

ETANOL, METABOLISME, DAN KEMUNDURAN BENIH: SEBUAH ULASAN

Eko Pramono

Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Lampung
Jalan Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung 35145.
Email: pramono.e61@gmail.com

Abstrak

Etanol di dalam benih (etanol endogenus) merupakan produk dari respirasi sel di bawah kondisi anaerobik. Etanol dihasilkan oleh lintasan glikolisis. Kandungan etanol benih meningkat sejalan dengan peningkatan kemunduran benih. Perlakuan penderaan etanol yang diinduksi ke dalam benih (etanol exogenus) juga meningkatkan kandungan etanol benih. Peningkatan etanol benih akibat perlakuan penderaan etanol exogenus tersebut sejalan juga dengan meningkatnya kemunduran benih. Kemunduran benih akibat perlakuan etanol exogenus (devigorasi) serupa dengan kemunduran benih yang terjadi secara alamiah (deteriosari).

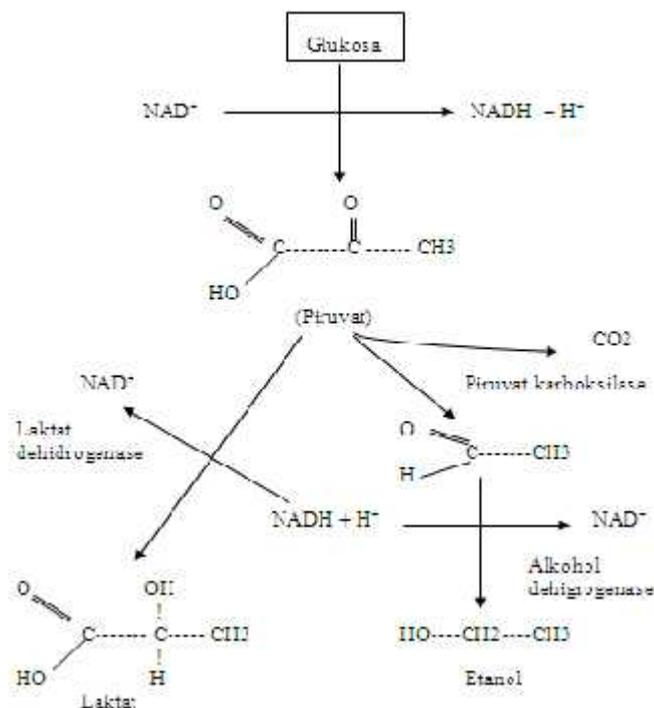
Pendahuluan

Benih adalah makhluk hidup yang secara fisik dalam keadaan istirahat. Sel-sel di dalam benih sebenarnya dalam kegiatan metabolisme yang rendah. Kegiatan respirasi berjalan sangat rendah. Walau demikian ciri-ciri kehidupan tetap berjalan sebagaimana makhluk hidup. Kegiatan metabolisme itu selain menjadi ciri kehidupan, juga merupakan upaya untuk mempertahankan kehidupan itu sendiri. Energi yang dibutuhkan untuk kehidupan demikian memang cukup kecil. Energi yang cukup kecil itu dimunculkan dari perombakan makanan cadangan yang dikandungnya. Tingkat kegiatan metabolisme benih sangat dipengaruhi oleh kelembaban atau kadar air benih, ketersediaan oksigen dan suhu lingkungan. Benih yang akan disimpan lama diupayakan untuk memiliki kadar air benih yang rendah, dengan lingkungan penyimpanan yang kedap udara untuk membatasi melimpahnya oksigen. Walau demikian, kemunduran benih sebagai makhluk hidup tetap akan terjadi, baik akibat penuaan oleh waktu maupun akibat kemunduran fisiologis. Kedua faktor penyebab itu satu sama lain saling terkait dan tidak dapat dipisahkan.

Dalam keadaan lingkungan yang tanpa oksigen, reaksi oksidasi dalam siklus Krebs tidak dapat berjalan secara sempurna. Sel-sel hidup memperoleh energi melalui perombakan glukosa dari makanan cadangan hanya dari lintasan glikolisis. Dalam

glikolisis, satu molekul glukosa akan dirombak menjadi dua molekul asam piruvat. Dalam lintasan glikolisis diperlukan energi dari NAD^+ yang diubah menjadi NADH . Karena tidak adanya oksigen tersebut timbul masalah tidak mampunya NADH diubah kembali menjadi NAD^+ . Oleh sebab itu, agar glikolisis tetap dapat berjalan maka NADH direduksi kembali menjadi NAD^+ melalui dua cara, yaitu reduksi piruvat menjadi laktat dengan katalisator enzim laktat dehidrogenase, dan 2) dekarboksilasi piruvat menjadi asetaldehid dengan katalisator piruvat-karboksilase. Cara pertama tersebut terjadi pada sel-sel hewan, sedangkan cara kedua terjadi pada tumbuhan.

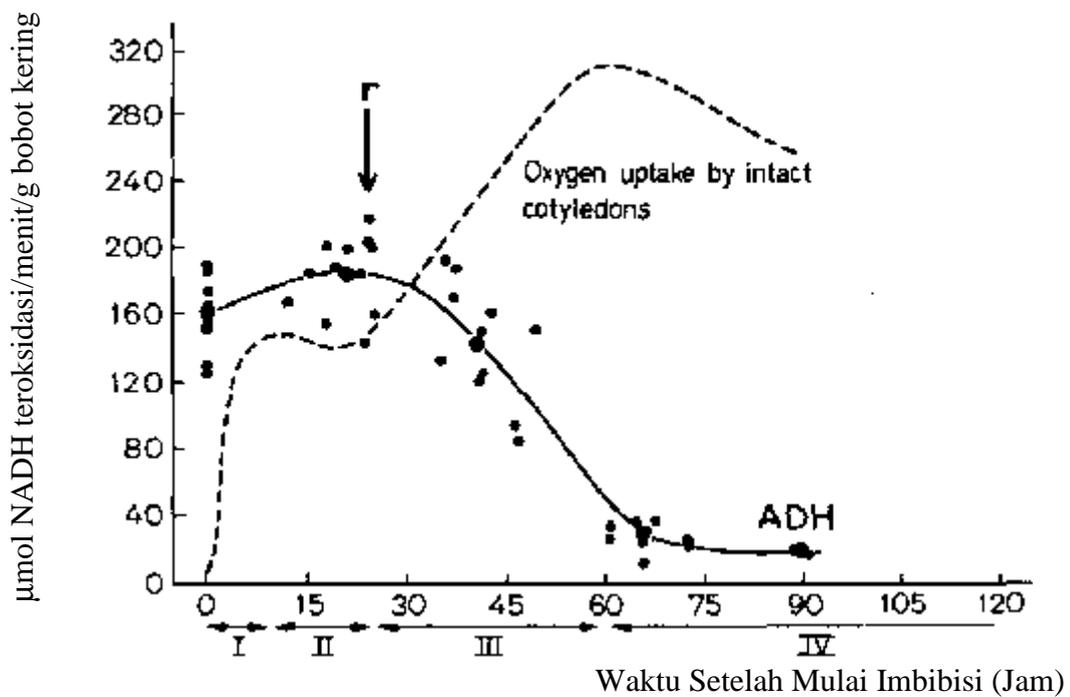
Asetaldehid oleh enzim etanol dehidrogenase direduksi menjadi etanol. Bersamaan dengan ini NADH diubah kembali menjadi NAD^+ (Gambar 1). Pada sel hewan, perubahan NAD^+ menjadi NADH bersamaan dengan perubahan piruvat menjadi laktat. Reaksi pembentukan etanol ini biasa terjadi dalam fermentasi oleh ragi, secara fisiologi reaksi ini sangat penting. Pada suatu bagian tertentu dari tubuh tanaman reaksi ini sering terjadi, misalnya di bagian tengah umbi kentang, jalur oksigen ke dalam bagian ini sangat panjang, sehingga sering terjadi fermentasi yang membentuk alkohol. Hal seperti ini dapat terjadi pada benih yang berkadar air cukup tinggi yang disimpan.



Gambar 1. Lintasan Glikolisis, fermentasi, dan reoksidasi NADH menjadi NAD^+

Etanol dalam Benih

Benih yang akan berkecambah sebelum kulitnya tertembus oleh radikel dalam keadaan anaerob. Akibatnya, etanol dapat terakumulasi di dalamnya. Jumlah etanol tersebut berbeda-beda menurut jenis atau varietas. Setelah radikel menembus testa, keadaan menjadi aerob dan kandungan etanol makin menurun. Enzim alkohol dehidrogenase (ADH) berperan dalam pembentukan maupun penguraian etanol tersebut. Pada kondisi aerob, ADH berperan mengubah etanol menjadi asetaldehid, yang kemudian dioksidasi menjadi asetat oleh asetaldehid-dehidrogenase. Asetat selanjutnya diaktifkan menjadi asetil-KoA, yang kemudian digunakan dalam pelbagai



Gambar 2. Kegiatan ADH (●) dan pengambilan oksigen pada kotiledon benih kacang tanah cv. Rondo yang sedang berkecambah. Tanda (r) menunjukkan saat penembusan kulit benih oleh radikel (Kolloffel, 1968).

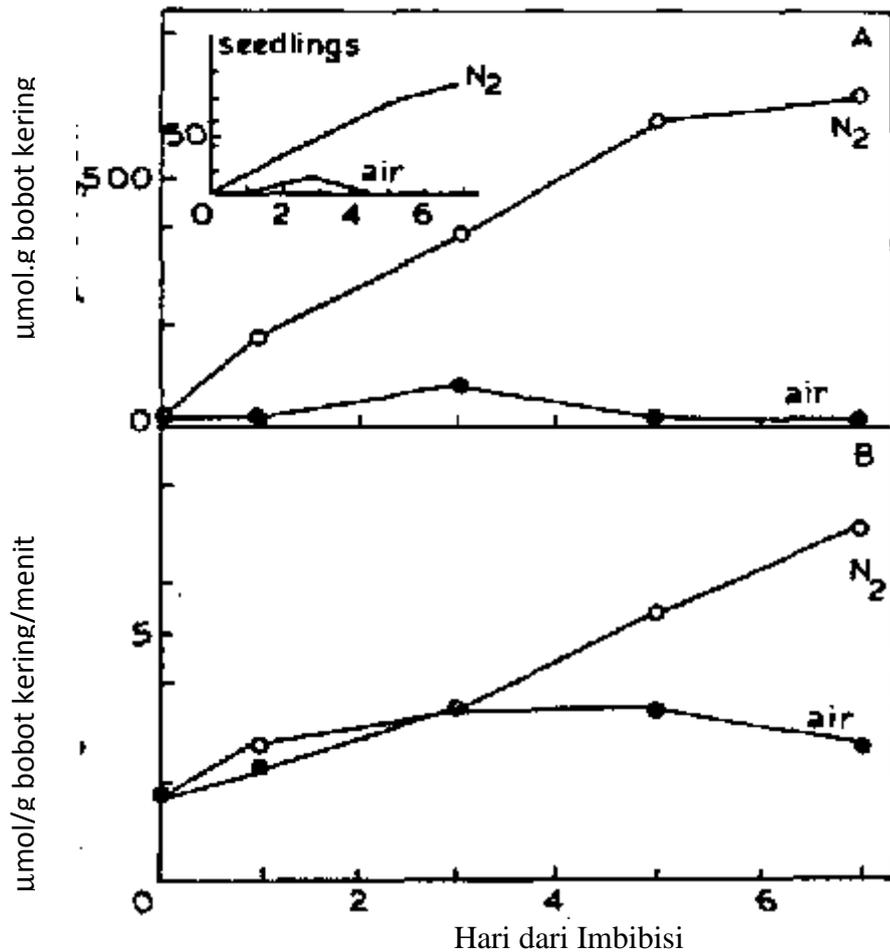
reaksi metabolik. Oleh sebab itu, ADH akan selalu ada dalam benih selama perkecambahan, bahkan pada benih yang kering, contoh pada kotiledon kacang tanah (Kolloffel, 1968). Kegiatan ADH akan meningkat 10 kali lipat atau bahkan lebih selama perkecambahan benih berlangsung, dan mungkin disintesis secara *de novo*. Setelah kondisi aerob, kandungan etanol menurun seiring menurunnya kegiatan ADH.

Periode anaerob secara alamiah selama perkecambahan dapat berlangsung dari beberapa jam sampai beberapa hari, tergantung pada kondisi lingkungan tempat benih berada. Kondisi aerob akan panjang, misalnya bila benih ditempatkan di bawah permukaan air. Banyak juga benih yang dapat berkecambah dengan baik dalam keadaan terendam air, walaupun pertumbuhan akar terhambat, dan bila lama tetap terendam, kecambah akan mati. Memang, beberapa spesies tumbuhan air dapat berkecambah dengan baik pada kondisi oksigen yang rendah, misalnya *Typha latifolia*, dan *Juncus effusus*, bahkan setelah terendam dalam air selama tujuh tahun. Benih padi (*Oryza sativa*) dan gulma jajagoan (*Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*) dapat berkecambah dan tumbuh dengan baik di bawah permukaan air. Hal ini menunjukkan suatu adaptasi yang sangat baik pada kondisi lingkungan yang rendah oksigen. Benih padi dan jajagoan tersebut bahkan dapat berkecambah pada kondisi tanpa oksigen sekalipun, walaupun pada kondisi tersebut hanya koleoptilnya yang berkembang, sedangkan pertumbuhan akarnya terhambat. Kecambah kedua jenis tersebut dapat menghasilkan etanol yang berdifusi ke dalam air di sekitarnya (Gambar 3). Pada kondisi tanpa oksigen, kecambah kedua spesies tersebut dapat mengandung etanol 100 kali lebih banyak dibanding pada kondisi aerob. Kegiatan ADH meningkat sejalan dengan produksi etanol (Gambar 3).

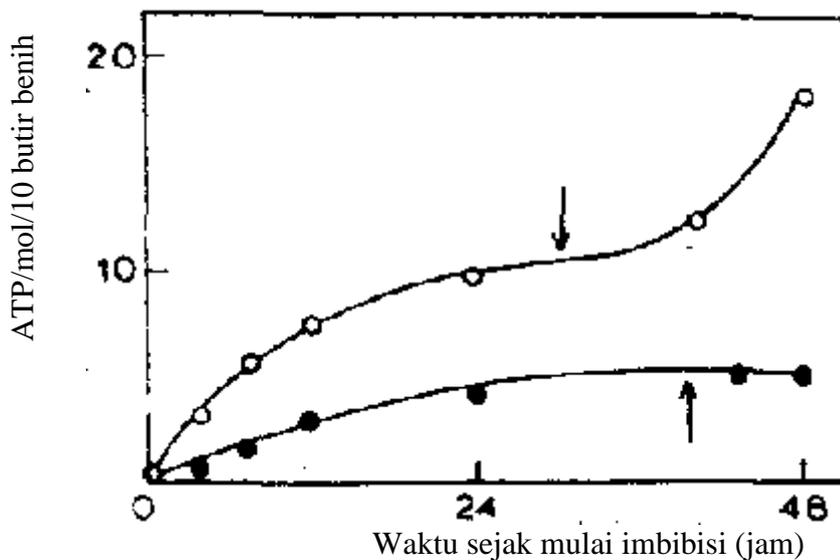
Kandungan laktat juga meningkat walaupun sangat kecil dibandingkan dengan etanol. Perkembangan mitokondria pada padi dan jajagoan pada stadium kecambah tidak jauh berbeda pada kondisi beroksigen dan tanpa oksigen. Fosforilasi oksidatif tidak dapat berlangsung pada benih yang berimbibisi dalam gas N₂, akan tetapi mitokondria tetap dapat berkembang dan mampu menghasilkan ATP dalam kondisi tanpa oksigen. Sintesis ATP terjadi pada tahap awal imbibisi yang sangat mungkin dihasilkan melalui glikolisis yang menghasilkan etanol (Gambar 4). Fosforilasi oksidatif berjalan dengan segera setelah benih tersebut dipindahkan pada lingkungan beroksigen.

Pada kondisi aerob, dalam waktu imbibisi yang sama dihasilkan ATP lebih banyak daripada kondisi anaerob. Saat munculnya koleoptil juga lebih cepat pada kondisi aerob daripada anaerob. Hal ini menunjukkan dengan sangat nyata bahwa benih padi memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik pada lingkungan anaerob.

Munculnya koleoptil nampaknya tidak dipengaruhi oleh jumlah ATP tertentu. Pada kondisi anaerob, koleoptil muncul lebih lambat dan dengan jumlah ATP benih yang lebih rendah dibanding pada kondisi aerob.



Gambar 3. Kandungan etanol benih *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola* yang diimbibisikan pada gas N₂ dan udara normal (A). Grafik besar adalah kandungan etanol dalam benih, gambar inset adalah jumlah etanol lingkungan sekitarnya. (B) adalah kegiatan ADH (Rumpho dan Kennedy, 1981).



Gambar 4. Kandungan ATP benih padi yang sedang berkecambah pada kondisi aerob (o), dan anaerob (•). Tanda panah menunjukkan munculnya koleoptil (Pradet dan Prat, 1976)

Pengaruh Etanol terhadap Integritas Membrana Selular Benih

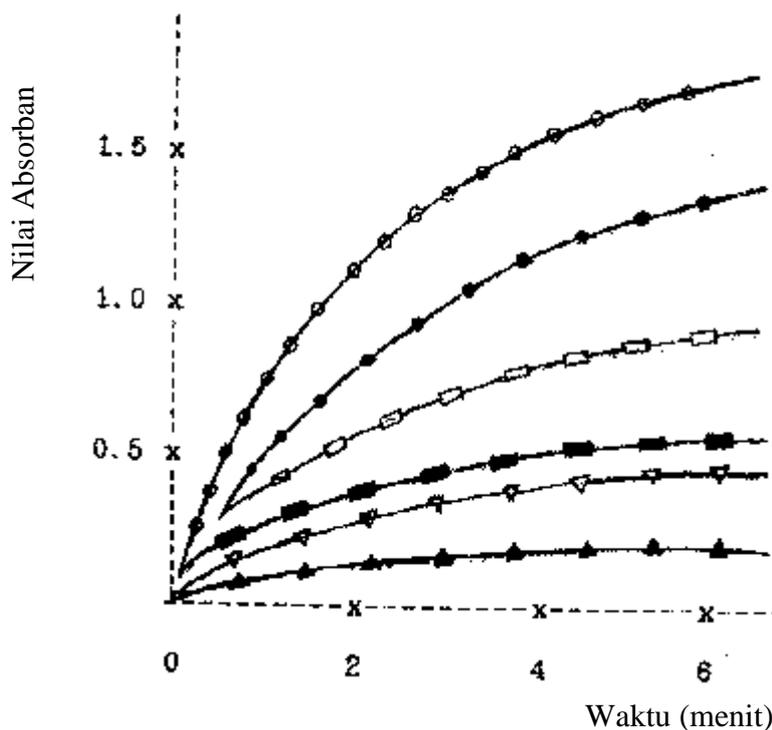
Etanol atau etil alkohol memiliki rumus molekul C_2H_5OH . Etanol memiliki sifat cairan yang dapat bercampur secara baik dengan air dalam semua perbandingan. Percampuran antara air dan alkohol mengalami kontraksi, artinya volume campuran menjadi lebih kecil daripada jumlah volume dari kedua komponen campuran itu. Etanol juga merupakan pelarut organik yang baik, sehingga banyak digunakan secara luas di laboratorium kimia maupun farmasi.

Secara alamiah, etanol terkandung dalam benih yang sedang berkecambah dan tidak mengganggu proses perkecambahan. Akan tetapi, terlihat bahwa etanol memperlambat perkecambahan, terbukti dengan melambatnya pemunculan koleoptil benih padi pada kondisi anaerob (Gambar 4). Hal ini mudah difahami sebab dalam kondisi anaerob tersebut, proses respirasi terhambat, sehingga penyediaan energi berupa ATP menjadi lambat. Adaptasi secara genetik yang baik pada padi, terlihat pada kemampuannya berkecambah dengan jumlah ATP yang lebih rendah pada kondisi anaerob dibanding pada kondisi aerob, walaupun dengan waktu imbibisi yang lebih lama.

Etanol dengan sifatnya sebagai pelarut organik dapat merusak membrana selular yang terbentuk dari fosfolipid. Hal ini dibuktikan oleh Priestley dan Leopold (1980)

dengan memberikan perlakuan berbagai macam alkohol pada benih. Alkohol merusak membrana selular dengan cara 1) masuk melalui membran fosfolipid sel dan memisahkan komponennya menjadi lipid dan protein membran, dan 2) mengubah konfigurasi protein membran selular. Akibatnya, terjadi perubahan struktur membran dan permeabilitas membran sel meingkat. Rusaknya membran sel tersebut terlihat dengan makin banyaknya kandungan sel yang terlarut pada saat benih disendam. Makin banyaknya zat terlarut dari dalam benih terlihat pada nilai absorban pelarut. Etanol sebagai salah satu alkohol menduduki urutan keempat setelah metanol, botanol, dan propanol, dalam efektivitasnyanya merusak membran sel (Gambar 5).

Bukti dapat masuknya etanol yang diberikan dari luar benih adalah meningkatnya kandungan etanol benih, makin lama benih diberi perlakuan uap etanol kandungan etanol makin tinggi. Jumlah bocoran metabolit akibat tingginya kandungan etanol benih oleh perlakuan dari luar membuktikan pengaruhnya pada kerusakan



Gambar 5. Tingkat kebocoran membran sel akibat alkohol: metanol (o), butanol (●), propanol (□), etanol (v), aseton (Δ), dan air (σ)(Priestley dan Leopold, 1980).

membran sel-sel dalam benih (Tabel 1). Daya hantar listrik cairan perendam benih yang makin tinggi dari benih yang kadar etanolnya makin tinggi (Saenong, 1986) juga menunjukkan makin tingginya kerusakan membran sel akibat etanol (Tabel 2). Kerusakan membran sel pada umumnya akibat terdenaturasinya protein membran (Harrington, 1973).

Tabel 1. Jumlah bocoran metabolit dalam air perendam benih, dan kadar etanol dari benih jagung (*Zea mays*) yang mendapat perlakuan uap etanol

Lama Penderaan uap etanol (menit)	Kadar etanol benih (ug/g benih)	Senyawa bocoran		
		Glukosa	Nitrogen	Pospat
0	1.82	107.85	3.68	4.58
10	10.01	94.10	3.68	3.90
20	14.47	161.25	5.17	4.60
30	18.57	244.90	5.17	4.50
40	26.75	285.35	11.28	5.78
50	28.81	367.75	18.05	6.46
60	33.07	348.15	16.37	7.62
70	34.93	388.30	11.97	6.72
80	39.26	393.30	14.88	6.78

Sumber: Pian (1981)

Pengaruh Etanol terhadap Aktivitas Mitokondria

Mitokondria adalah salah satu organel sel yang penting, tempat berlangsungnya proses oksidasi-reduksi yang menghasilkan ATP sebagai energi dalam proses metabolisme lainnya. Rantai respirasi terjadi dalam mitokondria. Asam suksinat dioksidasi menjadi fumarat dan NADH dioksidasi menjadi NAD⁺. Oksigen dalam rantai respirasi tersebut berperan sebagai akseptor elektron terakhir, dan direduksi menjadi air. Selain air, dalam respirasi juga dihasilkan karbon dioksida yang berasal dari siklus asam sitrat atau siklus Krebs.

Etanol yang diperlakukan pada benih mempengaruhi aktivitas respirasi yang dilakukan oleh mitokondria tersebut. Hal ini dapat merupakan indikasi bahwa pada membran mitokondria telah terjadi kerusakan oleh etanol. Kerusakan mitokondria akibat etanol ditunjukkan oleh makin rendahnya konsumsi oksigen dan produksi karbon

dioksida (Tabel 2). Akibat dari menurunnya aktivitas respirasi ini adalah menurunnya ATP yang dihasilkan selama imbibisi.

Tabel 2. Pengaruh uap etanol terhadap pengambilan oksigen dan produksi karbon dioksida benih jagung

Lama deraan uap etanol (menit)	Kadar etanol benih ($\mu\text{l/g}$)	Pengambilan O_2 ($\mu\text{l/jam/g}$)	Produksi CO_2 ($\mu\text{l/jam/g}$)
0	1.82	525.73	414.16
10	10.01	533.82	557.65
20	14.47	411.00	449.86
30	18.57	396.82	321.84
40	26.75	265.05	259.70
50	28.61	28.88	151.04
60	33.07	32.68	129.06
70	34.93	36.18	140.91
80	39.26	19.21	58.14

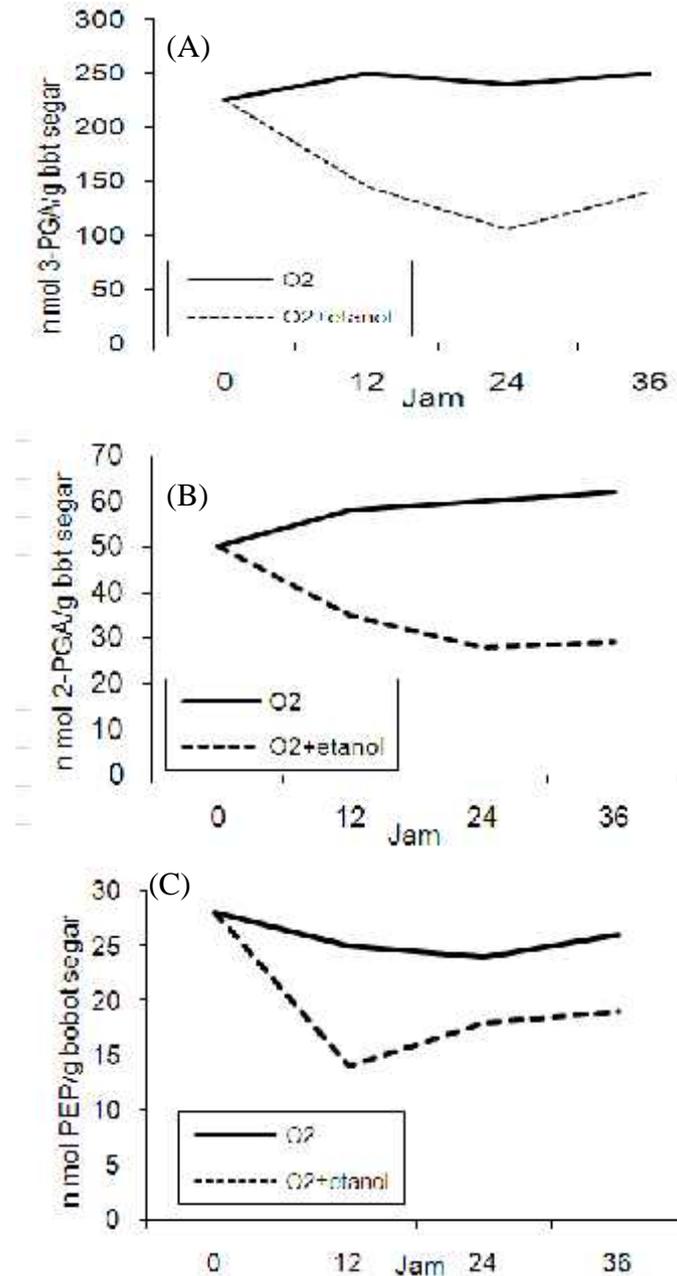
Sumber: Pian (1981)

Penelitian Rychter *et al.* (1979) menunjukkan bahwa etanol tidak saja mempengaruhi respirasi, tetapi juga glikolisis (Gambar 6 DAN 7). Etanol menurunkan jumlah 3-pospogliresaldehid (3-PGA), 2-PGA dan pospoenol piruvat. Pospoenolpiruvat adalah substrat dalam siklus asam trikarboksilat. Etanol menyebabkan kandungan isositrat dan ketoglutarat meningkat.

Oksigen diperlukan dalam setiap oksidasi NADH menjadi NAD^+ untuk menghasilkan ATP. Bila pengambilan oksigen menurun, maka produksi ATP juga akan menurun. Karbodioksida dihasilkan dalam dekarboksilasi isositrat menjadi ketoglutarat, dan dari ketoglutarat menjadi suksinil koenzim-A. Etanol menyebabkan menurunnya karbon dioksida, yang berarti proses dekarboksilasi tersebut berjalan tidak normal, sehingga kandungan isositrat dan ketoglutarat menjadi tinggi.

Perubahan isositrat menjadi ketoglutarat dikatalisir oleh enzim dehidrogenase ketoglutarat, dan menghasilkan CO_2 dan NADH, begitu juga pada perubahan ketoglutarat menjadi suksinil koenzim-A. Dengan demikian, penumpukan isositrat dan ketoglutarat, selain menurunkan jumlah produksi CO_2 juga menurunkan produksi NADH. Karena dalam proses rantai elektron, NADH diubah menjadi ATP, maka menurunnya produksi NADH berarti menurunkan produksi ATP. Bila dalam keadaan ketersediaan oksigen, satu mol NADH akan dioksidasi melalui lintasan sitokrom dan menghasilkan 3 mol ATP, sedangkan bila dioksidasi melalui lintasan alternatif maka

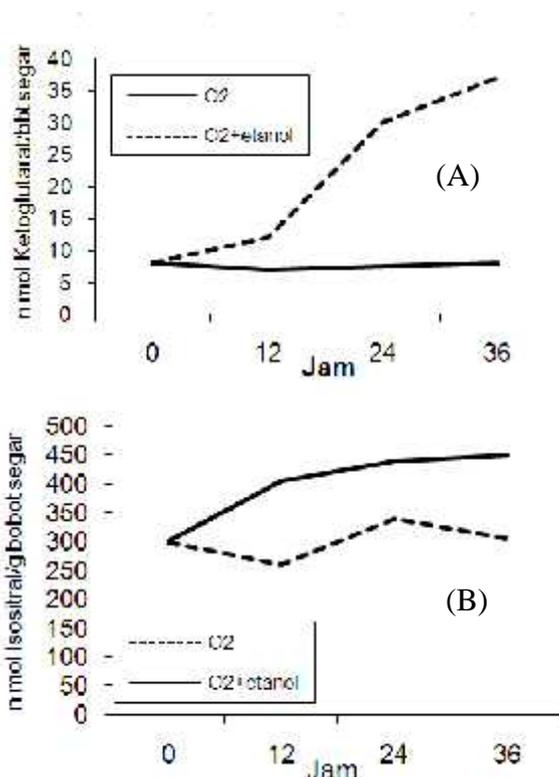
satu mol NADH akan menghasilkan hanya satu ATP. Lintasan alternatif ini terdapat pada tumbuhan tingkat tinggi. Berbeda dengan lintasan sitokrom, lintasan alternatif ini tidak peka terhadap sianida.



Gambar 6. Pengaruh etanol 5000 ml/liter udara terhadap kandungan 3-PGA (A), 2-PGA (B), dan pospoenol piruvat (C) pada umbi kentang (Rychter et al., 1979).

Pengaruh Etanol terhadap Viabilitas Benih

Kandungan etanol benih yang makin menua berkorelasi negatif dengan viabilitas benih. Makin lama benih disimpan, kandungan etanolnya makin tinggi dan viabilitasnya makin rendah (Tabel 3). Penyimpanan telah meningkatkan kandungan etanol benih, meningkatkan kemunduran benih, dan menurunkan viabilitas benih. Etanol turut mempercepat kemunduran benih dengan meningkatkan kerusakan membrana selular benih. Kerusakan membrana selular benih itu ditunjukkan oleh makin tingginya daya hantar listrik cairan perendam benih (Tabel 3). Hampir dapat



Gambar 7. Pengaruh etanol 5000 ml/liter udara terhadap jumlah ketoglutarat (A) dan isositrat (B) pada umbi kentang (Rychter et al., 1979).

dinyatakan dengan pasti, bahwa penyimpanan yang makin lama menyebabkan kadar etanol benih meningkat, dan akibatnya kerusakan membran meningkat, dan kemunduran benih juga meningkat.

Uap etanol yang diderakan pada benih kedelai yang telah berimbibisi juga menyebabkan turunnya viabilitas potensial (V_p) maupun vigor (V_g) benih (Tabel 4). Dengan demikian, etanol yang diderakan ke dalam benih meningkatkan kandungan

Tabel 3. Pengaruh periode simpan terhadap kadar etanol benih, daya hantar listrik cairan perendam benih, dan vigor benih jagung dan kedelai¹⁾

Periode Simpan (minggu)	Kadar etanol ($\mu\text{g/g}$)		Daya hantar listrik ($\mu\text{mhos/g}$) ²⁾		Vigor benih (%) ³⁾	
	jagung	kedelai	jagung	kedelai	jagung	Kedelai
0	11.75	7.75	8.99	85.51	88.14	74.89
5	15.50	11.67	11.93	91.94	91.39	75.14
10	16.00	15.75	12.64	104.56	84.66	64.10
15	17.25	16.25	13.64	127.96	77.44	25.55
20	16.25	18.63	19.13	126.36	71.12	43.96
25	20.88	21.63	21.26	148.72	74.22	36.59
30	20.50	523.50	37.72	189.91	75.39	27.53

Keterangan: 1) Sumber: Saenong (1986),
 2) Daya hantar listrik diukur pada air perendam benih setelah 24 jam,
 3) Vigor benih diukur dengan kecambah normal kuat dengan uji keserempakan tumbuh pada kecambah berumur 4x24 jam

etanol benih, meningkatkan kerusakan membran selular, menurunkan kegiatan respirasi sel, dan menurunkan viabilitas benih. Dengan kata lain, etanol di dalam benih baik secara buatan maupun alamiah menjadi penyebab primer dalam kemunduran benih.

Tabel 4. Pengaruh lama deraan uap etanol 95% pada viabilitas benih kedelai yang telah berimbibisi

Lama deraan (menit)	Viabilitas potensial (Vp) (%)	Vigor (Vg) (%)
0	94.80	82.80
20	94.27	81.87
60	91.33	75.86
100	89.87	66.14
140	89.20	61.73
160	89.33	56.73

Keterangan: 1) Sumber: Pramono (1991)
 2) Persen kecambah normal total pada umur 4x24 jam
 3) Persen kecambah normal kuat pada umur 4x24 jam.

Penderaan benih dengan larutan etanol dengan konsentrasi makin tinggi juga menurunkan viabilitas benih kacang tanah (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh deraan etanol larutan maupun uap jenuh etanol pada daya berkecambah benih kacang tanah

PSA (bulan)	DB (%)	IPCKU (menit)	DB (%)	IPCKL (%)	DB (%)
0	99,20	0	99,20	0	99,20
2	95,47	15	92,00	5	96,00
4	75,47	30	68,80	10	93,33
6	29,33	45	29,87	15	77,60

Keterangan: IPCKU= intensitas pengusangan cepat kimiawi dengan uap jenuh etanol; IPCKL= intensitas pengusangan cepat kimiawi dengan larutan etanol. Sumber: Pramono (2011a).

Pengaruh Etanol pada Kerusakan Kromosom

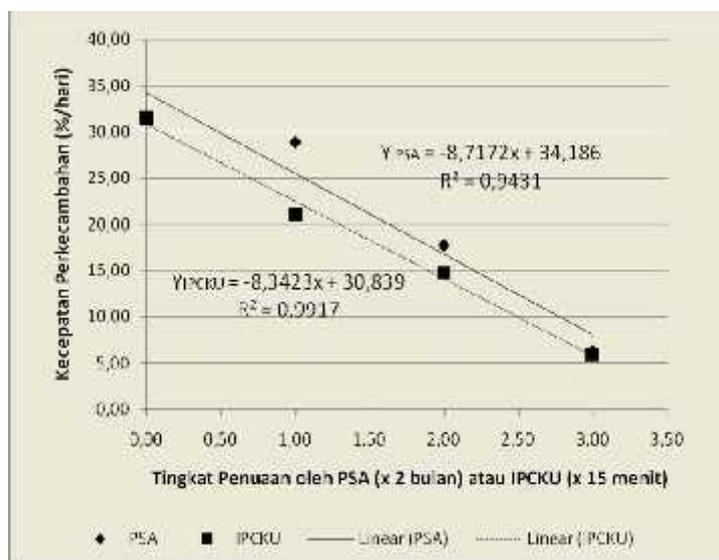
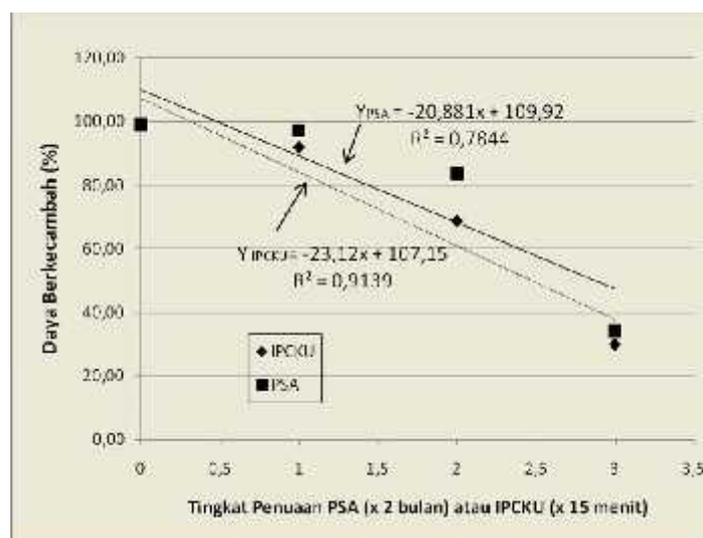
Sel-sel yang mengalami aberasi kromosom makin banyak pada kelompok benih yang berviabilitas makin rendah (Roberts, 1975). Viabilitas yang makin rendah itu ditemukan pada kelompok benih yang telah disimpan makin lama. Sebelumnya, telah dibahas bahwa makin lama periode simpan, kandungan etanol benih makin tinggi (Tabel 3). Lalu apakah ada hubungan antara kandungan etanol benih dengan kerusakan kromosom dalam sel-sel benih yang makin mundur. Artuti (1988) melaporkan bahwa benih kedelai yang didera uap etanol makin lama mengalami aberasi kromosom makin banyak pada sel-sel benih. Begitu juga dilaporkan oleh Setyawati (1989) pada benih bayam yang mendapat perlakuan deraan uap etanol 95%. Aberasi kromosom tersebut dilaporkan serupa dengan yang terjadi akibat radiasi sinar Gamma (Artuti, 1988).

Tidak terjadinya sintesis RNA dan protein pada benih yang telah mati (Bray dan Chow, 1976) menunjukkan telah tidak berfungsinya DNA akibat telah rusaknya kromosom. Total jumlah DNA dalam sel-sel benih yang mati sama dengan sel-sel yang masih hidup, hanya pada sel yang telah mati DNA dengan bobot molekul tinggi lebih sedikit (Osborne, 1980/1981).

Kemunduran benih akibat etanol dan akibat waktu alamiah

Kemunduran benih akibat perlakuan penuaan cepat menggunakan etanol berjalan lebih cepat daripada yang diakibatkan oleh waktu alamiah. Penelitian Pramono (2009) menunjukkan adanya kesetaraan nilai viabilitas benih selama kemunduran dipercepat akibat penderaan dengan uap jenuh etanol dengan kemunduran

alamiah oleh penyimpanan pada suhu kamar (Gambar 8). Pramono (2009) juga menyatakan bahwa intensitas pengusangan cepat dengan uap jenuh etanol 95% 11,13 menit setara dengan 0,172 bulan untuk benih kacang tanah. Kemunduran benih padi akibat penderaan uap etanol jenuh selama 1 menit setara dengan 0,21 bulan penyimpanan alamiah (Pramono, 2011b).



Gambar 8. Daya berkecambah (atas) dan kecepatan perkecambahan benih kacang tanah akibat kemunduran oleh penuaan dipercepat dengan uap jenuh etanol (◆) dan akibat periode simpan alamiah (■)

Pengaruh interaksi **p**elakuan penderaan benih tomat dengan larutan etanol dengan konsentrasi yang makin tinggi dan lama penderaannya adalah nyata (Mulyanti et al., 2013). Penderaan selama 6 jam dengan larutan etanol 9% belum menyebabkan kemunduran yang nyata dibandingkan dengan tanpa didera, sedangkan lama deraan 12

jam dengan larutan etanol 9% sudah menyebabkan kemunduran yang nyata, dan penderaan 18 jam sudah menyebabkan kemunduran benih yang nyata dengan larutan etanol 6%.

Kesimpulan

Etanol yang ada di dalam benih (etanol endogenus) adalah suatu hasil dari metabolisme respirasi anaerob, yang dapat dikandung oleh benih yang masih kering maupun yang sudah berimbibisi dan akan berkecambah. Jumlah etanol benih meningkat sejalan dengan lamanya benih mengalami periode simpan, meningkatnya bocoran metabolit, dan turunnya viabilitas benih. Etanol yang diinduksi dari luar benih (etanol eksogenus) ke dalam benih juga menyebabkan meningkatnya kadar etanol dalam benih. Meningkatnya kadar etanol benih akibat perlakuan etanol eksogenus yang makin tinggi menyebabkan bocoran metabolit meningkat, aktivitas respirasi menurun, dan viabilitas benih menurun. Dengan demikian, perlakuan etanol eksogenus dapat mempengaruhi proses metabolisme, terutama pada respirasi, dan menyebabkan kerusakan membran sel, sebagaimana terjadi pada benih akibat perlakuan periode simpan yang makin panjang.

Daftar Pustaka

- Artuti, A.M. 1988. Penelitian perbandingan devigorasi benih kedelai (*Glycine max* [L.] Merr.) oleh deraan etanol dengan deraan radiasi dan cendawan *Aspergillus flavus*. Tesis. Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor. 72 hlm.
- Bray, C.M., and T.Y. Chow. 1976. Protein and RNA in nonvisibl peas. *Biochem. Biophys. Acta* 442:1-13.
- Kolloffel, C. 1968. Alcoholdehydrogenase in peas. *Acta Bot. Neerl.* 17:70-77.
- Mulyanti, C. N., E. Pramono, M. S. Hadi, dan Ermawati. 2013. Pengaruh konsentrasi etanol dan lama penderaan pada viabilitas benih tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal Agrotek Tropika* 1(3):246-251.
- Osborne, D.J., R.Sharon, and R. Ben-Ishai. 1980/1981. DNA integrity and repair. *Isr. J. Bot.* 29:259-272.
- Pian, Z.A. 1981. Pengaruh uap etil alkohol terhadap viabilitas benih jagung (*Zea mays* L.) dan pemanfaatannya untuk menduga daya simpan benih. Disertasi. Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor. 279 hlm.

Pradet, A. and C. Prat. 1976. Anoxia and AEC in rice. *Etudes de Biologie Vegetale*. R. Jaques. Paris. pp. 561-574.

Pramono, E. 1991. Penggunaan nilai delta dan nilai rasio viabilitas untuk menduga daya konservasi pratanam benih kedelai (*Glycine max* [L.] Merr.). Tesis. Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor. 103 hlm.

Pramono, E. 2009. Daya Simpan Dugaan 90% (Dsd-90) Dari Intensitas Pengusangan Cepat Kimiawi Dengan Uap Etanol (IPCKU) pada Benih Kacang Tanah (*Arahis hypogaea* L.) Prosiding Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Lampung. Hlm B: 12-18.

Pramono, E. 2011a. Nilai Kesetaraan antara Intensitas Pengusangan Cepat (IPC) dan Periode Simpan Alamiah (PSA) pada Benih Kacang Tanah (*Arachis Hypogaea* L.). Prosiding Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat UNILA - 21 September 2011. Hlm I-107-115

Pramono, E. 2011 b. Nilai Kesetaraan antara Intensitas Pengusangan Cepat dengan Uap Etanol (IPCUE) dan Periode SIMPAN Alamiah (PSA) pada Benih Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Pembangunan Pedesaan*, 11 (2):75-85.

Priestley, D.A. and C. Leopold. 1980. Alcohol stress on soyabean seeds. *Ann. Bot.* 45:39-45.

Roberts, E.H. 1975. Storage and genetic changes. In *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Vol. II. I.B.P. pp. 269-296. Cambridge Univ. Press. U.K.

Rumpho, M.E., and R.A. Kennedy. 1981. Anaerobic metabolism of oryzicola. *Plant Physiol.* 68:165-168.

Rychter, A.H., W. Janes, C.K. Chin, and C. Prenkel. 1979. Effect of ethanol, acetaldehyde, acetic acid, and ethylene on changes in respiration and respiratory metabolism in potato tubers. *Plant Physiol.* 64:108-111.

Saenong, S. 1986. Kontribusi vigor awal terhadap daya simpan benih jagung (*Zea mays* L.) dan kedelai (*Glycine max* [L.] Merr.) . Disertasi. Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor. 260 hlm.

Setyawati, A.S. 1989. Pengaruh devigorasi etanol, radiasi Co 60, dan etilmetana sulfonat (EMS) terhadap kemunduran benih bayam (*Amaranthus* sp.). Tesis. Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor. 56 hlm.