

MODEL MATEMATIKA UNTUK ANALISIS KUANTITATIF PRODUKSI PLANT GROWTH-PROMMOTING RHIZOBACTERIA DALAM LOW-COST SUBSTRAT DENGAN PROSES ANAEROB

Mathematical Model for Quantitative Analysis of Plant Growth-Promotting Rhizobacteria's Production on Low-Cost Substrat by Anaerobic Process

Gregorius Prima Indra Budianto^{1*}, Susan Primadevi² dan Rahmat Budi Nugroho²

¹Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta

Jl. Let Jen Sutoyo Mojosongo Surakarta Telp; (0271) 852518 Fax. (0271) 853275

²Program Studi Analis Kesehatan Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Setia Budi Surakarta

Jl. Let Jen Sutoyo Mojosongo Surakarta Telp; (0271) 852518 Fax. (0271) 853275

*E-mail: gregoriusjoseph87@gmail.com

Abstrak

Plant Growth-Promotting Rhizobacteria (PGPR) adalah kelompok bakteri menguntungkan yang secara aktif mengkolonisasi daerah perakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses pembuatan PGPR dalam low-cost substrat berdasarkan model matematis. Proses pembuatan PGPR dijalankan dalam kondisi anaerob dengan sistem batch. Hasil yang diperoleh adalah proses produksi PGPR dalam low-cost substrat dapat didekati dengan persamaan contois, nilai parameter kinetika terkait pertumbuhan yang meliputi μ_m, K_{sx} dan $Y_{x/s}$ masing-masing sebesar 3,4556, 1189,8333 dan 0,0582 dan perbandingan optimum proses produksi PGPR asal akar bambu dalam low-cost substrat adalah 1 : 1 dengan waktu tinggal padatan (SRT) selama 10 hari.

Kata kunci: model matematika, plant growth-prommoting rhizobacteria, proses anaerob

Abstract

Plant Growth-Prommoting Rhizobacteria (PGPR) are advantageous bacteria consortium that actively colonized on the rhizosfer. The objective of this research is investigate PGPR's production on low-cost substrat using mathematical model. This research was conducted in batch anaerobic system. The result is PGPR's production on low-cost substrat could be simulated with Contois's Model, growth kinetics parameters values that include μ_m, K_{sx} and $Y_{x/s}$ are 3,4556; 1189,8333 and 0,0582 respectively and the optimum composition of PGPR's production from bamboo's root on low-cost substrat is 1 : 1 with Solids Retention Time (SRT) is 10 days.

Key words: anaerobic process, mathematical model, plant growth-promotting rhizobacteria's

PENDAHULUAN

Plant Growth-Prommoting Rhizobacteria (PGPR)

PGPR adalah kelompok bakteri yang secara aktif mengkoloni daerah perakaran. Aktivitas PGPR memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung PGPR didasarkan pada kemampuannya memfasilitasi penyerapan hara dalam tanah serta mensintesis fitohormon sedangkan pengaruh tidak langsung berkaitan dengan kemampuan PGPR menekan aktivitas bakteri patogen (Zainudin, 2014).

Berbagai jenis bakteri telah diidentifikasi sebagai PGPR. Sebagian besar berasal dari

genus *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* Genus *Pseudomonas sp.* mampu menghasilkan *Indol Acetic Acid* (IAA) dan sitokinin sedangkan genus *Bacillus sp.* mampu mensintesis IAA dan giberelin (Sutariati, 2006).

Mekanisme PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu: (1) sebagai pemacu atau perangsang pertumbuhan (*biostimulant*) dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi zat pengatur tumbuh dalam rizosfer; (2) sebagai penyedia unsur hara (*biofertilizer*) membantu dalam proses *Biological Nitrogen Fixation* (BNF) dan pelarut fosfat dalam tanah; (3) sebagai pengendali pathogen (*bioprotectants*) yang ada di dalam tanah dengan cara

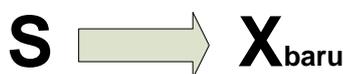
menghasilkan senyawa anti patogen (Rahni,2012).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan produksi PGPR diantaranya adalah sebagai berikut: Saylendra (2013) yang meneliti tentang potensi *Bacillus* sp dan *Pseudomonas* sp sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan Beneduzi (2012) yang juga meneliti tentang potensi PGPR sebagai agen biocontrol. Rahni (2012) meneliti pengaruh fitohormon dalam PGPR terhadap pertumbuhan tanaman jagung.

Penelitian ini akan mempelajari laju pertumbuhan konsorsium PGPR melalui analisis kuantitatif dengan penyusunan dan penyelesaian model matematika sehingga didapatkan parameter kinetika yang terkait dengan pertumbuhan PGPR. Selanjutnya parameter kinetika tersebut dapat digunakan sebagai pertimbangan kuantitatif untuk sistem produksi PGPR.

Model Matematis

Penyusunan model matematis didasarkan pada proses yang terjadi pada produksi PGPR. Proses yang terjadi adalah proses degradasi substrat yang digunakan untuk pertumbuhan dan pembentukan sel baru.



Gambar 1. Mekanisme sederhana dari produksi PGPR

Kecepatan pertumbuhan mikroorganisme dimodelkan dengan kecepatan pertumbuhan spesifik netto (*net specific growth rate*), yang dinyatakan dengan:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{net}X \quad (1)$$

dengan μ_{net} adalah kecepatan pertumbuhan spesifik netto (hari^{-1}); X adalah konsentrasi massa sel bakteri (mg/L); $\frac{dX}{dt}$ adalah kecepatan pertumbuhan sel ($\frac{\text{mg/L}}{\text{hari}}$).

Pada fase eksponensial nilai kecepatan pertumbuhan spesifik netto akan mendekati nilai gross specific growth rate (μ_g).

$$\frac{dX}{dt} = \mu_g X \quad (2)$$

Substrat (S) dikonsumsi oleh bakteri untuk pertumbuhan sel baru, dan mempertahankan diri sehingga kecepatan pengurangan S dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{dX}{dt} + mX + kX \quad (3)$$

Pada fase eksponensial nilai koefisien kematian ($k \sim 0$) sehingga kX dapat diabaikan dan substrat yang dikonsumsi untuk mempertahankan diri jauh lebih kecil daripada substrat yang dikonsumsi untuk pertumbuhan ($m \sim 0$) sehingga nilai mX juga dapat diabaikan sehingga persamaan (3) menjadi

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

dengan $-\frac{dS}{dt}$ adalah laju degradasi *Volatiles Solids* (VS) ($\frac{\text{mg/L}}{\text{hari}}$); $Y_{X/S}$ adalah yield massa sel yang dihasilkan tiap satuan VS; $\frac{dX}{dt}$ adalah laju pertumbuhan sel ($\frac{\text{mg/L}}{\text{hari}}$).

Hasil integral dari kedua ruas didapatkan persamaan untuk memprediksi konsentrasi massa sel bakteri sebagai berikut:

$$(S_0 - S) = \frac{1}{Y_{X/S}} (X - X_0) \quad (5)$$

$$X = X_0 + Y_{X/S}(S_0 - S) \quad (6)$$

Persamaan (6) disubstitusikan ke persamaan (2) didapatkan kecepatan pertumbuhan sel bakteri sebagai berikut:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_g [X_0 + Y_{X/S}(S_0 - S)] \quad (7)$$

Jika persamaan (7) disubstitusikan ke persamaan (4) didapatkan kecepatan pengurangan substrat, sebagai berikut:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_g}{Y_{X/S}} [X_0 + Y_{X/S}(S_0 - S)] \quad (8)$$

$$-\frac{dS}{dt} = \mu_g \left[\frac{X_0}{Y_{X/S}} + (S_0 - S) \right] \quad (9)$$

Nilai μ_g didekati dengan persamaan Contois yang menganggap bahwa pertumbuhan sel dibatasi oleh konsentrasi substrat pada tingkat kejenuhan sel yang tinggi. Persamaan Contois dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\mu_g = \frac{\mu_m S}{K_{sx} X + S} \quad (10)$$

dengan μ_m adalah kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum (hari^{-1}); S adalah konsentrasi substrat (mg/L) dan K_{sx} adalah konstanta kejenuhan.

METODE PENELITIAN

Biostarter dan Substrat

Dalam penelitian ini menggunakan 2 biostarter PGPR yaitu biostarter PGPR komersial dan biostarter hasil rendaman akar bambu dalam air dengan perbandingan PGPR : Air = 2 : 1 selama 24 jam.

Low-cost substrat adalah substrat yang terdiri dari bahan-bahanyang murah dan mudah didapat. *Low-cost substrat* yang digunakan diharapkan mampu mencukupi kebutuhan nutrisi bagi PGPR meliputi 1 kg bekatul sebagai sumber Karbon, 400 g gula pasir sebagai sumber Karbon, 200 g terasi sebagai sumber Nitrogen, 10 mg MSG sebagai sumber Natrium. Semua bahan dengan masing-masing komposisinya dicampur menjadi satu kemudian ditambahkan 500 mL air kemudian dipanaskan. Substrat siap digunakan saat kondisi sudah dingin.

Proses produksi PGPR

Proses produksi PGPR dilakukan di dalam erlenmeyer 1000 mL dengan sistem batch. Biostarter dan substrat dimasukkan kedalam erlenmeyer hingga volume masing-masing digester mencapai 800 mL, dengan variasi komposisi yang tersaji pada tabel 1. Selanjutnya, proses dijalankan selama 10 hari dalam kondisi anaerob. Sampel diambil setiap hari untuk kebutuhan analisis *Volatille Solids* (VS).

Tabel 1. Komposisi digester

Digester	Kandungan	Perbandingan
I	S : PGPR b	1 : 1
II	S : PGPR b	2 : 3
III	S : PGPR k	1 : 1
IV	S : PGPR k	2 : 3

Keterangan : S adalah *Low-cost substrat*; PGPR b adalah PGPR asal akar bambu; PGPR k adalah PGPR komersial

HASIL PENELITIAN

Pengambilan data VS dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali, hal ini disebabkan karena penggunaan material hidup (*rhizobacteria*) yang tidak dapat diprediksi maupun dikontrol spesifikasi secara pasti terkait dengan perkembangan dan pertumbuhannya. Selanjutnya perbandingan unjuk kerja masing-masing digester dilakukan dengan analisis varian.

Persamaan laju pertumbuhan mikroorganisme yang dipilih adalah persamaan Contois dimana persamaan ini memiliki konstanta kejenuhan yang sebanding dengan konsentrasi sel. Persamaan ini didasarkan pada pembatasan pertumbuhan mikroorganisme oleh konsentrasi substrat (Shuler, 2002). Hal ini ditunjukkan dengan jelas pada gambar 2 dan gambar 3 dimana nilai VS pada masing-masing digester mempunyai kecenderungan semakin menurun pada setiap harinya. Hal ini disebabkan karena selama proses berlangsung, VS yang merupakan sebuah nilai yang merepresentasikan semua material organik yang terkandung dalam substrat dikonsumsi oleh mikroorganisme yang terkandung dalam biostarter (rendaman akar bambu dan PGPR komersial) untuk membentuk sel baru.

Dari hasil penjabaran neraca massa diperoleh persamaan konsumsi substrat dan pertumbuhan mikroorganisme pada persamaan (9) dan (10). Selanjutnya persamaan-persamaan tersebut diselesaikan secara simultan kemudian dilakukan minimasi kesalahan relatif, sehingga didapatkan nilai konstanta kinetika terkait pertumbuhan mikroorganisme. Hasil perhitungan parameter kinetika disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter kinetika PGPR akar bambu dalam low-cost substrat

Parameter	DI			DII		
	PGPR : Substrat = 1 : 1			PGPR : Substrat = 2 : 3		
	Ulg 1	Ulg 2	Ulg 3	Ulg 1	Ulg 2	Ulg 3
μ_m	3,773	3,773	3,643	2,451	2,972	3,695
K_{sx}	1144	1154	1201	1352	1037	1127
$Y_{X/S}$	0,037	0,037	0,037	0,133	0,071	0,057

Tabel 3. Hasil perhitungan parameter kinetika PGPR komersial dalam low-cost substrat

Parameter	DIII			DIV		
	PGPR : Substrat = 1 : 1			PGPR : Substrat = 2 : 3		
	Ulg 1	Ulg 2	Ulg 3	Ulg 1	Ulg 2	Ulg 3
μ_m	3,831	3,479	3,553	3,586	3,633	3,078
K_{sx}	1194	1154	1219	1239	1179	1278
$Y_{X/S}$	0,037	0,065	0,048	0,042	0,055	0,082

Analisis varian konstanta kinetika terkait pertumbuhan dilakukan untuk membandingkan kinerja pada tiap digester. Hasil analisis varian konstanta kinetika disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analysis of varians	
Parameter	Signifikansi
μ_m	0,945
K_{sx}	0,174
$Y_{X/S}$	0,414

Keterangan: berbeda nyata pada taraf uji 0,05

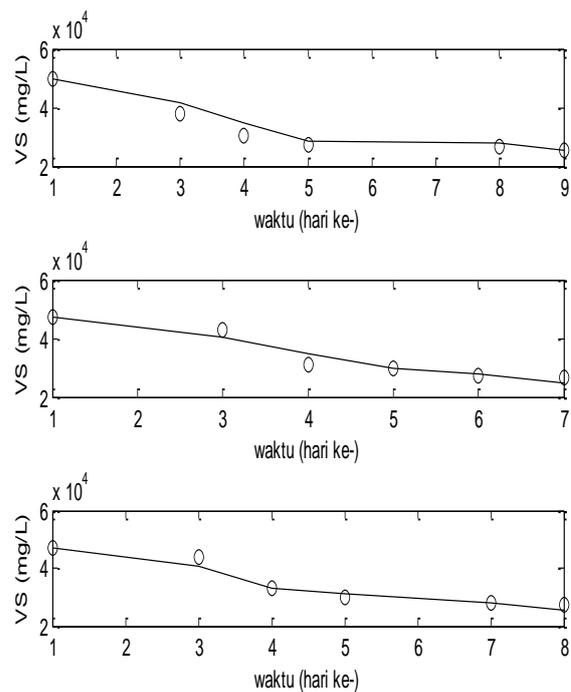
Berdasarkan hasil analisis varian yang disajikan pada Tabel 4 terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara DI, DII, DIII maupun DIV sehingga didapatkan nilai parameter kinetika meliputi μ_m , K_{sx} dan $Y_{X/S}$ masing-masing sebesar 3,4556, 1189,8333 dan 0,0582.

Dilihat dari hasil perhitungan parameter kinetika, terlihat nilai μ_m yang tinggi. Nilai μ_m dapat dikorelasikan dengan nilai *doubling time*, semakin tinggi μ_m menunjukkan bahwa *doubling time* untuk *rhizobacteria* dalam *low-cost substrat* berlangsung sangat cepat. Hal serupa dinyatakan oleh Youssef (2016) yang menyimpulkan bahwa *doubling time* untuk *rhizobacteria* adalah selama 65-85 menit.

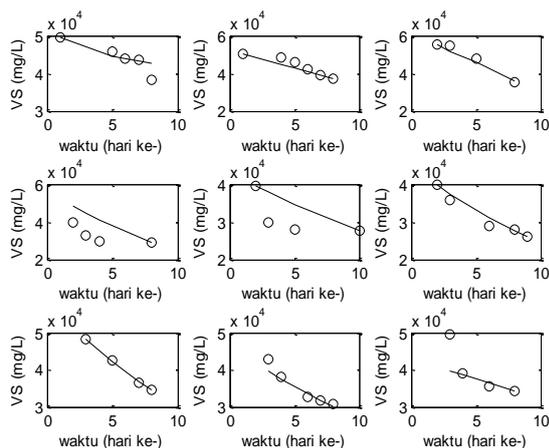
Selanjutnya, semakin cepat *doubling time* menyebabkan *Solid Retention Time* (SRT) dari *rhizobacteria* semakin singkat, yaitu kurang lebih sekitar 10 hari. Apabila proses tetap dijalankan selama lebih dari 10 hari, akan mengakibatkan penurunan laju pertumbuhan karena sistem mengalami defisiensi nutrisi. Defisiensi nutrisi ditunjukkan dalam Gambar 2 dan Gambar 3 bahwa data VS yang memiliki trend semakin berkurang pada tiap harinya.

Dari hasil simulasi, dapat dilihat pada gambar 2 bahwa fitting model matematis dengan data yang diambil cukup baik. Hal ini menunjukkan bahwa model pertumbuhan yang digunakan, dapat mendekati sistem dalam penelitian ini.

Hasil simulasi yang cukup baik juga menunjukkan bahwa selama proses berlangsung tidak ada penghambatan laju pertumbuhan *rhizobacteria* dalam *low-cost substrat*. Dengan kata lain, campuran *low-cost substrat* mampu memenuhi kebutuhan nutrisi bagi *rhizobacteria*.



Gambar 2. Data dan hasil simulasi untuk nilai VS pada digester I (DI)



Gambar 3. Data dan hasil simulasi untuk nilai VS pada digester yang lain

Berdasarkan hasil analisis pada hari ke-10, kandungan mikroorganisme pada masing-masing digester adalah *pseudomonas sp* dan *bacillus sp*. Menurut Saylendra (2013) dan Sutariati (2006), kelompok bakteri *pseudomonas sp* dan *bacillus sp* ini berpotensi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. Jumlah masing-masing mikroorganisme pada masing-masing digester disajikan dalam Tabel 5

Tabel 5. Kandungan bakteri dalam masing-masing digester

No	Kode	Kelompok Bakteri	Jumlah (cfu/g)
1	D I	<i>Pseudomonas sp</i>	32×10^4
		<i>Bacillus sp</i>	34×10^4
2	D II	<i>Pseudomonas sp</i>	32×10^4
		<i>Bacillus sp</i>	$4,0 \times 10^4$
3	D III	<i>Pseudomonas sp</i>	$1,3 \times 10^4$
		<i>Bacillus sp</i>	$4,0 \times 10^4$
4	D IV	<i>Pseudomonas sp</i>	$3,2 \times 10^4$
		<i>Bacillus sp</i>	$2,3 \times 10^4$

Berdasarkan gambar 2 dan tabel 5, dapat dilihat bahwa digester I dengan komposisi PGPR asal akar bambu : *low-cost* substrat sebesar 1 : 1 menghasilkan fitting data paling bagus untuk ketiga ulangan dan mengandung kandungan *pseudomonas sp* dan *bacillus sp* yang paling tinggi pada hari ke-10 dibandingkan dengan digester yang lain. Dengan kata lain perbandingan optimum pada

produksi PGPR asal akar bambu dalam *low-cost substrat* adalah 1 : 1

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Proses produksi PGPR dapat didekati dengan persamaan contois
2. Nilai parameter kinetika yang meliputi μ_m, K_{sx} dan $Y_{X/S}$ masing-masing sebesar 3,4556, 1189,8333 dan 0,0582.
3. PGPR asal akar bambu dalam *low-cost substrat* memberikan hasil paling optimum dalam proses produksi PGPR dengan perbandingan 1 : 1 dengan SRT selama 10 hari.

DAFTAR PUSTAKA

Beneduzi, A. A., 2012, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Their Potential as Antagonists and Biocontrol Agent. *Genetics and Molecular Biology*, 1044-1051.

Rahni, N., 2012, Efek *DAV* Fitohormon PGPR terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea Mays*). *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, 27-35.

Saylendra, A. F., 2013, *Bacillus sp* dan *Pseudomonas sp* Asal Endofit Akar Jagung (*Zea Mays L*) yang Berpotensi sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 19-27.

Shuler, M. K., 2002, *Bioprocess Engineering Basic Concept 2nd Ed*. New Jersey: Prentice Hall.

Sutariati, G. W., 2006, Pengaruh Perlakuan Rizo-bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman terhadap Viabilitas Benih serta Pertumbuhan Bibit Tanaman Cabai. *Buletin Agron*, 46-54.

Youssef, H. H.-T., 2016, Plant-Based Culture Media: Efficeintly Support Culturing Rhizobacteria and Correctly Mirror Their In-Situ Diversity. *Journal of Advanced Research*, 305-316.

Zainudin, A. A., 2014, Pengaruh Pemberian *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Bacillus Subtilis* dan *Pseudomonas Fluorescens)* terhadap Penyakit Bulai pada Tanaman Jagung (*Zea Mays L*). *Jurnal HPT*, 11-18.