Review xanthan gum: produksi dari substrat biomassa, variabel efektif, karakteristik dan regulasi serta aplikasi dan potensi pasar

Review of xanthan gum: production from biomass substrates, effective variable, characteristics and regulations, applications and market potential

**I Dewa Gede Putra Prabawa^{a,*}, Rais Salim^a, Nadra Khairiah^a, Hamlan Ihsan^a,
Ratri Yuli Lestari^a**

^aBalai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru
Jl. Panglima Batur Barat No.2, Banjarbaru, Indonesia

*E-mail: dewa.pprabawa@gmail.com

Diterima 18 Oktober 2019, Direvisi 12 Nopember 2019, Disetujui 05 Desember 2019

ABSTRAK

Xanthan gum adalah polisakarida ekstraseluler yang diproduksi melalui proses fermentasi dari sumber karbohidrat oleh kultur murni bakteri *Xanthomonas campestris*, dalam kondisi yang terkontrol. Kondisi proses selama fermentasi harus dievaluasi untuk dapat menghasilkan produk dengan kombinasi optimal antara rendemen, kualitas, dan biaya produksi xanthan gum. Persoalan yang dibahas dalam review ini menyajikan sumber informasi mengenai penelitian tentang produksi xanthan gum, sumber karbon alternatif untuk produksi xanthan gum dari substrat biomassa, variabel efektif untuk optimasi produksi, karakteristik, aplikasi dan status regulasi. Pada review ini juga dibahas mengenai potensi pasar dari xanthan gum.

Kata Kunci : xanthan gum, substrat biomassa, optimasi produksi, karakteristik, aplikasi.

ABSTRACT

Xanthan gum is an extracellular polysaccharide produced by a pure culture of Xanthomonas campestris through the fermentation process of carbohydrate sources in controlled conditions. These conditions must be carefully evaluated to obtain an optimal combination between yield and quality of the gum, and also production costs. The issue of this review is to provide a consolidated source of information on studies about xanthan gum production, alternative carbon sources from biomass substrates, effective variables on optimization production, characteristics, applications, and regulations status of xanthan gum. Lastly, the market potential is also discussed in this review.

Keywords : xanthan gum, biomass substrates, optimization production, characteristics, applications.

I. PENDAHULUAN

Xanthan gum merupakan salah satu bahan pengental yang banyak digunakan dalam industri untuk meningkatkan viskositas bahan (Purwadi & Lim, 2010). Xanthan gum digunakan secara luas sebagai bahan pengental dalam industri makanan dan non-makanan karena sifatnya yang mudah larut dalam air panas maupun air dingin, sifat pseudoplastisitas

yang tinggi, dan hanya memerlukan penambahan dalam jumlah kecil untuk meningkatkan viskositas larutan. Pada industri makanan xanthan gum digunakan sebagai bahan pengental, penstabil, pengendali tekstur, pengikat air dan pencegah terbentuknya kristal es dalam produk beku. Pada industri non makanan banyak digunakan sebagai agen pembentuk dan pengemulsi kosmetik dan obat-obatan, bahan pengikat minyak dalam

proses luapan air untuk meningkatkan perolehan minyak (*enhance oil recovery*) (Purwadi & Lim, 2010).

Xanthan gum merupakan heteropolisakarida dengan berat molekul tinggi yang diproduksi oleh bakteri genus *Xanthomonas* spp (Niknezhad, Asadollahi, Zamani, & Biria, 2015), seperti *Xanthomonas campestris* (Gustiani, Helmy, Kasipah, & Novarini, 2018), *Xanthomonas pelargonii* (Niknezhad et al., 2015) dengan menggunakan substrat sumber karbon melalui proses fermentasi secara aerobik (Habibi & Khosravi-darani, 2017). Xanthan gum merupakan bahan pengental alami yang telah diakui oleh US *Food and Drug Administration* (FDA) untuk diaplikasikan sebagai *food additives* (*stabilizer dan emulsifier*) (Ghashghaei, Soudi, & Hoseinkhani, 2016). Kebutuhan xanthan gum secara global selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya, dengan rata-rata pertumbuhan 5-10% (RB Salah et al., 2010).

Xanthan gum merupakan polisakarida mikroba kedua yang dikomersialisasikan untuk industri setelah dekstrin. Xanthan gum ditemukan pada tahun 1963 di *Northern Regional Research Center of the United States Department of Agriculture* atau sekarang disebut *The National Center for Agricultural Utilization Research* (Palaniraj & Jayaraman, 2011). Produksi xanthan gum secara komersial dimulai pada tahun 1964. Sifat toksikologi dan keamanannya untuk aplikasi makanan dan farmasi telah banyak diteliti. FDA telah menyatakan xanthan gum dapat digunakan dalam bahan tambahan makanan tanpa pembatasan jumlah (Ghashghaei et al., 2016), hal ini didasarkan oleh sifat toksikologi dan keamanannya untuk aplikasi makanan dan farmasi yang telah banyak diteliti, diantaranya tidak beracun, tidak menghambat pertumbuhan, dan tidak menimbulkan iritasi kulit atau mata (Palaniraj & Jayaraman, 2011).

Dalam produksi xanthan gum kualitas *food-grade*, hampir 50% biaya produksi yang dikeluarkan terkait dengan proses pemurnian yang dilakukan, sedangkan aplikasi untuk *non-food* beberapa tahap pemurnian biasanya dapat dihilangkan

untuk menurunkan biaya produksinya (Palaniraj & Jayaraman, 2011). Penggunaan material yang cukup mahal seperti glukosa atau sukrosa sebagai substrat sangat mempengaruhi biaya produksi xanthan gum. Oleh karenanya salah satu cara dalam pengurangan biaya produksi dapat dicapai dengan menggunakan substrat alternatif yang lebih murah. Banyak penelitian yang telah mengkaji penggunaan material yang lebih murah sebagai media fermentasi, dan hasil penelitian tersebut dilaporkan dapat memberikan solusi yang efektif untuk mengurangi biaya proses fermentasi. Dari beberapa alternatif yang telah dilaporkan penggunaannya, pada review ini khusus akan dibahas mengenai potensi penggunaan sumber karbon dari substrat biomassa untuk produksi xanthan gum, serta dibahas juga variabel yang mempengaruhi, karakteristik, aplikasi, status regulasi dan potensi pasar.

II. PRODUKSI XANTHAN GUM DARI SUBSTRAT BIOMASSA

Salah satu fokus utama pengembangan industri xanthan gum saat ini adalah mengurangi biaya proses produksi yang dikeluarkan. Oleh karenanya, banyak penelitian saat ini yang fokus pada penggunaan substrat *low value materials* sebagai salah satu cara untuk mengurangi biaya produksi (Kongruang, Thakonhawatt, & Promtu (2005), Salah et al., (2010), Khosravi-Darani, Reyhani, Nejad, & Farhadi (2011), Li et al (2017)). Penggunaan substrat yang berbeda akan menghasilkan masa molekul dan rendaman xanthan gum yang berbeda. Selain penggunaan substrat *low value*, pemilihan variabel proses yang efektif saat proses fermentasi dapat menurunkan biaya produksi yang dikeluarkan (Habibi & Khosravi-darani, 2017). Proses produksi xanthan gum dilakukan melalui fermentasi media yang mengandung sumber karbon tinggi (seperti golongan monosakarida atau polisakarida lainnya) dengan bakteri *Xanthomonas campestris*. Contoh alur proses produksi xanthan gum ditampilkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Contoh Alur Produksi Xanthan Gum (Lopes et al., 2015)

2.1. Xanthan Gum dari Substrat Ekstrak Singkong

Pemanfaatan ekstrak singkong sebagai substrat dalam pembuatan xanthan gum menggunakan bakteri *Xanthomonas campestris* telah dilaporkan oleh Purwadi & Lim (2010). Ekstrak yang digunakan berupa air perasan dari campuran singkong (*Cassava*) dan air yang di blender. Konsentrasi ekstrak singkong yang digunakan diatur hingga memiliki kandungan glukosa setara dengan

100g/l. Medium kultivasi disiapkan dengan komposisi substrat singkong, 1,25g/l K_2HPO_4 ; 1g/l yeast extract; 0,125g/l $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,5 g/l malt extract, dan 100 g/l ekstrak kol. Proses fermentasi dilakukan dengan mencampurkan 300 mL medium dan 5% inokulum bakteri *Xanthomonas campestris*. Proses fermentasi dilakukan pada kondisi aerob, temperatur kamar, selama 120 jam disertai proses pengadukan dengan laju 100 rpm.

Gambar 2. Ekstrak Singkong (*Cassava*)
(Wisnubrata, 2019)

Hasil percobaan menunjukkan bahwa air perasan singkong dapat meningkatkan viskositas mendekati 600% dari viskositas larutan awal. Viskositas yang tinggi menunjukkan proses fermentasi mengarah ke pembentukan produk xanthan gum. Hasil kultivasi setelah 120 jam menunjukkan bahwa viskositas larutan kultivasi dengan air perasan singkong menghasilkan viskositas larutan hingga 6 kali lebih tinggi dibandingkan dengan yang dihasilkan dari glukosa. Air perasan singkong masih mengandung berbagai senyawa ikutan yang berasal dari sel umbi singkong yang pecah akibat penggilingan. Senyawa-senyawa ini diperkirakan mempengaruhi pertumbuhan dan pembentukan xanthan gum (Purwadi & Lim, 2010).

Pemisahan xanthan gum pada penelitian ini dilakukan menggunakan aseton, etanol dan isopropil alkohol. Pemisahan menggunakan isopropil alkohol menunjukan hasil yang paling efektif pada penelitian ini. Hasil penelitian yang dilaporkan menunjukkan bahwa xanthan gum dapat diproduksi dari air perasan singkong, bahan yang keberadaannya melimpah di Indonesia. Bahan ini telah terbukti dapat menghasilkan xanthan gum dengan kualitas yang mirip dengan produk xanthan gum komersial.

2.2. Xanthan Gum dari Substrat Ampas Singkong (*Cassava bagasse*)

Pemanfaatan ampas singkong (*Cassava bagasse*) untuk produksi xanthan

gum menggunakan bakteri *Xanthomonas campestris* telah dilaporkan oleh Woiciechowski, Soccol, Rocha, & Pandey (2004). *Pre-treatment* awal ampas singkong melalui proses hidrolisis menggunakan larutan HCl 1% dan diautoclaf pada suhu 121°C selama 12 menit. Ampas singkong terhidrolisis selanjutnya digunakan sebagai substrat untuk media fermentasi dalam pembuatan xanthan gum. Ampas singkong yang digunakan sebagai media disiapkan dengan jumlah tertentu agar memiliki kandungan glukosa setara dengan 20 g/l. Proses fermentasi menggunakan 2% inokulum bakteri *Xanthomonas campestris*, 1% suplemen nutrisi sumber nitrogen (kalium nitrat 0,01%), laju pengadukan 200 rpm dan suhu 28–30°C selama 72 jam.

Ampas singkong terhidrolisis dengan konsentrasi kandungan glukosa setara dengan 20 g/l terbukti menjadi konsentrasi substrat terbaik untuk produksi xanthan gum. Produk xanthan gum optimal dihasilkan menggunakan medium yang mengandung substrat ampas singkong dengan kadar glukosa setara dengan 19,8 g/l adalah sebesar 14 g/l. Pemisahan dan pencucian xanthan gum dilakukan dengan etanol dan aseton. Hasil penelitian dilaporkan ampas singkong yang dihidrolisis dan ditambahkan sumber nitrogen dapat menjadi substrat yang sesuai untuk produksi xanthan gum menggunakan *Xanthomonas campestris* (Woiciechowski et al., 2004).

Gambar 3. Ampas Singkong (Anonim, 2013)

2.3. Xanthan Gum dari Substrat Sisa Pengolahan Kedelai

Pembuatan xanthan gum dari substrat limbah industri pengolahan kedelai telah dilaporkan oleh (Gustiani et al., 2018). Limbah kedelai yang digunakan berasal dari sisa pengolahan industri tahu (ampas tahu). Proses dilakukan secara fermentasi *batch* pada skala laboratorium. Ampas tahu melalui proses pengeringan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai substrat. Media produksi xanthan gum selanjutnya dibuat dari tepung ampas tahu kering dengan konsentrasi 2% (b/v). Media yang telah disterilisasi selanjutnya diinokulasi bakteri *Xanthomonas campestris* dengan variasi jumlah bakteri 20% (v/v) dari media yang digunakan. Masing-masing media ditambahkan sukrosa sebanyak 1% (b/v), asam sitrat 5 g/l, asam glutamat 2,5 g/l, KH_2PO_4 0,5 g/l, *trace element* 0,04 g/l. Proses fermentasi dilakukan selama 5 hari, pada kondisi *batch*, temperatur 28°C, laju pengadukan 600 rpm.

Hasil penelitian dilaporkan bahwa pada produksi xanthan gum dari tepung ampas tahu secara optimal dapat menghasilkan *crude product* xanthan gum sebanyak 35 g/l. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa bakteri *Xanthomonas campestris* mampu mengkonversi substrat menjadi xanthan gum maksimal sebesar 87,5%.

Gambar 4. Ampas Tahu (Gustina, 2016)

2.4. Xanthan Gum dari Substrat Molase

Molase merupakan produk sampingan dari industri pengolahan gula

tebu atau gula bit yang masih mengandung gula dan asam-asam organik. Produksi xanthan gum dari *Xanthomonas campestris* ATCC 1395 menggunakan molase sebagai substrat diteliti oleh Kalogiannis, Iakovidou, Liakopoulou-Kyriakides, Kyriakidis, & Skaracis (2003). Molase diinokulasi dengan 5% (v/v) bakteri *Xanthomonas campestris* yang telah dibiakan. Hasil akhir penelitian ini menunjukkan xanthan gum maksimum yang dihasilkan menggunakan 175 g/l substrat molase, 4 g/l KH_2PO_4 , pada pH netral dan waktu fermentasi 24 jam adalah 53 g/l. Hasil penelitian juga dilaporkan penggunaan KH_2PO_4 sebagai zat penyangga (*buffering agent*) dapat digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan *Xanthomonas campestris*.

Gambar 5. Molase dari Pengolahan Industri Gula Tebu (Anonim, 2017)

2.5. Xanthan Gum dari Substrat Kulit Kelapa Hijau (*Green Coconut Shell*)

Produksi xanthan gum dari bakteri *Xanthomonas campestris* menggunakan substrat kulit kelapa hijau telah diteliti oleh (Nery, Cruz, & Druzian, 2013). Kulit kelapa hijau merupakan salah satu sumber biomassa yang diketahui mengandung karbohidrat tinggi yaitu sekitar $7,90 \pm 0,01$ pada berat basah atau $75,23 \pm 0,01$ pada berat kering, yang dapat dikonversi secara biologis menjadi gula bebas sebagai alternatif sumber karbon. Kulit kelapa hijau juga diketahui terdiri dari 19,9% selulosa, 68,7% hemiselulosa dan 30,1% lignin.

Bahan-bahan tersebut memiliki kandungan gula: L-arabinosa, galaktosa, L-rhamnosa, xilosa dan glukosa, yang mana kandungan glukosa tersedia sekitar 26% dari serbuk kulit kelapa hijau.

Gambar 6. Kulit Kelapa Hijau (Anonim, 2019)

Kulit kelapa hijau yang digunakan di bentuk serbuk terlebih dahulu, kemudian 80 g serbuk diekstrak dalam air dengan cara di-*stirrer* selama 30 menit. Hasil ekstrak disaring untuk memisahkan endapan/ampas dengan saringan ukuran pori 0,35 mm. Ekstrak tersebut selanjutnya digunakan sebagai media fermentasi dengan penambahan urea dan fosfat dengan perbandingan urea 0,01% dan K_2HPO_4 0,10%. Proses fermentasi media dilakukan dalam bioreaktor, dengan pengaturan kecepatan pengadukan antara 400-640 rpm, saturasi O_2 antara 20-30%, suhu 28°C dan pH 7. Proses fermentasi dilakukan selama 60 jam dengan menggunakan bakteri *Xanthomonas*

campestris. Pada kondisi yang diteliti, dilaporkan dari 80 g ekstrak serbuk yang digunakan dapat menghasilkan sekitar 10,5 g/l xanthan gum. Pada hasil penelitian juga dilaporkan nilai viskositas xanthan gum maksimum yang dihasilkan dari kulit kelapa hijau lebih tinggi dibandingkan dengan xanthan gum yang dibuat dengan substrat sukrosa (Nery et al., 2013).

III. PERBANDINGAN RENDEMAN XANTHAN GUM DARI SUBSTRAT BIOMASSA, GLUKOSA DAN SUKROSA

Glukosa dan sukrosa merupakan sumber karbon yang paling umum digunakan sebagai substrat produksi xanthan gum pada skala industri. Salah satu fokus utama dalam pengembangan produksi xanthan gum komersial saat ini adalah pencarian alternatif pengganti bahan tersebut. Salah satu solusinya adalah dengan pemanfaatan substrat limbah biomassa sebagai sumber karbon alternatif. Penggunaan substrat yang berbeda dari substrat umumnya, tentunya akan memerlukan optimasi kondisi variabel yang berbeda dalam proses fermentasinya. Selain itu, penggunaan substrat yang berbeda juga dapat menghasilkan kualitas xanthan gum yang berbeda. Pada Tabel 1 ditampilkan perbandingan rendemen xanthan gum dari media glukosa, sukrosa, dan biomassa.

Tabel 1. Perbandingan Rendemen Xanthan Gum yang Dihasilkan dari Beberapa Substrat

Substrat	Rendemen xanthan gum (%)
Glukosa (Palaniraj & Jayaraman, 2011)	73,7
Sukrosa (Palaniraj & Jayaraman, 2011)	66,2
Ampas singkong (Woiciechowski et al., 2004)	70,7
Sisa pengolahan kedelai (Ampas tahu) (Gustiani, Helmy, Kasipah, & Novarini, 2017)	87,5
Molase (Kalogiannis et al., 2003)	30,3
Kulit kelapa hijau (Nery et al., 2013)	13,6

Tabel 1 menunjukkan xanthan gum yang diproduksi dari alternatif sumber karbon ampas singkong dan sisa pengolahan kedelai memiliki kualitas rendeman yang kompetitif untuk pengganti glukosa dan sukrosa. Konsentrasi sumber karbon merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi rendeman xanthan gum yang dihasilkan. Menurut Palaniraj & Jayaraman (2011) konsentrasi terbaik sumber karbon yang diperlukan untuk media fermentasi adalah 2-4%, konsentrasi yang lebih tinggi dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Xanthomonas campestris* dalam proses fermentasi.

IV. VARIABEL EFEKTIF DALAM PRODUKSI XANTHAN GUM

4.1. Pengaruh Komposisi Media Fermentasi

Pengetahuan tentang nutrisi yang diperlukan oleh bakteri *Xanthomonas campestris* dalam produksi xanthan gum sangat penting. Tujuannya agar dapat menyediakan media yang dapat memenuhi nutrisi kimia dan organik yang diperlukan saat proses fermentasi, sehingga proses produksi dapat terstandarisasi, menjaga

kualitas xanthan gum dan mengurangi biaya produksi (Lopes et al., 2015). Untuk sintesis xanthan gum, *Xanthomonas campestris* memerlukan nutrisi makro yaitu karbon dan nitrogen serta nutrisi mikro seperti kalium, fosfat dan kalsium. Bakteri *Xanthomonas campestris* memerlukan sumber karbon yang dapat dikonversi menjadi gula sederhana sebagai substrat produksi xanthan gum. Pemakaian substrat yang berbeda akan mempengaruhi ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan dari bakteri *Xanthomonas campestris*. Substrat yang berbeda mempengaruhi struktur gugus kimia rantai samping dari xanthan gum, tetapi tidak mempengaruhi struktur utamanya. Hal tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan masa molekul dan rendeman yang dihasilkan dari masing-masing substrat (Palaniraj & Jayaraman, 2011). Struktur kimia xanthan gum mempunyai rantai utama dengan ikatan β (1,4) D-Glukosa (Gambar 7), yang menyerupai struktur selulosa. Rantai cabang terdiri dari manosa asetat dan residu asam glukuronat yang berasal dari substrat.

Gambar 7. Struktur Utama Xanthan Gum

Produksi xanthan gum oleh bakteri *Xanthomonas campestris* diatur oleh ketersediaan sumber karbon pada substrat yang digunakan. Jenis sumber karbon yang tersedia juga menjadi variabel dalam produksi xanthan gum, yang mana jenis sumber karbon dapat digunakan secara optimum dalam proses fermentasi jika berada dalam bentuk gula sederhana. Oleh karenanya beberapa hasil penelitian yang menggunakan substrat alternatif melakukan *pre-treatment* terhadap substrat yang digunakan. Niknezhad et al (2015) melakukan *pre-treatment* hidrolisis menggunakan enzim α -amylase terhadap substrat dari tepung gandum, Woiciechowski et al (2004) melakukan *pre-treatment* awal terhadap substrat ampas singkong melalui proses hidrolisis menggunakan larutan HCl 1%, Purwadi & Lim (2010) melakukan *pre-treatment* awal terhadap substrat singkong melalui proses ekstraksi dengan pelarut air.

Konsentrasi substrat yang digunakan saat proses fermentasi juga mempengaruhi rendeman xanthan gum yang dihasilkan. Konsentrasi optimal sumber karbon yang digunakan direkomendasikan setara 2-4% glukosa, konsentrasi substrat yang lebih tinggi dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Xanthomonas campestris* (Palaniraj & Jayaraman, 2011). Nitrogen adalah nutrisi penting yang perlu tersedia pada media fermentasi xanthan gum dalam jumlah yang terkontrol. Sumber nitrogen yang tersedia digunakan untuk produksi enzim pada fase pertumbuhan sel bakteri selama proses fermentasi (Palaniraj & Jayaraman, 2011). Ketersediaan sumber nitrogen yang terlalu tinggi tidak diperlukan dalam fase produksi xanthan gum. Oleh karenanya beberapa hasil penelitian melaporkan meningkatnya sumber nitrogen yang digunakan pada fase produksi berpengaruh negatif terhadap xanthan gum yang dihasilkan seperti yang dilaporkan oleh Psomas & Liakopoulou-Kyriakides, M Kyriakidis (2007); Salah et al (2010); Gilani, Najafpour, Heydarzadeh, & Zare (2011); Yuhernita & Juniarti (2011); Moshaf, Hamidi-Esfahani, & Azizi (2015); Farhadi, Khosravi-Darani, & Nasernejad (2012); Habibi & Khosravi-darani (2017); dan

Khosravi-Darani et al (2011), sehingga diperlukan pembatasan jumlah nitrogen yang digunakan pada fase produksi xanthan gum dibandingkan dengan fase pertumbuhan bakteri. Beberapa penelitian yang telah dilaporkan melakukan kontrol terhadap jumlah nitrogen yang tersedia pada media dengan cara mengontrol rasio karbon dan nitrogen (C/N) pada masing-masing fase fermentasi (Khosravi-Darani et al, 2011).

Penggunaan berbagai sumber nitrogen juga telah dilaporkan sebelumnya, baik berupa senyawa anorganik atau molekul organik. Pada penggunaan sumber nitrogen organik (ekstrak yeast dan pepton) dan sumber anorganik (urea, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, NH_4Cl , NH_4NO_3 , NaNO_3) dengan konsentrasi 600 mg/l menghasilkan pengaruh yang berbeda-beda terhadap efisiensi produksi xanthan gum dengan *Xanthomonas campestris* seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 (Habibi & Khosravi-darani, 2017).

Tabel 2. Pengaruh Penggunaan Beberapa Sumber Nitrogen pada Produksi Xanthan Gum

Sumber nitrogen	Konsentrasi xanthan gum (g/l)
Yeast ekstrak	40,40
Urea	42,60
Peptone	41,30
$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	41,00
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	27,80
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	38,40
NH_4Cl	44,00
NH_4NO_3	42,00
NaNO_3	32,00

Diantara sumber nitrogen anorganik yang dilaporkan, amonium klorida (NH_4Cl) menunjukkan efisiensi tertinggi dalam produksi xanthan gum.

Ketersediaan nutrisi mikro lainnya seperti fosfor dan sulfur juga dapat mempengaruhi langsung produksi xanthan gum (García-Ochoa, Santos, & Fritsch, 1992). Penambahan fosfat dalam

konsentrasi minimum 4 g/l dapat meningkatkan produksi xanthan gum, karena fosfat berfungsi sebagai senyawa penyangga (buffer) dalam media sehingga dapat mengurangi fluktuasi pH pada kultur (Kalogiannis et al., 2003). García-Ochoa et al (1992) juga telah melaporkan pengaruh nutrisi mikro seperti fosfor, sulfur dan magnesium dalam biomassa untuk produksi xanthan gum. Hasil penelitian dilaporkan bahwa fosfor harus tersedia dalam media dalam jumlah kurang dari 2,86 g/l, sulfur harus tersedia kurang dari 0,089 g/l, dan magnesium harus tersedia lebih dari 0,05 g/l. Konsentrasi nutrisi mikro diluar batas yang diteliti menyebabkan dampak yang negatif pada produksi xanthan gum.

4.2. Pengaruh pH

Sebagian besar hasil penelitian (Gumus, Demirci, Mirik, Arici, & Aysan., 2010; Kerdsup & Tantratian, 2011; Silva et al., 2009; dan Lopes et al., 2015) melaporkan bahwa pH netral 6-8 merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan bakteri *Xanthomonas campestris* untuk produksi xanthan gum. Hasil penelitian menunjukkan nilai pH dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri namun tidak berpengaruh terhadap produksi xanthan gum (García-Ochoa, Gómez Castro, & Santos, 2000). Sedangkan menurut Psomasa, Liakopoulou-Kyriakides, & Kyriakidis, (2007) nilai pH dari media setelah difermentasi selama 24 jam berada diantara 7-8, setelah 48 jam nilai pH berada diantara 8-9,5 dan setelah 72 jam fermentasi nilai pH medium berada diantara 8-10, yang mana nilai tersebut juga dipengaruhi oleh kontrol terhadap pengadukan dan temperatur yang dilakukan. Esgalhado, Roseiro, & Amaral Collaço(1995) melaporkan pH optimum untuk media kultur pertumbuhan bakteri *Xanthomonas* adalah 6-7,5 dan pH optimum untuk produksi xanthan gum adalah 7-8. Beberapa peneliti melaporkan penggunaan senyawa alkali dalam mengontrol pH selama produksi xanthan gum, seperti KOH, NaOH, (NH)₄OH, atau K₂HPO₄ (Stavros Kalogiannis et al., 2003;

Lopes et al., 2015). Stavros Kalogiannis et al (2003) melaporkan penggunaan K₂HPO₄ untuk mengatur variasi pH 5,1-7,7 sebagai garam penyangga (buffer) pada kultur *Xanthomonas campestris*. Produksi xanthan gum maksimum dihasilkan pada pH 6,6 setelah fermentasi selama 24 jam.

4.3. Pengaruh Suhu

Suhu selama fermentasi diketahui dapat memberikan pengaruh terhadap rendemen dan karakteristik xanthan gum. Sebagian besar hasil penelitian melaporkan rendemen xanthan gum terbaik dihasilkan pada suhu fermentasi 28°C (Lopes et al., 2015; Gumus et al., 2010; Silva et al., 2009; Kerdsup, Tantratian, Sanguandeeul, & zlmjongjirak., 2009; Kerdsup & Tantratian., 2011). Menurut Casas, Santosa, & García-Ochoa (2000), pada temperatur tinggi (mendekati 34°C), xanthan gum yang dihasilkan memiliki kandungan asetat dan piruvat yang rendah serta memiliki masa molekul yang rendah, sehingga berdampak pada rendahnya viskositas yang akan dihasilkan oleh xanthan gum.

4.4. Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Aerasi

Kontrol terhadap laju alir oksigen (aerasi) diperlukan selama proses fermentasi untuk mencapai kondisi optimal produksi xanthan gum, sebab selama proses produksi xanthan gum, peningkatan viskositas yang terjadi pada xanthan merupakan hasil dari metabolisme ekstraseluler pada bakteri secara aerobik yang memanfaatkan oksigen terlarut pada media (Garcia-Ochoa, Santos, Casas, & Gomez, 2000), sehingga oksigen terlarut dapat menjadi pembatas nutrisi selama fermentasi apabila tidak dikontrol. Kontrol terhadap kecepatan pengadukan juga diperlukan dalam proses fermentasi. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap komposisi kimia xanthan gum yang diproduksi oleh *Xanthomonas campestris* ATCC 1395 pada fermentor skala laboratorium tanpa mengontrol pH telah dilaporkan oleh (Papagianni et al., 2001). Proses fermentasi dilakukan pada kecepatan pengadukan 100-600 rpm, hasil

penelitian menunjukkan kandungan piruvat meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengadukan namun tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan berat molekul xanthan gum. Pada hasil kajian lainnya dilaporkan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap produksi xanthan gum skala laboratorium pada labu erlenmayer dan reaktor *batch* kapasitas 2 liter (Habibi & Khosravi-darani, 2017). Hasil penelitian menunjukkan kecepatan pengadukan 600 rpm memberikan kondisi optimum pada produksi xanthan gum pada suhu 28°C setelah 45 jam.

Hasil studi lainnya (Purwadi & Lim, 2010) melaporkan dengan variasi laju pengadukan 100 rpm menghasilkan peningkatan viskositas dua kali lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pengadukan 150 rpm (tanpa memvariasikan laju alir oksigen). Beberapa penelitian melaporkan hubungan antara kecepatan pengadukan dan laju aerasi dengan rendaman dan karakteristik reologi dari produk xanthan gum. Ketika kecepatan pengadukan dilakukan pada $< 8,3$ Hz, produksi xanthan gum berkurang karena perpindahan masa oksigen menjadi terbatas dengan meningkatnya viskositas dari media. Ketika kecepatan pengadukan dilakukan pada $> 8,3$ Hz, produksi xanthan gum juga tetap rendah karena rusaknya sel *Xanthomonas campestris* akibat tekanan hidrodinamika yang tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut, kecepatan pengadukan harus dikontrol selama fermentasi, dari pemberian kecepatan rendah (3,3–5 Hz) pada tahap awal (inisiasi) fermentasi hingga pemberian kecepatan tinggi secara bertahap (Lopes et al., 2015).

4.5. Pengaruh Waktu Fermentasi

Waktu fermentasi dapat mempengaruhi kualitas dan rendaman produksi xanthan gum yang dihasilkan. Nery et al (2013) melaporkan pengaruh waktu fermentasi terhadap pembentukan produk xanthan gum menggunakan substrat ampas kelapa hijau. Hasil penelitian menunjukkan waktu pembentukan produk optimum terjadi diantara 40-50 jam

proses fermentasi. Hal tersebut sebanding dengan jumlah pertumbuhan bakteri *xanthomonas* yang diamati, yang mana tingkat pertumbuhannya mulai menurun setelah 50 jam masa fermentasi. Hasil lainnya dilaporkan oleh Woiciechowski et al (2004), kinetika fermentasi dari ampas singkong terhidrolisis dengan penambahan kalium nitrat sebagai sumber nitrogen, produksi xanthan gum maksimum dihasilkan setelah mencapai waktu fermentasi 48 jam, kemudian jumlahnya akan konstan sampai waktu fermentasi 72 jam, dan mulai menurun hingga berhenti pada waktu fermentasi mencapai 96 jam. Beberapa hasil penelitian lainnya melaporkan adanya pengaruh waktu fermentasi terhadap struktur molekul xanthan gum yang dihasilkan. Selama waktu fermentasi, kandungan asam asetat dalam struktur xanthan gum dilaporkan meningkat, selain itu konsentrasi piruvat juga dilaporkan meningkat dan mencapai nilai konstan pada fase stasioner pertumbuhan sel bakteri *xanthomonas* (Habibi & Khosravi-darani, 2017).

4.6. Pengaruh Jumlah Bakteri *Xanthomonas Campestris* yang Digunakan dalam Fermentasi

Pada produksi xanthan gum skala industri, bakteri *Xanthomonas campestris* dapat mengkonversi sekitar 70% dari substrat yang digunakan menjadi xanthan gum. Untuk mencapai efisiensi produksi yang maksimum dengan kualitas produk tinggi, kondisi proses harus dievaluasi dan dikontrol, salah satunya konsentrasi inokulum *Xanthomonas campestris* yang digunakan (Lopes et al., 2015). Faria, Vieira, Resende, França, & Cardoso (2009) telah meneliti pengaruh konsentrasi inokulum *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 yang digunakan untuk produksi xanthan gum. Produksi xanthan gum maksimum dihasilkan pada konsentrasi 5% (v/v) inokulum dari *Xanthomonas campestris*. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Purwadi & Lim (2010) dan Stavros Kalogiannis et al (2003) yang menggunakan 5% inokulum bakteri *Xanthomonas campestris* dalam produksi xanthan gum. Woiciechowski et al (2004)

melaporkan penggunaan inokulum bakteri dengan konsentrasi yang lebih kecil untuk produksi xanthan gum yaitu 2% inokulum bakteri *Xanthomonas campestris* dengan proses fermentasi dilakukan selama 72 jam. Pada penelitian lainnya (Salah, Chaari, Besbes, Blecker, & Attia, 2009) dilaporkan penggunaan inokulum yang semakin tinggi 10 dan 15% dapat mempercepat produksi xanthan gum. Hal yang sama juga dilaporkan oleh (Gustiani et al., 2017), yang menggunakan bakteri *Xanthomonas campestris* dengan variasi jumlah bakteri 10, 15 dan 20% (v/v), menghasilkan rendemen xanthan gum paling tinggi pada penggunaan konsentrasi bakteri 20% terhadap media. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya konsentrasi kultur bakteri, maka semakin besar kemampuan bakteri dalam memproduksi xanthan gum yang artinya

semakin baik bakteri *Xanthomonas campestris* dalam mengkonversi substrat menjadi xanthan gum.

V. IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK XANTHAN GUM DAN STATUS REGULASI

Xanthan gum dapat diidentifikasi dari kelarutannya dalam air dan etanol. Xanthan gum yang dihasilkan harus dapat larut dalam air dan sukar larut dalam etanol. Selain itu xanthan gum dapat diidentifikasi dengan mencampurkan larutan xanthan gum dan *carob bean gum* (0,5% w/v) panas kemudian didinginkan pada suhu dibawah 40°C, yang mana akan membentuk sistem gel kenyal seperti karet (Dessipri & Rao, 2016).

Tabel 3. Karakteristik Kemurnian Xanthan Gum

Parameter pengamatan	Standar nilai	Sumber Pustaka
Residu isopropil alkohol	<750 mg/l	Brandão, Esperidião, & Druzian., 2010; Sandra Faria et al (2011)
Zat aditif	<0,1 g/l	Brandão, Esperidião, & Druzian., 2010; Sandra Faria et al (2011)
Kalium klorida	<0,1 g/l	Brandão, Esperidião, & Druzian., 2010; Sandra Faria et al (2011)
Viskositas minimum (pada konsentrasi 2,5-20 g/l, pengadukan 2 jam, <i>shear rate</i> 25-450/detik, dan suhu 24°C)	0,6 Pa	Rottava et al (2009)
Loss on drying	≤15% (105°, 2,5 jam)	53rd JECFA (1999)
Ash (total)	≤16% (setelah pengeringan)	53rd JECFA (1999)
<i>Pyruvic acid</i>	≥1,5%	53rd JECFA (1999)
Nitrogen	≤1,5%	53rd JECFA (1999)
<i>Lead</i>	≤2 mg/kg	53rd JECFA (1999)
<i>Microbiological criteria</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Total plate count</i>: ≤5000 cfu/g • <i>E. coli</i>: Negatif • <i>Salmonella</i>: Negatif • Ragi dan jamur: ≤500 cfu/g 	53rd JECFA (1999)

Produksi xanthan gum untuk kebutuhan komersial khususnya sebagai *food additive* (*stabilizer*, pengental dan *emulsifier*) di USA berada dibawah pengawasan FDA berdasarkan *Federal Register for 21 CFR 172,172.695 – Xanthan gum*. FDA telah menetapkan produksi xanthan gum harus berasal dari *Xanthomonas campestris* melalui proses fermentasi kultur murni dan dimurnikan dengan isopropil alkohol. Selain USA, Kanada, Uni Eropa dan Negara lain telah menerima penggunaan xanthan gum sebagai *food additive*, yang mana di Uni Eropa terdaftar dengan E number E415 (Lopes et al., 2015).

Karakteristik/kualitas xanthan gum yang dihasilkan dianalisis dari beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kemurnian dan kelarutannya. Beberapa literatur melaporkan parameter yang berbeda-beda dalam pengamatan karakteristik yang dilakukan. Pada Tabel 3 disajikan parameter pengamatan karakteristik kemurnian xanthan gum dari beberapa sumber pustaka.

VI. APLIKASI XANTHAN GUM

Xanthan gum dapat larut dengan mudah pada air dingin dan panas serta memiliki stabilitas yang baik pada asam, garam, dan perubahan suhu. Pemakaiannya hanya memerlukan konsentrasi yang rendah. Berdasarkan keunggulan tersebut xanthan gum banyak diaplikasikan secara luas dalam dunia industri (Habibi & Khosravi-darani, 2017). Xanthan gum diaplikasikan secara luas sebagai zat pengental, *stabilizer*, *emulsifier* dan *foaming agent* (Dessipri & Rao, 2016). Aplikasi terbesar xanthan gum terbesar saat ini digunakan pada industri makanan yaitu sebagai zat pengental dan *emulsifier* dalam berbagai produk seperti minuman kemasan, konsentrat buah, coklat, jeli, produk susu, yogurt, margarin, produk *bakery*, makanan beku, dan saus (Sworn, 2009). Aplikasi penting lainnya digunakan dalam meningkatkan perolehan minyak (*enhance oil recovery*) pada proses pengeboran minyak bumi. Hanya dengan konsentrasi rendah, xanthan gum dapat menghasilkan peningkatan viskositas

larutan yang signifikan (Lopes et al., 2015) dan mudah terhidrasi pada suhu yang relatif rendah, karena hal tersebut xanthan gum sangat ideal untuk digunakan dalam formula makanan/minuman bayi yang biasanya dilarutkan pada air suhu kamar (Dessipri & Rao, 2016). Penelitian lainnya (Mohammadi, Sadeghnia, Azizi, Neyestani, & Mortazavian, 2014) melaporkan penggunaan xanthan gum dan *carboxymetil cellulosa (cmc)* dalam formulasi roti bebas gluten (*gluten-free bread*). Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan kadar air dan penurunan kekerasan pada roti. Peningkatan konsentrasi xanthan gum pada formula roti lebih efektif dalam menurunkan tekstur keras pada roti dan meningkatkan elastisitasnya.

VII. POTENSI PASAR

Potensi pasar dunia dari xanthan gum diperkirakan mencapai US\$ 400 juta pada tahun 2015. Produksi xanthan gum dunia pada berbagai sektor diperkirakan mencapai 86.000 ton setiap tahun. Kebutuhan ini diprediksi akan terus meningkat dengan estimasi pertumbuhan mencapai 5–10% per-tahun (Lopes et al., 2015). Xanthan gum yang beredar di Indonesia di dominasi oleh produk impor dari Prancis (merek dagang: *Sanofi*, *Rhone Paulenc*), Amerika (*Kelco*), Austria (*Jungbun zlaue*), dan Cina. Indonesia belum memiliki industri penghasil xanthan gum yang mampu memenuhi kebutuhan nasional. Harga pasaran xanthan gum di Indonesia berkisar antara US\$ 1.600-1.850 per ton. Salah satu penggunaannya yang luas pada industri di Indonesia adalah sebagai zat pengental. Kebutuhan impor bahan pengental di Indonesia cukup tinggi yaitu mencapai 822 ton pada periode Januari-November 2018 dengan rata-rata pertumbuhan 4,7% per-bulannya (Subdirektorat statistik impor, 2018). Produsen xanthan gum terbesar dunia saat ini dapat ditemukan di China (Fufeng Group Limited dan Deosen Biochemical Co., Ltd) dan Austria (Jungbunzlaue Suisse AG). Berdasarkan data tersebut menunjukkan pengembangan produksi

xanthan gum lokal di Indonesia sebenarnya sangat potensial dilakukan, mengingat besarnya kebutuhan xanthan gum nasional setiap tahunnya.

VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa hasil penelitian yang telah dibahas dalam review ini dapat memberikan alternatif dalam rangka meningkatkan efisiensi produksi xanthan gum, diantaranya pemanfaatan sumber karbon dari biomassa (singkong, ampas singkong, molase, sisa pengolahan kedelai, dan kulit kelapa hijau) dan pengaturan kondisi proses fermentasi. Berdasarkan hasil beberapa studi, kondisi proses fermentasi optimum dapat dicapai menggunakan konsentrasi substrat 2-4%, konsentrasi bakteri 5-20%, pH netral, suhu 28°C, pengadukan (100-600 rpm) yang ditingkatkan secara bertahap, dan proses dilakukan selama 50-96 jam. Penggunaan sumber karbon dari substrat alternatif selain glukosa dan sukrosa disarankan menggunakan *pre-treatment* awal hidrolisis untuk mengubah sumber karbon yang tersedia menjadi gula sederhana sehingga bisa digunakan secara efektif untuk produksi. Pengembangan produksi xanthan gum dengan efisiensi tinggi memiliki peluang investasi yang besar bagi investor/calon investor produsen xanthan gum. Terlebih lagi kebutuhan xanthan gum secara nasional dan global yang terus meningkat setiap tahunnya. Khusus untuk memenuhi kebutuhan nasional, pengembangan industri xanthan gum sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia, mengingat semua kebutuhan xanthan gum nasional saat ini masih dipenuhi dari impor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Kementerian Perindustrian yang telah menyediakan sarana dan prasarana selama pelaksanaan penelitian review.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2013). Onggok singkong sebagai alterlatif pakan ayam kampung kita. Retrieved from <https://sukajayafarm.wordpress.com/2013/05/01/onggok-sebagai-alterlatif-pakan-ayam-kampung-kita/>
- Anonim. (2017). Sugarcane-molasses. Retrieved from <https://i0.wp.com/www.bioenergyconsult.com/wp-content/uploads/2017/03/sugarcane-molasses.jpg>
- Anonim. (2019). Stock photo farmer cutting coconut shell. Retrieved from https://img3.stockfresh.com/files/y/yon/gkiet/m/91/5689381_stock-photo-farmer-cutting-coconut-shell.jpg
- Brandão, L., Esperidião, M. C., & Druzian, J. I. (2010). Utilização do soro de mandioca como substrato fermentativo para a biosíntese de goma xantana: Viscosidade aparente e produção. *Polímeros*, 20(3), 175–180. <https://doi.org/10.1590/S010414282010005000029>
- Casas, J. ., Santosa, V. ., & García-Ochoa, F. (2000). Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties. *Enzyme and Microbial Technology*, 26(2–4), 282–291. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(99\)00160-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229(99)00160-X)
- Dessipri, E. P. ., & Rao, M. V. ph. . Xanthan gum-chemical and technical assessment (cta) prepared, Pub. L. No. 82nd JECFA, 1 (2016). USA: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Esgalhado, M. E., Roseiro, J. C., & Amaral Collaço, M. T. (1995). Interactive effects of pH and temperature on cell growth and polymer production by *Xanthomonas campestris*. *Process Biochemistry*, 30(7), 667–671. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/032-9592\(94\)00044-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/032-9592(94)00044-1)
- Farhadi, G. B., Khosravi-Darani, K., & Nasernejad, B. (2012). Enhancement of Xanthan Production on Date Extract

- Using Response Surface Methodology. *Asian Journal of Chemistry*, 24(9), 1–4.
- Faria, S., Lúcia, C., Petkowicz, D. O., Antônio, S., Morais, L. De, Gonzalo, M., ... Cardoso, V. L. (2011). Characterization of xanthan gum produced from sugar cane broth. *Carbohydrate Polymers*, 86, 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.063>
- Faria, S., Vieira, P., Resende, M., França, F., & Cardoso, V. (2009). A Comparison Between Shaker and Bioreactor Performance Based on the Kinetic Parameters of Xanthan Gum Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 156(1–3), 45–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12010-008-8485-8>
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., & Gomez, E. (2000). Xanthan gum: Production, Recovery, and Properties. *Biotechnology Advances*, 18, 549–579.
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., & Fritsch, A. P. (1992). Nutritional study of *Xanthomonas campestris* in xanthan gum production by factorial design of experiments. *Enzyme and Microbial Technology*, 14, 991–996. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(92\)90083-Z](https://doi.org/10.1016/0141-0229(92)90083-Z)
- García-Ochoa, F., Gómez Castro, E., & Santos, V. E. (2000). Oxygen transfer and uptake rates during xanthan gum production. *Enzyme and Microbial Technology*, 27, 680–690. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(00\)00272-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229(00)00272-6)
- Ghashghaei, T., Soudi, M. R., & Hoseinkhani, S. (2016). Optimization of xanthan gum production from grape juice concentrate using plackett-burman design and response surface methodology. *Applied Food Biotechnology*, 3(1), 15–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.22037/afb.v3i1.9984>
- Gilani, S. ., Najafpour, G. ., Heydarzadeh, H. ., & Zare, H. (2011). Kinetic models for xanthan gum production using *Xanthomonas campestris* from molasses. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 17(2), 179–187. <https://doi.org/10.2298/CICEQ101030002G>
- Gumus, T., Demirci, A. S., Mirik, M., Arici, M., & Aysan, Y. (2010). Xanthan gum production of *xanthomonas* spp . Isolated from different plants, 19(1), 201–202. *Food Science Biotechnology*, <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0027-9>
- Gustiani, S., Helmy, Q., Kasipah, C., & Novarini, E. (2017). Produksi dan karakterisasi gum xanthan dari ampas tahu sebagai pengental pada proses tekstil. *Arena Tekstil*, 32(2), 51–58.
- Gustiani, S., Helmy, Q., Kasipah, C., & Novarini, E. (2018). Produksi dan karakterisasi gum xanthan dari ampas tahu sebagai pengental pada proses tekstil. *Jurnal Arena Tekstil*, 32(2), 51–58.
- Gustina. (2016). Ampas tahu sebagai pakan ternak. Retrieved from <https://www.peternakankita.com/ampas-tahu-sebagai-pakan-ternak/>
- Habibi, H., & Khosravi-darani, K. (2017). Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.013>
- Kalogiannis, S., Iakovidou, G., Liakopoulou-Kyriakides, M., Kyriakidis, D. A., & Skaracis, G. N. (2003). Optimization of xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* grown in molasses. *Process Biochemistry*, 39, 249/ 256. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00067-0)
- Kerdsup, P., Tantratian, S., Sanguandeekul, R., & Imjongjirak. (2009). Xanthan production by mutant strain of *Xanthomonas campestris* TISTR 840 in raw cassava starch medium. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1459–1462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-009-0250-7>

- Khosravi-Darani, K., Reyhani, F. S., Nejad, B., & Farhadi, G. B. N. (2011). Bench scale production of xanthan from date extract by *Xanthomonas campestris* in submerged fermentation using central composite design. *African Journal of Biotechnology*, 10(62), 13520–13527. <https://doi.org/10.5897/AJB11.018>
- Kongruang, S., Thakonthawat, M., & Promtu, R. (2005). Growth kinetics of xanthan production from uneconomical agricultural products with *Xanthomonas campestris* TISTR 1100. *Journal of Applied Sciences*, 4, 78–88.
- Li, P., Zeng, Y., Xie, Y., Li, X., Kang, Y., Wang, Y., ... Zhang, Y. (2017). Effect of pretreatment on the enzymatic hydrolysis of kitchen waste for xanthan production. *Bioresource Technology*, 223, 84–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.035>
- Lopes, B. D. M., Lessa, V. L., Silva, B. M., Filho, M. A. D. S. C., Schnitzler, E., & Lacerda, L. G. (2015). Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. *Journal of Food and Nutrition Research*, 54(3), 185–194.
- Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M.-H., Neyestani, T.-R., & Mortazavian, A. M. (2014). Journal of industrial and engineering chemistry development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1812–1818. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.035>
- Moshaf, S., Hamidi-Esfahani, Z., & Azizi, M. (2015). Statistical optimization of xanthan gum production and influence of airflow rates in lab-scale fermentor. *Applied Food Biotechnology*, 1(1), 17–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.22037/afb.v1i1.7132>
- Nery, T. B. R., Cruz, A. J. G. da, & Druzian, J. I. (2013). Use of green coconut shells as an alternative substrate for the production of xanthan gum on different scales of fermentation. *Polímeros*, 23(5), 602–607. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.094>
- Niknezhad, S. V., Asadollahi, M. A., Zamani, A., & Biria, D. (2015). Production of xanthan gum by free and immobilized cells of *Xanthomonas campestris* and *Xanthomonas pelargonii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 751–756. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.065>
- Palaniraj, A., & Jayaraman, V. (2011). Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering*, 106(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.035>
- Papagianni, M., Psomas, S., Batsilas, L., Paras, S., Kyriakidis, D., & Liakopoulou-Kyriakides, M. (2001). Xanthan production by *Xanthomonas campestris* in batch cultures. *Process Biochem*, 37(1), 73–80. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00174-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00174-1)
- Psomas, S., & Liakopoulou-Kyriakides, M. Kyriakidis, D. (2007). Optimization study of xanthan gum production using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*, 35(3), 273–280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.01.036>
- Psomasa, S. K., Liakopoulou-Kyriakides, M., & Kyriakidis, D. (2007). Optimization study of xanthan gum production using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*, 35(3), 273–280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.01.036>
- Purwadi, R., & Lim, H. (2010). Ekstrak singkong sebagai substrat pada produksi xanthan gum menggunakan *Xanthomonas campestris*. *Proceeding In Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo* (pp. 1–10).
- Salah, R. Ben, Chaari, K., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2009). Production of xanthan gum from

- Xanthomonas campestris nr1 b-1459 by fermentation of date juice palm by-products (Phoenix dactylifera L.). *Journal of Food Process Engineering*, 34, 457–474. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00369.x>
- Salah, R., Chaari, K., Besbes, S., Ktari, N., Blecker, C., Deroanne, C., & Attia, H. (2010). Optimisation of xanthan gum production by palm date (Phoenix dactylifera L.) juice by-products using response surface methodology. *Food Chemistry*, 121(2), 627–633. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.077>
- Silva, M. F., Fornari, R. C. G., Mazutti, M. A., Oliveira, D. de, Padilha, F. F., Cichoski, A. J., ... Treichel, H. (2009). Production and characterization of xanthan gum by Xanthomonas campestris using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering*, 90, 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.010>
- Subdirektorat statistik impor, B. (2018). *Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri, Impor November 2018* (November 2). Jakarta: CV. Handayani Prima.
- Sworn, G. (2009). Xanthan gum. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (Second ed, pp. 186–203). Wood head Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.186>
- Wisnubrata. (2019). Kenali kandungan nutrisi dan manfaat singkong untuk tubuh. Retrieved from <https://lifestyle.kompas.com/read/2019/11/05/060600820/kenali-kandungan-nutrisi-dan-manfaat-singkong-untuk-tubuh?page=all>
- Woiciechowski, A. L., Soccol, C. R., Rocha, S. N., & Pandey, A. (2004). Xanthan gum production from cassava bagasse hydrolysate with xanthomonas campestris using alternative sources of nitrogen. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 118, 305–312.
- Yuhernita, & Juniarti. (2011). Analisis senyawa metabolit sekunder dari ekstrak metanol daun surian yang berpotensi sebagai antioksidan. *Jurnal Makara Sains*, 15(1), 48–52. <https://doi.org/10.7454/mss.v15i1.877>