

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap cekaman kekeringan pada kondisi lapang

*Biochemical responses of several oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)
progenies to drought stress in field condition*

Nurita TORUAN-MATHIUS¹⁾, TONY-LIWANG²⁾, M IBRAHIM-DANUWIKARSA³⁾,
G. SURYATMANA⁴⁾, H. DJAJASUKANTA⁴⁾, D. SAODAH⁴⁾,
& I.G.P. WENTEN ASTIKA⁴⁾.

¹⁾ Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor 16151, Indonesia

²⁾ PT SMARTRI, Kandista, Riau.

³⁾ Fakultas Pertanian, Universitas Islam Nusantara, Bandung

⁴⁾ Fakultas Pascasarjana, Universitas Pajajaran, Bandung

Summary

Oil palm have shallow roots, it caused the plant intolerant to drought stress and will decrease 10-40% bunch fresh weight in drought condition. Response of oil palm to drought stress in field conditions still unknown. The objective of these research to obtain biochemical character which has significant correlation with drought tolerance, and to obtain tolerant progeny with high yield (fresh bunch weight) in drought condition. The experiment were conducted in Riau (Kandista estate) and South Kalimantan (Batu Mulia estate), with different of soil type and rainfalls. Observation were done in four times in different month with different rainfalls. On each time of observation were analyzed proline, glycine betaine, ornithine- δ -aminotransferase (δ -OAT) enzyme content, as biochemical variables and bunch weight as yield variable response. Eleven oil palm progenies 10-year-old grown in field divided with three block (as replication), each plot consisted of 16 plants. Data were analyzed with Combined Experiment Analysis, Principal Component Analysis, Multiple Regression Analysis, and Path Analysis. The results showed that eleven progenies give

different responses to drought stress in each variable, location and time of observation. Most of progenies responsive to two or three biochemical characters. Progeny 52 has no correlation with most of biochemical characters. Progeny 33 responsive with proline, while progeny 85, 91 and 93 have high responsive to protein. Proline, δ -OAT enzyme, and protein have high correlation with bunch weight. Proline, and δ -OAT enzyme, categorized as biochemical characters of oil palm tolerance to drought stress. Progeny 33 more tolerance to drought stress compare with others progenies, and have highest productivity in Batu Mulia estate.

[Key words: Oil palm, *Elaeis guineensis*, drought stress, glycine betaine, ornithine- δ -aminotransferase enzyme (δ -OAT), leaf proline]

Ringkasan

Tanaman kelapa sawit memiliki perakaran yang dangkal sehingga mudah mengalami cekaman kekeringan yang dapat menurunkan

hasil TBS 10-40%. Respons tanaman kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan dalam kondisi lapang masih sangat sedikit sekali diketahui. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan penciri biokimia yang berperan dalam sifat toleran tanaman terhadap cekaman kekeringan dan hubungan penciri biokimia dengan hasil tandan buah segar (TBS), serta menetapkan progeni yang toleran dan berproduksi tinggi pada lokasi yang tercekam. Percobaan dilakukan di dua lokasi perkebunan yang terletak di Riau (perkebunan Kandista) dan Kalimantan Selatan (perkebunan Batu Mulia) yang berbeda tipe tanah dan curah hujannya. Pengamatan dilakukan pada empat waktu, pada bulan yang berbeda curah hujannya. Pada keempat waktu tersebut dianalisis kadar prolin, glisin-betain, enzim ornitin- δ -aminotransferase (δ -OAT), dan protein sebagai variabel respons biokimia serta hasil TBS sebagai variabel respons produktivitas tanaman kelapa sawit. Tiap lokasi percobaan menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak. Tanaman kelapa sawit berumur 10 tahun sebanyak 11 progeni yang telah ada di lapangan, ditetapkan sebanyak tiga blok (sebagai ulangan). Tiap plot percobaan berisi 16 tanaman. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis statistika percobaan tergabung, analisis komponen utama, regresi berganda dan analisis jalin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan respons 11 progeni kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan pada masing-masing variabel respons dalam lokasi dan waktu pengamatan yang berbeda. Seluruh progeni responsif terhadap dua atau tiga penciri biokimia selama waktu penelitian berlangsung, kecuali progeni 52 tidak memiliki korelasi dengan seluruh penciri biokimia. Progeni 33 responsif terhadap prolin, sedang progeni 85, progeni 91 dan progeni 93 cukup responsif terhadap protein. Prolin, enzim δ -OAT, dan protein berhubungan erat dengan hasil TBS. Prolin, enzim δ -OAT, dan protein dapat dikategorikan sebagai penciri biokimia terhadap cekaman kekeringan pada tanaman kelapa sawit. Progeni 33 lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan

dengan progeni lainnya dan produktivitasnya tertinggi di perkebunan Batu Mulia.

Pendahuluan

Cerahnya prospek komoditi minyak sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit. Sesuai dengan kebijakan pemerintah untuk pengembangan areal kelapa sawit ke arah Kawasan Timur Indonesia (Departemen Pertanian, 2002), perusahaan perkebunan telah melakukan ekspansi bukan saja menggunakan lahan yang tersedia di pulau Sumatera, tetapi juga di Kalimantan, Papua, dan Sulawesi (Bangun, 2002). Namun, kendala perluasan areal kelapa sawit adalah harus menggunakan lahan marginal dengan keterbatasan kesuburan tanah, iklim, dan ketersediaan serta kualitas air, yang menyebabkan tanaman mengalami cekaman kekeringan. Winarso (1992) melaporkan bahwa cekaman air dapat lebih parah karena saat ini terjadi perubahan iklim global yang mengarah ke suhu harian yang meningkat, kelembaban udara menurun, periodisitas iklim kering semakin pendek, dan kelebihan sinar ultra violet.

Kekeringan dengan defisit air di atas 250 mm tahun⁻¹ akan mengakibatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit terganggu yang berlangsung sampai 2 – 3 tahun ke depan (Lubis, 1992). Sebagai contoh, produksi tandan buah segar di Kebun Bekri (Lampung) menurun akibat kekeringan pada musim kemarau panjang yang terjadi pada tahun 1982. Penurunan tersebut 5 – 11% pada tahun berjalan, 14 – 55 % pada tahun 1983, dan 4 – 30% pada tahun 1984 (Lubis, 1985).

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

Pengaruh cekaman kekeringan tidak hanya pada fase vegetatif tetapi juga pada fase generatif (Pimental *et al.*, 1999). Secara morfologis pengaruh cekaman kekeringan terjadi pada pertumbuhan vegetatif, terutama pada luas daun, pertumbuhan tunas baru, nisbah pupus-akar. Pada fase generatif pembungaan tidak normal, aborsi embrio, dan perkembangan biji dan buah tidak normal yang akhirnya dapat menurunkan hasil (Kramer, 1983). Pada tanaman kelapa sawit, cekaman kekeringan yang berlangsung lama dapat menghambat pembukaan pelepah daun muda, daun bagian bawah cepat mengering, merusak hijau daun, tandan buah mengering dan patah pucuk, bahkan tanaman mati jika kondisi ekstrim kering terjadi (Caliman, 1992; Caliman & Southworth, 1998). Pada fase reproduktif cekaman kekeringan menyebabkan perubahan nisbah kelamin bunga, bunga dan buah muda gugur, dan tandan buah gagal masak (Caliman & Southworth, 1998), sehingga menurunkan produksi tandan buah segar 10 % – 40 % dan minyak sawit 21 % – 65 % (Siregar *et al.*, 1998; Subronto *et al.*, 2000).

Cara yang paling baik untuk mengurangi intensitas cekaman kekeringan adalah dengan irigasi, namun memerlukan biaya yang tinggi di samping sumber air harus tersedia cukup yang juga menjadi kendala pada musim kemarau. Subronto *et al.* (1998) mengemukakan bahwa upaya yang efisien untuk menanggulangi permasalahan tersebut adalah menanam tanaman yang toleran terhadap cekaman kekeringan. Seleksi awal dapat dilakukan di lapang, yaitu dengan penelusuran tetua-tetua yang mempunyai potensi toleran terhadap cekaman kekeringan sebagai sumber materi genetik persilangan.

Seleksi tanaman kelapa sawit yang toleran terhadap cekaman kekeringan dengan mengukur hasil tandan buah segar (TBS) memerlukan waktu tunggu yang cukup lama, minimal dapat diukur pada tanaman berusia 7 tahun idealnya pada usia 9 tahun – 14 tahun. Untuk itu perlu dianalisis penciri-penciri biokimia yang berkorelasi dengan hasil tanaman, sehingga penciri biokimia tersebut dapat digunakan untuk menyeleksi tanaman yang toleran terhadap cekaman kekeringan pada usia yang lebih muda. Subronto *et al.* (2000) melaporkan bahwa bobot daun spesifik, kadar air daun, turgiditas relatif, kadar K limpasan, dan limpasan metabolit memiliki hubungan yang relatif erat dengan kondisi tanah. Hasil pengamatan yang dilakukan pada umur 6 bulan dan 12 bulan dalam kondisi rumah kaca, menunjukkan bahwa dari kelima peubah tersebut yang konsisten dan memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi dengan kadar air tanah ialah kadar air daun dan turgiditas relatif. Seleksi menggunakan peubah tersebut mampu menetapkan satu persilangan toleran terhadap cekaman kekeringan.

Respons tanaman yang mengalami cekaman kekeringan meliputi perubahan pada tingkat seluler dan molekuler seperti perubahan akumulasi senyawa metabolit osmotik terlarut, perubahan metabolisme karbon dan nitrogen sebagai respons biokimia, dan perubahan ekspresi gen sebagai respons molekuler (Muller & Whitsitt, 1996). Wijana (2001) dan Toruan-Mathius *et al.* (2002) melaporkan bahwa dalam menghadapi cekaman kekeringan, bibit tanaman kelapa sawit pada kondisi rumah kaca melakukan mekanisme penyesuaian osmotik yang diawali dengan

perubahan gula osmotik, terutama gula silosa, kemudian terinduksinya protein berbobot molekul rendah dan akumulasi prolin. Dari peubah tersebut perubahan kadar prolin, gula silosa dan potensial air daun merupakan karakter pembeda tingkat toleransi tanaman kelapa sawit yang nyata terhadap cekaman kekeringan.

Disimpulkan pula aktivitas enzim δ -OAT pada kelompok hibrida kelapa sawit berpotensi toleran lebih tinggi dibandingkan dengan hibrida berpotensi peka terhadap cekaman kekeringan dan terinduksinya protein baru dengan bobot molekul rendah pada hibrida kelapa sawit berpotensi toleran terhadap cekaman kekeringan (Wijana, 2001).

Hasil penelitian dalam kondisi rumah kaca tersebut di atas perlu diuji lebih lanjut dalam kondisi lapang pada tanaman kelapa sawit yang sudah berproduksi. Peubah biokimia sebagai penciri cekaman kekeringan juga perlu diuji derajat keeratan hubungannya dengan peubah hasil tandan buah segar sebagai penciri produktivitas tanaman. Sehingga dapat diperoleh peubah biokimia penciri cekaman air serta tanaman kelapa sawit yang toleran terhadap cekaman kekeringan dan berproduksi tinggi.

Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh penciri biokimia yang berhubungan dengan hasil TBS dalam proses seleksi progeni kelapa sawit yang toleran terhadap kondisi cekaman kekeringan.

Bahan dan Metode

Bahan tanaman yang digunakan pada penelitian ini ialah 11 progeni kelapa sawit, berumur 10 tahun dari dua lokasi yang berbeda, yaitu perkebunan Kandista, Riau dan perkebunan Batu Mulia, Kalimantan

Selatan. Untuk kebun Kandista, tipe tanah lempung berpasir. Pada bulan musim hujan September sampai dengan April dan pada musim kering bulan Mei sampai dengan Agustus, hari hujan masing-masing berkisar antara 10-15 dan 5-8 hari per bulan. Kebun Batu Mulia, tipe tanah berpasir, sebagian gambut. Bulan hujan Oktober sampai dengan April, sedang musim kering bulan Mei sampai dengan September, hari hujan masing-masing berkisar antara 8-13 dan 5-7 hari hujan per bulan. Pengamatan dilakukan sebanyak empat kali dengan selang pengamatan tiga bulan, pengamatan pertama mewakili awal musim hujan, pengamatan kedua musim hujan, pengamatan ketiga mewakili awal musim kering, dan pengamatan keempat pada musim kering.

Pengambilan contoh untuk analisis biokimia di laboratorium, berupa bagian tengah helai daun diambil dari sepasang helai daun tengah dari pelepah daun ke 17. Tiap percobaan menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (Gomez & Gomez, 1984). Tanaman kelapa sawit sebanyak 11 progeni yang telah ada di lapangan ditetapkan sebanyak tiga blok (sebagai ulangan), tiap plot percobaan berisi 16 tanaman. Variabel respons yang diamati dalam percobaan ini ialah (1) kadar prolin, (2) kadar glisin-betain, (3) kadar enzim ornitin- δ -aminotransferase (δ OAT), (4) kadar protein, dan (5) hasil tandan buah segar (TBS).

Kadar prolin daun ditetapkan menurut metode Bates *et al.* (1973). Kromofor yang terbentuk dari hasil analisis, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer. (Spectronic 20 Genesys) pada panjang gelombang 520 nm. Kadar glisin-betain ditetapkan menurut Grieve & Grattan (1983). Kristal periodida dari hasil analisis

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

dipisahkan, kemudian dilarutkan dengan 4 mL 1,2-dikloroetana, dikocok kuat dengan vorteks, didiamkan selama 2,0 - 2,5 jam pada suhu ruang dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer (Spectronic 20 Genesys) pada panjang gelombang 498 nm. Kadar enzim δ -OAT ditetapkan menurut metode Kim *et al.* (1991). Analisis aktivitas enzim δ -OAT diukur berupa P5C. Larutan P5C diukur absorbansinya dengan spektrofotometer (Spectronic 20 Genesys) pada panjang gelombang 510 nm. Kadar protein daun ditetapkan menurut Lowry *et al.* (1951). Supernatan hasil ekstraksi penetapan aktivitas enzim δ -OAT dipipet 10 μ L ditambahkan akuades 3,19 mL dan pereaksi C 1,2 mL, divorteks dan didiamkan 10 menit, kemudian ditambahkan pereaksi D 400 μ L, divorteks dan didiamkan 30 menit, lalu diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer (Spectronic 20 Genesys) pada panjang gelombang 750 nm. Sebagai standar digunakan *Bovine Serum Albumin* (BSA) (Sigma).

Produksi tandan buah segar (TBS)

Panen dilakukan apabila tandan telah matang yang ditandai dengan adanya buah luar yang lepas dari tandan dan jatuh ke tanah. Data pengamatan variabel respons hasil tanaman kelapa sawit diperoleh dari hasil penimbangan TBS pada setiap kali panen dari setiap plot percobaan yang berjumlah 16 tanaman. Agar data selaras dengan variabel respons biokimia yang diamati setiap tiga bulan, maka data yang diolah secara statistik pada setiap titik pengamatan (periode) ialah perjumlahan hasil TBS selama tiga bulan pula. Hasil

TBS ditetapkan dengan satuan kg plot⁻¹ periode⁻¹.

Variabel respons biokimia dan TBS

Data hasil percobaan dari dua lokasi dan empat waktu pengamatan dianalisis dengan metode Analisis Percobaan Tergabung (Gomez & Gomez, 1984; Totowarsa *et al.*, 1978) dengan bantuan perangkat lunak komputer MStatc. Sebelum analisis percobaan tergabung dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan pengujian homogenitas ragam galat dari sidik ragam dengan metoda uji Chi² - Bartlett. Apabila pengujian tersebut nyata dan koefisien keragaman terlalu besar yaitu > 20 % maka dikeluarkan dari analisis gabungan. Selanjutnya untuk membandingkan nilai rata-rata, dilakukan uji lanjut Scott Knott pada taraf nyata 5 %. Berdasarkan Totowarsa *et al.* (1978) kesimpulan dalam analisis percobaan tergabung diarahkan kepada efek interaksi.

Pengkajian progeni terhadap variabel respons biokimia harus bebas dari pengaruh interaksi antar variabel biokimia itu sendiri, untuk itu dilakukan Analisis Komponen Utama (Gaspersz, 1992) dengan bantuan perangkat lunak komputer Statgraphic. Selanjutnya untuk mengetahui variabel biokimia mana saja yang mempengaruhi hasil TBS kelapa sawit dan berapa besar pengaruhnya baik secara langsung atau tidak langsung (melalui variabel respons biokimia lainnya), dilakukan Analisis Regresi Berganda dan Sidik Jalin menurut Draper & Smith (1981), Wonnacott & Wonnacott (1981) dengan bantuan perangkat lunak komputer Mstatc dan Matlab.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh lokasi, waktu pengamatan dan progeni terhadap variabel respons biokimia dan TBS

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ragam individu adalah hanya pada variabel respons protein yang tidak ada perbedaan keragaman, sedangkan variabel respons lainnya ada perbedaan ragam pada taraf 5% di antara dua lokasi. Namun, karena hanya pada variabel respons glisin-betain dan hasil TBS yang koefisien keragamannya > 20%. Menurut Gomez & Gomez (1984) kedua variabel tersebut dikeluarkan dari analisis tergabung, sedangkan variabel respons lainnya tetap diuji dengan analisis tergabung.

(a) *Kadar prolin*

Terjadi interaksi antara lokasi dengan

waktu pengamatan terhadap kadar prolin (Tabel 1). Kadar prolin berbeda nyata antar lokasi pada masing-masing waktu pengamatan, kecuali pada pengamatan kedua. Kadar prolin tertinggi diperoleh dari pengamatan pertama di lokasi perkebunan Kandista dan berturut-turut lebih rendah secara nyata pada pengamatan kedua, ketiga dan keempat, di lokasi perkebunan Batu Mulia kadar prolin tertinggi pada waktu pengamatan ke dua naik secara nyata dari waktu pengamatan pertama dan turun kembali pada waktu pengamatan ketiga dan keempat.

Tampak bahwa kadar prolin berbanding terbalik dengan jumlah curah hujan selama pengamatan berlangsung. Semakin tinggi curah hujan, semakin rendah kadar prolin dan sebaliknya. Selama penelitian curah hujan di perkebunan Batu Mulia dan di perkebunan Kandista yang sama-sama relatif rendah ialah hanya pada bulan Agustus yaitu

Tabel 1. Pengaruh interaksi lokasi dan waktu pengamatan terhadap kadar prolin.

Table 1. *Effect interaction location and time observation on proline content.*

Waktu pengamatan <i>Observation time</i>	Lokasi (<i>Location</i>)	
	Kandista	Batu Mulia
	-----µmol g ⁻¹ -----	
1.	3,06 Db*	1,85 Aa
2.	2,62 Ca	2,47 Ca
3.	2,20 Bb	1,94 Ba
4.	2,00 Ab	1,61 Aa

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada P<0,05. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* *Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, P< 0.05. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.*

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

sebesar 68,0 mm di Batu Mulia dan sebesar 125,5 mm di perkebunan Kandista. Sebagai penciri biokimia atau metabolit osmotik tampak prolin cukup sensitif, karena dalam kondisi cekaman air telah mampu menunjukkan peningkatan walau tidak terlampaui tinggi. Sebagaimana dikemukakan Girousse *et al.* (1996) serta Yang & Kao (1999) peningkatan kadar prolin pada saat awal terjadinya cekaman air relatif lambat dan meningkat cepat setelah tanaman mengalami cekaman lebih lanjut.

Secara umum kadar prolin lebih tinggi pada waktu pengamatan pertama dan kedua dibandingkan dengan waktu pengamatan ketiga dan keempat (Tabel 2). Tampak adanya keragaman antar progeni pada setiap waktu pengamatan dan tampak pula adanya kesamaan pada progeni 33 yaitu memiliki kadar prolin yang lebih tinggi, baik nyata atau tidak nyata dibandingkan dengan progeni lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa progeni 33 dapat dikategorikan sebagai kandidat progeni yang toleran terhadap cekaman air.

Menurut Yoshida *et al.* (1997) prolin dijumpai terakumulasi lebih banyak pada tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan pada tanaman yang peka. Delauney & Verma (1993) juga melaporkan bahwa ada indikasi korelasi positif antara akumulasi prolin dengan adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan dan salinitas.

Perbedaan lokasi, waktu pengamatan maupun progeni tanaman kelapa sawit tidak mempengaruhi secara nyata kadar glisinbetain dalam daun kelapa sawit. Kondisi ini salah satunya disebabkan tanah tidak mengalami defisit air, sehingga tanaman kelapa sawit tidak mengalami cekaman air yang nyata. Sesuai dengan pendapat

Ladyman *et al.* (1980) bahwa kadar glisinbetain pada daun tanaman yang tidak mengalami cekaman kekeringan kuat tidak banyak mengalami perubahan. Begitu pula Wijana (2001) melaporkan bahwa glisinbetain bukanlah sebagai penyesuaian osmotik yang utama pada tanaman kelapa sawit walau mengalami cekaman kekeringan yang nyata.

Enzim Ornitin- δ -Aminotransferase (δ -OAT)

Terjadi interaksi antara lokasi dan waktu pengamatan terhadap enzim ornitin- δ -aminotransferase (δ -OAT) pada daun tanaman kelapa sawit (Tabel 3). Enzim δ -OAT merupakan salah satu enzim yang berperan dalam pembentukan prolin melalui jalur ornitin, namun keragaman kadar enzim δ -OAT sebagai pengaruh interaksi antara lokasi dan waktu pengamatan ternyata tidak sejalan dengan keragaman kadar prolin pada interaksi faktor-faktor yang sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa selain enzim δ -OAT masih ada faktor lain yang terlibat dalam pembentukan prolin.

Efek progeni sangat nyata pada respons enzim δ -OAT adalah mandiri tidak tergantung kepada lokasi dan waktu pengamatan (Tabel 4). Enzim δ -OAT tampak nyata lebih tinggi pada progeni 33 dibandingkan dengan progeni lainnya sejalan dengan interaksi antara progeni dengan waktu pengamatan terhadap kadar prolin. Menurut Delauney & Verma (1993) enzim δ -OAT adalah salah satu enzim yang terlibat dalam biosintesis prolin. Seperti halnya kadar prolin, enzim δ -OAT nyata lebih tinggi pada progeni 33 dibandingkan dengan progeni lainnya sejalan dengan interaksi antara progeni dengan waktu pengamatan terhadap kadar prolin. Menurut

Tabel 2. Pengaruh interaksi antara waktu pengamatan dan progeni terhadap kadar prolin.

Table 2. Effect interaction of time observation with progeny on proline content.

Progeni Progeny	Waktu pengamatan Observation time			
	1	2	3	4
	----- $\mu\text{mol g}^{-1}$ -----			
16	2,71 Bb*	2,59 Bb	2,20 Ba	2,10 Ba
24	2,37 Ab	2,46 Ab	1,69 Aa	1,97 Ba
33	2,82 Bb	2,79 Bb	2,56 Ba	2,14 Ba
51	2,49 Ab	2,69 Bb	2,03 Ba	1,78 Aa
52	2,19 Ab	2,74 Bc	1,97 Ab	1,54 Aa
62	2,08 Ab	2,63 Bc	2,06 Bb	1,43 Aa
63	2,51 Ab	2,37 Ab	2,32 Bb	1,55 Aa
83	2,35 Ab	2,17 Ab	1,92 Aa	1,73 Ba
85	2,46 Ab	2,53 Bb	1,80 Aa	1,81 Ba
91	2,35 Ab	2,78 Bb	2,03 Ba	1,73 Ba
93	2,67 Bb	2,23 Ab	2,20 Ba	2,08 Ba

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada $P < 0,05$. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.

Tabel 3. Pengaruh interaksi lokasi dan waktu pengamatan terhadap enzim δ OAT.

Table 3. Effect interaction of location and observation time on δ -OAT enzyme.

Waktu pengamatan Observation time	Lokasi (Location)	
	Kandista	Batu Mulia
	----- $\delta \text{ mol P5C g}^{-1} \text{ protein}$ -----	
1.	8,18 Cb*	5,31 Aa
2.	5,23 Ba	5,79 Aa
3.	4,41 Aa	5,27 Ab
4.	8,26 Cb	6,49 Ba

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada $P < 0,05$. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

Delauney & Verma(1993),enzim δ -OAT adalah salah satu enzim yang terlibat dalam biosintesis prolin. Wijana (2001) melaporkan bahwa aktivitas δ -OAT pada kelompok hibrida kelapa sawit berpotensi toleran lebih tinggi dibandingkan dengan hibrida berpotensi peka terhadap cekaman air. Dengan demikian berdasarkan kadar δ -OAT progeni 33 dapat dikategorikan sebagai kandidat progeni yang toleran terhadap cekaman air.

Faktor lokasi dan waktu pengamatan tidak sejalan dengan efek mandiri progeni terhadap enzim δ -OAT. Hal ini menunjukkan bahwa selain enzim δ -OAT masih ada faktor lain yang terlibat dalam pembentukan prolin. Apabila demikian,

maka pembentukan prolin selain melalui jalur ornitin dengan bantuan enzim δ -OAT, juga melalui jalur glutamat dengan bantuan enzim pirolin-5-karboksilat sintetase (P5CS). Wijana (2001) melaporkan bahwa pembentukan prolin pada tanaman kelapa sawit muda hanya melalui jalur ornitin dengan bantuan enzim δ -OAT. Delauney & Verma (1993) melaporkan bahwa berdasarkan kandungan enzim δ -OAT dan P5CS pada benih *Vigna aconitifolia* kedua jalur tersebut berperan dalam sintesis prolin di bawah kondisi normal. Demikian pula pendapat Trotel-Aziz (2003) bahwa sintesis dan juga degradasi prolin melalui jalur glutamat maupun ornitin. Progeni-progeni kelapa sawit yang memiliki kandungan

Tabel 4. Efek tunggal progeni pada variabel respons enzim δ -OAT.

Table 4. Single effect of progeny on respons variable δ -OAT enzyme.

Progeni Kode Code progeny	Enzim (enzyme) δ -OAT
	$\mu\text{mol P5C g}^{-1}$ protein
16	6,11 a
24	6,20 a
33	6,98 b
51	6,00 a
52	5,99 a
62	5,96 a
63	6,08 a
83	6,38 a
85	5,79 a
91	5,83 a
93	5,97 a

* Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada, $P < 0,05$.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$.

prolin dan enzim δ -OAT yang tinggi memiliki kandungan protein yang nyata lebih rendah. Menurut Irigoyen (1992) tanaman yang mengalami cekaman kekeringan, mengalami penurunan kadar protein akibat penurunan sintesis dan peningkatan degradasi protein. Begitu pula pendapat Hanson & Hitz (1982) bahwa pada daun yang mengalami cekaman kekeringan terjadi penurunan sintesis protein dari prolin sedangkan proteolisis protein menjadi prolin berlangsung tetap sehingga kadar protein dalam daun menurun. Chakraborty (2002) melaporkan bahwa terjadi penurunan kadar protein pada daun tanaman teh kultivar Toklai dan Darjeeling setelah mengalami cekaman kekeringan

(b) Protein

Kadar protein beragam, nyata lebih tinggi pada daun kelapa sawit yang tumbuh di lokasi perkebunan Batu Mulia dibandingkan dengan di perkebunan Kandista

pada waktu pengamatan pertama dan keempat, tidak berbeda pada waktu pengamatan kedua dan ketiga (Tabel 5). Begitu pula keragaman terjadi antar waktu pengamatan di masing-masing lokasi, tanaman kelapa sawit yang tumbuh di perkebunan Kandista, kadar proteinnya naik dari waktu pengamatan pertama sampai waktu pengamatan ketiga dan turun kembali pada waktu pengamatan keempat. Sedangkan pada daun tanaman kelapa sawit yang tumbuh di perkebunan Batu Mulia kadar proteinnya turun mulai waktu pengamatan kedua hingga keempat yang berbeda nyata dengan waktu pengamatan pertama.

Tampak antar lokasi terjadi keragaman yang tidak sejalan dengan waktu pengamatan. Pengaruh interaksi antara lokasi dengan progeni terhadap kadar protein daun kelapa sawit memperlihatkan bahwa jumlah progeni yang berbeda sebanding dengan yang sama kadar proteinnya antara lokasi perkebunan

Tabel 5. Pengaruh interaksi lokasi dan waktu pengamatan terhadap kadar protein.
 Table 5. Effect interaction of location and observation time on protein content.

Waktu pengamatan Observation time	Lokasi (Location)	
	Kandista	Batu Mulia
	----- mg g ⁻¹ -----	
1	211,97 Aa*	289,39 Bb
2	261,11 Ba	260,54 Aa
3	274,92 Ba	265,66 Aa
4	224,26 Aa	253,68 Aa

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada P<0,05. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, P< 0.05. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

Kandista dan perkebunan Batu Mulia. Hasil tersebut sejalan dengan interaksi antara lokasi dengan waktu pengamatan, progeni 85, progeni 91 dan progeni 93 nyata lebih tinggi kandungan proteinnya dibandingkan dengan progeni lainnya di lokasi perkebunan Kandista maupun Batu Mulia (Tabel 6).

Pengaruh interaksi antara waktu pengamatan dengan progeni terhadap kadar protein beragam antar lokasi pada sebagian progeni, namun demikian pada progeni 85, progeni 91 dan progeni 93 tidak terjadi keragaman antar lokasi (Tabel 7). Progeni tersebut nyata memiliki kadar protein lebih tinggi dibandingkan dengan progeni lainnya di masing-masing lokasi. Apabila dikaitkan dengan kadar prolin, progeni yang memiliki kadar protein rendah ternyata memiliki

kadar prolin tinggi, dan sebaliknya. Tingginya kadar prolin ini merupakan hasil perombakan dari protein, sehingga kadar protein rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Hanson & Hitz (1982) bahwa pada daun yang mengalami cekaman kekeringan terjadi penurunan sintesis protein dari prolin sedangkan proteolisis protein menjadi prolin berlangsung tetap, sehingga kadar protein dalam daun menurun.

(c) Hasil tandan buah segar (TBS)

Berdasarkan uji Chi²- Bartlett variabel respons hasil tandan buah segar (TBS) harus dikeluarkan dari analisis tergabung, sehingga tidak dilakukan uji signifikansi antara lokasi pada nilai rata-rata variabel

Tabel 6. Pengaruh interaksi lokasi dan progeni terhadap kadar protein.

Table 6. Effect interaction of location and progenies with protein content.

Progeni kode Code progeny	Lokasi (Location)	
	Kandista	Batu Mulia
	----- mg g ⁻¹ -----	
16	219,19 Aa	262,84 Ab
24	206,09 Ab	241,58 Ab
33	248,48 Ba	242,74 Aa
51	226,29 Aa	249,58 Aa
52	242,96 Ba	259,52 Aa
62	239,31 Ba	276,06 Ba
63	237,07 Ba	246,56 Aa
83	223,21 Aa	270,78 Bb
85	266,16 Ca	298,70 Cb
91	278,37 Ca	288,20 Ca
95	286,60 Ca	313,92 Cb

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada P<0,05. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, P< 0.05. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.

Tabel 7. Pengaruh interaksi antara waktu pengamatan dengan progeni terhadap kadar protein.

Table 7. Effect interaction of observation time with progeny on protein content.

Progeni kode Code progeny	Waktu pengamatan (<i>Observation time</i>)			
	1	2	3	4
	----- mg g ⁻¹ -----			
16	250,81 Ab	236,33 Ab	280,68 Bc	196,23 Aa
24	222,50 Aa	255,35 Ab	218,62 Aa	198,61 Aa
33	222,53 Aa	272,15 Bb	270,02 Bb	217,72 Aa
51	240,63 Aa	241,23 Aa	239,02 Aa	230,87 Aa
52	240,85 Aa	264,83 Ba	267,11 Ba	232,16 Aa
62	255,94 Aa	246,15 Aa	278,93 Ba	249,71 Ba
63	222,95 Aa	259,92 Ab	263,71 bb	220,68 Aa
83	249,05 Aa	240,49 Aa	251,73 Aa	246,72 Ba
85	291,70 Ba	281,91 Ba	294,49 Ca	261,64 Ba
91	273,70 Ba	272,24 Ba	291,46 Ca	275,73 Ca
93	286,59 Ba	298,42 Ba	317,43 Ca	298,59 Ca

* Angka yang diikuti huruf besar yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada $P < 0,05$. Huruf besar untuk perbandingan arah vertikal, sedang huruf kecil untuk perbandingan arah horisontal.

* Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$. Capital letters as vertical comparison, and small letters as horizontal comparison.

respons hasil TBS. Pengaruh waktu pengamatan terhadap hasil TBS di perkebunan Kandista tidak berbeda antara waktu pengamatan, di perkebunan Batu Mulia hasil TBS turun dari pengamatan pertama ke pengamatan kedua, kemudian naik lagi pada waktu pengamatan ketiga sampai pengamatan keempat (Tabel 8). Apabila memperhatikan curah hujan selama penelitian yang terjadi di masing-masing lokasi. Tampak hanya di perkebunan Batu Mulia yang sejalan dengan rendah tingginya curah hujan. Ini menggambarkan adanya faktor lain selain curah hujan di masing-masing lokasi yang menentukan hasil TBS.

Pengaruh progeni terhadap hasil tandan buah segar (TBS) kelapa sawit beragam antara progeni pada masing-masing lokasi, di perkebunan Kandista progeni 63, progeni 52, dan progeni 24 nyata lebih tinggi dibandingkan dengan progeni lainnya sedangkan di perkebunan Batu Mulia progeni 24, progeni 33, progeni 51, progeni 52 dan progeni 93 nyata lebih tinggi dibandingkan dengan progeni lainnya (Tabel 9).

Fenomena menarik terjadi di perkebunan Batu Mulia yang curah hujannya lebih rendah dibandingkan dengan di perkebunan Kandista, ternyata progeni 33 mampu

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

Tabel 8. Pengaruh waktu pengamatan terhadap TBS di perkebunan Kandista dan Batu Mulia.

Table 8. Effect observation time on FBW in Kandista and Batu Mulia estates.

Waktu pengamatan <i>Observation time</i>	Perkebunan (<i>Estate</i>)	
	Kandista	Batu Mulia
	----- kg plot ⁻¹ periode ⁻¹ -----	
1	861,00 a*	393,10 b
2	879,70 a	239,30 a
3	926,20 a	273,50 a
4	914,50 a	740, 30 c

* Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada $P < 0,05$.

* *Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$*

Tabel 9. Hasil TBS dari 11 progeni kelapa sawit di perkebunan Kandista dan Batu Mulia.

Table 9. Yield of FBW of 11 oil palm progenies in Kandista and Batu Mulia estates.

Kode Progeni <i>Progeny code</i>	Perkebunan (<i>Estates</i>)	
	Kandista	Batu Mulia
	----- kg plot ⁻¹ periode ⁻¹ -----	
16	886,90 a*	347,40 a
24	966,30 b	446,30 b
33	895,10 a	490,00 b
51	912,50 a	479,30 b
52	984,00 b	451,10 b
62	877,00 a	359,80 a
63	1022,80 b	395,90 a
83	878,20 a	336,50 a
85	841,80 a	398,80 a
91	814,00 a	372,80 a
93	769,30 a	449,30 b

* Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasar uji Scott Knott pada $P < 0,05$.

* *Numbers followed by the same letters is not significantly according to Scott Knott test, $P < 0.05$* .

menghasilkan TBS paling tinggi. Progeni 33 juga memiliki kandungan prolin (Tabel 2) dan enzim δ -OAT (Tabel 4) yang paling tinggi. Prolin sebagai senyawa penciri biokimia atau metabolit osmotik yang disintesis dan diakumulasi pada berbagai jaringan tanaman terutama pada daun apabila tanaman menghadapi cekaman kekeringan (Girousse *et al.*, 1996; Yang & Kao, 1999), dan dijumpai terakumulasi lebih banyak pada tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan tanaman yang peka (Yoshiba *et al.*, 1997). Diketahui pula bahwa enzim δ -OAT sebagai salah satu enzim pengatur biosintesis prolin (Delauney & Verma, 1993; Trotel-Aziz *et al.*, 2003), maka dapat disimpulkan bahwa progeni 33 merupakan progeni yang tahan cekaman kekeringan dan sekaligus memiliki produktivitas tertinggi pada lokasi perkebunan Batu Mulia.

Respons 11 progeni kelapa sawit terhadap penciri biokimia

Pengkajian respons progeni terhadap penciri biokimia dilakukan dengan analisis komponen utama agar efek multi-kolinearitas antar respons penciri biokimia dapat dihilangkan (Gaspersz, 1992). Jadi, respons progeni terhadap penciri biokimia adalah bebas dari interaksi antar variabel penciri biokimia, sehingga efek mandiri dari penciri biokimia dapat dipelajari dalam variasi 11 progeni yang diteliti (Gambar 1). Analisis komponen utama dilakukan pada setiap waktu pengamatan mengingat terjadinya interaksi antara waktu pengamatan dengan progeni dalam analisis percobaan tergabung.

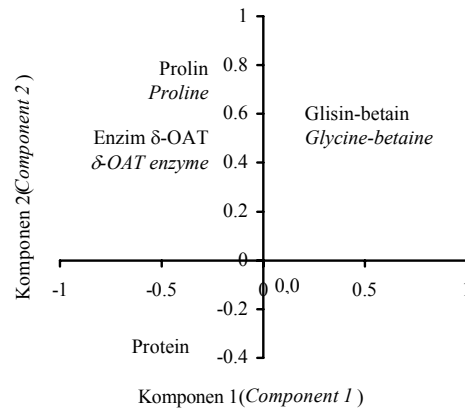
Nilai persentase keragaman komponen utama pertama mampu menerangkan keragaman total sebesar 42,93 % untuk

pengamatan pertama dan 42,18 % untuk pengamatan kedua. Sedangkan komponen utama kedua, ketiga, dan keempat hanya mampu menerangkan keragaman total data dalam persentase yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena korelasi antar variabel yang kecil. Oleh karena itu untuk analisis selanjutnya cukup menggunakan komponen utama pertama saja.

Nilai persentase keragaman komponen utama pertama pada pengamatan ke tiga dan ke empat mampu menerangkan keragaman total sebesar 43,09 % dan 44,97 % yang tidak jauh berbeda dengan komponen utama kedua. Sedangkan komponen utama ketiga, dan keempat hanya mampu menerangkan keragaman total data dalam persentase yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena korelasi antar variabel yang kecil. Oleh karena itu untuk analisis selanjutnya menggunakan komponen utama pertama dan kedua sehingga mampu menerangkan keragaman total sebesar 85,08% untuk waktu pengamatan ketiga dan sebesar 79,86% untuk waktu pengamatan keempat.

Kesimpulan hasil analisis komponen utama ialah secara umum seluruh progeni responsif terhadap dua atau tiga penciri biokimia selama waktu penelitian berlangsung, kecuali progeni 52 tidak memiliki korelasi dengan seluruh penciri biokimia. Progeni 33 responsif terhadap prolin, ditandai dengan terjadinya korelasi pada tiga dari empat waktu pengamatan. Progeni 85, progeni 91 dan progeni 93 cukup responsif terhadap protein, terjadi korelasi pada dua dari empat waktu pengamatan. Progeni lainnya berkorelasi dengan penciri biokimia hanya pada salah satu dari empat waktu pengamatan. Hasil analisis komponen utama memperkuat hasil analisis percobaan tergabung bahwa progeni 33 dapat diusulkan sebagai kandidat

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...



Gambar 1. Nilai vektor ciri penciri biokimia pada waktu pengamatan keempat.
 Figure 1. Vector value of biochemical character on fourth observation time.

progeni yang toleran terhadap cekaman kekeringan.

Hubungan penciri biokimia dengan hasil tandan buah segar

Hubungan penciri biokimia dengan hasil tandan buah segar berdasarkan analisis regresi berganda secara global menggambarkan hubungan variabel respons penciri biokimia prolin (X_1), glisin-betain (X_2), enzim δ -OAT (X_3), dan protein (X_4) terhadap hasil TBS (Y) disajikan dalam bentuk persamaan regresi berganda sebagai berikut : $Y = 782,3017 + 42,908 X_1^* - 0,0011 X_2^{ns} + 28,474 X_3^* - 1,2362 X_4^*$ ($R^2 = 0,327^{**}$)

Persamaan regresi tersebut menggambarkan bahwa penciri biokimia secara serempak sangat nyata ($R^2 = 0,327^{**}$) mempengaruhi hasil TBS dimana prolin, enzim δ -OAT dan protein mendominasi pengaruh tersebut, sedangkan glisin-betain

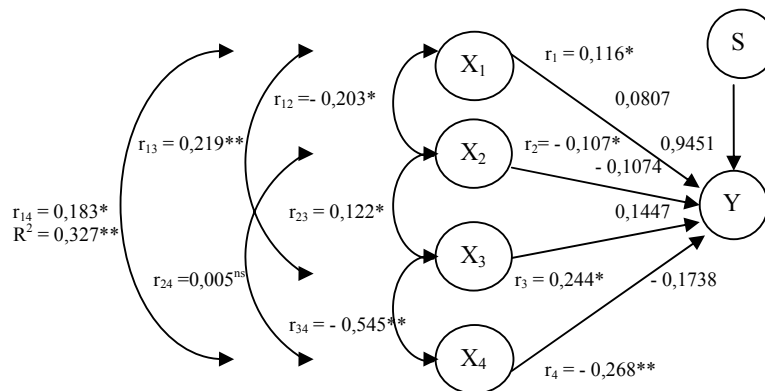
tidak nyata pengaruhnya. Selanjutnya dengan menggunakan analisis jalin diperoleh efek langsung dan efek tidak langsung dari masing-masing variabel respons biokimia terhadap hasil TBS (Tabel 10) dan diagram jalin (Gambar 2). Pengaruh langsung seluruh penciri biokimia terhadap hasil TBS adalah lebih kuat dibandingkan dengan pengaruh tidak langsungnya. Pengaruh total pada setiap penciri biokimia lebih besar dari pengaruh langsung kecuali pada glisin-betain.

Hasil analisis jalin tampak bahwa antara masing-masing variabel respons berkorelasi nyata, kecuali glisin-betain terhadap protein dan hasil TBS. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa glisin-betain bukan penciri biokimia yang berperan dalam sifat toleran tanaman kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan. Hasil analisis percobaan tergabung dan analisis komponen utama tampak sejalan dan saling menguatkan

Tabel 10. Matriks pengaruh langsung (koefisien jalin) dan pengaruh tidak langsung variabel penciri bokimia terhadap berat tandan buah segar.

Table 10. Matrix of direct effect (path coefficient) and effect indirect of variable biochemical characters to fruit bunch fresh weight.

Variabel bebas yang dibakukan <i>Standard free variable</i>	Pengaruh langsung <i>Direct effect</i>	Pengaruh tidak langsung melalui variabel bebas yang telah dibakukan <i>Indirect effect through standard free variable</i>				Pengaruh total <i>Total effect</i>
		Prolin <i>Proline</i>	Glisin-betain <i>Glycine-betaine</i>	δ -OAT	Protein	
Prolin <i>Proline</i>	0,0807	-	0,0218	0,0317	0,0318	0,1660
Gisin-betain <i>Glycine-betaine</i>	-0,1074	-0,0164	-	0,0177	-0,0009	-0,1070
δ -OAT	0,1447	0,0177	-0,0131	-	-0,0947	0,2440
Potein	-0,1738	-0,0148	-0,0005	-0,0789	-	-0,2680



Gambar 10. Diagram jalin antara prolin (X₁), glisin-betain (X₂), δ -OAT (X₃), protein (X₄) terhadap hasil TBS (Y), dan faktor lainnya (S).

Figure 10. Path diagram between proline (X₁), glycine-betaine (X₂), δ -OAT (X₃), protein (X₄) to TBS (Y), and others factors (S).

dengan hasil analisis regresi berganda dan analisis jalin, sehingga dapat disimpulkan bahwa prolin, enzim δ -OAT dan protein sebagai penciri biokimia terhadap cekaman kekeringan yang berhubungan erat dengan hasil TBS pada tanaman kelapa sawit, dan progeni 33 sebagai kandidat progeni yang toleran terhadap cekaman kekeringan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Ada perbedaan respons 11 progeni kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan pada masing-masing variabel respons dalam lokasi dan waktu pengamatan yang berbeda.
- 2) Seluruh progeni responsif terhadap dua atau tiga penciri biokimia selama waktu penelitian berlangsung, kecuali progeni 52 tidak memiliki korelasi dengan seluruh penciri biokimia.
- 3) Progeni 33 responsif terhadap prolin; progeni 85, progeni 91 dan progeni 93 cukup responsif terhadap protein.
- 4) Metabolit osmotik prolin, enzim δ -OAT, dan protein berhubungan erat dengan hasil tandan buah segar. Ketiganya dapat dikategorikan sebagai penciri biokimia terhadap cekaman kekeringan pada tanaman kelapa sawit.
- 5) Progeni 33 lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan progeni lainnya dan produktivitasnya tertinggi di perkebunan Batu Mulia.

Daftar Pustaka

- Bangun, D. (2002). Prospects and challenges of palm oil business in Indonesia. *In Proc. Int. Oil Palm Conf.*, July 8-12, 2002. Nusa Dua, Bali.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, & I.D. Teare (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, **39**, 205 – 207.
- Caliman, J.P. (1992). Kelapa sawit dan defisit air: Produksi dan cara mengatasinya. *Dalam* Makalah Seminar Musim Kering. Bogor.
- Caliman, J.P. & A. Soutworth (1998). Effect of drought and haze on the performance of oil palm. *In Proc. Int. Oil Palm Conf.*, September 23-25, 1998. Nusa Dua, Bali.
- Chakraborty, U., S. Dutta & B.N. Chakraborty (2002). Response of tea plants to water stress. *Biol. Plant.*, **45** (4), 557 – 562.
- Delauney, A. J. & D.P.S. Verma (1993). Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, **4** (2), 215 – 223.
- Departemen Pertanian (2002). Perkembangan Perkelapa sawitan(Online). Available at http://www.deptan.go.id/perkebunan/ks_indo_tahunan.htm (verified 23 Dec. 2003).
- Draper, N. R. & H. Smith (1981). *Applied Regression Analysis*. Second Edition. New York , John Wiley & Sons, Inc.

- Gasperz, V. (1992). *Teknik analisis dalam penelitian percobaan*. Jilid 2. Bandung, Penerbit Tarsito.
- Girousse, C., R. Bournoville & J.L. Bonnemain (1996). Water deficit induced changes in concentration in proline and some other amino acids in phloem sap of alfalfa. *Plant Physiol.*, **111**, 109 – 113.
- Gomez, K. A. & A. A. Gomez (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Second Edition. Singapore, John Wiley & Sons.
- Grieve, C.M. & S.R. Grattan (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil*, **70**, 303-307.
- Hanson, A.D. & W.D. Hitz (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **33**, 163 – 203.
- Irigoyen, J.J., D.W. Emerich & M. Sanchez-Diaz (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total solubles in nodulated Alfalfa (*Medicago sativa*) Plants. *Physiol. Plant.*, **84**, 55 – 60.
- Kim, H.R., H.W. Rho, J.W. Park, J.S. Kim & M.W. Lee (1994). Assay of ornithine aminotransferase with ninhydrin. *Anal. Biochem.*, **223**, 205 - 207.
- Kramer, P. J. (1983). *Water relation of plants*. Sandiego, Academic Press, Inc.
- Ladyman, J. A. R., W. D. Hitz & A. D. Hanson (1980). Translocation and metabolism of glycine-betaine by barley plants in relation to water stress. *Planta* **150**, 191 – 196.
- Lowry, O. H., F. A. L. Rosebrough & R. J. Randal (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193 – 205.
- Lubis, A.U. (1985). *Pengaruh musim kering terhadap produksi kelapa sawit*. Bandar Kuala, Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Publikasi Intern.
- Lubis, A.U. (1992). *Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Indonesia*. Bandar Kuala, Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Muller, J.E. & M.S. Whitsitt (1996). Plant cellular responses to water deficit. *Plant Growth Reg.*, **20**, 119 – 124.
- Pimental, C., D. Laffray & P. Louguet (1999). Intrinsic water use efficiency at the pollination stage as a parameter for drought tolerance selection in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.*, **106**, 184 – 189.
- Siregar, H.H., W. Daromosarkoro & Z. Poeloengan (1998). *Oil palm yield simulation using drought characteristics*. In *Proc. Int. Oil Palm Conf.* September 23 – 25, 1998. Nusa Dua, Bali.
- Subronto, N. Toruan-Mathius & Dwi Asmono (1998). *Penetapan penanda biokimia dan fisiologi toleransi cekaman kekeringan pada tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Bogor, Unit Penelitian Bioteknologi Perkebunan. Laporan Penelitian RUT

Respons biokimia beberapa progeni kelapa sawit...

- Subronto, I.Y. Harahap & S. Latif (2000). Penggunaan parameter fisiologi untuk mendapatkan bahan tanaman kelapa sawit yang toleran terhadap cekaman kekeringan. *J. Penel. Kelapa Sawit*, **8**(3), 153 – 165.
- Toruan-Mathius, N., G. Wijana, E. Guharja, S. Yahya, H. Aswidinoor & Subronto (2002). Molecular responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) to drought stress. *In Proc. Int Oil Palm Conf.*, July 8 – 12, 2002. Nusa Dua, Bali.
- Totowarsa, Cucu S.A. & M. Sudradjat (1979). *Teknik perancangan percobaan rancangan dan analisa. Jilid 2. Serial pengenalan dasar-dasar statistika terapan* No STK-13/2. Bandung, Bagian Statistika, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.
- Trotel-Aziz, P., M.F. Niogret, C. Deleu, A. Bouchereau, A. Aziz & F.R. Larher (2003). The control of proline consumption by Abscisic Acid during osmotic tress recovery of canola leaf discs. *Physiol. Plant.*, **117**, 213 – 221.
- Wijana, G. (2001). *Analisis fisiologi, biokimia dan molekuler sifat toleran tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) terhadap cekaman kekeringan*. Bogor, Sekolah Pascasarjana IPB. (Disertasi tidak dipublikasikan).
- Winarso, P.A. (1992). Evaluasi musim kemarau 1991 dan antisipasi musim kemarau 1992 wilayah musim indonesia. *Dalam Lokakarya kiat menghadapi musim kemarau panjang 1992 untuk budidaya perkebunan*. Bandung, AP3I.
- Wonnacott, T.H. & R.J. Wonnacott (1981). *Regression : A Second Course in Statistics*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Yang, C.W. & C.H. Kao (1999). Importance of ornithine- δ -amino-transferase to proline accumulation caused by water stress in detached rice leaves. *Plant Growth Reg.*, **27**, 189-192.
- Yoshihara, Y., T. Kiyosue, K. Nakashima, K.Y. Shinozaki & K. Shinozaki (1997). Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water wtrress. *Plant Cell Physiol.*, **38**(10), 1095 – 1102.