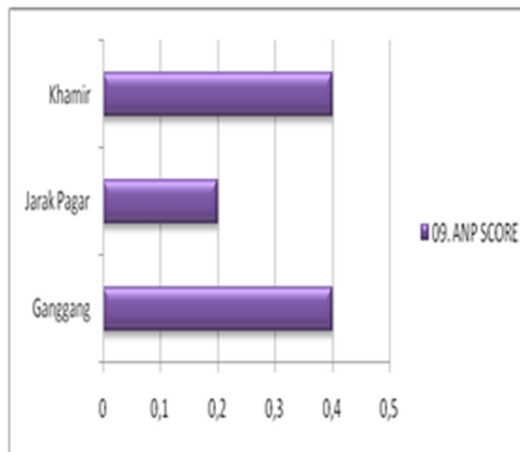
Kriteria lingkungan yang akan digunakan untuk memilih bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria input lingkungan hidup dan output lingkungan hidup. Dalam penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria input lingkungan hidup untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.493) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.311) dan Khamir (0.196), dapat dilihat pada gambar 14. Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai efek input lingkungan hidup yang lebih paling besar, bila di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir. Adapun input lingkungan hidup ini bisa dalam bentuk menyerap karbon CO₂ dari udara dalam proses fotosintesis pada masa pertumbuhan tanaman, melalui permukaan daun hijau pada tanaman.

Pada gambar 15 memperlihatkan bahwa setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria output lingkungan hidup untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang dan Khamir mempunyai bobot lebih besar (0.40) bila dibandingkan dengan bahan baku biodiesel lainnya Jarak Pagar (0.20). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang

dan Khamir mempunyai efek output lingkungan hidup yang lebih paling besar, bila di dibandingkan dengan jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Jarak Pagar. Adapun output lingkungan hidup ini bisa dalam bentuk hasil pembakaran biodiesel yang dibuang ke udara dengan konsentrasi CO₂ yang sangat kecil.



Gambar 14 Input Lingkungan Hidup biodiesel



Gambar 15 Output Lingkungan Hidup biodiesel

5. Kriteria Pasar

Kriteria pasar produk biodiesel yang akan digunakan untuk memilih bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria pelanggan produk biodiesel, harga ekonomis produk biodiesel, fluktuasi harga produk biodiesel, isu global produk biodiesel. Dalam

penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria pelanggan produk biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.458) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.416) dan Khamir (0.126), dapat dilihat pada gambar 16 Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai pelanggan produk biodiesel yang lebih mengenal produk dari jenis bahan baku Jarak Pagar, bila di dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir, dimana pelanggan belum begitu mengenal terhadap sumber bahan baku biodiesel dari jenis Ganggang dan Khamir.

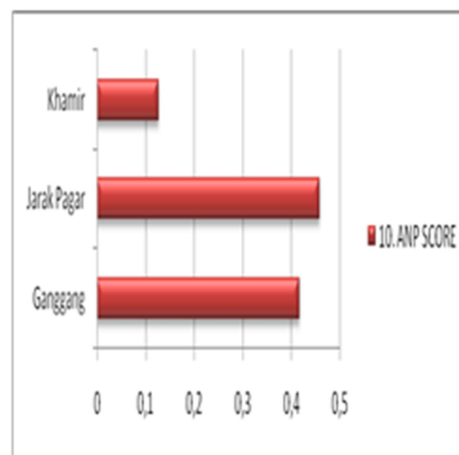
Pada gambar 17 memperlihatkan setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria harga ekonomis produk biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.594) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.249) dan Khamir (0.157). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai harga ekonomis produk biodiesel yang lebih kompetitif bila di dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir. Harga ekonomis produk biodiesel berbahan baku Jarak Pagar

berkaitan juga dengan biaya produksi yang lebih murah bila di bandingkan dengan biodiesel yang di produksi dengan berbahan baku Khamir dan Ganggang.

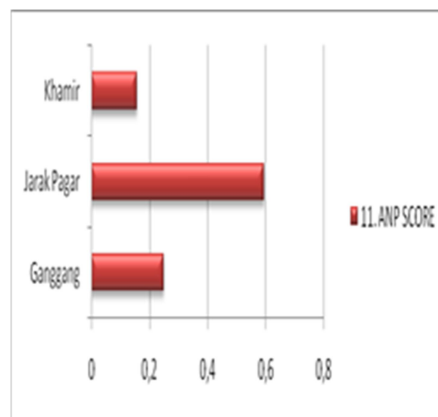
Pada gambar 18 memperlihatkan setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria fluktuasi harga produk biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.60) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.20) dan Khamir (0.20). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai fluktuasi harga produk biodiesel yang lebih besar di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir. Tryna, dkk (2015) menyatakan beberapa industri biodiesel menghentikan kegiatan produksi mereka karena biaya produksi tinggi yang tidak beralasan dan karena harga jual yang fluktuatif.

Pada gambar 19 memperlihatkan setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria isu global produk biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.634) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.192) dan Khamir (0.174). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai isu global produk biodiesel yang lebih besar di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir. Isu global produk biodiesel berbahan baku Jarak Pagar berkaitan juga dengan masih dominannya biodiesel berbahan baku

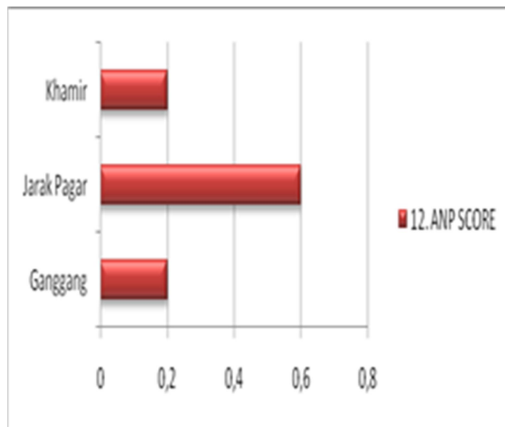
minyak kelapa sawit (CPO), begitu juga dengan biodiesel yang di produksi dengan berbahan baku Khamir dan Ganggang masih di pengaruhi sekali oleh biodiesel yang berbahan baku CPO kelapa sawit. Saat ini Uni Eropa sebagai pasar terbesar bagi produk biodiesel Indonesia yang berbahan baku CPO kelapa sawit mengalami hambatan-hambatan dalam memasuki pasar Uni Eropa, dengan ada isu *deforestation* (pengurangan lahan hutan) bagi perkebunan-perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Ini berpotensi Indonesia mengambil inisiatif untuk memproduksi biodiesel dari sumber selain CPO kelapa sawit misalnya dari Jarak Pagar.



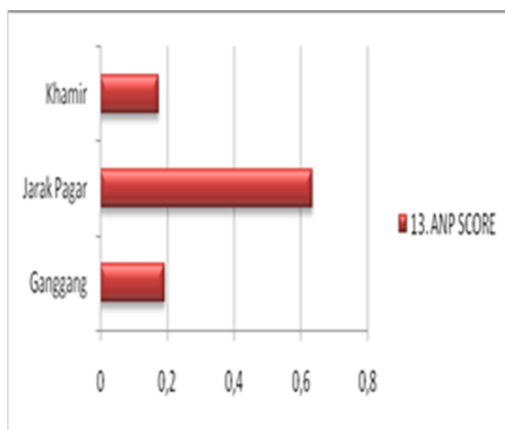
Gambar 16 Pelanggan produk biodiesel



Gambar 17 Harga Ekonomis produk biodiesel



Gambar 18 Fluktuasi Harga produk biodiesel



Gambar 19 Isu Global produk biodiesel

6. Kriteria Pemerintah

Kriteria pemerintah yang akan digunakan untuk memilih bahan baku biodiesel terdiri dari sub kriteria peraturan pemerintah, koordinasi pemerintah, insentif bagi produsen dan tingkat sensitivitas pemerintah. Dalam penelitian ini bahan baku biodiesel yang diprioritas untuk dipilih dengan metode ANP terdiri dari minyak biji Pohon Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), minyak Ganggang (*Microalgae*), minyak/lipid Khamir (*Yeast*), setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria peraturan pemerintah untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP

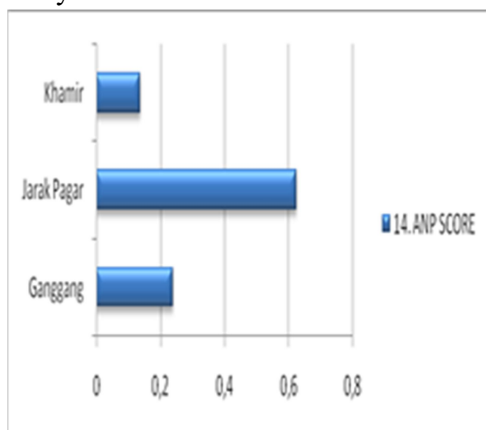
didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.625) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.238) dan Khamir (0.136), dapat dilihat pada gambar 20. Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai peraturan pemerintah yang lebih jelas, bila dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir, dimana peraturan pemerintah belum begitu tampak jelas dan diperhatikan terhadap sumber bahan baku biodiesel dari jenis Ganggang dan Khamir.

Pada gambar 21 setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria koordinasi pemerintah untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.55) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya Ganggang (0.24) dan Khamir (0.21). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai koordinasi ke pemerintahan yang lebih jelas, bila dibandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir, dimana koordinasi dengan pemerintah belum begitu tampak jelas dan diperhatikan terhadap sumber bahan baku biodiesel dari jenis Ganggang dan Khamir.

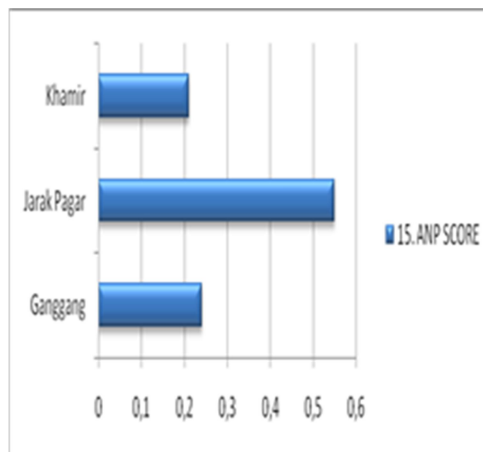
Pada gambar 22 setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria insentif bagi produsen biodiesel untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang mempunyai bobot lebih besar (0.413) bila dibandingkan dengan dua bahan baku

biodieesol lainnya Jarak Pagar (0.327) dan Khamir (0.26). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Ganggang berpotensi untuk dikembangkan, karena biaya produksinya yang besar (dibandingkan dengan Jarak Pagar dan Khamir) pemerintah bisa memberikan insentif lebih untuk produsen biodiesel, di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Jarak Pagar dan Khamir.

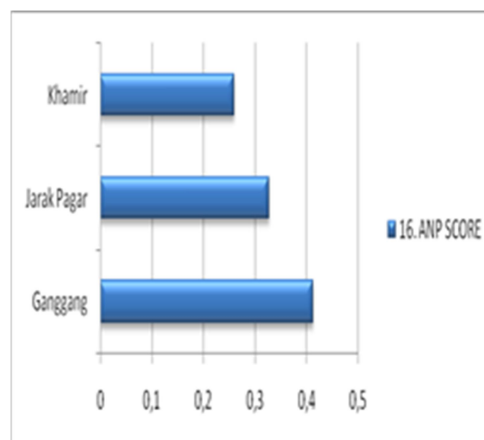
Pada gambar 23 setelah dilakukan pemilihan prioritas secara berpasangan menurut sub kriteria tingkat sensitivitas pemerintah untuk pemilihan bahan baku biodiesel, dengan metode ANP didapatkan hasil bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar mempunyai bobot lebih besar (0.6) bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodieesol lainnya Ganggang (0.2) dan Khamir (0.2). Hal ini berarti bahwa bahan baku biodiesel jenis Jarak Pagar lebih sensitif dimata pemerintah untuk dikembangkan, karena potensi, kemudahan produksinya dan sebagainya, bila di bandingkan dengan dua jenis bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang dan Khamir yang teknologi pengembangan dan produksinya masih sulit dijangkau oleh masyarakat umum.



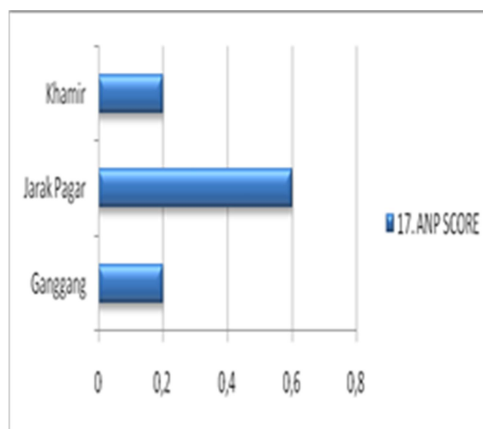
Gambar 20 Peraturan pemerintah untuk produk biodiesel



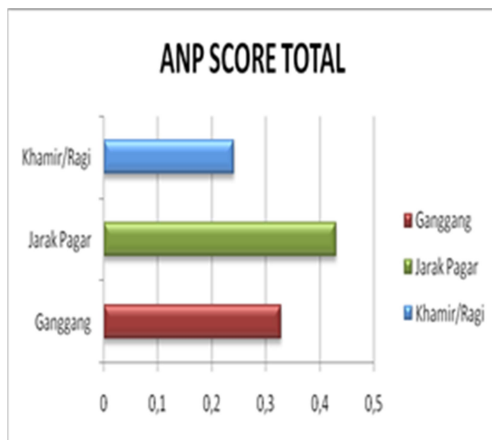
Gambar 21 Koordinasi pemerintah untuk produk biodiesel



Gambar 22 Insentif Bagi Produsen produk biodiesel



Gambar 23 Tingkat Sensitivitas Pemerintah untuk produk biodiesel



Gambar 24 Pemilihan Bahan Baku biodiesel secara keseluruhan kriteria

Pada gambar 24 menunjukkan hasil total pemilihan bahan baku biodiesel dengan metode *analytic network process* (ANP). Bahan baku biodiesel Jarak Pagar (0.43) dianggap sumber paling potensial untuk bahan baku industri biodiesel dibandingkan dengan Ganggang (0.33) dan Khamir (0.24), ketika terkait dengan masalah lain yang terlibat seperti ketersediaan, konsistensi, infrastruktur dan dukungan pemerintah. Hasil analisis biaya terpisah mendukung hasil ANP di mana biaya produksi Jarak Pagar lebih rendah daripada Ganggang atau Khamir.

SIMPULAN

Penentuan pemilihan ini diklasifikasikan ke dalam enam kriteria, yaitu bahan baku, tanah, produksi, lingkungan hidup, pasar dan pemerintah. Dan kriteria terbagi dalam 17 sub kriteria yaitu tingkat kualitas inkonsistensi bahan baku biodiesel, ketersediaannya bahan baku biodiesel, geografis lahan, infrastruktur lahan, ketersediaannya lahan, skala produksi, pilihan teknologi, input dan output lingkungan, pelanggan, harga ekonomis, fluktuasi harga, isu global, peraturan pemerintah, koordinasi

pemerintah, insentif bagi produsen dan tingkat sensitivitas pemerintah.

Hasil pemilihan bahan baku biodiesel dalam penelitian ini dengan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP) menunjukkan bahwa bahan baku biodiesel yang berasal dari minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) dianggap jenis bahan baku biodiesel yang paling potensial, bila dibandingkan dengan dua bahan baku biodiesel lainnya yaitu Ganggang (*Algae*) dan Khamir (*Yeast*).

DAFTAR PUSTAKA

- Ascarya. (2010), "The Lack of Profit and Loss Sharing Financing in Indonesia's Islamic Banks", Jurnal www.researchgate.net.
- Ascarya. (2015), "Determining the Real Causes of Financial Crisis in Islamic Economic Perspective ANP Approach", Jurnal www.researchgate.net.
- Ascarya. (2015), "The Persistent Lack of Profit and Loss Sharing Financing in Indonesia's Islamic Banks", Jurnal www.researchgate.net.
- Azis, Iwan J. (2003), "Analytic Network Process with Feedback Influence A New Approach to Impact Study", Jurnal www.researchgate.net.
- Chen J, Lia J, Donga W, Zhanga X, TyagibR.D, Droguip P. (2018), "The Potential of Microalgae in Biodiesel Production", *Renew Sustain Energy Rev.*90. 336-346.
- Chisty, Yusuf. (2007), "Biodiesel from Microalgae", Institute of Technology and Engineering, Massey University, Palmerston North New Zealand.

- Cooke, R.M. and Goossens, L.H.J.(2004), "Expert judgment elicitation for risk assessments of critical infrastructures", *Journal of Risk Research*, Vol.7,2004-Issue 6.
- Das M, Sarkar M, Datta A, Santra A.K (2018), "An Experimental Study on The Combustion, Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fuelled with Diesel-Castor Or Biodiesel Blnds", *Jurnal Renewable Energy*, Vol. 119, Hal. 174-184.
- Davis R, Aden A, Pienkos PT. (2011), "Techno-economic Analysis of Autotrophic Microalgae for Fuel Production", *Appl Energy*. 88:3524-31.
- Dong, T., Knoshaug, E.P., Pienkos, P.T. and Laurens, L.M. (2016), "Lipid Recovery from Wet Oleaginous Microbial Biomass for Biofuel Production: A Critical Review", *Applied Energy*, 177, pp.879-895.
- ESDM. (2006) "Statistik Migas", Dirjen Migas, Kementerian ESDM.
- ESDM. (2016), *Statistik Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE)*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hadi, Prajogo U. Dkk. (2006), "Prospek Pengembangan Sumber Energi Alternatif (Biofuel) : Fokus pada Jarak Pagar", Pusat Analisis Sosial Ekonomi Dan Kebijakan Pertanian Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- I Nyoman, P. (2005), "Supply Chain Management", PT. Guna Widya. Surabaya.
- Legowo, E.H., Y. Kussuryani and I.K. Reksawardoyo. (2007), "Biofuel Development in Indonesia". Presentation on behalf of the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resource at the USDA Global Conference on Agricultural Biofuels: Research and Economics.
- Lima, M.G.B. (2012), "An Institutional Analysis of Biofuels Policies and their Social Implications: Lessons from Brazil, India and Indonesian". Occasional Paper 9. United Nations Research Institute for Social Development.
- Prihandana, Rama. (2006), dkk, "Menghasilkan Biodiesel Murah", PT. Agro Media Pustaka.
- Priyohadi Kuncahyo, Agung Zuhdi M. Fathallah, Semin. (2013), "Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia, *Jurnal Teknik ITS*. Surabaya.
- Qiao, K., Abidi, S.H.I., Liu, H., Zhang, H., Chakraborty, S., Watson, N., Ajikumar, P.K. and Stephanopoulos, G. (2015), "Engineering lipid overproduction in the oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica*". *Metabolic engineering*, 29, pp.56-65.
- Rohmawati, Euis. (2007). "Studi Kelayakan Pendirian Industri Biodiesel Terpadu dari Jarak pagar (*Jatropha Curcas L.*) di Kawasan Pabrik Gula Jatitujuh, Majalengka, Jawa Barat", Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rusydiana, Aam Slamet dan Abrista Devi. (2013), "Analytic Network Process; Pengantar Teori dan Aplikasi", Smart Publishing.
- Saaty, T.L. (1996), *Decisions Making with Dependence and Feedback: The Analytical Network Process*, RWS Publications, ISBN 0-9620317-9-8 RWS Publications, and

- Pittsburgh, PA.
- Saaty, T.L. (2004), "Fundamentals of The Analytic Network Process Dependence and Feedback in Decision-Making with a Single Network". Pittsburgh.
- Saaty, T.L. (2005), Multi-decisions Decision-Making: In addition to wheeling and dealing our national politics needs a formal approach to prioritization for better decision-making. How?. saaty@katz.pitt.edu.. University of Pittsburgh. Pittsburgh, PA 15260.
- Saaty, Thomas L. (2007), "Multi Decisions Making", in addition to Whealing and Dealing, Our National Political Bodies Need A Formal Approacah for Prioritization", Mathematical and Computer Modelling, Vol.46, hal. 1001-1016.
- Santoso, Leo Willyanto, Alexander Setiawan & Andreas Handoyo. (2010), "Pembuatan Aplikasi Sistem Seleksi Calon Pegawai dan Pemilihan Supplier dengan Metode Analytic Network Process (ANP) dan Analytic Hierarchy Process (AHP) di PT X". Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri – Universitas Kristen Petra.
- Santoso, Leo Willyanto, Alexander Setiawan & Januar R. Stanley. (2009), "Pembuatan Aplikasi Sistem Seleksi Calon Pegawai dengan Metode Analytic Network Process (ANP) di PT X". Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri – Universitas Kristen Petra.
- Sari, Ariza B.T. (2007), "Proses pembuatan biodiesel minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L.*) dengan transesterifikasi satu dan dua tahap". Skripsi fakultas teknologi pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor.
- Sathivel S. (2003), "Fish Oils – Properties and Processing", Alaska sea grant college program, AK-SG-03-01.
- Singh B, Guldhe A, Rawat I, Bux F. (2014), "Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae", *Renew Sustain Energy Rev.* 29:216-45.
- Su Yujie, Song K, Zhang P, Su Yuqing, Cheng J, Chen X. (2017), "Progress of microalgae biofuel's commercialization", Vol. 74, Hal. 402-411.
- Sudrajat, H.R., Dadang S., Yetiw., Rani A., Sahirman. (2007), "Permasalahan dalam teknologi pengolahan biodiesel dari minyak jarak pagar (*Jatropha curcas L.*)", Badan penelitian dan pengembangan pertanian, Bogor.
- Suryadi, K. dan M. Ali. (2002), "Sistem Pendukung Keputusan: Suatu Wacana Struktur Idealisasi dan Implementasi Konsep Pengambilan Keputusan", PT. Remaja Rosdakarya, Bandung.
- Suryanto H, Sukarni, Yahuhar U. (2009), "Studi Eksplorasi Potensi Mikroalga Laut sebagai Sumber Energi Terbarukan", Seminar Nasional Teknik Mesin IV 30 Juni 2009, Surabaya, Indonesia.
- Syah, Andi Nur Alam. (2006), "Mengenal Lebih Dekat Biodiesel Jarak Pagar", Penerbit PT. Agro Media Pustaka, Tangerang.
- Taufan, M.L, dkk.(2010), "Budidaya Tanaman Jarak Pagar (Penghasil Biodiesel)", Penerbit Aneka Ilmu, Semarang.
- Thapa, S., et al. (2018), "An Overview on Fuel Properties and Prospects of

- Jatropha Biodiesel as Fuel for Engines”, *Environ Technol. Innov.*9, 210-219.
- Tim Agro. (2007), “Meraup Untung dari Jarak Pagar”, PT. Agro Media Pustaka.
- Tim IPB. (2009), “Tanaman Perkebunan Penghasil Bahan Bakar Nabati (BBN)”, IPB Press.
- Tim Nasional Pengembangan BBN. (2007), “Program Pengembangan Bahan Bakar Nabati”, Tim Nasional Pengembangan BBN.
- Tim Penulis BRDST. (2008) , Membangun Pabrik Biodiesel Skala Kecil, Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta.
- Tryana, M.S., Sukardi, Suryani, A., M. Romli, M. (2015), “Biodiesel Production Cost Assessment from Different Palm Oil Raw Material as Feedstock”. *Industrial Engineering Letters*, www.iiste.org. ISSN 2224-6096 (Paper) ISSN 2225-0581 (online).Vol.5, No.2 2015.
- Vasundevan, P.T & Briggs, M. (2008),”Biodiesel Production- Current State of The Art and Challenges, *J. Ind Microbial Bioethanol*. Vol.35, hal..421-430.
- Wibisono, Ardian. (2007), “Conoco Phillips Produksi dari Lemak Babi”, Jakarta.