

Bahagian 5. Penukaran biokimia biojisim

5.1 Biometanasi

5.1.1 Apakah itu biometanasi?

“Penapaian(fermentasi) metana” atau “pencernaan anarobik” selalu digunakan untuk menunjukkan “biometanasi”. Biometanasi adalah suatu proses kompleks mikrob di mana sebatian organik terdegrasi kepada metana dan karbon dioksida melalui pelbagai anarob. Biogas ini mempunyai nilai pemanasan yang rendah iaitu 20-25 MJ/m³-N (5000~6000 kcal/m³-N) dan boleh digunakan sebagai bahan bakar selepas desulfurisasi hidrogen sulfida. Biometanasi digunakan sebagai teknik untuk mendapatkan biofuel daripada biojisim dan juga boleh digunakan untuk merawat kumbahan biojisim. Baki penapaian boleh digunakan sebagai baja cecair dan bahan mentah untuk kompos.

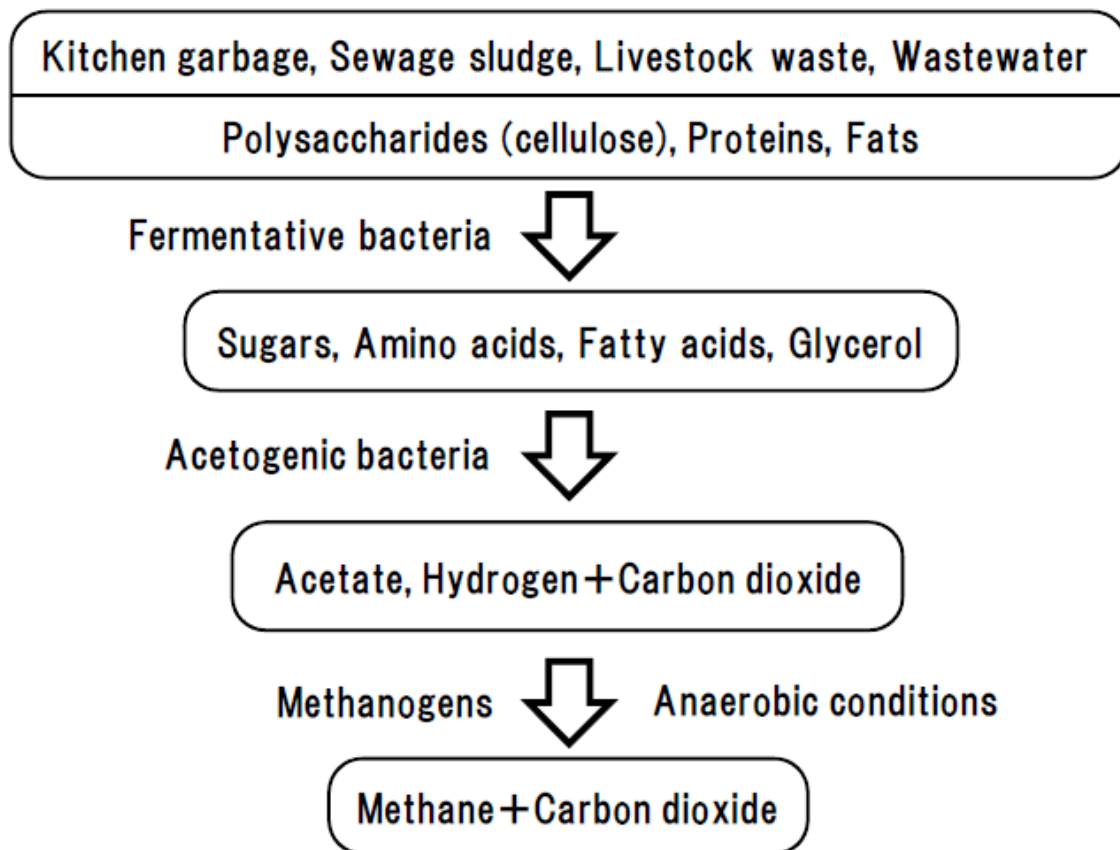
5.1.2 Ciri –ciri biometanasi

Pada mulanya, sebatian organik dikompos kepada asid organik atau hidrogen oleh pelbagai anarob. Pada peringkat terakhir, asetat atau hidrogen dan karbon dioksida ditukar kepada metana. Biometanasi berlaku di bawah keadaan anaerobik. Metanogen memerlukan keadaan anaerobik mutlak untuk penghasilan metana. Biometanasi adalah proses mikrobiologi. Oleh itu, proses ini berlaku pada suhu dan tekanan normal. Biometanasi boleh digunakan untuk pelbagai jenis biojisim berbanding penapaian etanol kerana adanya aktiviti kompleks mikroflora.

5.1.3 Mekansime biometanasi

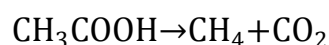
Apabila sebatian organik dikekalkan pada 5-70°C dan pH neutral di bawah keadaan anaerobik, biometanasi spontan akan berlaku. Biogas sentiasa dihasilkan di bawah tanah pusat pembuangan sampah. Sampah dapur dan cecair kumbahan digunakan sebagai substrat biometanasi. Air kumbahan organik daripada kilang makanan yang mengandungi gula dan kanji juga digunakan sebagai substrat biometanasi.

Biometanasi terdiri daripada hidrolisis, asetogenesis dan metanogenesis. Gambar rajah 5.1.1 menunjukkan garis biometanasi. Polisakarida dikompos kepada gula

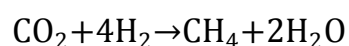


Gambar rajah 5.1.1 Carta skema biometanasi

ringkas, protin kepada asid amino, dan lemak kepada asid lemak dan gliserol. Contoh bakteria penapaian adalah *Bacteroides spp.* dan *Clostridium spp.*. Gula dan asid amino diuraikan kepada asetat dan propionat oleh asidogen. Akhirnya, metanogen menukarkan asetat atau hidrogen dan karbon dioksida kepada metana. Asidogenesis adalah proses kompleks di mana mikroflora anarob menguraikan sebatian organik kepada molekul asid organik yang rendah. Asetat, laktat, suksinat, etanol, butanol. Aseton dan lain-lain boleh dihasilkan daripada glukosa oleh asidogen. Dalam pemprosesan air kumbahan, 70% daripada metana dihasilkan daripada asetat, dan 30% dihasilkan daripada hidrogen dan karbon dioksida. Formula reaksi asetoklastik adalah seperti berikut;



Formula reaksi hidrogenotrofik adalah seperti beriku;

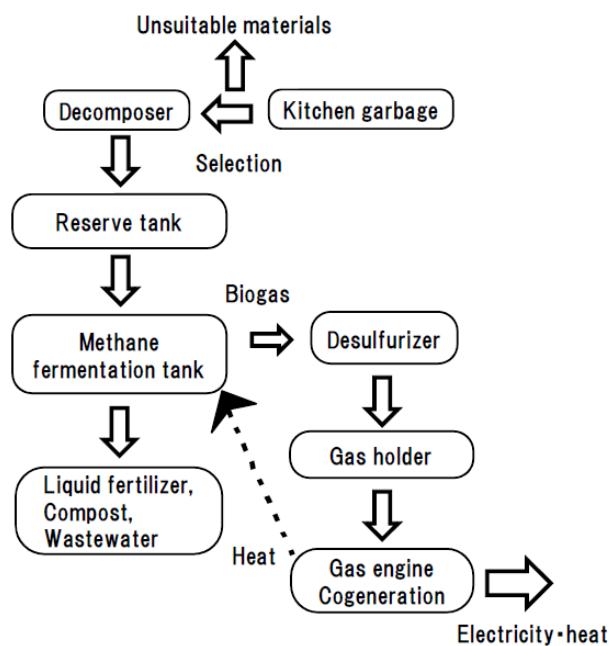


Metanogen adalah anarob yang boleh dibesarkan menggunakan asetat atau hidrogen dan boleh menghasilkan metana. Contoh utama metanogen adalah *Methanobacter spp.* dan *Methanosaeta spp.*. Metanogen akan musnah oleh pendedahan kepada oksigen. Oleh itu, penghasilan metana memerlukan keadaan anarobik yang mutlak. Analisis

filogenetik menunjukkan bahawa metanogen dekelaskan dalam kumpulan Archaea, berbeza dengan eukaryote dan prokaryote. Metanogen hanya boleh menggunakan hidrogen, format, asetat, 2-propanol, 2-butanol, metilamin, metanol, metaniol untuk menghasilkan metana.

5.1.4 Keadaan sekarang

Biometanasi dikomersilkan untuk sisa makanan, sisa ternakan, sisa domestik dan air kumbahan. Negara-negara Eropah telah memajukan teknologi biometanasi. Bilangan kilang biogas sedang meningkat secara gradual di Jepun. Reaksi berlaku di suhu penapaian yang tinggi, sederhana, atau rendah, dan kandungan organik mengelaskan biometanasi kepada penapaian basah atau kering. Sistem bersuhu tinggi memberikan prestasi gasifikasi yang tinggi berbanding suhu lain. Kelemahan biometanasi adalah nisbah pencernaan yang rendah, nisbah penghapusan amonium dan fosfat yang rendah, masa rawatan yang panjang, dan keperluan haba. Effluen penapaian dan baki patut diguna semula untuk pertanian sebagai baja organik kerana kos rawatan yang tinggi. Perkembangan teknologi sedang dilakukan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut.



Gambar rajah 5.1.2. Aliran biometanasi sampah dapur

Bacaan lanjut

Ahring, B. K., “Biometanasi I”, Springer, (2003)

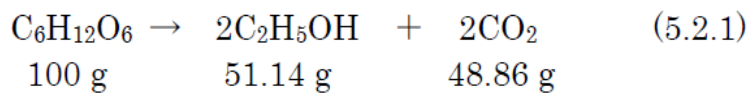
Nagai, S. ; Ueki, K., “Anaerobic microbiology”, Youkenndou, (1993)(bahasa Jepun)

Speece, R. E., “Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters”, Archae Pr, (1996)

5.2 Penapaian Etanol

5.2.1 Skop Umum

Dalam penapaian etanol, bahan-bahan sakarida seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa dimetabolisme oleh yis melalui jalan glikolisis (Embden-Meyerhof Pathway) untuk menghasilkan etanol dan karbon dioksida di dalam keadaan anarobik (Persamaan. (5.2.1)). Dalam reaksi ini 2 molekul ATP dihasilkan daripada satu molekul glukosa dan digunakan sebagai tenaga untuk pembesaran sel yis. Manusia telah lama mengetahui dan memanfaatkan penapaian etanol untuk menghasilkan minuman beralkohol, makanan tapai, pembuatan kek dan lain-lain selama beberapa ribu tahun. Di dalam abad pertengahan, cara untuk penyulingan minuman keras telah diketahui. Etanol boleh didapati di dalam pelbagai industri kimia, industri makanan dan minuman, perubatan, dan juga sebagai bakar, kerana kemajuan teknologi penapaian dan penyulingan pada abad ke 19-20. Jumlah besar bahan bakar etanol telah dihasilkan daripada Jagung di AS dan Tebu di Brazil sebagai alternatif kepada bahan bakar fosil dan untuk mencegah pemanasan global, khususnya selepas 2 kali krisis minyak pada tahun 1970. Kajian dan pembangunan secara meluas teknologi penghasilan etanol daripada pelbagai bahan selulosa yang ada dalam bilangan yang banyak dah tidak bersaing dengan makanan telah dijalankan.



Penapaian etanol adalah reaksi biologi pada suhu bilik dan di bawah tekanan atmosfera. *Saccharomyces cerevisiae* adalah yis yang digunakan secara meluas untuk penghasilan etanol demi industri dan bahan bakar, dan mempunyai kebolehan menapaian etanol dan toleransi etanol yang bagus. Strain yis menghasilkan 51.14g daripada 100 g berdasarkan persamaan (5.2.1). Di dalam reaksi ini, hampir 50% berat glukosa hilang sebagai karbon dioksida, tetapi sekitar 91% tenaga dalam glukosa (2.872 MJ/mol) dikekalkan di dalam etanol. Oleh itu, penapaian etanol adalah proses biologi yang sangat bagus untuk menukarkan biojisim kepada bahan bakar cecair etanol. Sel yis pertama kalinya diisolasikan daripada bir sebagai kultur tulen pada 1883 di Denmark dan kerja yang banyak telah dilakukan pada jalan metabolik penapaian etanol. *S. cerevisiae* boleh menapaian pelbagai gula seperti glukosa, fruktosa, galaktosa, mannososa, sukrosa, maltosa, kecuali pentosa seperti xylosa dan arabinosa. *Pichia stipitis* dan *Pachysolen tannophilus* telah diketahui sebagai yis yang berupaya untuk menapaian pentosa, tetapi ia tidak mempunyai sifat toleransi kepada etanol seperti *S. cerevisiae*. Kajian pembaikan strain untuk menghasilkan strain *S.*

Cerevisiae yang berupaya untuk menapaikan pentosa sedang dijalankan di pelbagai makmal.

Selain *S. cerevisiae*, *Zymomonas mobilis* merupakan bakterium yang baik untuk menapaikan gula glukosa, fruktosa dan sukrosa kepada etanol. Hasil penapaian dan kadar penapaian *Z. Mobilis* sepatutnya lebih baik daripada *S. cerevisiae*, tetapi *Z. mobilis* tidak begitu toleran kepada etanol seperti *S. cerevisiae*. *Zymobacter palmae*, yang diisolasi pada 1980 di Jepun, mempunyai kebolehan untuk menapaikan etanol mirip *Z. mobilis* dan urutan dasar genomnya telah ditentukan baru-baru ini. Pembaikan strain *Z. mobilis* dan *Z. palmae* terhadap penapaian pentosa dan mannososa telah berjaya dihasilkan di Jepun. Pentosa terkandung pada konsentrasi yang tinggi di kayu keras dan tumbuhan herba, dan mannososa adalah komponen khusus kayu lembut.

Penggabungan DNA strain *Escherichia coli* dan *Corynebacterium glutamicum* yang mempunyai kebolehan untuk penapaian etanol telah dihasilkan melalui bioteknologi. Bakteria penapaian etanol yang lain seperti hetero-laktik asid bakteria (*Lactobacillus*), bakteria penurun selulosa iaitu bakteria *Clostridium*, dan bakteria termofilik anarobik *Thermoanaerobacter* telah diketahui setakat ini, tetapi ia hanya boleh menghasilkan etanol dalam kepekatan yang rendah secara relatif dan menghasilkan produk sampingan seperti asid organik. Oleh itu, bakteria-bakteria tersebut dianggap tidak sesuai untuk kegunaan industri setakat ini.

5.2.2 Penapaian etanol bahan-bahan sakarida

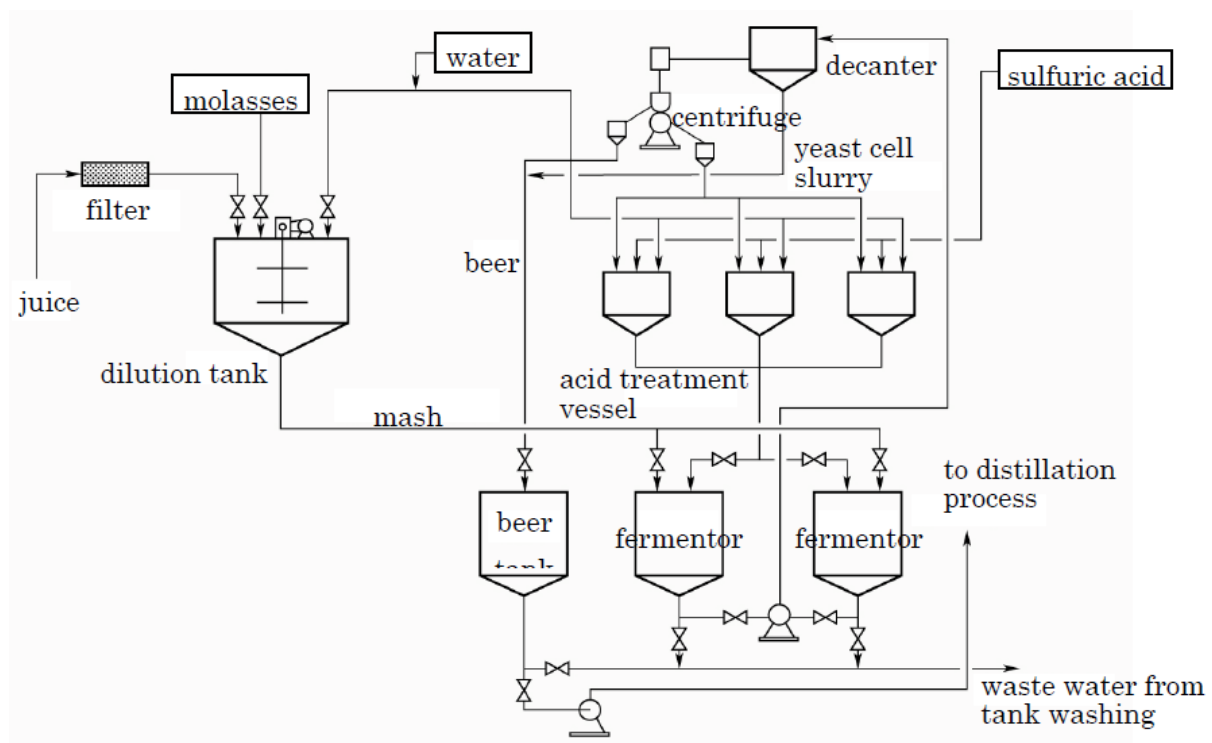
Bahan-bahan sakarida yang digunakan untuk penghasilan etanol dalam skala yang besar adalah jus dan molass tebu dan bit gula. Molass adalah produk sampingan yang mempunyai kepekatan tinggi selepas pengkristalan gula. Kepekatan gula dalam molass adalah sekitar 50% dan mengandungi glukosa, fruktosa dan sukrosa sebagai komponen gula utama. Bahan sakarida tersebut adalah substrat yang bagus untuk penapaian etanol oleh yis dan *Zymomonas*. Bilangan jus tebu yang banyak digunakan untuk penghasilan etanol di Brazil dan India.

Proses penapaian etanol yang popular di Brazil adalah proses penapaian berterusan atau separa-berterusan yg dipanggil proses Melle-Boinot di mana sel yis yang didapati daripada bir melalui sentrifuj dan digunaka semula di dalam tanki penapaian selepas stelirisasi bakteria tercemar oleh asid sulfurik cair pada pH 3. Penapaian etanol pada kepekatan sel yis yang tinggi boleh menghasilkan bir yang mengandungi 6 hingga 8% etanol daripada jus tebu (kepekatan gula 11-17%) dalam tempoh penapaian selama lebih kurang 15 jam. Molass digunakan untuk penapaian setelah dua kali pencairan atau mencampurkan dengan jus tebu atau jus bit.

Apabila hasil penapaian adalah 82% (berdasarkan jumlah gula), dan kepekatan gula dalam molass adalah 55%, amaun molass yang diperlukan untuk menghasilkan 1m³ (kL) 95% etanol adalah 3.3 t-basah.

Bahan sakarida yang unik adalah dadih susu dan molass sitrus. Dalam industri susu di New Zealand, sebagai contoh, sebahagian besar susu yang mengandungi sekitar 4% laktosa dilepaskan. Mereka mengguna sisa dadih untuk penapaian etanol untuk mendapatkan produk sampingan yang bertambah nilai dan untuk mengurangkan BOD.

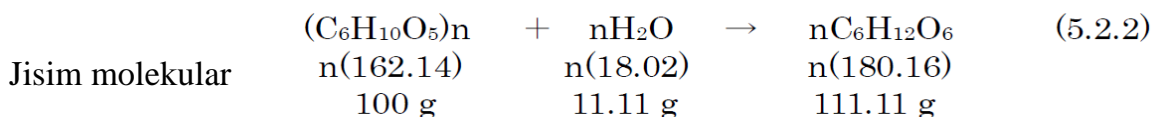
Sebilangan besar kulit sitrus dilepaskan di dalam penghasilan jus sitrus. Juice sekunder daripada kulit sitrus yang mengandungi 8% gula dan komponen masam dicampurkan ke sitrus molass yang berkepekatan lebih 40% untuk penghasil etanol.



Gambar rajah 5.2.1 Penapaian Etanol melalui proses Melle-Boinot (Saiki,2007)

5.2.3 Penapaian etanol kanji

Kanji adalah polimer glukosa di mana unit-unit glukosa dihubungkan melalui link α -1,4 dan α -1,6. Bahan-bahan berkanji pada mulanya dihidrolisis kepada glukosa menggunakan enzim amilase (persamaan (5.2.2)).

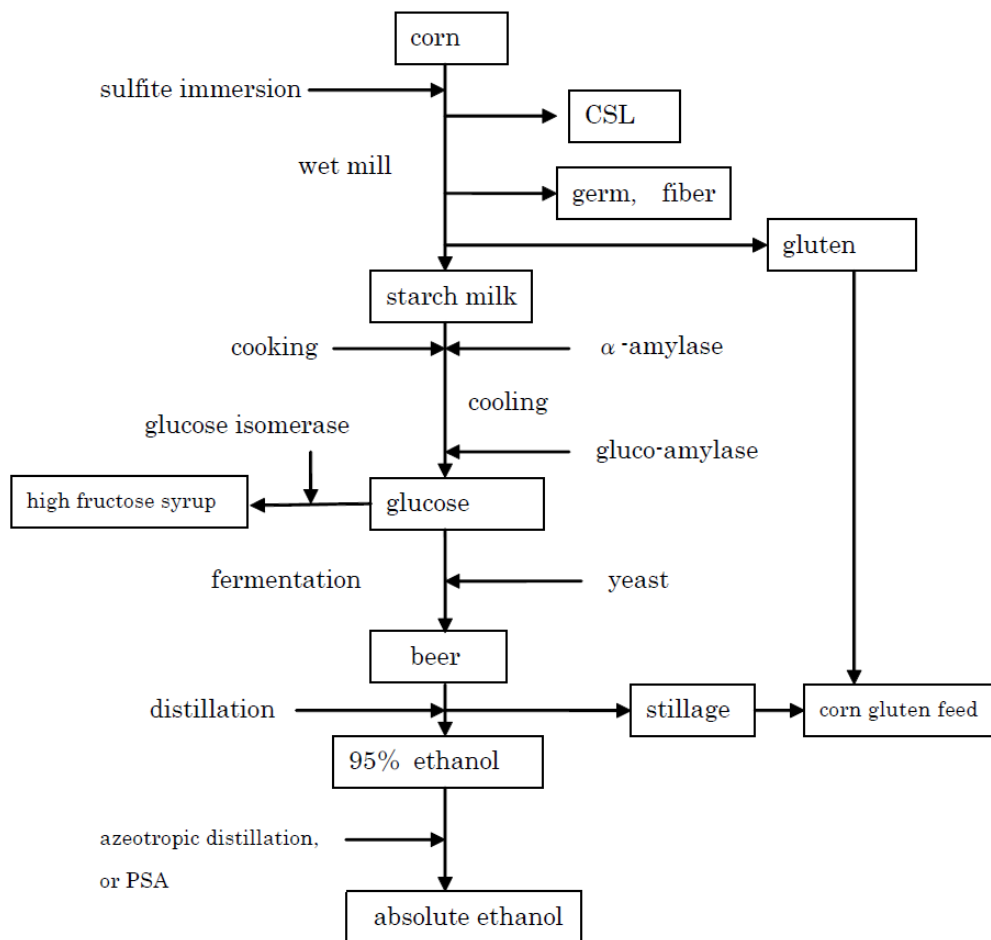


Bahan-bahan berkanji dipanaskan pada suhu antara 100 hingga 130 °C dan kemudiannya dihidrolisis kepada glukosa menggunakan α -amilase dan gluco-amilase.

Bilangan besar etanol dihasilkan daripada jagung di AS dan ubi jalar di China.

Kaedah pemanasan bersuhu rendah unting penghasilan etanol daripada ubi jalar yang dipraktikan di jepun sehingga 1990an adalah seperti dibawah. Ubi jalar mentah pada mulanya dihancurkan oleh mil tukul, dipanaskan pada 80-90°C selama 60min, ditambah dengan α -amilase untuk mencairkan kanji dan merendahkan kelikatan, dan kemudiannya disejukkan pada suhu sekitar 58°C. Kanji yang dicairkan dihidrolisis kepada glukosa dalam 2 jam oleh gluco-amilase. Kepekatan glukosa di dalam ubi yang dihancurkan dikawal sekitar 15%. Bir yang ditapaikan sebanyak 8 isipadu% etanol diperolehi selepas empat hari penapaian batch pada 30-34°C. Apabila nilai kanji pada ubi jalar mentah adalah 25.3% (bersamaan 27% glukosa), dan hasil penapaian adalah 92%, jumlah ubi jalar mentah yang diperlukan untuk menghasilkan 1m³ (kL) etanol 95% adalah 6.03 t-basah.

Di AS, bahan bakar etanol kebanyakannya dihasilkan daripada jagung. Di dalam proses mil basah, jagung direndam di dalam larutan sulfit cair, dipecahkan kepada kanji, kuman, gluten dan fiber. Pecahan kanji dihidrolisis kepada glukosa oleh amilase setelah dipanaskan dan kemudiannya ditapaikan oleh yeast. Salah satu daripada proses penapaian yang popular adalah proses penapaian berterusan bersama beberapa tanki penapaian yang dihubungkan secara bersiri di mana sel yis dikitarkan semula melalui sentrifuj yang menyebabkan kadar penapaian yang tinggi. Proses batch yang tradisional juga diaplikasikan di beberapa pusat penghasilan etanol. Kepekatan etanol terakhir bir yang ditapaikan adalah 8 hingga 11 isipadu% dalam purata. Proses mill basah penukaran jagung kepada etanol ditunjuk pada gambar rajah 5.2.2. Apabila nilai kanji adalah 63%(bersamaan 70% glukosa), dan hasil penapaian adalah 90%, jumlah jagung yang diperlukan untuk menghasilkan 1m³ (kL) etanol 95% adalah 2.4 t-basah.



Gambar rajah 5.2.2. Proses penghasilan etanol dan sirap fruktosa tinggi oleh jagung (Diubahsuai daripada(Elander, 1996))

5.2.4 Penapaian etanol lignoselulosik

Biojisim lignoselulosik secara umum terdiri daripada selulosa, hemiselulosa dan lignin. (Jadual 5.2.1). Sebelum penapaian etanol, biojisim mesti dipra-rawat oleh acid atau alkali, dan/atau oleh selulosa untuk dihidrolisasi kepada larutan gula.

Jadual 5.2.1 Komposisi pelbagai biojisim (%)

	selulosa	hemiselulosa	lignin
Kayu lembut	43	28	29
Kayu keras	43	35	22
Jerami padi	38	25	12
Kertas pejabat	69	2	11

(a) Proses asid sulfurik pekat

Proses Arkenol Co. LTD. (AS) telah diubahsuai dan diperbaiki di proejk NEDO antara 2001 dan 2005. Proses asid sulfurik pekat disembur kepada cip kayu (kelembapan 15%) di mana ia diurut baik pada suhu bilik. Semasa proses pengurutan, struktur selulosa dinyahkristal. Kepekatan asid sulfurik dikawal kepada 20 hingga 30% dengan menambahkan air, dan bahan kayu dikekalkan sekitar 90% dari 10 hingga 15 min untuk hidrolisis. Apabila pecahan pepejal diasingkan melalui penurasan, komponen gula yang mengandungi heksosa dan pentosa ditapaikan oleh yis atau strain *Zymomonas* yang diubah secara genetik. Asid sulfurik dipekatkan semula untuk digunakan semula.

(b) Proses asid sulfurik cair

Pecahan hemiselulose diuraikan kepada gula yang terdiri terutamanya daripada pentosa dan sedikit heksosa melalui rawatan asid sulfurik cair (0.5-1.0%) pertama pada suhu 150-180°C dan tekanan sekitar 1Mpa (10 atm). Pecahan sisa yang mengandungi selulosa dan lignin kemudian dirawat sekali lagi dengan kepekatan asid cair yang sama pada suhu 230-250°C dan tekanan 3-5MPa (30-50 atm) untuk menghasilkan glukos. Hasil gula pada rawatan pertama dan kedua dilaporkan adalah masing-masing sebanyak 90% dan 50-60%. Di pusat penghasilan etanol "Bioetanol Japan Kansai" (Osaka, Jepun), yang telah beroperasi sejak Januari 2007, larutan gula yang hanya dari pecahan hemiselulosa kayu dilaporkan ditukar kepada etanol melalui penapaian oleh *E. Coli* yang telah diubahsuai secara genetik.

Di Amerika Syarikat, kumpulan kajian termasuk NREL telah berusaha untuk memperbaiki aktiviti selulose untuk kegunaan industri dalam proses asid sulfurik cair. Sasaran mereka adalah untuk memulakan penghasilan bioetanol daripada biojisim seperti jerami jagung pada tahun 2013

Bacaan lanjut

9th Alcohol Handbook, Japan Alcohol Association Ed., Gihodo Shuppan Co. Ltd, 1997

Elander, R. T.; Putsche, V/L/, in Handbook on Bioethanol, Wyman, C.E.Ed., Taylor & Francis Pub. 1996, pp329-350

Saiki, T. in Biomass Handbook, Japan Institute of Energy Ed., Ohm-sha, 2002, pp157-165, (bahasa jepun)

Saiki, T.; Karaki, I.; Roy, K., in CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. V, Energy and Biomass Engineering, Ktani, O. Ed., American Society of Agricultural Engineer, 1999, pp139-164

Saiki, T., in Bioethanol Production Technology, Japan Alcohol Association Ed., Kogyouchosakai 2007, pp75-101 (bahasa jepun)

Yamada, T., in Bioethanol Production Technology, Japan Alcohol Association Ed., Kogyouchosakai 2007, pp102-126 (bahasa jepun)

5.3 Penapaian Aseton-Butanol

5.3.1 Apakah penapaian aseton-butanol?

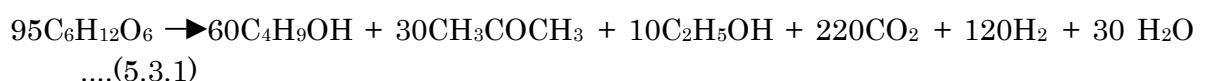
Penapaian aseton-butanol adalah reaksi di mana aseton dan butanol dihasilkan daripada glukos menggunakan *Clostridium*, sejenis bakteria anarobik. Etanol juga dihasilkan. Oleh itu, penapaian aseton-butanol juga digelar penapaian ABE. Terdapat 2 jenis stren penapaian aseton-butanol. Salah satunya adalah jenis Weizmann yang menghasilkan butanol daripada kanji, dan salah satu lagi adalah jenis Saccaro yang menghasilkan butanol daripada sukrosa.

5.3.2 Ciri-ciri penapaian aseton-butanol

Penapaian aseton-butanol mempunyai sejarah yang panjang dan ia adalah teknologi yang telah diindustrikan. Penapaian aseton-butanol digunakan untuk menghasilkan aseton sebagai bahan mentah untuk menghasilkan serbuk tanpa asap pada perang dunia pertama dan butanol digunakan sebagai bahan bakar untuk menggerakkan kapal terbang perang pada perang dunia kedua. Selepas perang dunia kedua, penapaian aseton-butanol diabaikan kerana kimia petroleum lebih diutamakan untuk dimajukan. Baru-baru ini butanol telah dikaji semula sebagai biofuel.

5.3.3 Reaksi penapaian aseton-butanol

Stren bakteria yang digunakan untuk industri penghasilan butanol adalah bakteria yang menghasilkan aseton-butanol dan bakteria yang menghasilkan butanol dan isopropanol, hasil aseton yang diturunkan. Perjalanan reaksi adalah seperti gambar rajah 5.3.1. Glukosa dikompos kepada pyruvate, asetil-CoA, dan asetoasetil-CoA melalui jalan EMP. Akhirnya, aseton, butanol, isopropanol dan etanol dihasilkan. Persamaan stoikiometri penapaian aseton-butanol adalah seperti persamaan 5.3.1



Pada penapaian aseton-butanol, butanol dikumpulkan secara berperingkat dan produksi inhibisi adalah lebih daripada than 3 kg/m^3 (g/L) kepekatan butanol. Apabila produksi inhibisi terjadi, penumbuhan sel bakteria, pengambilan substrat, pengumpulan hasil disekat. Kepekatan akhir butanol mencapai sehingga lebih kurang 30 kg/m^3 (g/L). Selepas penapaian, larutan kultur disulingkan dan hasil-hasil diasingkan melalui perbezaan takat didi, contoh; aseton (TD 56.3°C), etanol (TD 78.3°C) dan butanol (TD 117°C).

5.3.4 Efisiensi tenaga penapaian aseton-butanol

Daripada persamaan 5.3.1, 60 mol butanol (170 MJ), 30 mol aseton (54 MJ), 10 mol etanol (14 MJ) dan 120 mol hidrogen (34MJ) dihasilkan daripada 95 mol glukos (273 MJ) di dalam penapaian aseton-butanol. Hampir semua tenaga dipindahkan kepada butanol, aseton, etanol dan hidrogen.

5.3.5 Hasil produk penapaian aseton-butanol

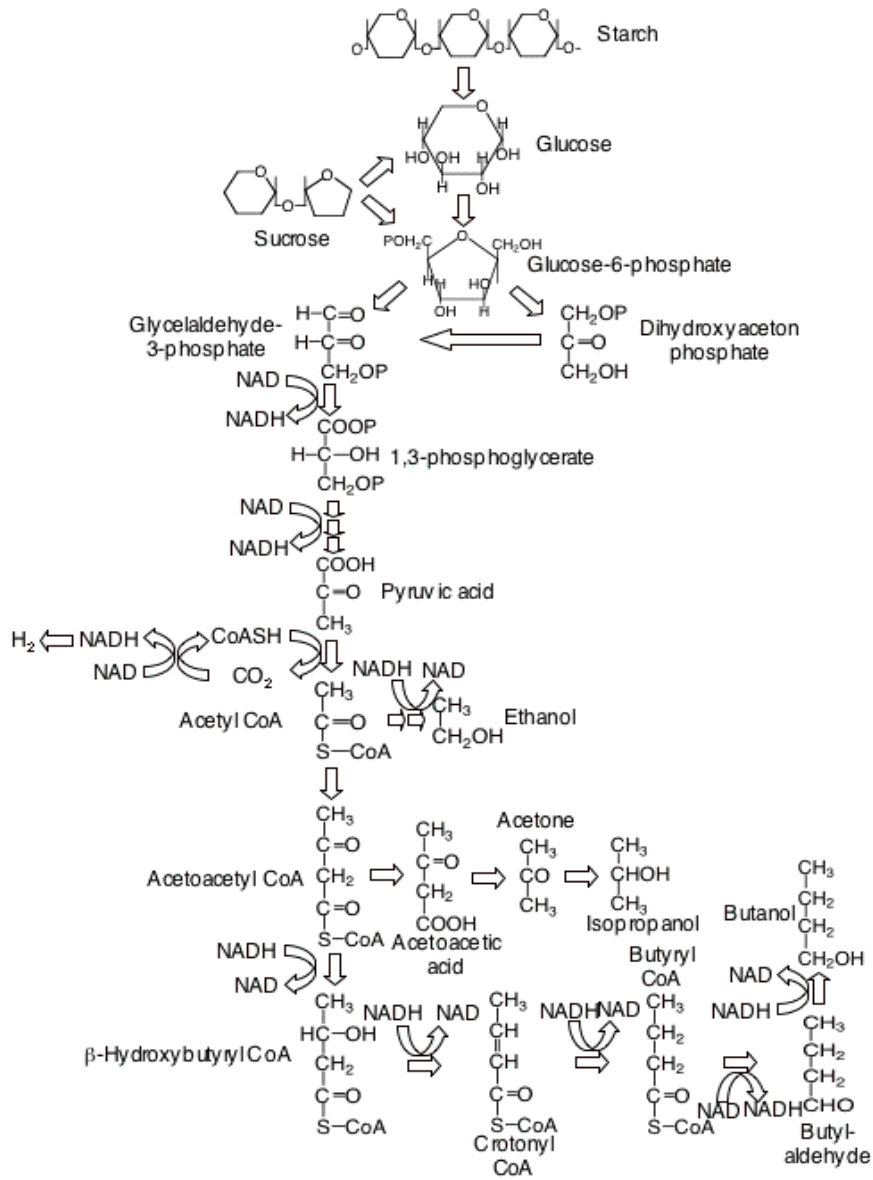
Penapaian aseton-butanol diindustrikan untuk bekalan bahan mentah untuk serbuk tanpa asap dan minyak untuk kapal terbang pejuang. Pada masa ini, aseton dan butanol disintesis dalam industri petroleum. Biofuel, petrol yang boleh diperbaharui dan aditif disel pada masa ini dititikberatkan di seluruh dunia. Butanol boleh ditambahkan ke dalam petrol dan juga minyak disel dan mempunyai afiniti yang lebih untuk petrol berbanding etanol. Oleh itu, butanol adalah biofuel yang berpotensi tinggi.

Bacaan lanjut

Crabbe, E.; N-Hipolito, C.; Kobayashi, G.; Sonomoto, K.; Ishizaki, A., Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties, *Process Biochim.*, 37, 65-71 (2001)

Ishizaki, A.; Michiwaki S.; Crabbe, E.; Kobayashi, G.; Sonomoto, K.; Yoshino, S., Extractive acetone-butanol-ethanol fermentation using methylated crude palm oil as extractant in batch culture of *Clostridium saccharoperbutyl acetonicum* N1-4 (ATCC13564), *J. Biosci, Bioeng.*, 87, 352-356 (1999)

Lee, T. M.; Ishizaki, A.; Yoshino, S.; Furukawa, K., Production of acetone, butanol and ethanol from palm oil waste by N1-4, *Biotechnol. Letters*, 17, 649-654(1995)



Gambar rajah 5.3.1 Perjalanan reaksi penapaian aseton-butanol

5.4 Penapaian Hidrogen

5.4.1 Apakah penapaian hidrogen?

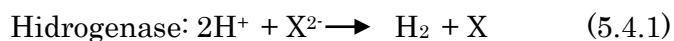
Penapaian anarobik adalah tindakbalas di mana mikroorgasima anarobik menguraikan bahan organik secara pengoksidaan untuk mendapat tenaga di bawah keadaan. Kita menggelarkan tindakbalas penapaian di mana produk terakhirnya adalah hidrogen sebagai penapaian hidrogen. Di dalam penapaian hidrogen, bahan organik dan alkohol dihasilkan bersama-sama alkohol. Walaupun penerima elektron terakhir adalah oksigen atau bahan bukan organik di dalam respirasi, bahan organik dan karbon dioksida dll yang terdegrasi secara oksida dari bahan substrat adalah produk terkakhir dalam penapaian. Sebagai contoh, produk terakhir bagi penapaian etanol adalah etanol dan karbon dioksida daripada glukosa. Apabila sintesis ATP dipasangkan dengan rantai pemindahan elektron pada respirasi, ATP dihasilkan di dalam tindakbalas di peringkat substrat pada proses penapaian. Tenaga yang diterima pada proses penapaian adalah lebih kecil daripada yang diterima dari respirasi untuk jumlah substrat yang sama.

5.4.2 Ciri-ciri penapaian hidrogen

Peranan penghasilan hidrogen adalah untuk menetapkan peringkat pengoksidaan-penurunan di dalam sel bakteria dengan menukarkan kuasa penurunan yang berlebihan kepada hidrogen. Terdapat bakteria yang boleh mengambil dan menggunakan hidrogen berikut. Untuk meningkatkan hasil hidrogen, tindakbalas berbalik yang mengurangkan hidrogen patut disekat. Secara umum, ia diperlukan untuk merawat air buangan dari penapaian hidrogen, kerana penapaiaan hidrogen menghasilkan juga bahan organik.

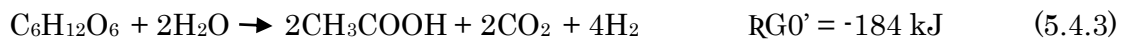
5.4.3 Tindak balas penapaian hidrogen

Bakteria yang menghasilkan bakteria diklasifikasikan kepada 2 jenis mengikut perbezaan enzim tindak balas. Ianya adalah hidrogenase dan nitrogenase.

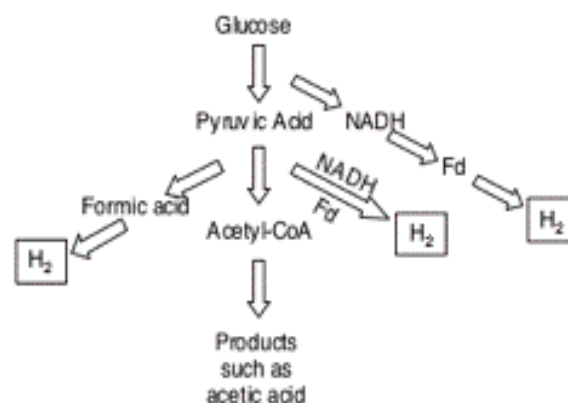


X: Pembawa elektron, Pi: fosfat bukan organik

Seperti tindakbalas di atas, hidrogenase memungkinan tindakbalas berbalik evolusi dan penyerapan hidrogen. Sebaliknya, tindakbalas oleh nitrogenase memerlukan tenaga ATP. Dalam penapaian anarobik, siasatan terhadap tindakbalas hidrogenase diutamakan. Contoh tindakbalas penapaian hidrogen adalah seperti berikut:



Gambar rajah 5.4.1 menunjukkan perjalanan penapaian hidrogen. Hidrogen dihasilkan daripada hidrogenase oleh NADH dan ferredoksin, oleh hanya ferredoksin, atau oleh hanya formate-lyase. Di dalam penapaian hidrogen, hidrogen dihasilkan daripada dekomposisi oksidatif substrat organik. Oleh itu, penapaian hidrogen diaplikasikan sebagai rawatan bahan buangan dan air buangan. Pada kes tertentu, rawatan seperti penapaian metana atau kaedah lumpur yang diaktifkan diperlukan kerana penapaian hidrogen ditemani oleh penghasilan asid organik. Kadar tindakbalas penapaian hidrogen adalah laju berbanding penapaian metana. Ia mungkin berpotensi sebagai kaedah pra-rawat untuk penapaian metana.



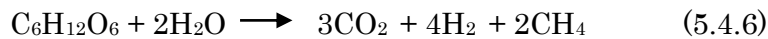
Gambar rajah 5.4.1 Perjalanan penapaian hidrogen

5.4.4 Efisiensi tenaga penapaian hidrogen

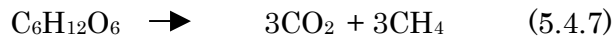
Oleh kerana penapaian hidrogen disertai penghasilan asid organik, ia diperlukan untuk mempertimbangkan jumlah sistem kaedah rawatan yang digabungkan seperti penapaian metana, Di dalam penapaian hidrogen, 4 mol hidrogen secara teori menghasilkan 1 mol glukosa. (persamaan (5.4.3)). Apabila asetat yang dihasilkan digunakan untuk penapaian metana dan ditukarkan kepada metana, tindakbalas adalah seperti berikut:



Jumlah tindakbalas dua peringkat penapaian hidrogen-metana adalah seperti berikut:



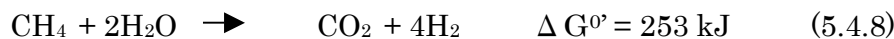
Jumlah nilai haba tinggi produk-produk tersebut adalah 2.924 MJ (2,924 kJ). Tetapi, untuk penapaian metana sahaja, tindakbalas adalah seperti berikut:



Nilai hana tinggi produk-produk daripada persamaan 5.4.7 adalah 2.671 MJ (2,671 kJ). Berdasarkan keputusan ini, jelas ditunjukkan bahawa hasil tenaga daripada penapaian hidrogen-metana meningkat 10% berbanding penapaian metana sahaja.

5.4.5 Produk penapaian hidrogen

Produk gas yang terhasil daripada penapaian hidrogen dan metanan boleh digunakan sebagai sel fiul yang mempunyai efisiensi penukaran tenaga yang tinggi berbanding turbin gas dan enjin gas. Metana daripada penapaian metana perlu ditukarkan kepada hidrogen untuk sel fiul.



Oleh kerana persamaan 5.4.8 adalah tindakbalas endotermik, bekalan tenaga diperlukan untuk meneruskan tindakbalas. Secara amnya, gas metana ditukarkan kepada gas hidrogen bersama mangkin nikel pada suhu 650-750°C. Tetapi, di dalam penapaian hidrogen, hasil tenaga adalah lebih tinggi daripada penapaian metana dan penukaran metana bermangkin tidak diperlukan untuk menyediakan gas hidrogen kepada fiul sel.

Bacaan lanjut

Noike, T.; Mizuno, O., Hydrogen fermentation of organic municipal wastes, *Water Sci. Technol.*, 42, 155-162(2000)

Rachman, M. A.; Nakashimada, Y.; Kakizono, T.; Nishio, N., Hydrogen production with high yield and high evolution rate in a packed-bed reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 49, 450-454(1998)

Tanisho, S.; Tu, H.-P.; Wakao, N. Fermentative hydrogen evolution from various substrates by

Enterobacter aerogenes, *Hakkokogaku*, 67, 29-34(1989)

5.5 Penapaian asid laktik

5.5.1 Apakah penapaian asid laktik?

Asid laktik mempunyai alkohol (OH) dan karboksil (COOH) di dalam molekul. Oleh kerana ia mempunyai karbon kiral, ia mempunyai dua isomer kira, iaitu D-asid laktik dan L-laktik asid. Baru-baru ini, permintaan poli-laktat, sejenis plastik biomass telah meningkat, dan permintaan asid laktik juga meningkat kerana ia adalah bahan mentah untuk poli-laktat. Asid laktik yang mempunyai 100% keaslian optikal sangatlah mempunyai permintaan. Secara umum, asid laktik dihasilkan oleh sintesis ataupun penapaian mikrobial. Di dalam sintesis kimia, kaedah menggunakan hidrolisis lakto-nitril selalu digunakan, dan menghasilkan D-asid laktik dan L-asid laktik separuh-separuh dengan keaslian optikal sifar. Oleh itu, asid laktik yang digunakan untuk penghasilan poli-laktat sentiasa dihasilkan menggunakan kaedah penapaian. Asid laktik boleh dihasilkan menggunakan samada bakteria atau kulat. Pada bab ini, penapaian asid laktik menggunakan bakteria diberi perhatian.

5.5.2 Bakteria asid laktik

Bakteria asid laktik menghasilkan banyak asid laktik daripada pelbagai jenis gula. Ianya adalah gram-positif jenis rod ataupun bakteria sfera yang membesar di dalam keadaan anarobik. Ia tidak menunjukkan pergerakan sifar dan negatif pada tindakbalas mangkin. Ia juga tidak menghasilkan spora. Ia hanya menggunakan gula sebagai sumber tenaga untuk menghasilkan asid laktik, dan menukarkan lebih daripada 50% daripada gula yang dikonsumsi. Terdapat 4 kumpulan spesies bakteria yang melengkapi keadaan di atas iaitu; *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, dan *Streptococcus*. Bakteria asid laktik boleh membesar pada kadar pembesaran yang lebih tinggi dan menghasilkan asid laktik dengan lebih tinggi produktiviti. Oleh kerana mereka memerlukan nutrien yang banyak termasuk asid amino dan vitamin, komposisi penapaian pati tidak begitu mudah. Kita boleh mengklasifikasikan penapaian asid laktik kepada dua kumpulan iaitu penapaian homo-asid laktik dan penapaian hetero-asid laktik. Di dalam penapaian homo dua mol asid laktik dan dua mole ATP boleh dihasilkan daripada satu mol mono-sakarida dengan penghasilan laktik 100%. Pada penapaian hetero pula, asid laktik dan sebatian lain dihasilkan. Ia diklasifikasikan kepada dua kumpulan: 1) yang menghasilkan asid laktik, etanol dan karbon dioksida. 2) yang menghasilkan satu mole asid laktik dan 1.5 mole asid asetik daripada satu mol mono-sakarida. Bakteria asid laktik memproses kedua-dua jenis D dan jenis L ataupun salah satu daripada jenis D dan jenis L laktat-dihidrogenases. Oleh itu, D-asid laktik dan (atau) L-asid laktik boleh dihasilkan oleh bakteria tersebut. Kebanyakan bakteria asid laktik mempunyai enzim yang mengrasemikan (racemize) asid laktik yang terhasil,

lalu mempengaruhi kualiti kiral asid laktik. *Lactobacillus rhamnosus* hanya boleh menghasilkan L-asid laktik yang mempunyai 100% keaslian optikal, iaitu yang digunakan sebagai bahan mentah penghasilan poli-laktat.

5.5.3 Sumber biomjisim untuk penapaian asid laktik.

Glukosa adalah substrat utama untuk penapaian asid laktik, yang biasanya diperolehi daripada hidrolisis kanji. Kanji diperolehi daripada tanaman. Namun begitu, kebimbangan terhadap persaingan antara tenaga atau bahan makanan timbul, seperti pada penghasilan etanol dalam penapaian etanol. Oleh itu, biojisim selulosik lembut seperti sekam padi yang tidak digunakan sekarang boleh digunakan sebagai sumber biomass. Tetapi, biojisim yang tak digunakan mempunyai kualiti yang lebih rendah, oleh itu ia tidak digunakan. Beberapa keadaan mesti diambil kira untuk penggunaannya dalam penapaian. Pertama, bekalan biojisim yang stabil dan tetap diperlukan. Kedua, gula mesti diperolehi menggunakan tenaga yang seboleh-bolehnya sedikit. Dan sudah pasti, teknologi yang lebih efektif dan bagus untuk penapaian diperlukan. Masalah dalam mengangkutan dan penyimpanan yang melibatkan tenaga, kos dll juga patut diselesaikan.

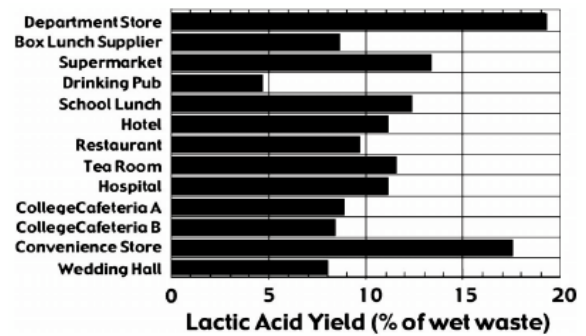
5.5.4 Penggunaan Biojisim yang tidak diperlukan daripada industri kelapa sawit

Kelapa sawit adalah salah satu antara tiga minyak sayuran yang terbesar dalam dunia. Ia boleh diperolehi sepanjang tahun di garisan khatulistiwa. Di dalam operasi mil (mill operation) untuk menghasilkan minyak, lebih daripada 10Tg (Mt) biojisim yang tidak digunakan diperolehi pada keadaan biasa. Oleh kerana kilang kelapa sawit adalah besar, lebih daripada sepuluh Gg (ribu tan) biojisim yang tidak digunakan boleh dikutip sepanjang tahun. Musim menanam semula pokok kelapa sawit juga hampir tiba, dan jumlah batang pokok kelapa sawit yang banyak akan dibazirkan. Baru-baru ini, telah diketahui bahawa terdapat banyak glukosa di dalam batang kelapa sawit dan sirap glukosa itu boleh didapati dengan mudah dengan menekannya seperti pemprosesan tebu.

5.5.5 Penapaian asid laktik daripada sisa dapur

Jepun adalah sebuah negara yang sempit dan mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi. Itu adalah sebab mengapa di Jepun sampah tidak boleh dibuang menggunakan kaedah yang mudah untuk menguruskan sisa. Oleh itu, terdapat lebih kurang dua ribu tempat pembakaran sampah (insinerator). Setiap hari, sampah dikutip dan dibakar dalam insinerator untuk memperoleh tenaga haba untuk penghasilan tenaga elektrik. Oleh itu, terdapat stim yang tidak digunakan yang mempunyai tekanan yang lebih rendah. Sisa dapur terdiri daripada 30% jumlah sampah di Jepun terutamanya sisa

dapur di dalam sektor bisnes seperti supermarket dan kedai runcit serbaguna yang boleh diasingkan. Sisa dapur Jepun patut menjadik sumber yang bagus untuk gula kerana separuh daripada pepejal dalam sisa dapur adalah kanji, walaupun komposisi sisa dapur berubah setiap hari. Sisa dapur juga mempunyai pelbagai nutrien termasuk vitamin dan ia bagus untuk penapaian asid laktik. Gambar rajah 5.51 menunjukkan hasil asid laktik yang diperolehi daripada sisa dapur melalui penapaian asid laktik selepas rawatan enzim dengan glucoamylase menggunakan *Lactobacillus rhamnosus*. Secara umumnya, sisa dapur mengandungi 80% cecair dan hasil asid lactic sebanyak 10% seperti pada gambar rajah menunjukkan nilai yang tinggi.



Gambar rajah 5.51

5.5.6 Penulenan asid laktik

Asid laktik untuk poli-laktat perlu dijamin bukan sahaja mempunyai ketulen optikal tetapi juga ketulen asid laktik yang tinggi. Dalam penapaian asid laktik, teknologi untuk meninggikan lagi ketulen hasil asid laktik asli diperlukan kerana pati penapaian mengandungi pelbagai komposisi. Selalunya, teknologi penyulingan digunakan untuk tujuan ini. Dalam penulenan asid laktik daripada sisa dapur yang ditapaikan, butil-laktat dipisahkan melalui penyulingan setelah pengesteran asid laktik dan butanol. Ammonia juga boleh didapati dalam tindakbalas pengesteran, yang juga boleh digunakan untuk mengawal pH untuk penapaian. Namun begitu, proses ini memerlukan lebih banyak tenaga untuk mengbuang air untuk menggalakan tindakbalas pengesteran. Apabila bekalan tenaga yang digunakan berasal dari sumber fosil, ia tidak sesuai dari segi ekologi dan juga ekonomi. Mempraktikkan tenaga yang tidak digunakan daripada inserator patut menjadi penyelesaian.

Bacaan lanjut

Morichi, T. Physiology and metabolism of lactic acid bacteria: *Biseibutsu* 6(1), 27-34 (1990)

Sakai, K.; Murata, Y.; Yamazumi, H.; Tau, Y.; Mori, M.; Moriguchi M.; Shirai, Y. Selective proliferation of lactic acid bacteria and accumulation of lactic acid during open fermentation of kitchen refuse with intermittent pH adjustment: *Food Science and Technology Research*, 6, 140-145 (2000)

Hassan, M. A.; Nawata, O.; Shirai, Y.; Nor'Aini A. R.; Phang L. Y.; Ariff, B. A.; Abdul Karim, M. I. A Proposal for Zero Emission from Palm Oil Industry Incorporating the Production of Polyhydroxyalkanoates from Palm Oil Mill Effluent: *Journal of Chemical Engineering of*

Japan, 35 (1) 9-14 (2002)

Sakai, K.; Taniguchi, M.; Miura, S.; Ohara, H.; Matsumoto, T.; Shirai, Y. Novel process of poly-L-lactate production from municipal food waste: *Journal of Industrial Ecology*, 7(3, 4), 63-74 (2004)

Mori, T.; Kosugi, A.; Murata, Y.; Tanaka, R.; Magara, K. Ethanol and Lactic Acid Production from Oil Palm Trunk: *Proceedings of Annual meeting of the Japan Institute of Energy*, 16, 196-197 (2007) (bahasa jepun)

5.6 Silaj

5.6.1 Apakah itu silaj?

Pada masa ini, silaj adalah makanan lembu dan kambing ternakan yang paling banyak digunakan. Ia dihasilkan melalui penapaian tanaman yang mengandungi kandungan cecair yang tinggi yang dikawal. Silaj adalah bahan yang ditapaian di dalam proses penyimpanan dimana ia disilajkan dengan makan ternak (foraj) dan rumput di dalam silo. (Gambar rajah 5.6.1). Jenis silo yang boleh dipilih oleh penternak untuk menapaian tanaman mereka adalah pelbagai. Silo komersil boleh dibahagikan kepada kategori berikut: longgokan (stack silo), menara, bunker, vakum, sosej plastik dan bel rol (roll bale). Berbanding jerami, jumlah pengambilan, kebolehan untuk cerna dan nilai nutrisi silaj adalah lebih baik. Silaj boleh dihasilkan oleh pelbagai produk sampingan kebun dan makanan dan juga bahan-bahan lain.



Gambar rajah 5.6.1 Pemetongan makanan ternakan (kiri) dan silo longgokan (kanan)

5.6.2 Pembuatan silaj

Silaj berasal daripada mesir purba. Kajian silaj tentang mekanisme penapaian telah mengalami kemajuan yang pesat pada abad ke 20. Silaj boleh disediakan daripada makanan ternakan dan rumput-rumput pada tahap pembesaran optimum bersama kelembapan yang sesuai, iaitu 50% hingga 70%. Bahan makanan ternak dikumpulkan dan dipotong sehingga menjadi lebih kurang 10 hingga 20mm panjang dan dipaketkan ke dalam silo. Jentera penuai bahan makanan ternakan sekarang digunakan untuk mengutip dan memotong bahan makanan ternakan dan disimpan dalam trak atau

wagon. Jentera tersebut adalah sama ada jenis yang disambungkan kepada traktor ataupun yang boleh bergerak sendiri. Jentera mengeluarkan silaj ke dalam wagon melalui pelongsor di belakang atau di tepi mesin. Inokulan LAB digunakan untuk pembuatan silaj berkualiti tinggi.(Gambar rajah. 5.6.2)



Gambar rajah 5.6.2 Bentuk sel (kiri) dan inokulan (kanan) bakteria asid laktik “Chikuso 1”

5.6.3 Penapaian silaj

Pengawetan tanaman makanan ternak diperlukan kerana silaj memerlukan penghasilan asid yang cukup untuk menghalang aktiviti mikororganisme yang tidak diinginkan dalam keadaan anarobik. Epifit bakteria asid laktik (LAB) yang secara semulajadi terdapat pada tanaman makanan ternak memindahkan gula kepada asid laktik dalam proses pemeraman. Telah diketahui bahwa LAB mengambil peranan yang penting untuk penapaian silaj. LAB adalah komponen utama flora mikrobial yang hidup di beberapa jenis tanaman makanan ternak. LAB biasanya tumbuh bersama mikororganisme yang boleh dikaikan dengan tumbuhan semasa penapaian silaj, dan ia secara umum menetapkan ciri-ciri penapaian silaj. Silaj ladang tenusu lembab adalah berdasarkan penapaian asid laktik. LAB yang epifit menukarkan kabohidrat yang larut dalam air kepada asid organik semasa proses pemeraman. Hasilnya, pH direndahkan dan makanan ternak itu diawetkan.

Namun begitu, apabila silo dibuka dan keadaan aerobik dicapai pada masa memberi makanan, silaj itu akan mengalami pertumbuhan mikrobial aerobik dan ia akan menjadi tidak stabil. Lebih-lebih lagi, silaj yang telah rosak mengalami kehilangan jirim kering dan nilai nutrisinya berkurangan. Secara umum, silaj yang diawet dengan baik dianggap lebih cenderung kepada kerosakan aerobik berbanding silaj yang tidak ditapaikan dengan baik dan sesetengah mikororganisme aerobik boleh memudaratkan kesihatan binatang ternakan. Oleh itu, kajian tentang kerosakan aerobik adalah penting untuk membuat silaj.

5.6.4 Silaj rol bandela (*Roll bale silage*)

Rol bandela adalah salah satu cara menyimpan makanan ternakan. Rumput dipotong dan dibandelakan semasa ia masih cukup basah. Sekiranya terlalu basah, ia tidak boleh

di bandelakan dan disimpan seperti jerami. Oleh itu, kelembapan yang sesuai untuk membuat silaj rol bandela adalah antara 60 hingga 70%. Bandela-bandela itu dibungkus dengan ketat bersama 6 lapisan filem plastik yang mempunyai ketebalan 0.025mm pada pembungkus bandela. Bahan itu kemudian melalui penapaian terhad di mana rantai asid lemak yang pendek dihasilkan untuk mengawetkan makanan ternakan. Kaedah ini menjadi popular di banyak ladang. Di Jepun, Kaedah penyediaan silaj rol bandela jerami padi telah dimajukan. (gambar rajah 5.6.3), dan penghasilan bahan makanan ternakan dijangka menggunakan teknologi rol bandela dengan sepenuhnya.



Gambar rajah 5.6.3 Pembuatan silaj rol bandela (kiri) dan pembungkusan(kanan)

5.6.5 Keadaan teknologi

Baru-baru ini, jumlah silaj yang dipuliharakan meningkat secara dramatik, dan sistem pembuatan silaj dipraktikkan secara meluas di Jepun dan juga negara-negara lain. Pada hari ini, inkulan silaj LAB yang baru dan jenis baru pebandela rol untuk pembuatan silaj daripada jagung dan padi telah dimajukan. Kajian tentang biojisim yang tidak digunakan untuk pembuatan silaj daripada makanan ternakan dan sisa makanan adalah maju di Jepun.

Bacaan lanjut

Abe, A., The best use manual of food circulation resource, Science Forum. (2006) Cai,

Y., Silage, Dairy Japan (2004)

McDonald, P.;Henderson, N.;Heron, S.,The Biochemistry of Silage, 2nd ed., Chalcombe Publications

(1991)

5.7 Pengomposan

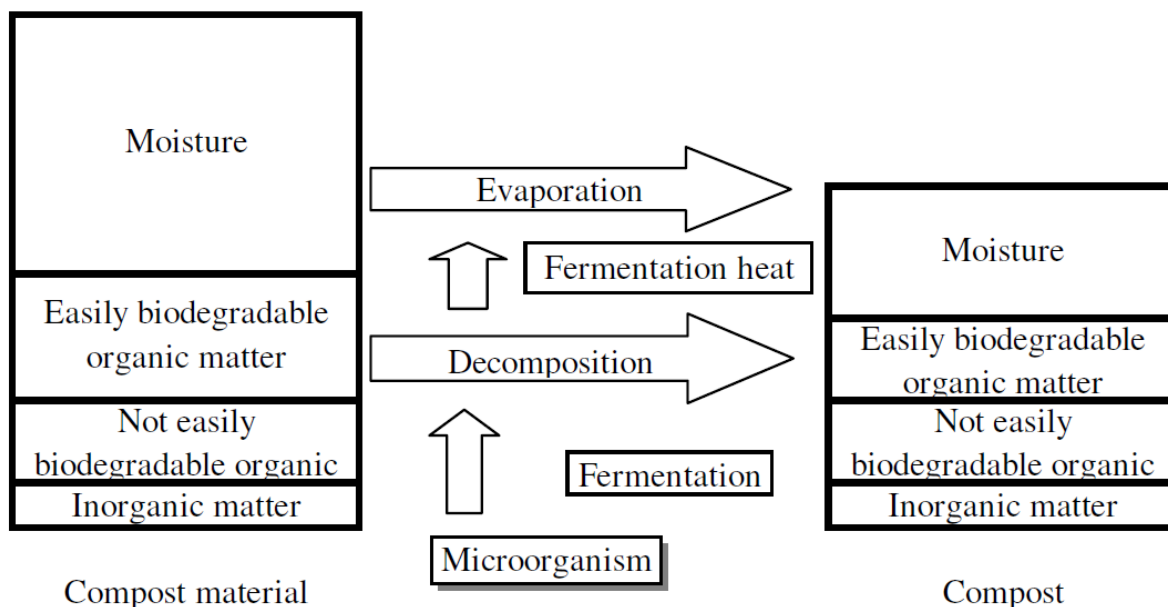
5.7.1 Apakah itu pengomposan

Kompos adalah campuran jasad organik terbiodegrasi seperti jerami, sekam, kulit pokok, hasil buangan binatang dan bahan organik haiwan/tumbuhan (tidak termasuk kumbahan dan organ ikan) yang dikumpul atau dicampurkan, dan dikompos oleh haba.

Namun begitu, kumbahan dan organ ikan boleh dianggap sebagai kompos jika diproses dengan betul.

5.7.2 Prinsip asas pengomposan

Pengomposan adalah proses mengumpul, mencampur dan mengudarakan jasad organik untuk menguraikannya dengan bakteria aerobik dalam bahan, menyejatkan kelembapan yang dihasilkan oleh haba daripada penguraian, dan mensterilkan ataupun membuatkan mikrob merbahaya tidak aktif, untuk menjadikan capuran kompos selamat dan higienik. Gambar rajah 5.7.1 menunjukkan proses pengomposan. Pengomposan menunjukkan kelebihan: (1) senang dikendalikan oleh orang yang mementingkan kebersihan kerana ia membuang bau yang teruk dan perasaan mengendalikan bahan buangan biologi. (2) menghasilkan nutrien termasuk jumlah elemen yang cukup untuk baja yang selamat dan berkualiti tinggi, dan (3) menggalakkan masyarakat mengitar semula.



Gambar rajah 5.7.1 Imej konsep proses pengomposan

5.7.3 Elemen asas pengomposan

Pengomposan terdiri daripada (a) pra-proses, (b) proses penapaian, dan (c) proses penghasilan produk

a) Pra proses

Pra proses memerlukan peralatan untuk mengawal faktor-faktor seperti kelembapan dan jasad organik, saiz partikel, dan pengudaraan(aeration) untuk membuat kompos yang mempunyai ciri-ciri yang diinginkan. Apabila pengomposan dimulakan, kelembapan biasanya dikawal antara 55% hingga 70%

dan pengudaraan yang bagus mesti diberikan. Pra proses ini termasuklah kaedah aditif (penambahan atau pengawalan bahan-bahan seperti sekam, serbuk gergaji dan cip), kaedah kembali (mengembalikan prodik kompos dan mencampurkan dengan bahan suapan), dan kaedah pengeringan (mengering menggunakan tenaga luar)

b) Penapaian

Penapaian memerlukan tangki penapaian, peralatan pengudaraan dan peralatan hidrolisis. Tangki penapaian menguraikan jasad organik dan mengeluarkan haba untuk menaikkan suhu bahan yang dikumpulkan di dalam tangki penapaian supaya keadaannya untuk menghasilkan kompos yang selamat dan bersih . Ia boleh dicapai dengan menaikkan suhu bahan kompos kepada 65°C atau lebih dan mengekalkan suhu tersebut selama 48 jam atau lebih. Kaedah penapaian dikumpulkan kepada kaedah pengumpulan dan kaedah pulangan mekanikal. Pada kaedah pengumpulan, bahan-bahan seperti kompos, bahan pengawal, dan pulangan kompos dikumpulkan di lantai dan digaulkan menggunakan penyodok muat. Pada kaedah pulangan mekanikal, alat pengisar yang mempunyai slot untuk memuatkan bahan dan slot kumbahan untuk mencampurkan bahan dipasangkan pada bahagian atas dinding tangki penapaian. Peralatan pengudaraan mengekalkan bahan pada keadaan aerobik malar dan menyediakan pengudaraan supaya kelembapan boleh disejatkan daripada bahan sekaligus menyebabkan penapaian. Peralatan hidrolisi menyediakan bekalan air kepada bahan untuk memastikan penapaian aerobik berterusan kerana aktiviti mikrobial dalam bahan berhenti apabila kelembapan bahan jatuh bawah daripada 40%.

c) Proses penghasilan produk

Proses penghasilan produk termasuklah pengisihan mekanikal dan peralatan membungkus untuk meningkatkan nilai produk dan membuatkan produk kompos lebih mudah untuk dikendalikan. Kemudahan lain termasuklah peralatan menyahbau.

5.7.4 Teknologi semasa pengomposan

Jadual 5.7.1 menunjukkan bahan utama dalam pengomposan. Sekam dan bahan berkayu mempunyai indeks bahan terbiodegrasi yang rendah. Oleh itu, pengomposan mengambil masa tetapi berkesan untuk membaiki tanah dan boleh digunakan bersama kombinasi bahan yang lain untuk menghasilkan kompos berkualiti tinggi. Sampah yang mentah mengandungi pelbagai bahan yang mustahil untuk ditapaikan seperti plastik, logam dan gelas dan juga memerlukan pengasingan yang teliti dan

mempraprosesan yang betul. Cecair buangan kilang memerlukan langkah-langkah khas untuk menguruskan logam berat dll.

Antar teknologi kitar-semula pengomposan, biogas, pengeringan, pengkarbonan, pemberian makanan ternakan, dan pembakaran, pengomposan boleh digunakan pelbagai jenis bahan dan memberikan kelebihan dari segi teknologi dan pengedaran. Namun, jumlah dan tempoh permintaan produk adalah terhad, dan terdapat kawasan yang mempunyai stok kompos yang berlebihan. Penghasilan pada masa depan memerlukan pengawalan kualiti yang rapat, mengompos semua bahan yang dihasilkan di kawasan tersebut, dan penggunaan semua kompos yang dihasilkan di kawasan itu.

Bacaan lanjut

Japan Livestock Industry Association Ed., Composting Facility Design Manual(2003)
(Bahasa Jepun)

Japan Organics Recycling Association Ed., Composting Manual(2004) (Bahasa Jepun)

Livestock Industry's Environmental Improvement Organization Ed., Livestock Dung Process Facility – Machine Setup Guidebook (compost processing facility version) (2005) (Bahasa Jepun)

Jadual 5.7.1 Perbezaan bahan-bahan yang boleh digunakan untuk pengomposan dan teknologi kitar-semula yang lain (Japan Organics Recycling Association, 2004)

Material Name	Type	Composting	Biogas	Drying	Carbonization	Livestock feed	Incineration
Livestock	Cattle dung	◎	○				
	Cattle dung/urine	○	◎				
	Dairy cow dung	◎	○				
	Dairy cow dung/urine	△	◎				
	Pig dung	◎	○				
	Pig dung/urine	△	◎				
	Chicken dung	◎		◎	◎		◎
Garbage	Raw garbage	◎	◎		△	△	○
Sludge	Dehydrated sludge	◎	◎	◎	○		○
Crop residue	Rice husks	◎			◎	△	◎
	Paddy straw	◎				○	
Wood	Sawdust	○			△		◎
	Bark	◎					◎
	Pruning waste	○			◎		◎
	Chips	◎			◎		◎

Note: ◎: Matches category ○: Usable △: Usable after preprocessing