

PRODUKSI POLISAKARIDA MIKROBIAL
SEBAGAI BAHAN BAKU INDUSTRI¹⁾

MICROBAL POLYSACCHARIDA PRODUCTION
AS INDUSTRIAL RAW MATERIAL

Djumali Mangunwidjaja²⁾

ABSTRACT:

Two hundreds species of microorganism which can produce polysaccharides had been reported. Most polysaccharide producing microorganism are : *Xanthomonas campestris* (xanthan), *Aerobacter* spp, *Streptococcus* sp, *Leuconostoc mesentroides* (dextran), *Sclerotium glucanicum* (*Scleroglucan*), *Aureobasidium pullulan* (pullulan), *Alcaligenes faecalis* var *myxogenes* (curdlan), *Pseudomonas clodea* (gellan), *Streptomyces zooepidemicus* (hyaluronic acid). The ability of these polysaccharides to alter the rheological properties of water, by causing gel formation and altering the flow characteristics of aqueous solutions, has resulted in their application in wide variety of industrial situations. They are used extensively in the food, pharmaceutical, cosmetic, oil, paper, and textile industries.

The unique properties of xanthan gum have led to an extraordinary versatility in its commercial applications. The pseudoplastic flow behaviour of the xanthan, in combination with its stability towards heat, acid, alkaline and enzymic conditions and the presence of cations, confers advantages over other polymers. Xanthan is widely used in oil production as a flooding polymer.

Xanthan production by *Xanthomonas campestris* conducted in aerobic fermentation in complex medium containing sweet-potato hydrolyzate or or molasses as carbon source and nitrogenous nutrients. optimum productivity obtained in fermentation of 96 h, at temperature of 28°C, pH 7.0 was between 27.0 and 30.0 g xanthan/L or conversion efficiency of about 70%.

1) Disampaikan pada Seminar Bioteknologi Perkebunan dan Lokakarya Biopolimer Untuk Industri PAU Bioteknologi IPB, Bogor, 10 - 11 Desember 1991.

2) Laboratorium Bioindustri, PAU-Bioteknologi IPB

RINGKASAN

Diketahui kurang lebih 200 spesies bakteri dan 150 spesies mikroba yang menghasilkan polisakarida yang bermanfaat untuk bahan baku industri. Beberapa diantara polisakarida dan mikroba penghasilnya antara lain: Xantan (bakteri *Xanthomonas campestris*), Dextran (bakteri *Aerobacter* spp, *Streptococcus* spp, *Leuconostoc mesenteroides*), Scleroglucan (kapang *Sclerotium glucanicum*), Pullulan (kapang *Aureobasidium pullulans*), Curdlan (bakteri *Alcaligenes faecalis* var *myxogenes*), Gellan (bakteri *Pseudomonas clodea*), asam hyaluronat (*Streptomyces zoopidemicus*).

Berdasarkan sifat reologis dan kemampuan membentuk gel, polisakarida hidrokoloid banyak digunakan di industri pangan, farmasi, kosmetik, minyak bumi, kertas, tekstil dan medis. Sampai saat ini Indonesia masih mengimpor bahan tersebut dalam jumlah besar.

Diantara polisakarida mikrobial tersebut, xantan merupakan produk yang mempunyai prospek komersial baik, karena keunikan sifat yang dipunyai dan luas jangkauan penggunaannya. Keunggulan xantan dibandingkan polisakarida mikrobial lain disebabkan oleh ciri-ciri: derajat pseudoplastik tinggi, viskositas tinggi pada konsentrasi rendah, stabil terhadap panas, basa, asam, enzim. Industri minyak bumi menggunakan xantan sebagai polimer pengeboran (flooding polymer).

Produksi xantan secara fermentasi aerobik oleh bakteri *Xanthomonas campestris* pada media mengandung glukosa dan hara lain. Sebagai substrat sumber karbon (yang merupakan kendala ekonomi dalam bioproses) dipilih sumber pati ubijalar, dan limbah industri (tetes tebu). Produktivitas optimal dicapai pada fermentasi selama 96 jam, pada suhu 28°C, pH 7.0, yaitu perolehan xantan 27.0 g/l (substrat hidrolisat pati ubijalar) - 30.0 g/l (substrat tetes tebu), dengan rendemen 70-75 persen.

PENDAHULUAN

Perkembangan bioteknologi yang merebak diawali dengan budaya pembuatan pangan dan minuman dari hasil pertanian yang difermentasikan 6000 tahun SM di masyarakat Babilonia dan Sumeria. Pendayagunaan hasil pertanian dengan bioproses merupakan salah satu penerapan bioteknologi pada kegiatan hilir pertanian. Tidak hanya bahan pangan dapat ditingkatkan nilai gizinya atau dibuat dengan

bantuan mikroba atau enzim, tetapi banyak sekali bahan kimia yang berharga dapat diproduksi dari hasil pertanian. Bahan-bahan tersebut antara lain: asam amino, vitamin, antibiotik, enzim, asam organik, bahan pelarut, flavour dan fragran, zat warna, polisakarida, steroida, dan lain-lain. Produk-produk tersebut mempunyai nilai ekonomis yang cukup besar dipasaran dunia. Penerapan biopro-ses pada kegiatan pertanian, dari hulu sampai hilir akan menciptakan sektor bioindustri pertanian yang akan menjadi "jembatan" dua sektor kegiatan: pertanian dan industri. Bioindustri hasil pertanian didayagunakan untuk menghasilkan suatu produk, dan produk ini merupakan masukan untuk sektor industri (kimia, farmasi, energi). Dalam skenario industrialisasi suatu negara agraris (baca: Indonesia), maka tak berlebihan bila kita dapat menumpukan harapan sebagai penopang industrialisasi tersebut pada sektor agroindustri berbasis bioproses.

Penerapan bioproses pada agroindustri mempunyai keunggulan komparatif dibanding proses kimiawi maupun fisik, yaitu :

- keanekaragaman produk yang dapat dihasilkan
- produktivitas dan konversi tinggi
- waktu proses relatif singkat
- hemat energi
- nir cemaran, bahan toksik
- nilai tambah tinggi.

Penerapan bioproses disektor agroindustri seiring dengan perkembangan bioteknologi. Dalam proses pengubahan, kini tidak hanya "agen hayati" berupa mikroba atau enzim yang dimanipulasi untuk meningkatkan nilai tambah pertanian. Era bioteknologi generasi ketiga, membuka peluang besar penggunaan agen hayati lain (sel nabati/atau hewani) dengan atau tanpa bantuan rekayasa genetik, untuk transformasi proses agroindustri tersebut.

Perkembangan negara industri (Amerika Serikat, Jepang, Jerman, Perancis) menunjukkan bahwa sektor bioindustri yang kuat, diikuti dan ditopang oleh bioagroindustri.

Tulisan ini mempertelakan pendayagunaan hasil pertanian dan/atau limbahnya secara bioproses untuk produksi polisakarida sebagai bahan baku industri. Telaah difokuskan pada xantan polisakarida mikrobial yang secara intensif dijadikan pokok penelitian di Pusat Antar Universitas Bioteknologi IPB, Bogor, khususnya laboratorium Biindustri.

POLISAKARIDA MIKROBIAL

Suatu polisakarida dalam air membentuk suatu koloid (hidrokoloid). Berdasarkan sifat pengaliran (reologik) dan fisikokimiawi, polisakarida hidrokoloid (gom) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan pada berbagai produk industri. Di industri pangan, polisakarida digunakan sebagai penstabil, pengemulsi, pengental; pada industri kimia sebagai pembentuk film, karir, penahan air; pada industri farmasi banyak digunakan sebagai pelapis obat dan pencampur kapsul. Beberapa polisakarida bahkan digunakan sebagai bahan baku industri kosmetik, bahan peledak, dan pertambangan. Tekstur suatu produk yang antara lain berupa konsistensi, keliatan (stickiness), "sliminess", "creaminess" "oiliness" dipengaruhi adanya komponen (polisakarida) hidrokoloid pada produk-produk zaliir (fluida) (Frost et al, 1984).

Bahan tambahan tersebut umumnya diperoleh dari sumber nabati hewani ataupun sintetis sumber alami yang utama adalah gom nabati dan ekstrak ganggang. Tabel 1 menyajikan bahan tambahan alami dan sintetis.

Kelemahan yang dihadapi dalam penggunaan gom alami, antara lain sifat-sifat reologik yang dipunyai tidak

selalu dapat memenuhi tujuan pemakaian, jumlah polisakarida yang diperlukan untuk tujuan tertentu (misal penggunaan glukomanan) terpaksa dihindari karena pertimbangan biaya, beberapa bahan diekstraksi dari sumber nabati yang berumur panjang sehingga pengusahaannya membutuhkan lahan luas dan masa panen yang lama.

Dengan diungkapkannya beberapa mikroba yang menghasilkan eksopolisakarida (Sutherland, 1983) penggunaan polisakarida mikrobial untuk menggantikan fungsi gum sintetis, nabati maupun hewani semakin meluas. Hal ini disebabkan kelengkapan yang dapat dihasilkan polimer mikrobial tersebut, sifat reologis yang lebih baik dan seragam, keanekaragamannya memungkinkan diterapkan untuk penggunaan khusus. Untuk memproduksi polisakarida mikrobial tak bergantung pada musim, iklim atau polusi air laut dan produk akhir dapat dikontrol secara cermat pada proses fermentasi (Pace, 1987). Tidak kurang 200 spesies bakteri dan 150 spesies kapang dan khamir diketahui menghasilkan polisakarida ekstraselular. Mikroba penghasil polisakarida ini tersebar di alam pada beragam habitat. Umumnya, mikroba tersebut dapat ditemukan di tanah, air tawar, air laut, bahan tanaman berpenyakit atau makanan busuk. Beberapa diantaranya bahkan patogen terhadap manusia dan hewan. Usaha isolasi galur-galur mikroba penghasil polisakarida ini dari bumi Indonesia dianjurkan untuk memperoleh galur unggul.

Beberapa polisakarida penting dan mikroba penghasilnya antara lain adalah: dekstran (bakteri *Aerobacter* spp, *Streptococcus* spp, *Leuconostoc mesenteroides*), curdlan (bakteri *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes*), gellan/polytran (bakteri *Pseudomonas elodea*), alginat (bakteri *Pseudomonas* spp), Xantan (bakteri *Xanthomonas campestris*),

Scleroglucan (kapang *Sclerotium gluconicum*), pullulan (kapang *Aureobasidium pullulans*), asam hyaluronat (*Streptomyces zooepidemicus*).

Tabel 1. Bahan pengental alam dan sintetis (Essautier, 1984)

Alami	Semi sintetis	Sintetis
Sekresi tanaman	Derivat selulosa	Polimer vinil
- Gom Arab	- CMC (Carboxymethyl cellulose)	- Polyvinyl pyrolidon
- Gom Tragacanth	- MC (Methyl cellulose)	
- Gom Karaya	- HPMC (Hydroxy propyl methyl cellulose)	
- Gom ghatti		
Ekstrak tanaman	- MEC (Methyl ethyl cellulose)	
- Pektin	- HPC (Hydroxy propyl cellulose)	
Tepung biji-bijian		
- Guar		
- Tamarin	Pati termodifikasi	
- Locust	- Pati-carboxy methyl	
Pati	- Pati-hydroxy methyl	
	- Pati-hydroxy propyl	
Ekstrak ganggang		
- Agar		
- Alginat		
- Agarosa		
- Karaginan		
- Furselaran		
Gom hewani		
- Gelatin		
- Albumin		
- Kasein		
Lesitin (kedele)		
Glukomanan (iles-iles)		

Seperti diutarakan di atas, sifat polisakarida hidrokoloid berpengaruh terhadap reologis produk yang dicampuri. Sifat tersebut ditentukan oleh komposisi kimiawi, susunan molekular, bobot molekul dan distribusi. Polisakarida mikrobial dapat berupa polimer anionik, netral, kationik, suatu monosakarida atau derivat monosakarida. Selain susunan utama tersebut, beberapa diantaranya mengandung gugus tertentu, seperti asetat, suksinat piruvat, lipida, nitrogen organik atau ion-ion anorganik. Tingkat substitusi gugus itu berpengaruh terhadap sifat polimer.

Dektran terutama digunakan untuk keperluan medis sebagai pengganti plasma (blood expander), pelapis kulit hidrofilik. Polimer ini juga banyak dimanfaatkan untuk pemisahan dan purifikasi molekul biologik.

Scleroglucan diperdagangkan dengan merek Polytran - digunakan untuk pengeboran minyak, pelapis keramik, pencampur tinta, cat, dan pelapis biji.

Alginat sebagai bahan pengental (thickener) lubricant larut air, pengeboran minyak - Selain itu banyak didayagunakan untuk thickening dan gelling agent produk olahan susu. Pada bioproses alginat merupakan bahan yang baik untuk immobilisasi sel.

Curdan sama dengan alginat, dan dekstran - banyak digunakan untuk purifikasi molekul biologik, bahan pengikat, dan hingga mobilisasi enzim.

Asam hyaluronat terutama digunakan sebagai bahan baku kosmetika dan farmasi.

Pullulan banyak digunakan untuk "binder" dan bahan baku plastik, penyetabil bahan pangan.

XANTAN - BIOPOLIMER UNGGUL

Diantara polisakarida mikrobial, xantan dan pullulan merupakan dua produk fermentasi yang mempunyai prospek komersial baik, karena keunikan sifat yang dipunyai dan keanekaragaman penggunaannya (Brierly et al, 1985).

Keunikan dan keunggulan kedua polimer tersebut adalah

- pseudoplastik yang tinggi
- viskositas tinggi pada konsentrasi rendah
- tahan terhadap gaya geser
- tahan terhadap panas, pH, asam, basa
- tahan terhadap enzim
- dapat dibentuk serat kuat (pullulan)
- permeabilitas oksigen rendah (pullulan)
- sinergis yang baik dengan gum lain.

Xantan diperdagangkan dengan merek Rhodogel, Ketltron, Kelzan, (Keko, USA) atau Satiaxane (Rhone Poulense, France) sebagian besar produksi polisakarida di dunia kini di dominasi oleh xantan, karena jangkauan penggunaannya yang luas. Di industri pangan, xantan digunakan untuk thickening agent (sauces, syrup), gelling agent (dessert, confectionary, jellies, pastry filling), penyetabil (eskrim, salad dressing, sari buah), pembentuk gel sinergetik (gel daging sintesis).

Penggunaan xantan yang luas terdapat pada sekitar industri non pangan, sebagai pensuspensi (cat, semir untuk kulit dan metal, tinta, produk agrokimia), pengontrol viskositas (adesif, pengebor minyak bumi), gelling (bahan peledak), flokulasi (penambangan). Kegunaan lain di industri adalah sebagai berikut :

- Industri pertanian : sebagai pencampur pakan, pencampur dan penguat dan karir herbisida, fungisida.
- Industri farmasi : penyetabil formulasi krim bahan farmasi.
- Industri kosmetik : formulasi bahan kosmetik.
- Industri kimia : pelapis kertas, tekstil.

Keunggulan pullulan adalah kekuatan serat yang terbentuk, serta permeabilitas terhadap oksigen yang rendah. Oleh karena itu, pullulan didayagunakan sebagai bahan pelapis, pengemas, laminating. Plastik yang terdegradasi oleh mikroba (bioplastik) dapat dikembangkan dengan bahan baku pullulan. Pendayagunaan ini akan mempunyai manfaat ganda, yaitu tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Pullulan tidak berkalori, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti pati dalam makanan dan minuman berkalori rendah. Serat dari pullulan yang kuat merupakan bahan baku kertas dan produk khusus.

PROSES PRODUKSI

Proses produksi polisakarida secara fermentasi dilakukan melalui tahapan :

- penyiapan media
- penyiapan inokulum
- fermentasi
- pemanenan

Penyiapan dan formulasi media. Pada hampir semua bioproses, media merupakan komponen penting, tidak saja dari aspek penyediaan hara bagi mikroba, melainkan juga dari aspek ekonomi. Hampir sebagian besar biaya produksi berasal dari komponen media. sumber C untuk fermentasi xantan: glukosa, sukrosa - pada konsentrasi 2-5%. Sumber nitrogen dapat berasal dari beberapa bahan : pepton,

glutamat, sumber nitrogen anorganik. Untuk fermentasi pullulan, sumber C dapat berupa gula heksosa dan pentosa. Gula substrat dapat diperoleh dari a) bahan asli bergula (tetes, nira), b) bahan berpati yang dilakukan hidrolisis atau c) hidrolisis limbah lignoselulosa.

Hara lain yang ditambahkan adalah unsur mineral (amonium, fosfat, magnesium dan lain-lain) serta unsur kelumit.

* Penyiapan inokulum. Mikroba unggul yang digunakan harus selalu dipersegar secara berkala. Galur unggul yang digunakan sampai saat ini adalah *xanthomonas campestris* NRRL B 1459. Untuk produksi pullulan, antara lain terdapat galur *A. pullulans* T-37a, dan CB5-CY-PP-14. Inokulum dipersiapkan pada media inokulum dengan susunan tertentu, selanjutnya diinkubasi pada suhu 28-30°C, selama 24-48 jam.

* Fermentasi -Faktor yang perlu diperhatikan selama fermentasi adalah :

- Tingkat aerasi dan agitasi. Karena baik xantan maupun pullulan merupakan polisakarida mikrobial, maka larutannya akan merupakan sistem yang kental, oleh karena itu penyebaran oksigen dalam media dipengaruhi oleh tingkat aerasi dan agitasi.
- pH -Nilai pH ini harus dijaga pada taraf optimum baik untuk pertumbuhan maupun untuk produksi polisakarida. Fermentasi xantan, pH diatur 7.0, sedangkan fermentasi pullulan, pH diatur 5.5-6.0.
- Suhu. Suhu optimal untuk pertumbuhan *X. campestris* penghasil xantan dan *A. pullulans*-penghasil pullulan adalah 28°C dan 30°C. Fermentasi xantan berlangsung selama 3-5 hari, sedangkan pullulan berlangsung selama 7-10 hari. Selama fermentasi polisakarida yang terbentuk terekstraksi ke media menyebabkan peningkatan viskositas larutan fermentasi.

Pada kondisi seperti ini aerasi dan agitasi harus dikendalikan secara optimal.

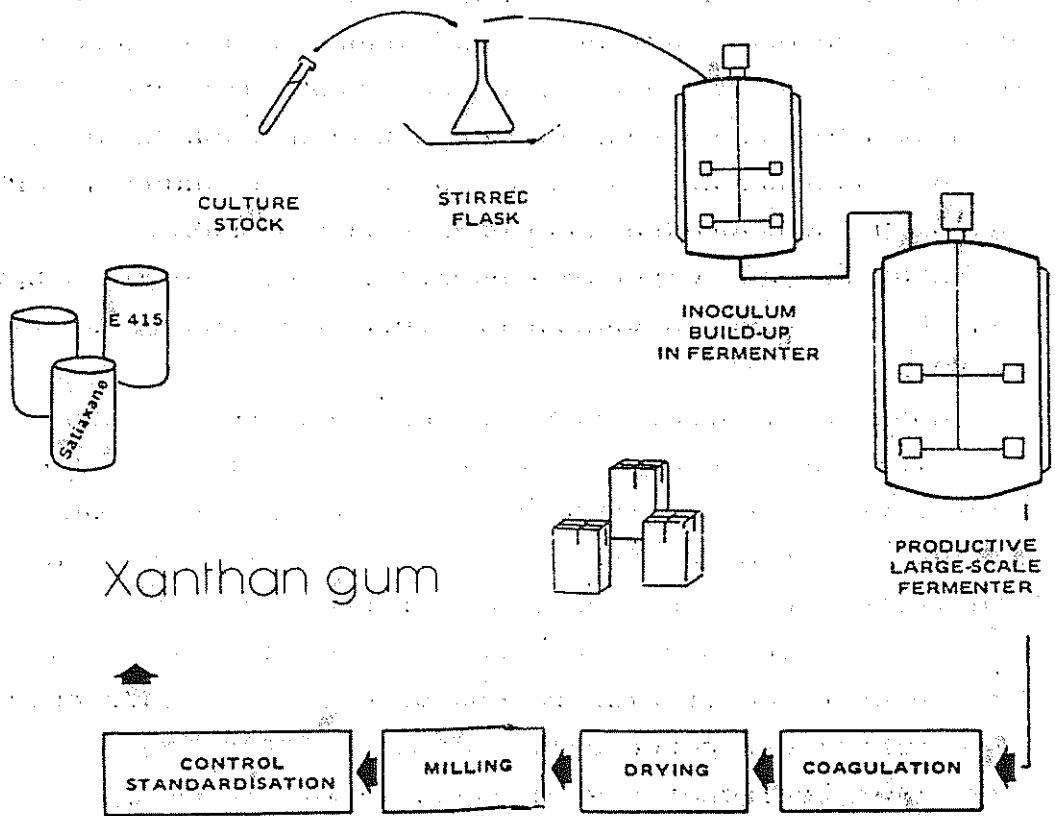
- * Pemanenan-Pemanenan gam (polisakarida) dilakukan dengan penambahan zat pengendap (isopropil alkohol, etanol, metanol, aseton), pada beningan setelah pemisahan biomassa.

Selain biaya media, biaya pemanenan ini merupakan komponen utama. Alkohol yang digunakan bergantung pada fisi kokimiawi polisakarida yang terbentuk (ionic strength) dan komposisinya. Selain menggunakan pelarut, pemanenan poli sakarida mikrobial dapat dilakukan dengan pengeringan (spray drying), pengendapan dengan garam atau pengendapan dengan senyawa amonium kuaterner. Setelah pengendapan, padatan dipisahkan, produk dikeringkan, selanjutnya digiling dan dikemas.

Produksi polisakarida mikrobial dapat dilakukan dengan empat teknik: (a) pembiakan dalam media padat, (b) biakan curah (batch) pada media cair, (c) biakan sinambung dan (d) sintesis sel bebas. Pada skala industri teknik (b) dan (c) yang banyak diterapkan, karena kelayakan teknis dan ekonomik.

Gambar 1 menyajikan diagram alir proses produksi polisakarida mikrobial.

Berdasarkan prospek penggunaan xantan sebagai bahan baku industri, dan kenyataan bahwa kebutuhan polisakarida tersebut di Indonesia semakin tahun semakin meningkat, dan masih dipenuhi import, PAU Bioteknologi IPB, Bogor sejak tahun 1988 pada gugus program biokonvesi melakukan penelitian xantan, dengan menggunakan hasil pertanian dan/atau limbahnya sebagai sediaan substrat. Lingkup penelitian itu meliputi optimasi, pemilihan dan rancangbangun proses, pemilihan metoda pengunduhan pada skala laboratorium dan pilot plant. Sebagai substrat digunakan sumber pati ubi jalar, dan limbah agroindustri (tetes tebu).



Gambar 1. Diagram proses produksi polisakarida mikrobial

PENELITIAN XANTAN DAN PULLULAN DI PAU BIOTEKNOLOGI, IPB

Pada fermentasi xantan secara aerobik oleh bakteri *X. campestris*, pada produksi optimal dicapai pada fermentasi 96 jam, pada suhu 28°C, pH 7.0-dengan perolehan xantan 27.0-30.0 g/L, pada tingkat konversi 70-75 persen, dan produktivitas 10.2-12.0 g/l.hari. Berdasarkan komposisi media, perolehan maksimum dihasilkan dengan menggunakan hidrolisat pati atau tetes dengan kadar glukosa 4%, dan ammonium klorida sebagai sumber nitrogen pada tingkat aerasi dan agitasi 2.0 vvm dan 800 rpm. Pengunduhan terbaik diperoleh menggunakan isopropil alkohol (80%).

Xantan yang diperoleh memiliki sifat yang sinergis yang baik dengan karboksimetil selulosa (CMC), agar dan dekstrin.

Apabila tingkat produksi dan konversi xantan pada skala industri setara dengan hasil penelitian laboratorium/pilot plant, diperkirakan 1 ton ubi (singkong, ubi jalar) dapat dikonversi menjadi 280 kg xantan, dan 100 liter tetes menghasilkan 300 kg xantan.

Penelitian yang sedang dan akan dilakukan, meliputi :

- * pencarian galur mikroba unggul dari bumi Indonesia
- * optimasi dan pengendalian proses
- * kajian peningkatan skala (scale-up)
- * perbaikan proses dengan penerapan sistem bioreaktor sel imobilisasidan biakan campuran (mixed culture)
- * kajian kelayakan ekonomi
- * pada jangka panjang rekayasa genetik akan diterapkan untuk memperbaiki produktivitas dan patogenisitas mikroba dan secara fisiologis memudahkan pengunduhan hasil
- * Sifat fisiko kimiawi xantan dalam "flooding polymer" untuk "oil recovery"
- * penggunaan xantan sebagai "food stabilizing agent"

Kerjasama dengan pengguna (industri) diharapkan keluaran penelitian PAU Bioteknologi IPB dapat diterapkan di agroindustri Indonesia untuk produksi polisakarida. Pada masa mendatang kerjasama lembaga penelitian/PT-industri-Pemerintah akan merupakan *conditio sine qua non* bagi pengembangan iptek dan sekaligus industri yang mandiri dan tangguh. Lembaga Penelitian atau Perguruan Tinggi akan menjadi salah satu wahana pelatihan atau penelitian staf - industri. sebaliknya industri akan merupakan salah satu wahana peneliti mencari dan melakukan penelitian.

PROSPEK INDUSTRI

Secara teknis pengembangan polisakarida mikrobial mempunyai banyak kelebihan dibanding polisakarida alami yang lain. Keunggulan yang dipunyai terutama oleh xantan dan pullulan disatu pihak, dan kebutuhan bahan tambahan industri di Indonesia maupun dunia dipihak lain - polisakarida tersebut mempunyai prospek yang baik diusahakan secara industri. Dari sektor industri pangan dari kertas saja Indonesia rata-rata mengimport 2000 ton polisakarida (BPS, 1989), dan dari total kebutuhan dalam negeri baru 10 % dipenuhi dari dalam negeri. Impor biopolimer ini tahun 1987 mencapai nilai US \$ 11.4 juta dan pada tahun 1990 meningkat menjadi US \$ 13.2 juta. Know how proses pembuatannya bukan sesuatu yang sulit (bioteknologi generasi kedua) dan secara sosial ekonomi penerapan bioproses pada hasil atau kegiatan pertanian, diharapkan dapat meningkatkan pendapatan petani.

Salah satu tolok ukur penting kelayakan suatu proses industri adalah tingkat *profitability*-nya. Profitabilitiy bioproses berkaitan dengan pengeluaran yang harus ditanggung oleh industri untuk jangka waktu lama pada kegiatan penelitian dan pengembangan Investasi Litbang ini harus

sudah dilakukan jauh hari sejak skala laboratorium sampai cocok untuk diterapkan pada skala industri. Pada akhirnya tentu saja keberhasilan suatu produksi bioproses yang dipasarkan selain adanya permintaan, bergantung pada mutu, teknologi produksi, tingkat keamanan, dan kelayakan produksi pada taraf harga yang tercipta oleh pasar.

Untuk memberi gambaran aspek ekonomi dan finansial industri bioproses berbasis pertanian, berikut disajikan perkiraan biaya produksi dan komponennya pada industri xantan (berdasarkan acuan data di Jerman, 1988).

Untuk satu batch dengan produksi 1 ton xantan, diperlukan *variable cost* sebesar 2263 DM (Tabel 2) atau 2.20 DM/kg, sedangkan harga jual xantan adalah 6.60 DM/kg (GBF, 1989).

Tabel 2. *Variable cost* produksi xantan (1 ton/batch)

Komponen	Biaya (DM)
Bahan dasar	
Tetes	650
Lain-lain	128
Ekstraksi	145
Service dan working material	1.140
Pekerja	200

Industri bioproses merupakan salah satu industri yang beresiko tinggi, oleh karena itu pengembangannya harus senantiasa diikuti oleh kegiatan Litbang yang intensif dan penelitian peluang pasar akan produk baru. Pada era globalisasi dan teknologi informasi, pengembangan iptek yang pesat harus senantiasa diantisipasi oleh industri agar kegiatannya tetap tangguh dan mampu bersaing (terutama dengan perusahaan multinasional, MNC).

DAFTAR PUSTAKA

- Brief, C.L., D.P. Kelly., K.J. Seal, and D.J. Best (1985). Materials and Biotechnology, di dalam I.J. Higgins. D.J. Best, J.Jones (eds). Biotechnology- principles and applications. Blackwell Scientific Publication. Oxford.
- Buchta, K (1987). Polysaccharides, di dalam P. Prave, U.Faust., W. Sittig., D.A. Sukartsch(eds). Fundamentals of Biotechnology. VCH, Weienherim.
- Essautier, B. (1984). Biotechnologies et agents Texturants. Biofutur 18:73-75.
- Frost, J., E.F. Hegedus, and M. Olichsmann (1984). Objective characterization of Hydrocolloid Organoleptic Properties. J. Food. Technol. 38:118-122.
- Hepner, L and C. Male (eds). Economic Aspects of Fermentation Processes di dalam P. Prave. U. Faust. W. Sittig. D.A. Sukatch (eds). Fundamentals of Biotechnology. VCH, Weinheim.
- Mangunwidjaja. D., P.D. Fewidarto, Marimin dan M. Rahayuningsih (1990). Rancang bangun dan Optimalisasi Proses Produksi Gum Xantan dari Hidrolisat Pati Ubijalar PAU Bioteknologi IPB Bogor.
- Mangunwidjaja, D. dan N. Mutamainnah (1991). Kinetika Produksi Xantan oleh *Xanthomonas campestris* dari Tetes Tebu pada Biakan Sinambung. Makalah disampaikan pada seminar nasional bioproses industri, Bandung, 17-19 Januari 1991.
- Pace, G.W. (1987). Microbial Gums, di dalam J. Bu'Lock and B. Kristiansen (eds) Basic Biotechnology. Academic Press. New York.
- Prentis S. (1984). Biotechnology- A New Industrial Revolution - Orbis Publising, London.
- Ruslim, Y, D. Mangunwidjaja dan M. Rahayuningsih (1991) Telaah Aerasi sebagai Parameter Penggandaan Skala pada Fermentasi dari substrat hidrolisat ubijalar oleh *Xanthomonas campestris*.
- Sutherland, I.W. (1983). Extracellular Polysaccharides, di dalam H. Dellweg (ed) Biotechnology - a Comprehensive Treatise in 8 volumes. Vol 3. Verlag Chemie. Weinheim.