

BIOETANOL UBI KAYU

BAHAN BAKAR MASA DEPAN



Rama Prihandana, Kartika Noerwijati, Praptiningsih Gamawati
Adinurani, Dwi Setyaningsih, Sigil Setiadi, & Roy Hendroko

Komentar	i
Kata Pengantar Menteri Pertanian RI	ix
Kata Pengantar Menteri Negara Lingkungan Hidup RI	xii
Kata Pengantar Rektor Institut Pertanian Bogor	xvi
Kata Pengantar Ketua Tim Nasional Pengembangan BBN	xviii
Prakata	xxiii
Daftar Isi	xxviii
Satu MENGENAL BENSIN	1
A. Apa <i>Sih</i> Bensin	1
B. Bensin Pencemar Udara	8
C. Upaya Mengatasi Polusi	13
Dua SEKILAS ALKOHOL	25
A. Alkohol, Senyawa Kimia Tertua	25
B. Etanol, Bahan Bakar Nabati Masa Depan	38
C. Ubi Kayu, Penghasil Etanol Untuk BBN	57
D. Etanol Berbasil Kemasyarakatan	66

Tiga	BUDI DAYA UBI KAYU	79
	A. Mengenal Ubi Kayu	79
	B. Varietas Unggul Ubi Kayu dan Pembibitan	83
	C. Pengolahan Tanah	89
	D. Cara Tanam	90
	E. Pola Tanam dan Pengendalian Erosi	94
	F. Populasi Tanaman	97
	G. Waktu Tanam dan Sulam	99
	H. Pengendalian Gulma	100
	I. Pemupukan	102
	J. Pengendalian Hama dan Penyakit	105
	K. Panen	107
	L. Ubi Kayu Unggul	109
	M. Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	119
Empat	SPESIFIKASI BIOETANOL DAN ANALISIS KUALITAS	125
	A. Standar Nasional Indonesia Bioetanol Terdenaturasi ..	125
	B. Metode Uji Mutu Bioetanol	128
Lima	LIMBAH PABRIK BIOETANOL	161
	A. Limbah Cair	162
	B. Limbah Padat	173

Daftar Pustaka	175
Lampiran 1	185
Lampiran 2	186
Lampiran 3	187
Lampiran 4	188
Tentang Penulis	189

SATU

MENGENAL BENSIN

A. Apa *Sih* Bensin?

Bensin merupakan cairan yang sangat penting, terutama di zaman modern dengan mobilitas manusia yang sangat tinggi. Vitalnya bensin bagi perekonomian suatu negara sama seperti fungsi darah bagi tubuh manusia. Tanpa bensin dan minyak solar (tanpa energi), dunia yang kita ketahui sekarang seperti berhenti berdenyut.

1. Berapa *sih* penggunaan bensin di negara kita?

Seperti diketahui, bahan bakar minyak (BBM) mengambil porsi 52% dalam kebutuhan energi nasional. Sebagian besar BBM adalah bersubsidi, bahkan pada tahun 2006 besar subsidi berjumlah Rp60,6 triliun dan sekitar 43% kebutuhan BBM dalam negeri masih diimpor (Timnas BBN, 2006). Pada tahun 2006 volume BBM mengalami penurunan dibandingkan dengan tahun 2005 (tabel 1), sebagai dampak Peraturan Presiden No. 5, tanggal 30 September 2005 yang menaikkan harga premium 188%, solar 205%, dan minyak tanah 286%.

Tabel 1. Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia tahun 2000—2006

Jenis BBM	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Premium	12.429	13.067	13.630	14.647	16.418	17.459	17.067
Minyak Tanah	12.458	12.280	11.676	11.753	11.846	11.370	10.016
Minyak Solar	22.072	23.357	24.276	24.064	26.488	27.466	25.092 ^{*)}
Minyak Diesel	1.472	1.434	1.360	1.183	1.093	892	498
Minyak Bakar	6.076	6.159	6.258	6.216	5.755	4.803	4.785 ^{*)}

Sumber: Ditjen Migas, 2007

Catatan: - Satuan kiloliter (kl)

*) Belum termasuk impor BBM swasta sekitar 350.000 kl
60% untuk solar dan 40% untuk minyak bakar

Bensin atau premium merupakan BBM peringkat kedua terbesar penggunaannya setelah minyak solar dengan kebutuhan yang meningkat dari tahun ke tahun. Dengan pertumbuhan sebesar 7%, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral RI memperkirakan kebutuhan bensin (premium) di Indonesia pada tahun 2009 sebesar 21 juta kiloliter.

2. Apa yang terkandung di dalam bensin sehingga menjadikannya sangat penting?

Bensin mengandung energi kimia. Energi ini diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran (oksidasi) dengan udara di dalam mesin atau motor bakar. Energi panas ini meningkatkan temperatur dan tekanan gas pada ruang bakar. Gas bertekanan tinggi tersebut kemudian berekspansi melawan mekanisme mekanik mesin. Ekspansi itu diubah oleh mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft* sebagai *output* dari mesin tersebut. Selanjutnya, *crankshaft* dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis. Energi ini kemudian dimanfaatkan sesuai dengan keperluan, misalnya untuk menggerakkan roda motor atau mobil.

Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia $C_n H_{2n-2}$, mulai dari C_7 (heptana) sampai dengan C_{11} . Dengan kata lain, bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon saling terikat satu dengan lainnya sehingga membentuk rantai.

Pada mesin yang “beres”, proses pembakaran oksigen akan mengubah semua hidrogen dalam bahan bakar menjadi air dan mengubah semua karbon menjadi karbon dioksida.

3. Dari manakah bensin berasal?

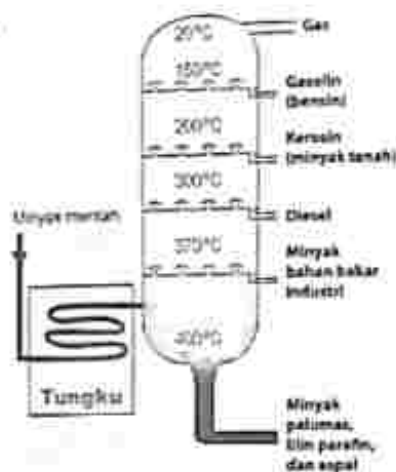
Bensin dibuat dari minyak mentah, yaitu cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut *crude oil*. Cairan ini mengandung hidrokarbon. Atom-atom karbon dalam minyak mentah saling berhubungan, membentuk rantai dengan panjang yang berbeda-beda.

Molekul hidrokarbon dengan panjang yang berbeda memiliki sifat dan kelakuan berbeda pula. CH_4 (metana) merupakan molekul paling “ringan”, bertambahnya atom C dalam rantai tersebut membuatnya semakin “berat”. Empat molekul pertama hidrokarbon adalah metana, etana, propana, dan butana. Pada temperatur dan tekanan kamar, keempatnya berwujud gas dengan titik didih masing-masing -107° , -67° , -43° , dan -18° C. Berikutnya, dari C_5 sampai dengan C_{18} berwujud cair dan mulai dari C_{19} ke atas berwujud padat.

Bertambah panjangnya rantai hidrokarbon akan menaikkan titik didihnya, sehingga kita bisa memisahkan hidrokarbon ini dengan cara distilasi. Prinsip inilah yang diterapkan di pengilangan minyak untuk memisahkan berbagai fraksi hidrokarbon dari minyak mentah. Secara garis besar, proses yang berlangsung di dalam kilang minyak dapat digolongkan menjadi 5 bagian sebagai berikut.

- Proses distilasi, yaitu proses penyulingan berdasarkan perbedaan titik didih. Proses ini berlangsung di kolom distilasi atmosferik dan kolom distilasi vakum.
- Proses konversi, yaitu proses untuk mengubah ukuran dan struktur senyawa hidrokarbon. Termasuk dalam proses ini antara lain:
 - dekomposisi dengan cara perengkahan termal dan katalis (*thermal and catalytic cracking*),

- unifikasi melalui proses alkilasi dan polimerisasi, dan
- alterasi melalui proses isomerisasi dan *catalytic reforming*.
- Proses pengolahan (*treatment*), dimaksudkan guna menyiapkan fraksi-fraksi hidrokarbon untuk diolah lebih lanjut dan diproses menjadi produk akhir,
- Formulasi dan pencampuran (*blending*), yaitu proses pencampuran fraksi-fraksi hidrokarbon dan penambahan bahan aditif untuk mendapatkan produk akhir dengan spesifikasi tertentu.
- Proses-proses lainnya, meliputi pengolahan limbah, proses penghilangan air asin (*sour-water stripping*), proses pemerolehan kembali sulfur (*sulphur recovery*), proses pemanasan, proses pendinginan, proses pembuatan hidrogen, dan proses-proses pendukung lainnya.



Gambar 1. Diagram proses distilasi atau penyulingan minyak mentah dalam kolom distilasi

4. Di Indonesia terdapat beberapa bahan bakar jenis bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ditentukan berdasarkan nilai RON (*research octane number*). Sebutkan!
- Premium (RON 88). Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kuning jernih. Warna tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Umumnya, premium digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermesin bensin, seperti mobil, sepeda motor, dan motor tempel. Bahan bakar ini sering juga disebut *motor gasoline* atau *petrol*.

- **Pertamax (RON 92).** Pertamax ditujukan untuk kendaraan yang mensyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbel (*unleaded*). Pertamax juga direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi di atas tahun 1990, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *electronic fuel injection* dan *catalytic converters*.
- **Pertamax Plus (RON 95).** Jenis BBM ini mempunyai nilai oktan tinggi (95). Pertamax dan Pertamax Plus dipasarkan sejak 10 Desember 2002. Pertamax Plus ditujukan untuk kendaraan berteknologi mutakhir yang mensyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan. Pertamax Plus sangat direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi ratio lebih besar dari 10,5 dan menggunakan teknologi *electronic fuel injection* (EFI), *variable valve timing* (VVT-i pada Toyota, VVT pada Suzuki, VTEC pada Honda, dan VANOS/Valvetronic pada BMW), *turbochargers*, serta *catalytic converters*.



Nilai oktan.

Stasiun pengisian bahan bakar telah mencantumkan bilangan oktan BBM bensin di papan namanya.

5. Apakah oktan?

Oktan menyatakan kandungan molekul iso-oktan (C_8) yang terdapat dalam bahan bakar bensin. Secara garis besar, bensin diluni oleh iso-oktan dan normal-heptana. Iso-oktan bersifat tahan digebuk atau dikompres hingga volume terkecil tanpa mengalami pembakaran spontan. Normal-heptana mempunyai karakteristik berlawanan dengan iso-oktan, yakni mudah terbakar spontan meskipun baru ditekan sedikit.

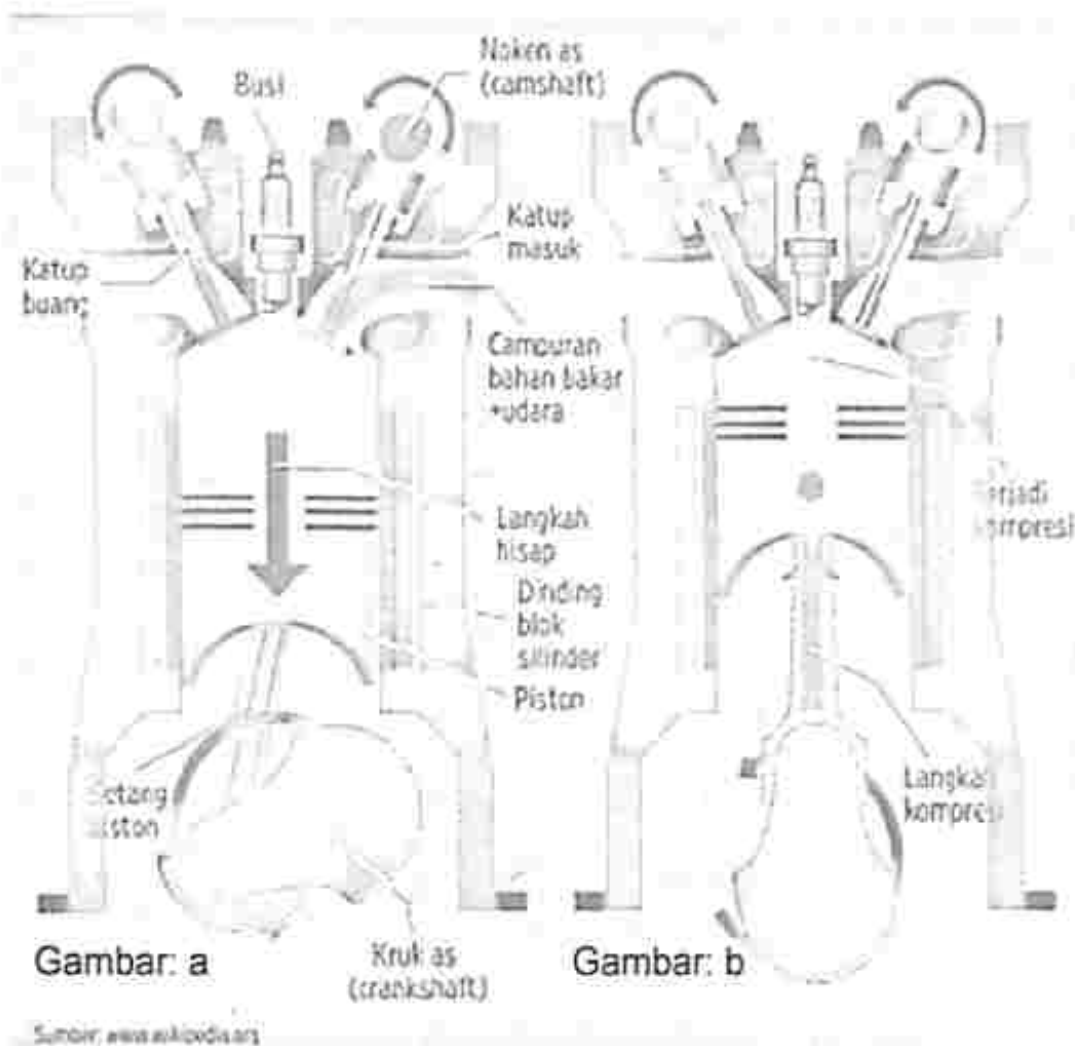
Semakin tinggi kandungan oktan berarti mutunya semakin bagus. Seperti telah kita bahas di atas, nilai oktan tiap jenis bensin berbeda-beda. Penentuan angka oktan diwujudkan dalam dua angka, yakni *research octane number* (RON) dan *motor octane number* (MON). Angka ini diperoleh dari pengujian pada mesin yang disebut *coorporative fuel research* (CFR). RON diuji pada mesin dengan putaran 600 rpm dan suhu udara luar $125^{\circ} F$ ($51,6^{\circ} C$), sedangkan MON diuji pada putaran 900 rpm dengan suhu $100^{\circ} F$ ($37,8^{\circ} C$). Dengan kata lain, RON memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam pengendaraan biasa, sedangkan MON adalah unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan yang lebih berat. Bilangan oktan di pasaran merupakan rata-rata aritamis dari RON dan MON. Misalnya, bensin hasil tes berskala 90. Ini berarti setara dengan 90% iso-oktan dan 10% normal-heptana.

6. Mohon diperjelas tentang kompresi ?

Pada tahun 1876, Nicolaus Otto berhasil menciptakan motor gas bersiklus empat langkah yang menjadi prinsip kerja motor bensin saat ini. Di dalam motor bakar, campuran udara dan bensin dalam bentuk gas ditekan atau dikompresi oleh piston hingga volume terkecil, kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena itu, motor bensin disebut juga *spark ignition engine*, berbeda dengan motor diesel yang disebut *compression ignition engine*.

Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas

ini terbakar karena tekanan yang tinggi (bukan karena percikan api dari busi), akan terjadi *knocking* (ketukan) atau proses *ngelitik* dalam mesin. *Knocking* ini menyebabkan mesin cepat rusak sehingga sebisa mungkin harus dihindari.



Motor bakar empat langkah.

Satu siklus memerlukan empat kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol, dengan langkah kerja sebagai berikut.

Gambar a. Langkah isap
 Gambar b. Langkah buang yang didahului langkah kompresi dan ekspansi

7. Jadi, kita memilih bensin harus sesuai dengan karakter mesin?

Benar. Tujuannya agar pembakaran berlangsung sempurna, karena semua bahan bakar harus habis terbakar sehingga pemakaiannya menjadi ekonomis dan gas buang tidak menyebabkan pencemaran. Tidak ada manfaatnya jika menggunakan bensin beroktan tinggi pada mesin kompresi

rendah, selain tidak ekonomis juga berbahaya karena bensin beroktan tinggi sering mengandung timbel yang menyebabkan pencemaran udara. Hal yang sama juga berlaku sebaliknya, jika mesin berkompresi tinggi diberi bensin beroktan rendah dapat menimbulkan bahaya karena bensin tidak terbakar sempurna. Ada yang terbawa ke pipa buangan dan terbakar di knalpot. Hal ini bisa dideteksi dengan keluarnya bau tidak sedap dari moncong knalpot, seperti bau telur gosong. Panduan di tabel 2 membantu Anda untuk memilih bensin yang tepat

Tabel 2. Rasio kompresi dan angka oktan

Rasio Kompresi	Angka Oktan
5 : 1	72
6 : 1	81
7 : 1	87
8 : 1	92
9 : 1	96
10 : 1	100
11 : 1	104
12 : 1	108

B. Bensin Pencemar Udara

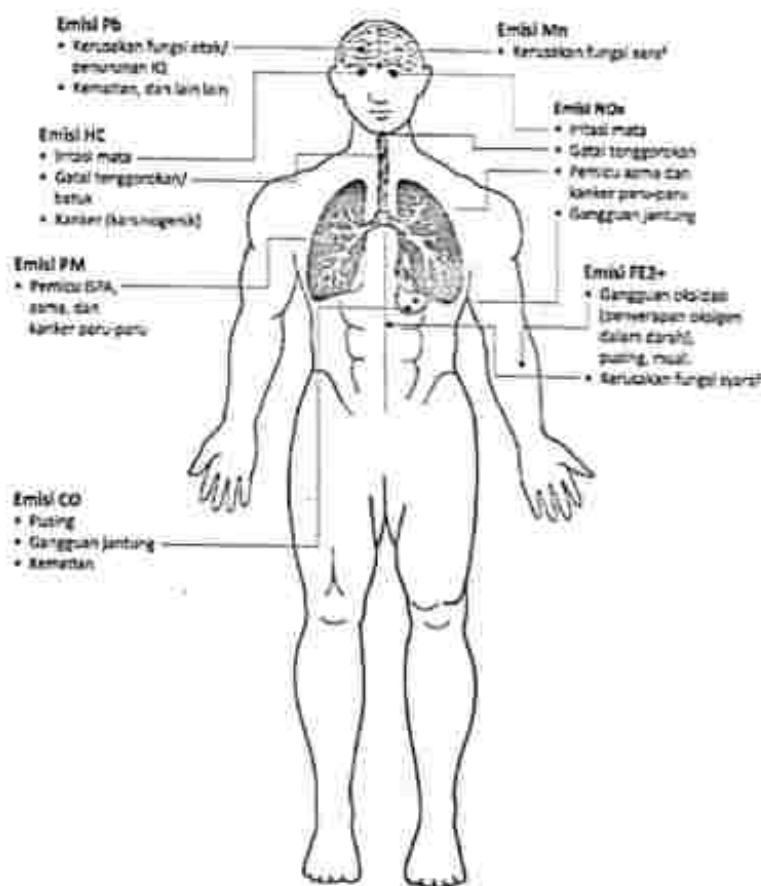
1. Sering dikemukakan bahwa bensin adalah salah satu pencemar lingkungan. Benarkah hal itu?

Bensin adalah senyawa hidrokarbon yang berisi hidrogen dan atom karbon. Pada mesin yang "beres", oksigen mengubah semua hidrogen dalam bahan bakar menjadi air dan mengubah semua karbon menjadi karbon dioksida. Kenyataannya, proses pembakaran ini tidak selamanya berlangsung sempurna. Akibatnya, mesin mobil mengeluarkan beberapa jenis polutan berbahaya, seperti hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), oksida belerang (SO_x), partikel debu halus (PM₁₀), dan yang paling berbahaya adalah timbel (Pb).

Senyawa HC dilepaskan udara karena molekul ini tidak terbakar sepenuhnya. Jika bercampur atau bersentuhan dengan oksida nitrogen dan matahari, hidrokarbon berubah bentuk menjadi asap yang memedihkan mata, mengganggu tenggorok, dan saluran pernapasan.

Karbon monoksida juga produk dari pembakaran yang tidak sempurna. Jika terhirup manusia, gas ini sangat memengaruhi distribusi oksigen darah dalam jantung. Gas CO mudah sekali menyatu dengan Hb darah, meskipun dalam kadar yang rendah. Ini terjadi karena zat besi (Fe) dalam Hb memicu daya tarik CO menjadi 200 kali lebih besar daripada daya tarik O₂. Peningkatan CO dalam Hb (di dalam darah) hanya sampai 9%. Dalam waktu 1–2 menit bisa menimbulkan kekurangan oksigen di jantung serta terhalangnya penambahan oksigen di pembuluh darah koroner.

Pada tahun 1994, Bank Dunia melaporkan telah terjadi 1.200 kasus kematian prematur dan 32 juta kasus penyakit pernapasan di Jakarta (Kompas, 30 April 2007). Data Tim Studi RETA, *Multi-sector Action Plan Group on Vehicular Emission Reduction for the Greater Jakarta* (2002), menyatakan bahwa beban sosial akibat pencemaran udara di DKI Jakarta mencapai Rp1,8 triliun. Direktur Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (WALHI) memperkirakan beban biaya pengobatan warga sebagai dampak polusi akan naik menjadi Rp4,3 triliun pada tahun 2015 (Kompas, 4 Januari 2007). Di Surabaya, biaya penanggulangan penyakit akibat



Gambar 2. Dampak emisi bahan bakar terhadap kesehatan manusia

polusi udara pada tahun 2005 mencapai Rp1 triliun per tahun. Estimasi lain dikemukakan oleh Direktur Lingkungan Hidup Bappenas bahwa kondisi perkotaan yang kerap kali macet dan kecepatan kendaraan hanya sekitar 40 km/jam menyebabkan dampak kerugian bisa membengkak menjadi Rp2,5 triliun per tahun (Kompas, 12 Desember 2006). Secara garis besar, dampak gas buang terhadap kesehatan dapat dilihat di gambar 2 dan Anda bisa membaca lebih rinci dalam buku *Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*, halaman 110–115.

2. Unsur yang paling berbahaya adalah timbel (Pb). Penelitian kedokteran menunjukkan, meski dalam dosis yang rendah, tetapi bila paparannya sangat tinggi, racun ini bisa mengakibatkan kerusakan di otak, ginjal, dan gangguan gastrointestinal. Mengapa bensin mengandung timbel?

Pada tahun 1921 di USA, timbel atau timah hitam dalam bentuk *tetra etil lead* (TEL) pertama kali ditemukan dan dicampurkan dalam bensin oleh Thomas Midgley di pusat riset General Motors. Timbel, dengan rumus kimia $(C_2H_5)_4Pb$, yang ditambahkan ke dalam bensin ternyata memiliki dua fungsi, yaitu sebagai bahan aditif untuk meningkatkan nilai oktan bahan bakar yang bermutu rendah. Gunanya untuk mengurangi letupan di dalam mesin atau menghilangkan proses *knocking* (*ngelitik*) pada saat proses pembakaran. Timbel juga memiliki kegunaan sebagai pelumas antara katup mesin dan dudukannya. Jadi, timbel bermanfaat mempertahankan umur mesin mobil. Timah hitam yang dicampurkan dalam bensin dapat membentuk bantalan empuk berwarna hitam, sehingga kedudukan katup mesin tidak cepat aus. Dampaknya, mesin menjadi awet dan tahan lama, tetapi berdampak negatif bagi kesehatan manusia.

3. *Yuk*, kita membahas lebih jauh dampak negatif timbel atau plumbum (Pb)!

Pb yang masuk ke dalam tubuh kita sebagian besar diimbun dalam tulang. Saat kita mengalami stres, Pb diremobilisasi dari tulang dan masuk ke peredaran darah sehingga menimbulkan risiko terjadinya peracunan.

Penimbunan Pb mempunyai dampak jangka panjang. Pengaruh Pb dimulai dari janin dalam kandungan sampai kepada orang tua. Hampir semua organ tubuh dipengaruhi timbel. Dampak itu tidak hanya bergantung pada kadar dan lamanya seseorang terkena racun Pb, melainkan juga pada umur seseorang. Makin muda umur seseorang, makin serius dampaknya. Janin dan balita sangat peka terhadap keracunan Pb.

Timbel yang ditimbun dalam tulang seorang perempuan dimobilisasi saat perempuan itu mengandung dan masuk ke dalam peredaran darah. Dari peredaran darah sang ibu, Pb masuk ke janin. Setelah lahir, balita mendapatkan asupan timbel terus-menerus dari udara melalui pernapasannya dan air susu ibu. Balita mempunyai kebiasaan memasukkan jari ke dalam mulutnya yang kemungkinan tercemar debu yang mengandung timbel. Kesehatan janin dan pertumbuhan balita terganggu, karena timbel menghambat sintesis sel darah merah. Anemia meningkatkan risiko kematian balita.

Anak-anak berisiko tinggi terhadap keracunan emisi bahan bakar. Makin muda umur seseorang, makin serius dampaknya



(Sumber: Lomba Foto CAP-Swiss Contact)

Pb juga menghambat perkembangan sistem saraf. Anak menghadapi risiko penyakit neurotik, sukar belajar, dan penurunan tingkat IQ. Peningkatan kadar timbel dalam darah dari 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ menjadi 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ menurunkan IQ rata-rata 2 *point*. Pada remaja, Pb meningkatkan tindakan kriminal. Pb dilaporkan pula memacu penyakit autisme.

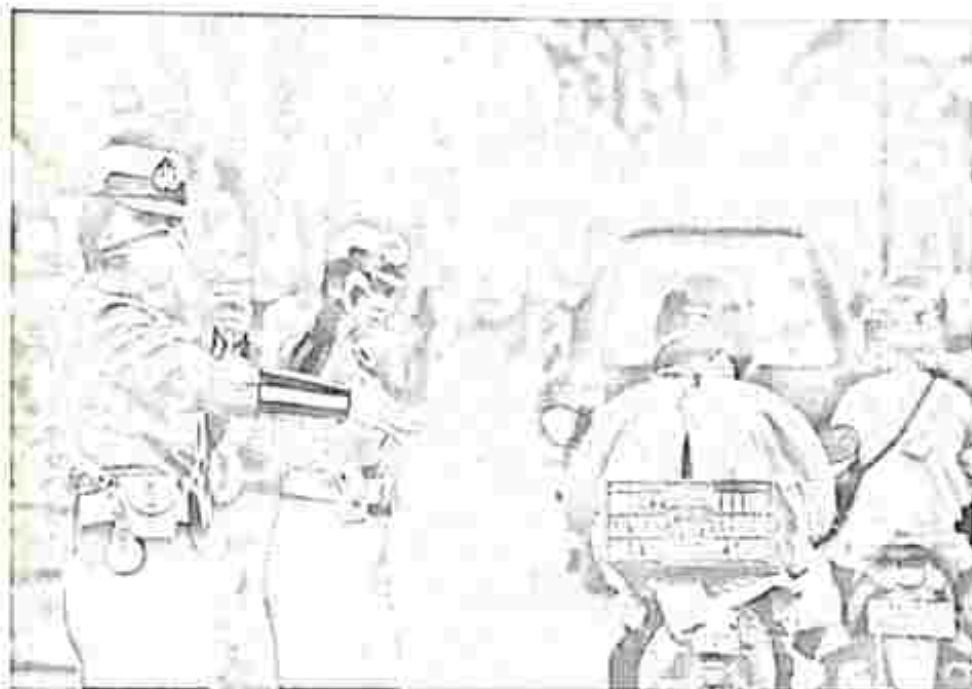
Pada perempuan dewasa, Pb mengganggu sistem reproduksi. Siklus menstruasi terganggu dan menjadi tidak teratur. Risiko keguguran kandungan meningkat. Pb juga menimbulkan risiko lahirnya bayi di bawah berat normal. Selanjutnya, pertumbuhan bayi terganggu, bahkan di bawah normal. Pada laki-laki, Pb mengganggu sistem reproduksinya. Jumlah sperma yang diproduksi berkurang. Kualitas sperma menurun dengan terbentuknya sperma cacat. Sperma cacat membawa risiko lahirnya bayi cacat. Pria yang darahnya tercemar Pb mengalami penurunan libido atau gairah seks dan dapat menyebabkan disfungsi ereksi (*erection dysfunction*). Pada lansia, Pb mempercepat proses penuaan dan memperpendek umur.

4. Kita melihat di tepi jalan, sejumlah polisi lalu lintas termasuk polwan menggunakan masker atau penutup hidung. Demikian pula sejumlah pengendara sepeda motor. Tepatkah tindakan ini?

Sebenarnya kurang tepat menangkal timbel dengan masker, karena PbBr_2 berbentuk molekul. Jadi, penutup hidung dari kain tidak banyak berguna untuk menahannya. Masker juga tidak mampu menangkal polutan, karena masker hanya efektif untuk partikel berukuran 10 mikron. Padahal, umumnya partikel polutan berukuran 2,5 mikron.

Sekitar 70% timbel yang terkandung dalam bensin diemisikan melalui knalpot. Tatkala timbel telah berada di udara, konsentrasi 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berdampak terhadap peningkatan kadar timbel dalam darah antara 2,5–5,3 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (ambang batas menurut WHO adalah sebesar 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$). Pengamatan pada tahun 2004 menunjukkan bahwa konsentrasi timbel di udara kota Bandung sebesar 2–3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan dampak 6,5% anak-anak

usia sekolah memiliki kadar timbel di dalam darah telah di atas $10 \mu\text{g}/\text{dl}$. Penelitian UNPAD menunjukkan bahwa di Bandung 46% polisi lalu lintas dan 30% sopir angkot memiliki kadar Pb dalam darah sebesar $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ darah, Yogyakarta $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Makassar $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dampak 90% anak-anak usia sekolah memiliki kadar timbel di dalam darah telah di atas $10 \mu\text{g}/\text{dl}$), dan Semarang $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal yang sama dilaporkan terjadi di kota Surabaya dan Surakarta.



Penggunaan masker.
Hanya efektif untuk menangkap partikel polutan hingga berukuran 10 mikron

Tidak hanya itu, timbel dalam udara mengendap di permukaan tanah, daun, dan lantai rumah. Penelitian menunjukkan bahwa sayuran yang ditanam di tepi jalan mengandung timbel. Organisasi Pangan Dunia (FAO) juga menyatakan bahwa makanan yang dijual di tepi jalan mengandung timbel hingga di atas ambang batas.

C. Upaya Mengatasi Polusi

1. Syukurlah bahwa upaya penghapusan bensin bertimbel melalui Program Langit Biru, yang dimulai sejak tahun 1992, secara bertahap direalisasikan. Apa saja yang telah dilakukan pemerintah?

- Kadar timbel diturunkan secara bertahap.
 - Sebelum tahun 1990 : 2,5 g/liter (Bensin Super 98).
 - Tahun 1990–1996 : 1,5 g/liter.
 - Tahun 1997–1998 : 1,0 g/liter.
 - Tahun 2000 : 0,5 g/liter.
- Penggunaan aditif *methyl tertiary butyl ether* (MTBE) untuk mengganti TEL. MTBE adalah senyawa organik beroksigen (oksigenat). Jika bahan ini ditambahkan dalam bensin akan meningkatkan pembakaran bensin karena mengandung oksigen tambahan. Dampak lanjutannya akan mengurangi emisi bahan bakar seperti karbon monoksida (CO). Kita dulu mengenal bensin premix yakni bensin ber-RON 88 yang ditambah 15% MTBE.

2. Saat itu MTBE direkomendasi karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan TEL. MTBE digunakan di Amerika Serikat, Eropa, sejumlah negara di Asia seperti Jepang, Korea Selatan, Taiwan, dan lain-lain. Mengapa kini MTBE tidak disarankan?

Penelitian lebih lanjut mendapatkan data bahwa MTBE merupakan zat yang tidak mengalami perombakan (*nondegradable*) dan bersifat sangat hidrophil (suka air) sehingga mencemari air tanah, danau, dan badan air lainnya. MTBE memberi rasa dan bau yang sangat tidak enak di air. MTBE juga dicurigai sebagai zat yang karsinogenik. Negara bagian California telah melarang penggunaan MTBE. Banyak negara mengikuti langkah California.

3. Apa tindakan selanjutnya dari pemerintah terkait "Program Langit Biru"?

Dalam upaya memperoleh bensin bebas timbel (*unleaded gasoline*), pemerintah menetapkan penggunaan *high octane motorgas component* (HOMC), yakni bahan baku pembuatan bensin (premium) yang memiliki oktan tinggi. Penggunaan bensin bebas timbel diberlakukan secara bertahap.

- Jabotabek (sejak 1 Juli 2001) dengan jumlah 26% dari kebutuhan bensin nasional.
- Cirebon (sejak 1 Oktober 2001) dengan total kebutuhan 2,1%.
- Bali (sejak 20 November 2002) dengan total permintaan 4,5%.
- Batam (sejak 28 Juni 2003) dengan jumlah permintaan 0,9%.

Dampak positif hal ini ditunjukkan dengan angka konsentrasi timbel di udara ambien di Jabotabek pada tahun 2000 (bensin masih bertimbel) adalah $3,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, turun drastis setelah 3 bulan dihapuskannya bensin bertimbel menjadi rata-rata $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada tahun 2001, sejumlah 35,4% anak-anak di Jakarta memiliki kadar timbel dalam darahnya melebihi ambang batas $10 \mu\text{g}/\text{dl}$. Pada tahun 2003, hasil penelitian UI menunjukkan bahwa di Jakarta lebih dari 30% anak sekolah masih memiliki kadar timbel melampaui ambang batas, meskipun bensin di Jakarta sudah bebas timbel. Rupanya kendaraan dari luar kota masih memberi sumbangan yang signifikan bagi pencemaran udara di Jakarta. Namun, angka persentase ini turun drastis menjadi 1,3% setelah 3 tahun bensin bertimbel dihapuskan.



(Sumber: Lomba Foto CAP-Swiss Contact)

Papan indeks standar pencemar udara (ISPU).

Tidak banyak masyarakat yang bisa membaca papan ISPU dan memahami artinya, sehingga dibutuhkan upaya sosialisasi yang berkesinambungan. Pada akhirnya, masyarakat dapat mengerti apa yang harus mereka lakukan berdasarkan informasi yang tertera di papan tersebut

4. Benarkah sejak tahun 2006, Pertamina menyuplai bensin bebas timbel untuk seluruh Indonesia? Ya. *Indonesian Fuel Quality Report 2006* melalui surveinya di 20 kota mengemukakan bahwa rata-rata Pb dalam bensin di tahun 2006 sebesar 0,038 g/l dengan rentang 0,001347–0,161 g/l. Padahal, survei serupa di tahun 2005 mendapatkan angka Pb sebesar 0,133 g/l. Artinya Pb telah turun -0,095 g/l atau -71%. *Bravo...*

Memang sejak Juli 2006, tujuh kilang Pertamina telah memproses HOMC untuk memperoleh bensin bebas timbel. Berdasarkan SK Menteri Pertambangan dan Energi No. 1585.k/32-MPE/1999, tanggal 13 Oktober 1999, maka pada 1 Januari 2003 Indonesia harus sudah tidak dipasok bensin bertimbel. Pada praktiknya, Indonesia bebas bensin bertimbel baru pada Juli 2006. Seperti kita ketahui, kualitas BBM sangat berpengaruh terhadap emisi yang dihasilkan. Semakin tinggi kualitas BBM, semakin kecil emisi berbahaya yang dikeluarkan dari proses pembakarannya. Namun, pastinya HOMC lebih mahal. Di masa lalu dalam upaya negara memperoleh devisa, Pertamina menjual *crude oil* berkualitas tinggi dan menukarnya dengan *crude oil* dari timur tengah (*middle east*) yang murah tetapi memiliki kadar belerang tinggi.

Deputi Direktur Pemasaran dan Niaga Pertamina menyatakan bahwa harga jual HOMC sebesar US\$90, sehingga penggantian timbel dengan HOMC membutuhkan biaya sekitar Rp1,5–Rp1,8 triliun/tahun. Dampaknya, keuntungan Pertamina turun sekitar US\$11 juta/bulan atau sekitar Rp99 milyar (Koran Tempo, 20 April 2007).

Standar bensin RON 88 yang diedarkan di Indonesia tercantum di tabel 3 dan untuk mengetahui baku mutu bensin di sejumlah negara Asia dapat dilihat di tabel 4.

Tabel 3. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin 88

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan				Metode Uji	
			Tanpa Timbel		Bertimbel		ASTM	Lain
			Min	Maks	Min	Maks		
1.	Bilangan oktana							
	Angka Oktana Riset (RON)	RON	88,0	-	88,0	-	D2609-86	
	Angka Oktana Motor (RON)		dilaporkan		dilaporkan		D2700-86	
2.	Stabilitas oksida (Periode Induksi)	Menit	360	-	360	-	D525-99	
3.	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	-	0,05 ¹⁾	D2622-96	
4.	Kandungan timbel (Pb)	g/l	-	0,013	-	0,3	D3237-97	
5.	Distilasi							
	10% vd. penguapan	°C	-	74	-	74		
	50% vd. penguapan	°C	86	125	88	125		
	90% vd. penguapan	°C		180		180		
	Tdk didih air	°C	-	215	-	205		
	Residu	% vol	-	2,0	-	2,0		
6.	Kandungan oksigen	% m/m	-	2,7 ²⁾	-	2,7 ²⁾	D4815-94a	
7.	Washed gum	mg/100 ml	-	5	-	5	D381-99	
8.	Tekanan uap	kPa	-	62	-	62	D5191-99 atau D323	
9.	Berat jenis (pada suhu 15 °C)	Kg/m ³	715	780	715	780	D4052-96 atau D1298	
10.	Korosi bilah tembaga	Menit	Kelas 1		Kelas 1		D130-94	
11.	Doctor test		Negatif		Negatif		IP30	
12.	Sulfur mercaptan	% massa	-	0,002	-	0,002	D3227	
13.	Penampilan visual		Jernih dan terang		Jernih dan terang			
14.	Warna		Merah		Merah			
15.	Kandungan pewarna	g/100 l	0,13		0,13			
16.	Bau		Dapat dipasarkan		Dapat dipasarkan			

Keterangan:

¹⁾ Batasan 0,005% m/m setara dengan 500 ppm.

²⁾ Bila digunakan oksigenat, jenis ether lebih disukai. Penggunaan etanol diperbolehkan sampai dengan maksimum 10% volume (sesuai ASTM). Alkohol berkarbon lebih tinggi (C>2) dibatasi maksimal 0,1% volume. Penggunaan metanol tidak diperbolehkan.

Catatan Umum

- Aditif harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kekotoran mesin/kerak).
Aditif yang mengandung komponen pembentuk abu (*ash forming*) tidak diperbolehkan.
- Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dan lain-lain).

Tabel 4. Baku mutu bensin di sejumlah negara Asia

NEGARA	Timbel	Belerang (ppm)	Benzena % v/v maks	Bautn (%)	Olefin (%)	Oksigen % m/m maks	RVP selama Musim Panas kPa, Maks
Mengacu kepada standar Kewajiban Euro 3 berlaku tahun 2000	0	150	1,0	42	10	2,7	60
Mengacu kepada standar Kewajiban Euro 4 berlaku tahun 2005	0	50	1,0	35	10	2,7	60
Bangkaresh	0	1.000	-	-	-	-	0,7 kg/m ³
Kambesa	0,15 g/l	-	3,5	-	-	-	-
Hongkong, Cina	0	150	1	42	10	2,7	60
India	0	1.000	5*	-	-	2,7	35-60
Indonesia	0,30 g/l	2.000	-	-	-	2,0 (promix)	62
Jepang	0	100	1	-	-	-	78
Malaysia	0	1.500	5	40	10	-	70
Filipina	0	-	2	35	-	-	-
PRC	0	1.000	2,5	40	35	-	74
Singapura	0	-	-	-	-	-	-
Sri Lanka	0	1.000	4	45	-	2,7	35-60
Cina Taipei	0	180	1	-	-	2,0	8,9 psi
Thailand	0	500	3%	35	-	1-2%	-
Vietnam	0	5.000-10.000	5	-	-	-	-

Keterangan:

* Kadar sulfur di Delhi, Mumbai, Kolkata, dan Chennai adalah 500 ppm.

** Kadar benzena – 3% di kota besar dan 1% di daerah ibu kota negara.

RVP = Reid vapor pressure (kadar baku tekanan udara gas cair absolut pada suhu 37,8° C atau 100° F dalam satuan kilopascal).

5. Selesaikan masalah polusi udara, khususnya di DKI Jakarta atau Jabotabek sebagai wilayah dengan pengguna BBM terbesar di Indonesia?

Tampaknya belum, karena Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) tahun 2006 menempatkan udara Jakarta terburuk ketiga di dunia setelah Meksiko City dan Bangkok (Kompas, 16 Januari 2007 dan Indo Pos, 8 April 2007). Lebih lanjut, Harian Kompas (23 Januari 2007) merinci sepanjang tahun 2006 kualitas udara di DKI Jakarta memburuk dibandingkan dengan tahun 2004 dan 2005. Jumlah hari dengan kualitas udara terburuk sepanjang tahun 2006 adalah 51 hari. Padahal, pada tahun 2004 dan 2005 jumlah

hari tidak sehat di bawah 50 hari. Indo Pos (8 April 2007) memaparkan data bahwa pencatatan kualitas udara Jakarta pada tahun 2006 menunjukkan jumlah hari dengan kategori baik sebanyak 45 hari atau 12%, kategori sedang 266 hari atau 73%, sedangkan kategori tak sehat 51 hari atau 14%. Artinya, masyarakat Jakarta hanya menikmati udara bersih sekitar satu setengah bulan dalam satu tahun. Mengapa?

Uji petik yang dilakukan Badan Pengendalian Lingkungan Hidup DKI Jakarta pada September 2006 mendapatkan bahwa dari 86 kendaraan berbahan bakar bensin terdapat 10 kendaraan tidak lulus, sedangkan dari 14 kendaraan berbahan bakar solar terdapat 13 kendaraan yang tidak lulus. Ini menunjukkan kendaraan berbahan bakar solar masih sangat berpotensi mencemari udara Jakarta. Padahal, uji petik ini dilakukan pada kendaraan pribadi. Bagaimana dengan emisi bus-bus besar?

(Sumber: Lomba Foto CAP-Swiss Contact)



Asap ngebul dari corong knalpot bus. Pemandangan lazim yang sering dijumpai di kota-kota besar. Ada apa dengan sistem pengawasan emisi bus-bus yang sebenarnya sudah tidak layak beroperasi ini?

Data di atas diperkuat lagi oleh *Indonesian Fuel Quality Report 2006* yang melaporkan ternyata kadar belerang dalam minyak solar yang dipasok ke Jakarta pada tahun 2006 naik dibandingkan dengan tahun 2005. Pada tahun 2006, kadar belerang sebesar 2.700 ppm. Padahal, pada tahun 2005 hanya sebesar 1.000 ppm. Seperti diketahui, belerang berpengaruh signifikan dan nyata terhadap keberadaan emisi partikulat (PM) yang apabila masuk ke dalam sistem pernapasan dapat menyebabkan bronkitis, asma, gangguan kardiovaskular, dan potensi kanker.

Kadar belerang standar Euro-2 adalah 500 ppm dan berdasarkan SK Menteri LH No 141 tahun 2003 menegaskan bahwa pada 2005 Indonesia sudah masuk ke standar Euro-2. Namun, tampaknya SK Menteri tersebut "hanya mimpi" karena Direktorat Jenderal Migas, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral RI, memberlakukan aturan kadar sulfur dalam minyak solar maksimal 3.500 ppm sejak 17 Maret 2007 (Kompas, 17 Maret, 2007). Malah, ambang yang relatif tinggi ini masih juga ditawarkan (istilah kerennya "relaksasi") oleh Pertamina untuk diberlakukan mulai Juli 2007, khususnya karena keberadaan solar impor yang berkadar sulfur lebih dari 5.000 ppm (The Jakarta Post, 27 Maret 2007).

Mari kita lihat baku mutu kadar sulfur minyak solar di sejumlah negara (tabel 5) yang menunjukkan bahwa Indonesia masih "tertinggal" dibandingkan dengan Jepang, Singapura, Malaysia, Hongkong, India, Philipina, dan negara lainnya. Pernyataan ini diperkuat dengan tabel 6 yang menyajikan penerapan standar Euro-2 di sejumlah negara di Asia.

Tabel 5. Ambang batas kadar sulfur di beberapa negara

Negara	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Bangladesh							5000									
Kamboja					2000											
Hongkong, Cina		500					50									
India	5000				2500					500					350	
Indonesia	5000															
Jepang	500				100					50		10*				
Malaysia	5000		3000				500**									
Pakistan	10000						5000									
Filipina	5000					2000			500							
PRC	5000		2000													
Korea	500															
Singapura	3000		500													
Sri Lanka	10000							3000								
Cina, Taipei	3000			500			350					50				
Thailand	2500			500					350							
Vietnam	10000							2000		500						
Uni Eropa					350					50				10		
USA	500														15	

Keterangan:

> 500 ppm
 51—500
 < 50 ppm

* sedang dipertimbangkan

** diperdagangkan

Tabel 6. Penerapan standar Euro-2 di sejumlah negara di Asia

Negara		95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
EU		Euro-1		Euro-2			Euro-3					Euro-4		Euro-5				
Bangladesh											Euro-2 (dalam pembahasan)							
Kamboja		Tidak ada standar emisi khusus untuk kendaraan baru																
Hongkong		Euro-1		Euro-2			Euro-3											
India (Delhi & Kota-kota lain*)							Euro-1		Euro-2			Euro-3						
India (Sisuruh negara)												Euro-2				E3		
Malaysia			Euro-1		Euro-2													
Indonesia												Euro-2						
Nepal							Euro-1											
Filipina										Euro-1								
PR Cina							Euro-1			Euro-2								
Singapura		Euro-1						Euro-2										
Sri Lanka												Euro-1						
Sri Lanka																		
Cina-Taipei						US Tier-1												
Thailand **		Euro-1					Euro-2			Euro-3				Euro-4				
Vietnam	gasoline				Euro 1							Euro 4 (dalam pertimbangan)						
	diesel											Euro 1		Euro 2		E3	E4	

Sebenarnya, bukan hanya tingginya kadar belerang dalam solar yang menjadi penyebab kualitas udara buruk di Jakarta. Lebih dari itu, terdapat beberapa bahan berbahaya lain dalam bensin dan solar yang bersifat karsinogenik (pemicu penyakit kanker, seperti kanker paru-paru dan kanker darah atau leukemia), misalnya benzena dan poli aromatik hidrokarbon yang belum dibatasi dalam ketentuan di Indonesia

6. Solar masih memendam masalah polusi, karena solar impor berkadar sulfur tinggi. Selesaikah masalah pencemaran udara sebagai dampak BBM khususnya bensin?

Setelah penduduk Indonesia mulai bisa bernapas lega ketika pemerintah, pada 1 Juli 2006 lalu, menghapus penggunaan Pb atau timbel (timah hitam), kini kita kembali terancam. Pasalnya, alasan efisiensi penggunaan HOMO membuat Deputi II Menteri Negara Lingkungan Hidup RI pada tanggal 20 November 2006 mengeluarkan surat yang membolehkan penggunaan aditif berbasis ferro kepada Pertamina untuk meningkatkan oktan bensin. Apakah yang akan terjadi?

Jika ferro jadi diintroduksi, emisi gas oksida besi bila terhirup manusia akan menimbulkan gangguan penyerapan oksigen dalam darah, ditandai dengan gejala pusing dan mual. Kerusakan saraf terjadi bila unsur ferum (Fe) masuk dalam jumlah tinggi. Michael P. Walsh dari International Council on Clean Transportation dalam *Ikawati* (2007) melaporkan inhalasi oksida besi pada tikus percobaan menyebabkan berkurangnya bobot tubuh. Selanjutnya terjadi degradasi sel di organ pernapasan, mulai dari hidung hingga paru dan hati. Dampak lebih lanjut terjadi mutasi gen hingga menimbulkan kanker.

7. Bagaimana dampak ferosen bagi mesin kendaraan?

Ahmad Syafrudin, Koordinator Komite Penghapusan Bensin Bertimbel, mengemukakan bahwa unsur besi menimbulkan korosi lebih cepat pada busi. Sementara, di ruang pembakaran akan lebih cepat timbul deposit atau kerak. Hal ini mengakibatkan pembakaran tidak berlangsung sempurna. Artinya, emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) meningkat.

Bukan itu saja, pemakaian bensin dengan *octane booster* berbahan metal, seperti Pb, Fe, dan Mn (mangan) mengganggu proses oksidasi katalik konverter sebagai pereduksi gas buang. Padahal, katalis ini dapat mereduksi emisi HC, CO, dan nitrogen oksida (NOx) hingga 90%. Lebih

lanjut akan terjadi kerusakan keseluruhan sistem kendaraan bermotor dengan konsekuensi biaya perbaikan dan penggantian yang mahal.

8. Apakah yang harus kita lakukan agar Program Langit Biru dapat tercapai dan kendaraan bisa awet?

Pada saat peresmian Kilang Langit Biru Balongan, tanggal 28 Agustus 2005, Presiden Susilo Bambang Yudoyono mengingatkan ".....sudah saatnya Indonesia menggunakan *octane booster* yang berasal dari bahan nabati....." Mengapa SBY menyarankan hal ini, nanti kita diskusikan lebih lanjut.

DUA

SEKILAS ALKOHOL

A. Alkohol, Senyawa Kimia Tertua

Salah satu fungsi alkohol adalah sebagai *octane booster*, artinya alkohol mampu menaikkan nilai oktan dengan dampak positif terhadap efisiensi bahan bakar dan menyelamatkan mesin. Fungsi lain ialah *oxigenating agent*, yakni mengandung oksigen sehingga menyempurnakan pembakaran bahan bakar dengan efek positif meminimalkan pencemaran udara. Bahkan, alkohol berfungsi sebagai *fuel extender*, yaitu menghemat bahan bakar fosil. Seperti kita ketahui, Presiden Susilo Bambang Yudoyono dalam pidato pada tanggal 27 September 2005 mengingatkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk 18 tahun mendatang.

1. Apa *sih* alkohol?

Alkohol berasal dari bahasa arab yakni *al-kuhl (al kohil)*, artinya senyawa yang mudah menguap. Bahan kimia organik ini adalah salah satu senyawa kimia tertua yang telah dikenal umat manusia. Alkohol berupa larutan jernih tak berwarna, beraroma khas yang dapat diterima, berfasa cair pada temperatur kamar, dan mudah terbakar.

Siapa *sih* yang tidak akrab dengan alkohol, karena ia terdapat di rokok kretek, obat batuk cair, *effervescent*, ekstrak herbal (tumbuh-tumbuhan), parfum, kosmetika, desinfektan, larutan sterilisasi, penolak nyamuk, tinta cetak, spiritus bakar, minuman keras, makanan tradisional (*gin*, bir, wine, tuak, *legen*, *badek*, *saguer*, *sopi*, *moke*, *ciu*, cap tikus, *balo*, *anding*, air kata-kata, air anggur, *sake*, tape, brem, dan lain-lain), dan juga bahan bakar kendaraan Anda.

Alkohol adalah senyawa hidrokarbon berupa gugus hydroxyl (-OH) dengan 2 atom karbon (C). Spesies alkohol yang banyak digunakan adalah $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ yang disebut metil alkohol (metanol), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ yang diberi nama etil alkohol (etanol), dan $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ yang disebut iso propil alkohol (IPA) atau propanol-2. Dalam dunia perdagangan yang disebut alkohol adalah etanol atau etil alkohol atau metil karbinol dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

2. Seperti telah kita bahas di atas, ada 2 jenis etanol, mohon dijelaskan!

Etanol sintesis, sering disebut metanol atau metil alkohol atau alkohol kayu, terbuat dari etilen, salah satu derivat minyak bumi atau batu bara. Bahan ini diperoleh dari proses sintesa kimia yang disebut hidrasi, sedangkan bioetanol direkayasa dari biomassa (tanaman) melalui proses biologi (enzimatik dan fermentasi). Bahan baku bioetanol sebagai berikut.

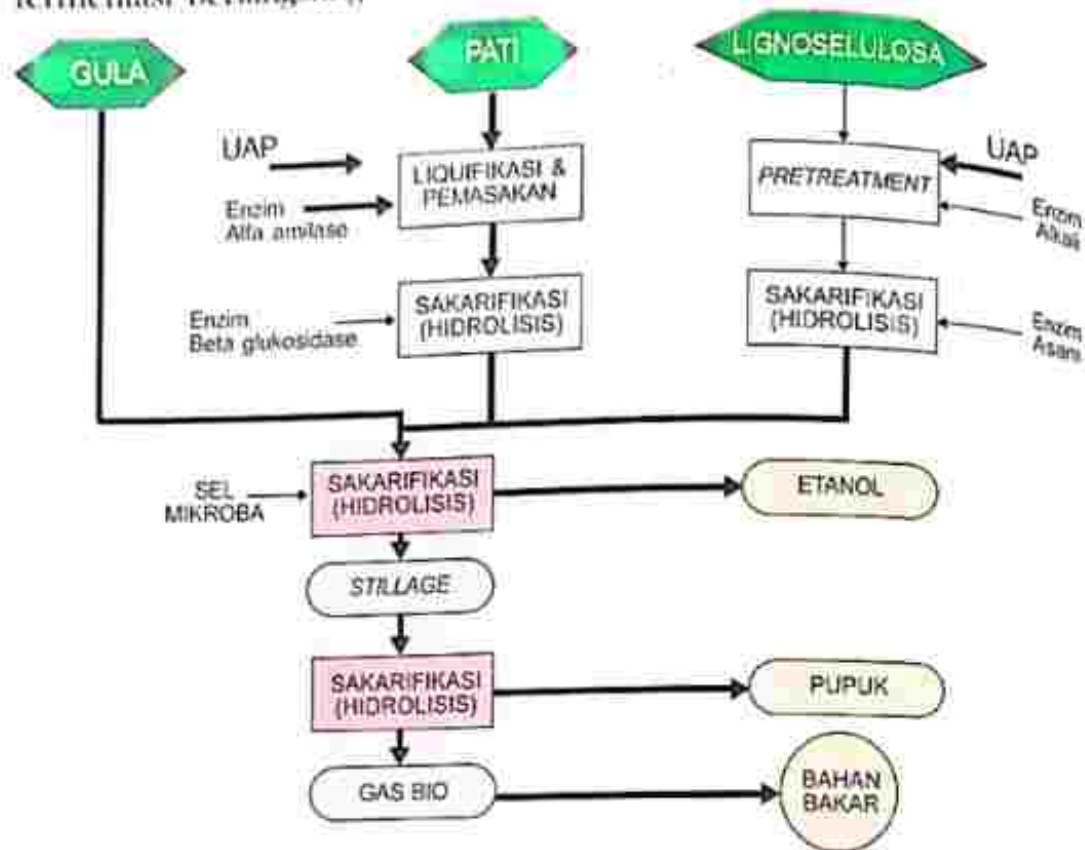
- Bahan berpati, berupa singkong atau ubi kayu, ubi jalar, tepung sagu, biji jagung, biji sorgum, gandum, kentang, ganyong, garut, umbi dahlia, dan lain-lain.
- Bahan bergula, berupa *molasses* (tetes tebu), nira tebu, nira kelapa, nira batang sorgum manis, nira aren (enau), nira nipah, gewang, nira lontar, dan lain-lain.
- Bahan berselulosa, berupa limbah *logging*, limbah pertanian seperti jerami padi, ampas tebu, *janggal* (tongkol) jagung, onggok (limbah tapioka), batang pisang, serbuk gergaji (*grajen*), dan lain-lain.



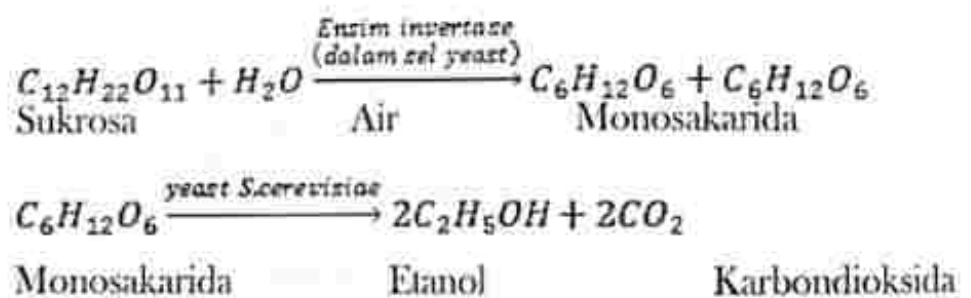
Bahan baku bioetanol.

1. Aren
2. Ubi kayu
3. Jagung
4. Nipah
5. Tebu
6. Sagu
7. Sorgum

Persentase bahan baku industri etanol dunia yaitu 95% dari fermentasi dan hanya 5% berasal dari sintesis. Diagram alir pembuatan bioetanol terdapat di gambar 3, sedangkan gambar 4 menyajikan proses kimia saat fermentasi berlangsung.



Gambar 3. Diagram alir proses pembuatan bioetanol dari bahan baku gula, pati, dan ligno-selulosa



Gambar 4. Diagram proses fermentasi sukrosa oleh ragi (yeast) *S.cerevisiae*

Catatan:

Karbon dioksida yang terjadi melalui proses kompresi dan purifikasi bisa menjadi produk pendamping (*co-product*), yakni *liquid CO₂* atau *dry ice*.

3. Manakah bahan baku yang lebih efisien untuk dibuat etanol? Efisiensi bahan baku ditunjukkan di tabel 7, yakni konversi biomassa menjadi bioetanol.

Tabel 7. Konversi biomassa menjadi bioetanol

Biomasa	Berat (Kg)	Kandungan Gula/Pati (Kg)	Jumlah Bioetanol (L)	Hasil Biomassa : Bioetanol
Ubi kayu	1.000	240—300	166,6	6,5 : 1
Ubi Jalar	1.000	150—200	125	8 : 1
Jagung	1.000	600—700	400	2,5 : 1
Sagu	1.000	120—160	90	12 : 1
Tetes	1.000	450—520	250	4 : 1
Tebu	1.000	110	67	15 : 1

Sumber: Wahono, 2006 (diolah kembali)

Tabel 7 menunjukkan bahan baku yang memiliki efisiensi tertinggi adalah jagung, disusul tetes tebu, dan ubi kayu, sedangkan tebu memiliki efisiensi paling rendah. Tampaknya simpulan data di atas menunjang kebijakan USA (Juli 2006) yang memilih jagung sebagai bahan baku produksi etanol, bukan tetes tebu atau gula (Kompas, 8 September 2006). Namun biaya pengolahan etanol dari jagung atau bahan berpati relatif mahal, karena membutuhkan proses dan peralatan tambahan sebelum proses fermentasi (gambar 3).

Jagung.
Merupakan bahan
baku utama
pembuatan bioetanol
di USA



4. Mari kita membahas lebih lanjut telaah produktivitas sejumlah tanaman penghasil etanol!
Yuk, kita lihat tabel 8!

Tabel 8. Potensi beberapa tanaman sebagai bahan baku etanol

Jenis Tanaman	Hasil Panen (Ton/Ha/Tahun)	Etanol (L/Ha/Tahun)
Jagung	1—6	400—2.500
Ubi kayu	10—50	2.000—7.000
Tebu	40—120	3.000—5.500
Ubi jalar	10—40	1.200—5.000
Sorgum	3—12	1.500—5.000
Sweet sorgum	20—60	2.000—6.000
Kentang	10—35	1.000—4.500
Beet	20—100	3.000—8.000

Sumber: Anonymous, 1981

Tabel 8 menunjukkan tebu sebagai tanaman penghasil etanol dengan produktivitas tertinggi dan disusul ubi kayu, karena *beet* tidak dapat berproduksi optimal di Indonesia. Namun, sebenarnya Indonesia memiliki komoditas yang sangat tinggi produktivitasnya sebagai bahan baku etanol, yakni nira dari pohon aren (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr atau *Arenga saccharifera* Labill). BPPT melaporkan produktivitas etanol dari pohon aren dapat mencapai 40.000 l/ha/tahun. Nilai tersebut adalah tertinggi, karena ubi kayu dan jagung hanya memiliki produktivitas masing-masing 2.000—7.000 l/ha/tahun dan 400—2.500 l/ha/tahun (tabel 8), atau 4.500—15.000 l/ha/tahun dan 5.000—6.000 l/ha/tahun (Tjahjono dan M. Ariel, 2007). Demikian pula saat ini, kita hanya tinggal memanen atau menyadap (menderes) tanpa harus bersusah payah menanamnya. Sampai jumpa di buku yang akan datang, penulis akan membahas tentang aren dan segala aspeknya.



Proses distilasi nira aren secara tradisional.

1. Pohon aren dengan bunga jantan,
2. Hasil penyadapan berupa nira aren ditampung dalam jeriken beberapa hari untuk fermentasi,
3. Nira aren dipanaskan,
4. Hasil penyulingan dialirkan melalui bambu untuk pendinginan,
5. Hasil penyulingan (etanol) ditampung dalam jeriken

5. Kita lanjutkan diskusi kita. Dengan pertimbangan di antaranya faktor ketersediaan, tetes tebu dipilih sebagai bahan baku pabrik etanol di Indonesia. Sebutkan pabrik etanol yang dimiliki Indonesia!

Tabel 9. Pabrik etanol di Indonesia, kapasitas, dan lokasi pada tahun 2006

Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi	Lokasi
Molindo Raya Industrial (MRI)	50 juta l/th	Lawang, Jatim
PTPN XI	7 juta l/th	Jatiroto, Jatim
Aneka Kimia Raya ^{*)}	17 juta l/th	Mojokerto, Jatim
Indo Acidatama	45 juta l/th	Solo, Jateng
Madu Baru	7 juta l/th	Yogyakarta, DIY
PSA Palimanan	7 juta l/th	Cirebon, Jabar
Japura Sarana Jaya	3,6 juta l/th	Cirebon, Jabar
Indo Lampung Distillery (ILD)	50 juta l/th	Lampung
Permata Sakti	5 juta l/th	Medan, Sumut
Molasindo	3,6 juta l/th	Medan, Sumut
Basis Indah	5 juta l/th	Makasar, Sulsel

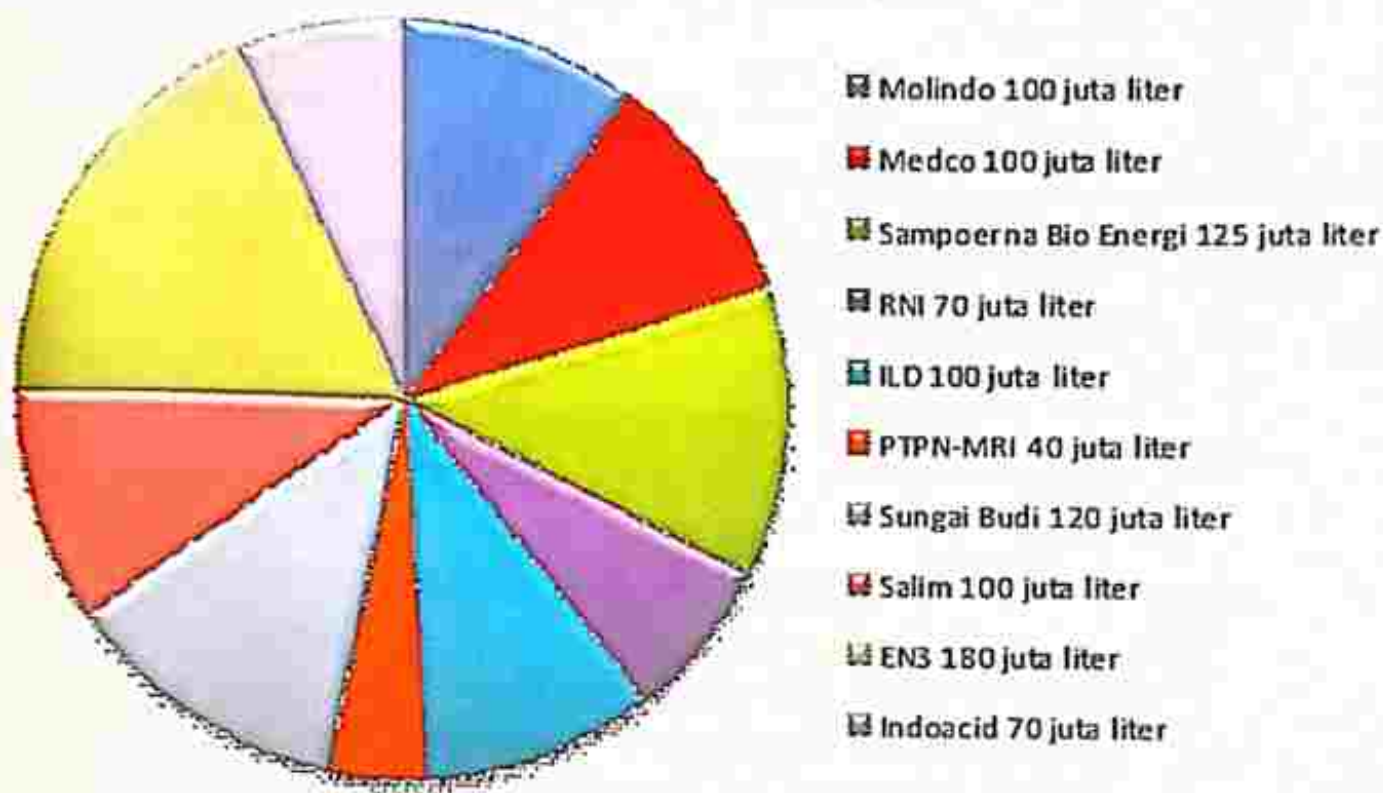
^{*)} Tidak beroperasi

Sumber: Murdiyatmo, 2006 (diolah kembali)

Catatan:

- Tetes tebu (*molasses*) adalah produk pendamping (*co-product*) dari pabrik gula.
- PTPN XI dan Sampoerna Bioenergi akan membangun pabrik bioetanol kapasitas 50–60 juta liter di Pacitan (Bisnis Indonesia, 19 Juli 2006). Namun, pada Juli 2007 direvisi menjadi 125 juta liter/tahun.
- ILD akan meningkatkan kapasitas produksi menjadi 70 juta liter/tahun (Media Indonesia, 28 Februari 2007).
- RNI akan membangun pabrik bioetanol di Pasuruan, Jatim, dengan kapasitas 40.000 kiloliter (Kompas, 14 Februari 2007).
- RNI akan membangun pabrik bioetanol di Indramayu, Jawa Barat, berkapasitas tiga juta liter per tahun bekerja sama dengan Bronzeoak, Inggris (Bisnis Indonesia, 13 September 2006).
- PT Medco Energi International Tbk bekerja sama dengan PT Trada Bioenergy Indonesia sedang membangun pabrik bioetanol di Kotabumi, Lampung Utara, dengan kapasitas 60 juta liter/tahun (Kompas, 13 April 2007) dan juga di Pameungpeuk, Garut, bekerja sama dengan PTPN VIII dan ICMi (Agrina No. 55, Juni 2007).
- Perusahaan asal Korsel, LBL, Network Ltd berencana membangun pabrik bioetanol di Sumedang (Agrina No. 55, Juni 2007).

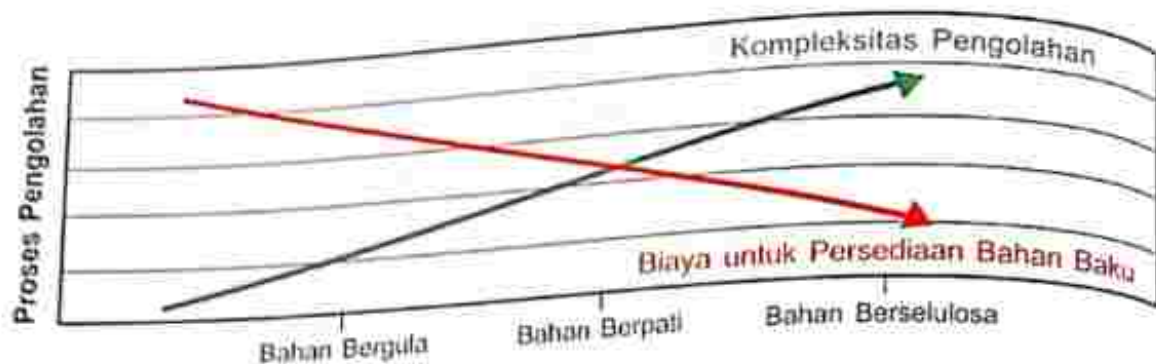
Secara rinci, direncanakan pengembangan kapasitas pabrik etanol sampai tahun 2010 sebesar 940 juta liter/tahun seperti ditunjukkan di gambar 5.



Gambar 5. Rencana pengembangan kapasitas pabrik etanol di Indonesia hingga tahun 2010

6. Mengapa tetes tebu dipilih sebagai bahan baku etanol di Indonesia?

Di samping saat ini ketersediaannya relatif cukup, tetes tebu dipilih karena teknologi pembuatan alkohol dari bahan baku ini relatif mudah, seperti ditunjukkan di gambar 6.



Sumber: Winarno, 2006

Gambar 6. Diagram perbandingan proses pengolahan etanol dengan harga bahan bakunya

Tampak di diagram gambar 6, proses pengolahan bahan mengandung gula relatif lebih mudah dibanding bahan berpati dan berselulosa, tetapi sebenarnya harga bahan bakunya relatif mahal. *Road Map Bioetanol Indonesia* yang tercantum di lampiran 1, menyatakan Indonesia merencanakan memperoleh etanol dari bahan tetes tebu dan pati pada tahun 2006–2010; dari bahan pati, nira, dan tetes tebu pada tahun 2011–2015; serta dari lignoselulosa, nira, dan pati pada tahun 2016–2025.

7. Berapakah biaya produksi etanol?

Tabel 10 menunjukkan harga produksi etanol di sejumlah negara dengan berbagai bahan baku. Jika dibandingkan dengan negara-negara tersebut, rata-rata biaya produksi di Indonesia masih lebih tinggi daripada Brasil dan Thailand.

Tabel 10. Biaya produksi etanol di sejumlah negara dengan berbagai bahan baku

Negara	Bahan Baku	Biaya Produksi (Sen \$/l)
Brasil	Tebu (tetes + nira)	15,0
Thailand	Singkong	23,9
Thailand	Tetes	17,9
Thailand	Nira Tebu	25,1
Cina	Nira + Tetes	24,9
Cina	Singkong	37,4
Cina	Jagung	44,2
USA	Jagung	25,5
Eropa	Gandum	42,0
Eropa	Beet	45,0

Catatan: Biaya belum termasuk *overhead cost* dan penyusutan mesin.

Sumber: Murdiyatmo, 2006

8. Sesuai tabel 9, produksi etanol Indonesia adalah 183 juta liter per tahun. Bagaimana produksi etanol dunia?

Produksi etanol dunia pada tahun 2005 sebesar 12,150 juta galon meningkat dibandingkan dengan tahun 2004, seperti ditunjukkan di tabel 11. Negara produsen utama adalah Brasil dengan bahan baku tetes dan nira tebu dari lahan seluas 5,5 juta ha (musim tanam 2004/2005) yang akan ditingkatkan menjadi 10 juta hektar pada tahun 2007. Brasil mulai mengelola etanol saat krisis minyak bumi pada tahun 1975 dengan program ambisius yang disebut *Pro-Alcohol*.

Pada tahun 2004, produsen etanol kedua terbesar di dunia ditempati USA dengan bahan baku jagung sejumlah 94% serta sisanya dari bahan baku gandum dan lain-lain. Pada tahun 2005, USA adalah produsen ke-1 di dunia setelah USA melaksanakan *energy policy act* yang bertujuan mengurangi devisa BBM impor dan meningkatkan pendapatan petani jagung. Menurut Asosiasi Bahan Bakar Terbarukan USA, pada akhir tahun 2006 produksi etanol USA mencapai 4.900 juta galon dan pada tahun 2007 jumlah pabrik etanol menjadi 110 unit dengan kapasitas produksi sebesar 5.493,4 juta galon.

Produsen ketiga adalah Cina, dengan bahan *multifeed*, seperti gandum, jagung, gaplek, tebu, dan sorgum manis. Cina memiliki pabrik etanol terbesar di dunia, yakni Jilin Ethanol Plant berkapasitas 1,25 juta liter/hari yang dibangun pada tahun 2003. Kebutuhan bioetanol tampaknya akan "meledak" di Cina. Kompas (3 April 2007) memberitakan bahwa Guangxi, daerah otonomi di barat daya Cina, merencanakan impor singkong potong (*cassava chips*) dari Wonogiri, Jawa Tengah, untuk pabrik bioetanol mereka. Targetnya pada tahun 2008 sebesar 1 juta ton singkong potong. Demikian pula pemerintah Provinsi Guangxi, akan membantu membuka lahan seluas 10.000 hektar di Jawa Barat untuk pengembangan singkong. Bahkan Menteri Perindustrian RI menawarkan lahan untuk budi daya singkong seluas 200.000 hektar di Merauke, Papua (Kompas, 15 Mei 2007).

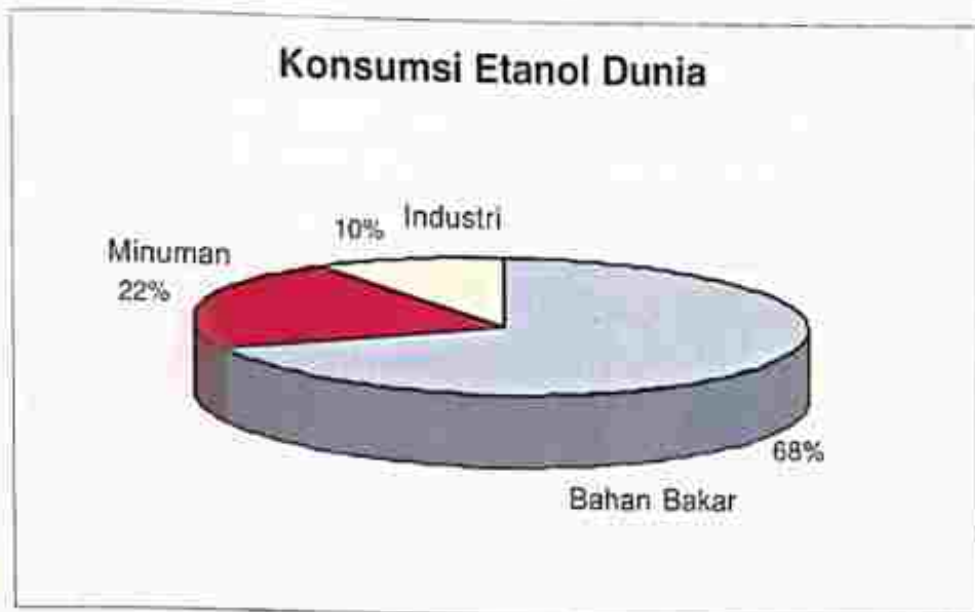
Sejumlah negara dipelopori oleh dua raksasa *biofuel*, USA dan Brasil, mengumumkan terbentuknya Forum *Biofuel* Internasional tanggal 3 Maret 2007 beranggotakan Cina, Uni Eropa, India, dan Afrika Selatan (Indo Pos, 4 Maret 2007). Bagaimana dengan Indonesia?

Tabel 11. Produksi etanol dunia tahun 2004 dan 2005 (juta galon/tahun)

No.	Negara	2004	2005	No.	Negara	2004	2005
1.	Brasil	3.989	4.227	18.	Itali	40	40
2.	USA	3.535	4.264	19.	Australia	33	33
3.	Cina	964	1.004	20.	Jepang	31	30
4.	India	462	449	21.	Pakistan	26	24
5.	Perancis	219	240	22.	Swedia	26	29
6.	Rusia	198	198	23.	Filipina	22	17
7.	Afrika Selatan	110	103	24.	Korea Selatan	22	17
8.	Inggris	106	92	25.	Guatemala	17	17
9.	Saudi Arabia	79	32	26.	Kuba	16	12
10.	Spanyol	79	93	27.	Ekuador	12	14
11.	Thailand	74	79	28.	Meksiko	9	12
12.	Jerman	71	114	29.	Nicaragua	8	7
13.	Ukraina	66	65	30.	Mauritius	6	3
14.	Kanada	61	61	31.	Zimbabwe	6	5
15.	Polandia	53	58	32.	Kenya	3	4
16.	Indonesia	44	45	33.	Swaziland	3	3
17.	Argentina	42	44	34.	Lain-lain	338	710
Total						10.770	12.150

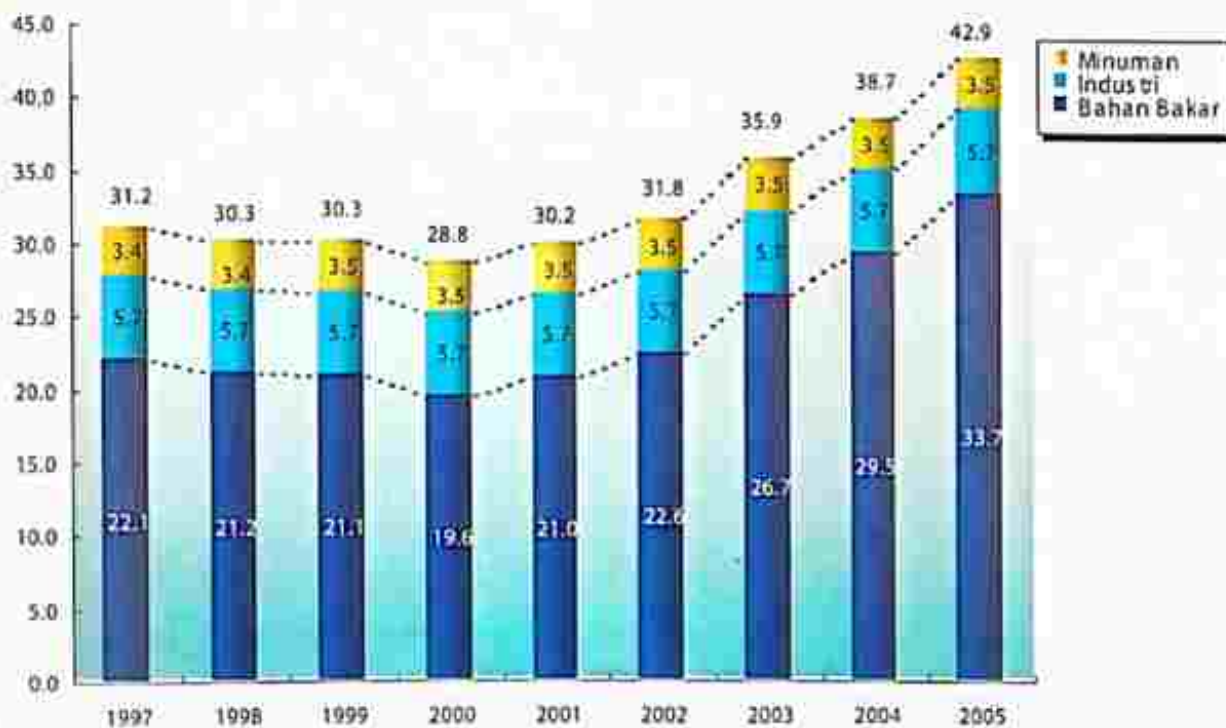
Catatan: 1 gallon = 3,785 liter
 Sumber: Murdiyatmo, 2006

Sebagian besar produksi etanol dunia digunakan sebagai bahan bakar seperti ditunjukkan di gambar 7.



Sumber: Murdiyatmo, 2006
 Gambar 7. Konsumsi etanol dunia

Secara rinci, penggunaan bioetanol dunia dapat dilihat di gambar 8.



Catatan: dalam 1.000.000 kl
 Gambar 8. Penggunaan etanol di dunia tahun 1997—2005

B. Etanol, Bahan Bakar Nabati Masa Depan

Penggunaan alkohol sebagai bahan bakar mobil sebenarnya telah lama dikenal. Pada tahun 1880-an Henry Ford membuat mobil *quadricycle* dan menyusul pada tahun 1908 muncul mobil Ford dengan alkohol sebagai bahan bakarnya. Namun seperti halnya biodiesel yang terbuat dari minyak kacang tanah (*Arachis hypogaea*) yang diperagakan tahun 1898 oleh Rudolf Diesel, penggunaan *biofuel* kurang ditanggapi pada dekade lalu karena *petrofuel* yang murah dan melimpah. Namun kini, tampaknya kita harus meningkatkan fungsi *fuel extender* dari *biofuel* termasuk melalui penggunaan alkohol, karena kandungan *petrofuel* yang makin menyusut.

Stasiun pengisian bahan bakar bioetanol milik BPPT. Menggunakan gasohol E-20, artinya BBM 80% dicampur dengan etanol 20%



Sebelum kita berdiskusi lebih lanjut, mari kita membahas istilah bahan bakar nabati. Istilah ini merupakan terjemahan dari *biofuel*, seperti dinyatakan dalam INPRES No. 1 tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) dan PERPRES No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional. Bahasan cukup rinci dapat Anda baca di buku *Meraup Untung dari Jarak Pagar*, halaman 1–3.

Namun, sebenarnya istilah ini kurang tepat, *biofuel* sebenarnya harus diterjemahkan menjadi bahan bakar hayati, yakni bahan bakar atau minyak lemak yang berasal dari tumbuhan (jarak pagar, kelapa sawit, dan lain-lain) dan hewan (mikro algae, minyak hewan misalnya babi, dan lain-lain). Sejatinya, istilah *pytofuel* lebih tepat bila yang dimaksud adalah minyak lemak berasal dari tumbuhan.

1. Produksi etanol Indonesia sebagian besar diserap oleh pasar domestik, hanya sebagian kecil diekspor. Seperti telah kita diskusikan di atas, industri pemakai etanol di antaranya industri kimia, industri farmasi, industri rokok kretek, industri kosmetika, industri tinta dan percetakan, dan industri meubel dengan penggunaan spiritus bakar. Siapakah yang memproduksi etanol untuk bahan bakar dan jenis etanol mana yang digunakan sebagai bahan bakar nabati?

Seperti diketahui, etanol dikategorikan dalam dua kelompok utama.

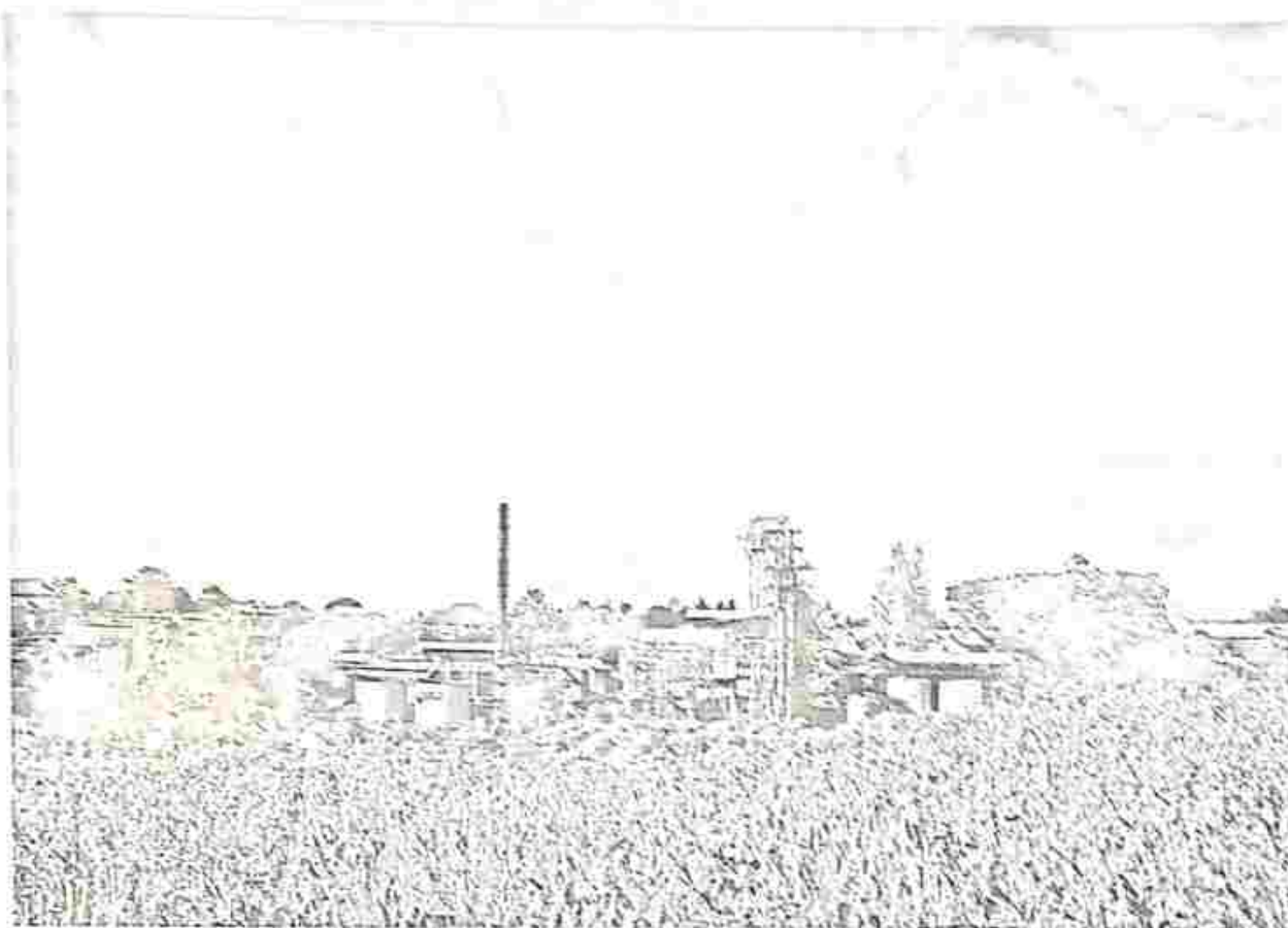
- Etanol 95–96% v/v, disebut “etanol berhidrat”, yang dibagi dalam:
 - *technical/raw spirit grade*, digunakan untuk bahan bakar spiritus, minuman, desinfektan, dan pelarut;
 - *industrial grade*, digunakan untuk bahan baku industri dan pelarut;
 - *potable grade*, untuk minuman berkualitas tinggi.
- Etanol >99,5% v/v, digunakan untuk bahan bakar. Jika dimurnikan lebih lanjut dapat digunakan untuk keperluan farmasi dan pelarut di laboratorium analisis. Etanol ini disebut *fuel grade ethanol* (FGE) atau *anhydrous ethanol* (etanol anhidrat) atau etanol kering, yakni etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal.





Fuel grade ethanol (FGE). Etanol untuk bahan bakar yang dimurnikan hingga mencapai grade 99,5—100 v/v dan *anhydrous*, sehingga tidak bersifat korosif terhadap mesin

Saat ini (April 2007), Indonesia baru memiliki satu pabrik etanol yang mampu menghasilkan FGE, yakni PT Molindo Raya Industrial (MRI) di Lawang, Malang, Jawa Timur, berkapasitas 48.000 kl/tahun dengan kebutuhan bahan baku tetes sebesar 190.000 ton/tahun. Sejak tahun 2003, pabrik ini telah memproduksi FGE. Pada tahun 2006, MRI memproduksi FGE sekitar 3.150.000 liter. Sejak tanggal 22 Agustus 2006, MRI menyuplai dengan "ketentuan khusus" sebuah stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) di Malang dengan rata-rata penjualan 12.000 liter/hari.



2. Apakah “ketentuan khusus” di atas?

Sejak Agustus 2006, kita dapat menggunakan E5 di Indonesia. Bahan bakar ini diproduksi Pertamina dengan merek dagang biopremium, yakni campuran 95% bensin dan 5% FGE. Demikian pula telah tersedia bio-pertamax, sejak tanggal 11 Desember 2006 saat HUT Pertamina ke-49, meskipun hanya tersedia di satu SPBU di Jakarta. Pada tahun 2007, Pertamina akan membuka 23 SPBU untuk bio-pertamax, terinci 15 SPBU di Jakarta, 5 SPBU di Surabaya, dan 3 SPBU di Malang, dengan total volume 25 juta liter.

Pabrik MRI. Sampai Agustus 2007 MRI adalah pemasok tunggal bioetanol untuk bio-premium dan bio-pertamax.

Penggunaan FGE diawasi oleh Direktorat Jenderal Bea Cukai dengan UU No. 11 tahun 1995 dan Keputusan Menteri Keuangan No. 243/KMK/05/1996 yang menetapkan ketentuan, di antaranya produsen FGE harus mencampur bensin 5% (sebagai denaturan) ke dalam produknya sebelum dikirim ke depot Pertamina untuk *di-blend* menjadi E-5 (bensin dan 5% FGE). Di manca negara, *blend* bensin dan FGE disebut gasohol. Di Indonesia, Pertamina memberi nama dagang *biopremium*.



SPBU Jl. Mayjen Wiyono, Malang.
Merupakan Depot Pertamina pertama yang menyediakan produk bio-premium

Sumber: Trubus

3. Apakah denaturan itu dan mengapa harus dicampurkan ke FGE?

Denaturan adalah bahan kimia yang sengaja dicampurkan ke dalam etanol agar tidak layak minum. Tujuan diberikan denaturan agar etanol masuk dalam kategori “etanol yang dirusak” dalam UU Pajak, sehingga bebas dari cukai. Jenis denaturan yang biasa dipakai, seperti bensin dan hidrokarbon-hidrokarbon fraksi bensin.

4. Sulitkah memproduksi FGE, *kok* Indonesia hanya mempunyai satu pabrik?

Investasi adalah kendala dalam memproduksi FGE di Indonesia. Etanol industri yang berkadar lebih kurang 95% harus ditingkatkan menjadi lebih besar dari 99,5% untuk menjadi FGE. Proses peningkatan kadar ini melalui proses dehidrasi sebagai berikut.

- Azeotropic distillation : biaya operasi tinggi, karena perlu *solvent* dan tidak ramah lingkungan.
- Molecular sieve : biaya operasi relatif rendah, tanpa bantuan *solvent* (teknologi ini digunakan oleh PT MRI).
- Membrane pervaporation : belum digunakan pada skala komersial.

PT RNI melaporkan bahwa untuk meningkatkan mutu etanol di pabriknya di Palimanan, Cirebon, dibutuhkan investasi Rp5–7,5 milyar (Hendroko, 2007). BPPT dengan *pilot plant*-nya yang berkapasitas 8.000 liter/hari di Lampung, membutuhkan dana Rp3,5 milyar untuk mengubah etanol menjadi FGE.

Direktur Produksi PTP X mengemukakan bekerja sama dengan PT MRI akan membangun pabrik berkapasitas 30.000 kl/tahun dengan biaya Rp150 milyar atau sekitar 17 juta dolar AS, dengan BEP 5 tahun (Agro Observer, Oktober 2006). Data ini di-*update* pada Juli 2007, yakni pabrik tersebut akan dibangun di Kediri, Jawa Timur memakai teknologi Eropa



berkapasitas 50 juta liter/tahun dengan biaya Rp300 milyar. Sebuah pabrik PT MRI yang lain dengan kapasitas yang sama akan dibangun di Lampung (bekerja sama dengan perusahaan Cina CAMC Engineering Co Ltd) yang dilaksanakan oleh PT Madusari Lampung Indah (Agrina Vol 3 No. 5, Juni 2007).

Ketua Umum Asosiasi Spiritus dan Etanol Indonesia (Asendo) menyatakan sebuah pabrik bioetanol dengan kapasitas 40.000 kiloliter bernilai 15 juta dolar AS atau Rp135 milyar (Kompas, 14 Februari 2007, data direvisi). Arifin Panigoro, pemilik Medco Grup, menyatakan pabrik bioetanol dengan kapasitas 60 juta liter/tahun membutuhkan dana 40 juta dolar AS (Kompas, 13 April 2007).

Dua produsen pabrik bioetanol dari India, yakni KBK menawarkan sebuah pabrik berkapasitas 60 kl/hari seharga 8 juta USD dan Praj seharga 10–12 juta USD. Teknologi Eropa yaitu Alva Laval (Jerman) dan Tornax Destil (Spanyol) menawarkan seharga 16–18 juta USD. Teknologi Eropa ini ditelaah lebih lanjut dalam RNI *Investment Brief* 2006 dan mendapatkan data sebagai berikut.

- Kapasitas: 100 kilo liter/hari, berbahan baku tetes tebu.
- Total biaya: 19,8 juta USD.
- Biaya produksi: 421 USD/kilo liter.
- IRR: 29,50%.
- ROI: 20,15%.
- ROE: 73,79%.
- POT: 3,5 tahun.
- BEP: 29,49%.

Apakah tidak ada *made in* Indonesia? Pasti ada, di antaranya rekayasa BPPT dan PT Wesco di Malang, sebuah perusahaan yang memasok teknologi dan peralatan PT Molindo Raya Industrial. Demikian pula tercatat, PT Tridaya Usaha Sakti di Banten, PT Banyu Lancar Unggul

Engineering (Blue) di Balikpapan, PT Panca Jaya Rahardja di Sukabumi, dan Yayasan Masarang di Manado memproduksi peralatan untuk etanol.

Dari bahasan di atas, tampaknya pabrik etanol dan FGE hanyalah untuk para pemodal kaya, karena membutuhkan modal besar. Apakah ada inovasi pabrik etanol skala kerakyatan atau skala rumahan seperti di biodiesel? *Ntar* kita bicarakan lebih lanjut.

5. Apa *sih* keuntungan penggunaan FGE sebagai BBN-gasohol, atau lebih tepat apa dampak positif E-5 atau E-10 (dengan nama dagang biopremium atau biopertamax) di Indonesia?

— Menciptakan lapangan pekerjaan.

Lapangan pekerjaan akan tersedia di kebun-kebun tanaman penghasil BBN khususnya FGE, seperti kebun-kebun tebu, ubi kayu, sagu dan aren. Kepala BPPT, Said Djauharsyah Jenie (26 November 2006) menyatakan bahwa dengan rencana pemerintah memproduksi FGE sejumlah 1,85 juta kiloliter (tabel 17) akan tersedia lapangan kerja 1,2–1,75 juta orang di kebun-kebun tanaman penghasil BBN (rincian di lampiran 2). Demikian pula akan tersedia lowongan kerja di pabrik-pabrik FGE. Berapa *sih* pabrik FGE yang akan dibangun? Nanti kita diskusikan lebih lanjut.

— Meningkatkan pendapatan petani.

Sejak tahun 2006, pendapatan petani tebu cukup menggiurkan. Namun, hal ini disebabkan oleh harga gula yang relatif tinggi. Bagaimana dengan petani ubi kayu? Seperti kita ketahui, pendapatan petani ubi kayu relatif rendah dan sangat fluktuatif. Bahkan, belum ada petani yang membudidayakan sagu atau aren. Adanya kebutuhan etanol sebagai FGE diharapkan berdampak positif terhadap komoditas ubi kayu (termasuk aren dan sagu), yakni komoditas tersebut bisa bernilai jual tinggi dan stabil.

- Mengurangi kecenderungan pemanasan global dan pencemaran udara. FGE adalah oksigenat, senyawa yang mengandung oksigen. Kandungan oksigennya membuat pembakaran BBM sempurna, sehingga meminimalisasi gas buang kendaraan yang beracun. Emisi karbon monoksida FGE lebih rendah 19–25% dibandingkan dengan BBM (Murdijatno, 2006). Yuk, kita lihat ilustrasi di gambar 9 dan bandingkan dengan gambar 10 serta tabel 13.

Bicara tentang emisi karbon, data dari Konvensi Kerangka Kerja PBB untuk Perubahan Iklim (UNFCCC) menunjukkan Indonesia secara global adalah negara penyumbang emisi karbon peringkat ketiga setelah USA dan Cina (Kompas, 17 Maret 2007). Apakah kita akan lebih memperparah dampak rumah kaca atau pemanasan global dengan penggunaan BBM yang tak terkendali?

Salah satu dampak yang akan kita "nikmati" akibat pemanasan global adalah sepersepuluh penduduk bumi atau 634 juta orang yang tinggal berjarak 10 meter dari pinggir laut akan tenggelam ketika es di kutub mencair. Permukaan laut akan naik antara 18–59 cm, sebagai dampak suhu naik 1,8–1°C (Reuters *dalam* Kompas, 13 April 2007). Sekitar 2.000 pulau di Indonesia bakal tenggelam. Hampir seluruh DKI Jakarta, sebagian Jawa Barat, dan Banten dipastikan terendam air (Kaukus Lingkungan Hidup Jakarta berdasar penelitian International Institute for Environment and Development-Britania bekerja sama dengan City University of New York dan Columbia University, 2007 *dalam* Kompas, 3 April 2007).

Apabila Anda ingin mengetahui lebih rinci tentang isu moral mengenai perubahan iklim dunia sebagai dampak pemanasan global, silakan menyimak perjuangan mantan Wakil Presiden dan calon Presiden Amerika Serikat Al Gore yang mendapat *Champion of the Earth* yang diberikan Program Lingkungan PBB (UNDEP) dan memperoleh penghargaan Oscar ke-79 dalam film dokumenter yang disutradarai oleh Davis Guggenheim berjudul *An Inconvenient Truth*. Dalam film ini

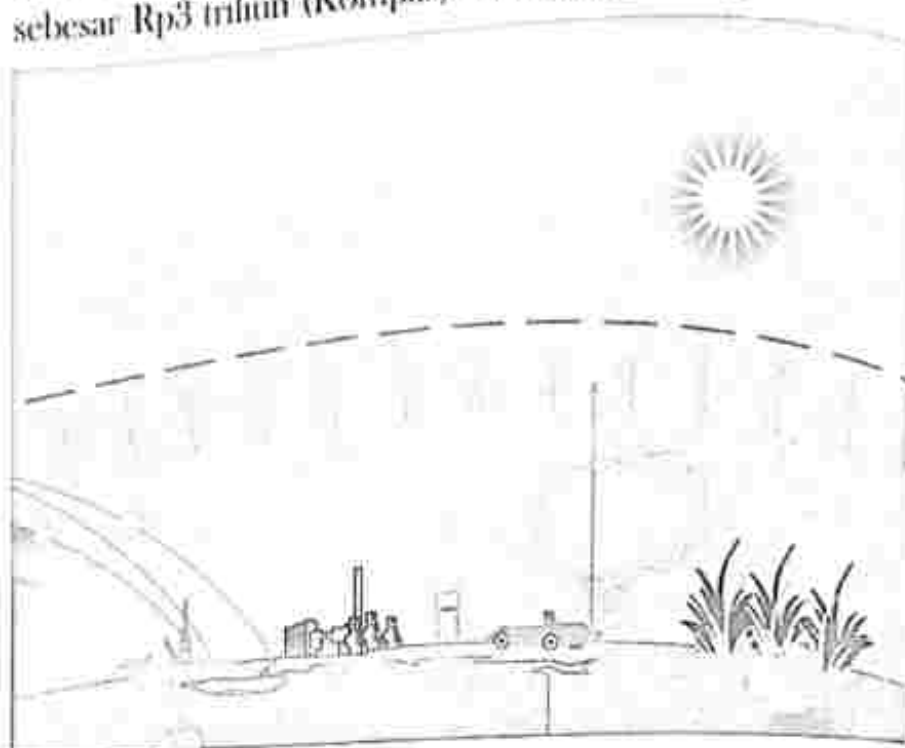
diceritakan *global warming* menyebabkan permukaan air laut perlahan naik sampai menelan pantai timur Amerika, bahkan menenggelamkan gedung pencakar langit World Trade Center. Anda dapat pula melihat foto-foto di versi bukunya tentang kondisi salju di Gunung Kilimanjaro, Tanzania, Afrika, pada tahun 1970 dibandingkan dengan tahun 2000 dan 2005, salju di Boulder Glacier di Glacier National Park pada tahun 1932 dibandingkan dengan tahun 1988, Qori Kalis Glacier, Peru, pada tahun 1978 dibandingkan dengan tahun 2006, Upsala Glacier di Argentina pada tahun 1928 dibandingkan dengan tahun 2004, Tschierva Glacier, Swiss, pada tahun 1910 dibandingkan dengan tahun 2001, dan Adamello Glacier, Trentina, Italy, pada tahun 1880 dibandingkan dengan tahun 2003.

Tidak hanya luas daratan yang akan berkurang, dampak lanjutannya adalah kegagalan panen yang mengakibatkan 130 juta penduduk dunia terutama di Asia dan Afrika akan kelaparan. Topan dan badai dahsyat akan sering terjadi, serta kelangkaan air tawar akan timbul. Rachmat Witoelar, Menteri Lingkungan Hidup RI, menegaskan dengan mengutip data *Intergovernmental Panel on Climate* bahwa tanpa perubahan perilaku dan upaya mengatasi ancaman pemanasan bumi, usia bumi kita ini tinggal 70–100 tahun (Kompas, 4 April 2007).

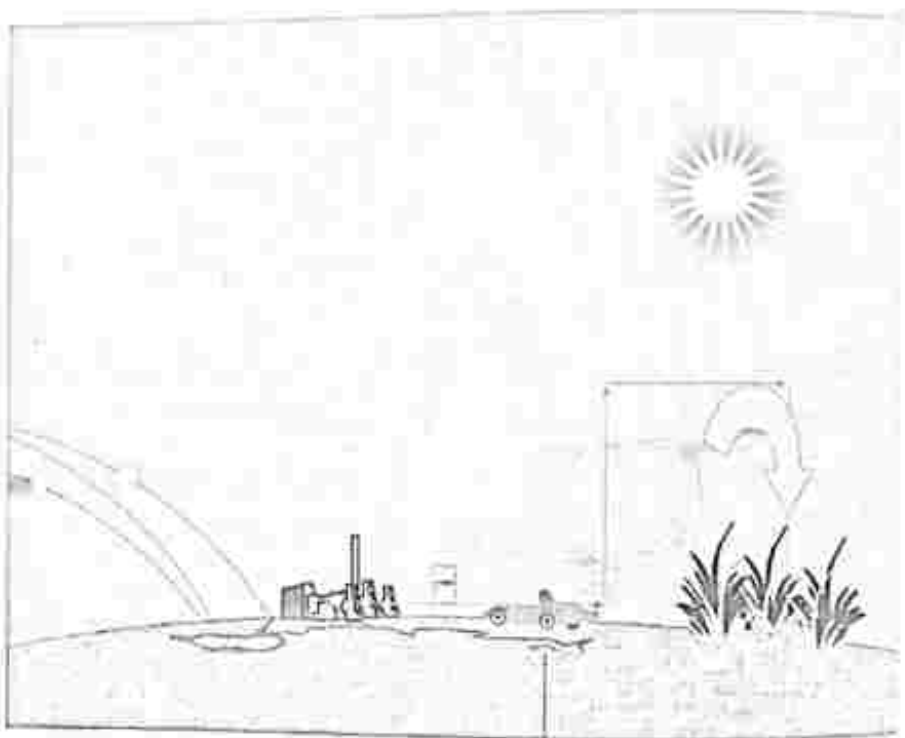
Mari kita bahas lebih lanjut keuntungan penggunaan FGE!

- Penggunaan FGE berpotensi mendapatkan *carbon credit* sesuai CDM, karena bersifat terbarukan (*renewable*). Apakah CDM? Silahkan baca di buku *Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM* dan buku *CDM: Mekanisme Pembangunan Bersih*, yang disusun oleh Daniel Murdiyarso (2003).
- Menghasilkan BBM dengan oktan lebih tinggi, tetapi harga memadai. Etanol memiliki bilangan oktan 118. Misalnya, kita menggunakan E-10 (10% FGE dan 90% bensin), nilai oktan = $(0,9 \times 88) + (0,1 \times 118) = 91$. Nilai oktan ini mendekati oktan pertamax, yakni 91,5.
- Penggunaan FGE akan bersifat *fuel extender*, yakni menghemat bahan bakar fosil khususnya mengurangi biaya pembelian *high octane motorgas component* (HOMC).

— Mengurangi subsidi bahan bakar. Penggantian 5% premium dengan penggunaan E-10, Pemerintah RI bisa menghemat subsidi BBM sebesar Rp3 triliun (Kompas, 14 Februari 2007).



Gambar 9. Ilustrasi pemanasan rumah kaca sebagai dampak CO_2 yang diproduksi bahan bakar minyak



Gambar 10. Ilustrasi siklus karbon dalam penggunaan bahan bakar nabati, gas CO_2 yang diproduksi pabrik-pabrik dan kendaraan bermotor diserap kembali oleh tanaman penghasil BBN

6. Bagaimana daya saing gasohol atau biopremium?

Mari kita lihat, misalnya harga FGE tanpa cukai Rp5.000/liter.

— Harga gasohol E-10 per liter = $(0,9 \times \text{Rp}4.500) + (0,1 \times \text{Rp}5.000) = \text{Rp}4.550$. Simpulan:

- lebih tinggi Rp50 daripada harga premium bersubsidi,
- lebih murah Rp1.500–Rp2.300 dari pertamax [harga Mei 2007, termurah di wilayah pemasaran Pertamina III (Jakarta dan sekitarnya) seharga Rp 6.050/liter dan termahal di wilayah I (Sumatera Utara, Riau, dan Sumatera Barat) senilai Rp6.850/liter].

Selisih harga tersebut diperhitungkan dapat diterima masyarakat, karena gasohol E-10 berangka oktan ≈ 91 , lebih baik dari bensin premium yang berangka oktan 88, bahkan mendekati oktan pertamax. Demikian pula dampak positifnya, mengurangi emisi CO secara signifikan.

— Kinerja mesin yang menggunakan gasohol E-10 setara dengan penggunaan pertamax dan jauh lebih baik daripada bensin premium (tabel 12).

Tabel 12. Kinerja gasohol E-10 dan E-20 dibandingkan dengan bensin-premium dan pertamax

Bahan bakar	Gasohol E-10	Gasohol E-20	Premium	Pertamax
Power (kW)	41,23	42,52	30,97	40,09
Force (N)	1.856,1	1.913,3	1.393,8	1.804
Fuel Consumption (l/jam)	30,39	31,24	31,03	27,38

Sumber: Lab BTMP-BPPT, 2006

7. Agar kita yakin tentang kehandalan FGE dan memperkuat data di tabel 12, yuk kita lihat kajian yang dilakukan pada mobil Honda Jazz?

Tabel 13. Hasil uji emisi mobil Honda Jazz dalam penggunaan gasohol E-10 dibandingkan dengan premium menggunakan metode uji UN-ECE 83-04 (EURO-2)

Parameter	Premium	E-10	EURO II Limit
CO	5,53	3,66	2,2
HC	0,14	0,07	-
NOx	0,01	0,14	-
HC + NOx	0,15	0,21	0,5

Sumber: Reksowardojo, 2006

Tabel 13 menunjukkan E-10 menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan premium, meskipun masih di atas standar Euro II. Yuk, kita lihat data lain di tabel 14 yang menunjukkan E-10 menghasilkan akselerasi dan tenaga yang lebih baik dibandingkan dengan premium, demikian pula konsumsi yang lebih hemat.

Tabel 14. Data pengujian akselerasi, konsumsi BBM, dan uji tenaga pada gasohol E-10 dibandingkan dengan premium di mobil Honda Jazz

No.	Parameter	Premium	Gasohol E-10
1.	Akselerasi 0—100 km/jam 40—80 km/jam 0—402 meter	19,01 detik 8,08 detik 21,02 detik	17,16 detik 7,46 detik 20,49 detik
2.	Hasil uji konsumsi BBM (liter : km)	1 : 12,76	1 : 12,17
3.	Hasil uji tenaga	88,1 HP/5.500 rpm	92,3 HP/5.500 rpm

Sumber: Reksowardojo, 2006

8. Kita telah diskusikan bahwa gasohol atau FGE berdampak positif khususnya terhadap ekologi, tetapi amankah BBN ini untuk mobil? Apakah sebaiknya kita gunakan E-5, E-10, E-15, E-85, atau E-100? Seperti dipaparkan di lampiran 1, Tim Nasional BBN merencanakan peningkatan penggunaan FGE secara bertahap dari E-5 sampai dengan E-100 pada tahun 2025.



Sampai tahun 2003, 13 negara telah menetapkan gasohol sebagai bahan bakar yang sah. Campuran yang digunakan beragam tergantung pada situasi dan kondisi (ketersediaan dan harga etanol) di masing-masing negara (tabel 15).

Tabel 15. Sejumlah negara pengguna gasohol dengan beragam volume campuran FGE

Negara	Gasohol	Volume (L/Thn)	Keterangan
Brasil	E-20 s/d E-25	~ 14 milyar (total)	Program <i>Pro-Alcohol</i> , sejak tahun 1975, produsen dan pengguna terbesar
AS	E-10, E-85	> 6 milyar	Sejak tahun 1978
Kolombia	E-10	1 milyar (tahun 2006)	Sejak 2001
Australia	E-10, E-20	60 juta	Sejak tahun 1992
Swedia	E-5	50 juta	Sejak tahun 2000
India	E-5	1,3 milyar	Wajib sejak tahun 2003
Thailand	E-10	60 juta	Sejak tahun 2002, berencana ekspor
Jepang	E-3 dan E-10	7,8 milyar (total)	(Pasar potensial), belum diwajibkan
Cina	E-10	1,4 milyar	(Pasar potensial)

Rekomendasi *World Wide Fuel Charter* (WWFC) Desember 2002, memperbolehkan bensin mengandung hingga 2,7% bahan beroksigenat, berarti industri mobil dan motor dunia siap melayani penggunaan E-7,5.

Rekomendasi lebih lanjut untuk keamanan mobil, terkait modifikasi di mesin, tercantum di tabel 16.

Tabel 16. Rekomendasi modifikasi mesin Otto dalam penggunaan berbagai kadar bioetanol (FGE)

Kadar etanol dalam bahan bakar (BB)	Cold start system	Sistem pembuangan	Inake manifold	Oli mesin	Mesin dasar	Catalytic converter	Tangki BB	Sistem pengapapan	Sistem penyalaan	Saringan BB	Alat tekan BB	Pompa BB	Injektor BB	Karburator
≤ 5%														
5 - 10%														
10 - 25%														
25 - 85%														
≥ 85%														

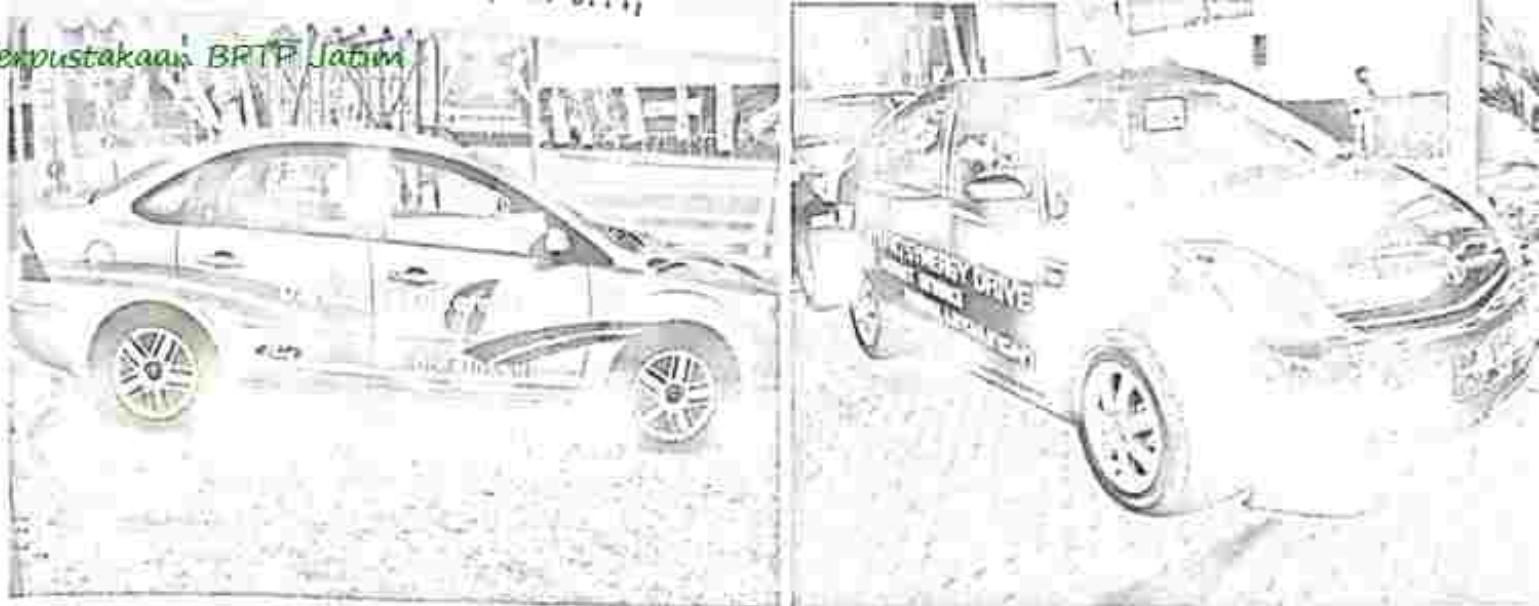
tidak perlu modifikasi mungkin perlu modifikasi

Sumber: Joseph Jr, 2005 dalam Reksowardojo, 2006

9. Seperti ditunjukkan di atas, penggunaan FGE lebih dari 10% memerlukan banyak modifikasi di mesin mobil. Bagaimana mengatasi hal ini?

Salah satu solusi adalah penggunaan kendaraan dengan sistem *flex-fuel* (motor bensin berbahan bakar luwes). Kendaraan ini dirancang khusus untuk mengakomodasi gasohol E-85 atau lebih, seperti yang telah digunakan di Brasil (sejak tahun 2003) dan USA. *Flex fuel vehicle* adalah motor bensin yang dirancang khusus agar mampu mengonsumsi bahan bakar bensin, gas, dan bioetanol atau campuran bioetanol-bensin serta bioetanol-gas pada komposisi berapapun.

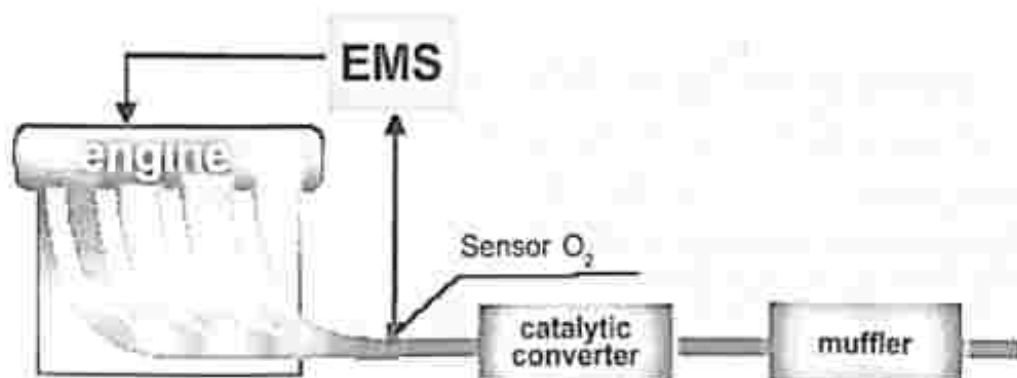
Prinsip kerja *flex fuel vehicle* (FFV) seperti ditunjukkan di gambar 11. Sejumlah mobil diproduksi dengan FFV, di antaranya VW Gol, Ford F 150, dan Chrysler Schring.



Mobil-mobil berbahan bakar bioetanol. Emisi yang dihasilkan lebih rendah, hasil uji tenaga lebih baik dibandingkan dengan premium, dan konsumsi BBM lebih hemat

Mobil dengan sistem FFV sangat diperlukan di Tanah Air kita dalam rangka meningkatkan ketahanan energi di daerah-daerah yang sering mengalami keterlambatan suplai BBM, sementara daerah-daerah tersebut berpotensi memproduksi bioetanol secara berlebih. Sebagai langkah antisipasi keamanan FGE terhadap mobil, Pemerintah RI telah menetapkan standar FGE yang beredar di Indonesia. Spesifikasi tersebut tercantum dalam Standar Nasional Indonesia bernomor SNI DT 27-0001-2006, tanggal 27 Desember 2006. *Ntar*, kita diskusikan lebih lanjut.

- Sensor O₂ pada saluran buang akan memberi sinyal pada Engine Management System (EMS)/Electronic Control Unit (ECU)
- EMS akan menghitung kadar etanol yang terdapat pada tangki bahan bakar
- Hasil perhitungan ini akan menjadi masukan bagi kalibrasi pengapian dan injeksi



Gambar 11. Prinsip kerja motor bensin berbahan bakar luwes

10. Bagaimana rencana pemerintah RI dalam penggunaan bahan bakar etanol?

Program pemerintah tersebut terencana dalam tabel 17 dan *road map* yang terdapat di lampiran 1. Tabel tersebut disusun berdasarkan konsumsi premium tahun 2004 sebesar 1,5 juta kl, dengan laju konsumsi 7% per tahun.

Tabel 17. Proyeksi penggunaan bioetanol (juta kilo liter) tahun 2006—2010

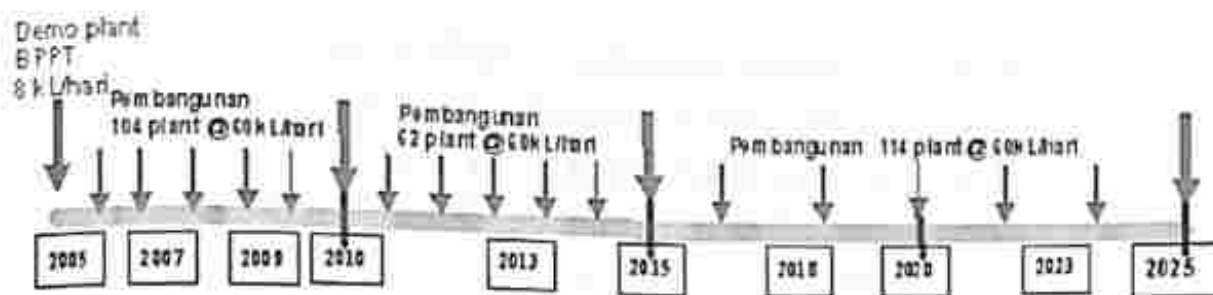
Tahun	Jumlah Bioetanol (Juta/Liter)
2006	1,71
2007	1,75
2008	1,78
2009	1,82
2010	1,85

Sumber: Departemen ESDM, 2006

Catatan:

- Laju konsumsi 7% per tahun, kebutuhan premium pada tahun 2009 akan mencapai sekitar 21 juta kl, sedangkan target penggunaan bioetanol 1,85 juta kl (10% dari total konsumsi bensin).
- Ditargetkan pada tahun 2015 penggunaan bioetanol mencapai 3,08 juta kl (15% dari total konsumsi bensin).
- Ditargetkan pada tahun 2025 penggunaan bioetanol mencapai 4,99 juta kl (20% dari total konsumsi bensin).

Berdasarkan program di atas dan *road map* di lampiran 1, direncanakan pendirian pabrik etanol hingga tahun 2010 sebanyak 104 pabrik berkapasitas 60 kl/hari. Rencana pembangunan pada tahun-tahun selanjutnya tercantum di gambar 12.



Sumber: Timnas Pengembangan BBN, 2006

Gambar 12. Rencana pendirian pabrik etanol tahun 2007–2025

11. Di atas telah kita bahas bahwa tetes tebu yang merupakan *co-product* pabrik gula adalah bahan baku pabrik etanol di Indonesia. Apakah cukup produksi tetes Indonesia untuk pabrik etanol?

Kondisi 2005, produksi tetes seimbang dengan penggunaannya oleh industri etanol, asam amino (MSG + Lysine), dan pakan ternak.

- Kapasitas pabrik etanol yang ada sekitar 180–200 juta liter/tahun, membutuhkan 650 ribu ton tetes.
- Pabrik MSG + Lysine membutuhkan tetes sekitar 600.000–700.000 ton.

Pada tahun-tahun mendatang diperkirakan akan terjadi peningkatan produksi seiring kebijakan pemerintah yang memberikan subsidi bunga bank untuk perluasan tanaman penghasil bioenergi (kelapa sawit, tebu, dan lain-lain), seperti tertera di tabel 18.

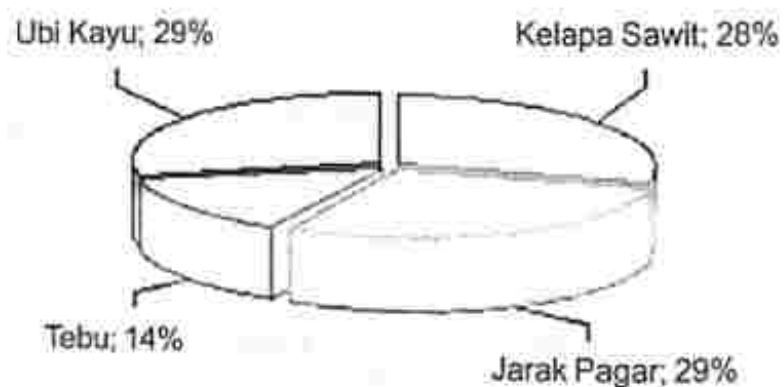
Tabel 18. Perkiraan produksi tebu, gula, dan tetes tahun 2005–2009

Perkiraan Produksi	2005	2006	2007	2008	2009
Tebu (ribu ton)	28.300	35.656	34.289	36.003	37.804
Gula (ribu ton)	2.219	2.441	2.686	2.955	3.250
Tetes (ribu ton)	1.400	1.470	1.550	1.620	1.700

12. Tetes tebu yang tersedia, diperkirakan tidak mencukupi untuk memproduksi etanol sejumlah di tabel 18 atau mendukung pembangunan pabrik etanol dengan jumlah seperti di gambar 12. Apa yang harus kita lakukan?

Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran yang dibentuk berdasar Keputusan Presiden RI No. 10 tahun 2006, sebagai tindak lanjut Inpres 1 tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain, telah merekomendasikan dan menyusun, sebagai berikut.

- Program *Fast Track*, yakni suatu daerah sebaiknya mampu menghasilkan BBN dari komoditas yang sesuai potensi daerah (silahkan baca buku *Meraup Untung dari Jarak Pagar*, halaman 87–88).
- Rencana luas pengembangan 4 tanaman komoditas utama sebagai bahan baku BBN sampai dengan tahun 2010 seluas lebih kurang 5,25 juta ha yang meliputi kelapa sawit seluas 1,5 juta ha, jarak pagar seluas 1,5 juta ha, tebu seluas 0,75 juta ha, dan ubi kayu seluas 1,5 juta ha. Tampak pada gambar 9, ubi kayu diprogramkan lebih luas sebagai penghasil etanol dibandingkan dengan tebu. Manakah lebih murah, FGE berbasis tebu (*molasses*) atau berbasis ubi kayu? *Ntar*, kita bahas.



Gambar 13. Persentase luas 4 komoditas utama penghasil BBN

13. Bagaimana penahapan pencapaian luas areal ubi kayu dan tebu di gambar 13?

Tabel 19. Rencana strategis bioetanol berbahan baku tebu (*molasses*) dan ubi kayu di Indonesia

Uraian	2006	2007	2008	2009	2010
Tebu					
- Luas (juta ha)	10	30	200	250	750
- Volume (juta kiloliter/th)	0	0,19	1,25	1,56	4,56
Ubi kayu					
- Luas (juta ha)	100	100	400	700	1.500
- Volume (juta kiloliter/th)	0	0,042	1,70	2,98	6,77

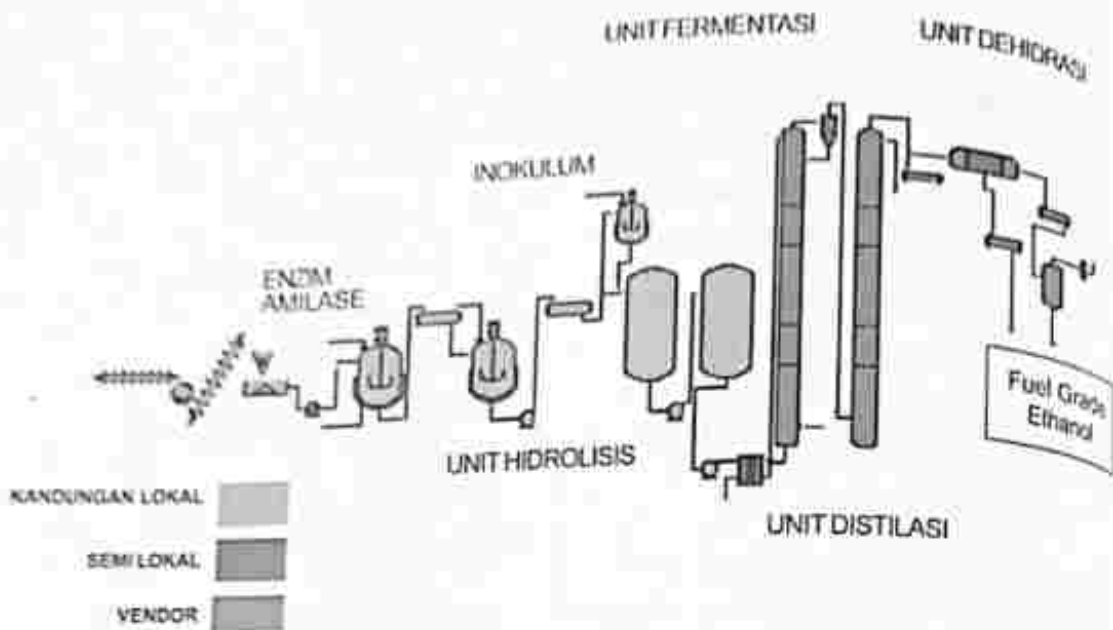
C. Ubi Kayu Penghasil Etanol untuk BBN

1. Bagaimanakah proses pengolahan ubi kayu menjadi BBN?

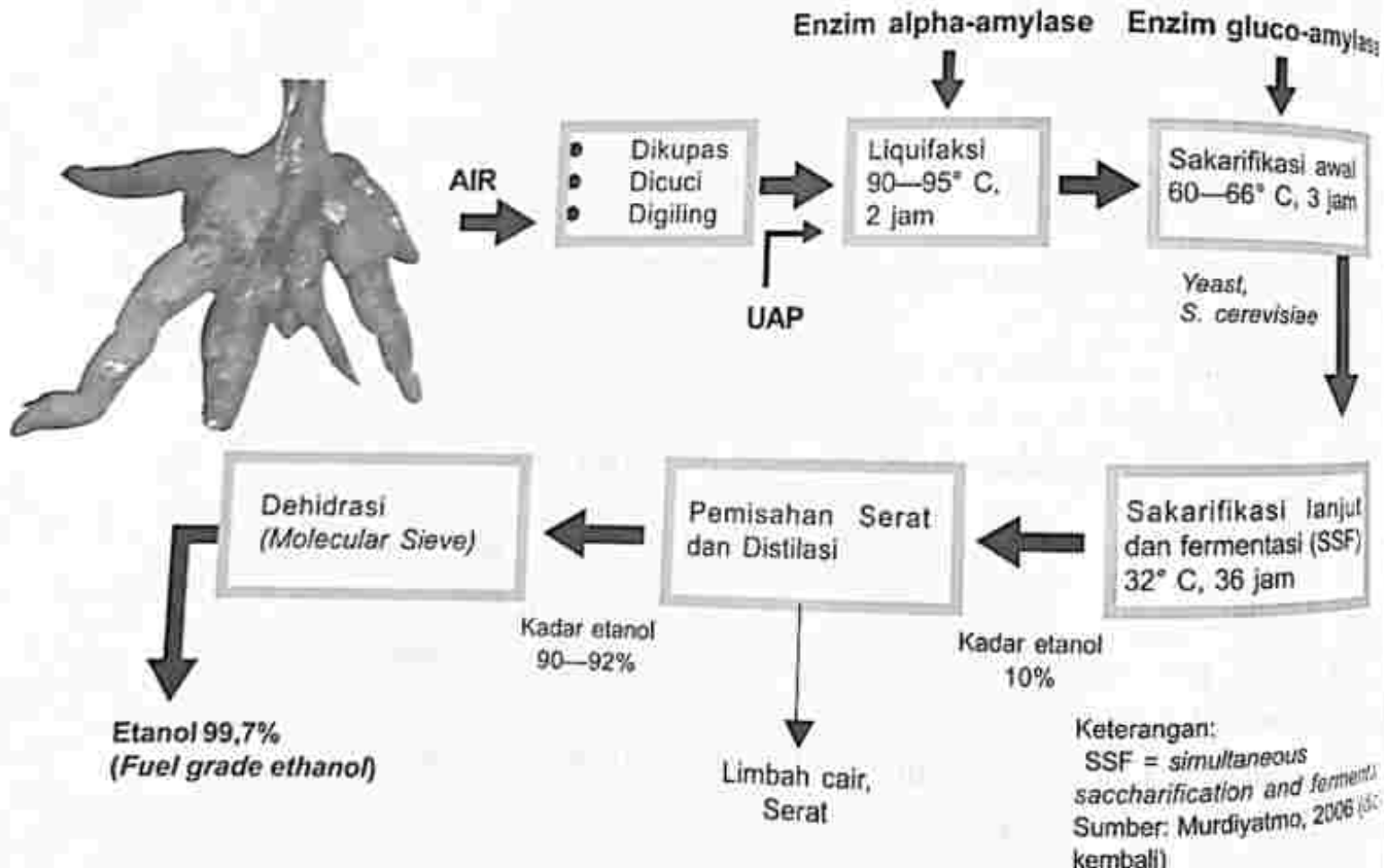
Secara umum, proses pengolahan bahan berpati (seperti ubi kayu, jagung, dan sagu) dilakukan dengan urutan sebagai berikut.

- Proses hidrolisis, yakni proses konversi pati menjadi glukosa.
- Proses fermentasi, yaitu proses konversi glukosa (gula) menjadi etanol dan CO_2 .
- Proses distilasi, adalah proses pemurnian etanol hasil fermentasi menjadi etanol dengan kadar 95–96%.
- Proses dehidrasi, adalah proses penghilangan air dari 96% menjadi 99,5%.

Yuk, kita lihat gambar proses produksi di gambar 14 yang menjelaskan pula tentang perekayasa alat yang dapat diproduksi lokal (buatan dalam negeri), semi lokal (sebagian komponen alat diimpor), dan vendor (alat 100% buatan luar negeri). Di gambar 15 tercantum diagram alir untuk memperjelas proses FGE berbasis ubi kayu.



Gambar 14. Proses produksi FGE dari bahan baku ubi kayu



Gambar 15. Diagram alir proses pembuatan FGE dari bahan baku ubi kayu

2. Mengapa ubi kayu dipilih sebagai komoditas utama penghasil BBN atau lebih tepat penghasil FGE?

Seperti diketahui, pengembangan BBN di Indonesia berprinsip *pro-poor*, *pro-job*, *pro-growth*, dan *pro-planet*. Dengan *triple track plus* tersebut, sejumlah pertimbangan positif pemilihan ubi kayu sebagai penghasil FGE, diuraikan sebagai berikut.

- Ubi kayu merupakan tanaman yang sudah dikenal petani kita secara turun-temurun. Ubi kayu adalah tanaman sumber karbohidrat ketiga setelah padi dan jagung. Dengan menggeser kegunaan ubi kayu menjadi BBN (dari sumber daya karbohidrat ke sumber daya hidrokarbon), diharapkan harga ubi kayu akan meningkat sehingga pendapatan petani akan meningkat pula.
- Ubi kayu telah tersebar di Indonesia dan ditanam di sentra-sentra produksi di 55 kabupaten dan 36 provinsi, tetapi produktivitasnya relatif rendah. Dengan program pengembangan BBN, diharapkan tidak hanya tersedia lapangan pekerjaan tetapi akan terjadi peningkatan teknologi pertanian dan agro industri di pedesaan.
- Harga ubi kayu setiap tahun saat panen raya selalu sangat rendah. Melalui pembangunan pabrik-pabrik etanol skala pedesaan, diharapkan harga ubi kayu akan stabil.
- Ubi kayu akan menguatkan *security of supply* bahan bakar berbasis kemasyarakatan.
- Memperbesar basis sumber daya bahan bakar nabati, karena ubi kayu adalah tanaman yang toleran terhadap tanah dengan tingkat kesuburan rendah, mampu berproduksi baik pada lingkungan sub-optimal, dan mempunyai pertumbuhan yang relatif lebih baik pada lingkungan sub-optimal dibandingkan dengan tanaman lain. *Ntar*, kita bahas lebih lanjut di bab berikut.

Rencana pembangunan pabrik-pabrik bioetanol membuat harga ubi kayu merangkak naik (Agrina Vol.3 No. 55, Juni 2007). Tahun 2006, harga ubi kayu di Lampung, sentra penghasil ubi kayu terbesar di Indonesia, sekitar Rp250/kg. Harga ini saat panen raya anjlog hingga Rp100/kg,



bahkan Rp30–Rp50/kg. Namun, pada awal tahun 2007 menjadi Rp280–Rp350/kg dan pada Mei 2007 telah mencapai Rp400/kg.



Proses produksi FGE skala pilot plant milik B2TP. Mampu mengolah 50 ton ubi kayu menjadi 8.000 liter bioetanol per hari

3. Mohon diperjelas tentang peluang kesempatan kerja (*pro-job*)!

Pada tahun 2010, kita membutuhkan FGE sejumlah 1,85 juta kiloliter (tabel 17). Jumlah FGE ini membutuhkan ubi kayu sekitar 11 juta ton, sesuai konversi 6,5 : 1 (tabel 7) atau membutuhkan lahan seluas 110.000 ribu hektar, dengan produktivitas ubi kayu sebesar 25 ton/ha.

Bila setiap KK mempunyai lahan 2 hektar, sebanyak 220.000 ribu KK akan terlibat dalam kegiatan ekonomi budi daya ubi kayu sebagai bahan baku FGE setiap tahunnya. Jika biaya budi daya sebesar Rp4.450.000/ha, perputaran dana di tingkat petani sebesar Rp1.958.000.000.000. Tidak hanya *on-farm*, tetapi kegiatan *off-farm* di pabrik etanol juga membutuhkan tenaga kerja. Di gambar 12, sampai dengan tahun 2010 direncanakan dibangun 104 *plant*. Tiap unit *plant* membutuhkan 40 orang, sehingga dibutuhkan 4.160 tenaga terdidik untuk menghasilkan BBN-FGE.

Arifin Panigoro pemilik Medco Group menyatakan bahwa pabrik bioetanol dengan kapasitas 60 juta liter etanol/tahun yang sedang dibangunnya di Kotabumi, Lampung Utara, membutuhkan 150 pegawai tetap di pabrik dan 200.000 tenaga kerja harian untuk budi daya ubi kayu (Kompas, 13 April 2007). Di pihak lain, Rama Prihandana (2007) menyatakan bahwa usaha tani ubi kayu alias singkong memerlukan 110–125 HKO/ha/tahun.

Pro-job tidak hanya terjadi dalam kegiatan *on-farm* dan *off-farm* budi daya ubi kayu, tetapi akan terjadi pula *multiplier effect* dalam kegiatan tersebut, seperti transportasi, bengkel mobil, warung-warung makanan, dan produk pendamping seperti biogas, pakan ternak, dan pupuk organik.

4. Bagaimana sisa hasil usaha petani ubi kayu?

Melalui penerapan budi daya yang baku, tidak sulit untuk memperoleh produktivitas ubi kayu sejumlah 30 ton/ha. Dengan harga jual Rp.250/kg, pendapatan kotor petani ubi kayu adalah Rp7.500.000/musim/ha dan biaya produksi sebesar Rp4.050.000 per hektar terinci di tabel 20, sehingga

sisa hasil usaha petani ubi kayu adalah Rp3.050.000/musim/ha. Bagaimana budi daya yang baku, nanti kita diskusikan di bab berikut!

Tabel 20. Biaya produksi budi daya ubi kayu per hektar

Kegiatan Produksi	Biaya (Rp)
Pengolahan tanah	740.000
Biaya pemeliharaan (budi daya)	1.365.000
Biaya Saprodi (pupuk dan herbisida)	970.000
Biaya panen	375.000
Transportasi hasil panen	1.000.000
Total biaya	4.450.000

Saat ini (Juni 2007) di Lampung dengan harga ubi kayu Rp400/kg, petani yang mengelola lahan seluas 2 ha bisa mengantongi keuntungan mencapai Rp19 juta selama 10 bulan dengan biaya produksi hanya Rp 2,5 juta/ha. (Agrina Vol.3 No. 55, Juni 2007). Petani ubi kayu optimis memperoleh produktivitas 30 ton/ha. Rincian biaya produksi ubi kayu meliputi biaya pengolahan tanah sejumlah Rp300.000/ha, penanaman dan pemeliharaan masing masing sebesar Rp300.000 serta Rp500.000, sarana produksi berupa pupuk dan pestisida terinci Rp800.000 dan Rp200.000, serta biaya panen sekitar Rp300.000–Rp400.000/ha. Bagaimana cara mencapai produktivitas ubi kayu minimal 30 ton/ha? Para petani menggunakan setek sistem sambung. Nanti kita diskusikan di bab berikut!

5. Apa saja yang dibutuhkan pabrik FGE dan berapakah investasinya?

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) merekomendasikan kapasitas minimal pabrik FGE adalah 60 kl/hari agar dapat beroperasi dengan efisien. Kebutuhan bahan dan perkiraan investasi dapat dilihat di tabel 21.

Tabel 21. Kebutuhan bahan baku dan utilitas untuk pembangunan pabrik FGE kapasitas 60 kl/hari

No.	Kebutuhan	Penggunaan
1.	Ubi kayu (bahan baku)	6,5 x 60 ton = 390 ton/hari
2.	Uap air	3,8 x 60 ton/hari = 228 ton/hari
3.	Listrik	0,15 Kwh x 60.000 = 9.000 Kwh
Perkiraan investasi		US\$ 12—14 juta

6. Apakah ekonomis pendirian pabrik FGE?

Tabel 22 menguraikan lebih lanjut tinjauan ekonomi pabrik FGE yang menunjukkan BC ratio 1,18 yang berarti pabrik FGE layak dibangun. Namun untuk meningkatkan efisiensi disarankan pabrik FGE dikelola secara terpadu, yakni di samping produk utama berupa FGE sebaiknya dipungut pula sejumlah produk pendamping, seperti biogas dan pupuk kalium dari limbah cair (*vinasse*) dan gas CO_2 .

Tabel 22. Telaah ekonomi pendirian pabrik *fuel grade ethanol* (FGE)

Produk	<i>Fuel Grade Ethanol</i> (99,5 % v/v)	
Bahan baku	Ubi kayu	386,4 ton/hari
Suplai bahan baku	dari lahan petani 4.680 ha/tahun	
Harga bahan baku	Ubi kayu per ton	Rp300.000
Harga jual FGE	Rp5.000/liter	
Lokasi pabrik	Dalam sentra ubi kayu di Indonesia	
Luas pabrik	8 Ha	
Waktu operasi pabrik	24	jam/hari
	330	hari/tahun
Umur ekonomis	15	tahun
Modal (<i>fixed & working capitals</i>)	Rp151.300.000.000	
<i>Net income cash flow</i>	Rp23.512.550.137	
B/C ratio	1,18	
IRR	13%	
<i>Payback period</i>	6,4	tahun

Sumber: Wahono, 2006



Alat pembuatan FGE.
Hasil rekayasa Balai
Besar Teknologi Pati
(B2PT)-BPPT, Lampung

7. Di manakah rencana pembangunan pabrik FGE berbahan baku ubi kayu?

Departemen Pertanian RI merencanakan di 14 provinsi dan diprioritaskan di 55 kabupaten sentra produksi ubi kayu (tabel 23). Kriteria kabupaten sentra produksi sebagai daerah pengembangan industri FGE sebagai berikut.

- Produksi ubi kayu tahunan minimal 75.000 ton.
- Terdapat lahan tidur atau lahan sawah tadah hujan seluas 1.500 ha.
- Memiliki peluang penanaman ubi kayu selama musim hujan.
- Petaninya bersifat kooperatif dengan pihak industri FGE dan responsif terhadap teknologi inovatif.

Tabel 23. Wilayah dan proyeksi pengembangan industri bioetanol dengan bahan baku ubi kayu

Provinsi	Kabupaten (Jumlah)
Sumatera Utara	2
Sumatera Barat	1
Sumatera Selatan	2
Lampung	6
Banten	1
Jawa Barat	8
Jawa Tengah	14
D.I. Yogyakarta	1
Jawa Timur	15
Kalimantan Barat	1
Kalimantan Timur	1
Nusa Tenggara Timur	2
Sulawesi Selatan	1
Sulawesi Tenggara	1
Jumlah	55

Sumber: Wargiono dkk., 2006

8. Berapakah harga FGE berbahan baku ubi kayu?

Dengan harga ubi kayu sebesar Rp300/kg dan harga uap yang dihitung dengan bahan bakar batu bara, serta harga listrik berdasar tarif PLN, diperoleh harga per liter FGE sebesar Rp3.062 (tabel 24). Harga produksi ini lebih murah dibandingkan dengan FGE berbasis *molasses* yang mencapai harga Rp3.742/liter, khususnya karena harga *molasses* yang relatif mahal (dihitung dengan harga *molasses* Rp900/liter).

Tabel 24. Perkiraan biaya per liter FGE berbasis ubi kayu

No.	Uraian	Ratio/Liter FGE	Harga Satuan	Biaya
1.	Ubi kayu	6,5	300	1.950
2.	Energi			
	% Uap air (kg)	3,8	90 [*])	342
	% Listrik (kwh)	0,2	1.000 ^{**})	200
3.	Bahan kimia	-	-	120
4.	Lain-lain	-	-	450
Total				3.062

Keterangan:

^{*} Berbasis batu bara^{**} Berdasarkan harga PLN

D. Etanol Berbasis Kemasyarakatan

Di atas, kita telah membahas bahwa investasi untuk pendirian pabrik etanol khususnya FGE relatif mahal. Padahal BBN adalah program prorakyat seperti tercantum dalam *triple track*. Apakah masyarakat sekadar menjadi "penonton" dan hanya menikmati BBN-FGE yang akan disediakan oleh para industriawan besar? Apakah rakyat hanya sekadar menjadi petani plasma (penanam komoditas) penghasil etanol? Apakah masyarakat kita tetap akan menjadi petani tebu, singkong, jagung, dan lain-lain, selanjutnya menyector bahan baku BBN tersebut ke pabrik etanol milik para konglomerat? Apakah tidak mungkin, seperti pada program biodiesel, masyarakat akan memproduksi minyak mentah jarak pagar (CJCO) untuk substitusi minyak tanah atau memproduksi minyak murni jarak pagar (SJCO/PPO) untuk mesin tempel kapal, genset, mesin huller (unit pengolah gabah/RMU), dan lain-lain? Apakah tidak mungkin etanol menjadi bagian dalam desa mandiri energi (DME)?

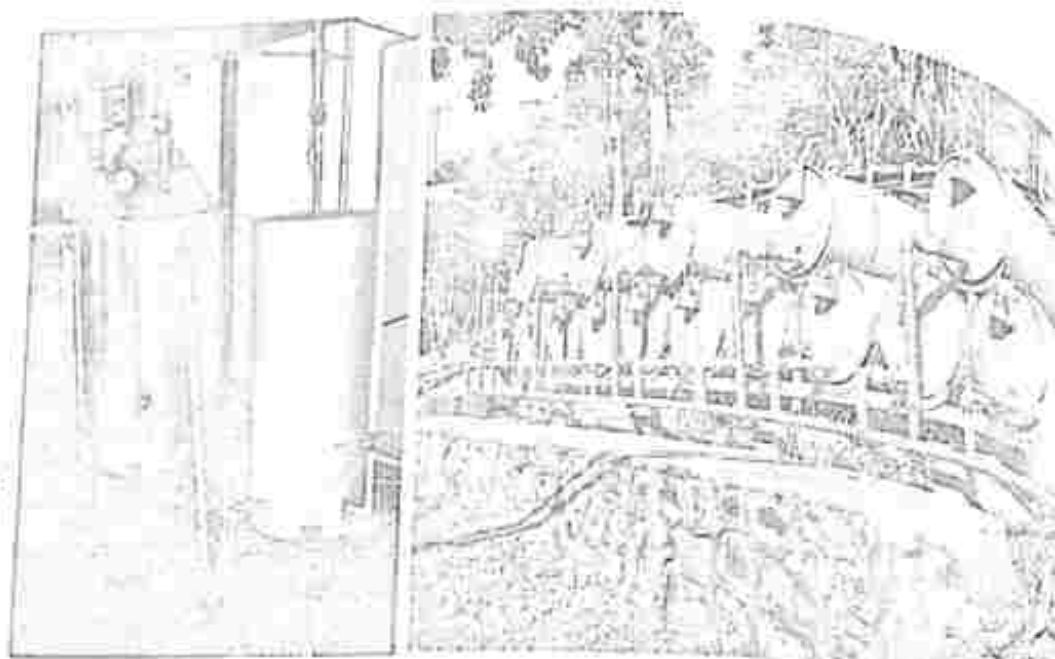
Fakta menunjukkan, sejak puluhan tahun lalu masyarakat di Bekonang, Kabupaten Sukoharjo, Jateng menyuling *molasses* menjadi arak (*cidu*). Demikian pula di Kabupaten Pati, Jateng. Penyulingan tradisional dengan bahan baku nira lontar mampu membuat *moke* di NTT. Cap tikus atau *sopi* disuling masyarakat di daerah Minahasa, Sulawesi Utara, dari nira aren. Bahkan sejak 5–6 tahun silam, di dekat kota Manado telah beroperasi sebuah penyulingan rakyat yang memproduksi etanol berbahan baku nira aren untuk kebutuhan rumah-rumah sakit di seluruh Sulut dan dijual legal di apotek-apotek.

1. Adakah pabrik etanol skala rakyat atau skala rumahan yang relatif modern?

PT Tridaya Usaha Sakti telah mengoperasikan sebuah pabrik bioetanol berkapasitas 500 liter/hari di Cilegon, Banten, dengan bahan baku *molasses* ex-pabrik gula rafinasi. Usaha Kecil Menengah (UKM) ini mampu menyuplai etanolnya ke pabrik kosmetik Sari Ayu, Martha Tilaar. Peralatan UKM ini adalah buatan lokal yang hanya membutuhkan dana sekitar Rp200 juta.

PT Blue, Balikpapan, telah membangun pabrik etanol berkapasitas 200 liter/hari berbahan baku nira aren di Air Mandidi, Minahasa Utara. UKM ini hanya membutuhkan dana investasi lebih kurang Rp2 juta. Hal yang sama telah dikerjakan oleh Yayasan Masarang di pabrik gula kristal aren yang pertama di dunia di Tomohon, Minahasa, Manado. Yayasan ini mengolah *molasses* dari sisa pembuatan gula kristal aren menjadi etanol yang akan ditingkatkan menjadi FGE. Bahkan mereka akan mengintroduksi alat skala kecil, sebesar kotak *container* ukuran 36 m³ yang disebut "jantung zamrud desa" untuk mengolah nira aren menjadi gula kristal dan FGE.

Alat pembuat FGE
dan tangki
fermentor.
Hasil rekayasa
Yayasan Masarang,
Tomohon, Sulut



2. Berapakah investasi pabrik etanol skala kerakyatan?

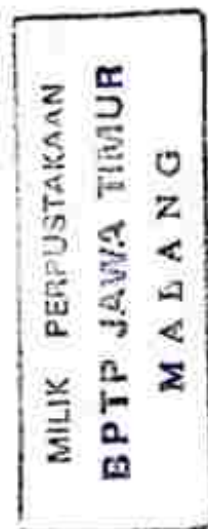
Dengan kapasitas etanol 95%, sebanyak 4.000 liter/hari, dibutuhkan investasi untuk bangunan pabrik (seluas 2.000 m²) dan peralatan lebih kurang Rp2,5 milyar. Investasi ini, dengan harga jual FGE Rp5.500/liter dan harga pokok produksi FGE Rp3.980, akan impas (*break even point* BEP) lebih kurang setahun saja.

PT Panca Jaya Rahardja, Sukabumi, menawarkan pabrik yang berkapasitas lebih kecil dengan produksi 200 liter/hari di lahan seluas 200 m² dan biaya investasi sebesar Rp100 juta. Apabila menggunakan ubi kayu sebagai bahan baku, dibutuhkan suplai ke pabrik ini sejumlah 1.300 kg ubi kayu per hari. Gross profit per hari dilaporkan mencapai Rp810.000 dengan *payback period* selama 4,0 tahun.

3. Bagaimana proses pembuatan bioetanol skala kerakyatan atau skala rumahan dengan bahan baku ubi kayu?

Kita bahas terlebih dahulu mengenai pengolahan ubi kayu segar berkadar pati 28%, yang ditargetkan menghasilkan 7 liter bioetanol. Proses tersebut berlangsung sebagai berikut.

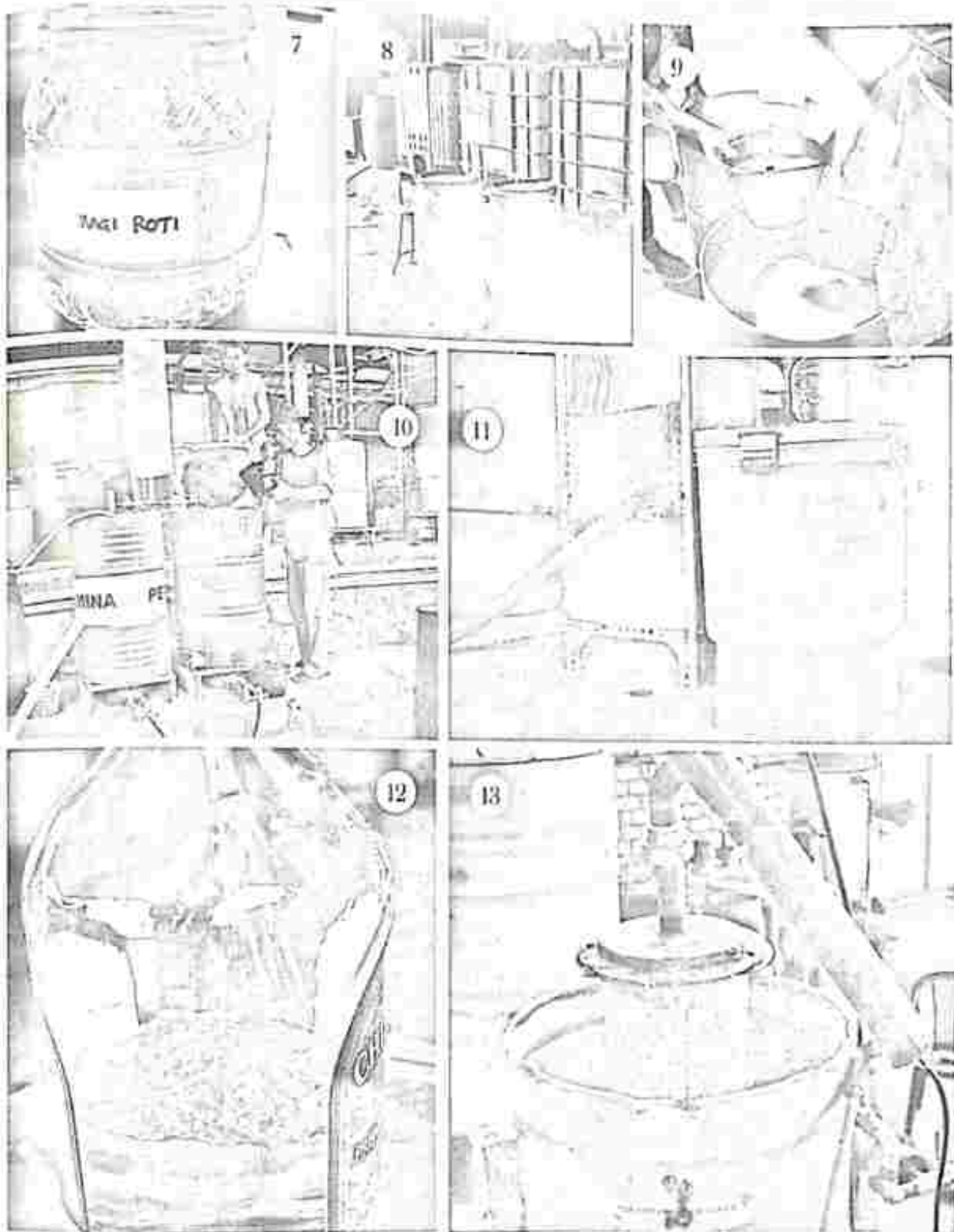
- Kupas kasar ubi kayu segar sebanyak 50 kg. Cuci dan giling dengan mesin penggiling listrik, mesin bensin, ataupun diesel.
- Saring hasil penggilingan untuk memperoleh bubur ubi kayu.
- Masukkan bubur ubi kayu ke dalam drum yang terbuka penuh bagian atasnya.
- Tambahkan air 40–50 liter dan aduk sambil dipanasi menggunakan kompor minyak tanah, gas, ataupun tungku batu bara dan limbah pertanian, baik yang dibakar langsung, seperti batok kelapa, cangkang, sabut, ranting-ranting kayu, maupun limbah pertanian dan peternakan yang diubah menjadi biogas.
- Tambahkan 1,5 ml enzim alfa-amilase (dapat dibeli di toko kimia khusus). Panaskan selama 30–60 menit pada suhu sekitar 90° C.
- Dinginkan hingga suhu menjadi 55–60° C. Gunakan alat penukar panas untuk mempercepat proses pendinginan (*heat exchanger*).
- Tambahkan 0,9 ml enzim gluko-amilase (dapat dibeli toko kimia khusus).
- Jaga temperatur pada kisaran 55–60° C selama 3 jam, lalu dinginkan hingga suhu di bawah 35° C. Gunakan alat penukar panas untuk mempercepat proses pendinginan.
- Tambahkan 1 g ragi roti (dapat dibeli di toko bahan-bahan kue), urea 65 g, dan NPK 14 g. Biarkan selama 72 jam dalam keadaan tertutup, tetapi tidak rapat agar gas karbon dioksida yang terbentuk bisa keluar. Fermentasi yang berhasil ditandai dari aroma seperti tape, suara gelembung gas yang naik ke atas, dan keasaman (pH) di atas 4.
- Pindahkan cairan yang mengandung 7–9% bioetanol itu ke dalam drum lain yang didesain sebagai penguap (evaporator).
- Masak menggunakan kompor minyak tanah, gas, tungku briket batu bara, arang atau bahan bakar lain, hingga keluar uapnya menuju alat distilasi. Hal ini terindikasi melalui rambatan panas dalam pipa menuju alat distilasi dan kenaikan temperatur pada termometer. Nyalakan aliran air di kondensor pengembun uap bioetanol.
- Tahan temperatur bagian atas kolom distilasi pada suhu 79° C ketika cairan bioetanol mulai keluar. Kontrol temperatur dapat dilakukan



dengan dua cara, yakni mengatur aliran air refluks dalam alat distilasi dan atau mengatur api kompor.

- Fraksi bioetanol 90–95% akan berhenti mengalir secara pelan-pelan.
- Keluarkan limbah melalui kran bawah drum, melewati saringan yang akan menahan limbah padat dan meloloskan limbah cair.





Proses pembuatan bioetanol skala kerakyatan dengan kapasitas 200—400 liter bioetanol per hari. 1. Pengupasan ubi kayu, 2. Penggilingan, 3. Penyaringan, 4. Pengadukan bahan sambil dipanaskan, 5. Penambahan enzim, 6. Tangki penampungan dan penukar panas, 7. Ragi roti, 8. Tangki fermentasi, 9. Hasil fermentasi, 10. Pemandahan hasil fermentasi dari fermentor ke evaporator yang dihubungkan dengan tabung distilasi, 11. Bioetanol keluar dari tabung distilasi, 12. Bioetanol, 13. Proses distilasi lanjutan untuk menghasilkan FGE

4. Bagaimana bila kita tidak menggunakan ubi segar, melainkan gaplek?

Kita lakukan prosedur sebagai berikut.

- Tepungkan gaplek sebanyak 17,5 kg menggunakan mesin penggiling.
- Tambahkan air 100 liter dan aduk sambil dipanasi menggunakan kompor minyak tanah, gas atau tungku batu bara, limbah pertanian yang dibakar langsung (batok kelapa, cangkang, sabut, ranting-ranting kayu), atau limbah pertanian dan peternakan yang diubah menjadi biogas.
- Tambahkan 1,5 ml enzim alfa-amilase yang dapat dibeli di toko kimia khusus. Panaskan selama 30 menit pada suhu sekitar 90° C.
- Didihkan selama 30 menit. Selanjutnya dinginkan hingga suhu bahan menjadi 55–60° C. Gunakan alat penukar panas untuk mempercepat proses pendinginan.
- Jaga temperatur pada kisaran 55–60° C selama 3 jam, lalu dinginkan hingga suhu menjadi di bawah 35° C. Gunakan alat penukar panas untuk mempercepat proses pendinginan.
- Tambahkan 1 g ragi roti (dapat dibeli di toko bahan-bahan kue), urea 65 g, dan NPK 14 g. Biarkan selama 72 jam dalam keadaan tertutup, tetapi tidak rapat agar gas karbon dioksida yang terbentuk bisa keluar. Fermentasi yang berhasil ditandai dengan adanya aroma seperti tape, suara gelembung gas yang naik ke atas, dan keasaman (pH) di atas 4.
- Pindahkan cairan yang mengandung 7–9% bioetanol itu ke dalam drum lain yang didesain sebagai penguap (evaporator).
- Masak menggunakan kompor minyak tanah, gas, tungku briket batu bara, arang, atau bahan bakar lain, hingga keluar uapnya menuju alat distilasi. Hal ini terindikasi melalui rambatan panas dalam pipa menuju alat distilasi dan kenaikan temperatur pada termometer. Nyalakan aliran air di kondensor pengembun uap bioetanol.
- Tahan temperatur bagian atas kolom distilasi pada suhu 79° C ketika cairan bioetanol mulai keluar. Kontrol temperatur dapat dilakukan dengan dua cara, yakni mengatur aliran air refluks dalam alat distilasi atau mengatur api kompor.

- Fraksi bioetanol 90–95% akan berhenti mengalir secara perlahan.
- Keluarkan limbah melalui kran bawah drum, melewati saringan yang akan menahan limbah padat dan meloloskan limbah cair.

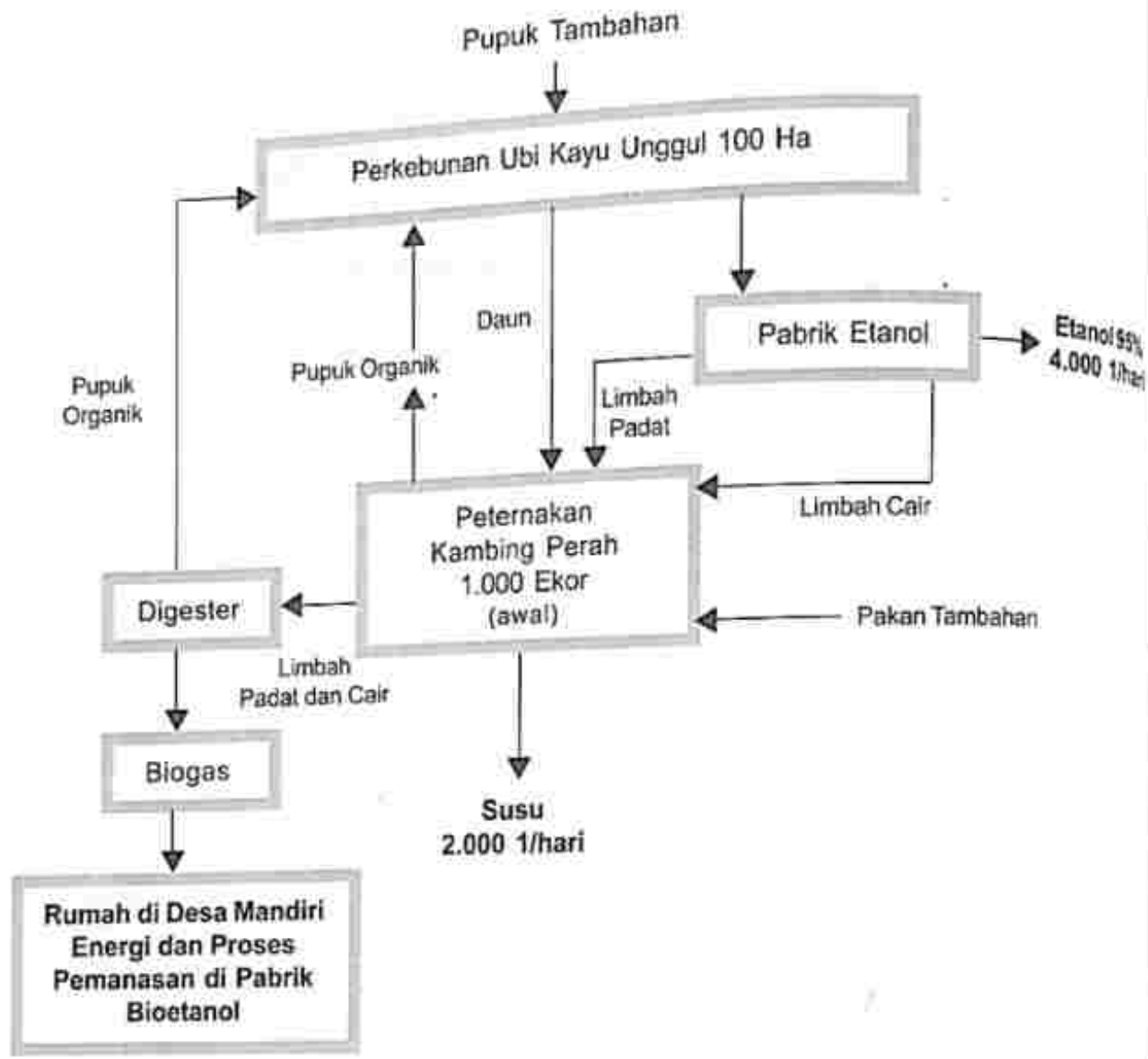
5. Bagaimana peralatan dan bahan sederhana untuk meningkatkan etanol 95% produk skala kerakyatan tersebut menjadi FGE?

Campurkan kapur gamping (CaO) yang ditepungkan dengan komposisi 1 : 4 atau 1 : 2 (1 bagian kapur dan 4 atau 2 bagian etanol 95%). Aduk secara periodik dan biarkan selama 24 jam. Selanjutnya diuapkan (gunakan pemanas tidak langsung) dan disuling dengan penyuling sederhana (alat distilasi satu tingkat).



Dehidrasi bioetanol.
Membuat FGE skala
rumahan menggunakan
CaO atau kapur gamping

6. Agar perekonomian pabrik skala kerakyatan ini terjamin, direkomendasikan terintegrasi dengan peternakan, seperti gambar 16.



Gambar 16. Produksi bioetanol terintegrasi dengan budi daya ubi kayu unggul dan peternakan kambing/sapi

Gambar 16 menunjukkan untuk kapasitas pabrik etanol 4.000 l/hari direkomendasikan areal ubi kayu seluas 100 ha. Di halaman pabrik, dibuat *lagoon* (digester) biogas untuk menampung limbah peternakan dan menghasilkan biogas serta pupuk, sedangkan hewan ternak mendapatkan pakan dari daun ubi kayu dan limbah pabrik etanol. Dengan sistem ini, pengelola pabrik etanol akan memperoleh produk pendamping (*co-product*), berupa susu dan kambing yang dapat dijual sebagai pendapatan tambahan. Langkah ini dapat pula diterapkan pada penggemukan sapi, dengan hasil 500 ekor sapi per 4 bulan.

Pemanfaatan limbah pabrik bioetanol menjadi biogas dapat meningkatkan efisiensi, yakni menekan harga pokok produksi bioetanol. Seperti telah kita bahas, proses pembuatan bioetanol membutuhkan energi yang cukup besar. Tanpa mengintroduksi energi terbarukan yang murah di industri bioetanol (misalnya biogas), misi industri bioetanol untuk menghasilkan FGE, bahan bakar murah dan ramah lingkungan tidak tercapai dengan optimal.

Biogas yang dihasilkan dapat pula dialirkan ke rumah-rumah masyarakat di sekitar pengolahan bioetanol, sebagai bagian dari desa mandiri energi (DME).

**2 m³ biogas setara dengan 1 liter minyak bakar
atau minyak tanah**

7. Dapatkah diuraikan lebih lanjut pemanfaatan biogas dalam penerapan DME?

Di atas telah kita bahas bahwa 2 m³ biogas setara 1 liter minyak bakar atau minyak tanah, sehingga biogas dapat mengganti minyak tanah dan bahan bakar industri. Lebih lanjut Pusat Penelitian Pendayagunaan Sumber Daya Alam dan Pelestarian Lingkungan Institut Teknologi Bandung (2007) mengutip Aziz (1991), Kosaric dan Velikonja (1995) menyatakan bahwa 1 m³ biogas dapat berfungsi sebagai berikut.

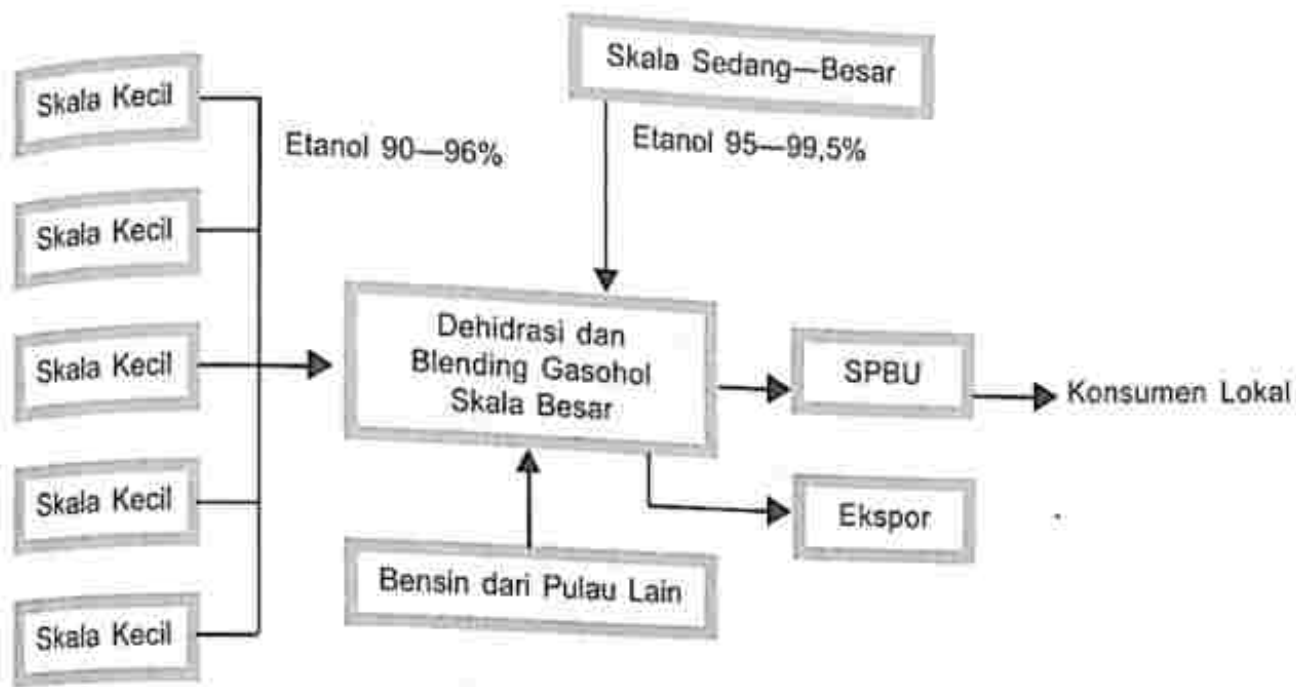
- Menjalankan mesin 2 PK (HP) selama 2 jam.
- Mengoperasikan lemari es 300 liter selama 3 jam.
- Menyalakan lampu kaus (petromaks) setara 60 watt selama 7 jam.
- Cukup untuk memasak 3 jenis santapan bagi 1 keluarga beranggota 4 orang.
- Membangkitkan 1,25 kWh listrik.

Bukankah cukup menguntungkan sistem integrasi di atas? Bagaimana pembuatan digester biogas? Silahkan membaca buku *Meraup Untung dari Jarak Pagar*, di halaman 52–60 dan buku *Teknologi Bioenergi* halaman 52–62.

8. Mengapa dibutuhkan pabrik etanol skala kerakyatan?

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki 18.000 pulau, dengan kontur, ketinggian, jenis tanah, jenis tanaman bahan baku, kultur, jumlah dan kualitas SDM yang beragam, serta infrastruktur yang kurang memadai di berbagai wilayah. Kondisi-kondisi ini tidak menunjang operasi pabrik etanol skala besar.

Disarankan UKM atau koperasi dan perusahaan besar sebagai inti melakukan kerja sama sebagai berikut.



Gambar 17. Kolaborasi pabrik-pabrik bioetanol skala kerakyatan dengan unit dehidrasi dan blending gasohol

Etanol berkadar 90–96% selain dikirim dan dijual ke Unit Dehidrasi dan *Blending*, dimungkinkan pula untuk sarana desa mandiri energi. Etanol dapat dijadikan pengganti minyak tanah untuk dapur-dapur rumah tangga dengan penggunaan kompor khusus. Demikian pula etanol ini mampu menghidupi generator (pengganti bensin atau solar) untuk menyalakan lampu-lampu listrik di desa mandiri energi berbasis bioetanol. Penulis akan menguraikan hal ini dalam buku yang akan datang.

Waspada :

Permasalahan yang harus diantisipasi dalam introduksi bioetanol skala rumahan sebagai berikut.

- Pengamanan agar etanol ini tidak menjadi bahan minuman.
- Pengamanan terhadap bahaya kebakaran.
- Penurunan mutu bioetanol pada proses penyimpanan karena sangat mudah menyerap air.

TIGA

BUDI DAYA UBI KAYU

A. Mengenal Ubi Kayu

Ubi kayu merupakan tanaman pangan dan perdagangan (*cash crop*). Sebagai tanaman perdagangan, ubi kayu menghasilkan *starch*, gapek, tepung ubi kayu, etanol, gula cair, sorbitol, monosodium glutamat, tepung aromatik, dan *pellets*. Ubi kayu dapat menghidupi berbagai industri hulu dan hilir seperti tercantum di lampiran 3.

Sebagai tanaman pangan, ubi kayu merupakan sumber karbohidrat bagi sekitar 500 juta manusia di dunia. Di Indonesia, tanaman ini menempati urutan ketiga setelah padi dan jagung. Sebagai sumber karbohidrat, ubi kayu merupakan penghasil kalori terbesar dibandingkan dengan tanaman lain, seperti ditunjukkan di tabel 25.

Tabel 25. Nilai kalori berbagai tanaman penghasil karbohidrat

No.	Jenis Tanaman	Nilai Kalori (Kal/Ha/Hr)
1.	Ubi kayu	250 x 10 ³
2.	Jagung	200 x 10 ³
3.	Beras	176 x 10 ³
4.	Sorgum	114 x 10 ³
5.	Gandum	110 x 10 ³

Indonesia adalah penghasil ubi kayu urutan keempat terbesar di dunia setelah Nigeria, Brasil, dan Thailand. Namun, pasar ubi kayu dunia dikuasai oleh Thailand dan Vietnam.

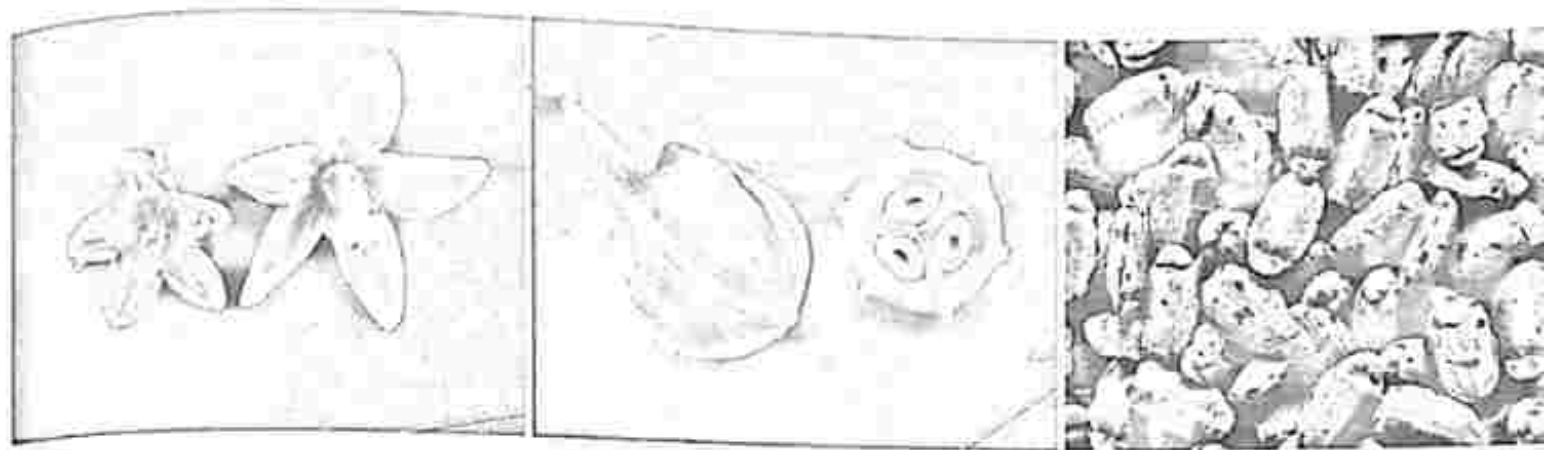
1. Mari kita mengenal klasifikasi ubi kayu!

Dalam sistematika tanaman, ubi kayu termasuk kelas Dicotyledoneae. Ubi kayu masuk dalam famili Euphorbiaceae yang mempunyai 7.200 spesies, beberapa di antaranya mempunyai nilai komersial, seperti karet (*Hevea brasiliensis*), jarak (*Ricinus communis* dan *Jatropha curcas*), umbi-umbian (*Manihot* spp), dan tanaman hias (*Euphorbia* spp). Klasifikasi tanaman ubi kayu sebagai berikut.

Kelas : Dicotyledoneae
 Sub kelas : Arhichlamydeae
 Ordo : Euphorbiales
 Famili : Euphorbiaceae
 Sub famili : Manihotae
 Genus : Manihot
 Spesies : *Manihot esculenta* Crantz

Manihot esculenta Crantz mempunyai nama lain *M. utilissima* dan *M. alpi*. Semua genus Manihot berasal dari Amerika Selatan. Brasil merupakan pusat asal dan sekaligus sebagai pusat keragaman ubi kayu. Manihot mempunyai 100 spesies yang telah diklasifikasikan dan mayoritas ditemukan di daerah yang relatif kering.

Tanaman ubi kayu tumbuh di daerah antara 30° lintang selatan dan 30° lintang utara, yakni daerah dengan suhu rata-rata lebih dari 18° C dengan curah hujan di atas 500 mm/tahun



Bunga, buah, dan biji ubi kayu. Diperlukan untuk pemuliaan tanaman guna menghasilkan varietas unggul baru

Namun demikian, tanaman ubi kayu dapat tumbuh pada ketinggian 2.000 m dpl atau di daerah sub-tropika dengan suhu rata-rata 16° C. Di ketinggian tempat sampai 300 m dpl tanaman ubi kayu dapat menghasilkan umbi dengan baik, tetapi tidak dapat berbunga. Namun, di ketinggian tempat 800 m dpl tanaman ubi kayu dapat menghasilkan bunga dan biji.

2. Di manakah sentra ubi kayu Indonesia?

Produksi ubi kayu tahun 2005 sebesar 19,5 juta ton dengan areal seluas 1,24 juta ha. Provinsi Lampung adalah daerah penghasil ubi kayu terbesar (24%), diikuti Jawa Timur (20%), Jawa Tengah (19%), Jawa Barat (11%), Nusa Tenggara Timur (4,5%), dan DI Yogyakarta (4,2%).

3. Apakah permasalahan utama pengembangan ubi kayu di Indonesia?

Produktivitasnya yang relatif rendah, meskipun dari tahun ke tahun terdapat tendensi peningkatan. Produktivitas ubi kayu pada tahun 1995 sebesar 11,7 ton/ha, tahun 2005 sebesar 15,5 ton/ha, dan tahun 2006 sebesar 16,2 ton/ha. Produktivitas ini relatif kecil dibandingkan dengan

data dari pusat atau balai penelitian yang melaporkan bahwa produktivitas ubi kayu dapat mencapai 30–40 ton/ha.

Rentang produktivitas di tingkat petani adalah 14,3–18,8 ton/ha (BPS, 2005). Meskipun di lahan kering pada tingkat 15–19 ton/ha, penanaman ubi kayu dilaporkan memiliki keunggulan komparatif dibandingkan dengan padi gogo dan palawija lain. Wagiono dkk. (2006) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan merekomendasi produktivitas sebesar 20–25 ton/ha agar menguntungkan, yaitu dengan B/C rasio lebih dari 1,0 dengan harga ubi di tingkat petani Rp250–Rp 300/kg.

4. Apakah penyebab rendahnya produktivitas ubi kayu?

Para peneliti sepakat bahwa penyebab produktivitas ubi kayu rendah sebagai berikut.

- Para petani belum menggunakan varietas unggul baru (VUB). Saat ini para petani hanya menggunakan bibit dari pertanaman musim sebelumnya dan 10% saja yang menggunakan VUB.
- Kualitas bibit tidak optimal karena disimpan selama 2–3 bulan.
- Dosis rekomendasi pupuk belum diterapkan.
- Panen tidak tepat waktu karena para petani menanam serempak pada awal musim hujan.
- Promosi dan diseminasi yang kurang optimal.
- Minat petani yang rendah karena fluktuasi harga. Ubi kayu hanya dianggap sebagai komoditas inferior, karena ditanam oleh petani miskin dan terbelakang.

Sehubungan hal inilah, Tim Nasional Pengembangan BBN dalam buku *Blue Print Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran*, menyarankan sebagai berikut.

- Sosialisasi penggunaan bibit unggul ubi kayu nasional.
- Perbanyak bibit unggul ubi kayu oleh kebun-kebun bibit pemerintah dan swasta.
- Sosialisasi perbaikan teknik budi daya dalam rangka peningkatan produktivitas.

B. Varietas Unggul Ubi Kayu dan Pembibitan

1. Adakah VUB ubi kayu?

Sejak tahun 1978, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah melepas 10 varietas unggul ubi kayu. Produktivitasnya cukup tinggi, antara 22–102 ton/ha (Subartina, 2005 dan Hartoyo, 2005 dalam Noerwijati dan Hartoyo, 2006). Namun, ubi kayu untuk bahan baku FGE disarankan memiliki sifat sebagai berikut.

- Berkadar pati tinggi.
- Potensi hasil tinggi.
- Tahan cekaman biotik dan abiotik.
- Fleksibel dalam usaha tani dan umur panen.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan merekomendasi 4 varietas sesuai kriteria di atas (tabel 26).

Tabel 26. Karakteristik empat varietas unggul ubi kayu untuk bahan baku FGE

Varietas	Umur (Bulan)	Hasil (Ton/Ha)	Kadar Pati (%)
Adira-4	8	25–40	25–30
Malang-6	9	36,4	25–32
UJ-3	8	30–40	25–30
UJ-5	9–10	25–38	20–30

Sumber: Wargono dkk., 2006.

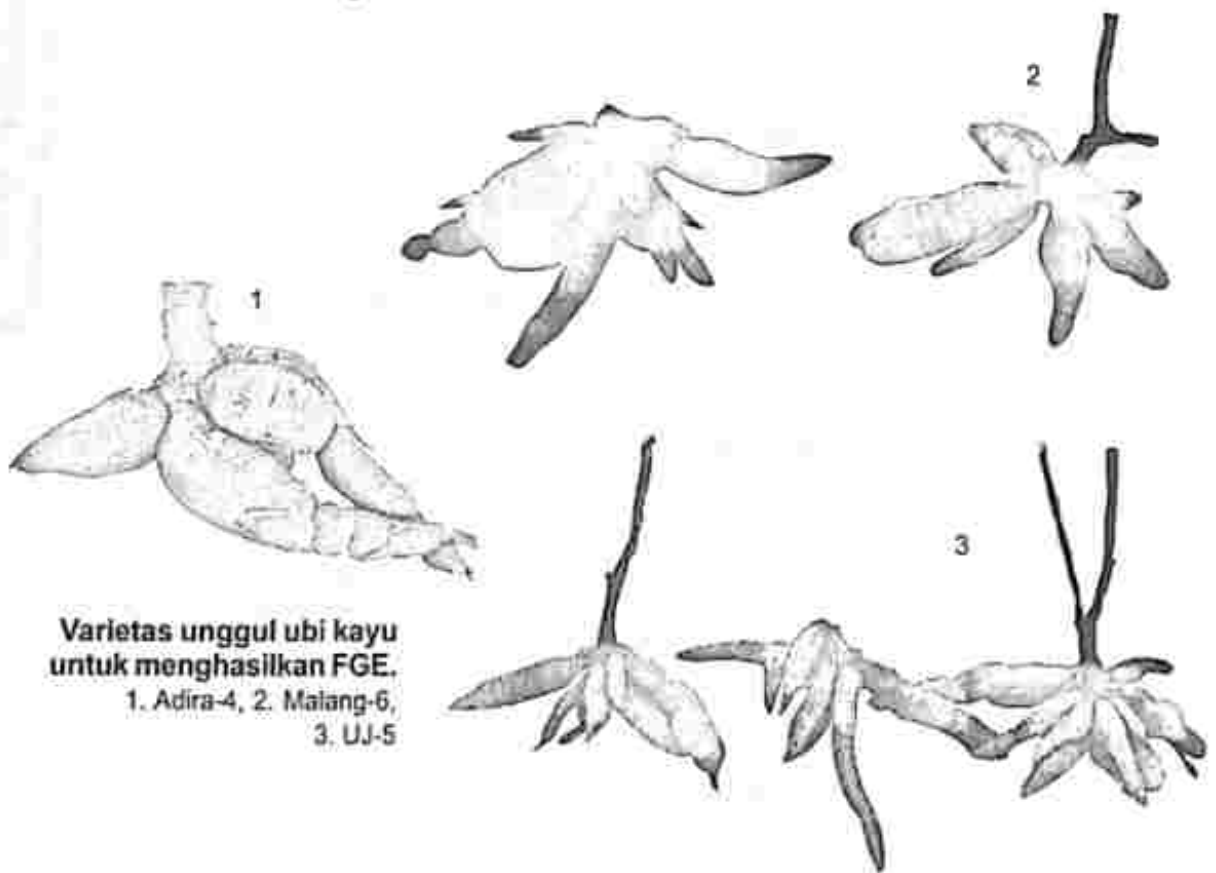
2. Apakah sifat positif lain dari empat varietas di atas?

Varietas-varietas ini memiliki sifat positif lain, seperti di bawah ini.

- Daun tidak mudah gugur. Sifat ini penting karena menunjukkan toleran terhadap kekeringan. Jika pada musim kemarau suatu varietas mudah gugur daunnya, tanaman akan cepat mati dan waktu panen tidak dapat ditunda. Penundaan waktu panen akan kita diskusikan lebih lanjut.



- Adaptif di tanah ber-pH tinggi dan rendah. Jenis lahan di sentra ubi kayu umumnya didominasi oleh tanah alkalin dan tanah masam. Oleh karena itu dibutuhkan varietas yang toleran pH rendah dan tinggi, toleran keracunan Al, dan efektif memanfaatkan hara P yang terjerap.
- Adaptif pada kondisi populasi tinggi, sehingga mampu menekan pertumbuhan gulma. Sifat ini diperlukan terkait penekanan biaya pengendalian gulma dan pengendalian erosi.
- Dapat dikembangkan dalam pola tumpang sari. Sifat ini dibutuhkan terkait dengan peningkatan pendapatan petani, kebutuhan petani akan tanaman pangan lain, dan pengendalian erosi.



Varietas unggul ubi kayu untuk menghasilkan FGE.
1. Adira-4, 2. Malang-6, 3. UJ-5

3. Yuk, kita telaah lebih lanjut sifat positif dari empat varietas ubi kayu di atas terkait FGE!

Kita lihat tabel 27, sebuah penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Balai Besar Teknologi Pati (B2TP) Sulusuban, Lampung dan Laboratorium Pengolahan dan Kimia, Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (Balitkabi), Malang, pada bulan Agustus–Oktober 2006.

Tabel 27. Komposisi kimia, rasio fermentasi, dan angka konversi menjadi bioetanol 96% dari beberapa varietas ubi kayu

No.	Varietas	Kadar Bahan Kering (%)	Kadar Gula Total (%bb)	Kadar Pati (%bk)	Rasio Fermentasi (%) [*]	Konversi Ubi Segar Menjadi Bioetanol (Kg/Liter) ^{**}
1.	Adira	39,51	40,93	80,31	69,76	4,45
2.	Malang-6	45,07	39,12	80,46	69,35	4,68
3.	UJ-3	41,34	36,22	79,57	95,97	4,70
4.	UJ-5	46,31	43,47	80,24	86,44	4,35

Keterangan:

- Fermentasi ubi kayu segar menjadi bioetanol dengan kadar 7—11%.
- Etanol dengan kadar 96% (efisiensi distilasi dianggap 95%).

Sumber: Ginting dkk., 2006

Tampak bahwa angka konversi ubi segar menjadi bioetanol dari varietas ubi kayu unggul lebih tinggi dibandingkan dengan ubi kayu "asalan" (tabel 7).

4. Sekarang kita tahu bahwa sebenarnya Badan Litbang Pertanian telah menyediakan varietas unggul ubi kayu. Mengapa varietas-varietas tersebut tidak sampai ke petani agar dapat mendongkrak produktivitas ubi kayu?

Di atas telah kita bahas bahwa ubi kayu sampai saat ini hanya dipandang sebagai komoditas inferior. Hal inilah yang menyebabkan pengembangan ubi kayu belum didukung dana yang memadai dari pemerintah. Hambatan lain sebagai berikut.

- Biaya transportasi bibit ubi kayu cukup mahal, karena runkah (*bulky*).
- Tingkat penggandaan bibit rendah, sehingga pendapatan penangkar juga rendah.
- Daya tumbuh bibit cepat menurun, sehingga tidak dapat disimpan lama.
- Petani belum menganggap penting penggunaan bibit berlabel.

5. Bagaimana mengatasi permasalahan di atas, karena kita segera membutuhkan varietas unggul untuk pembuatan FGE? Biaya transportasi dapat ditekan dengan sistem penangkaran bibit secara *in situ* yang dikelola kelompok tani atau pengusaha, sehingga tingkat pengandaan bibit dapat ditingkatkan dengan metode penangkaran bibit secara cepat (*rapid multiplication*).

6. Bagaimanakah cara penangkaran bibit secara cepat? Mohon penjelasan!

Dalam pembibitan tradisional, satu batang ubi kayu hanya diperoleh 10–20 setek, sehingga luas areal pembibitan harus tersedia minimal 20% dari luas areal yang akan ditanami ubi kayu. *Rapid multiplication* menggunakan setek pendek dengan 2–3 mata tunas, sehingga dari satu batang ubi kayu dapat dihasilkan 100–200 kali lebih banyak dibandingkan dengan pembibitan secara tradisional. Langkah penyelenggaraan *rapid multiplication* yaitu (a) penyemaian bibit, (b) pemindahan bibit, (c) pemeliharaan, dan (d) panen.



Efisiensi penggunaan setek ubi kayu. Bandingkan jumlah setek yang dihasilkan melalui metode *rapid multiplication* dengan pembibitan tradisional

7. *Yuk*, kita mulai membahas penyemaian bibit!

- Potong batang ubi kayu varietas unggul menjadi satu, dua, atau tiga mata tunas.
- Siapkan media persemaian berupa bak plastik yang diisi air, tanpa diberi pupuk atau bahan kimia lain. Ketinggian air sekitar 0,5 cm dari dasar bak plastik.
- Di atas permukaan air, hamparkan kertas koran. Kertas ini sebaiknya disangga dengan anyaman bambu atau penyangga lain agar tidak tenggelam. Kertas harus dipertahankan dalam keadaan basah selama 7-14 hari.
- Letakan setek yang akan disemai di atas kertas koran yang basah tersebut dengan posisi vertikal.



Bibit ubi kayu di tray persemaian. Berasal dari setek dengan 3 mata tunas dan telah berumur 2 minggu

8. Lanjut, kita ke pemindahan bibit!

- Setelah persemaian berumur 10–14 hari, pindahkan bibit ke lahan pembibitan yang telah diolah (kita akan membahas pengolahan tanah pada bahasan berikutnya).
- Pada saat penanaman bibit, tanah harus dalam keadaan kapasitas lapang.
- Jarak tanam yang dianjurkan adalah 75 x 80 cm.

Dalam keadaan cuaca optimal, khususnya kelembapan tanah yang cukup baik, setek dengan 2–3 mata tunas dapat langsung ditanam tanpa melalui persemaian.

9. Kemudian kita melaksanakan pemeliharaan bibit. Apa saja yang kita lakukan?

Pemeliharaan bibit meliputi pemupukan, pengendalian gulma, serta pengendalian hama dan penyakit tanaman. Pemupukan kebun bibit dianjurkan sejumlah 150–200 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha. Pupuk diberikan secara bertahap, yaitu 50% urea, seluruh SP36 dan KCl pada saat bibit berumur 2 minggu dan 50% urea pada umur 12 minggu.

10. Akhirnya kita sampai ke tahap akhir pembibitan, yakni panen bibit. Apa saja yang harus kita ketahui?

- Panen dilakukan saat tanaman berumur 7–12 bulan.
- Potonglah batang sekitar 10 cm dari pangkal batang.
- Buang batang bagian pucuk yang belum berkayu.
- Kumpulkan 10–20 batang dan ikatlah ujung bawah dan ujung atasnya. Selanjutnya simpan di tempat yang terlindung.
- Ikatan hendaknya diletakkan tegak lurus dan jangan “ditidurkan” untuk mencegah tunas-tunas tumbuh selama masa penyimpanan.
- Bibit yang disimpan sebaiknya sepanjang mungkin (minimum 1,5 meter) agar tidak mudah mengering.
- Sebaiknya ujung-ujung potongan batang diberi ter atau lilin agar tidak cepat kering.

Ingat!

- Panen dilakukan saat bibit akan ditanam atau maksimal 1 bulan sebelum bibit ditanam.
- Peliharalah setek agar tidak terkelupas kulitnya, terutama bakal tunas agar daya tumbuhnya tidak menurun.

- Tanaman yang telah dipanen tersebut dapat dijadikan tanaman pembibitan kedua, dengan cara membiarkan dua tunas tumbuh dan dipelihara seperti pada pembibitan pertama.

C. Pengolahan Tanah

1. Apa *sih* tujuan pengolahan tanah?

Pengolahan tanah bertujuan sebagai berikut.

- Memperbaiki struktur tanah.
Tanah yang baik untuk budi daya ubi kayu seharusnya memiliki struktur remah atau gembur, sejak fase awal pertumbuhan tanaman hingga panen.
- Menekan pertumbuhan gulma.
Hal ini dilakukan agar ubi kayu tidak bersaing dengan berbagai gulma dalam mengambil hara tanah, pupuk, dan air.
- Menerapkan sistem konservasi tanah untuk memperkecil peluang terjadinya erosi.

Hal ini penting dilakukan agar kesuburan tanah tetap lestari, karena sentra ubi kayu didominasi lahan-lahan yang relatif peka erosi.



Pengolahan tanah.
Bertujuan untuk memperbaiki struktur tanah, menekan pertumbuhan gulma, dan mengurangi terjadinya erosi tanah

2. Bagaimana pengaruh pengolahan tanah terhadap produksi dan erosi tanah?

Tabel 28 menunjukkan pengaruh tanpa olah tanah (TOT) dibandingkan dengan pengolahan minimal (hanya cangkul), pengolahan sempurna (dengan traktor 3–7 bajak piring atau hewan tradisional), dan pengolahan sempurna yang diikuti guludan (*ridging*) yang dibuat searah kontur sebagai pengendali erosi.

Tabel 28. Efektivitas pengolahan tanah konservasi dan produktif

Perlakuan	Hasil Ubi Segar (ton/ha)	Tanah Tererosi (to/ha/tahun)
Tanpa olah tanah (TOT)	15,0	7,6
Cangkul 1 kali	14,3	10,3
Bajak traktor 7 <i>disc</i> 2 kali	19,0	66,8
Bajak traktor 7 <i>disc</i> 2 kali + guludan	25,4	30,8

Sumber: Suparno, 1990 dalam Wargiono dkk., 2006

D. Cara Tanam

1. Sebelum kita membahas cara tanam ubi kayu yang benar, mari kita diskusikan bibit yang baik untuk budi daya ubi kayu skala komersial!

Asal setek, diameter bibit, ukuran setek, dan lama penyimpanan bibit berpengaruh terhadap daya tumbuh dan produksi ubi kayu, seperti yang ditunjukkan di tabel 29. Bibit yang dianjurkan sebagai berikut.

- Setek berasal dari batang bagian tengah yang sudah berkayu.
- Panjang 15–20 cm.
- Diameter 2–3 cm.
- Tanpa penyimpanan.

Ingat!

Pada waktu memotong setek, upayakan agar ujung setek tidak pecah atau terbelah. Gunakan gergaji dengan alas batang pisang atau gunakan parang yang tajam.

Tabel 29. Daya tumbuh dan hasil ubi kayu berdasarkan kondisi bibit

Kondisi Bibit	Daya Tumbuh (%)	Hasil (%)
1. Bagian batang		
- Tengah	100	100
- Pangkal	95	88
- Pucuk	33	62
2. Diameter setek		
- < 2 cm	94	93
- 2—3 cm	100	100
- > 3 cm	95	90
3. Panjang setek		
- 2 mata	95	98
- 3 mata	96	98
- 20 cm (12 mata)	100	100
4. Lama penyimpanan		
- 0 minggu	100	-
- 4 minggu	87	-
- 8 minggu	60	-

Sumber: Wargiono dkk., 2006

2. Mari kita membahas cara tanam ubi kayu!

Anjuran cara tanam sebagai berikut.

- Pangkal setek dipotong rata atau runcing.

Pangkal setek yang dipotong miring akan berdampak pada pertumbuhan akar yang tidak merata

- Tanamlah setek dalam posisi vertikal.

Setek yang ditanam dalam posisi lain (miring 45° dan horisontal), akarnya tidak terdistribusi secara merata. Volume akar di tanah dan penyebarannya berpengaruh pada jumlah hara yang dapat diserap tanaman, selanjutnya berdampak pada produksi.

Ingat!

Jangan terbalik! Pemotongan ujung setek meruncing, membantu agar setek tidak ditanam terbalik.



Penanaman setek ubi kayu di lahan. Posisi vertikal memiliki daya tumbuh dan hasil relatif maksimal dibandingkan dengan posisi penanaman miring dan horisontal

— Kedalaman tanam 15 cm, baik pada musim hujan maupun musim kemarau.

Hal ini terkait dengan kelembapan tanah untuk menjaga kesegaran setek. Disarankan menanam dalam keadaan tanah gembur dan lembab. Tanah dengan kondisi ini akan menjamin kelancaran sirkulasi O_2 dan CO_2 serta meningkatkan aktivitas mikrobia tanah. Keadaan ini dapat memacu pertumbuhan daun untuk menghasilkan fotosintat secara maksimal yang akan ditranslokasikan ke tempat penyimpanan cadangan makanan (ubi) ubi kayu secara maksimal pula. Tabel 30 memperjelas manfaat anjuran di atas.

Tab. 30 Hasil uji ubi kayu menurut cara tanam dan pengolahan yang berbeda

Cara Tanam dan Pengolahan Tanah	Musim Hujan		Musim Kemarau	
	Daya Tumbuh (%)	Hasil Relatif (%)	Daya Tumbuh (%)	Hasil Relatif (%)
Pusat tebak Kulak Miring (45°) Mendatar	100	100	100	100
	100	96	92	92
	92	69	71	58
Kebiasaan tanah 27 cm 35 cm	97	87	75	74
	98	90	98	91
Pengolahan tanah Gusur (ridge) Tanpa gusur	98	93	82	83
	98	84	93	84

Menurut: Penanaman pada awal musim hujan
Sumber: Soedjati, 2001 dalam Wagiono dkk., 2006

5. Kita telah membahas sedikit tentang kelembapan tanah yang memegang peranan penting bagi perkecambahan atau pertumbuhan bibit ubi kayu. Apakah ada persyaratan tentang curah hujan dan intensitas cahaya bagi ubi kayu?

Ubi kayu mampu berproduksi baik pada lingkungan suboptimal dan mempunyai pertumbuhan yang relatif lebih baik pada lingkungan suboptimal dibandingkan dengan tanaman lain. Namun, agar dapat berproduksi optimal ubi kayu membutuhkan curah hujan 150–200 mm/bulan saat umur 1–3 bulan, 250–300 mm/bulan saat umur 4–7 bulan, dan 100–150 mm/bulan pada fase menjelang dan saat panen.

Curah hujan di awal pertumbuhan dibutuhkan untuk memacu perkecambahan, sedangkan curah hujan di fase menjelang dan saat panen diperlukan agar dapat dilaksanakan strategi memuda panen. Hal ini akan kita diskusikan lebih lanjut.

Ingat!

Agar hasil optimal, ubi kayu harus ditanam di daerah panas dengan penyinaran minimum 10 jam/hari. Oleh karena itu, ubi kayu tidak dapat ditanam di bawah naungan.

- Ubi kayu memang relatif tahan kering, tetapi di daerah dengan musim kering lebih dari 6 bulan akan terjadi umbi yang mengayu dan berserat. Bila ditanam di daerah dengan curah hujan tinggi, terjadi berbagai dampak negatif seperti serangan cendawan di batang atau umbi. Rendahnya produksi, di samping karena serangan cendawan, juga disebabkan pertumbuhan ubi kayu lebih banyak diarahkan ke bagian vegetatifnya.

E. Pola Tanam dan Pengendalian Erosi

1. Ubi kayu dapat ditanam secara monokultur dan tumpang sari. Apakah kekurangan dan kelebihan pola tumpang sari?

Kekurangan

- Terjadi persaingan pengambilan hara, air, dan cahaya matahari antartanaman.
- Kebutuhan tenaga kerja lebih besar.

Kelebihan

- Efektif untuk mengendalikan erosi.
- Meningkatkan efisiensi penggunaan lahan.
- Memperkecil risiko kegagalan.
- Meningkatkan pendapatan bersih per tahun dan terdistribusi secara merata.
- Meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.
- Memenuhi kebutuhan pangan.
- Memperbaiki sifat fisika dan kimia tanah karena dapat diperoleh serasah atau limbah panen dari tanaman sela yang dikembalikan ke tanah.

Tabel 31 menunjukkan keragaan pendapatan pada pola tumpang sari

Tabel 31. Hasil panen dan sisa hasil usaha ubi kayu monokultur dibandingkan dengan tumpang sari di lahan kering di Punggur, Lampung Tengah (Podsolik) MT 2005/2006

No.	Uraian	Ubi Kayu Monokultur	Ubi Kayu + Jagung	Ubi Kayu + Jagung + Kacang Tanah
1.	Hasil Panen (ton/ha)¹⁾ - Umbi segar - Biji kacang tanah - Biji jagung	35.475 - -	42.458 - 1.963	39.475 0,888 2.225
2.	Penerimaan (Rp/ha) - Umbi segar - Biji kacang tanah - Biji jagung	9.223.500 9.223.500 - -	12.603.550 11.038.950 - -	14.706.000 10.263.500 2.662.500 1.780.000
3.	Biaya (Rp/ha)	2.934.000	5.101.345	6.895.500
4.	Keuntungan (Rp/ha)	6.289.500	7.502.205	7.810.500

¹⁾ Purata 4 klon ubi kayu

Sumber: Praseliawati dan Munip (2006) dalam Subandi dkk., 2006

2. Bagaimana rekomendasi tanaman tumpangsari?

Di lahan peka erosi dianjurkan menerapkan pola tumpang sari ubi kayu dengan padi gogo dan aneka kacang. Di lahan yang tidak peka erosi, ubi kayu dapat ditumpangsarikan dengan jagung. Jarak tanam untuk tanaman sela yang efektif mengendalikan erosi dan dapat berproduksi optimal adalah 40 cm antara barisan dan 10–15 cm dalam barisan. Anjuran populasi optimal ubi kayu pada pola tumpang sari adalah 10.000 tanaman/ha.

Jika dalam pelaksanaan tumpang sari akan ditanam tanaman sela lebih dari satu kali dalam setahun, misalnya ubi kayu + padi + jagung + kacang-kacangan, dianjurkan jarak antarbarisan ubi kayu diperlebar hingga 200–250 cm dan jarak dalam barisan diperapat hingga 0,5 meter. Namun bila hanya satu kali tanaman sela, jarak tanam ubi kayu seyogyanya 125 x 80 cm.



Tumpang sari ubi kayu model baris ganda.
Dapat diterapkan untuk penanaman tanaman sela lebih dari satu kali dalam setahun, misalnya ubi kayu + jagung + kacang tanah. Jadi sebelum panen ubi kayu, petani sudah dapat menikmati hasil panen jagung dan kacang tanah

3. Ubi kayu lazim ditanam pada awal musim hujan karena sentra-sentra ubi kayu adalah lahan kering dan berbukit yang peka erosi. Dalam sistem monokultur terdapat kemungkinan terjadi erosi, karena selama tiga bulan pertama tanah antarbarisan belum tertutupi oleh kanopi. Tumpang sari berfungsi ganda dalam pengendalian gulma. Bagaimana dampak tumpang sari terhadap hasil ubi kayu dan pengendalian erosi?

Sistem tumpang sari menurunkan jumlah tanah yang tererosi. Tumpang sari ubi kayu + kacang + satu baris rumput gajah mempunyai efek menghambat erosi paling efektif dibandingkan dengan sistem tumpang sari lainnya. Hasilnya, ubi kayu meningkat dibandingkan dengan sistem monokultur, kecuali tumpang sari ubi kayu + jagung. Yuk, kita lihat tabel 32.

Tabel 32. Hasil ubi kayu dengan perlakuan tumpang sari terhadap erosi

Perlakuan	Tanah Tererosi (Ton/Ha)	Hasil Ubi Segar (Ton/Ha)
Ubi kayu monokultur	31,90	16,75
Ubi kayu + jagung	27,54	14,38
Ubi kayu + kacang tanah	16,60	20,13
Ubi kayu + 2 baris rumput gajah	23,81	18,25
Ubi kayu + kacang + 1 baris rumput gajah	13,99	23,38

Sumber: Wagiono, 1998 dalam Wagiono dkk., 2006

F. Populasi Tanaman

1. Di atas kita telah membahas bahwa populasi ideal tanaman ubi kayu adalah 10.000 batang per hektar. Bagaimana rekomendasi lebih rinci tentang populasi tanaman?

Populasi tanaman ditentukan oleh tingkat kesuburan tanah dan tipe kanopi tanaman. Rekomendasi tersebut sebagai berikut.

- Tanah subur, 10.000 batang per hektar (baik untuk varietas ubi kayu bercabang maupun tidak bercabang).
- Tanah kurus, 15.000 batang per hektar.

2. Bagaimana penerapan populasi tersebut terkait model jarak tanam?

Jarak tanam model barisan (90 x 74 cm) menghasilkan produktivitas 7–12% lebih tinggi dibandingkan dengan jarak tanam segi empat (100 x 100 cm dan 100 x 80 cm). Hal ini disebabkan ruang antarbarisan pada model barisan lebih meningkatkan intersepsi cahaya matahari.

Jarak tanam model barisan yang dianjurkan sebagai berikut.

- Monokultur di tanah subur: 125 cm x 80 cm.
- Monokultur di tanah kurang subur: 100 x 66 cm atau 125 x 64 cm.
- Tumpang sari (di tanah subur): 200 x 50 cm atau 250 x 50 cm.



Penanaman monokultur. Jarak tanam untuk tanah yang kurang subur cenderung diperkecil dibandingkan dengan monokultur di tanah subur

3. Bagaimana penerapan pengaturan kanopi tanaman untuk mendapatkan produktivitas optimal?

- Pertahankan dua tunas tanaman sejak awal pertumbuhan hingga panen.
- Panen daun yang sudah tua, sekitar 25% dari jumlah daun untuk setiap tanaman pada umur tanaman 6–7 bulan.

Gambar 2.3 Pengaruh jumlah tunas dan pemanenan daun tua terhadap hasil

Perlakuan	Hasil Ubi Segar (Ton/Ha)
Jumlah tunas/tanaman	
1 tunas	15,08
2 tunas	20,39
3 tunas	17,95
Daun tua yang dipanen	
0%	48,44
25%	51,07
50%	49,33
75%	47,30

Sumber: Wagiono, 2001 dalam Wagiono dkk., 2006

G. Waktu Tanam dan Sulam

1. Kapan waktu tanam yang tepat?

- Secara umum, sebelum musim penghujan atau pada saat tanah tidak berair agar struktur tanah tetap terpelihara.
- Di lahan kering beriklim basah, waktu terbaik untuk bertanam yaitu awal musim hujan atau akhir musim hujan (November–Desember dan Juni–Juli).
- Di lahan sawah, penanaman dilakukan setelah panen padi.
- Di daerah-daerah yang curah hujannya cukup tinggi dan merata sepanjang tahun, ubi kayu dapat ditanam setiap waktu.

2. Di atas, kita telah membahas bahwa salah satu permasalahan budi daya ubi kayu di Indonesia adalah saat tanam serentak, yakni sebagian besar pada awal musim hujan. Hal ini mengakibatkan waktu panen yang serentak pula, sehingga harga ubi kayu menjadi relatif murah dan terjadi ketidaksinambungan suplai bahan baku ke pabrik bioetanol. Bagaimana strategi untuk mengatasi masalah ini?

Masalah ini dapat diatasi dengan menunda umur panen karena kadar pati dalam ubi kayu tidak menurun meski panen ditunda beberapa bulan setelah fase kadar pati optimal. Bahkan, hasil pati meningkat karena bobot ubi cenderung meningkat dengan bertambahnya umur tanaman sehingga menguntungkan petani.

3. Bagaimana penerapan strategi ini?

- Atur lah setiap wilayah dengan menanam ubi kayu berdasarkan umur panen, yaitu genjah (7–9 bulan), sedang (8–11 bulan), dan dalam (10–12 bulan). Dengan pengaturan ini, pabrik bioetanol akan menerima suplai ubi kayu secara teratur. Petani tidak akan menderita karena harga yang merosot karena panen raya ubi kayu.
- Atau, aturlah suatu wilayah dengan pembagian kelompok tanam, yakni kelompok Oktober, kelompok November, kelompok Desember, kelompok Januari, kelompok Februari, dan seterusnya.

4. Kapan waktu sulam?

- Penyulaman dilakukan saat ubi kayu mulai berumur 1–3 minggu.
- Bila penyulaman dilaksanakan sesudah umur 5 minggu, tanaman sulam akan tumbuh tidak sempurna karena ternaungi tanaman sekitarnya.
- Sediakan bibit khusus untuk sulam yang ditanam di pinggir atau tepi kebun.

H. Pengendalian Gulma

1. Mengapa gulma harus dikendalikan?

Gulma merupakan pesaing bagi ubi kayu untuk mengambil hara, pupuk, dan air. Penelitian menunjukkan kompetisi dengan gulma menurunkan produktivitas ubi kayu hingga 7,5%.

2. Kapan gulma harus dikendalikan?

- Tiga bulan pertama.

Hal ini disebabkan pertumbuhan gulma yang lebat, karena tanah di antara tanaman belum tertutup sempurna oleh kanopi. Tabel 34 memperkuat rekomendasi ini.

- Di saat panen, dengan tujuan sebagai berikut.
 - Menurunkan kesulitan panen, sehingga kehilangan hasil dapat dicegah.
 - Mempermudah pengolahan tanah dan mengurangi populasi gulma pada musim tanam berikutnya.

Tabel 34. Pengaruh waktu bebas gulma terhadap produksi ubi kayu

Jumlah Bulan Bebas Gulma ¹⁾	Hasil (Ton/Ha) ²⁾	
	Awal Musim Hujan	Akhir Musim Hujan
0 bulan (kontrol)	5,83	9,56
2 bulan	24,34	20,98
3 bulan	24,28	22,61
4 bulan	22,59	21,25
Pelani ³⁾	20,23	19,89

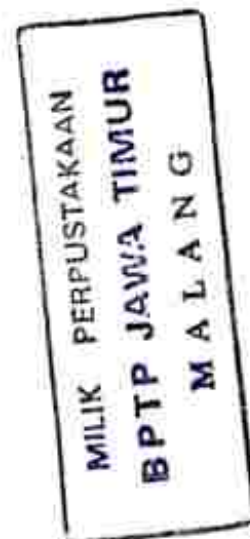
Keterangan:

- ¹⁾ Jumlah bulan sejak tanam
- ²⁾ Rata-rata dua tahun
- ³⁾ Pengamatan di kebun yang dikelola sesuai kebiasaan petani khususnya dalam pengendalian gulma

Sumber: Tonglum, 2001 dalam Wagiono dkk., 2006

3. Bagaimana rekomendasi pengendalian gulma?

- Pada tiga bulan pertama, pengendalian gulma dilakukan secara manual. Selain bertujuan untuk memperbaiki struktur tanah, cara tersebut memiliki keuntungan lain sebagai berikut.
 - Murah, karena dapat dikerjakan oleh anggota keluarga.
 - Tidak selektif hanya pada kelompok gulma tertentu.
 - Tidak mencemari lingkungan
- Menjelang panen, dalam skala usaha tani komersial, sebagian petani melakukan pengendalian gulma secara kimiawi, yakni 2-3 minggu sebelum panen.



I. Pemupukan

1. Ada anggapan bahwa ubi kayu tidak memerlukan pupuk, benarkah hal ini?

Anggapan ini tidak benar, karena hara yang diserap oleh ubi kayu per satuan waktu dan luas lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman pangan lain. Ubi kayu dikenal sebagai tanaman yang berproduktivitas tinggi seperti ditunjukkan di tabel 35.

Penelitian menunjukkan bahwa hara terbawa panen untuk setiap ton umbi segar adalah 6,54 kg N, 2,24 kg P_2O_5 , dan 9,32 kg K_2O /ha/musim atau pada tingkat hasil 30 ton/ha sebesar 147,6 kg N, 47,4 kg P_2O_5 , dan 179,4 kg K_2O /ha/musim. Hara tersebut harus diganti melalui pemupukan setiap musim. Tanpa pemupukan akan terjadi pengurasan hara, sehingga kesuburan tanah menurun dan produksi ubi kayu akan merosot.

Tabel 35. Purata produktivitas tanaman pokok di Indonesia

Tanaman	Purata Umur (Hari)	Hasil (Ku/ha)	Karbohidrat	
			Ku/Ha	Kg/Hari
Padi	110	35	7,6	6,9
Jagung	100	12	8,8	8,8
Ubi kayu	240	91	34,5	14,4
Ubi jalar	120	88	24,6	20,5

Sumber: Wargiono, 1979

2. Apakah berarti tanaman ubi kayu rakus unsur hara?

Ubi kayu tidak rakus hara. Tabel 36 memperjelas bahwa karena kemampuannya menghasilkan umbi tinggi, apabila dibudidayakan dengan teknologi maju (dengan produktivitas 30–40 ton/ha), ubi kayu akan banyak menyerap hara dari tanah.

Tabel 36. Kebutuhan N, P, dan K tanaman ubi kayu dibandingkan dengan komoditas lain

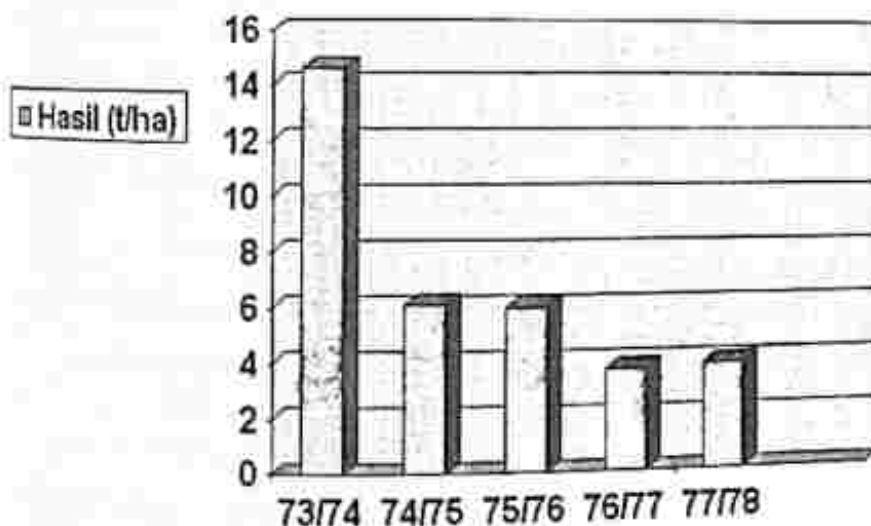
Jenis Tanaman	Purata Hasil Nasional Tahun 2005 (Ton/Ha)	Kebutuhan Hara (Kg/Ha)		
		N	P	K
Ubi kayu	15,5	62,0	20,7	96,1
Padi sawah	4,7	104,6	14,9	123,7
Jagung	3,3	90,3	16,0	60,8
Kedelai	1,3	63,7	9,1	27,3

Sumber: Subandi dkk., 2006

3. Berapakah dosis pupuk berimbang untuk budi daya ubi kayu?

- Pupuk organik: 5–10 ton/ha setiap musim tanam.
- Urea: 150–200 kg/ha.
- SP36: 100 kg/ha.
- KCl: 100–150 kg/ha.

Penurunan produktivitas ubi kayu tanpa pemupukan dapat dilihat di gambar 18.



Sumber: Mcintosh, 1979 dalam Subandi dkk., 2006

Gambar 18. Hasil ubi kayu di pertanaman jangka panjang tanpa pemberian pupuk di Bandar Jaya, Lampung Tengah

4. Bagaimana cara pemberian dosis pupuk di atas?
- Berikan pupuk organik + 1/3 Urea + 1/3 KCl sebagai pupuk dasar pada saat pembuatan guludan.
 - Sisa dosis diberikan pada bulan ketiga atau keempat.

Ingat! Pupuk harus dibenamkan ke dalam tanah.

5. Mengapa diperlukan pupuk organik?

Pupuk organik diperlukan sebagai berikut.

- Sentra-sentra ubi kayu adalah tanah yang miskin bahan organik.
- Meningkatkan efisiensi pupuk anorganik. Penelitian menunjukkan bahwa pupuk organik mampu meningkatkan efisiensi hingga 30%.
- Mengoptimalkan fungsi mikrobial tanah.
- Meningkatkan daya pegang air tanah
- Meningkatkan kadar N tanah.
- Melepaskan hara P yang terjerap.

Saran: kembalikan seluruh limbah panen ke tanah.

Tabel 37. Pengaruh pupuk kandang terhadap produktivitas ubi kayu di tanah Alfisol, Bantur, Malang

Takaran Pupuk Kandang (Ton/Ha)	Hasil Ubi Segar (Ton/Ha)	
	UJ-5	Malang-6
0	15,00	15,06
3	18,80	19,47
6	22,00	22,20

Pupuk dasar: 150 kg Urea + 100 kg ZA + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha

Sumber: Ispandi dan Munip (2005) dalam Subandi dkk., 2006

6. Berikut ini sejumlah tip tentang pemupukan!

- Dosis pupuk sangat tergantung pada jenis tanah, khususnya kesuburan tanah.

Saran: lakukanlah analisa tanah untuk menetapkan dosis pupuk yang tepat.

- Dianjurkan menggunakan pupuk urea 200 kg/ha.
- Jika kandungan bahan organik rendah (<1,5%), gunakan dosis pupuk SP₃₆ sejumlah 100 kg/ha. Jika BO tinggi (>2%), penggunaan pupuk SP₃₆ sebanyak 50 kg/ha sudah cukup.
- Kembangkan penelitian yang telah dilakukan di Balitkabi, khusus di Jawa dengan tanah berjenis regosol atau alfisol, pupuk KCl tidak mutlak dibutuhkan. Namun, untuk tanah-tanah di Sumatera khususnya ultisol, pupuk KCl mutlak diperlukan dengan dosis 100–150 kg/ha.
- Aplikasi bahan organik (BO) sangat tergantung pada kandungan C organik tanah. Jika kandungan C organik dalam tanah tinggi (>2%), penambahan BO tidak diperlukan. Namun pada tanah dengan BO rendah (<1,5%), penambahan BO diperlukan dengan dosis minimal 2 ton/ha. Aplikasi bahan organik harus dilakukan setiap kali musim tanam, terutama bila biomassa tanaman (limbah panen) tidak dikembalikan lagi ke tanah. Proses dekomposisi BO di daerah tropika sangat cepat dan mudah hilang karena terurai menjadi CO₂.

1. Pengendalian Hama dan Penyakit

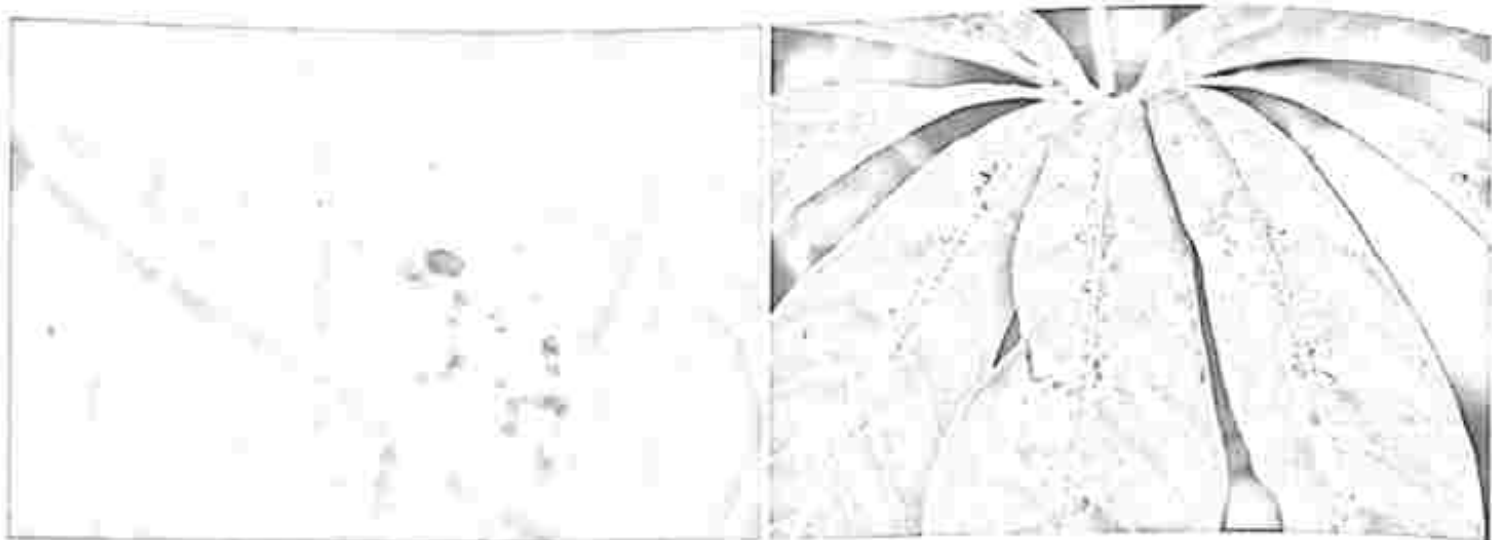
1. Sebutkan penyakit utama tanaman ubi kayu dan cara pengendaliannya!

Bakteri kayu (*Xanthomonas campestris* pv. *manihoti*) dan hawar daun (*Cassava Bacterial Blight/CBB*) adalah penyakit utama ubi kayu. Kerugian hasil akibat CBB diperkirakan sebesar 8% untuk varietas yang agak tahan, dan mencapai 50–90% untuk varietas yang agak rentan dan sangat rentan. Varietas Adira-4, Malang-6, UJ-3, dan UJ-5 tahan terhadap kedua penyakit ini.

2. Apakah hama utama ubi kayu?

Hama utama ubi kayu adalah tungau merah (*Tetranychus urticae*). Hama ini menyerang hanya pada musim kemarau dan menyebabkan rontoknya daun, tetapi petani hanya menganggap keadaan tersebut sebagai akibat kekeringan. Penelitian di luar negeri menunjukkan penurunan hasil akibat

serangan hama ini dapat mencapai 20–53%, tergantung umur tanaman dan lama serangan. Bahkan berdasarkan penelitian di rumah kaca Balitkabi Malang, serangan tungau merah yang parah dapat mengakibatkan kehilangan hasil ubi kayu hingga 95%.



Tungau merah dan gejala serangan. Intensitas serangan meningkat bila kondisi tanaman stres air, terutama saat musim kering, dan kesuburan tanah yang rendah.

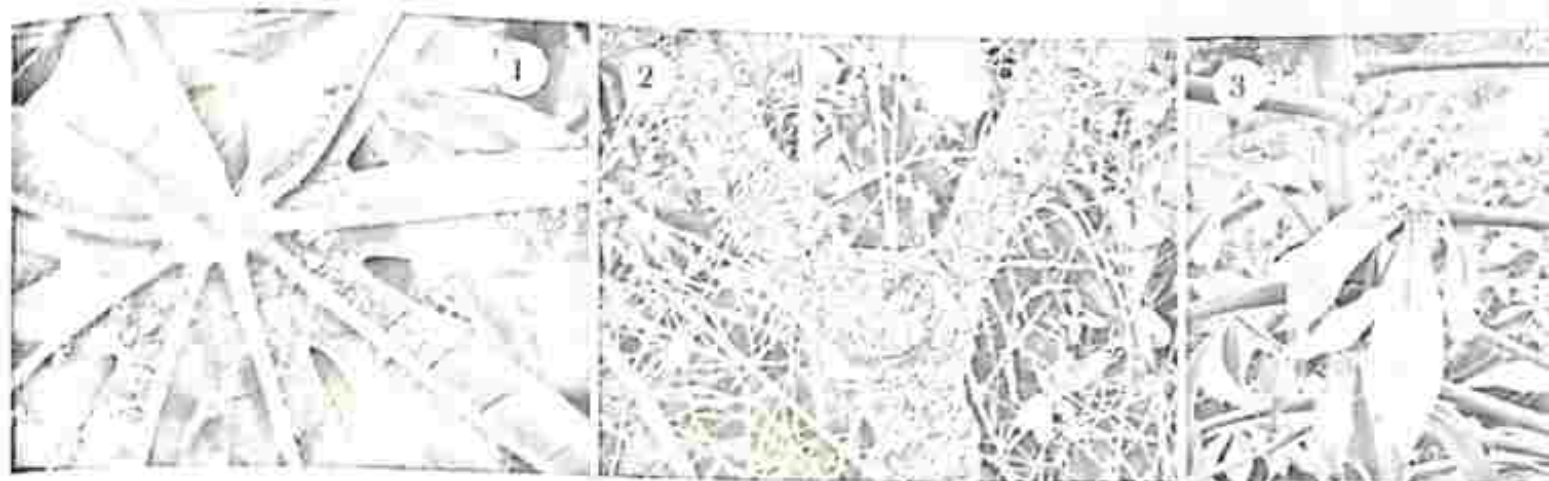
Tungau dapat menyebabkan kerusakan tanaman ubi kayu dengan cara mengurangi luas areal fotosintesis dan akhirnya mengakibatkan penurunan hasil panen ubi kayu. Kerusakan tanaman dapat diperparah oleh kondisi musim kering, kondisi tanaman stres air, dan kesuburan tanah yang rendah.

3. Bagaimana pengendalian tungau merah?

Sebaiknya ubi kayu ditanam di lahan pada awal musim hujan untuk mencegah terjadinya serangan tungau, dengan tenggang waktu maksimum 2 bulan. Jika terlambat ditanam, peluang terjadinya serangan lebih lama sehingga kehilangan hasil yang diimbulkan semakin tinggi.

Namun cara yang paling praktis, stabil, dan ekonomis adalah dengan menanam varietas yang tahan tungau. Varietas Adira-4 dan Malang-6 cukup tahan tungau, sedangkan UJ-5 dan UJ-3 peka tungau. Oleh karena

itu disarankan UJ-3 dan UJ-5 sebaiknya ditanam di daerah-daerah yang mempunyai bulan basah cukup panjang (seperti di Lampung) sehingga serangan tungau yang dialami tidak berat. UJ-3 dan UJ-5 kurang bagus ditanam di daerah yang mempunyai musim kering relatif panjang.



Hama yang kerap menyerang ubi kayu.

1. White flies (*Aleurotrachelus* sp).
2. White scale (*Aonidomytilus albus*).
3. Mite (*Tetranychus urticae*)

K. Panen

1. Apa saja kriteria ubi kayu siap panen?

Kriteria utama umur panen ubi kayu adalah kadar pati optimal, yakni pada saat tanaman berumur 7–9 bulan. Hal ini ditandai dengan pertumbuhan daun mulai berkurang, warna daun mulai agak menguning, dan banyak daun yang rontok.

2. Sifat khusus ubi kayu ialah bobot ubi meningkat dengan bertambahnya umur tanaman, sedangkan kadar pati cenderung stabil pada umur 7–9 bulan. Apakah keuntungan hal ini?

Hal ini menunjukkan bahwa umur panen ubi kayu fleksibel. Tanaman dapat dipanen pada umur 7 bulan atau ditunda hingga 12 bulan. Namun, penundaan umur panen hanya dapat dilakukan di daerah beriklim basah dan tidak sesuai di daerah beriklim kering.

3. Bagaimana cara panen yang benar?

- Buanglah batang-batang ubi kayu terlebih dahulu.
- Tinggalkan pangkal batang \pm 10 cm untuk memudahkan pencabutan.
- Cabutlah tanaman dengan tangan menggunakan tenaga dari seluruh tubuh, sehingga umbinya dapat diangkat keluar dari tanah.
- Pada tanah berat, pakailah alat pengungkit berupa sepotong bambu atau kayu. Ikat pangkal batang dengan kayu, ujung pengungkit diletakkan di atas bahu, kemudian angkatlah perlahan-lahan ke atas.



Panen ubi kayu.

1. Tanah di sekitar ubi digali,
2. Tanaman dicabut secara perlahan untuk mencegah ubi patah

4. Di atas, kita telah membicarakan tentang strategi pengaturan pola tanam agar petani tidak dirugikan, karena harga yang anjlok akibat panen raya dan pabrik bioetanol dapat beroperasi dengan efisien karena menerima bahan baku berlangsung kontinu. Apakah yang harus kita lakukan?

Salah satu kelemahan ubi kayu adalah umbi segar cepat mengalami penurunan mutu bila tidak segera diolah setelah panen. Daya tahan ubi kayu hanya tiga hari. Solusinya, buat diversifikasi bentuk bahan baku industri bioetanol, dari ubi menjadi tepung atau *chips* (gaplek). Tindakan inilah yang dilakukan PT Madusari Lampung Indah-MLI (anak perusahaan PT Molindo Raya Industrial) di Lampung Timur. Saat ini, mereka telah mendirikan pabrik-pabrik tepung tapioka atau gaplek, sebagai langkah awal pendirian pabrik bioetanol (target operasi September 2008).

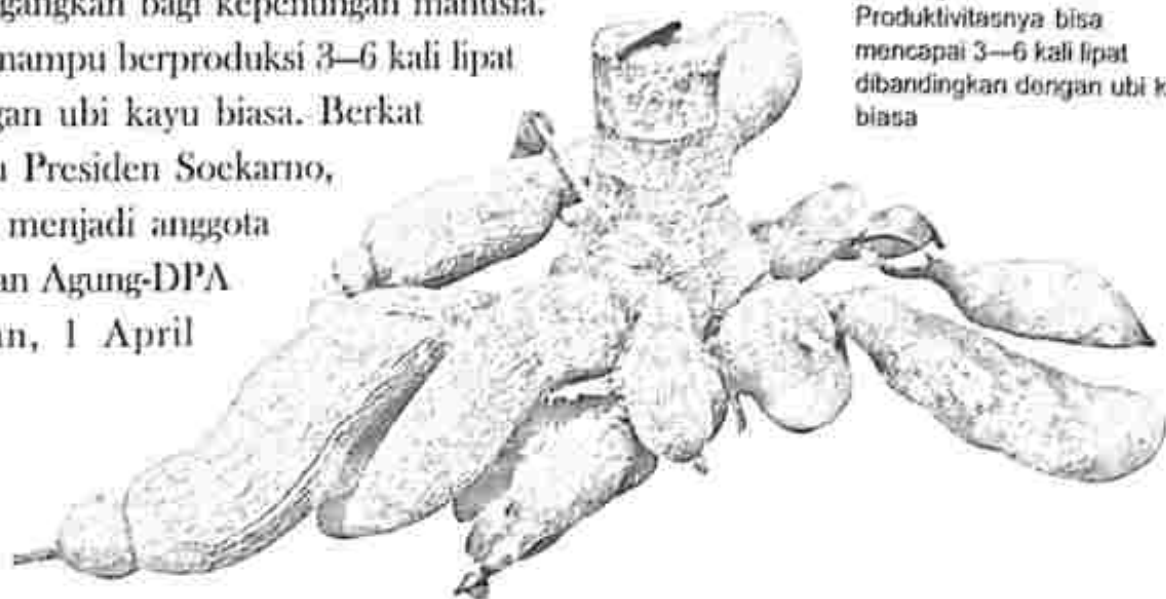
L. Ubi Kayu Unggul

Kita telah membahas 4 varietas ubi kayu unggul untuk bahan baku bioetanol di tabel 26, berikut kita akan membahas “ubi kayu unggul” yang lain. Sengaja penulis memberikan tanda petik pada “ubi kayu unggul”. Varietas ubi kayu yang tercantum di tabel 26 adalah jenis unggul yang dilepas oleh Pusat Penelitian Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pertanian RI. Namun, masyarakat di sejumlah sentra penanaman ubi kayu telah menanam ubi kayu unggul yang ditemukan dan dikembangkan oleh para petani. Meskipun masih terjadi silang pendapat di antara para pakar ubi kayu, mari kita membahasnya untuk menambah wawasan.

1. Apa nama ubi kayu unggul tersebut?

Varietas pertama yang akan kita bahas adalah mukibat. Sebenarnya terjadi salah kaprah, karena mukibat bukanlah varietas ubi kayu, tetapi salah satu teknik untuk meningkatkan produktivitas ubi kayu. Teknik ini ditemukan pada tahun 1950-an di daerah Kediri (Desa Ngadiloyo) oleh seorang petani yang bernama Mukibat. Saat itu ‘zaman susah’, beras sulit diperoleh sehingga banyak orang mengonsumsi nasi dicampur jagung. Bahkan, konon di Lombok banyak orang yang makan *bongkot* pisang. Di pasar dijual bulgur yang dinamakan ‘beras kuda’. Gaplek untuk ternak pun diperdagangkan bagi kepentingan manusia.

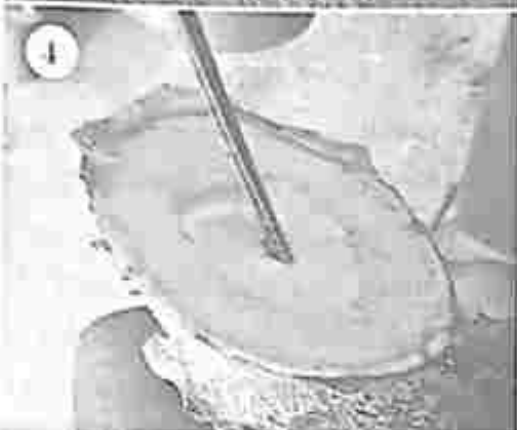
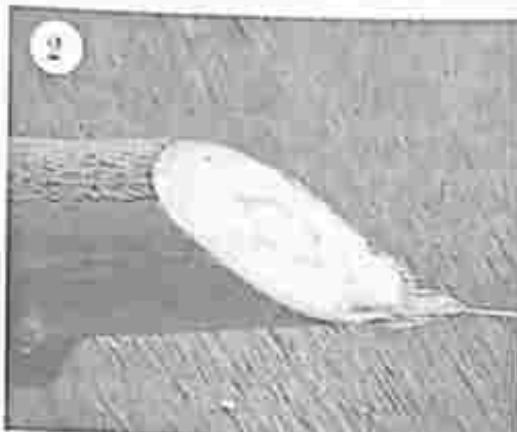
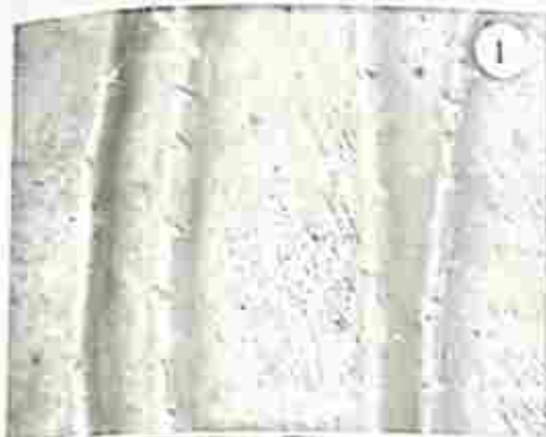
Ubi kayu mukibat mampu berproduksi 3–6 kali lipat dibandingkan dengan ubi kayu biasa. Berkat penemuannya, oleh Presiden Soekarno, Mukibat diangkat menjadi anggota Dewan Pertimbangan Agung-DPA (Suara Pembaruan, 1 April 2003).



Ubi kayu mukibat.
Produktivitasnya bisa mencapai 3–6 kali lipat dibandingkan dengan ubi kayu biasa

Prinsip mukibat sangat sederhana. Perbanyak saja daun ubi kayu, sehingga proses fotosintesis bisa berlangsung lebih sempurna dan ubinya pun bisa berlipat ganda. Mukibat lautas menyambung (*grafting*) dua jenis ubi kayu untuk memperbanyak daun. Pertama, ubi kayu yang memang menghasilkan ubi (disebut singkong ubi, alias *Manihot esculenta*), ditanam di dalam tanah (disebut batang bawah atau *stock*). Kedua, ubi kayu yang tak menghasilkan ubi tapi daunnya lebat (disebut singkong karet atau ubi kayu karet atau dengan nama ilmiah *Manihot glaziovii*), ditanam di atas permukaan tanah (disebut batang atas atau *scion*).

2. *Yuk*, kita bahas urutan kerja teknik sambung sistem mukibat!
 - *Scion* (batang atas) ubi kayu karet sepanjang 10–15 cm disambungkan pada bagian batang ubi kayu biasa dengan panjang 20–30 cm, berdiameter 2–4 cm, biasa disebut *stock* (batang bawah).
 - *Scion* dan *stock* dipotong miring dan pastikan mempunyai diameter yang sama,
 - Potongan bambu tipis dimasukkan dalam jaringan gabus baik pada *scion* maupun *stock* untuk memudahkan penyambungan dan kedua batang tersebut dibungkus dengan serat daun pisang.
 - Setek hasil sambungan diletakkan di bawah naungan dan disiram setiap hari.
 - Setelah 8 hari tunas mulai tumbuh. Tunas yang tumbuh pada batang *stock* dibuang. Pada saat tunas pada batang *scion* tumbuh sepanjang 2 cm, setek sambungan dapat ditanam di lahan. Biasanya lubang dibuat sebelum tanam, lubang diisi dengan bahan organik yang sudah dicampur dengan tanah.
 - Setek sambungan ditanam dengan posisi vertikal. Setiap lubang tanam diisi satu setek sambungan.
 - Pemeliharaan tanaman dilakukan serupa dengan perawatan ubi kayu biasa. Biasanya petani menyangga tanamannya dengan bambu.
 - Jarak tanam sangat bervariasi, khususnya pada sistem tumpang sari. Namun, umumnya jarak tanam yang digunakan yaitu 1,25 x 1,50 m.
 - Periode tumbuh bervariasi sekitar 8–18 bulan. Panen dilakukan minimal pada umur sekitar 12 bulan.



Tahap pembuatan setek teknik sambung mukibat.

1. Siapkan scion (kiri) dan stock (kanan),
2. Potong serong ujung atas stock dan pangkal scion,
3. Rapikan potongan,
4. Tusukkan lidi atau bambu ke jaringan gabus stock,
5. Tusukkan ujung lidi atau bambu lainnya ke jaringan gabus scion,
6. Rapatkan kedua sisi potongan hingga tersambung,
7. Lilitkan tali plastik hingga membungkus seluruh sambungan,
8. Ikat lilitan dengan rapi

3. Pada tahap berikut, terdapat sejumlah pengembangan dari teknik sambung sistem mukibat. *Yuk, kita bahas!*

— **Sistem Kurur**

Pada modifikasi ini, setek ubi kayu biasa dan ubi kayu karet ditanam terpisah. Setelah 45 hari, tunas muda ubi kayu karet disambungkan ke tunas ubi kayu biasa.

— **Sistem Satrawi**

Satrawi, petani yang lain, melakukan penyambungan satu *scion* ubi kayu karet dengan 3 *stock* ubi kayu biasa. Hal ini dilakukan atas pertimbangan bahwa kanopi ubi kayu karet tidak seimbang dengan *stock*. Sistem ini memerlukan lebih banyak tenaga dan sering gagal, tetapi kapasitas hasil disebutkan lebih tinggi dari sistem mukibat. Tanaman pada sistem satrawi menghasilkan umbi lebih banyak dan lebih kecil. *Stock* kadang-kadang diambil dari varietas yang berbeda-beda, masing-masing mempunyai ciri yang spesifik. Satrawi sering membuat kombinasi satu *scion* dengan 5 atau bahkan 7 *stock*.

— **Sistem Masduki**

Beberapa petani di Jawa Timur sering mengklaim bahwa dengan perforasi sederhana dari jaringan gabus setek ubi kayu biasa maka dengan menggunakan stik bambu panjang, tanpa menggunakan *scion*, hasil umbi dapat meningkat. Teknik ini mereka sebut sistem masduki.

4. Bagaimana pengembangan budi daya sistem mukibat lebih lanjut?

— Di atas, kita telah membahas bahwa mukibat membutuhkan lubang tanam. Cara ini membutuhkan tenaga kerja dan biaya yang mahal. Saat ini di sejumlah sentra ubi kayu, sistem mukibat diterapkan dengan membuat gundukan setinggi sekitar 1 meter.

— Sejumlah petani mengupayakan peningkatan keberhasilan penyambungan dengan memosisikan setek hasil sambungan secara terbalik selama beberapa hari, kemudian ditempatkan kembali pada posisi normal.

- Petani sering kali mencoba untuk meningkatkan jumlah ubi tanaman dengan memberi perlakuan di bagian pangkal setek. Hal ini dilakukan dengan memotong miring pangkal setek, membuat irisan sirkular (melingkar) di kulit batang, atau membelah setek secara longitudinal dengan menggergaji bagian tengah sekitar 10 cm.
- Petani menemukan bahwa setelah panen pertama, setek sambungan (*grafting*) mukibat dapat ditanam kembali sampai 2–3 kali dengan syarat panjang setek *stock* masih cukup. Sebelum ditanam, pangkal *stock* dipotong 5 cm setelah panen. Bagian ujung (atas) dipotong 10 cm di atas *scion*.
- Metode ini mengurangi usaha membuat bahan tanam lagi. Hal ini juga menghilangkan risiko patah karena angin. Lebih lanjut, hasil dari setek tanam ulang tampak lebih bagus, meskipun umbi menjadi lebih berkayu setelah menggunakan setek yang sama lebih dari 3 kali.



5. Apakah ada silang pendapat, khususnya kekhawatiran para pakar tentang mukibat?

- Dibutuhkan keterampilan penyambungan (*grafting*). Apabila penyambungan tidak sempurna, tunas akan mudah patah bila diterpa angin.
- Penelitian menunjukkan bahwa selama musim kering yang panjang di Jawa Timur, luas daun tanaman ubi kayu mukibat lebih banyak berkurang dibandingkan dengan ubi kayu biasa (Guritno dkk., 1981 dalam de Bruijn dan Guritno, 1988). Hal ini mungkin terjadi karena karakter perenial dari ubi kayu karet yang menyebabkan sistem perakaran lebih cepat dan lebih dalam. Jadi, nutrisi dan air harus lebih tersedia untuk ubi kayu mukibat dibandingkan dengan ubi kayu biasa.
- Sistem mukibat membutuhkan input lebih banyak.
 - Dibutuhkan banyak bahan organik. Apabila kualitas pupuk kandang jelek, umbi akan tumbuh memanjang dengan kadar serat yang meningkat.
 - Karena produktivitasnya yang tinggi, suplai pupuk kimia harus

lebih tinggi pula. Jika tidak, terjadi pengurusan tanah.

- Dibutuhkan tenaga kerja untuk menggali lubang tanam atau membuat guludan.
- Dibutuhkan tenaga kerja yang cukup untuk proses pemanenan.

— Erosi tanah meningkat.

Dengan membuat dan menanam di atas guludan, erosi karena air hujan (*run-off*) akan meningkat khususnya pada umur 3 bulan pertama. Erosi ini akan membawa serta pupuk kandang yang telah diberikan.

— Drainase buruk sehingga umbi membusuk.

Pada tanah dengan kandungan liat tinggi, pembuatan lubang tanam yang diisi bahan organik atau pupuk kandang memungkinkan umbi busuk, karena air tidak dapat terdrainase dengan baik.

— Permasalahan panen.

- Ubi kayu mukibat dipanen pada umur sekitar 12 bulan, sehingga panen akan terjadi pada saat musim hujan. Dampaknya, terjadi penurunan kadar pati.
- Pada struktur tanah jelek, umbi tertinggal cukup banyak pada saat panen.

6. Terkait dengan kekhawatiran di atas, bagaimana pengembangan mukibat?

Saat ini, sejumlah investor yang akan mendirikan pabrik bioetanol menganjurkan petani untuk menanam ubi kayu dengan sistem mukibat, seperti di Lampung oleh PT Madusari Lampung Indah (sampai Juli 2007 telah mengelola lahan seluas 1.600 ha di Lampung Timur dengan melibatkan 1.400 petani), Medco Bio Energi, serta PT Sampoerna Bio Energi di daerah Pacitan dan sekitarnya. Pemerintah Daerah Wonogiri menganjurkan pula petaninya menanam ubi kayu dengan tehnik sambung mukibat untuk ekspor *chips* ke Cina, bahkan Tim Nasional Pengembangan BBN juga merekomendasikan hal yang sama.

Saat ini, banyak para penangkar bibit ubi kayu swasta-tradisional, seperti di Lampung dan Wonogiri yang menjual setek sambung mukibat seharga

Rp350–Rp500/setek. Mereka cukup menangkap peluang usaha. Biaya produksi per bibit sekitar Rp200, karena batang bawah mereka beli dengan harga Rp80/batang, sedangkan batang atas senilai Rp50/batang. Tiga orang pekerja mampu membuat bibit setek sambung sejumlah 2.000 bibit per hari. Dalam waktu 2 minggu, bibit setek sambung tersebut sudah dapat dijual.

7. Adakah ubi kayu unggul yang lain?

Di atas, kita telah membahas informasi dari Suhartina (2005) juga Hartojo (2005) dalam Kartika dan Hartojo (2006) yang menyatakan bahwa ada ubi kayu dengan produktivitas 102 ton/ha, dinamakan Darul Hidayah. Varietas ini telah dilepas oleh Badan Benih Nasional dengan SK Nomor 867/Kpts/TP.240/11/98, tanggal 4 November 1998.

8. Bagaimana penemuan varietas darul hidayah?

Pada tahun 1996, seorang ulama bernama Abdul Jamil Ridho, pengelola pondok pesantren Darul Hidayah, di kota Tulang Bawang, Lampung Utara, melalui zikir panjang menemukan sebatang ubi kayu aneh di hutan Panaragan Jaya, Lampung Utara. Ubi kayu tersebut oleh Niti Soedigdo, orang kepercayaan, dikembangkan lebih lanjut.

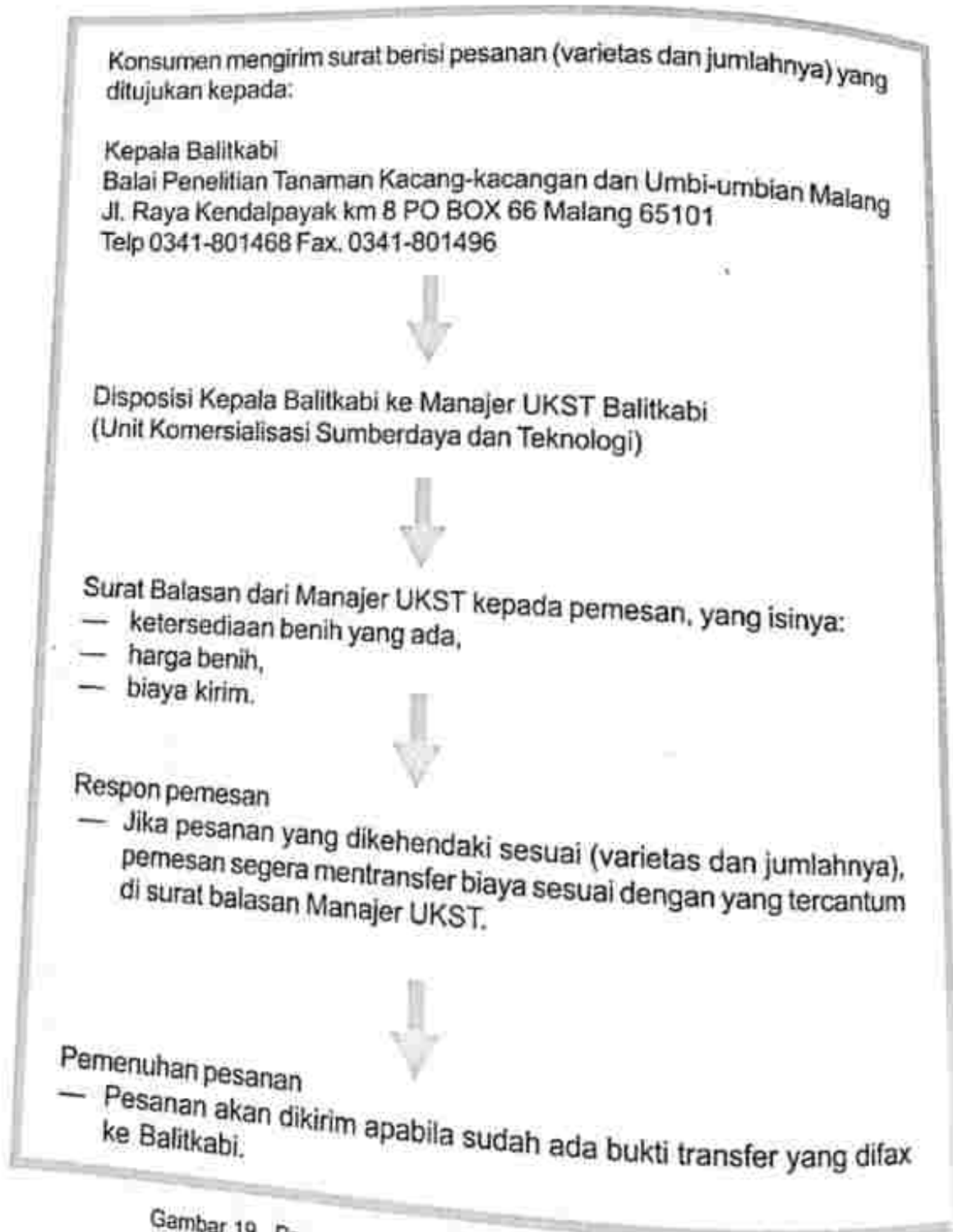
Niti Soedigdo mengawinkan dengan menyambung ubi kayu aneh tersebut dengan ubi kayu karet. Berbeda dengan mukibat, ubi kayu karet ditanam sebagai *stock* (batang bawah). Setelah berbunga dan berbuah, biji ubi kayu tersebut disemai dan dipelihara hingga panen. Melalui tiga kali tahap bunga dan buah, lahir lah ubi kayu darul hidayah yang diklaim berproduktivitas 150 ton/ha, berdaging umbi putih, tidak pahit dan rasanya enak, kadar HCN <40 ppm, berkadar pati 25–31,5%, serta berumur 8–12 bulan.

Ubi kayu darul hidayah.
Produktivitasnya mencapai 150 ton/ha



9. Di manakah bibit-bibit tersebut dapat diperoleh?

Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi (Balitkabi) di Malang, Jawa Timur, dengan prosedur sebagai berikut.

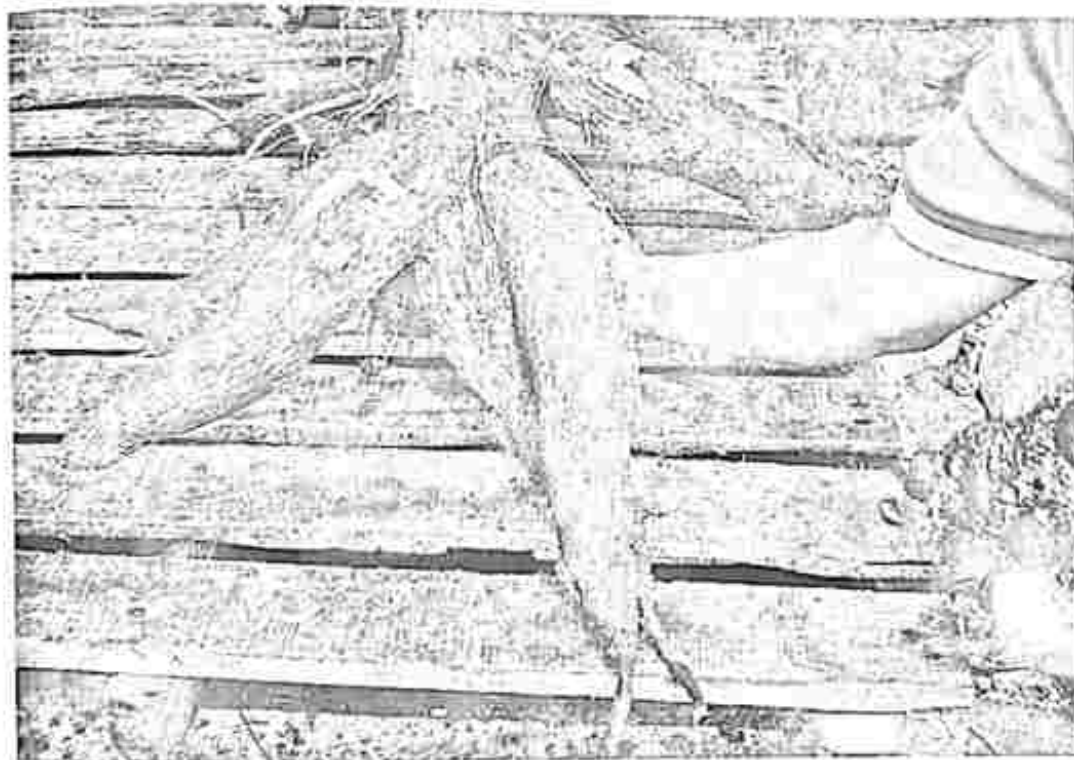


Gambar 19. Prosedur pemesanan bibit/benih ubi kayu di Balitkabi

Varietas Darul Hidayah juga tersedia di Balitkabi, di samping Anda dapat menghubungi Bapak Niti Soedigdo di Lampung.

10. Masih adakah ubi kayu unggul lain?

Informasi lebih lanjut, saat ini muncul ubi kayu unggul lain dengan produktivitas lebih dari 50 ton/ha, bahkan diklaim mencapai 100 ton/ha, dengan kadar pati >35% pada umur 9 bulan. Varietas (lebih tepat disebut klon) ini telah beredar dan ditanam di daerah Sukabumi (Jawa Barat) dan sekitarnya. Ubi kayu ini dinamai cicurug atau panca jaya yang memiliki 2 klon, yakni PJ-1 dan PJ-2.



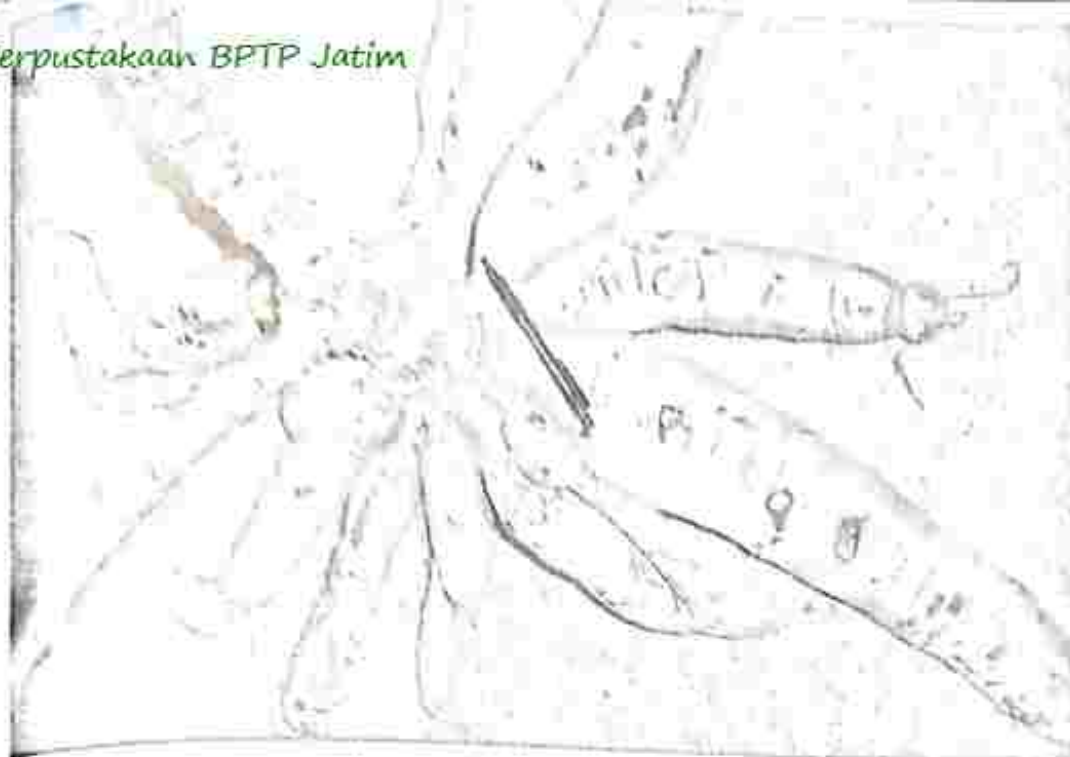
Ubi kayu cicurug.
Berpotensi sebagai penghasil FGE karena produktivitasnya tinggi

Di Jawa Timur, dikenal klon ubi kayu lainnya bernama kaspro. Petani biasa menyebutnya *menyok*. Kaspro sudah ditanam secara luas di daerah-daerah sentra produksi ubi kayu di Jawa Timur, seperti Lumajang, Malang, Blitar, Kediri, Trenggalek, Pacitan, Ponorogo, dan Tulungagung. Kaspro mempunyai produktivitas cukup tinggi, yaitu 35–40 ton/ha. Petani banyak menanam kaspro karena mempunyai kadar pati yang cukup tinggi dan sangat diminati oleh pihak industri.



Klon ubi kayu kaspro. Memiliki kandungan pati cukup tinggi sehingga sangat diminati pihak industri

PT Budi Waras, anggota Sungai Budi Grup, sebuah perusahaan swasta yang mengelola 13 pabrik tapioka di Lampung, Jambi, dan Solo, serta akan mengelola sebuah pabrik bioetanol (kapasitas 60 juta liter) di Lampung sedang mengembangkan klon yang diberi nama BW-1. Klon ini diklaim berkadar pati 26%, panjang umbi rata-rata 55 cm, jumlah umbi rata-rata 13 buah, dan pada umur 195 hari telah dapat dipanen dengan berat 12 kg/pohon.



Ubi kayu BW.
Varietas harapan
untuk FGE karena
sifatnya yang genjah

M. Kemitraan

Permasalahan klasik dari para petani Indonesia adalah minimnya permodalan. Boleh dibayangkan dulu para petani ubi kayu nyaris tidak tersentuh sumber permodalan yang resmi. Peran bandar dan pemilik modal sebagai pemasok pabrik tapioka sangat kuat. Para bandar inilah yang memberi pinjaman modal. Namun, kini tidak lagi demikian.

1. Adakah sumber permodalan resmi dari pemerintah?

Kini setelah ubi kayu naik daun lantaran banyak dibutuhkan sebagai bahan baku bioetanol, pihak perbankan mulai melirik. Tersedia paket kredit KKP untuk petani ubi kayu. Nilai per paket kredit adalah Rp2,14 juta per hektar. Ketentuan pengajuan KKP ubi kayu mirip dengan KKP yang lain sebagai berikut.

- Melampirkan fotokopi KTP atau surat keterangan domisili dari kepala desa.
- Memegang bukti kepemilikan lahan atau surat kuasa garap dari pemilik lahan yang diketahui kepala desa.
- Tidak mempunyai tunggakan kredit dengan bank.
- Harus menjadi anggota dalam satu kelompok yang terdaftar pada dinas setempat.

- Kelompok tani menyusun Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok (RDKK) yang memuat kebutuhan bibit, pupuk, dan biaya garap. RDKK ini harus ditandatangani kelompok tani, direkomendasi PPL, dan perusahaan mitra.

2. Adakah perusahaan swasta yang mendanai budi daya ubi kayu?

Terkait pertanyaan di butir K6, sejumlah perusahaan swasta telah dan tengah membina kemitraan dengan petani ubi kayu, seperti PT Madusari Lampung Indah (MLI) di Lampung Timur. MLI membutuhkan bahan baku ubi kayu dari areal seluas 4.000 ha dengan produktivitas 60–100 ton/ha. Kebutuhan bahan baku ini direncanakan dalam pola kemitraan. Sampai Mei 2007, MLI telah bermitra dengan 1.400 petani di 46 desa di Lampung Timur yang mencakup luasan 1.600 hektar



Dalam pola ini, petani menyediakan lahan, sedangkan MLI memasok modal, menjamin pasar, dan memberikan bimbingan teknis usaha tani, termasuk mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah. Paket

modal berupa bibit, kompos, pestisida, dan kapur dolomit senilai Rp5,5 juta atau Rp6,5 juta setelah ditambah bunga.

CATATAN

Pembinaan kemitraan antara pabrik bioetanol dan para petani ubi kayu sangat penting untuk mendukung kelangsungan pengelolaan BBN di Indonesia, seperti FGE. Peran para petani sangat besar dan selama ini kita harus mengakui bahwa para petani belumlah menjadi "subjek". Sebuah kalimat bijak tentang keterpurukan petani patutlah kita renungkan.

"The farmer is the only man in our economy who buys everything retail, sells everything he sells at wholesale and pays the freight both ways" [John F. Kennedy]

Terkait kalimat bijak tersebut Dr. Tatang Hermas Soerawidjaja, ketua Forum Biodiesel Indonesia, dalam International Bio-Energy Seminar di Jakarta, Agustus 2007 mengingatkan: *"Farmers need to gain a portion of the profits earned beyond the farm gate. To accomplish this they need to own a share in processing and marketing enterprise"*.

N. Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)

Kita sudah membahas perlindungan tanaman dari serangan hama dan penyakit di atas. Di subbab ini, kita akan membahas perlindungan varietas tanaman (PVT). *Yuk*, kita mulai!

1. Apakah perlindungan varietas tanaman (PVT)?

PVT adalah perlindungan khusus yang diberikan negara, dalam hal ini diwakili oleh pemerintah dan pelaksanaannya dilakukan oleh Kantor

Perlindungan Varietas Tanaman, terhadap varietas tanaman yang dihasilkan oleh pemulia tanaman melalui kegiatan pemuliaan tanaman.

Hak perlindungan varietas tanaman, selanjutnya disebut Hak PVT, adalah hak khusus yang diberikan negara kepada pemulia dan atau pemegang hak PVT untuk menggunakan sendiri varietas hasil pemuliaannya atau memberi persetujuan kepada orang atau badan hukum lain untuk mengganakannya selama waktu tertentu

Catatan:

- Pemuliaan tanaman adalah rangkaian kegiatan penelitian dan pengujian atau kegiatan penemuan dan pengembangan suatu varietas, sesuai dengan metode baku untuk menghasilkan varietas baru dan mempertahankan kemurnian benih varietas yang dihasilkan.
- Pemulia tanaman, selanjutnya disebut pemulia, adalah orang yang melaksanakan pemuliaan tanaman

2. Apakah tujuan PVT diselenggarakan?

PVT diselenggarakan, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2000 tentang Perlindungan Varietas Tanaman, sebagai penghargaan kepada individu atau badan usaha di bidang pemuliaan tanaman yang dapat menghasilkan varietas tanaman.

Di atas, kita telah membahas bahwa selain lembaga penelitian, khususnya Badan Litbang Departemen Pertanian, sejumlah petani awam telah menemukan varietas unggul, seperti darul hidayah, kaspro, dan cicung termasuk teknik budi daya yang terkait dengan peningkatan produktivitas tanaman melalui teknik sambung mukibat, satrawi, masduki, kurur, dan lain-lain. Kita juga mengenal dalam budi daya ikan air tawar, penemuan ikan yang diberi nama mujair.

Hebat kan, para petani dan peternak Indonesia. Namun, si penemu (seperti Pak Mujair), tidak menerima apapun khususnya dalam bentuk materi (baca: uang). Sehubungan hal inilah, Pemerintah RI melaksanakan PVT.

3. Berapakah jangka waktu PVT?

Jangka waktu PVT sebagai berikut.

- 20 (dua puluh) tahun untuk tanaman semusim.
- 25 (dua puluh lima) tahun untuk tanaman tahunan.

4. Manakah tanaman yang dapat diberikan PVT?

Varietas yang dapat diberi PVT meliputi varietas dari jenis atau spesies tanaman yang baru, unik, seragam, stabil, dan diberi nama.

- Suatu varietas dianggap baru apabila pada saat penerimaan permohonan hak PVT, bahan perbanyakan atau hasil panen dari varietas tersebut belum pernah diperdagangkan di Indonesia atau sudah diperdagangkan tetapi tidak lebih dari setahun atau telah diperdagangkan di luar negeri tidak lebih dari empat tahun untuk tanaman semusim dan enam tahun untuk tanaman tahunan.

Catatan: Jika varietas tanaman itu tidak baru lagi, pemohon hanya bisa mendaftarkan untuk perlindungan, tidak untuk mendapatkan hak PVT.

- Suatu varietas dianggap unik apabila varietas tersebut dapat dibedakan secara jelas dengan varietas lain yang keberadaannya sudah diketahui secara umum pada saat penerimaan permohonan hak PVT.
- Suatu varietas dianggap seragam apabila sifat-sifat utama atau penting dalam varietas tersebut terbukti seragam meskipun bervariasi sebagai akibat dari cara tanam dan lingkungan yang berbeda-beda.
- Suatu varietas dianggap stabil apabila sifat-sifatnya tidak mengalami perubahan setelah ditanam berulang-ulang atau untuk yang diperbanyak melalui siklus perbanyakan khusus, tidak mengalami perubahan pada setiap akhir siklus tersebut.
- Saat ini (Juli 2007) setidaknya ada 95 varietas yang telah disertifikasi PVT. Dari jumlah tersebut, 71 varietas lokal dan 24 varietas hasil pemuliaan. Untuk varietas lokal Indonesia, pemohon PVT tidak bisa secara pribadi karena merupakan milik masyarakat. Pihak yang mengajukan perlindungan adalah kepala daerah atau bupati setempat.

Setiap varietas yang sudah mendapatkan sertifikat mendapat perlindungan. Jika diketahui ada pihak lain yang mengembangkan, termasuk dalam kategori pencurian. Berdasarkan Undang-undang PVT, pihak yang melakukan pencurian akan terkena hukuman penjara 7 tahun ditambah denda sebesar Rp2,5 milyar (Agro Indonesia, 17 Juli 2007).

- Bagaimana tata cara pemberian nama dan lain-lain terkait PVT, seyogianya Anda menghubungi :

Pusat Perlindungan Varietas Tanaman
Kantor Pusat Departemen Pertanian
Gedung E, Lantai 3
Jln. Harsono RM No. 3, Ragunan, Jakarta Selatan 12550
Telepon : 021-7816386, 78840405
Faksimili : 021-78840389
e-mail : pvt@deptan.go.id

Anda dapat menanyakan:

- Keputusan Menteri Pertanian Nomor 442/Kpts/HK.310/7/2004, tentang Syarat dan Tata Cara Permohonan dan Pemberian Hak Perlindungan Varietas Tanaman,
- Keputusan Menteri Pertanian Nomor 443/Kpts/KU.330/7/2004, tentang Biaya Pengelolaan Hak Perlindungan Varietas Tanaman,
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 01/Pert/SR.120/2/2006, tentang Syarat Penamaan dan Tata Cara Pendaftaran Varietas Tanaman.

Tips : Daftarkan tanaman-tanaman atau metode peningkatan produksi tanaman yang Anda temukan agar memperoleh PVT atau HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual). Jangan sampai seperti tempe, ubi cilembu, merek kopi toraja yang HaKI-nya dimiliki Jepang, atau Vietnam yang memakai merek kopi mandailing, bahkan kain batik yang HAKI-nya dimiliki Malaysia.

SPEKIFIKASI BIOETANOL DAN ANALISIS KUALITAS

A. Standar Nasional Indonesia Bioetanol Terdenaturasi

Kita telah membahas bahwa untuk tujuan melindungi konsumen (dari segi mutu), produsen, dan mendukung perkembangan industri bioetanol di Indonesia, pemerintah melalui Dewan Standardisasi Nasional (DSI) telah menetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk bioetanol. Ada 2 SNI, yakni SNI-06-3565-1994 untuk Alkohol Teknis, yang terbagi atas alkohol prima super, alkohol prima I, dan alkohol prima II. Syarat mutu dalam SNI ini mencantumkan kadar etanol (pada 15° C) untuk prima super sebesar maksimal 96,8% dan minimal 96,3%, sedangkan prima I dan prima II masing-masing minimal 96,1% dan 95,0 %.

Karena pokok bahasan kita dalam buku ini tentang FGE, marilah kita bahas SNI selanjutnya. SNI untuk FGE disusun oleh Panitia Teknis Energi Baru dan Terbarukan (PTEB) melalui tahapan-tahapan baku tata cara perumusan standar nasional. Hasil kerja panitia adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) Bioetanol Terdenaturasi yang disahkan dengan Nomor SNI DT 27-0001-2006, tanggal 27 Desember 2006.

Penyusunan SNI bioetanol terdenaturasi untuk gasohol dilakukan dengan memperhatikan standar sejenis yang telah berlaku di negara-negara lain yang pemakaian bioetanolnya sudah luas dan mencapai tahap komersial. Faktor lain yang diperhatikan adalah keberagaman bahan baku bioetanol di Indonesia. Standar ini menetapkan persyaratan mutu dan metode uji bioetanol terdenaturasi untuk gasohol dan hanya berlaku untuk bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar motor bensin, yaitu sebagai komponen campuran bahan bakar bensin pada kendaraan bermotor atau motor bensin lainnya.

1. Bagaimana syarat mutu bioetanol terdenaturasi untuk gasohol?

Tabel 38. Spesifikasi standar bioetanol terdenaturasi untuk gasohol

No.	Sifat	Unit, Min/Maks	Spesifikasi ¹⁾
1.	Kadar etanol	%-v, min	99,5 (sebelum denaturasi) ²⁾ 94,0 (setelah denaturasi)
2.	Kadar metanol	mg/l, maks	300
3.	Kadar air	%-v, maks	1
4.	Kadar denaturan	%-v, min	2
		%-v, maks	5
5.	Kadar lembaga (Cu)	mg/kg, maks	0,1
6.	Keasaman sebagai CH ₃ COOH	mg/l, maks	30
7.	Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
8.	Kadar ion klorida (Cl)	mg/l, maks	40
9.	Kandungan belerang (S)	mg/l, maks	50
10.	Kadar getah (gum), dicuci	mg/100 ml, maks	5,0
11.	pHe		6,5—9,0

¹⁾ Jika tidak diberikan catatan khusus, nilai batasan (spesifikasi) yang tertera adalah nilai untuk bioetanol yang sudah didenaturasi.

²⁾ FGE atau etanol kering biasanya memiliki berat jenis dalam rentang 0,7936—0,7961 (pada kondisi 15,56/15,56° C) atau berat jenis dalam rentang 0,7871—0,7896 (pada kondisi 25/25° C), diukur dengan cara piknometri atau hidrometri yang sudah sangat lazim diterapkan dalam industri alkohol.

2. Mari kita bahas spesifikasi tersebut dengan menanyakan apakah persyaratan denaturan?

Denaturan khusus etanol untuk gasohol harus merupakan produk dari fraksi minyak bumi. Biasanya berupa komponen campuran (*blending component*) bensin (seperti kondensat, *light naphtha*, *heavy naphtha*, dan berbagai produk bensin, tetapi bukan produk-produk, seperti metanol, pyroles, terpenin, tar, dan keton) dan dicampurkan dalam etanol dengan konsentrasi antara 2–5% volume. Hidrokarbon denaturan tidak boleh ber titik didih akhir melebihi 225° C.

3. Mengapa tembaga harus dibatasi?

Karena pada konsentrasi $Cu > 0,012$ mg/kg di dalam bensin dapat meningkatkan laju pembentukan getah (*gum*) secara signifikan.

4. Apakah dampak getah (*gum*) di bensin?

Gum merupakan residu dari proses evaporasi bahan bakar bensin. *Gum* tidak dicuci (*unwashed gum content*) yang kemudian dicuci dengan pelarut heptan mengandung *gum* yang larut dalam bahan bakar dan *gum* yang tak larut. Keduanya dapat mengendap di permukaan sistem induksi bahan bakar dan lengket di katup masukan (*intake valves*). *Gum* yang tak larut (*fuel-insoluble gum*) dapat pula menyumbat saringan bahan bakar. Metode pengukuran getah (*gum*) dicuci bertujuan untuk mendeteksi dan mengukur pengotor yang tidak larut pada heptan atau produk-produk oksidasi yang terbentuk pada bahan bakar sebelum atau selama tes berlangsung.

5. Apakah keasaman sebagai CH_3COOH (asam asetat) dan fungsinya?

Keasaman sebagai CH_3COOH adalah parameter jumlah total keasaman yang terdapat dalam bahan bakar etanol pada konsentrasi rendah ($< 0,05\%$). Keasaman tersebut bisa berasal dari kontaminasi atau penguraian (oksidasi) etanol selama penyimpanan, distribusi, dan/atau pembuatan etanol. Larutan encer asam organik yang mempunyai berat molekul rendah, seperti asam asetat, sangat korosif terhadap sebagian besar logam



sehingga konsentrasinya harus ditekan serendah mungkin. Keasaman total dapat pula dinyatakan sebagai mg NaOH/g sampel bahan bakar etanol.

6. Apakah pHe dan fungsinya?

pHe adalah ukuran kekuatan asam di dalam bahan bakar alkohol. pHe merupakan indikator yang baik untuk mengetahui potensial korosi etanol sebagai bahan bakar. Bila nilai pHe bahan bakar etanol $< 6,5$ dapat terjadi aus pada injektor bahan bakar, silinder mesin, dan pompa bahan bakar bisa gagal bekerja. Jika nilai pHe $> 9,0$, bagian plastik pompa bahan bakar bisa rusak. Berbagai dampak buruk tersebut dapat dikurangi bila kadar etanol yang dicampur dengan bensin sekitar 10%-v.

7. Bagaimana persyaratan tampilan bioetanol?

Bahan bakar bioetanol harus bebas dari endapan dan zat terlarut secara visual, sehingga terlihat jernih dan terang pada suhu kamar.

B. Metode Uji Mutu Bioetanol

Metode uji mutu bioetanol ditetapkan dengan cara pengambilan contoh sesuai dengan SNI 19-0429-1989, *Petunjuk Pengambilan Contoh Cairan dan Semi Padat*. Yuk, kita bahas secara berurutan.

a. Metode Penentuan Kadar Etanol dan Metanol dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi dengan Khromatografi Gas

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur analisis metode ini! Contoh bioetanol kering terdenaturasi diinjeksi ke dalam khromatograf gas yang dilengkapi dengan kolom gelas kapiler berlapis-dalam metil silikon. Gas pembawa helium kemudian mengangkat uap bahan tersebut menerobos kolom, sehingga komponen-komponennya terpisah oleh proses khromatografik. Ketika terseret keluar dari kolom, komponen-komponen ini terdeteksi oleh detektor nyala pengion dan sinyal detektor

diolah oleh suatu sistem akuisisi data elektronik. Komponen-komponen etanol dan metanol teridentifikasi melalui waktu retensinya, sedangkan konsentrasi tiap komponen ditentukan dalam luas persen massa melalui normalisasi luas puncak-puncak khromatogram.

2. Apa saja peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan analisis ini?

Analisis ini membutuhkan sebuah khromatograf gas berdetektor nyala pengion (*flame ionization detector* atau FID). Alat ini dilengkapi dengan kolom gelas kapiler berlapis-dalam metil silikon (yang berikatan silang dan terikat secara kimia pada permukaan gelas kolom) dengan dimensi 150 m x 0,25 mm dan tebal film metil silikon 1,0 mm. Kolom lain bisa juga digunakan dengan syarat efisiensi dan selektivitas khromatografiknya setara atau lebih baik dari kolom yang dipertelakan (*specified*) di sini. Khromatograf harus mampu beroperasi pada kondisi tipikal sebagai berikut.

— Program temperatur kolom

Panjang kolom	: 150 m
Temperatur awal	: 60° C
Waktu penahanan awal	: 15 menit
Laju program	: 30° C/menit
Temperatur akhir	: 250° C/menit
Waktu penahanan akhir	: 23 menit

— Injektor

Temperatur	: 300° C
Nisbah pembagian (<i>split ratio</i>)	: 200 : 1
Ukuran contoh yang diinjeksikan	: 0,1 sampai 0,5 ml (mikroliter)

- Detektor
 - Tipe : FID (nyala pengion)
 - Temperatur : 300° C
 - Gas bahan bakar : Hidrogen (sekitar 30 ml/menit)
 - Gas pembakar : Udara (sekitar 300 ml/menit)
 - Gas penambah (*make-up*) : Nitrogen (sekitar 30 ml/menit)

- Gas pembawa
 - Tipe : Helium
 - Kecepatan linear rata-rata : 21–24 cm/s

Gas pembawa helium harus memiliki kemurnian minimum 99,95%. Sebelum memasuki khromatograf, terlebih dahulu dilewatkan pada sistem atau alat penyingkir oksigen dan pemurni gas. Gas hidrogen dan nitrogen untuk detektor juga harus mempunyai kemurnian 99,95%, sedangkan udara pembakar harus bebas dari hidrokarbon. Sebelum memasuki detektor, disarankan ketiga gas ini masing-masing dilewatkan pada sistem pemurni gas.

3. Bagaimana proses penyiapan, kalibrasi, dan standardisasi analisis metode ini?
 - a. Periksa dan pastikan bahwa khromatograf gas (telah dipasang selayaknya) bebas dari kebocoran. Jika terdapat kebocoran, eratkan sambungan-sambungan atau ganti dengan yang baru.
 - b. Atur laju aliran gas pembawa. Periksa kecepatan linear rata-rata gas pembawa pada temperatur awal program, pastikan berada pada kisaran 21–24 cm/s. Pemeriksaan dilakukan dengan mengukur waktu retensi metana (CH_4) di kolom dan menghitung kecepatan linear rata-rata dengan persamaan:

$$\bar{v} = \frac{L}{t_R}$$

Keterangan

\bar{v} = kecepatan linear rata-rata gas pembawa (cm/s)

L = panjang kolom (cm)

t_R = waktu retensi metana pada kolom (s)

- Laju aliran dikontrol melalui pengaturan besar-kecil tekanan gas pembawa ke injektor.
- c. Atur kondisi operasi lainnya agar sesuai dengan kondisi tipikal di atas dan biarkan beberapa lama agar sistem mencapai kesetimbangan optimum.
 - d. Zat-zat standar yang diperlukan untuk kalibrasi, yaitu heptana, metanol, etanol, dan (jika dikehendaki) alkohol-alkohol monohidroksi C_3-C_7 . Semua zat tersebut harus murni atau diketahui tingkat kemurniannya dan bebas dari komponen-komponen lain yang akan dianalisis. Khusus untuk etanol, kemurniannya harus minimum 99,5%.
 - e. Langkah awal kalibrasi dilakukan dengan menyiapkan campuran-campuran zat yang diketahui komposisinya dan berkadar etanol 94–98%v, metanol 0,1–0,5%v, dan sisanya heptana (pengganti denaturan). Jika dikehendaki, campuran bisa juga mengandung alkohol-alkohol C_3-C_5 dalam jumlah kecil, tetapi diketahui secara teliti.
 - f. Tentukan waktu retensi etanol, metanol, dan alkohol-alkohol lain dengan menginjeksikan contoh zat-zat ini ke khromatograf secara terpisah atau dalam bentuk campuran kalibrasi di atas. Pastikan bahwa tiap alkohol dapat dideteksi dan diintegrasikan dengan benar. Adanya puncak yang tidak simetris di bagian depan (*front-skewed*) menunjukkan bahwa kolom terbanjiri (*overload*) oleh komponen ini dan nisbah pembagian (*split ratio*) injektor terlalu kecil.
 - g. Plot luas puncak pada khromatogram versus konsentrasi etanol untuk campuran-campuran kalibrasi harus linear. Jika tidak, perbesar nisbah pembagian injektor atau buat rentang detektornya menjadi agak kurang peka.
 - h. Persen massa tiap komponen yang diperoleh dari luas-luas puncak di khromatogram harus sekitar 3% (relatif) dari konsentrasinya dalam campuran kalibrasi.
 - i. Tentukan pula faktor-faktor respons relatif berbasis massa untuk metanol, etanol, dan alkohol-alkohol lain berdasarkan

khromatogram campuran kalibrasi. Faktor respons relatif berbasis massa dari komponen i (R_i) di rumuskan sebagai berikut.

$$R_i = \frac{\{(luas\ puncak)/(persen\ massa)\}_i}{\{(luas\ puncak)/(persen\ massa)\}_{heptana}}$$

Nilai-nilai tipikal faktor respons relatif berbasis massa dapat dilihat di tabel 39.

Tabel 39. Nilai tipikal faktor respons relatif berbasis massa

Zat _i	R_i	Berat Jenis Pada 15,56/15,56° C
Metanol	3,20	0,796
Etanol	2,06	0,794

4. **Bagaimana prosedur analisis metode ini?**
 - a. Pastikan bahwa sistem khromatograf telah berada pada kondisi operasi yang layak (seperti tertera di no.3, di atas).
 - b. Atur kepekaan sistem khromatograf agar tiap komponen yang kadarnya $\geq 0,002\%$ massa dapat dideteksi dan diintegrasikan dengan benar.
 - c. Injeksikan 0,1–0,5 ml contoh yang dianalisis ke dalam gerbang injeksi (injektor) dan mulai analisis. Peroleh khromatogram beserta laporan integrasi (luas) puncak-puncaknya.

5. **Bagaimana perhitungan dan pelaporan analisis metode ini?**
 - a. Kalikan tiap luas puncak yang terdeteksi (A_i) dengan faktor respons relatif berbasis massanya (R_i). Gunakan faktor-faktor yang diperoleh untuk tiap komponen sewaktu kalibrasi dan gunakan faktor 1,000 untuk puncak yang tidak diketahui.
 - b. Tentukan persen massa relatif tiap alkohol (RM_i) dengan persamaan di bawah ini.

$$RM_i = \frac{A_i R_i \times 100}{\sum_i^n A_i R_i}$$

Keterangan:

n = banyak puncak yang terdeteksi

- c. Dapatkan angka persen massa air di dalam contoh yang dianalisis. Lihat metode penentuan kadar air dalam bioetanol kering terdenaturasi dengan reagen Karl Fisher.
- d. Tentukan % massa alkohol-alkohol (M_i) dengan menggunakan persamaan berikut.

$$M_i = \frac{RM_i \times (100 - \text{persen massa air di dalam contoh})}{100}$$

- e. % volume alkohol-alkohol (V_i) dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$V_i = \frac{M_i \times D_c}{D_i}$$

Keterangan:

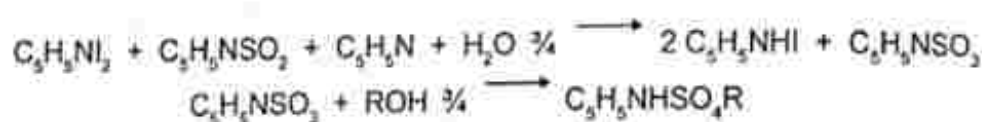
D_c = berat jenis contoh yang dianalisis pada kondisi 15,56/15,56° C (dapat diukur dengan cara hidrometri atau piknometri)

D_i = berat jenis komponen i pada kondisi 15,56/15,56° C (untuk metanol dan etanol, diberikan di tabel 39).

- f. Laporkan nilai persen massa maupun persen volume alkohol-alkohol hanya sampai dua angka di belakang koma.
- g. Perbedaan relatif dari hasil-hasil berurutan yang diperoleh seorang analis pada contoh yang sama seharusnya tidak lebih dari 0,22%.

b. Metode Penentuan Kadar Air di dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi dengan Reagen Karl Fischer

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur analisis metode ini! Contoh bioetanol kering terdenaturasi dilarutkan dalam suatu cairan pelarut yang sesuai dan dititrasasi dengan reagen Karl Fischer (yaitu campuran iodium, belerang dioksida, piridin, dan metanol atau eter glikol) pada komposisi tertentu. Selama larutan masih mengandung air, iodium dalam reagen Karl Fischer titran akan tereduksi menjadi asam iodida (hidrogen iodida). Titik akhir titrasi adalah pemunculan pertama iodium bebas yang bisa dideteksi secara visual, elektrometrik, atau cara deteksi lain. Persamaan-persamaan reaksi fundamental titrasi ini sebagai berikut.



2. Apa saja peralatan dan reagen yang harus disediakan?

Aneka peralatan titrasi Karl Fischer dan reagensinya dapat diperoleh dari berbagai perusahaan pembuat (pemasok) yang memiliki reputasi yang andal. Peralatan titrasi Karl Fischer mampu menganalisis kadar air sampai 2%-massa di dalam etanol, dengan ketelitian (*accuracy*) dan ketepatan (*precision*) sampai tiga angka di belakang koma. Perusahaan pemasok akan menyerahkan juga buku pintar (*manual book*) pelaksanaan kalibrasi dan analisis serta menyarankan reagen Karl Fischer yang diperlukan.

Perhatian! Reagen Karl Fischer mengandung empat senyawa beracun, yakni iodium, belerang dioksida, piridin, dan metanol (atau eter glikol). Reagen harus dituang (atau dipindah-wadahkan) dalam ruang yang berventilasi baik. Hindari penghirupan (uap) reagen atau kontak langsung dengan kulit. Permukaan (atau kulit) yang tertumpahi reagen harus segera dicuci dengan air yang banyak.

3. Bagaimana proses penyiapan kalibrasi dan standarisasi analisis metode ini?

Ikuti dan laksanakan dengan seksama prosedur kalibrasi dan analisis yang tertera dalam buku pintar yang diberikan bersama dengan peralatan titrasi.

4. Bagaimana pelaporan analisis metode ini?

Laporkan kadar air yang diperoleh dari analisis dalam unit %-massa.

c. Metode Penentuan Kadar Denaturan dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi

Bagaimana prosedur analisis metode ini?

%-volume denaturan (hidrokarbon) dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

$$V_{hd} = 100 - V_{air} - \sum_1^a V_i$$

Keterangan;

V_{hd} = %-volume denaturan (hidrokarbon)

V_{air} = %-volume air di dalam contoh yang dianalisis

V_i = %-volume alkohol i di dalam contoh yang dianalisis

a = banyak alkohol yang teridentifikasi dalam khromatogram pada pelaksanaan analisis khromatografik (lihat metode penentuan kadar etanol dan metanol dalam bioetanol kering terdenaturasi dengan khromatografi gas).

%-volume air (V_{air}) dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$V_{air} = M_{air} \times D_c$$

Keterangan;

D_c = berat jenis contoh yang dianalisis pada 15,56/15,56° C (dapat diukur dengan cara hidrometri atau piknometri)

M_{air} = %-massa air di dalam contoh yang dianalisis (lihat metode penentuan kadar air dalam bioetanol kering terdenaturasi dengan reagen Karl Fischer).

d. Metode Penentuan Kadar Tembaga dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur analisis metode ini! Kadar total tembaga dalam bioetanol terdenaturasi ditentukan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) setelah contoh bioetanolnya diolah dengan asam nitrat atau asam klorida, kemudian disaring.

2. Apa saja peralatan yang diperlukan?

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) digunakan pada panjang gelombang 324,7 nm (atau panjang gelombang selain 324,7 nm yang telah dipastikan sama cocoknya) dengan kelengkapan sebagai berikut.

- Lampu katode-bolong tembaga.
- Oksidan berupa udara yang telah dilewatkan saringan penyingkir minyak, air, dan zat-zat asing lainnya.
- Bahan bakar berupa asetilen yang lazim tersedia secara komersial. Aseton, selalu ada di dalam botol asetilen, dapat mempengaruhi hasil analisis. Karena itu, silinder harus diganti dengan yang baru (berisi penuh) bila tekanannya telah turun sampai 345 kPa (50 psig).
Perhatian! Asetilen kualitas "dimurnikan" yang menggunakan pelarut yang dirahasiakan (selain aseton) tidak boleh digunakan di pipa PVC karena pelemahan pipa dapat menimbulkan bahaya.
- Katup pengurang tekanan (*pressure-reducing valves*). Penyediaan bahan bakar dan oksidan harus dijaga pada tekanan yang lebih tinggi dari tekanan operasi peralatan.

3. Apa saja reagen-reagen yang dibutuhkan dalam analisis ini?

- Etanol 95%-v.
- Asam klorida (HCl) pekat, berat jenis 1,19.
- Asam nitrat (HNO₃) pekat, berat jenis 1,42.
- Asam nitrat (1 + 499), dibuat dengan menambahkan 1 volume HNO₃ pekat ke dalam 499 volume etanol 95%-v.

- Larutan tembaga stok (1,0 ml = 1,0 mg Cu). Larutkan 1,000 g tembaga elektrolitik yang ditempatkan dalam gelas kimia 250 ml ke dalam campuran 15 ml HNO_3 pekat dan 15 ml akuades. Tambahkan perlahan-lahan 4 ml H_2SO_4 (1 + 1) dan panaskan hingga terbentuk uap SO_3 . Dinginkan, bilas dinding dalam gelas kimia dengan etanol 95%-v. Pindahkan secara kuantitatif isi gelas kimia tersebut ke dalam labu takar 1 l dan tambahkan etanol 95%-v sampai ke batas takar. Kocok agar isi labu tercampur sempurna.
- Larutan tembaga standar (1,0 ml = 1,0 mg Cu). Encerkan 100,0 ml larutan tembaga stok hingga volume 1 l dengan etanol 95%-v.

Catatan: gunakan bahan-bahan kimia kualitas reagen (PA)!

4. Bagaimana penentuan standarisasi?

- a. Siapkan satu larutan blanko dan minimal empat larutan standar, masing-masing 100 ml, untuk meliputi rentang konsentrasi tembaga (Cu) yang diperkirakan pada contoh-contoh bioetanol terdenaturasi yang akan dianalisis. Caranya, encerkan larutan tembaga standar dengan asam nitrat (1 + 499). Siapkan larutan-larutan standar tersebut setiap akan melakukan pengujian.
- b. Tambahkan 5 ml HCl pekat pada masing-masing larutan-larutan tersebut.
- c. Panaskan larutan-larutan pada penangas uap atau piringan pemanas (*hotplate*) di dalam lemari asam yang berventilasi baik, sehingga volumenya tersisa 15–20 ml tanpa pernah mendidih.
- d. Dinginkan dan filter larutan-larutan itu melalui saringan yang cocok (misalnya kertas saring tak mengabu, tercuci asam, dan bertekstur halus) ke dalam labu takar 100 ml. Cuci kertas saring 2 atau 3 kali dengan etanol 95%-v, kemudian tambahkan lagi etanol 95%-v ke dalam labu sampai batas takar.
- e. Aspirasikan larutan-larutan blanko dan standar tersebut dan rekam pembacaan absorbansi alat SSA pada 324,7 nm. Aspirasikan asam nitrat (1 + 499) di antara tiap larutan standar.

- f. Buat/siapkan kurva analitik/kalibrasi dengan memplot hubungan absorbansi dengan konsentrasi tembaga untuk tiap larutan standar di kertas grafik linear. Konsentrasi bisa juga terbaca langsung bila alat SSA-nya mampu menampilkan bacaan ini.
5. **Bagaimana prosedur analisis dilaksanakan?**
 - a. Contoh-contoh bioetanol terdenaturasi yang hendak dianalisis harus diawetkan pada $\text{pH} \leq 2$ dengan penambahan HNO_3 pekat (biasanya sekitar 2 ml/l) segera sesudah contoh-contoh dikumpulkan/diterima.
 - b. Ukur tepat 100,0 ml contoh yang telah diasamkan dan tercampur sempurna ke dalam gelas kimia atau labu 125 ml.
 - c. Tambahkan 5 ml HCl pekat pada tiap contoh tersebut.
 - d. Panaskan contoh-contoh itu pada penangas uap (*steam bath*) atau piringan pemanas (*hotplate*) di dalam lemari asam yang berventilasi baik, sehingga volumenya tinggal 15–20 ml tanpa pernah mendidih.
 - e. Dinginkan dan filter larutan-larutan itu melalui saringan yang cocok (misalnya kertas saring tak mengabu, tercuci asam, dan bertekstur halus) ke dalam labu takar 100 ml. Cuci kertas saring 2 atau 3 kali dengan akuades, kemudian tambahkan lagi akuades ke dalam labu sampai batas takar.
 - f. Aspirasikan tiap contoh yang sudah diasamkan dan disaring tersebut, tentukan/ukur absorbansinya pada 324,7 nm. Aspirasikan asam nitrat (1 + 499) di antara tiap larutan standar.
 6. **Analisis telah dilaksanakan, bagaimana perhitungan konsentrasi tembaga?**
 - a. Hitung konsentrasi tembaga dalam tiap contoh (dalam satuan mg/l) dengan menggunakan kurva analitik/kalibrasi atau dengan membaca langsung pada alat SSA-nya [lihat penentuan standardisasi (4e)].
 - b. Uji yang dilakukan dapat dinyatakan sah, bila konsentrasi tembaga yang diperoleh dari pengukuran berada dalam rentang 0,05–5 mg/l.

e. Metode Penentuan Keasaman Bioetanol Kering Terdenaturasi

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur analisis metode ini! Contoh bioetanol terdenaturasi dicampur dengan alkohol pada perbandingan volume 50 : 50, kemudian dititrasikan dengan larutan natrium atau kalium hidroksida sampai ke titik akhir fenolftalein.

2. Apa saja reagen-reagen yang dibutuhkan dalam analisis ini?

- Etanol 95%-v.
- Larutan indikator fenolftalein (10 g/l). Larutkan 1 g fenolftalein dalam etanol 95%-v dan encerkan hingga volume 100 ml dengan alkohol tersebut.
- Larutan standar natrium hidroksida (0,05 N). Buat dan standarkan larutan natrium hidroksida 0,05 N. Sebagai alternatif, bisa digunakan larutan kalium hidroksida (KOH) 0,05 N.

Ingat! Gunakan bahan-bahan kimia kualitas reagen (PA).

3. Bagaimana prosedur analisis dilaksanakan?

- a. Pipet 50 ml etanol 95%-v ke dalam labu erlenmeyer 250 ml.
- b. Tambahkan 0,5 ml larutan indikator fenolftalein. Titrasikan alkohol pelarut ini dengan larutan NaOH 0,05 N dari buret 10 ml berskala-terkecil 0,05 ml, hingga warna fenolftalein tepat berubah (teramati warna merah muda untuk pertama kali).
- c. Pipet 50 ml contoh bioetanol terdenaturasi yang dianalisis ke dalam labu erlenmeyer dan titrasikan dengan larutan NaOH 0,05 N hingga warna merah muda yang sama teramati kembali.

4. Bagaimana perhitungan keasaman?

$$\text{Keasaman (sebagai asam asetat), \% \text{-berat}} = \frac{(VN \times 0,12)}{D}$$

atau

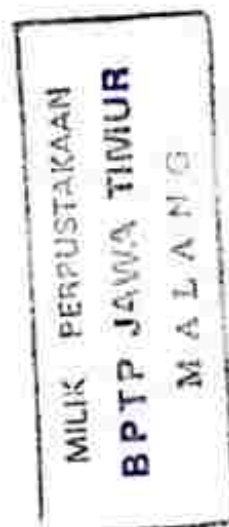
$$\text{Keasaman (sebagai mg KOH/g-contoh)} = \frac{(VN \times 1,12)}{D}$$

Keterangan:

V = volume larutan NaOH yang diperlukan untuk menitrasi cuplikan (ml)

N = normalitas larutan NaOH

D = berat jenis contoh bioetanol yang dianalisis pada temperatur pengujian



f. Metode Penentuan Ion Klorida dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur analisis metode ini! Larutan ferri amonium sulfat dan merkuri tiosianat ditambahkan ke contoh yang dianalisis. Ion klorida bereaksi dengan merkuri tiosianat menghasilkan ion tiosianat yang selanjutnya bereaksi dengan ion ferri membentuk ferri tiosianat yang berwarna merah. Intensitas warnanya, yang berbanding lurus dengan konsentrasi ion klorida, diukur secara fotometrik pada panjang gelombang 463 nm atau melalui perbandingan visual dengan larutan-larutan standar.

2. Apa saja peralatan yang dibutuhkan untuk melaksanakan analisis ini?

Fotometer atau tabung-tabung nessler, yaitu sebuah fotometer yang sesuai untuk pengukuran pada panjang gelombang 463 nm atau 1 set tabung-tabung Nessler 50 ml untuk mengevaluasi intensitas warna merah yang timbul.

3. Reagen-reagen apa yang harus disiapkan?

- a. Larutan ferri amonium sulfat. Larutkan 5,0 g ferro amonium sulfat $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ke dalam 20 ml akuabides (distilat yang diperoleh dengan mendistilasi ulang akuades). Tambahkan 38 ml HNO_3 pekat (berat jenis 1,42), kemudian didihkan untuk mengoksidasi ion ferro menjadi ion ferri dan menyingkirkan oksida-oksida nitrogen. Encerkan dengan akuabides hingga volumenya menjadi 100 ml.
- b. Larutan merkuri tiosianat dalam metanol (3 g/l). Larutkan 0,30 g merkuri tiosianat $[\text{Hg}(\text{CNS})_2]$ ke dalam 100 ml metanol. Simpan dalam botol berwarna amber (kuning-cokelat). Biarkan selama 24 jam sebelum digunakan dan jangan digunakan lagi bila telah berumur lebih dari 4 minggu.

Perhatian!

- Garam-garam merkuri sangat beracun, berhati-hatilah agar jangan sampai ada yang tertelan atau terhirup.

- Sedikit presipitat bisa terbentuk di dalam botol amber penyimpanan dan mengendap sesudah 24 jam. Karena hanya bagian cairan reagen yang jernih yang boleh digunakan, berhati-hatilah agar presipitat tersebut tidak tersuspensi ulang sewaktu reagen diambil.
- c. Larutan standar natrium klorida (10 mg Cl/l). Keringkan beberapa gram natrium klorida (NaCl) selama 1 jam pada suhu 600° C. Buat larutan stok dengan melarutkan tepat 1,649 g natrium klorida kering dalam akuabides dan kemudian mengencerkannya sampai 1 l. Larutan standar selanjutnya dibuat bila diperlukan, melalui pengenceran 10 ml larutan stok sampai 1 l dengan akuabides. Larutan standar tersebut mengandung 10 mg ion klorida per liter.

Ingat! Gunakan bahan-bahan kimia kualitas reagen (PA).

4. Bagaimana kalibrasi dilaksanakan?

- a. Siapkan/buat sederetan standar-standar rujukan (misalnya yang berkadar 2, 4, 6, 8, dan 10 mg Cl/l) melalui pengenceran larutan standar natrium klorida dengan akuabides.
- b. Pipet 25 ml masing-masing standar rujukan ke dalam silinder bertutup gelas serta tambahkan berturut-turut 5 ml larutan ferri amonium sulfat dan 2,5 ml larutan merkuri tiosianat. Kocok baik-baik agar cairan isi silinder tercampur sempurna, kemudian biarkan tenang selama 10 menit. Jika pengukuran kadar intensitas warna dilakukan dengan fotometer, teruskan ke proses selanjutnya.
- c. Ukur intensitas warna yang terbentuk dengan fotometer. Atur titik nol fotometer dengan menggunakan 25 ml akuabides yang telah diolah seperti pada proses sebelumnya.
- d. Buat kurva kalibrasi dengan memplot hubungan pembacaan pada fotometer dengan konsentrasi ion klorida. Jika skala pembacaan fotometer adalah absorbansi, plot hubungan tersebut pada kertas grafik biasa. Jika skala pembacaan fotometer adalah transmitansi, plot hubungannya pada kertas grafik semilogaritma dengan transmitansi pada sumbu logaritmik.

Perhatian!

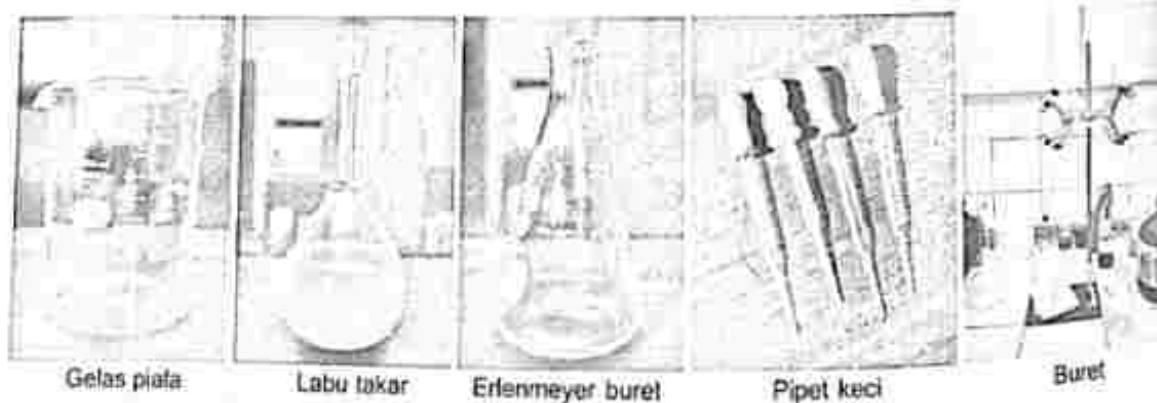
Ion klorida adalah kontaminan yang sangat umum, sehingga alat-alat gelas yang digunakan, baik dalam kalibrasi maupun pelaksanaan analisis harus benar-benar bersih. Semua alat-alat gelas yang baru harus direndam dahulu di dalam HNO_3 (1 + 19) panas selama beberapa jam. Kepastian bahwa alat-alat gelas yang baru sudah memenuhi syarat bisa diperoleh melalui penggunaan alat-alat tersebut dalam pengujian klorida pada akuabides. Hasilnya harus menunjukkan ketiadaan ion klorida.

5. Bagaimana prosedur analisis ini?

- Pipet 5 ml contoh bioetanol terdenaturasi yang dianalisis ke dalam silinder bertutup gelas dan tambahkan 20 ml akuabides. Kocok baik-baik agar cairan dalam silinder tercampur sempurna
- Tambahkan berturut-turut 5 ml larutan ferri amonium sulfat dan 2,5 ml larutan merkuri tiosianat. Kocok baik-baik agar cairan tercampur sempurna, kemudian biarkan tenang selama 10 menit.
- Ukur intensitas warna yang terbentuk pada contoh terencerkan tersebut melalui perbandingan dengan warna standar-standar rujukan di dalam tabung nessler atau dengan fotometer. Jika pengukuran menggunakan fotometer, set titik nol fotometer dengan menggunakan 25 ml akuabides yang telah diolah seperti pada proses sebelumnya.

6. Bagaimana pelaporan hasil analisis?

Nilai kadar ion klorida di dalam contoh bioetanol terdenaturasi yang dianalisis (yaitu nilai yang harus dilaporkan) adalah 5 kali nilai kadar ion klorida yang terukur pada contoh terencerkan.



Gelas piala

Labu takar

Erlenmeyer burel

Pipet kecil

Buret

g. Metode Penentuan Belerang dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi dengan *Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur metode ini!

Contoh yang dianalisis ditempatkan di dalam berkas sinar X dan intensitas puncak dari garis Ka belerang pada 5,373 Å diukur. Intensitas latar belakang yang diukur pada panjang gelombang yang disarankan yaitu 5,190 Å (5,437 Å untuk tabung target Rh), dikurangkan dari intensitas puncak tersebut. Intensitas *netto* yang diperoleh, dibandingkan dengan kurva atau persamaan kalibrasi yang telah dibuat sebelumnya sehingga didapatkan konsentrasi belerang dalam unit %-massa.

2. Apa saja peralatan yang harus disiapkan?

Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF) yang dilengkapi dengan pendeteksi sinar X dalam rentang 5,37 Å. Agar memiliki kepekaan optimum terhadap belerang, alat ini hendaknya dilengkapi dengan instrumen lain sebagai berikut.

- Jalur optik (*optical path*) helium.
- Penganalisis tinggi pulsa (*pulse-height analyzer*) atau cara pendiskriminasi energi lainnya.
- Detektor untuk mendeteksi panjang gelombang sinar X di daerah besar.
- Kristal penganalisis yang sesuai untuk dispersi sinar X Ka belerang di dalam rentang sudut spektrometer yang digunakan (contoh pentaeritritol, germanium).
- Tabung sinar X yang mampu mengeksitasi radiasi Ka belerang (contoh tabung dengan anoda rodium, krom, dan skandium).

3. Reagen-reagen apa yang harus disiapkan?

- a. Di-n-butyl sulfida, standar berkemurnian tinggi yang bersertifikat analisis untuk kadar belerang. Gunakan kadar belerang yang tersertifikasi tersebut ketika menghitung konsentrasi eksak standar-standar kalibrasi.

Catatan:

Informasi mengenai konsentrasi belerang (S) di dalam zat ini lebih penting daripada kemurniannya, karena zat pengotor yang ada dapat pula berupa senyawa yang mengandung belerang.

- b. *Drift correction monitor* (fakultatif). Bahan mengandung belerang yang dapat digunakan sebagai *drift correction monitor*, antara lain zat padat semi permanen, sampel bedak padat, logam paduan, dan lain-lain. Laju hitungan (*count rate*) contoh monitor ditentukan selama kalibrasi [lihat pelaksanaan kalibrasi (5d)] dan sekali lagi pada saat analisis [lihat prosedur analisis (6a)] yang kemudian digunakan untuk menghitung faktor koreksi pelencengan atau *drift correction factor* [lihat perhitungan analisis (7a)].

Koreksi pelencengan biasanya dilaksanakan oleh suatu perangkat lunak, meskipun perhitungan manual sebenarnya mudah dilaksanakan. Instrumen-instrumen sinar X yang sangat stabil memiliki faktor koreksi pelencengan bernilai di dekat 1.

Catatan:

Larutan standar kalibrasi dapat digunakan untuk keperluan ini. Standar dapat dibuat dari bahan yang lebih murah untuk penggunaan harian karena standar hendaknya dibuang setelah setiap penentuan koreksi penyimpangan.

- c. *White oil* (minyak putih) atau bahan dasar yang sesuai yang mengandung < 2 mg/kg belerang. Jika diperkirakan belerang yang diukur berkonsentrasi rendah (< 200 mg/kg), kandungan belerang yang terdapat di dalam bahan dasar (bila ada) perlu dimasukkan dalam perhitungan konsentrasi larutan standar untuk kalibrasi.

Catatan:

Bila bahan turunan minyak bumi mempunyai komposisi yang berbeda dengan minyak putih seperti yang dijabarkan di pelaksanaan kalibrasi (5a), bahan tersebut dapat dianalisis dengan standar yang dibuat dari bahan dasar dengan komposisi yang sama atau serupa. Bensin dapat disimulasikan dengan mencampurkan isooktan dan toluen pada rasio yang mendekati kandungan aromatik sampel yang akan dianalisis.

- d. Lembaran film transparan sinar X yang tahan terhadap "serangan" contoh yang akan dianalisis, bebas belerang, dan cukup transparan bagi sinar X (contoh poliester, polipropilen).
- e. Gas helium, kemurnian minimum 99,9%.
- f. Gas penghitung (*counting gas*), alat yang dilengkapi dengan penghitung aliran proporsional.
- g. Sel-sel contoh yang cocok dengan contoh yang dianalisis dan persyaratan geometri spektrometer. Sel sekali-pakai lebih disukai.
- h. Contoh penguji kalibrasi, yaitu satu porsi atau lebih minyak bumi atau produk standar lain yang diketahui kadar belerangnya dan tidak digunakan dalam pembuatan kurva kalibrasi. Contoh penguji ini hendaknya digunakan untuk menentukan tingkat ketelitian kalibrasi awal.
- i. Contoh pengendali mutu, yakni contoh minyak bumi atau produk stabil yang mewakili contoh-contoh yang biasa dianalisis oleh spektrofotometer dan digunakan secara berkala untuk memverifikasi bahwa sistem bekerja baik secara statistik.

Ingat! Gunakan bahan-bahan kimia kualitas reagen (PA).

4. Bagaimana cara pengambilan contoh dan penyiapan spesimen?

- a. Pengambilan sampel hendaknya sesuai dengan SNI 19-0429-1989 tentang *Petunjuk Pengambilan Contoh Cairan dan Semi Padat*.
 - Bila digunakan sel contoh yang dapat dipakai ulang, bersihkan dan keringkan sel sebelum digunakan kembali. Jangan gunakan kembali sel contoh sekali pakai (*disposable*).
 - Satu lembar film sinar X yang tidak digunakan di tiap contoh, diperlukan untuk sel sampel. Hindari menyentuh bagian dalam sel contoh, bagian bukaan (*window*) film pada sel, atau bukaan alat yang terpapar oleh sinar X. Lembaran film haruslah rapi dan bersih agar hasil yang diperoleh dapat dipercaya.

- Jika jenis atau ketebalan bukaan film diganti, alat penganalisa (*analyzer*) perlu dikalibrasi kembali.
 - Lubang angin kecil dibuat setelah sel contoh diisi.
- b. Zat pengotor atau variasi ketebalan film yang ditemukan di film dari poliester, dapat mempengaruhi pengukuran belerang pada kadar rendah, sehingga kalibrasi harus dicek bila memulai pengujian dengan gulungan atau lembaran film baru.

5. Bagaimana pelaksanaan kalibrasi?

- a. Siapkan standar untuk kalibrasi secara seksama dengan mengencerkan di-n-butyl sulfida tersertifikasi dengan minyak putih atau bahan dasar lainnya. Standar yang telah diketahui kadar belerangnya sebaiknya mendekati konsentrasi belerang yang tercantum pada tabel 40 untuk rentang konsentrasi belerang yang sedang diuji. Perlu diperhatikan bahwa perhitungkan pula kemungkinan terdapatnya belerang dalam bahan dasar ketika mengukur konsentrasi larutan standar < 0,02 %-b.

Tabel 40. Standar belerang

Konsentrasi Belerang (S) %-berat	Konsentrasi Belerang (S) %-berat	Konsentrasi Belerang (S) %-berat
0,0000 ¹⁾	0,100	1,0
0,001	0,250	2,0
0,010	0,500	3,0
0,025		4,0
0,050		5,0
0,075		

¹⁾ Bahan dasar

Catatan: standar yang tersedia secara komersial dapat digunakan bila kadar belerangnya sudah diketahui secara akurat dan mendekati nilai tersebut di atas.

- b. Buat kurva kalibrasi dengan mengukur secara seksama intensitas *netto* radiasi belerang yang dilepaskan oleh setiap standar, sesuai dengan tahapan yang tertulis di prosedur dan perhitungan analisis.
- c. Bangun model kalibrasi dengan menggunakan piranti lunak dan algoritma yang disediakan produsen alat atau dengan mencocokkan data ke salah satu persamaan berikut:

$$S\% = (D + ER)(1 + \alpha S) \quad \text{atau} \quad (1)$$

$$S\% = aR + bR^2 + c \quad (2)$$

Keterangan:

- S = konsentrasi belerang dalam %-berat (%-b)
- D = intersep kurva kalibrasi
- E = kemiringan (*slope*) kurva kalibrasi
- R = intensitas *netto* radiasi belerang
- α = faktor koreksi pengaruh belerang (*sulfur effect*) terhadap hasil a,b,c adalah konstan yang disesuaikan

Catatan: α dalam persamaan (1) dapat ditentukan secara empiris ataupun teoritis (disediakan oleh penyedia alat).

- d. Plot intensitas *netto* yang telah dikoreksi (*count/s*) terhadap konsentrasi belerang. Plot data dalam beberapa interval kecil untuk mengurangi efek non-linear.

Catatan: plot kalibrasi linear hingga minimum konsentrasi belerang 0,01%-b. Deviasi dari kelinearan dapat meningkat ketika konsentrasi belerang meningkat.

- e. Bila menggunakan *drift correction monitor*, tentukan intensitas contoh-contoh monitor pengoreksi penyimpangan selama prosedur kalibrasi. Nilai yang ditentukan merupakan faktor A pada persamaan (4) di butir 7a.
- f. Setelah selesai mengkalibrasi, segera tentukan konsentrasi belerang pada satu atau lebih contoh-contoh penguji kalibrasi. Nilai terukur harus berada pada rentang yang telah ditetapkan oleh konsentrasi belerang tersertifikasi \pm keterulangan metode uji ini. Bila hal ini tidak terjadi, kalibrasi atau (larutan) standar kalibrasi harus dicurigai, koreksi dan re-kalibrasi harus dilakukan. Tingkat ketidakcocokan matriks antara contoh dan standar juga harus dipertimbangkan ketika mengevaluasi kalibrasi.

6. Bagaimana prosedur analisis?

- a. Analisis terlebih dahulu *drift correction monitor* (bila digunakan) sebelum menganalisis contoh pada hari yang sama. Tentukan laju perhitungannya (*counting rate*) menggunakan bahan yang sama dengan ketika proses kalibrasi. Nilai yang ditentukan merupakan faktor B di persamaan (4). Jika faktor F^- digunakan di persamaan (5), analisis contoh blanko secara berkala untuk menentukan faktor F^- tersebut. Tentukan laju pengukuran contoh bebas belerang (seperti bahan dasar) di puncak belerang dan sudut dasar yang tepat.
- b. Tempatkan contoh di sel yang sesuai menggunakan teknik yang tepat untuk setiap alat yang digunakan. Isi sel contoh hingga sekitar $\frac{1}{3}$ dari kapasitas sel. Sediakan lubang angin kecil di sel contoh.
- c. Tempatkan contoh pada sorotan sinar X, biarkan jalur optik sinar X mencapai kesetimbangan.
- d. Tentukan intensitas radiasi Ka belerang pada $5,373 \text{ \AA}$ dengan mengukur laju perhitungan (*counting rate*) pada pengaturan sudut yang tepat untuk panjang gelombang tersebut.

Catatan: Dianjurkan agar melakukan penghitungan secukupnya sehingga dapat memenuhi minimum 1,0% koefisien variasi yang diharapkan (%rsd) bila memungkinkan.

$$\text{Koefisien variasi, \%} = (100\sqrt{N_s + N_b}) / (N_s - N_b) \quad (3)$$

Keterangan:

N_s = jumlah perhitungan yang didapatkan di garis belerang

N_b = jumlah perhitungan yang didapatkan pada panjang gelombang latar dengan interval waktu yang sama ketika pengambilan perhitungan N_s dilakukan

- e. Ukur laju perhitungan dasar pada pengaturan sebelumnya yang berbatasan dengan puncak Ka belerang.

Catatan: Kesesuaian pengaturan dasar bergantung pada anoda tabung sinar X yang digunakan. Panjang gelombang $5,190 \text{ \AA}$ direkomendasikan untuk krom atau skandium, sedangkan untuk rhodium dianjurkan menggunakan panjang gelombang $5,437 \text{ \AA}$.

- f. Tentukan laju perhitungan yang telah dikoreksi dan hitung konsentrasi contoh, seperti yang dijelaskan di perhitungan analisis.
- g. Bila laju perhitungan (berdasarkan pengukuran sebagaimana langkah 6b–6d) lebih tinggi daripada titik tertinggi pada kurva kalibrasi, encerkan contoh dengan bahan dasar yang digunakan untuk menyiapkan standar kalibrasi hingga laju perhitungan belerang berada dalam batas kurva kalibrasi. Ulangi lagi prosedur 6c–6f.
- h. Bila contoh dipercayai atau diketahui mengandung zat yang dapat mengganggu pada konsentrasi lebih tinggi dari yang tertera di tabel 36 berikut, encerkan contoh dengan bahan dasar hingga mencapai konsentrasi di bawah nilai yang tertera dalam tabel 41.
Catatan: perhitungan pada tabel ini dibuat dengan pengenceran contoh yang mengandung sekitar 3% zat pengganggu dan 0,5% belerang.
- i. Data yang dikumpulkan menunjukkan hasil sinar X yang layak bila jumlah koefisien massa yang diserap dikalikan fraksi massa contoh ≤ 4 –5% di atas jumlah koefisien massa yang diserap dikalikan fraksi massa standar kalibrasi. Gangguan pada penyerapan tidak dapat dihilangkan seluruhnya, tetapi dapat dikurangi dengan pengenceran. Nilai pada tabel 36 merupakan panduan konsentrasi yang dapat ditoleransi tanpa menimbulkan kesalahan yang signifikan, bukan sebagai nilai mutlak.
- j. Aduk secara seksama campuran agar menjadi homogen dan pindahkan ke alat pengukuran.
- k. Tentukan kadar belerang dalam campuran seperti yang dijelaskan pada 6b–6f, dan hitung kandungan belerang dalam contoh awal (lihat perhitungan analisis).



Tabel 41. Konsentrasi elemen pengganggu

Elemen	%-b yang dapat Ditoleransi
Fosfor	0,3
Seng	0,6
Barium	0,8
Timbal	0,9
Kalsium	1
Klorin	3
Etanol*	8,6
Metanol*	6

Keterangan:

* Konsentrasi etanol dan metanol setelah perhitungan akan meningkat 5%-b. Jumlah etanol dan metanol yang menyebabkan kesalahan negatif 5% pada pengukuran belerang telah diperhitungkan dan dimasukkan ke dalam tabel 36 di atas.

7. Bagaimana perhitungan analisis di atas?

- a. Bila menggunakan *drift correction monitor* [lihat reagen-reagen yang harus disiapkan (3b)], hitung faktor koreksi untuk perubahan pada kepekaan harian alat sebagai berikut.

$$F = A/B \quad (4)$$

Keterangan;

A = laju perhitungan monitor pengoreksi penyimpangan (*drift correction monitor*) yang ditentukan pada saat kalibrasi (5d)

B = laju perhitungan monitor pengoreksi penyimpangan (*drift correction monitor*) yang ditentukan pada saat analisis (6a)

Catatan: penggunaan faktor F dalam persamaan (5) adalah fakultatif. Di beberapa alat, faktor F tidak perlu dimasukkan pada persamaan tersebut dan ditetapkan nilainya menjadi satu ($F = 1$).

- b. Tentukan laju perhitungan *netto* yang telah dikoreksi.

$$R = [(C_A / S_1) - (C_B F^* / S_2)] F \quad (5)$$

Keterangan;

C_A = perhitungan total yang didapatkan pada 5,373 Å

C_B = perhitungan total yang didapatkan di lokasi dasar (dipilih pada langkah 6e)

S_1 dan S_2 = detik yang diperlukan untuk mengumpulkan perhitungan C

R = laju perhitungan *netto* yang telah dikoreksi

F^* = [jumlah perhitungan/detik pada 5,373 Å] / [jumlah perhitungan/detik pada dasar yang dipilih (6e) pada contoh yang tidak mengandung sulfur]

- c. Hitung kandungan belerang dalam contoh dengan memasukkan laju perhitungan *netto* yang telah dikoreksi [persamaan (5)] di model kalibrasi yang dipilih (lihat pelaksanaan kalibrasi).
- d. Hitung konsentrasi belerang dalam contoh (yang telah diencerkan) sebagai berikut [produsen alat mungkin telah menyediakan piranti lunak perhitungan ini]:

$$S, \%b = S_b \times [(W_s + W_o) / W_s] \quad (6)$$

Keterangan:

- S_b = %-berat belerang dalam campuran yang diencerkan
 W_s = berat belerang dalam contoh awal/asli (g)
 W_o = berat pengencer

8. Bagaimana pelaporan hasil analisis?

Laporkan hasil perhitungan untuk contoh yang dianalisis tanpa pengenceran sebagai kadar belerang total dalam unit %-b (6c) hingga:

- tiga digit, bermakna untuk konsentrasi > 0,0100%
- dua digit, bermakna untuk konsentrasi 0,0099% < S < 0,0100%
- satu digit, bermakna untuk konsentrasi < 0,0099%.

h. Metode Penentuan Kandungan Getah (*Gum*) dalam Bioetanol Kering Terdenaturasi dengan *Air Jet Evaporation*

1. Mohon dipaparkan ringkasan prosedur metode ini!

Sejumlah bioetanol terdenaturasi dengan volume tertentu diuapkan pada kondisi temperatur dan aliran udara atau kukus (*steam*) yang terkendali. Residu yang tertinggal ditimbang sebelum dan sesudah pengekstraksian dengan heptana dan hasil-hasilnya dilaporkan dalam miligram per 100 ml.

2. Apa saja peralatan yang harus disiapkan?

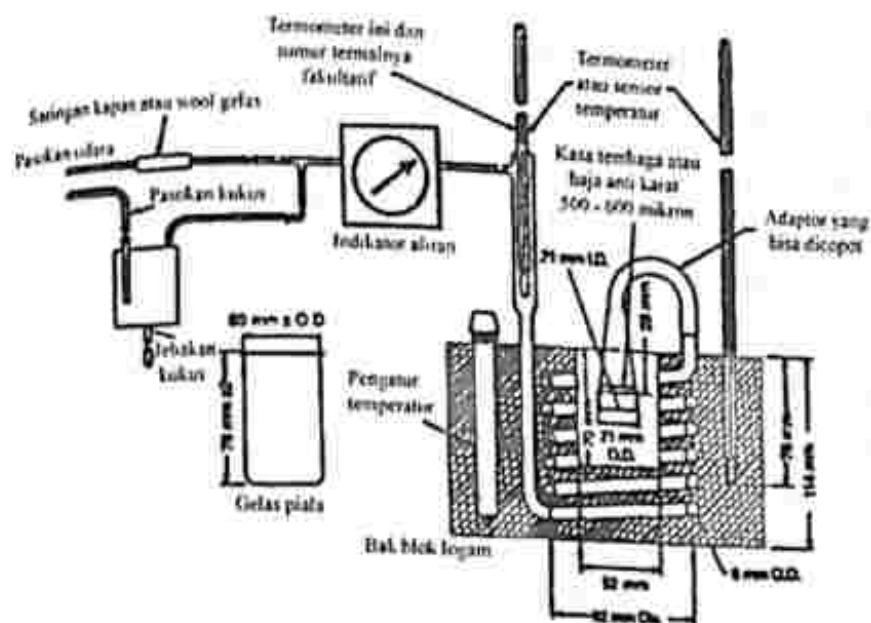
- Timbangan, hingga ketelitian 0,1 mg.
- Gelas kimia, kapasitas 100 ml (lihat gambar 20). Atur gelas kimia dalam beberapa kelompok. Banyaknya gelas pada masing-masing

kelompok tergantung pada jumlah *well* tempat gelas kimia di bak evaporasi. Tandai tiap gelas kimia dalam tiap kelompok, termasuk gelas penakar (*tare*), dengan angka/huruf.

- Bejana pendingin, bertutup rapat (seperti desikator tanpa *dessicant*) untuk mendinginkan gelas kimia sebelum penimbangan.
- Bak evaporasi, berupa bak blok logam atau bak berisi cairan, dipanaskan dengan listrik dan diatur seperti di gambar 20. Bak tersebut harus mempunyai *well* dan lubang jet untuk dua atau lebih gelas kimia. Bila menggunakan bak berisi cairan harus diisi dengan cairan yang sesuai hingga batas 25 mm dari puncak bak. Titik nyala cairan pengisi bak harus setidaknya lebih tinggi 30° C daripada temperatur tertinggi pada bak. Temperatur hendaknya dijaga dengan menggunakan termostatik atau refluks cairan.
- *Flowmeter*, mampu mengukur aliran udara hingga 1.000 ml/s untuk tiap lubang keluaran (*outlet*). Sebagai alternatif, dapat digunakan *pressure gage* untuk mengukur aliran fluida hingga 1000 ± 150 ml/s untuk *outlet*.
- *Sintered glass filtering funnel*, kapasitas 150 ml dengan keporosan kasar.
- Sensor temperatur, termometer atau alat pengukur temperatur lainnya dengan rentang suhu -5 sampai 400° C.
- Gelas ukur, berceret dan dapat mengukur hingga skala $50 \pm 0,5$ ml.
- Tang dari baja tahan karat (SS).

3. Apa saja bahan-bahan analisis yang harus disiapkan?

- Udara, pasokan udara terfiltrasi dengan tekanan maksimum 35 kPa.
- Pelarut getah (*gum*), campuran antara toluen dan aseton dengan perbandingan volume yang sama.
- Heptana, kemurnian minimum 99,7%.



Gambar 20. Peralatan untuk penentuan kadar getah dengan *Jet Evaporation*

4. Bagaimana peralatan *air-jet* dipasang?

- Pasang peralatan *air-jet* seperti pada gambar 20. Lakukan tes peralatan pada suhu ruang. Sesuaikan aliran udara hingga 600 ± 90 ml/s pada *outlet*. Periksa *outlet* lainnya untuk mendapatkan aliran udara yang seragam.

Catatan: pastikan tekanan balik pada *flowmeter* < 1 kPa. Lepaskan adaptor corong selama pengujian (sementara) agar *outlet* dapat diperiksa dan aliran udara bisa diatur.

- Panaskan bak evaporasi hingga mencapai suhu $160\text{--}165^\circ\text{C}$. Alirkan udara ke peralatan dengan laju alir yang telah ditetapkan. Ukur temperatur pada tiap *well* dengan menempatkan ujung sensor temperatur di dasar gelas kimia. Jangan gunakan *well* dengan temperatur tercatat di luar rentang $150\text{--}160^\circ\text{C}$.

5. Bagaimana prosedur analisis dilaksanakan?

- Cuci gelas-gelas kimia, termasuk gelas penakar (*tare*), dengan pelarut getah (*gum*) hingga bebas dari *gum*. Bilas dengan air dan rendam dalam larutan deterjen laboratorium yang sedikit basa atau ber-pH netral.

- Kriteria pencucian yang baik haruslah menyerupai hasil yang diperoleh dengan pencucian gelas kimia menggunakan larutan asam kromat (asam kromat segar, perendaman selama 6 jam, pembilasan dengan aquades, dan pengeringan). Hasil pencucian dapat dibandingkan melalui penampakan visual dan pengurangan massa selama pemanasan gelas pada kondisi uji.
 - Angkat gelas kimia dari larutan pembersih dengan tang SS dan selalu tangani dengan menggunakan tang baja tahan karat ini. Cuci gelas kimia secara seksama dengan air keran, lalu dengan aquades, dan keringkan dalam oven selama minimum 1 jam pada suhu 150°C . Dinginkan gelas kimia selama minimum 2 jam dalam bejana pendingin (desikator).
- b. Set kondisi operasi sesuai dengan bahan bakar yang digunakan (bensin, *motor gasoline*). Panaskan bak hingga temperatur $160\text{--}165^{\circ}\text{C}$. Alirkan udara ke peralatan dan sesuaikan laju aliran total seperti yang tertera di 4a. Bila digunakan pemanas awal (*preheater*) eksternal, atur temperatur media penguap (udara) agar sesuai dengan temperatur *well* uji ($150\text{--}160^{\circ}\text{C}$).
 - c. Timbang penakar (*tare*) dan gelas penakar hingga skala terdekat ke 0,1 mg. Catat massa yang tertera.
 - d. Bila terdapat padatan tersuspensi atau mengendap, aduk atau kocok isi wadah secara seksama dengan metode yang sesuai. Segera saring sejumlah contoh melalui *sintered glass filtering funnel* berporositas kasar pada tekanan atmosferik. Perlakukan filtrat seperti yang dijelaskan pada bagian 5e–5g.
 - Ukur $50 \pm 0,5$ ml contoh dalam silinder berskala (lihat 2h) dan pindahkan ke gelas penimbang (2b). Gunakan satu gelas kimia untuk tiap spesimen yang akan diuji. Isi semua gelas kecuali gelas penakar atau penimbang.
 - Tempatkan semua gelas yang telah terisi dan gelas penakar dalam bak evaporasi. Usahakan agar jeda waktu dari penempatan gelas pertama dan terakhir cukup pendek (minimum).

- Kenca semua gelas telah diletakkan dalam bak, gunakan tang untuk mengganti dan menegatengahkan posisi masing-masing corong jet agar berada di atas permukaan cairan bak dan mulai alirkan udara sesuai dengan laju yang ditentukan. Perhatikan! Jaga agar cuplikan uji tidak memereik ketika udara mulai dialirkan.
- Atur suhu dan laju alir, biarkan cuplikan uji menguap selama $30 \pm 0,5$ menit.
- e. Pada akhir tahap pemanasan, lepaskan corong jet dengan tang dan pindahkan gelas kimia dari bak ke desikator. Letakkan desikator (*cooling vessel*) dekat timbangan selama minimum 2 jam. Timbang gelas kimia seperti pada prosedur 5c. Catat massanya.
- f. Pisahkan gelas yang mengandung residu dari bensin untuk prosedur akhir (5h–5k). Bersihkan sisa gelas lainnya untuk kemudian digunakan kembali.
- g. Bukti kuantitatif kontaminasi bensin dapat diperoleh dengan menimbang residu contoh untuk uji referens. Uji ini penting dilakukan karena bensin dapat mengandung bahan-bahan aditif yang tidak dapat menguap. Bila kontaminasi ditemukan, pemeriksaan lanjut harus dilakukan.
 - Bila bensin mengandung getah tak tercuci $< 0,5$ mg/100 ml (lihat 5f, 6, dan 7b) pencucian yang disebutkan di bagian 5 tidak perlu dilakukan. Begitu pula pada langkah 5i–5k berikut, karena angka *gum* (dicuci) pada spesimen tersebut akan selalu \leq angka *gum* tidak dicuci.
 - Bila nilai *gum* tidak dicuci $\geq 0,5$ mg/100 ml, tambahkan kira-kira 25 ml heptan ke dalam tiap gelas kimia yang mengandung residu dari bensin, aduk perlahan-lahan selama 30 detik. Diamkan campuran kira 10 ± 1 menit. Lakukan hal yang sama pada gelas penakar.
- h. Dekantasi dan buang larutan heptan. Jaga agar residu padatan tidak terbuang.

- i. Ulangi ekstraksi dengan porsi kedua larutan heptan (sekitar 25 ml) seperti pada 5h dan 5i. Jika hasil ekstrak masih berwarna, ulangi kembali hingga tiga kali.
 - j. Tempatkan gelas-gelas kimia, termasuk gelas penakar, kembali ke dalam bak evaporasi yang dijaga pada suhu 160–165°C. Biarkan gelas-gelas tersebut mengering selama $5 \pm 0,5$ menit tanpa mengganti corong jet.
 - k. Pada akhir masa pengeringan, pindahkan gelas-gelas kimia dari bak dengan tang, letakkan dalam desikator, dan biarkan mendingin selama minimum 2 jam. Timbang kembali gelas-gelas seperti pada 5c. Catat beratnya.
6. Analisis sudah dilaksanakan, bagaimana perhitungan selanjutnya?

- a. Hitung kadar gum atau getah dicuci (*solvent washed gum*) yang terdapat dalam bensin dengan rumus sebagai berikut.

$$S = 2000(C - D + X - Z)$$

- b. Hitung kadar gum/getah tidak dicuci (*unwashed gum*) yang terdapat dalam bensin menggunakan rumus berikut ini.

$$S = 2000(B - D + X - Y)$$

Keterangan:

S = kadar gum dicuci (mg/100 ml)

U = kadar gum tidak dicuci (mg/100 ml)

B = massa yang tercatat pada prosedur 5f pada gelas contoh ditambah residu (g)

C = massa yang tercatat pada prosedur 5k pada gelas contoh ditambah residu (g)

D = massa yang tercatat pada prosedur 5c pada gelas contoh kosong (g)

X = massa yang tercatat pada prosedur 5c pada gelas penakar (g)

Y = massa yang tercatat pada prosedur 5f pada gelas penakar (g)

Z = massa yang tercatat pada prosedur 5k pada gelas penakar (g)

7. Bagaimana pelaporan hasil perhitungan analisis?
 - a. Jika nilai kadar *gum* $\geq 0,5$ mg/100 ml, nyatakan hasilnya dalam angka 0,5 mg/100 ml terdekat, baik kadar *gum* dicuci, *gum* tidak dicuci, maupun keduanya. Bulatkan angka tersebut sesuai standar yang biasa berlaku.
 - b. Untuk hasil $< 0,5$ mg/100 ml, laporkan sebagai " $< 0,5$ mg/100 ml". Jika getah tak tercuci $< 0,5$ mg/100 ml, *gum* dicuci pun dapat dilaporkan " $< 0,5$ mg/100 ml" (5h).
 - c. Bila tahap filtrasi (5d) telah dilakukan sebelum evaporasi, hasil penyaringan hendaknya mengikuti nilai numeriknya.

i. Metode Penentuan pHe Bioetanol Kering Terdenaturasi

1. Mohon dipaparkan ringkasan metode ini!

Contoh dianalisis pada temperatur kamar dengan sistem elektroda tertentu dan sebuah pH meter yang berimpedansi cukup tinggi serta direkomendasikan penggunaannya dengan elektroda spesifik-ion.

2. Apa saja reagen-reagen yang harus disiapkan?

- Larutan penyangga pH 4,00 dan 7,00.
- Larutan HCl 1 M, dibuat dari 1 bagian volume HCl berkonsentrasi tinggi (12 M) yang dicampur dengan 11 bagian volume aquades.
- Larutan KCl 3 M, untuk merendam elektroda selama penyimpanan atau transportasi.
- Larutan NaOH 1 M, dibuat dari 4 g pelet NaOH yang dilarutkan dalam 100 ml aquades.
- Larutan H₂SO₄ 1 M, dibuat dari 1 bagian volume H₂SO₄ berkonsentrasi tinggi (18 M) yang dicampur dengan 17 bagian volume aquades.

Ingat! Gunakan bahan-bahan kimia kualitas reagen (PA).

3. Peralatan apa yang harus disiapkan?

- pH meter, direkomendasikan yang memiliki pengimbang temperatur (*thermo-compensator*) dan pembacaan hingga 0,01 unit pH.
- Elektroda ORION *Ross Sure-Flow* (dengan badan gelas). Penggunaan elektroda lain, meskipun dengan rancangan yang serupa, kemungkinan besar akan memberikan hasil yang berbeda pada sebagian atau semua kondisi yang dapat memengaruhi respons elektroda pada keadaan tidak seimbang.
- Pengimbang temperatur (*thermo-compensator*), berupa element resistan yang sensitif terhadap temperatur yang direndam bersama elektroda. Cara kerja elemen ini yaitu dengan hanya mengoreksi perubahan yang terjadi akibat respons elektroda pH terhadap temperatur, bukan mengoreksi perubahan sebenarnya di dalam pH contoh akibat perubahan temperatur. Karena itu, temperatur contoh harus berada pada rentang $22 \pm 2^\circ \text{C}$.
- Gelas kimia (borosilikat) 100 ml.
- Pengaduk magnetik (19–25 mm).
- Alat pengatur waktu (*timer*) yang mampu mengukur waktu hingga skala detik.

4. Bagaimana persyaratan wadah contoh?

- Pemilihan wadah contoh harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari terjadinya reaksi yang dapat mengubah nilai pH contoh. Bahan atau wadah yang tidak boleh digunakan sebagai berikut.
 - Baja, baja sepuh, wadah baja lapis epoksi, atau botol gelas lapis PVC.
 - Tutup yang terbuat dari kertas.
- Bahan atau wadah yang boleh digunakan sebagai berikut.
 - HDPE (*high density polyethylene*) terflorinasi.
 - Wadah aluminium dengan tutup PE.
 - Botol gelas tanpa lapisan PVC dan menggunakan tutup/sumbat dari TFE-fluorokarbon atau PE.
- Bilas wadah dengan sedikit bahan bakar yang akan diuji sebelum contoh dicuplik.

5. Bagaimana standardisasi rakitan alat?

- a. Nyalakan dan panaskan pH meter sesuai petunjuk produsen alat, cek temperatur contoh. Bila digunakan pengimbang temperatur manual, sesuaikan cakra temperatur pH meter dengan temperatur contoh yang akan diukur. Biarkan larutan penyangga, elektroda, dan larutan-larutan lainnya mencapai kesetimbangan termal.
- b. Bersihkan atau basahi elektroda yang digunakan setiap pengukuran 10 contoh dan elektroda yang baru (sebelum digunakan larutan alkohol) dengan cara merendamnya beberapa kali dalam masing-masing larutan NaOH 1 M dan H₂SO₄ (atau HCl) 1 M selama kira-kira 30 detik. Keluarkan elektroda dan bilas bersih menggunakan aquades.
- c. Kalibrasi pH meter hingga pH = 7,00 dengan larutan *buffer* berbasis air pH 7,00. Keluarkan elektroda dan bilas kembali dengan aquades.
- d. Kalibrasi pH meter hingga pH = 4,00 dengan larutan penyangga (*buffer*) berbasis air pH 4,00 menggunakan penyesuaian kemiringan (*slope*). Kemiringan tersebut harus berada pada rentang 95–100%. Jika tidak, elektroda perlu dibersihkan kembali atau diganti. Keluarkan elektroda dan bilas kembali dengan aquades. Kembalikan elektroda ke dalam larutan penyangga pH 7,00.

6. Bagaimana prosedur analisis dilaksanakan?

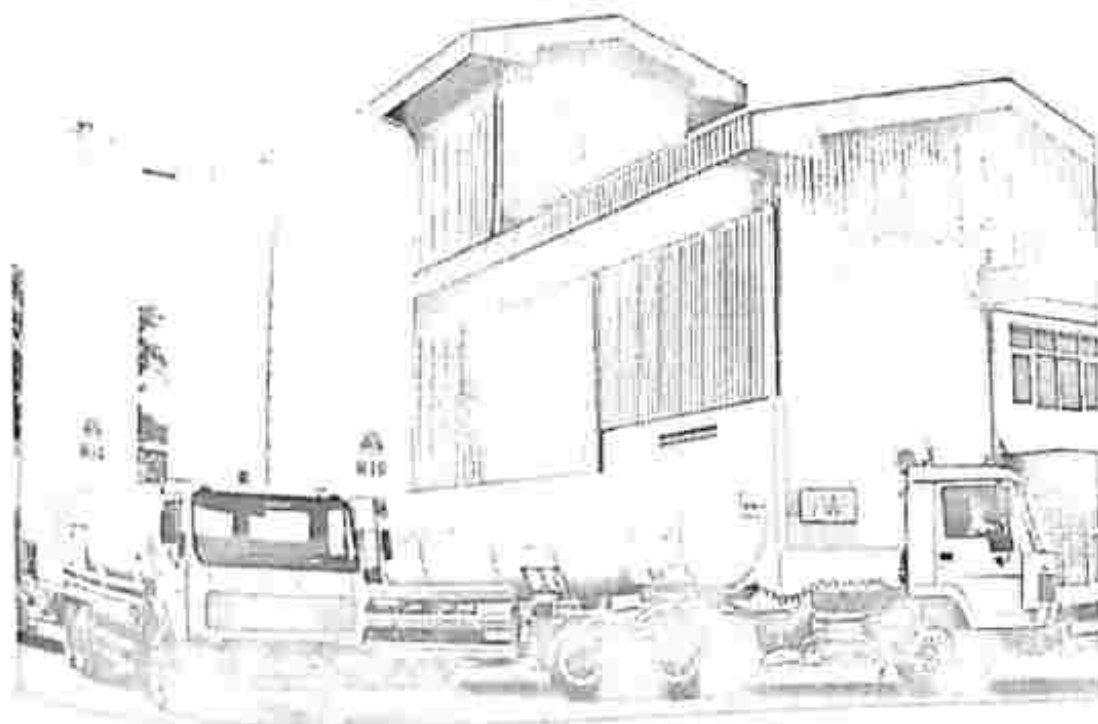
- a. Jika diperlukan, isi elektroda dengan larutan KCl 3 M (biasa dipasang bersama elektroda).
- b. Standarisasi peralatan dengan dua larutan penyangga, rujukan (lihat 5c dan 5d).
Penting! Gunakan selalu alikuot (contoh segar) etanol untuk tiap pengukuran.
- c. Masukkan 50 ml contoh ke dalam labu erlenmeyer 100 ml yang sudah dilengkapi dengan batang pengaduk magnetik dan termometer (bila menggunakan alat pengimbang temperatur manual) atau alat pengimbang temperatur otomatis. Pastikan temperatur contoh berada pada rentang $22 \pm 2^\circ \text{C}$.

- d. Keluarkan elektroda dari larutan penyangga (*buffer*) pH 7,00 dan bilas dengan aquades ke dalam penampungan air limbah.
- e. Keringkan elektroda dengan kain lap atau tisu untuk menghilangkan air berlebih.
- f. Masukkan elektroda ke dalam contoh etanol yang diaduk pada suhu kamar. Jalankan alat pengatur waktu (*timer*) dan ukur nilai pHe tepat pada detik ke-30 \pm 1, karena selama analisis selanjutnya pembacaan akan menyimpang akibat efek pelarut terhadap elektroda. Pengaduk harus cukup cepat agar vorteks yang terbentuk relatif kecil. Jika bacaan tidak teridentifikasi pada detik ke-30 untuk bahan bakar ber-pHe rendah (pHe < 5) atau contoh tidak menunjukkan keterulangan yang konsisten, elektroda perlu dibersihkan atau diganti.
- g. Di antara pembacaan satu ke berikutnya, elektroda selalu dibersihkan dengan aquades kemudian direndam dalam larutan penyangga pH 7,00 selama minimum 20 detik, sebagai persiapan untuk pencuplikan selanjutnya agar elektroda gelas kembali terbasahi dan lebih awet.
- h. Bersihkan/basahi kembali elektroda setelah 10 kali pengukuran contoh (lihat 5b).
- i. Ulangi langkah 6c untuk pengukuran contoh berikutnya.

LIMA

LIMBAH PABRIK BIOETANOL

Dalam Bab Dua, kita telah membahas bahwa pabrik bioetanol mengeluarkan limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah tersebut harus dikelola dengan saksama, karena tujuan pabrik bioetanol memproduksi FGE di antaranya untuk mengurangi pemanasan global dan pencemaran udara. Tentunya tujuan mulia ini harus terlaksana tanpa dampak lain, seperti pencemaran tanah, air tanah, dan sungai oleh limbah cair atau limbah padat pabrik bioetanol.



Pemanfaatan limbah gas pabrik bioetanol. Menjadi gas CO₂ untuk *dry ice* dan minuman berkarbonasi di PTMRI

A. Limbah cair

Limbah cair industri bioetanol, disebut *vinasse* atau *stilage*, berasal dari proses pencucian dan ekstraksi pati, khususnya di pabrik bioetanol berbahan baku ubi kayu. Dalam proses tersebut, penggunaan air mencapai 10–12 m³ per ton umbi basah. Air tersebut dipisahkan lagi dan dibuang, tetapi disertai bahan-bahan yang terikut di dalamnya, seperti pati sisa, serat, minyak, protein, dan kotoran.

1. Apakah yang dikhawatirkan terjadi dengan pembuangan *vinasse* ke sungai?

Dikhawatirkan terjadi beberapa dampak negatif berupa kerusakan terhadap lingkungan.

- Terjadi perubahan warna dan bau pada perairan umum.
- Keasaman air akan menurun yang mengakibatkan biota perairan mati.
- Kandungan oksigen dalam air menurun, sehingga menyebabkan biota perairan mati.

Sebelum kita melanjutkan telaah limbah pabrik bioetanol, mari kita lihat peraturan pemerintah tentang hal ini, yakni Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-51/MENLH/10/1995, tanggal 23 Oktober 1995, tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri.

2. Bagaimana baku mutu limbah yang ditetapkan dengan Keputusan Menteri LH No. Kep-51/MENLH/10/1995?

Surat keputusan tersebut menetapkan baku mutu limbah cair industri etanol yang berlaku sejak 1 Januari 2000, sebagaimana di tabel 42.

Tabel 42. Baku mutu limbah cair untuk industri etanol berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-51/MENLH/10/1995, tanggal 23 Oktober 1995

Parameter	Kadar Maksimum (Mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/Ton)
BOD ₅	150	10,5
TSS	400	28,0
pH	6,0—9,0	
Debit limbah maksimum	70 m ³ /ton produk etanol	

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-5/MENLH/10/1995

Catatan:

- Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram parameter per liter air limbah.
- Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam kilogram parameter per ton produk etanol.

Pasal 4 Kep-51/MENLH/10/1995 menyatakan Gubernur sebagai Kepala Daerah dapat menetapkan baku mutu limbah cair yang lebih ketat. Di bawah ini, sebagai contoh, ketentuan Gubernur Jawa Barat dan DI Yogyakarta.

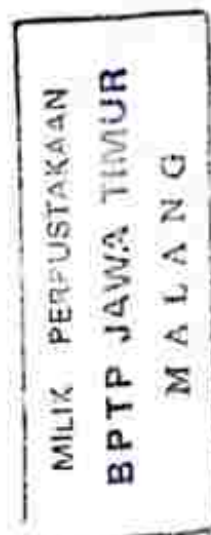
Tabel 43. Baku mutu limbah cair untuk industri etanol di provinsi Jawa Barat dan DI Yogyakarta

Parameter	Kadar Maksimum (Mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/Ton)
BOD ₅	100	1,5
COD	300	4,5
TSS	100	1,5
Sulfida (sebagai S)	0,5	0,0075
pH	6,0—9,0	
Debit limbah maksimum	15 m ³ per ton produksi etanol	

Sumber:

Keputusan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I Jawa Barat No. 6 Tahun 1999

Keputusan Gubernur Kepala DIY No. 281/KPTS/1998



Sekadar pembandingan, *yuk* kita lihat baku mutu limbah cair untuk industri tapioka (tabel 44) yang menggunakan bahan yang sama, yakni ubi kayu.

Tabel 44. Baku mutu limbah cair untuk industri tapioka berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-51/MENLH/10/1995, tanggal 23 Oktober 1995

Parameter	Kadar Maksimum (Mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/Ton)
BOD ₅	150	4,5
COD	300	9
TSS	100	3
Sianida (CN)	0,3	0,009
pH	6,0—9,0	
Debit limbah maksimum	30 m ³ /ton produk etanol	

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-5/MENLH/10/1995

Catatan:

- Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram parameter per liter air limbah.
- Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam kilogram parameter per ton produk etanol.

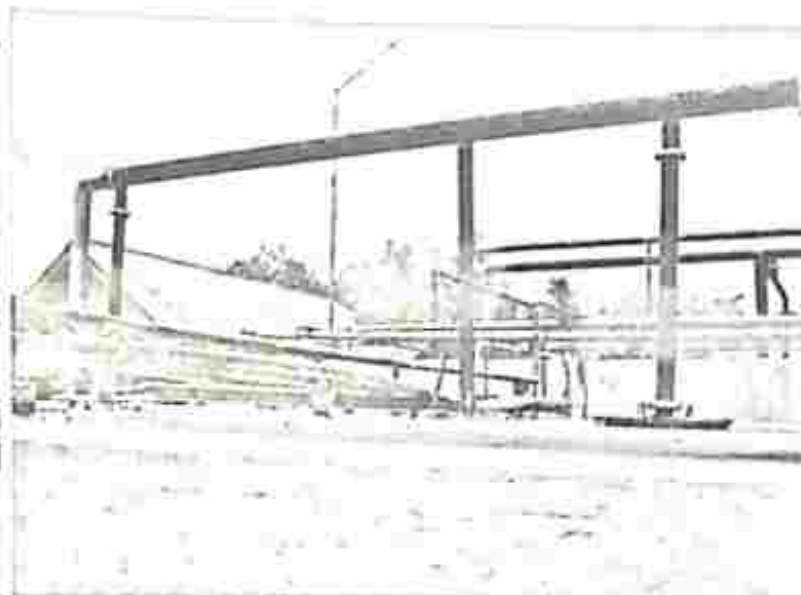
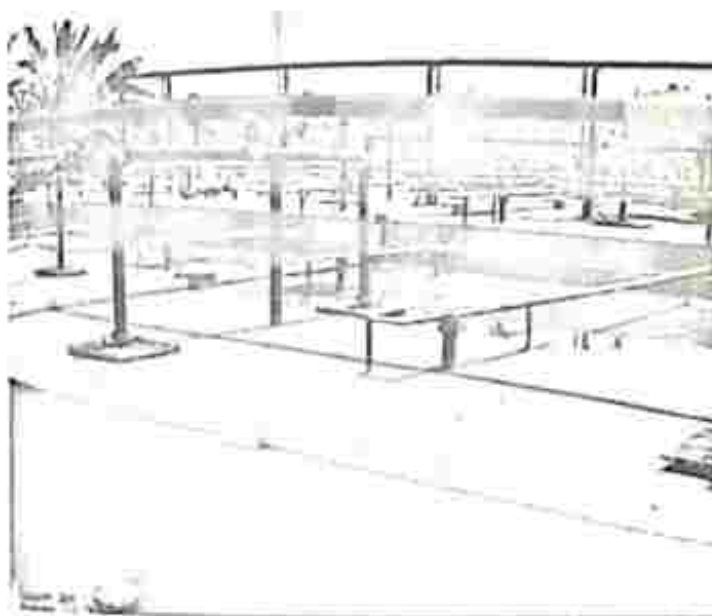
3. *Yuk*, kita telaah limbah cair pabrik bioetanol!

Sebenarnya limbah cair pabrik etanol tidak mengandung B3 (bahan dan limbah berbahaya serta beracun). Seperti telah kita diskusikan dalam Bab II, bioetanol tidak dihasilkan dari proses yang menggunakan bahan kimia, melainkan hanya proses biologi (enzimatik dan fermentasi). Namun, permasalahan utama terletak pada kandungan BOD dan COD yang tinggi, seperti yang tercantum di tabel 45 dengan bahan baku ubi kayu dan tabel 46 dari dua buah pabrik yang berbahan baku tetes tebu (*molasses*).

Tabel 45. Analisis limbah cair hasil distilasi bioetanol dari bahan baku ubi kayu

Parameter		Kuantitas
Derajat keasaman	pH	4,0
Temperatur	°C	55
BOD (<i>biological oxygen demand</i>)	ppm	35.000
COD (<i>chemical oxygen demand</i>)	ppm	50.000
OM (<i>organic matter</i>)	ppm	35.000
Volatile residu	ppm	34.000
Ash	ppm	10.000

Sumber: Bioteknologi Biomassa BPPT-1 Harry Suryanto, 1995.



Tabel 46. Analisis limbah cair hasil distilasi bioetanol dari bahan baku tetes tebu

Parameter	Baku Mutu ^{*)}	Pabrik A ^{**)}	Pabrik B ^{**)}
COD	-	60.918—103.002	113.259—157.651
BOD	Maks 150	30.000—46.308	45.000—58.250
pH	6—9	4,0—4,51	4,15—4,28
TSS	400	3.415—5.700	5.280—7.260

Sumber: P3G Pasuruan, 2006

Keterangan:

^{*)} Baku mutu dari Kep. Men./LH/51/1995

^{**)} Lokasi di DI Yogyakarta

^{**)} Lokasi di Jawa Barat

Bunker anaerob (UASB).

Untuk mereduksi COD dan BOD serta menghasilkan gas bio untuk bahan bakar di boiler

4. Apakah pengaruh *vinasse*, dengan kandungan seperti tersebut di atas, terhadap lingkungan?
- Zat padat tersuspensi akan mengendap sebagai lumpur dan menumpuk di dasar sungai, kemudian terakumulasi di muara sungai. Zat padat tersuspensi berupa senyawa organik akan segera membusuk dan terapung akibat dorongan gas. Hal ini akan mengganggu budi daya dan pemanfaatan air itu sendiri.
 - Zat organik terlarut akan mengalami fermentasi dan penguraian molekul yang akan mengakibatkan de-oksidasi di sumber air yang bersangkutan. Hilangnya oksigen terlarut dalam air akan menimbulkan bau akibat terbentuknya senyawa baru, seperti asam sulfida (H_2S).
 - Bisa timbul pengaruh biologis yang disebabkan oleh terganggunya keseimbangan biologis. Limbah organik yang berlebihan akan menyebabkan tumbuhnya jamur yang berlebihan dan mikro-organisme patogen akan terbawa ke hilir, sehingga terjadi epidemi di bagian hilir.

5. Berdasarkan kondisi di atas, pengolahan limbah cair (*vinasse*) merupakan hal yang mutlak di industri bioetanol. Tindakan apa yang telah dilakukan?

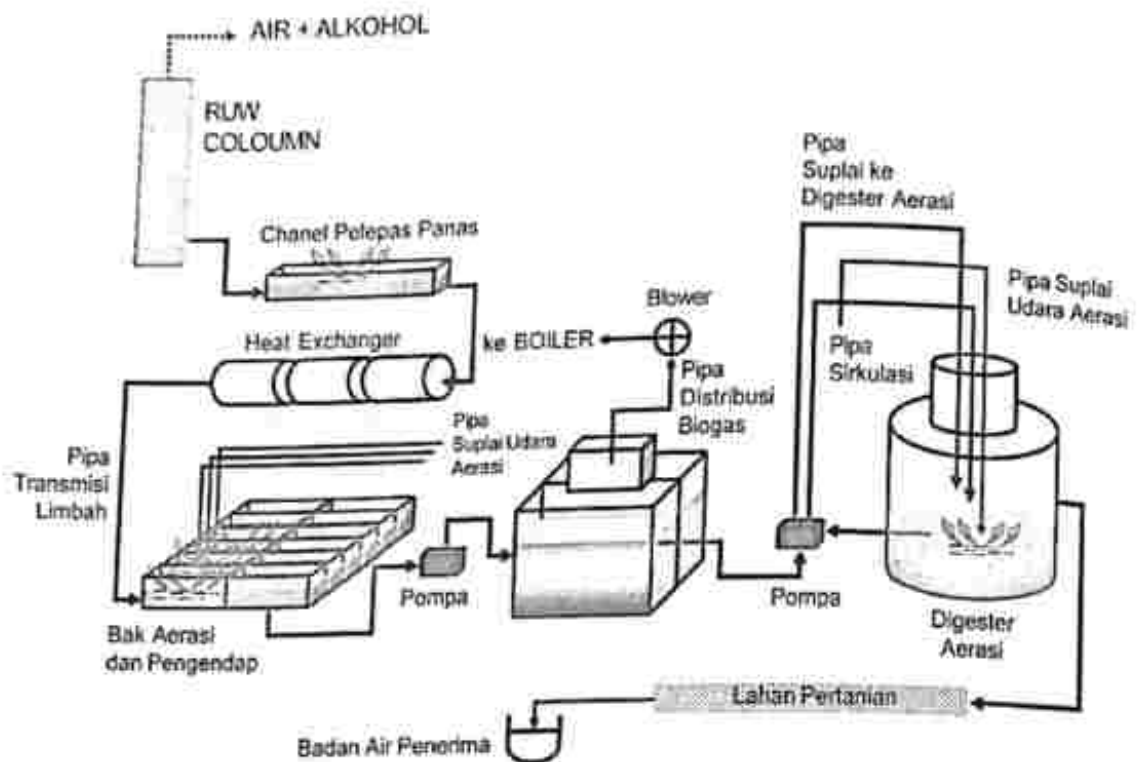
PT Molindo Raya, Lawang-Malang, Jawa Timur, melakukan pembakaran pada limbah *vinasse*-nya. Limbah tersebut dikentalkan sampai viskositas tertentu, selanjutnya dipompa ke tanur-tanur pembakaran. Sisa pembakaran berupa abu adalah bahan yang kaya unsur hara kalium (kadar K_2O minimum 35%, MgO minimum 4%, S minimum 5%, dan hara-hara mikro). PT MRI selanjutnya menjual abu tersebut yang digranulasi menjadi pupuk kalium majemuk (ZK-Plus) bermerk 'Sinar Matahari'. Tindakan daur ulang ini adalah bijak, karena Indonesia tidak memiliki tambang kalium sehingga pabrik pupuk harus mengimpor hara K. Artinya, PT MRI mengurangi K impor dan menyediakan K *renewable*. Pupuk ZK-Plus digunakan di antaranya di kebun-kebun tebu di lingkungan PT Rajawali Nusantara Indonesia.



Pupuk ZK Plus. Rekayasa vinasse limbah cair pabrik bioetanol, merupakan pupuk kalium produksi dalam negeri yang *renewable*.

Tindakan serupa, tetapi lebih sederhana dilakukan di PT Indo Lampung Destilery (ILD) di Lampung. Mereka melakukan daur ulang (*reuse*) dengan menyiramkan *vinasse* ke kebun tebu yang mereka kelola. *Vinasse* tersebut ditampung terlebih dahulu di kolam limbah. Setelah temperatur turun kemudian diangkut dengan tangki yang ditarik traktor untuk disiramkan ketanaman tebu. Tindakan ini relatif lebih murah dibandingkan dengan pembakaran yang dilakukan oleh PT MRI, karena ILD memiliki ribuan hektar tanaman tebu yang arealnya jauh dari permukiman penduduk. Hal yang sama dilakukan oleh Brasil, penghasil etanol terbesar di dunia.

Tindakan daur ulang dengan *reuse vinasse* menjadi biogas dilakukan oleh Pabrik Spiritus Alkohol Palimanan di Cirebon (gambar 21) dan PT Acidatama di Solo. *Vinasse* dimasukkan ke dalam digester untuk menghasilkan gas bio yang digunakan untuk membangkitkan energi di boiler, sedangkan *sludge* di dalam digester didaur ulang menjadi pupuk organik. PSA Palimanan dengan debit *vinasse* 400 m³/hari, dan kandungan COD 80 mg/liter dapat menghasilkan biogas sejumlah 11.200 m³/hari. Gas bio ini mampu mensubstitusi kebutuhan gas alam untuk suplai energi di PSA Palimanan setara 8.555 m³/hari (Hendroko, 2007)



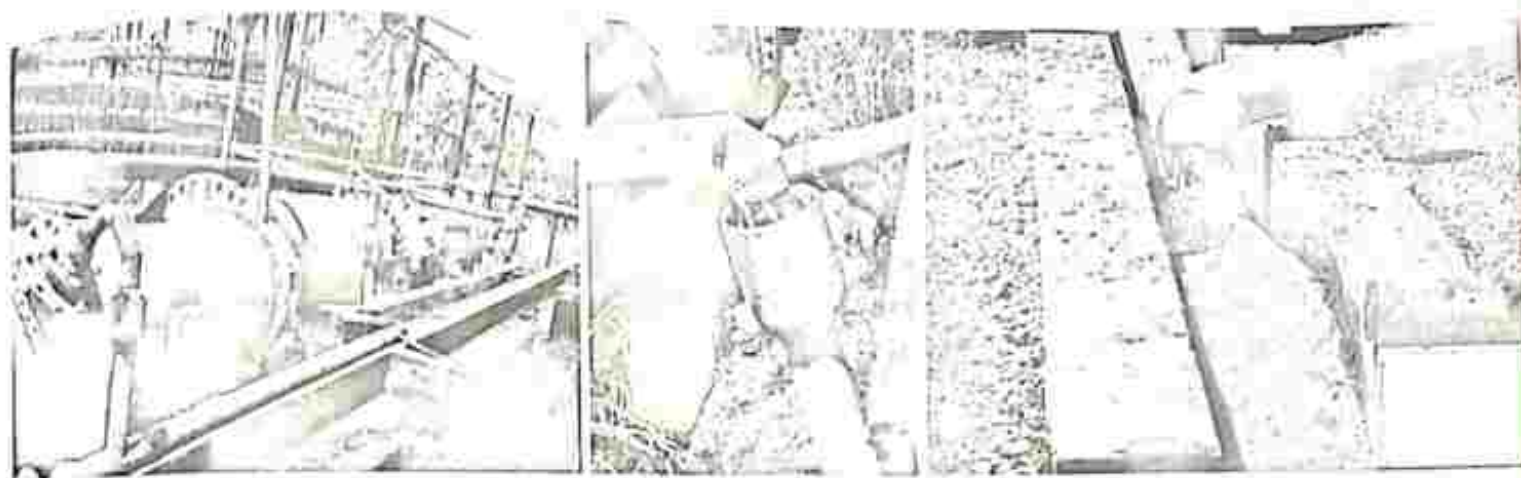
Gambar 21. IPAL PSA Palimanan (pengolahan limbah vinasse)

Di pabrik-pabrik bioetanol skala kerakyatan direkomendasikan perlakuan integrasi dengan memelihara kambing atau sapi (gambar 16), limbah cair dijadikan minuman ternak tersebut. Demikian pula limbah padat pengolahan ubi kayu dimanfaatkan sebagai campuran pakan ternak. Daur ulang ini bermanfaat ganda karena kotoran ternak akan menjadi pupuk organik atau pupuk kandang bagi kebun-kebun ubi kayu.

6. Selesaikan permasalahan limbah dengan pengolahan seperti tersebut di atas? *Yuk*, kita lihat pengolahan limbah cair yang dilakukan oleh sebuah pabrik spiritus-alkohol (PSA) dengan sandi B, di Jawa Barat, yang berbahan baku tetes tebu.

Seperti ditunjukkan di tabel 46, bahwa Pabrik B menghasilkan limbah dengan BOD dan COD yang jauh di atas baku mutu. Mereka melakukan tindakan awal, yakni mengalirkan *vinasse* melalui talang pendingin untuk

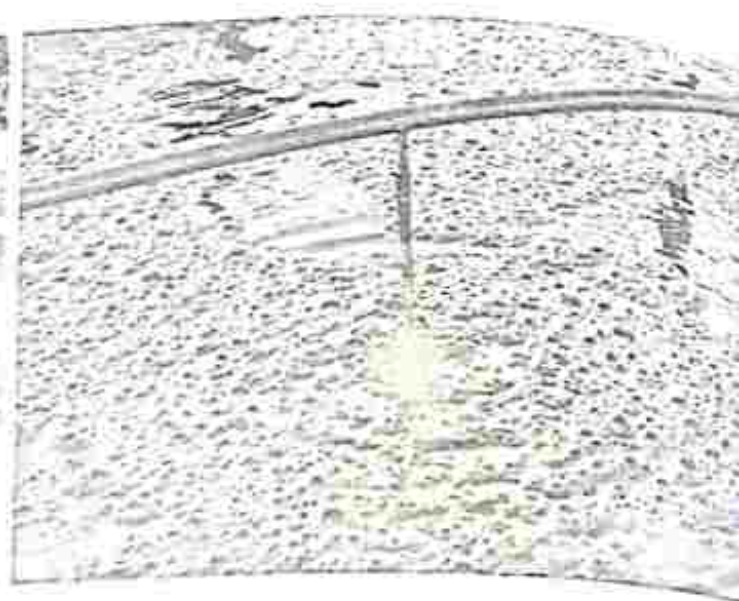
menurunkan suhu dari 76° C menjadi 72° C. Selanjutnya *vinasse* dimasukkan ke unit *cooler*, yakni alat penkar panas jenis *shell and tube* dengan air kali sebagai fluida pendingin. Tahap berikut ke unit bak aerasi dan pengendapan yang berfungsi sebagai pendingin lanjut dan pengurai bahan pencemar organik secara biologis aerob serta sebagai bak pengendapan untuk memisahkan sel yang terbentuk selama proses aerob. Bahan mengendap yang disebut *sludge* dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Waktu tinggal *vinasse* di unit ini lebih kurang dua hari.



Sistem cooler shell dan tube.

Vinasse didinginkan dalam bejana melalui pemindahan panas ke air pendingin

Selanjutnya *vinasse* dipompa ke UASB (*up flow an aerob sludge blanket*), sebuah digester yang dilengkapi dengan rumpun atau unggun tetap jenis lamella yang terbuat dari anyaman bambu sebagai tempat menempel dan berkembang biak mikroorganisme anaerob. *Vinasse* akan tinggal di UASB selama 6 hari. Digester ini dilengkapi dengan pompa dan blower yang menarik gas bio yang dihasilkan untuk disalurkan ke stasiun boiler. Pada tahap akhir, *vinasse* dialirkan ke unit bak aerob jenis *trickling filter* menggunakan anyaman bambu yang dipasang vertikal dengan waktu tinggal sekitar 2 hari.

**Unit Aerasi.**

Berfungsi sebagai pendingin dan pengendap

7. Bagaimana hasil analisis limbah PSA-B, setelah perlakuan di atas?

Hasil analisis limbah cair yang akan masuk ke sungai (*outlet*) PSA-B, setelah perlakuan anaerobik dan aerobik tercantum di tabel 47.

Tabel 47. Analisis limbah cair *outlet* PSA-B, tanggal 24 Maret 2006

No.	Pemeriksaan	Baku Mutu ⁷	Satuan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1.	BOD ₅	50	ppm	1.900	TMS
2.	COD	100	ppm	1.360	TMS
3.	TSS	200	ppm	2.170	TMS
4.	pH	6,0—9,0	-	3,9	TMS
5.	Sulfida (H ₂ S)	0,05	ppm	0,32	TMS

Sumber: UPTD Kesehatan Lingkungan, Kab. Cirebon, 2006

Keterangan :

⁷ Kep-58/MENLH/12/1995

TMS: Tidak memenuhi syarat

Tabel 47 menunjukkan betapa sulitnya memenuhi baku mutu limbah sesuai Kep-58/MENLH/12/1995, meskipun *vinasse* telah diperlakukan anaerob dan aerob di instalasi pengolahan limbah (IPAL). *Yuk*, kita telaah lebih lanjut tabel 48.

Tabel 48. Analisis air sungai tercampur limbah cair PSA-B, tanggal 24 Maret 2006

No.	Pemeriksaan	Baku Mutu ¹	Satuan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1.	BOD ₅	50	ppm	25	MS
2.	COD	100	ppm	36	MS
3.	TSS	200	ppm	4,7	MS
4.	pH	6,0—9,0	-	4,5	TMS
5.	Sulfida (H ₂ S)	0,05	ppm	0,39	TMS

Sumber: UPTD Kesehatan Lingkungan, Kab. Cirebon, 2006

Keterangan :

¹ Kep-58/MENLH/12/1995

MS: Memenuhi syarat TMS: Tidak memenuhi syarat

Tabel 48 menunjukkan air sungai yang telah tercampur limbah memenuhi syarat, khususnya pada BOD₅, COD dan TSS. Artinya limbah PSA-B membutuhkan debit air sungai yang cukup besar untuk mengencerkannya agar memenuhi ketentuan Kep-58/Men LH/12/1995. Dengan kata lain, operasi pabrik di musim kemarau dengan debit sungai yang relatif kecil akan menimbulkan masalah lingkungan. Permasalahan utama yang juga masih sangat mengganggu adalah bau. Seperti ditunjukkan di tabel 48, angka sulfida (H₂S) dari air sungai masih terkategori TMS.

8. Yuk, kita lihat hasil analisa *vinasse* di pabrik lain sebagai pembandingan!

Tabel 49 menunjukkan analisa *vinase* sebuah pabrik alkohol A, di DI Yogyakarta, yang unit pengolahan limbah cairnya dilaksanakan seperti tercantum di lampiran 4.

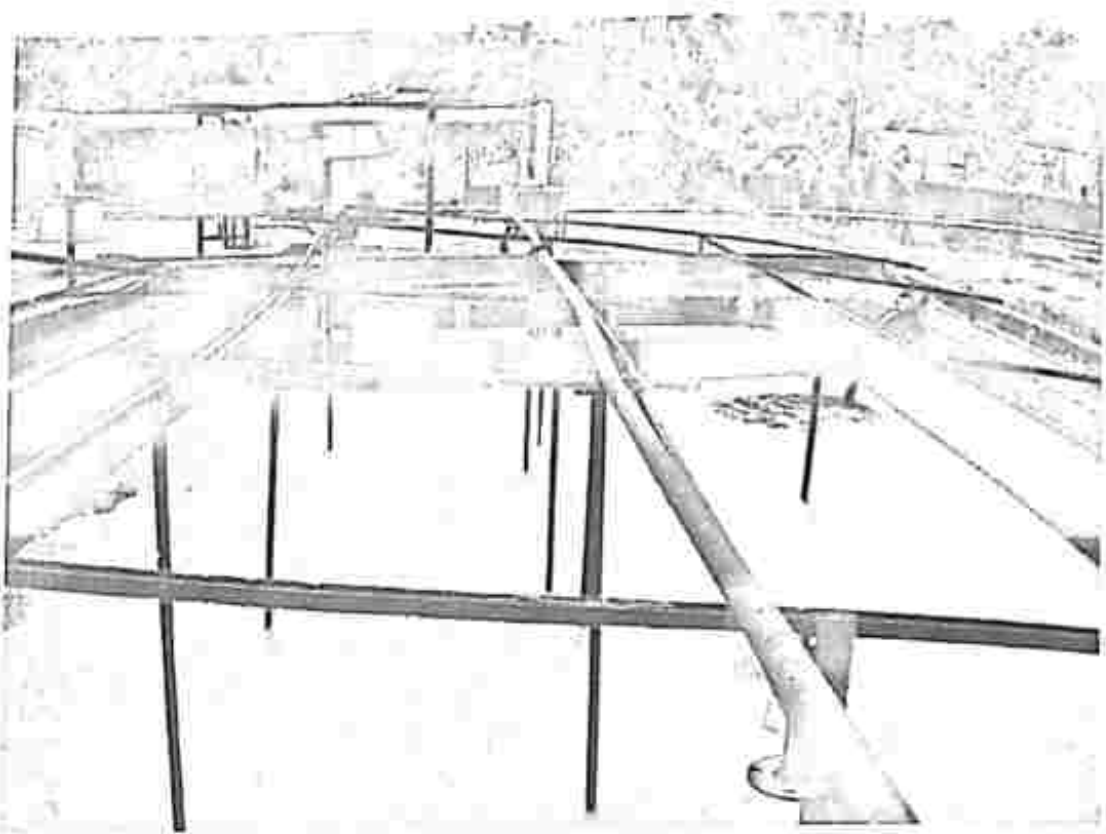
Tabel 49. Analisis limbah cair (*vinasse*) pabrik bioetanol berbahan baku tetes tebu bulan Februari—April 2007

Tanggal	Jenis limbah	pH	Suhu (° C)	COD (Ppm)	BOD (Ppm)
Purata Bulan Februari Maret April 2007	Vinasse	4,6	89	65.395	31.443
	Masuk IPAL ¹	4,6	49	37.053	17.407
	Keluar IPAL	6,0	32	15.800	8.699

Sumber: PTRNI, 2007

¹ IPAL = instalasi pengolahan limbah

Tabel 49 mendukung tabel 47 di atas, bahwa hal yang sama ditemui di Pabrik A di DI Yogyakarta. Pengolahan limbah pabrik bioetanol cukup sulit, meskipun telah keluar dari IPAL, tampak bahwa BOD dan COD masih di atas baku mutu limbah.

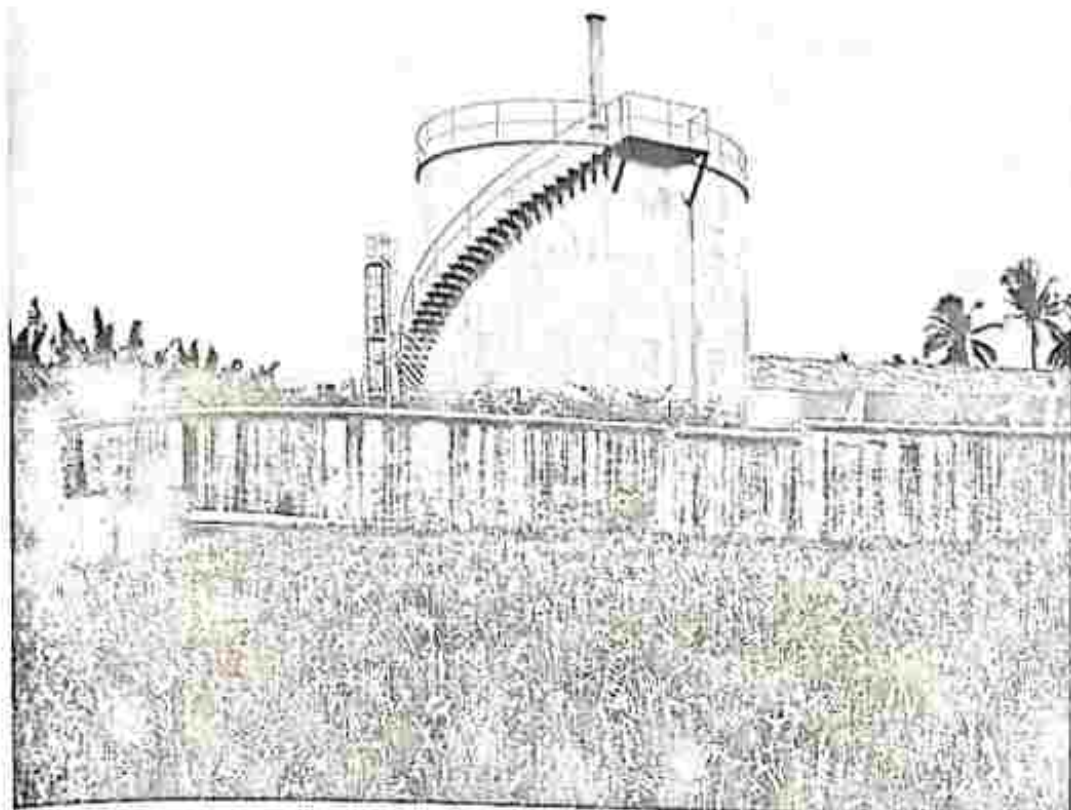


Kolam aerasi IPAL,
Pabrik bioetanol B di
Yogyakarta

9. Apakah simpulan bahasan di atas?

Pemilihan lokasi pendirian pabrik bioetanol harus dengan berbagai pertimbangan, seperti di bawah ini.

- Jauhi lokasi permukiman penduduk.
- Lokasi seyogianya di dekat sungai dengan debit yang cukup besar.
- Lokasi seyogianya di sekitar kebun-kebun tanaman penghasil bioenergi.
- Lakukan tindakan 4R (*reduce, recycling, reuse, dan recovery*).
Upayakan mengurangi volume limbah (*reduce*) dengan tindakan integrasi, seperti pembuatan biogas dan air minum bagi ternak.
- Paling aman ialah gunakan limbah cair untuk penyiraman (*land application*) kebun-kebun tanaman penghasil bioenergi (seperti singkong, tebu, dan jarak pagar).



Sarana demo plot. Air limbah dimanfaatkan untuk mengairi persawahan, dapat menyuburkan tanaman, mengurangi kebutuhan pupuk kimia, dan menambah hasil produksi padi

B. Limbah Padat

1. Limbah berbentuk padat pabrik bioetanol, khususnya akan dijumpai di pabrik yang berbahan baku ubi kayu. Dari manakah asal limbah ini?

Limbah padat berasal dari proses pembersihan ubi kayu, disebut ongkok, yaitu berupa kotoran dan kulit. Setiap pengolahan satu ton ubi kayu dihasilkan limbah padat berupa kulit sebanyak 300 kg. Ubi kayu menghasilkan limbah berupa kulit luar sebesar 0,5–20% dan kulit dalam 8–15% dari berat umbinya.

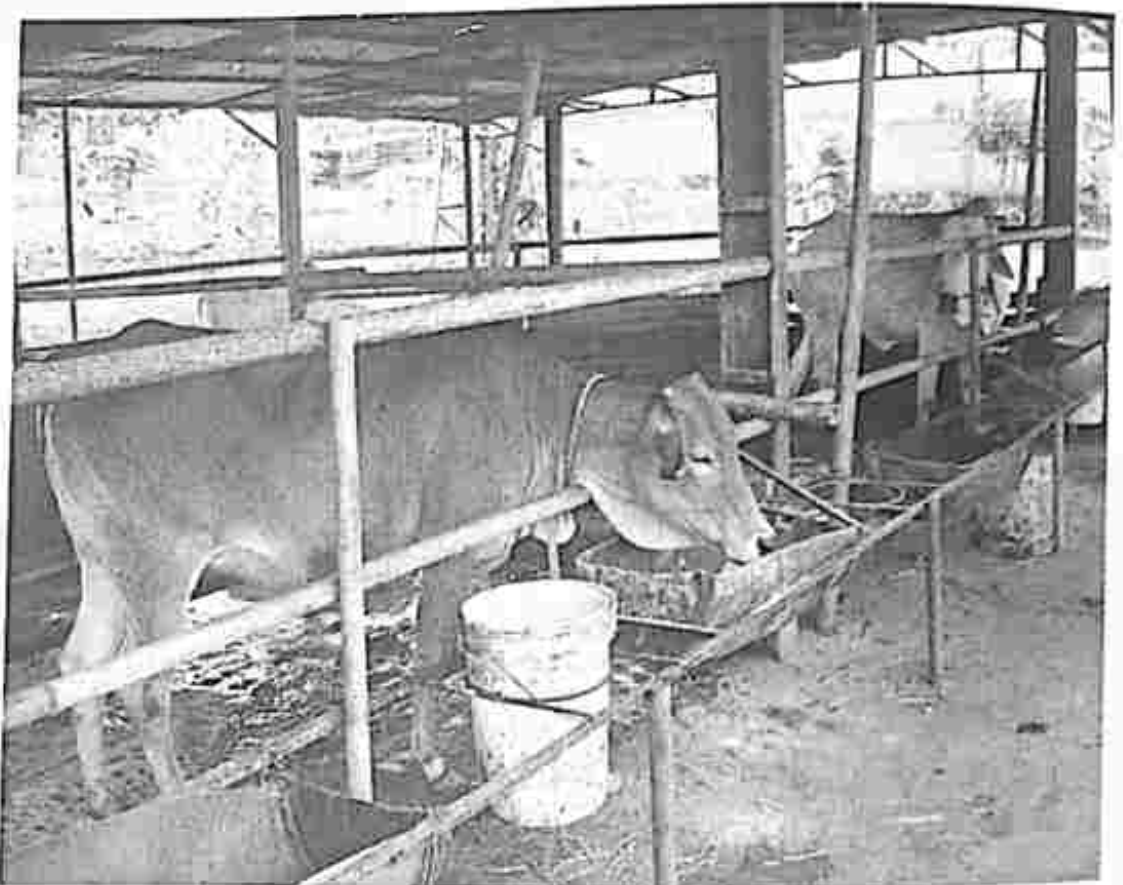
2. Bagaimana penanganan dan pemanfaatan limbah padat ini? Saat ini direkomendasi dua cara sebagai berikut.

- Perlakuan limbah tanpa mengambil manfaatnya secara langsung, seperti untuk penimbun atau pengisi tanah dan dibakar secara terkendali.



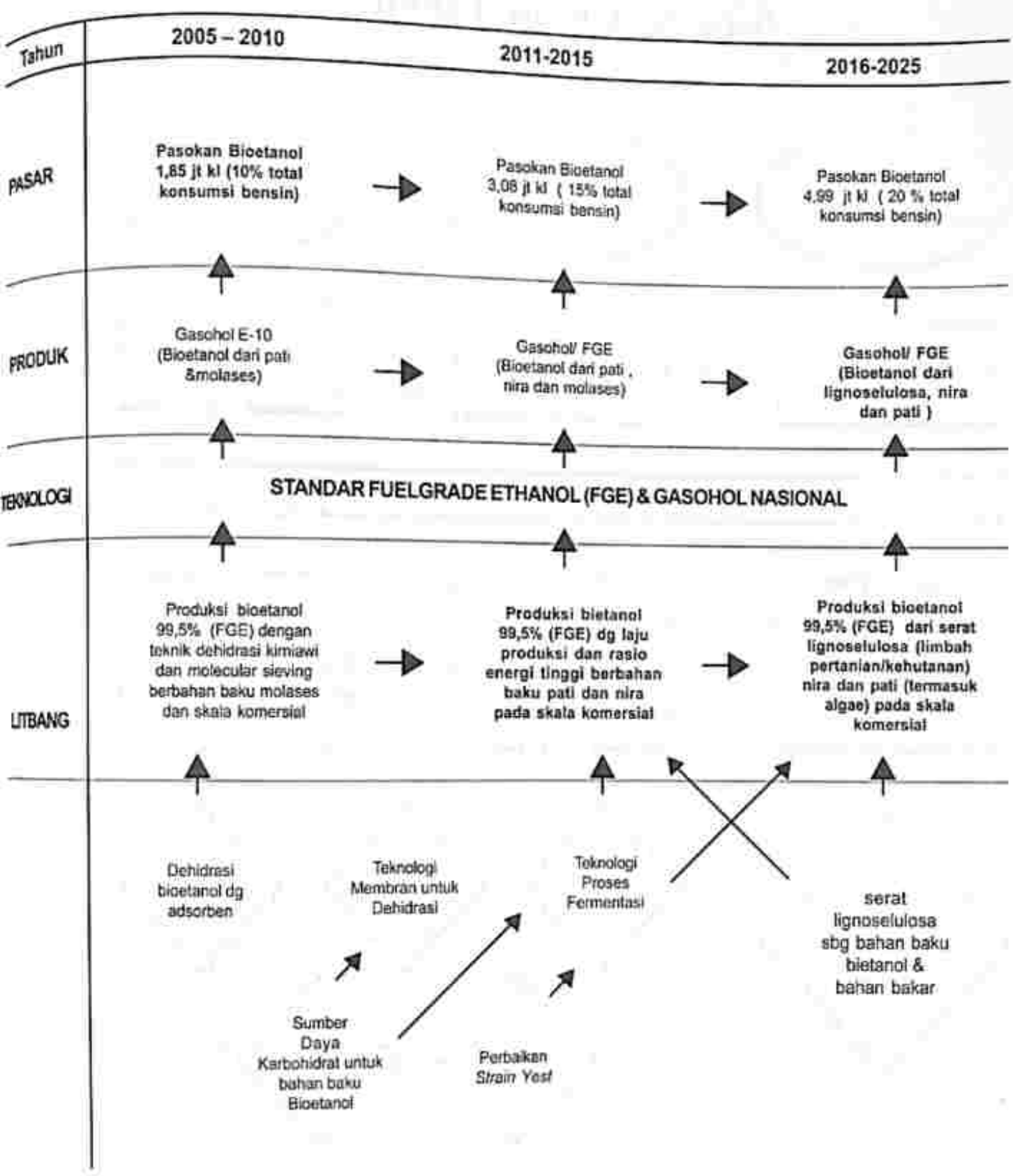
Ongkok. Limbah padat yang berasal dari serat ubi kayu hasil pengolahan bioetanol

- Diolah agar limbah dapat dimanfaatkan kembali, misalnya untuk pakan ternak, dikomposkan untuk pupuk organik, dan bahas biogas.
- Contoh pemanfaatan lain yaitu ongkok sebagai bahan baku industri asam sitrat, komponen saus, dan industri obat nyamuk bakar. Saat ini, BPPT sedang melakukan penelitian untuk mengolah ongkok menjadi bioetanol.





Pemanfaatan ongkok ubi kayu.
Sebagai pakan ternak sapi

LAMPIRAN 1 Roadmap Bioetanol

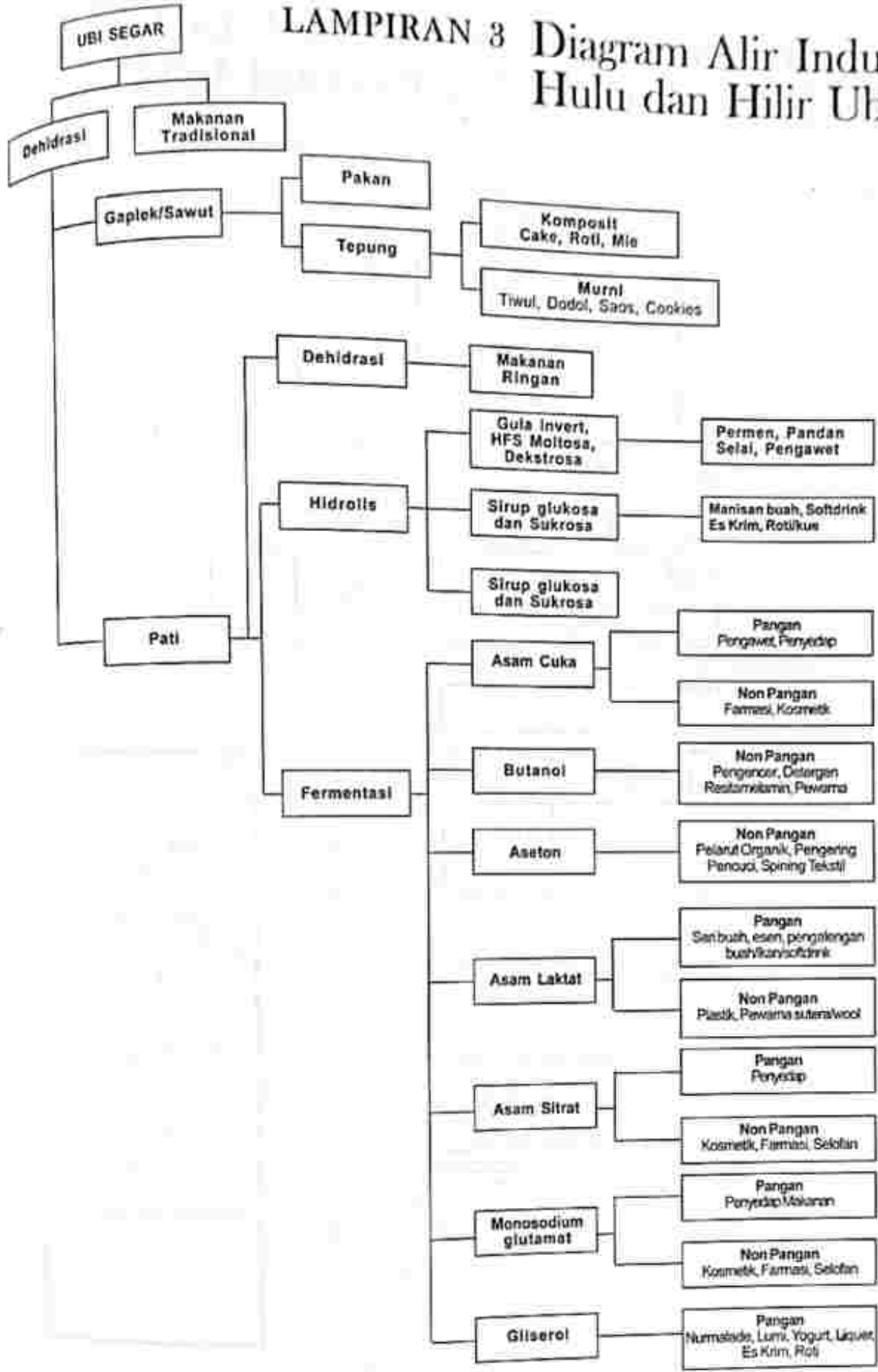


LAMPIRAN 2

Rencana Strategis Bioetanol Sampai dengan Tahun 2025

BIOETANOL	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025
Pasar (% energi mix nasional, total biofuel)	Uji coba B5 dan E5% di Jakarta dan Surabaya	Komersialisasi E5	Komersialisasi E5 – E15	E5 – E15 (2% dari energi mix)	E15, E85 (2% dari energi mix)	E20, E85 (3% dari energi mix)	E20, E85 (3% dari energi mix)	E20, E85, E100 (6% dari energi mix)
Penyediaan lahan dan produk energi (ha dan juta KL)	- 100 ha kebun bibit - 3000 KL	-130 ribu ha untuk tebu dan singkong - 0,232 juta KL	- 600 ribu ha untuk tebu dan singkong - 2,95 juta KL	- 1,0 juta ha untuk tebu dan singkong - 4,54 juta KL	- 2,25 juta ha untuk tebu dan singkong - 10,46 juta KL	- 3,25 juta ha untuk tebu dan singkong - 17,32 juta KL	- 3,5 juta ha untuk tebu & singkong - 17,32 juta KL	- 3,5 juta ha untuk tebu & singkong - 17,32 juta KL
Industri hulu dan hilir	2	15	100	150	371	402	500	500
Tenaga Terampil	100	1.000	5.000	8.000	15.705	16.917	18.000	18.000
Tenaga Non Terampil	1000	100 ribu	0,5 juta	0,9 juta	1,75 juta	1,75 juta	2,25 juta	2,25 juta
Program dan langkah-langkah strategis	- Inpres Biofuel - Tim Nas - Sertifikasi bibit - Penetapan lahan	- Penetapan lahan - LS Pro dan Lab Uji - Bibit unggul - Sosialisasi	- Special Biofuel Zone - Desa Mandiri Energi	- Fuel Flexible Car	- Sumber bahan baku lainnya			
Pendanaan	DIPA 100M	DIPA, Investor, Green Energy Fund	25,0 T	45,2 T	85,1 T	89,6 T	105 T	105 T
Regulasi	- SNI Biodiesel - Tata Niaga BBN	- SNI Bioetanol - Revisi RPP 148	- Mandatory 5% untuk transportasi	- Mandatory 10% untuk transportasi		- Mandatory 20% untuk transportasi		

LAMPIRAN 3 Diagram Alir Industri Hulu dan Hilir Ubi Kayu



LAMPIRAN 4 Gambar Unit Pengolahan Limbah Cair Pabrik Bioetanol A di Yogyakarta

