

## Mekanisme Penambatan Nitrogen Udara oleh Bakteri *Rhizobium* Menginspirasi Perkembangan Teknologi Pemupukan Organik yang Ramah Lingkungan

GEDE MENAKA ADNYANA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroekoteknologi-Fakultas Pertanian-Universitas Udayana  
Jl. P. B. Sudirman Denpasar, Bali 80232  
Email: adnyanamenaka@yahoo.com

### ABSTRACTS

#### Mechanism of Nitrogen Gas Fixation by *Rhizobium* Bacteria Inspires Technology Development of Freindly Environment-Organic Fertilizing

Interaction of microbes with human living in the nature are able to seen from their capabilities improving the environmental by composting waste of agriculture to become organic fertilizer. In the contrary, the epidemic and infectious phatogens are also its contribution. In agriculture sector, the living of microbes has been explored to keep the soil fertile, and to improve growth and plant production. The symbiosis of *Rhizobium* bacteria with the specific host plant from legumes is able to run because of both side giving a signal, where host plant give an organic molecoles called inducer. From the bacteria side, also give an organic materials called nod factor. The step of nitrogen fixation mechanism can be described from infection of root legume as the first step, followed by the nitrogen fixation by the bacteroid and synthesis of the nitrogen organic by host plant as the last step. These natural processes inspire finding and development of the ecologically organic fertilizer technology.

---

**Keywords:** Fixation mechanism, nitrogen, *Rhizobium*, organic fertilizer, ecologically

#### PENDAHULUAN

Kehidupan manusia dengan mikroba memiliki hubungan yang erat. Mikroba membantu berbagai kebutuhan hidup manusia seperti pada bidang pertanian, kesehatan, industri dan lingkungan. Demikian pula sebaliknya, berbagai wabah penyakit juga dapat ditimbulkan oleh organisme ini (Schlegel, 1994). Ke depan, berbagai peluang kemajuan teknologi mikroba (bioteknologi) akan mampu berkembang yang dilandasi oleh pemahaman terhadap sifat-sifat kehidupan mikroba.

Pada bidang pertanian, setelah dipahaminya kemampuan mikroba dalam menambat hara nitrogen, fosfat, belerang dan hara lain, selanjutnya berkembang teknologi pemupukan dengan memanfaatkan jasad renik. Jenis-jenis mikroba

seperti jamur, bakteri dan algae mampu menambat hara untuk meningkatkan kesuburan tanah atau langsung untuk memenuhi kebutuhan tanaman (Blair, 1975; Dart, 1977; Fitter dan Hay, 1983; Foyer dan Noctor, 2004). Selain dapat meningkatkan kesuburan tanah, mikroba tanah juga dapat menghasilkan hormon tumbuh dan pestisida (Altieri dan Nicholls, 2005; Khalequzzaman dan Hossain, 2007).

Empat besar unsur-unsur penyusun tubuh tanaman adalah karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Tiga besar pertama tersedia dalam bentuk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), air (H<sub>2</sub>O), dan oksigen (O<sub>2</sub>). Sebaliknya nitrogen, unsur pembentuk senyawa protein, relatif tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tanaman meskipun sekitar 80 % udara tersusun oleh

senyawa ini (Lawn, 1975; Dakora *et al.*, 2008). Rincian gas-gas penyusun atmosfer bumi berturut-turut adalah nitrogen ( $N_2$ ) 78 %, oksigen ( $O_2$ ) 21%, sisanya karbon dioksida ( $CO_2$ ), uap air ( $H_2O$ ) dan gas lainnya sekitar 1 % (Lovett, 1975; Werner dan Newton, 2005). Keberadaan dari masing-masing gas tersebut merupakan sumber hara bagi makhluk hidup bumi.

Keberadaan hara di alam pada kenyataannya berupa siklus atau pendauran, dimana dikenal daur karbon, daur nitrogen (Fitter dan Hay, 1983; Foyer dan Noctor, 2004) dan daur belerang (Schlegel, 1994). Melalui pemahaman atas daur hara secara alami, maka penelitian dan penerapannya dalam bentuk teknologi pemupukan organik berkembang pesat belakangan ini. Ditunjukkan oleh hasil-hasil penelitian terapan tentang aplikasi pupuk mikroba bahwa beberapa manfaat dan keuntungan sekaligus yang diperoleh adalah perbaikan kesuburan tanah, perbaikan pertumbuhan dan hasil tanaman, menekan pertumbuhan mikroba parasit (Altieri dan Nicholls, 2005; Purwaningsih, 2005; Khalequzzaman dan Hossain, 2007).

Daur hara di alam dapat terjadi secara fisik-kimia maupun secara biologis dengan bantuan mikro/makrobiologi. Terkait dengan ketersediaan hara atau makanan di alam, mikroba yang akan memanfaatkannya dapat digolongkan menjadi dua golongan yaitu autotrof (mampu mengolah sendiri unsur-unsur anorganik menjadi senyawa organik) dan golongan heterotrof yaitu mikroba yang hanya mampu mengolah senyawa organik yang berasal dari organisme lain (Dart, 1977). Lebih lanjut diuraikan dari cara hidup mikroba heterotrof, terdapat berbagai model hubungan (simbiosis) seperti mikroba saprofitik, mutualistik, parasitik dan lainnya.

Di dalam tanah, terdapat berbagai mikroba yang hidup mengikuti berbagai model hubungan antar organisme (Schlegel, 1994). Sebagai contoh bakteri *Rhizobium* hidup bersimbiosis dengan tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr.) dalam peranannya mendaur hara nitrogen (Bray, 1983; Sullivan, 2003). Daur hara lain seperti fosfat tanah

yang dimanfaatkan perakaran tanaman juga diketahui dibantu oleh jamur *mikorhiza*. Selain itu, pada beberapa genus tanaman tingkat tinggi juga diketahui dan diteliti kemampuannya dalam menambat hara dalam bentuk gas (Lawn, 1975; Foyer dan Noctor, 2004).

Hasil-hasil studi yang komprehensif tentang kemampuan hidup mikroba di alam menjadi landasan penting dalam mendukung perkembangan bioteknologi. Kajian ini disusun dengan tujuan untuk meningkatkan pemahaman terhadap peran dan fungsi mikroba tanah pada bidang pertanian, khususnya dalam pengembangan teknologi pemupukan organik yang ramah lingkungan.

## PEMBAHASAN

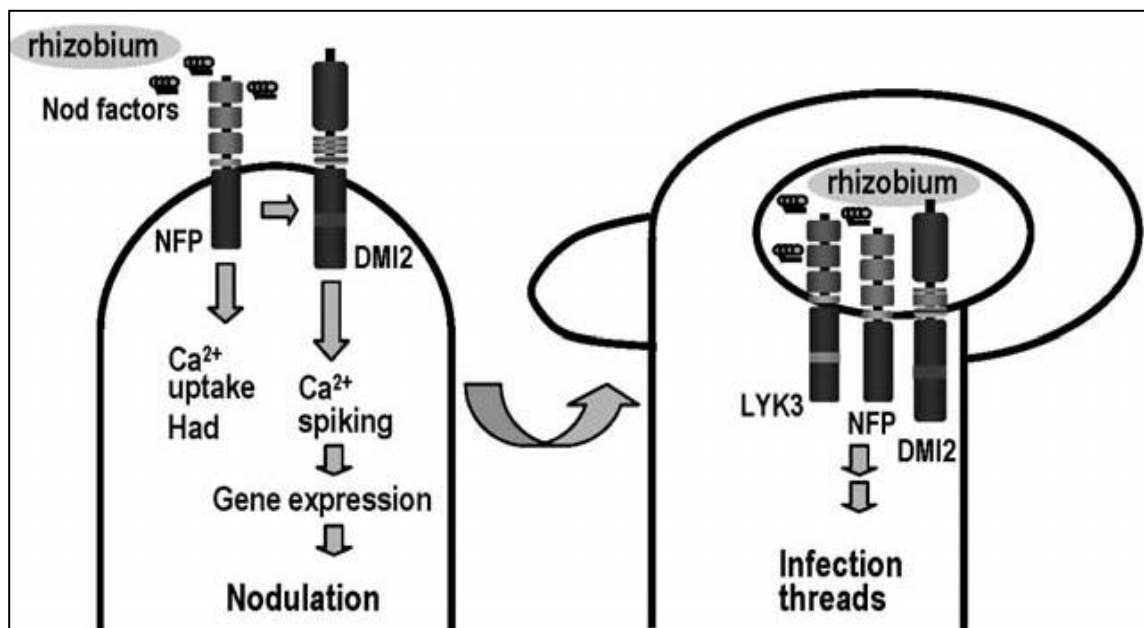
Bakteri *Rhizobium* secara umum termasuk golongan heterotrof yaitu sumber energinya berasal dari oksidasi senyawa-senyawa organik seperti sukrose dan glukose (Foyer dan Noctor, 2004; Werner dan Newton, 2005; Dakora *et al.*, 2008; Lichtfouse, 2010). Dengan demikian, untuk mendapatkan senyawa organik tersebut, bakteri membutuhkan tanaman inang.

Bagaimana mekanisme bakteri *Rhizobium* menginfeksi tanaman jenis legume sampai dengan tahun 2000-an belum diketahui dengan pasti. Diinformasikan bahwa di daerah rizosfer, merupakan tempat ideal bagi tempat berkumpulnya mikroba karena di daerah ini terdapat banyak jenis substrat organik yang dikeluarkan tanaman seperti hormon, lektin dan enzim-enzim perombak senyawa organik (Battisti *et al.*, 1992; Singh *et al.*, 2008). Semakin tinggi jumlah bahan organik, populasi mikroorganisme juga semakin tinggi. Dugaan bahwa sebelum sel bakteri menginfeksi tanaman inang didahului oleh adanya senyawa protein spesifik yang disebut *inducer* yang dikeluarkan tanaman sebagai signal yang dikenal bakteri (Battisti *et al.*, 1992; Long, 1995; Singh *et al.*, 2008). Selanjutnya, bakteri mengeluarkan senyawa lipo-oligosakarida atau selanjutnya disebut *nod factor*. untuk perintah

pembelahan sel inang. Oleh karena itu, diduga simbiosis dapat terjadi ditentukan oleh kecocokan masing-masing substrat yang dihasilkan (Long, 1995; Foyer dan Noctor, 2004; Werner dan Newton, 2005). Diinformasikan bahwa apabila terjadi kecocokan, maka selanjutnya bakteri memperbanyak diri, membentuk hypha-hypha untuk melakukan penetrasi ke dalam akar. Selanjutnya, bakteri memperbanyak diri di dalam sel akar yang disebut *bakteroid*. Sel akar yang terinfeksi kemudian membengkak, membentuk bintil-bintil, dimana struktur dalamnya, antara sel inang dan bakteroid dilapisi oleh *leghemoglobin* dengan penampakan warna ungu kemerahan. Mekanisme infeksi akar tanaman oleh mikroba ditampilkan pada Gambar 1.

Mekanisme penambatan nitrogen secara biokimia belum dipahami secara pasti. Walaupun demikian, dalam reaksi reduksi nitrogen menjadi amonia dibutuhkan komponen-komponen utama seperti: (i)  $N_2$  sebagai elektron akseptor; (ii) ATP sebagai sumber energi, (iii)  $NADPH_2$  sebagai rantai transfer elektron, feredoksin merupakan sumber elektron, (iv) nitrogenase (enzim yang mengkatalis reaksi) (Lawn, 1975; Foyer dan Noctor, 2004; Werner dan Newton, 2005).

Bakteroid membutuhkan sejumlah energi untuk membentuk tenaga reduksi (misalnya  $NADPH_2$ , feredoksin) dan ATP untuk mengendalikan reaksi. Energi didapatkan dari fotosintat tanaman inang. Sukrose, glukose, dan asam-asam organik ditranslokasikan ke dalam nodul dan oksidasi dari bahan-bahan ini menghasilkan energi (fosforilasi oksidatif). Proses respirasi ini membutuhkan sejumlah oksigen, yang diikat oleh *leghaemoglobin* di sekitar bakteroid. Mekanisme kerjanya sama dengan *leghaemoglobin* yang terdapat pada darah mamalia yaitu sebagai pembawa oksigen yang dibutuhkan untuk proses respirasi. Enzim nitrogenase, yang mengkatalis reduksi  $N_2$  terdiri atas dua komponen yaitu protein Fe-Mo dan protein Fe-S. Hasil akhir dari reaksi reduksi  $N_2$  adalah amonia ( $NH_3$ ) melalui hasil antara berupa senyawa diimida dan hidrasin (Goodwin dan Mercer, 1983). Faktor-faktor yang mempengaruhi penambatan nitrogen adalah (i) suplai fotosintat, (ii) aerasi, (iii) temperatur, (iv) pH tanah dan (v) ketersediaan hara nitrogen.



Gambar 1. Tahapan Mekanisme Infeksi Akar Tanaman oleh Mikroba (Dakora et al., 2008).

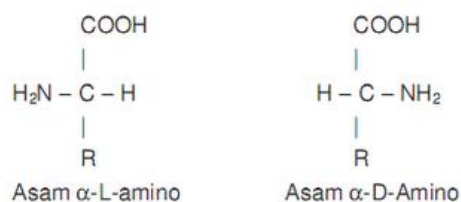
Tabel 1. Simbiosis antara spesies bakteri *Rhizobium* dengan legume sebagai tanaman inang yang bersifat spesifik

NO	Kelompok tanaman	Spesies <i>Rhizobium</i>	Spesies tanaman inang
1	<i>Lucerne</i>	<i>Rh. meliloti</i>	Lucerne ( <i>Medicago</i> ) Sweet clover ( <i>Melilotus</i> )
2	<i>Clover</i>	<i>Rh. Trifolii</i>	Clovers ( <i>Trifolium sp.</i> )
3	<i>Pea</i>	<i>Rh. leguminosarum</i>	Peas ( <i>Pisum</i> ), Beans ( <i>Lathyrus</i> ), Vetch ( <i>Vicia</i> ), Lentils ( <i>Lens</i> )
4	<i>Lupin</i>	<i>Rh. Lupine</i>	Lupins ( <i>Lupinus</i> ), Seradella ( <i>Ornithopus</i> )
5	<i>Soybean</i>	<i>Rh. japonicum</i>	Soybeans ( <i>Glycine</i> )
6	<i>Beans</i>	<i>Rh. phaseoli</i>	Beans sp. ( <i>Phaseolus</i> )
7	<i>Cowpea</i>	<i>Rhizobium sp.</i>	Cowpea, black gram, green gram ( <i>Vigna</i> ), <i>Cassia</i> , <i>Arachis</i> , <i>Acasia</i> , <i>Desmodium</i> , <i>Canavalia</i> , <i>Cajanus</i> , <i>Cyamopsis</i>

Sumber: Blair, 1975; Lawn, 1975

Lintasan reaksi amonia menjadi nitrogen organik diperankan oleh aktivitas dua jenis enzim yaitu glutamin sintetase (GS) dan glutaminamida (2-okso glutarat aminotransferase)-oksidoreduktase NADP (Gambar 2). Reaksi ini terjadi di dalam sel tanaman. Di dalam sel tanaman, terdapat inti yang bertanggung jawab terhadap terlaksananya sintesis protein. Senyawa nitrogen organik yang menjadi dasar penyusun protein adalah gugus asam amino (Goodwin dan Mercer, 1983).

Kemampuan bakteri *Rhizobium* menambat nitrogen telah banyak dilaporkan. Diperkirakan dalam setahun, bakteri ini mampu menambat N udara antara 50-600 kg/ha (Schlegel, 1994). Angka sebesar itu, jika disetarakan dengan pupuk urea menjadi sekitar 100-1300 kg/ha.



Gambar 2. Rumus molekul asam amino (Goodwin dan Mercer, 1983)

Formulasi biakan bakteri yang selanjutnya disebut dengan pupuk organik adalah formulasi biakan murni bakteri *Rhizobium*. Fisik biakan biasanya dibuat dalam bentuk padatan berupa tepung. Formulasi biakan murni ini telah dikomersialkan sebagai produk industri. Di lapangan, berbagai kemasan merek dagang untuk formulasi biakan bakteri telah umum dipasarkan.

Cara pemberian pupuk bakteri dapat disebar atau disemprotkan ke dalam tanah sebagaimana pemberian pupuk mineral pada umumnya. Selain itu, aplikasi juga dapat dilakukan dengan cara mencampur formulasi biakan bakteri dengan benih kedelai sebelum ditanam. Penelitian memanfaatkan formulasi bakteri sebagai pupuk pada beberapa jenis tanaman telah dilakukan di beberapa stasiun percobaan pertanian. Hasil tanaman kedelai dapat ditingkatkan sebesar 25-30 % di lahan masam Sumatera (Noortasiah, 2005). Hasil tanaman gandum dapat ditingkatkan antara 20-40 % (Afsal dan Bano, 2008).

## DAFTAR PUSTAKA

Afsal, A. and A. Bano. 2008. *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *Int. J. Agri. Bio.* 10:85-88.

- Alexander, M. 1977. Ecology of nitrogen fixing organisms. In Ayanaba, A. and P.J. Dart (eds). 1977. *Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics*. New York: John Wiley and Sons.
- Altieri, M.A. and C.I. Nicholis. 2005. Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture. Mexico. United Nations Environments Programme.
- Battisti, L., J.C. Lara, and J.A. Leigh. 1992. Specific oligosaccharide form of the *Rhizobium meliloti* exopolysaccharide promotes nodule invasion in alfalfa. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89: 5625-5629.
- Bray, C.M. 1983. Nitrogen Metabolism in Plants. New York: Longman Group Limited.
- Dakora, F.D., S.B.M. Chimpango; A.J. Valentine, C. Elmerich, and W.E. Newton. 2008. Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture. Netherland.
- Dart, P.J. 1977. Host-symbiont relationships in nodule development and nitrogen fixation. In Ayanaba, A. and P.J. Dart (eds). 1977. *Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics*. New York: John Wiley and Sons.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. Environmental Physiology of Plants. Second Edition. London: Academic Press.
- Foyer, C.H. and G. Noctor. 2004. Photosynthetic Nitrogen Assimilation and Associated Carbon and Respiratory Metabolism. London. Kluwer Academic Publisher.
- Goodwin, T.W. and E.I. Mercer. 1983. Introduction to Plant Biochemistry. Second Edition. Oxford: Pergamon Press.
- Lawn, R.J. Some physiological processes and plant growth. In Matheson, E.M., J.V. Lovett, G.J. Blair and R.J. Lawn (eds.) 1975. *Annual Crop Production*. Brisbane: academy Press.
- Lichtfouse, E. 2010. Sustainable Agriculture Reviews 3. Sociology, Organic Farming, Climate Change, and Soil Science. Netherlands. Springer.
- Long, S.R. 1996. Rhizobium Symbiosis: Nod Factors in Perspective. The Plant Cell. Vol 8: 1895-1898.
- Lovett, J.V. Climate and plant growth. In Matheson, E.M., J.V. Lovett, G.J. Blair and R.J. Lawn (eds.) 1975. *Annual Crop Production*. Brisbane: academy Press.
- Noortasiah, 2005. Pemanfaatan Bakteri Rhizobium pada tanaman kedelai di lahan lebak. Buletin Teknik Pertanian, 10 (2): 57-60.
- Purwaningsih, S. 2005. Rhizobium dari tanah kebun biologi Wamena. Biodiversitas. 6(2): 82-84.
- Schlegel, H.G. 1994. Mikrobiologi Umum (diterjemahkan oleh R.M. Tedjo Baskoro). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Singh, B., R. Kaur, and K. Singh. 2008. Characterization of Rhizobium Strain Isolated from the Roots of *Trigonella foenumgraecum* (fenugreek). African Journal of Biotechnology. 7 (20): 3671-3676.
- Sullivan, P. 2003. Applying the Principles of Sustainable Farming. Fundamental of Sustainable Agriculture. ATTRA.
- Werner, D. and W.E. Newton. 2005. Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment. Netherlands. Springer.