

# **Peran Bioenergi dan Arah-arrah Utama LitBangRap-nya di Indonesia**

**Tatang H. Soerawidjaja**

Anggota Dewan Riset Nasional (DRN) – Komisi Teknis Energi, dan  
Ketua Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI)

**Lokakarya Gasifikasi Biomassa**

LABTEK X, Kampus ITB, Bandung, 16-17 Desember 2010

# Pengertian bioenergi

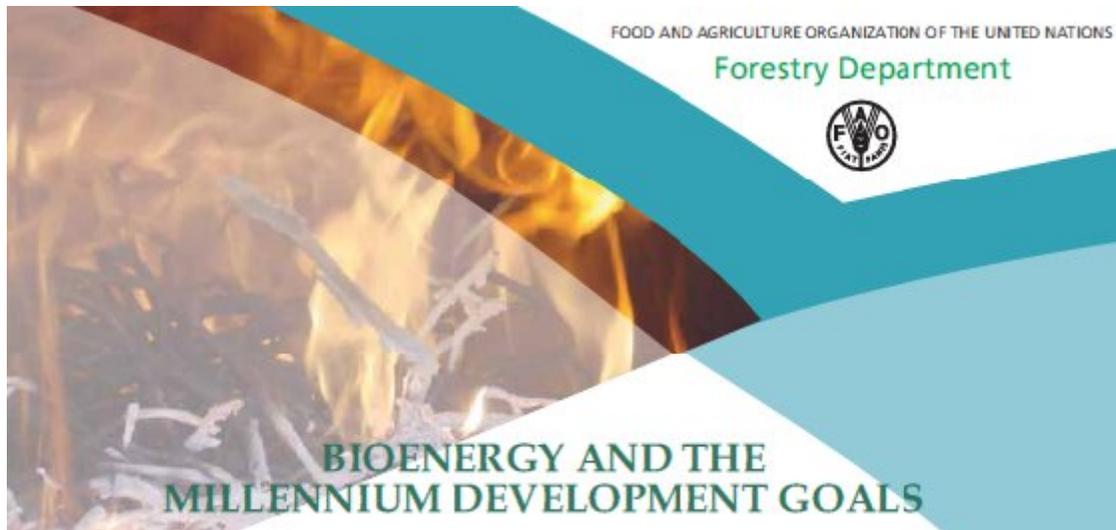
- **Bioenergi** adalah energi yang diperoleh/ dibangkitkan/berasal dari biomassa.
- **Biomassa** adalah bahan<sup>2</sup> organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan/hewan; produk & limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan)].
- Bentuk-bentuk final terpenting bioenergi :
  - ☑ bahan bakar nabati (*biofuels*);
  - ☑ listrik biomassa (*biomass-based electricity*).

# Mengapa bioenergi penting ?.

- Sistem energi dunia harus (dan sedang diupayakan) beralih dari sebuah sistem energi berbasis sumber daya fosil ke sistem energi berbasis sumber daya terbarukan.
- Sistem energi dunia yang ada sekarang telah dibangun, selama hampir satu abad, dengan berdasar (atau merujuk) pada aneka keunggulan sumber daya fosil.
  - Sumber daya fosil adalah sumber daya bahan bakar !.
  - Karena itu, semua teknologi dan ‘mesin’ pengkonversi bahan bakar menjadi listrik, kalor, dsb, kini sudah banyak tersedia.

- Biomassa adalah satu-satunya sumber energi terbarukan yang merupakan sumber daya bahan bakar (alias mampu menggantikan bahan bakar fosil dalam semua pasar energi)!. Yang lainnya (sinar surya, tenaga air, tenaga angin, panas bumi, arus laut, tenaga ombak, energi termal samudra, dan tenaga nuklir) hanya mudah dikonversi menjadi listrik.
- Pemanfaatan bioenergi dapat menggunakan teknologi dan ‘mesin’ yang selama ini sudah matang dikembangkan untuk mendayagunakan sumber daya fosil.

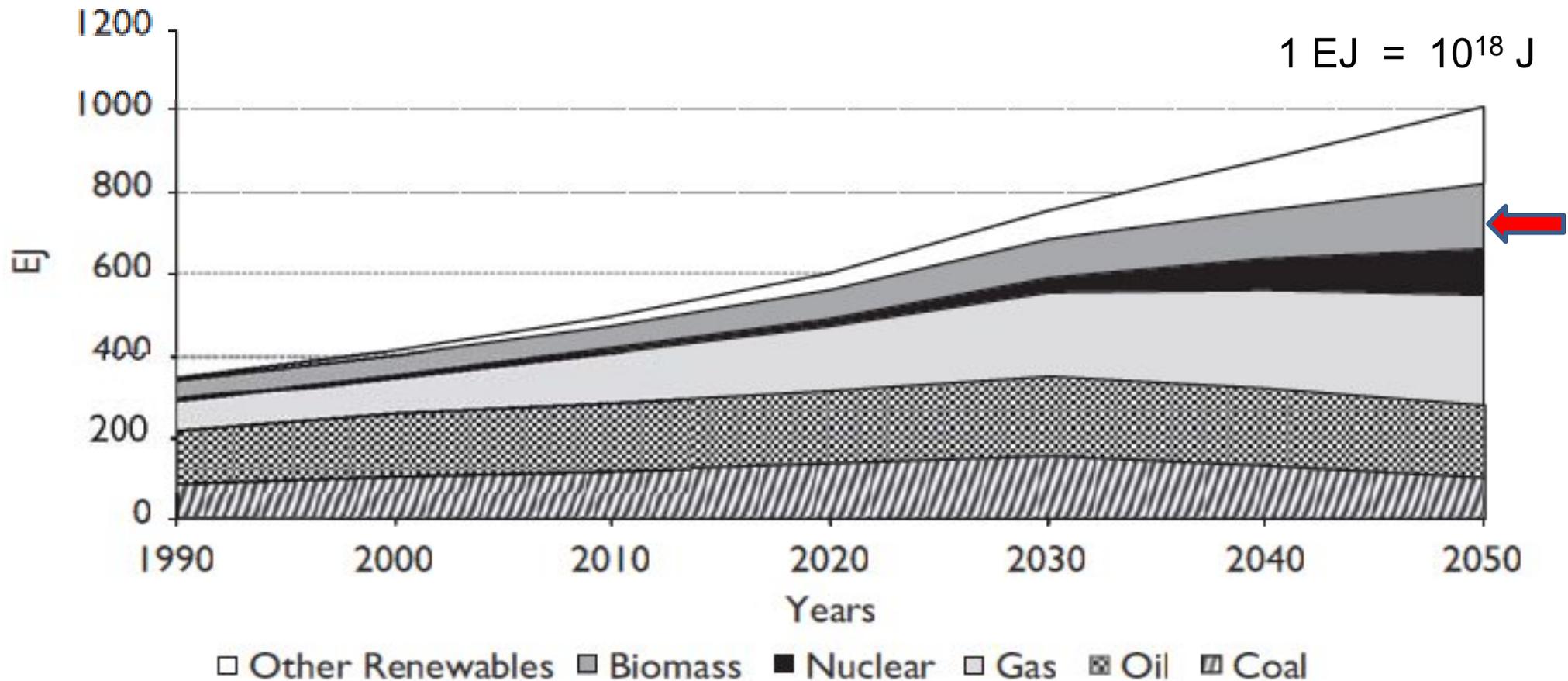
⇒ **Bioenergi merupakan jembatan transisi vital peralihan sistem energi berbasis sumber daya fosil ke sistem energi berbasis sumber daya terbarukan !.**



- Bioenergi merupakan komponen kunci dan jalur strategis dalam perjuangan mencapai *Millenium Development Goals (MDGs)*.

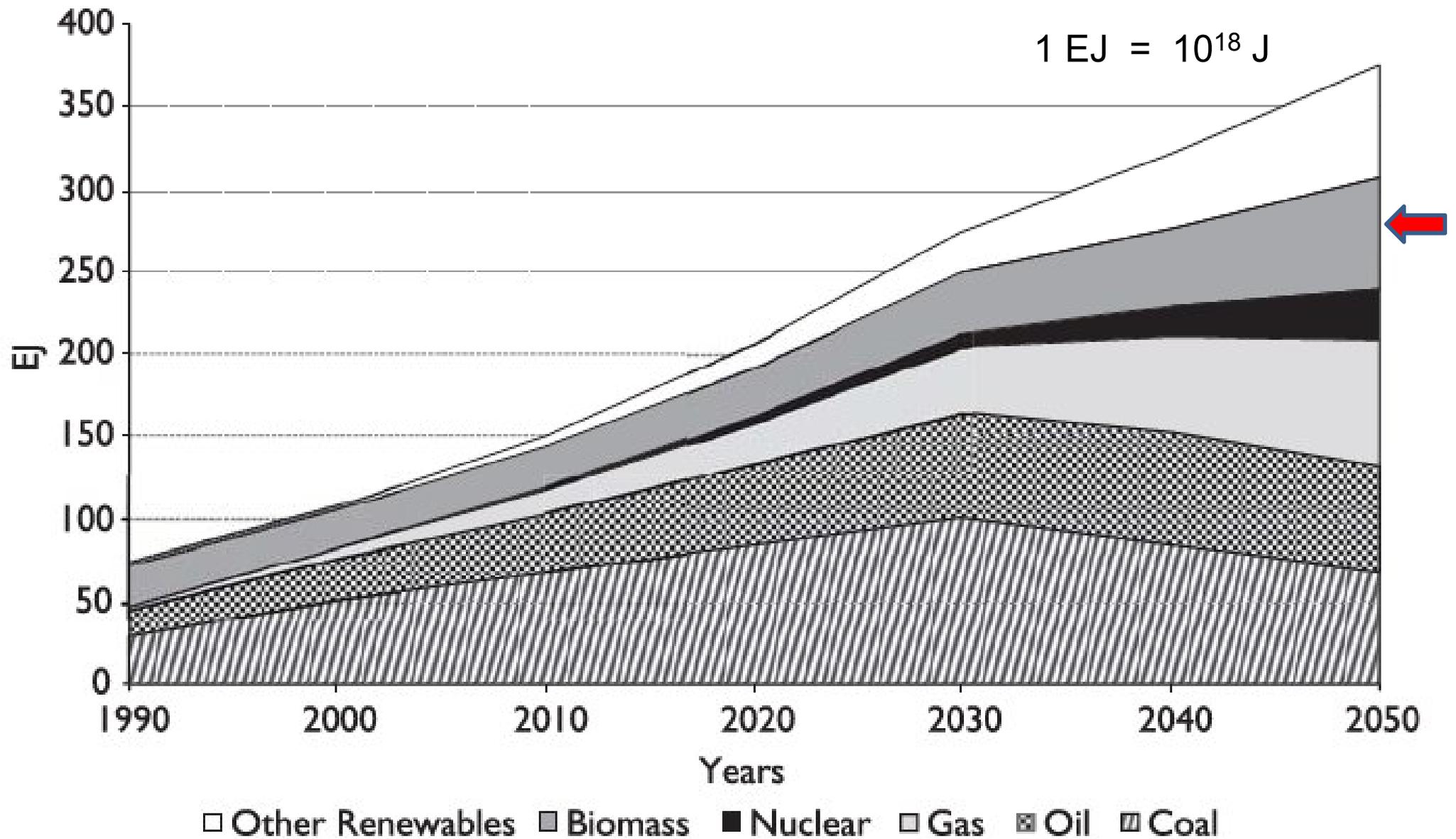
- Karena itu, bioenergi merupakan sektor perekonomian energi dunia yang paling dinamik dan berubah cepat.
- Pertumbuhan pesat industri bahan bakar nabati (BBN, *liquid biofuels*) pada dekade ini telah kita alami bersama.
- Pada tahun 2005, bioenergi memasok sekitar 10 % dari kebutuhan energi dunia dan merupakan 78 % dari seluruh pasokan energi terbarukan.

Konsumsi bioenergi akan terus membesar. Di tahun 2050, kontribusinya hampir sama besar dengan jumlah total energi-energi terbarukan lain.



Perkembangan konsumsi total energi primer di seluruh dunia menurut Skenario Visi Pembangunan Berkelanjutan dari International Energy Agency (2003)

Di Asia, perkembangannya bahkan lebih bermakna/si



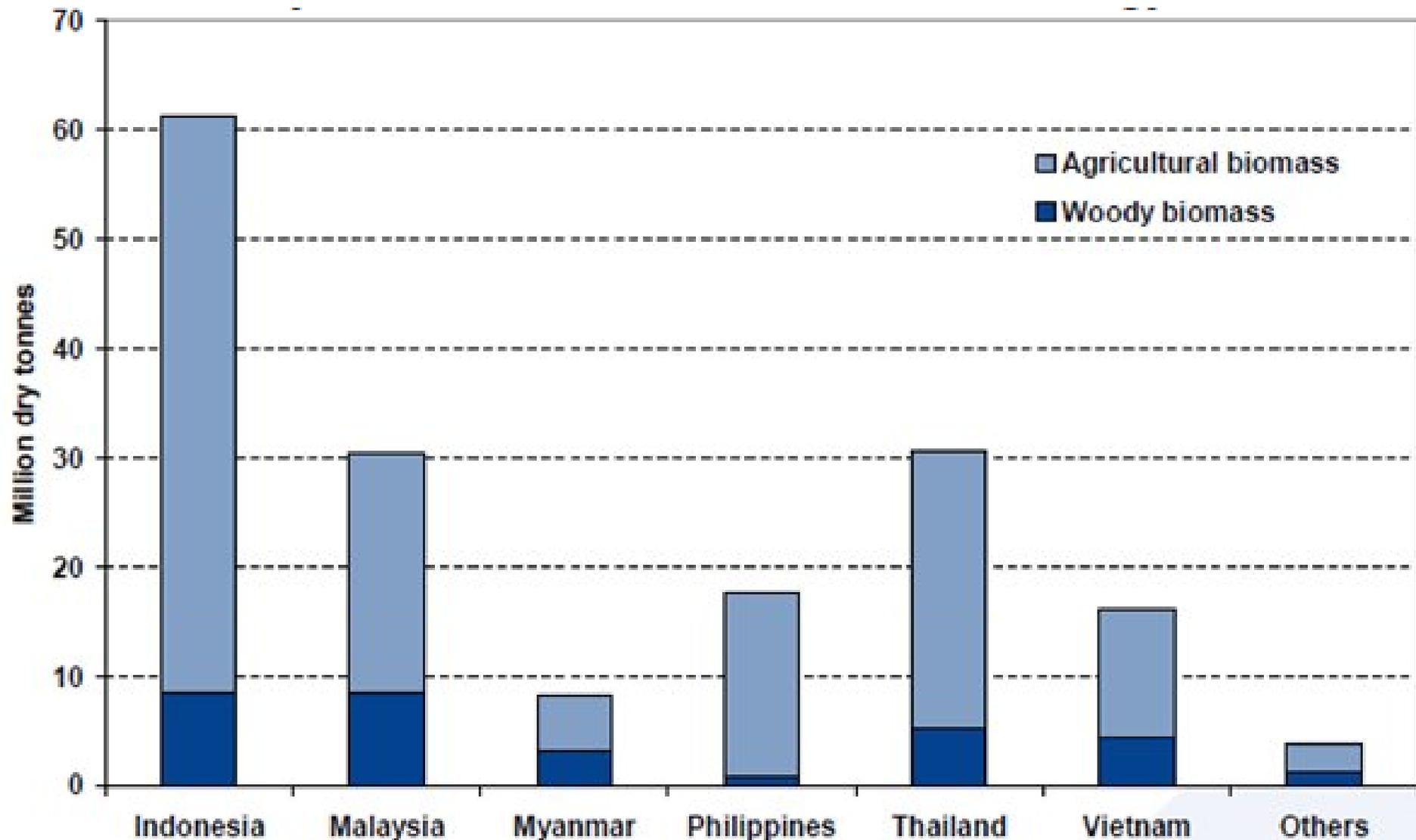
Perkembangan konsumsi total energi primer di Asia menurut Skenario Visi Pembangunan Berkelanjutan dari International Energy Agency (2003)

# Peran dan makna strategis bioenergi bagi Indonesia

- Bentuk kepulauan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) mempersulit transmisi & distribusi listrik maupun BBM.
- Interkoneksi jaringan listrik hanya mungkin (alias ekonomis) utk pulau-pulau besar dan sejumlah pulau-pulau relatif kecil di dekatnya.
- Sejumlah besar pulau ( $> 10.000$ ) harus bisa menghasilkan dan memenuhi kebutuhan bahan bakar dan listriknya sendiri (*self-sufficient*).
- Banyak propinsi & pulau tak memiliki cadangan bahan bakar fosil yang memadai (atau bahkan nihil).
- Biomassa (sumber daya hayati) tersedia di semua pulau!.

- Bangsa Indonesia dikaruniai biodiversitas dan lahan potensial yang amat besar. Mesti kita dayagunakan secara berkelanjutan untuk memperkuat keterjaminan pasokan energi dan neraca pembayaran negara, membuka banyak lapangan kerja, mengentaskan kemiskinan, melancarkan pertumbuhan ekonomi yang merata, dan turut meredam emisi gas-gas rumah kaca.
- Produksi bioenergi (listrik dan/atau bahan bakar hayati) dari sisa & limbah pemanenan + pengolahan pangan memiliki makna penting dalam mengefisienkan (memperkuat struktur & daya saing) industri pangan domestik (→ sekam, jerami, bagas, tetes, tandan kosong sawit, dll).
- *Kesenjangan potensi dengan pemanfaatan : →*

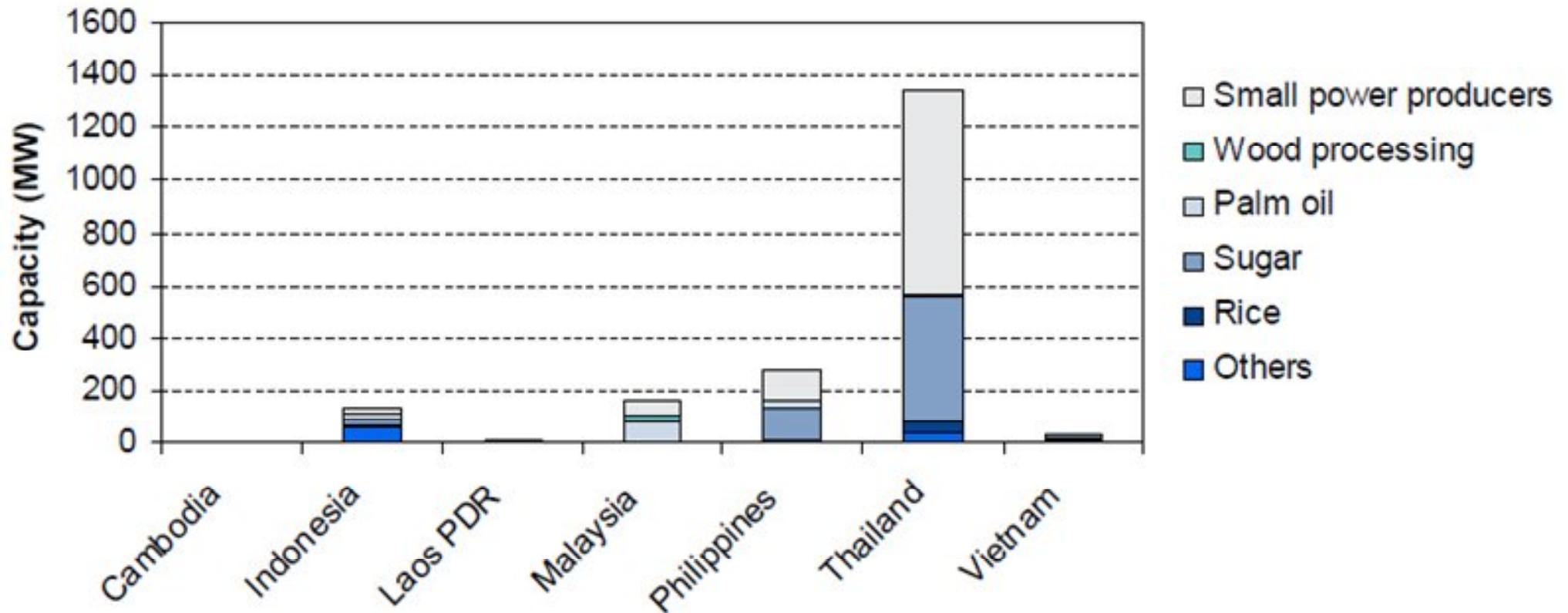
# Di ASEAN kita adalah produsen biomassa terbesar .....



Biomassa yang tersedia untuk pembangkitan energi di negara-negara ASEAN

Sumber : Saku Rantanen (Pöyry), 2009

# ..... tetapi merupakan pemanfaat yang relatif terkecil !.

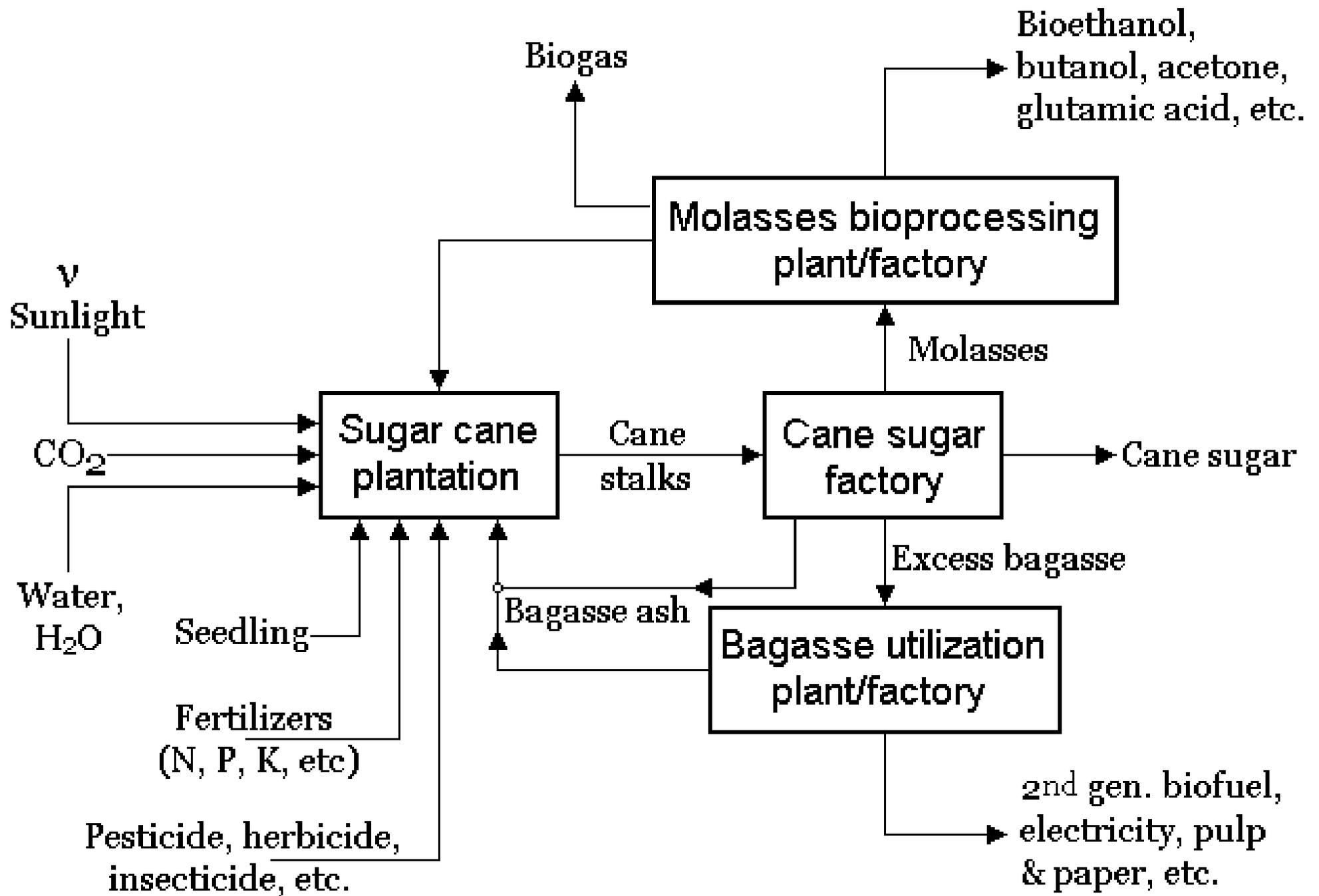


Pemanfaatan biomassa untuk produksi energi di negara-negara ASEAN

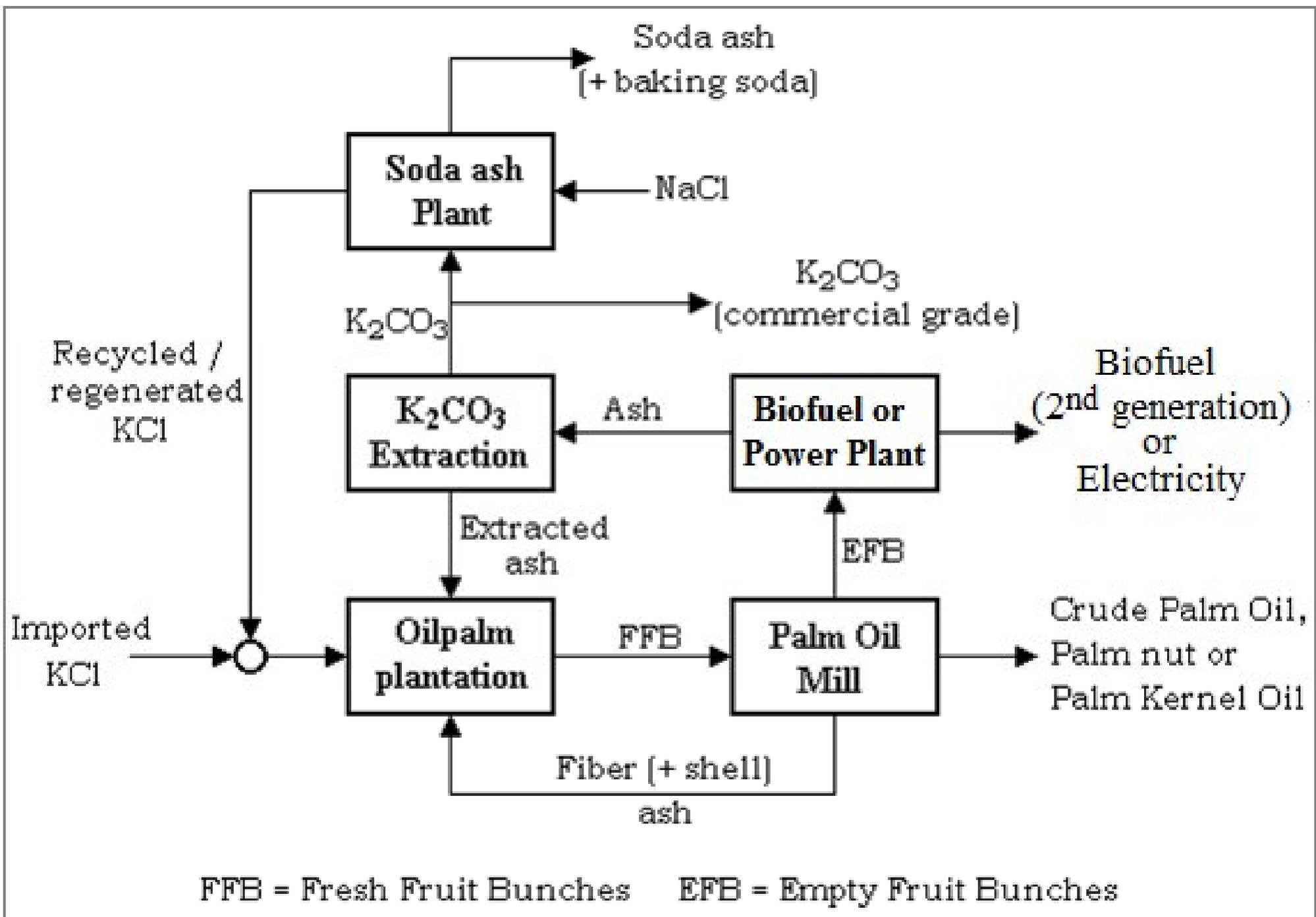
Sumber : Saku Rantanen (Pöyry) 2009

**Potensi amat besar itu masih terabaikan !.**

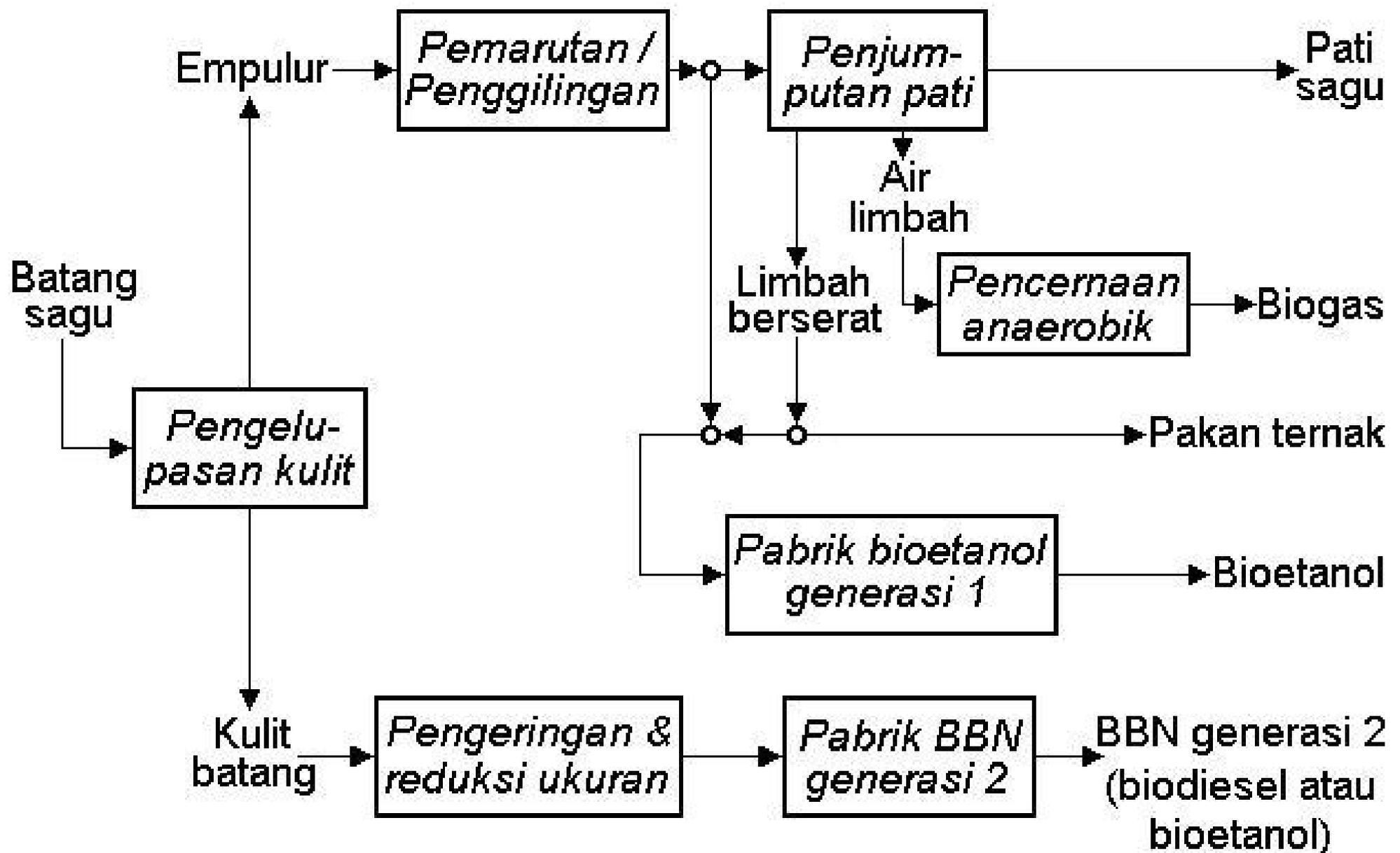
Contoh-contoh pendayagunaan terpadu untuk penguatan struktur dan daya s



Konfigurasi ideal pemanfaatan industrial tanaman tebu



## Skema Industrialisasi Tandan Kosong Sawit (TKS)



BBN = Bahan Bakar Nabati (*biofuel*)

Rute-rute pemanfaatan terpadu sagu utk pangan dan bioenergi

# Peringatan :

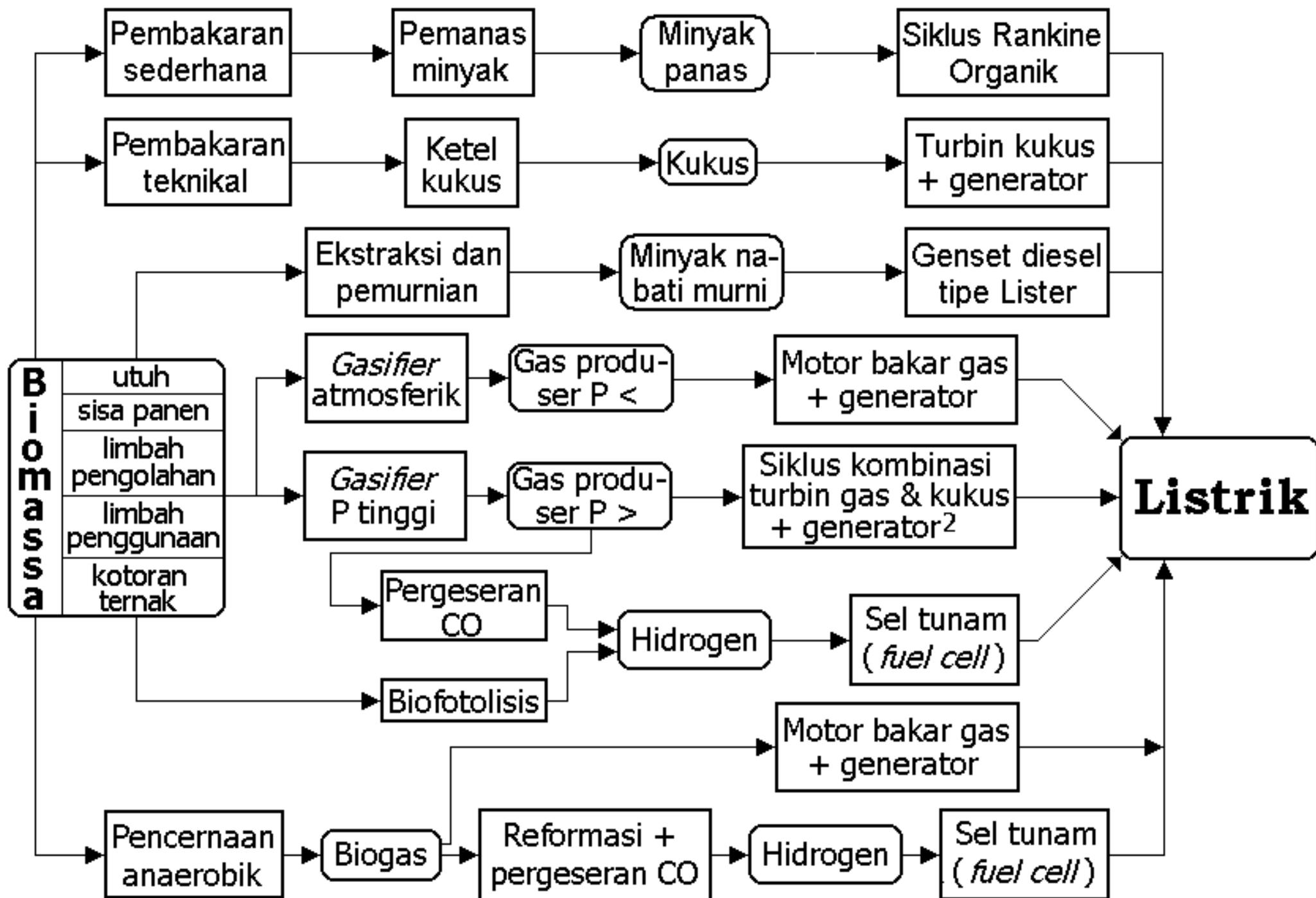
- Kita, bangsa Indonesia, harus mampu mengkonversi seluruh potensi bioenergi yang kita miliki menjadi bentuk-bentuk final (BBN, listrik biomassa, biogas, dll). Produk-produk final bioenergi inilah yang, jika surplus, bisa kita ekspor. ⇒ **Bangun industri bioenergi domestik!**
- Jika kita tak melakukannya, negara-negara maju sudah siap mengimpor biomassa (alias bahan mentah bioenergi) tersebut untuk mereka manfaatkan di negerinya.
- Karena biomassa mengandung ‘abu’ (mineral lahan pertanian/perkebunan), dan sektor energi bervolume niaga masif, ekspor biomassa dalam jangka panjang akan berujung malapetaka : **lahan pertanian/perkebunan/hutan kita menjadi kurus/tandus!.**

- Kita juga harus mampu mengungkap dan merealisasikan potensi tersidik dari tumbuhan-tumbuhan energi multiguna kawasan tropik seperti :
  - kranji/mabai (*Pongamia pinnata*),
  - nyamplung/bintangur (*Calophyllum inophyllum*),
  - nimba (*Azadirachta indica*),
  - gatep pait (*Samadera indica*),
  - jarak pagar (*Jatropha curcas*),
  - kelor (*Moreinga oleifera*),
  - kacang hiris (*Cajanus cajan*),
  - sukun (*Artocarpus altilis*)
  - aneka alga mikro.
- Pemerintah membuka jalan via kebijakan yang jitu, pengusaha mengimplementasikan dengan bisnis industrial yang bervisi kebangsaan, akademisi/peneliti memfasilitasi via pengembangan SDM, ilmu, dan teknologi bioenergi yang ‘tepat-guna’.

# Pengembangan listrik berbasis biomassa

Sumber energi terbarukan	Faktor ketersediaan (%)
Biomassa	$\geq 85$
Panas bumi	$\geq 85$
Arus laut	$\geq 70$
Hidro	$\approx 50$
Gelombang	$\approx 50$
Surya	$\approx 40$
Angin	$\approx 30$

**Biomassa adalah sumber listrik terbarukan yang ketersediaan sepanjang tahunnya paling besar!**



Aneka rute alternatif pembangkitan listrik dari biomassa

# Harga bahan bakar untuk pembangkitan 1 kWh listrik dengan genset diesel :

## Asumsi-asumsi :

- Nilai kalor netto (LHV) minyak diesel = 37,0 MJ/liter.
- Harga minyak mentah = US\$80/bbl.
- Ongkos pengilangan minyak = US\$10/bbl.
- 1 bbl = 159 liter; US\$1 = Rp.9000,-
- Efisiensi konversi bahan bakar ke listrik dari genset diesel = 30 %.

## Maka :

- Harga 1 liter minyak diesel =  $(80 + 10)9000/159 = \text{Rp. } 5094,4$
- $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$
- Kebutuhan minyak diesel untuk membangkitkan 1 kWh listrik =  $(100/30) \times (3,6/37) = 0,324 \text{ liter}$ .
- Harga bahan bakar untuk pembangkitan 1 kWh listrik dengan genset diesel =  $(0,324) \times \text{Rp. } 5094,4 = \text{Rp. } 1652,-$  (= €143/MWH; €1 = Rp.11.500,-).
- Jika semua ongkos diperhitungkan (pengangkutan solar ke lokasi, depresiasi, perawatan mesin, biaya pegawai)  $\Rightarrow \approx \text{Rp.}2000/\text{kWh!}$ .

# Ongkos produksi listrik berbagai teknologi pembangkitan (dalam €2005/MWh)

Teknologi	2007	2020	2030
Biogas	55 – 215	50 – 200	50 – 190
Biomassa padat	80 – 195	85 – 200	85 – 205
Surya PV	520 – 880	270 – 460	170 – 300
Angin, di darat	75 – 110	55 – 90	50 – 85
Angin, lepas-pantai	85 – 140	65 – 115	50 – 95
Hidro, kecil	60 – 185	55 – 160	50 – 145
Hidro, besar	35 – 145	30 – 140	30 – 130
Nuklir	50 – 85	45 – 80	45 – 80
Gas (PLTGU)	50 – 60	65 – 75	70 – 80
Batubara (serbuk)	40 – 50	65 – 80	65 – 80

Sumber : Komisi Eropa (2008), dikutip oleh Canton dan Linden (2010).

- Teknologi pembangkitan listrik berbasis biomassa yang berskala relatif besar ( $\geq 3$  MWe), yaitu yang bertumpu pada pembakaran ‘teknikal’ dan gasifikasi, sudah matang (komersial); harga pokok pembangkitan  $\approx$  Rp.1000/kWh.
- Agar sumber daya biomassa yang kini sudah tersedia tidak diekspor, pemerintah perlu segera mengeluarkan kebijakan yang membuka peluang munculnya industri pembangkitan listrik berbasis biomassa!. *Berantas persaingan tak-adil antara listrik diesel dan listrik biomassa (dan juga listrik terbarukan lainnya).*
- Biomassa limbah industri besar yang berkondisi sangat basah dan lumat (atau mudah dilumatkan) dapat juga dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik via rute biogas.

- Teknologi gasifikasi biomassa untuk pembangkitan listrik yang dimiliki anak-anak bangsa harus bisa ditingkatkan sampai terbukti pada skala 1 – 10 MWe.
- Biomassa dapat pula menjadi sumberdaya utama untuk penyediaan listrik bagi daerah/pulau/ desa terpencil yang kemampuan teknologi penduduknya masih pada tingkat pertanian subsisten. Skala pembangkitan bisa sampai 3 MWe, tetapi umumnya  $\leq 1$  MWe.
  - ⇒ Pemerataan akses kepada listrik alias peningkatan rasio elektrifikasi nasional!.
- Teknologi yang sesuai :
  - ☑ Genset biogas;
  - ☑ Genset diesel tipe Lister (→ minyak nabati murni);
  - ☑ Genset Siklus Rankine Organik.

# Listrik biogas

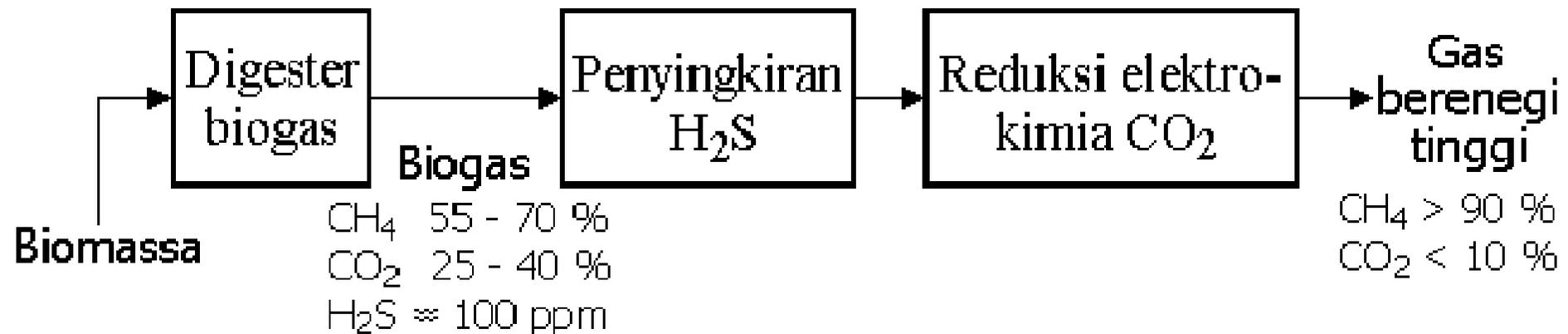


- Biogas dan pembangkitannya (terutama dari kotoran sapi) sudah mulai banyak dikenal.
- Di dalam negeri sudah ada beberapa vendor teknologi biogas dari kotoran ternak dan berbagai jenis limbah pertanian.
- Genset-genset biogas pun sudah tersedia secara komersial (mulai dari skala 700 watt).
- Perlu dilakukan promosi lebih sistematis dan demonstrasi pembangkitan biogas dari bahan tumbuhan.



# Di masa depan, teknologi reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> (menjadi CH<sub>4</sub>) memungkinkan gas biometan dipipakan ke kota-kota.

Peningkatan mutu biogas :



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



Energy Conversion and Management 48 (2007) 1255–1265

**ENERGY**  
CONVERSION &  
MANAGEMENT

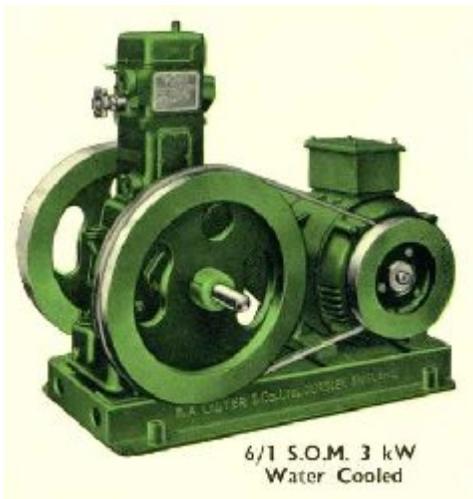
[www.elsevier.com/locate/enconman](http://www.elsevier.com/locate/enconman)

Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to hydrocarbons to store renewable electrical energy and upgrade biogas

M. Gattrell \*, N. Gupta, A. Co

*Institute of Chemical Process and Environmental Technology, National Research Council, 1200 Montreal Road, Ottawa, Ont., Canada K1A 0R6*

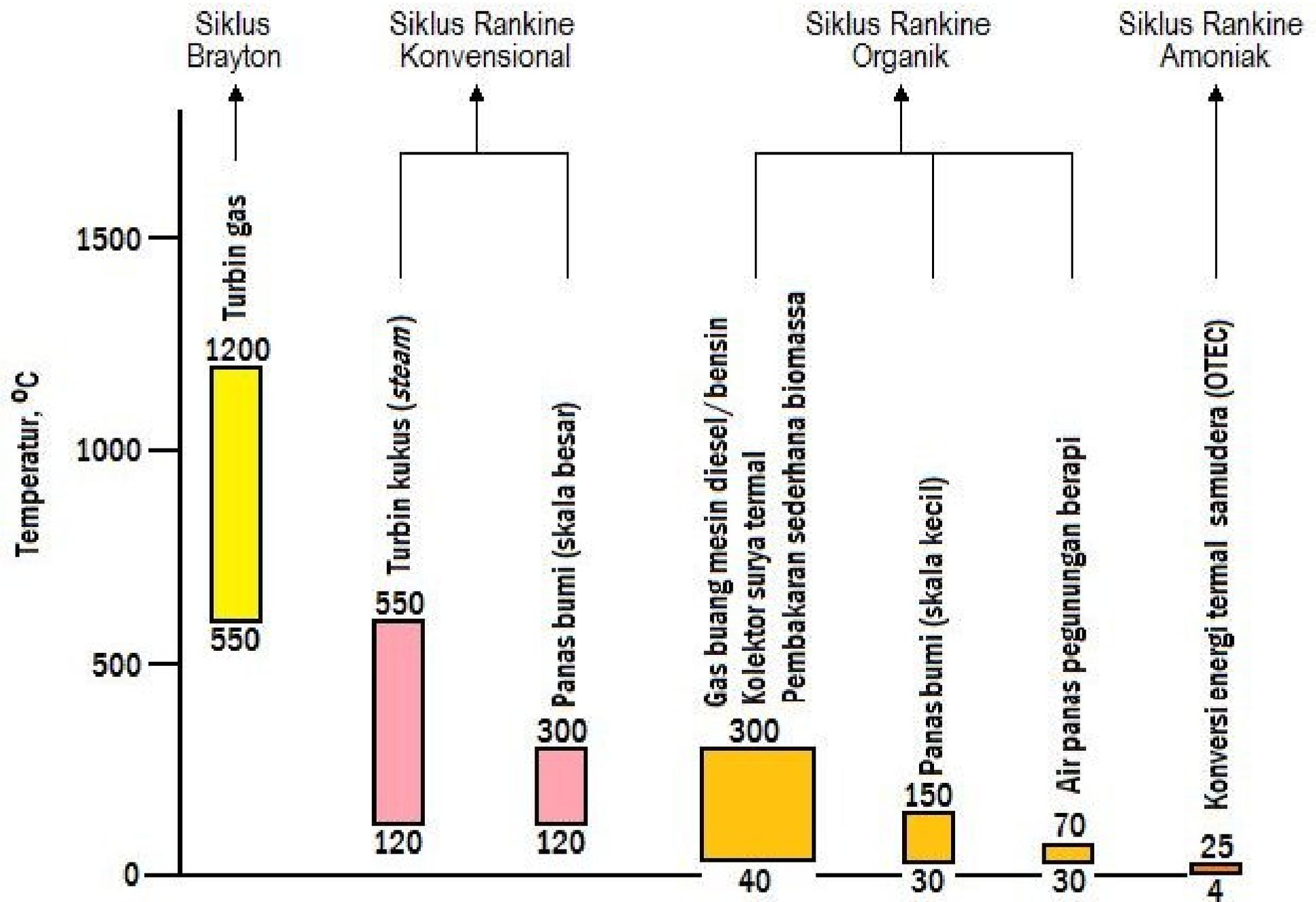
# Pembangkitan listrik dengan genset diesel tipe Lister



- Mesin diesel tipe Lister = mesin diesel bersilinder tunggal dan berputaran rendah ( $< 1000$  rpm).
- Bisa menggunakan minyak nabati murni sebagai bahan bakar. Minyak nabati murni (*Pure Plant Oil*, PPO, atau *Straight Vegetable Oil*, SVO) = minyak-lemak nabati yang (sudah) netral dan bebas getah (*gum*) = *degummed and deacidified fatty-oil*.
- Sedang diuji-coba kemanfaatannya dan di-*reverse engineering* cara produksinya oleh Dr. Iman K. Reksowardojo dkk (ITB) dengan dana Insentif Ristek.

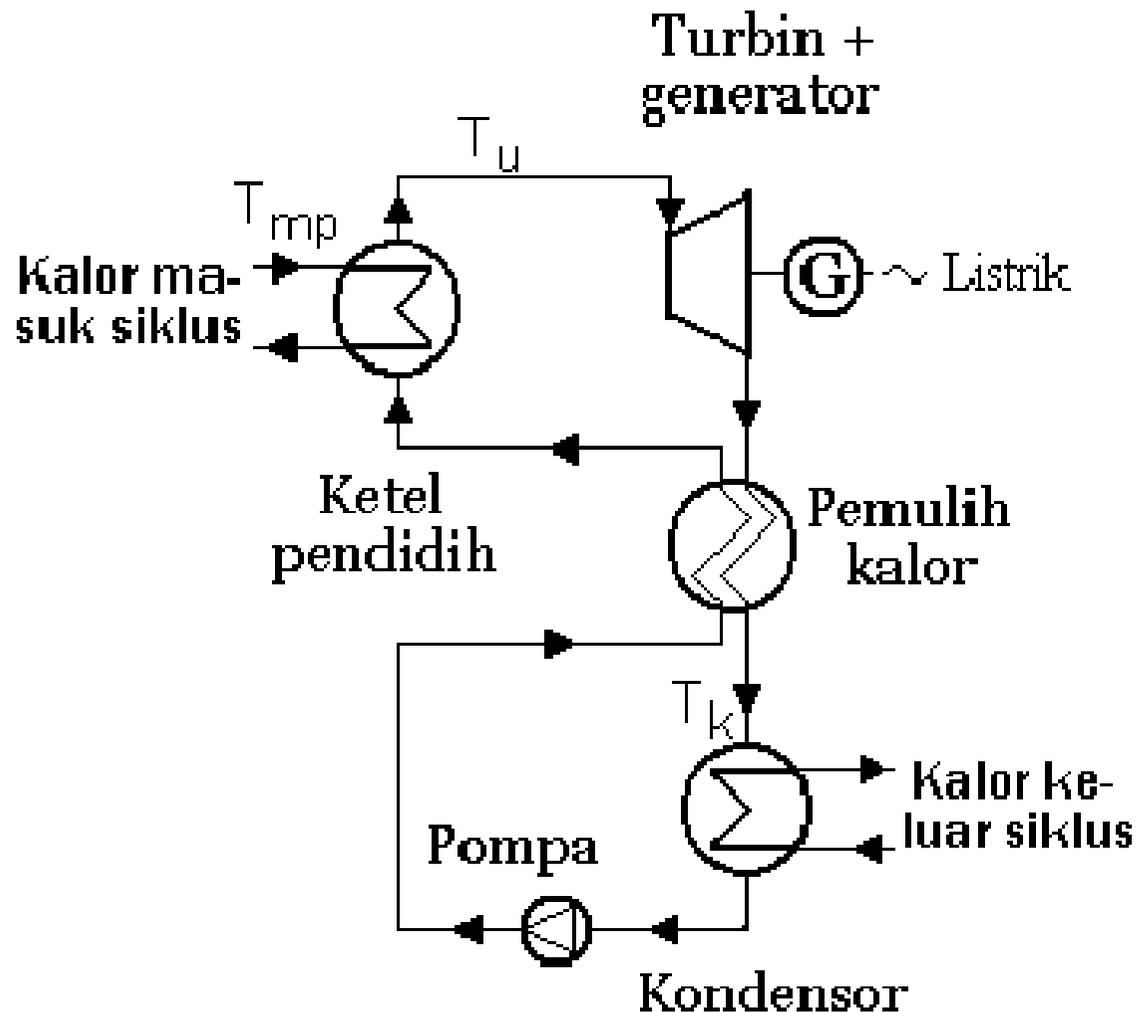
# Siklus Rankine Organik (SRO)

- Sama dengan siklus Rankine konvensional, hanya saja fluida kerjanya bukan kukus/air ( $H_2O$ ) melainkan fluida organik.
- Berat molekul :  $M_{r,\text{fluida organik}} \gg M_{r,\text{air}}$ 
  - Turbin lebih sederhana (1 tahap) dan rotasi-(rpm)-nya rendah, sehingga lebih awet dan mudah dirawat.
- Bisa dipilih fluida kerja organik bertitik didih  $< T_{d,n,\text{air}}$ 
  - Memungkinkan eksploitasi sumber kalor bertemperatur rendah untuk membangkitkan listrik secara relatif efisien.
- Sampai skala pembangkitan 400 – 500  $kW_e$  bisa dibuat moduler (= perangkat-lengkap kompak dan siap sambung ke sumber kalor dan pendingin dan jaringan listrik).



Rentang temperatur kerja berbagai sumber dan pembangkit listrik termal

# Konsep dasar siklus Rankine organik



Pemulih kalar tak diperlukan jika fluida kerja bersifat basah

Untuk SRO berbasis pembakaran biomassa :

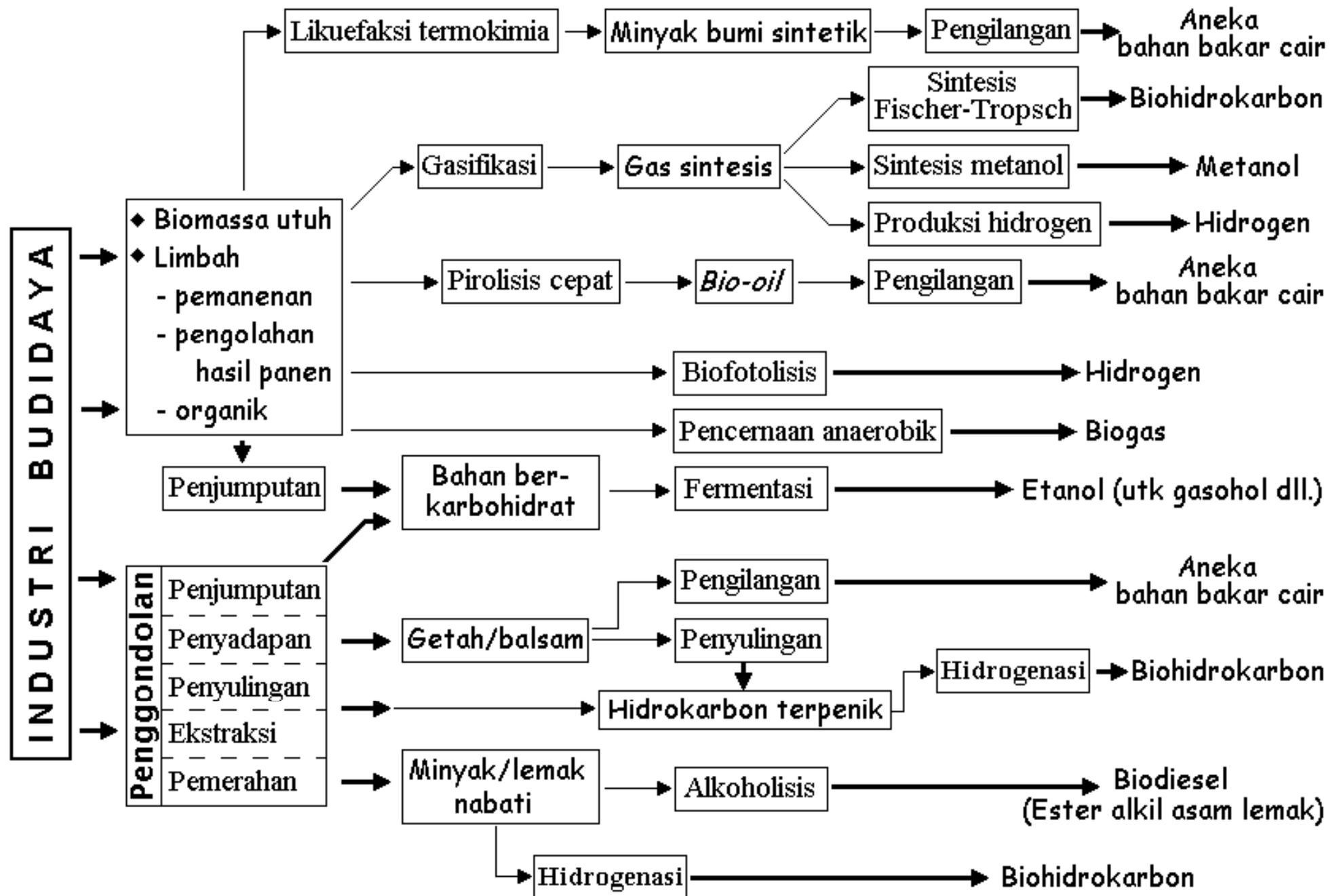
- Temperatur medium pemanas (mp),  $T_{mp, maks} = 630 \text{ K (} 360 \text{ }^\circ\text{C)}$ .
- Temperatur uap (u),  $T_{u, maks} = 600 \text{ K (} 330 \text{ }^\circ\text{C)}$ .
- Temperatur kondensator,  $T_k = 40 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .



- Fluida kerja untuk SRO biasanya dipilih agar memiliki GWP (*Global Warming Potential*) dan ODP (*Ozone Depleting Potential*) yang rendah.
- Contoh-contoh :  
heksametildisiloksan, diklorometan (R-30), 1,1,1,3,3-pentafluorobutan (R365mfc), 1-methoxyheptafluoropropan (HFE-7000).
- Di Indonesia tampaknya belum ada penerapan pembangkitan listrik dengan SRO.
- Perlu proyek demonstrasi!

# Pengembangan bahan bakar nabati (BBN)

- Bahan bakar cair merupakan bentuk energi final komersial yang paling unggul (dan strategis) :
  - ☑ Dapat disimpan secara mudah dan aman untuk jangka waktu lama (→ jadi sediaan siaga utk keadaan darurat).
  - ☑ Portabel, mudah diangkut dan dikirim jauh.
  - ☑ Memiliki kerapatan energi besar.
  - ☑ Relatif mudah dinyalakan, tapi tak mudah meledak.
  - ☑ Dapat dengan mudah dikonversi menjadi listrik.
  - ☑ Amat sangat penting (kritis) bagi sektor transportasi.
- Biomassa adalah satu-satunya sumber energi terbarukan yang dapat menghasilkan, atau mudah dikonversi menjadi, bahan bakar (cair).

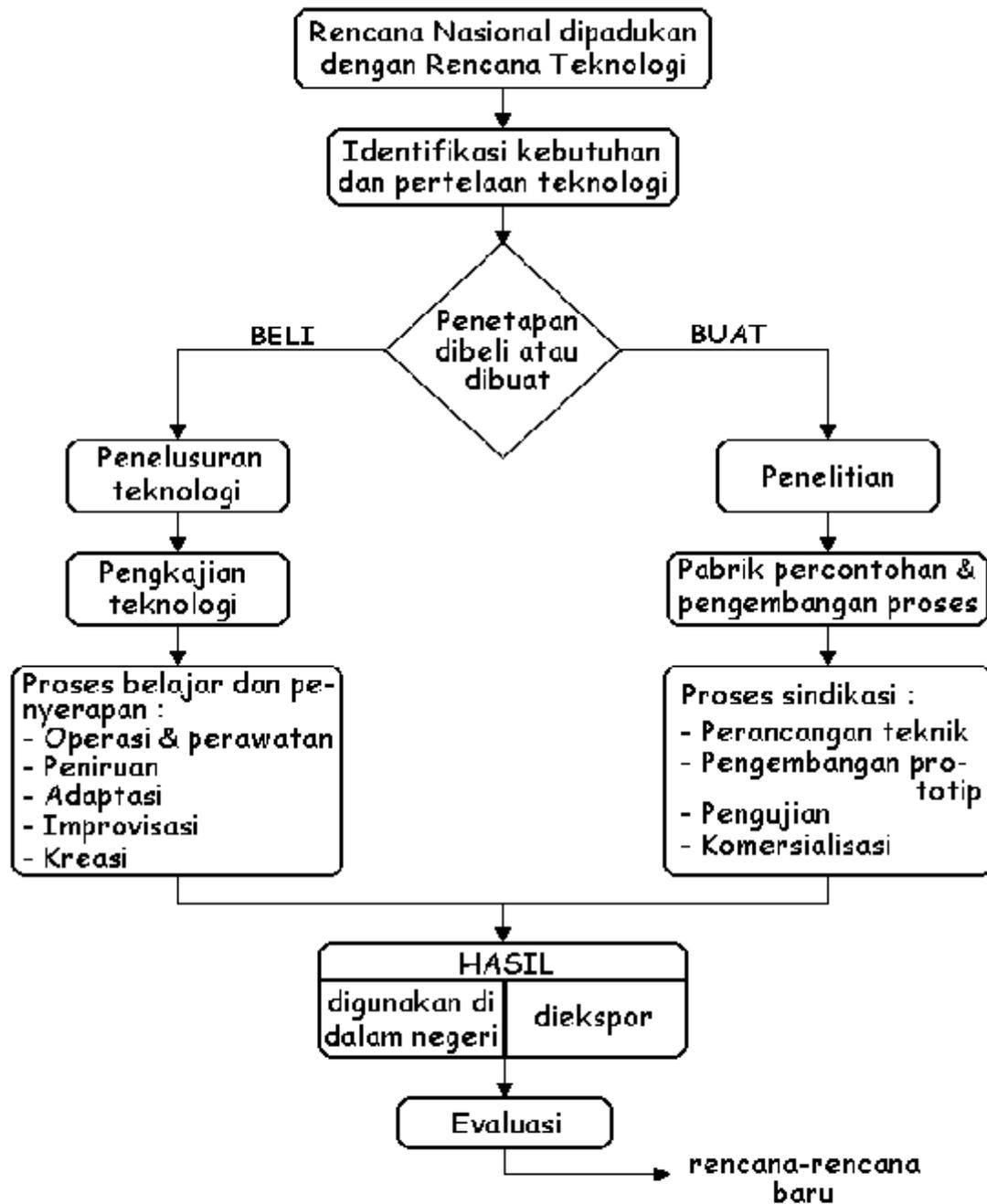


Aneka rute produksi bahan bakar hayati dari biomassa

[yang berwujud cair disebut Bahan Bakar Nabati (BBN)]

# Catatan awal tentang rute-rute teknologi BBN

- Indonesia sepantasnya tidak usah mengembangkan teknologi via rute-rute pirolisis cepat dan likuefaksi termokimia; kebutuhan SDM dan finansial tahap demonstrasi teknologinya tak sesuai dengan kemampuan negara/bangsa kita (nanti, jika perlu, beli saja!).
- Tuntutan tingkat keselamatan yang tinggi pada angkutan udara mengharuskan bioavtur berwujud kimia hidrokarbon (persis seperti avtur fossil).
  - ⇒ Dibuat dari minyak-lemak via teknologi hidrogenasi.
- Karena komponen utama avtur adalah hidrokarbon parafin  $C_{10} - C_{14}$ , bahan mentah terbaik pembuatan bioavtur adalah minyak-minyak laurat (asam laurat = asam lemak  $C_{12}$ ) : minyak kelapa, minyak inti-sawit, minyak biji *Cinnamomum* sp dan *Litsea* sp. [Bioavtur tampaknya akan sudah dimanfaatkan secara komersial mulai tahun 2012. Thailand berencana mulai menyediakan bioavtur di tahun itu bagi pesawat-pesawat Eropa]



### Kerangka Dasar Pengembangan Teknologi

- Jika suatu kandidat teknologi diputuskan untuk kelak dibeli saja, tak berarti tak boleh ada riset . Boleh, tetapi tujuannya bukan pengembangan teknologi, tetapi pembinaan SDM yang relevan!.

- Sayang sekali, Indonesia tak punya strategi induk (*grand strategy*) pengindustrian terpadu untuk memaksimalkan benefisiasi sumber daya alam.

# Saran pilihan teknologi yang dikembangkan

- **Biodiesel :**
  - ☑ Generasi 1 = ester metil asam lemak hasil metanolisis minyak-lemak nabati.
  - ☑ Generasi 2 = biohidrokarbon dari bahan lignoselulosa via gasifikasi + sintesis Fischer-Tropsch.
- **Bioetanol :**
  - ☑ Generasi 1 : dari bahan bergula/berpati via (sakarifikasi +) fermentasi dan pemurnian.
  - ☑ Generasi 2 : dari bahan lignoselulosa via pretreatment, sakarifikasi, fermentasi dan pemurnian.
- **Biogas** untuk bahan bakar rumah tangga pedesaan.
- [Biohidrokarbon via hidrogenasi minyak-lemak nabati sebaiknya diarahkan untuk produksi **bioavtur**].

# Isu pokok/utama

- Bahan mentah biodiesel generasi 1 masih amat tergantung pada minyak sawit. Pengembangan tumbuhan sumber minyak-lemak non pangan (*Pongamia pinnata*, *Calophyllum inophyllum*, *Cajanus cajan*, *Artocarpus altilis*, *Azadirachta indica*, *Jatropha curcas*, dll) masih kurang diperhatikan.
- Informasi terbukti (*proven information*) dari berbagai “pohon energi multiguna” belum tersedia. Padahal ini akan sangat bermanfaat untuk menentukan strategi *feedstock* di masa depan.
- Standar mutu biodiesel maupun bioetanol masih harus dimutakhirkan untuk menjawab keluhan-keluhan konsumen dan/atau diselaraskan dengan tujuan pengembangan industri BBN.
- Teknologi BBN generasi 1 kreasi bangsa harus dibuktikan berfungsi baik pada skala industri menengah dan besar.
- Teknologi BBN generasi 2 perlu dikembangkan dan dikuasai anak-anak bangsa.

# LitBangRap yang diperlukan

- R & D perluasan basis/pangkalan sumber daya (*resource base*) bioenergi (yaitu pengkajian dan pengembangan tumbuhan-tumbuhan energi multiguna).
- Demonstrasi pembuktian teknologi proses produksi biodiesel dan bioetanol generasi satu domestik (karya anak-anak bangsa) pada skala industri menengah dan besar.
- Pengembangan teknologi proses produksi biodiesel dan bioetanol generasi dua.
- Pengembangan teknologi proses produksi biodiesel dan bioetanol generasi satu yang efisien dan nir-limbah atau berlimbah minimal.
- Pengembangan teknologi untuk menghasilkan pati atau minyak-lemak murah dari alga mikro.

# **Sekian dan Terima Kasih**

[tatanghs@che.itb.ac.id](mailto:tatanghs@che.itb.ac.id)

[hstatang@yahoo.com](mailto:hstatang@yahoo.com)