

PENINGKATAN CO₂ INTERNAL TANAMAN KAPAS DENGAN PEMBERIAN METANOL GUNA MENAIKKAN PRODUKSI

Badron Zakaria¹, Darmawan², Nurlina Kasim¹ Joseph Saepuddin³

¹Fisiologi dan Penggunaan Isotop Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian dan Kehutanan Unhas,

²Fisiologi dan Aplikasi Isotop Program Pascasarjana Unhas,

³Balai Penelitian Peternakan Bogor

ABSTRAK

PENINGKATAN CO₂ INTERNAL TANAMAN KAPAS DENGAN PEMBERIAN METANOL GUNA MENAIKKAN PRODUKSI. Telah dilaksanakan percobaan lapangan untuk meningkatkan CO₂ internal dan aktifitas Rubisco dengan menggunakan ¹⁴C dan faktor apa saja yang mempengaruhi peningkatan ini. Bahan tanaman yang digunakan adalah tanaman kapas yang diamati konsentrasi CO₂ internal dan aktifitas Rubisco pada 35, 50, 65, 80 hari setelah tanaman (HST). Perlakuan yang diterapkan adalah pemberian metanol dengan konsentrasi 0%, 10%, 20% dan 30% pada ketersediaan air 25-50% air tersedia (AT), 50-75% AT dan 75-100% AT. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pemberian metanol 20% pada tingkat AT 75-100% meningkatkan konsentrasi CO₂ internal dari 266,60 ppm menjadi 295,10 ppm (meningkat 11%) sehingga meningkatkan aktifitas Rubisco dari 3,81 menjadi 14,28 (μmol. CO₂ menit⁻¹ μmol. Rubisco⁻¹). Peningkatan ini mendorong laju fotosintesis sehingga produksi kapas yang dihasilkan meningkat. Peningkatan jumlah karbon terdeteksi dengan baik menggunakan ¹⁴C

ABSTRACT

INCREASE OF INTERNAL CO₂ OF COTTON PLANTS BY METHANOL APPLICATION TO INCREASE YIELD. A field experiment has been conducted to increase internal CO₂ and Rubisco activity detected by ¹⁴C and to determinate which factors influence this activities. Plant material used was cotton plants which internal CO₂ concentrations and Rubisco activity was observed at 35, 50, 65, 80 days after planting (DAP). Treatments applied were methanol with concentrations of 0%, 10%, 20% and 30% at available water (AW) at 25-50% AW, 50-75% AW, 75-100% AW. Results obtained showed that application of methanol at concentration of 20% at 75-100% AW, increase internal CO₂ from 266,60 ppm to 295,10 ppm (11% increase) and this will also increase Rubisco activity from 3,81 to 14,28 (μmol. CO₂ menit⁻¹ μmol. Rubisco⁻¹). This increase is expected to push photosynthesis rate and result in increase cotton yield. The use of ¹⁴C was satisfactorily detected the amount of carbon.

PENDAHULUAN

Produksi tanaman C3 seperti kapas di daerah tropis relatif rendah dibanding tanaman C4 karena beberapa faktor pembatas seperti: radiasi dan suhu tinggi sehingga laju fotorespirasi berlangsung lebih cepat (1,2); kompetisi CO₂ dan O₂ dalam memanfaatkan RuDP (3); Rubisco aktif kurang mendukung (4;5); kadar CO₂ internal berubah-ubah dan ketersediaan air terbatas (6,7). Salah satu kendala utama dalam reduksi CO₂ ke karbohidrat pada tahap akhir fotosintesis adalah kadar CO₂ internal yang berperan sebagai pengaktif Rubisco. Hal ini disebabkan karena Rubisco memiliki daya afinitas rendah (3,6 μmol. menit⁻¹.mg⁻¹ protein) terhadap CO₂ (8), maka tanaman khususnya yang tergolong C3 membutuhkan jumlah Rubisco lebih banyak. Aktivitas Rubisco juga sangat dipengaruhi oleh

ketersediaan air (9), kadar Nitrogen daun (10), Mg, pH dan kadar RuDP (5). Karena peran Rubisco yang sangat penting sehingga dilakukan studi untuk memperoleh informasi mengenai perilaku Rubisco dan perannya terhadap aspek-aspek fisiologi lainnya.

Metanol yang disemprotkan ke daun akan meresap ke dalam daun dan terurai menjadi gas CO₂. Gas CO₂ yang terperangkap dalam ruang intercellular mesofil diduga meningkatkan konsentrasi CO₂ internal di dalam mesofil. Peningkatan konsentrasi CO₂ internal selanjutnya diduga akan memperbesar afinitas Rubisco (Ribulosa bi phosphat carboxylase/oxidase) ke arah karboksilase, sehingga laju fotosintesis menjadi lebih tinggi sedangkan proses fotorespirasi tertekan (11;12). Justifikasi empirik terhadap dugaan proses fisiologi seperti yang diungkapkan disini belum dibuktikan. Namun

penelitian tentang peningkatan jumlah CO₂ internal akibat pemberian metanol telah pernah dilakukan sebelumnya baik di rumah kaca maupun percobaan lapangan di Unhas (13,14). Pada percobaan rumah kaca hasilnya memperlihatkan hubungan linier CO₂ internal dengan laju fotosintesis, demikian pula pengaruh metanol terhadap laju fotosintesis berkorelasi positif dan hubungannya sangat nyata. Pengaruh yang sama juga terlihat pada percobaan lapangan, peningkatan CO₂ internal akibat pemberian metanol mampu meningkatkan laju fotosintesis dan aktifitas Rubisco sehingga produksi tanaman kapas meningkat.

Penggunaan teknik nuklir melalui isotop untuk mendeteksi dan menelusuri pergerakan hara dari tanah masuk ke dalam tanaman dapat dilakukan dengan menggunakan unsur isotop yang dikandung. Metode ini telah terbukti sangat bermanfaat di dalam penelitian pertanian, dan secara rutin digunakan dalam penelitian nutrisi tanaman dan kesuburan tanah, pemuliaan tanaman, produksi dan kesehatan ternak, pemberantasan hama dan penyakit, pengawetan makanan dan untuk mempelajari residu pestisida. Dengan isotop dapat ditelusuri cara penempatan pupuk atau cara pemupukan pada kelapa sawit, sehingga dapat diperoleh hasil/data yang akurat dalam waktu yang relatif singkat, termasuk jumlah karbon yang terdapat di dalam daun tanaman yang dideteksi dengan ¹⁴C (15,16).

Tujuan dari penelitian ini adalah membuktikan terjadinya peningkatan jumlah CO₂ internal dengan pemberian metanol, sehingga mendorong aktivitas Rubisco dan fotosintesis dideteksi dengan ¹⁴C.guna meningkatkan produksi tanaman kapas.

BAHAN DAN METODE

Bahan Tanaman

Bahan tanaman yang digunakan adalah kapas yang tergolong sebagai tanaman C3, ditumbuhkan dan diaplikasi dengan metanol pada berbagai konsentrasi, serta tingkat ketersediaan air yang berbeda.

Aplikasi Metanol dan Tingkat Ketersediaan Air

Metanol diberikan dengan konsentrasi 0%, 10%, 20% dan 30% pada masing-masing tingkat ketersediaan air 25-50% air tersedia (AT), 50-75% AT., dan 75-100% AT. Perlakuan tersebut diberikan berdasarkan rancangan petak terbagi (RPT), konsentrasi metanol sebagai anak petak dan tingkat ketersediaan air sebagai petak utama dengan susunan perlakuan berikut,

Tabel Kombinasi perlakuan konsentrasi metanol dan tingkat ketersediaan air yang diberikan pada tanaman kapas

Petak utama/Anak Petak	Konsentrasi Metanol			
	0% (M0)	10% (M1)	20% (M2)	30% (M3)
25-50 % AT (A1)	A1M0	A1M1	A1M2	A1M3
50-75 % AT (A2)	A2M0	A2M1	A2M2	A2M3
75-100 % AT (A3)	A3M0	A3M1	A3M2	A3M3

Purifikasi RuDP Karboksilase

Purifikasi RuDP Karboksilase dilakukan dengan cara mengambil sampel daun tanaman pada umur 75 HST, daun tanaman dimasukkan ke dalam tabung berisi N liquid. Selanjutnya daun ditimbang sebanyak 30 gram dan digerus dengan menggunakan mortar dan pestle dalam pasir kuarsa sambil dihomogenkan dengan 10 ml buffer yang mengandung 100mM Tris-HCl (pH 7,8 suhu 4 °C 5M DTT, 10mM MgCl₂, 1 mM EDTA, 125% v/v gliserol). Kemudian sampel yang telah homogen disaring dengan menggunakan 4 lapis kain kasa, lalu disentrifugasi selama 30 menit pada 39000/g. Supernatan ditambahkan (NH₄)₂SO₄ dengan kejenuhan antara 30-65% (dipakai 65%). Endapan dilarutkan dalam buffer 10mM Tris-HCl (pH 7,8 suhu 4 °C yang mengandung 1 mM DTT, 1mM MgCl₂, 1 mM EDTA, 125% v/v gliserol. Sampel dialirkan ke dalam kolom sphadex G25 (2,2 x 30 cm). Hasil purifikasi dideteksi menggunakan NaH¹⁴CO₃ dan RuDP (standar) untuk mengetahui aktifitas Rubisconya (17).

Penentuan Peningkatan CO₂ dengan menggunakan ¹⁴C

Penentuan aktivitas Rubisco yang berbeda akibat perbedaan jumlah karbon, dihitung dengan menggunakan metode yang diterapkan oleh Makino *et al* (17). Cara perhitungannya dimulai dengan memipet 10µm enzim activated (sampel) yang pre inkubasi pada suhu 25°C selama 15 menit, selanjutnya ditambahkan 230 µl dari 125 mM, Hepes-NaOH pH 8,2 yang mengandung 25 mM MgCl₂, 5 mM DTT, kemudian ditambah 10 µl NaH¹⁴CO₃, RuDP 10 µl dan HCL 50 µl. Jumlah volume dari larutan yang akan dihitung aktivitasnya sebanyak 310 µl yang dituang ke dalam tabung sentilator terdiri dari yang dikeringkan dan tidak dikeringkan. Selanjutnya ditambahkan larutan sentilasi 5- 10 µl dan dihitung dengan menggunakan *liquid scintillation counter* dan cacahannya dicatat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi CO₂ internal

Pengamatan CO₂ internal (ppm) dilakukan pada tanaman kapas umur 35, 50, 65, 80 dan 95 hari setelah tanam (HST). Dalam menganalisa data dilakukan dengan menggunakan Rancangan Petak-Petak Terbagi (RPPT), dengan menempatkan waktu pengamatan sebagai petak utama, tingkat ketersediaan air sebagai anak petak, dan konsentrasi metanol sebagai anak-anak petak.

Analisis ragam (Tabel 1), memperlihatkan pengaruh waktu pengamatan, tingkat ketersediaan air dan konsentrasi metanol berpengaruh nyata terhadap CO₂ internal, sedangkan interaksinya tidak berpengaruh nyata kecuali tingkat ketersediaan air dan konsentrasi metanol.

Tabel 2. Analisis ragam kandungan CO₂ (ppm) internal tanaman kapas pada berbagai waktu pengamatan, tingkat ketersediaan air tanah, dan konsentrasi metanol.

Sumber Keragaman	DB	CO ₂ internal	
		KT	F Hit.
Kelompok	2	63,9832	0,92tn
PU			
(Waktu pengamatan)	4	17981,7951	257,31**
<i>Linier</i>	1	31896,1388	456,42**
<i>Kuadratik</i>	1	39594,9917	566,58**
<i>Sisa</i>	2	218,0250	3,12 tn
Acak (a)	8	69,8837	
AP			
(Tingkat ketersediaan air)	2	2508,7822	542,65**
<i>Linier</i>	1	4174,8403	903,03**
<i>Kuadratik</i>	1	842,7240	182,28**
PuxAP	8	481,2638	104,10**
Acak (b)	20	4,6232	
AAP			
(Konsentrasi metanol)	3	4181,7088	5,14**
<i>Linier</i>	1	6955,0040	75,08**
<i>Kuadratik</i>	1	2551,5405	7,54**
<i>Sisa</i>	1	3038,5819	2,80**
PuxAAP	12	354,9413	3,83**
APxAAP	6	104,0580	1,12tn
PUx APxAAP	24	79,9703	0,86 tn
Acak (c)	90	92,6336	
Keterangan:			
tn = tidak nyata		KK (a) =	3,03%
* = nyata		KK (b) =	0,78%
** = sangat nyata		KK (c) =	3,49%

Perlakuan metanol dan waktu pengamatan menunjukkan interaksi dengan nilai tertinggi 315,98 ppm pada 60 HST dengan konsentrasi

metanol 20% (Tabel 3). Sesudah 65 HST terjadi penurunan rata-rata konsentrasi CO₂ internal pada semua tingkat pemberian metanol dengan nilai terendah diperlihatkan pada 95 HST. Secara jelas pengaruh tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 3. Rataan jumlah CO₂ internal (ppm) tanaman kapas pada berbagai konsentrasi metanol dan waktu pengamatan

Waktu Pengamatan (HST)	Konsentrasi Metanol (%)				NP. Duncan $\alpha = 0.05$
	0	10	20	30	
35	b 262,51z	b 272,47y	b 291,59x	c 283,69x	i=2 8,73
50	a 281,40y	a 287,54y	a 307,10x	a 294,31y	i=3 9,20
65	a 277,92z	a 291,96y	a 315,98x	a 299,13xy	i=4 9,51
80	b 267,16z	b 265,69z	b 285,88x	c 276,72y	i=5 9,73
95	c 239,80x	c 239,83x	b 239,83x	d 239,96x	
NP. Duncan	i=2	i=3	i=4		
$\alpha = 0.05$	8,73	9,20	9,51		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris (x,y,z) dan kolom (a,b,c,d) tidak berbeda nyata pada taraf uji Duncan $\alpha = 0.05$

Tabel 4. Rataan CO₂ internal (ppm) kapas pada berbagai konsentrasi metanol dan tingkat ketersediaan air tanah

Tingkat Ketersediaan Air Tanah	Konsentrasi Metanol (%)				NP. Duncan $\alpha = 0.05$
	0	10	20	30	
25-50% AT	259,80	272,47	277,80	272,30	i=2 4,15
50-75% AT	270,10	287,54	291,30	279,90	i=3 4,36
75-100% AT	266,60	291,96	295,10	284,00	
Rataan	265,50	283,99	288,10	278,80	
NP. Duncan	i=2	i=3	i=4		
$\alpha = 0.05$	3,97	4,19	4,33		

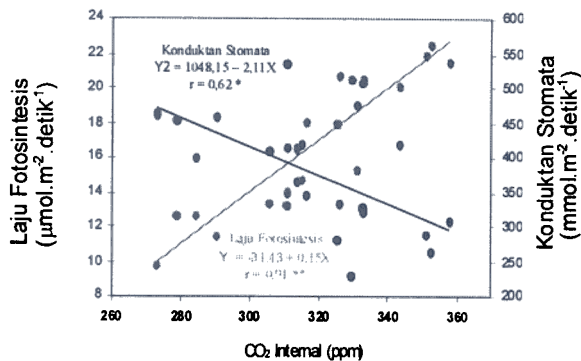
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris (x,y,z,w) dan kolom (a,b,c) tidak berbeda nyata pada taraf uji Duncan $\alpha = 0.05$

Pada semua tingkat ketersediaan air tanah (Tabel 4) menunjukkan rata-rata CO₂ internal (ppm) lebih tinggi akibat pemberian metanol 20%, selanjutnya pada tingkat pemberian 75-100% AT menghasilkan nilai CO₂ internal tertinggi (295,10 ppm).

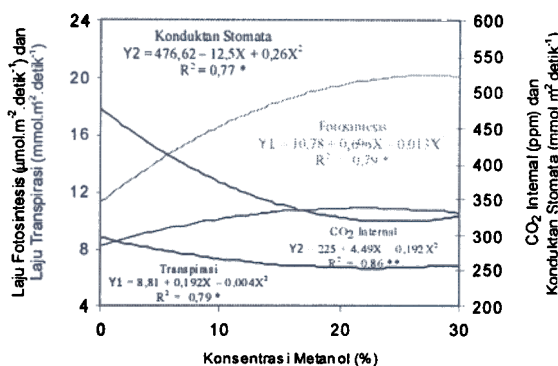
Tabel 5. Rataan laju fotosintesis ($\mu\text{mol. m}^{-2}$ detik $^{-1}$) tanaman kapas pada berbagai konsentrasi metanol dan tingkat ketersediaan air tanah

Tingkat Ketersediaan Air Tanah	Konsentrasi Metanol (%)				NP. Duncan $\alpha=0.05$
	0	10	20	30	
25-50% AT	a 12,34z	c 13,93y	c 16,43w	c 15,11x	i=2 0,44
50-75% AT	a 12,49z	b 15,01y	b 17,79w	b 15,81x	i=3 0,47
75-100% AT		a 16,01y	a 18,91w	a 15,98x	
NP. Duncan $\alpha=0.05$	i=2 0,44	i=3 0,47	i=4 0,49		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris (x,y,z,w) dan kolom (a,b,c) tidak berbeda nyata pada taraf uji Duncan $\alpha=0.05$



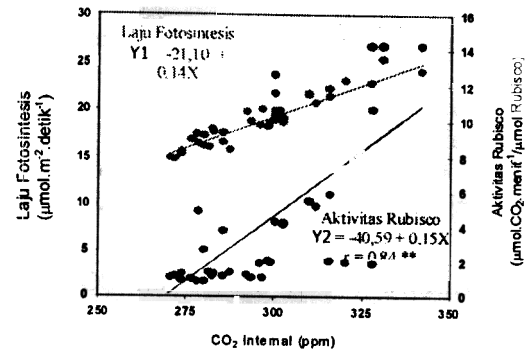
Gambar 1. Hubungan antara CO_2 internal dengan laju fotosintesis dan konduktan stomata



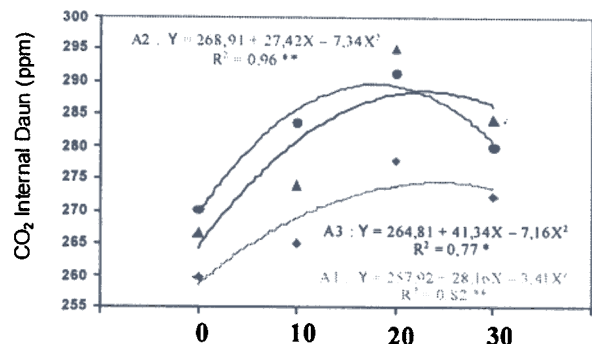
Gambar 2. Pengaruh metanol terhadap konsentrasi CO_2 internal, konduktan stomata, laju transpirasi dan laju fotosintesis

Pada semua tingkat ketersediaan air tanah (Tabel 5) menunjukkan rataan laju fotosintesis lebih tinggi akibat pemberian metanol 20%, selanjutnya pada tingkat pemberian 75-100% AT menghasilkan nilai laju fotosintesis tertinggi ($18,91\mu\text{mol. m}^{-2}$ detik $^{-1}$). Hubungan antara pemberian metanol dengan CO_2 internal, laju fotosintesis, aktivitas Rubisco pada berbagai tingkat ketersediaan air ditunjukkan pada

Gambar 3 dan Gambar 4. Semakin tinggi konsentrasi pemberian metanol (sampai pada konsentrasi 20%) akan menyebabkan CO_2 internal akan semakin meningkat. Selanjutnya akan menurun pada pemberian metanol dengan konsentrasi 30%. Akibat jumlah CO_2 internal yang semakin meningkat, menyebabkan laju fotosintesis dan aktivitas Rubisco meningkat terutama pada tingkat ketersediaan air 75-100% AT.



Gambar 3. Hubungan antara CO_2 internal dengan laju fotosintesis dan Aktivitas Rubisco.

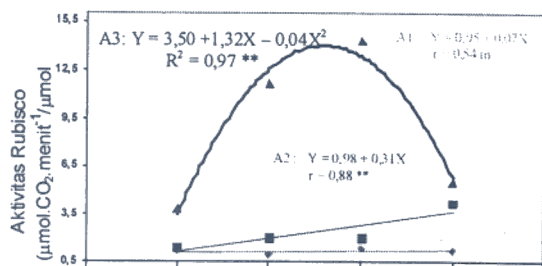


Gambar 4. Pengaruh metanol terhadap CO_2 internal pada berbagai tingkat air tersedia

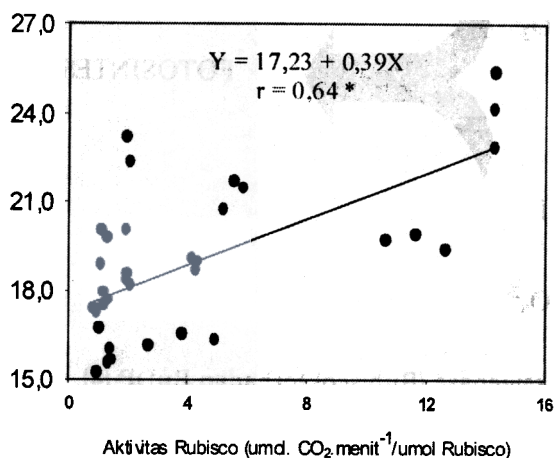
Tabel 6. Rataan aktivitas Rubisco ($\mu\text{mol. CO}_2$ menit $^{-1}$ μmol^{-1} . Rubisco $^{-1}$) tanaman kapas pada berbagai konsentrasi metanol tingkat ketersediaan air tanah

Tingkat Ketersediaan Air Tanah	Konsentrasi Metanol (%)				NP. Duncan $\alpha=0.05$
	0	10	20	30	
25-50% AT	b 1,08x	c 0,92x	b 1,31x	c 1,18x	i=2 0,80
50-75% AT	b 1,35z	b 1,96y	b 1,97y	b 4,24x	i=3 0,84
75-100% AT	a 3,81z	a 11,63x	a 14,28w	a 5,53y	
NP. Duncan $\alpha=0.05$	i=2 0,53	i=3 0,56	i=4 0,57		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris (x,y,z,w) dan kolom (a,b,c) tidak berbeda nyata pada taraf uji Duncan $\alpha=0.05$.



Gambar 5. Pengaruh metanol terhadap aktivitas Rubisco pada berbagai tingkat ketersediaan air



Gambar 6. Hubungan antara Aktivitas Rubisco dengan laju fotosintesis

Tabel 7. Rataan produksi kapas berbiji ($t \cdot ha^{-1}$) pada berbagai konsentrasi metanol dan tingkat ketersediaan air tanah

Tingkat Ketersediaan Air Tanah	Konsentrasi Metanol (%)				Rataan
	0	10	20	30	
25-50% AT	1,93	2,08	2,17	2,08	2,06
50-75% AT	2,06	2,21	2,45	2,34	2,26
75-100% AT	2,15	2,30	2,80	2,43	2,42
Rataan	2,04	2,20	2,47	2,29	

Pengaruh tingkat ketersediaan air 25-50% AT dan 50-75% AT terhadap aktivitas Rubisco (Tabel 4) berkorelasi positif secara linier searah dengan peningkatan konsentrasi metanol dan menghasilkan nilai tertinggi pada konsentrasi 30%. Sedangkan pada tingkat ketersediaan air 75-100% AT menunjukkan pengaruh kuadratik terhadap aktivitas Rubisco, makin tinggi konsentrasi metanol sampai pada 16,50% menghasilkan aktivitas Rubisco tertinggi 14,39 ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{menit}^{-1} \cdot \mu\text{mol} \cdot \text{Rubisco}$), kemudian menurun pada konsentrasi 30%. Pengaruh meningkatnya jumlah aktivitas Rubisco

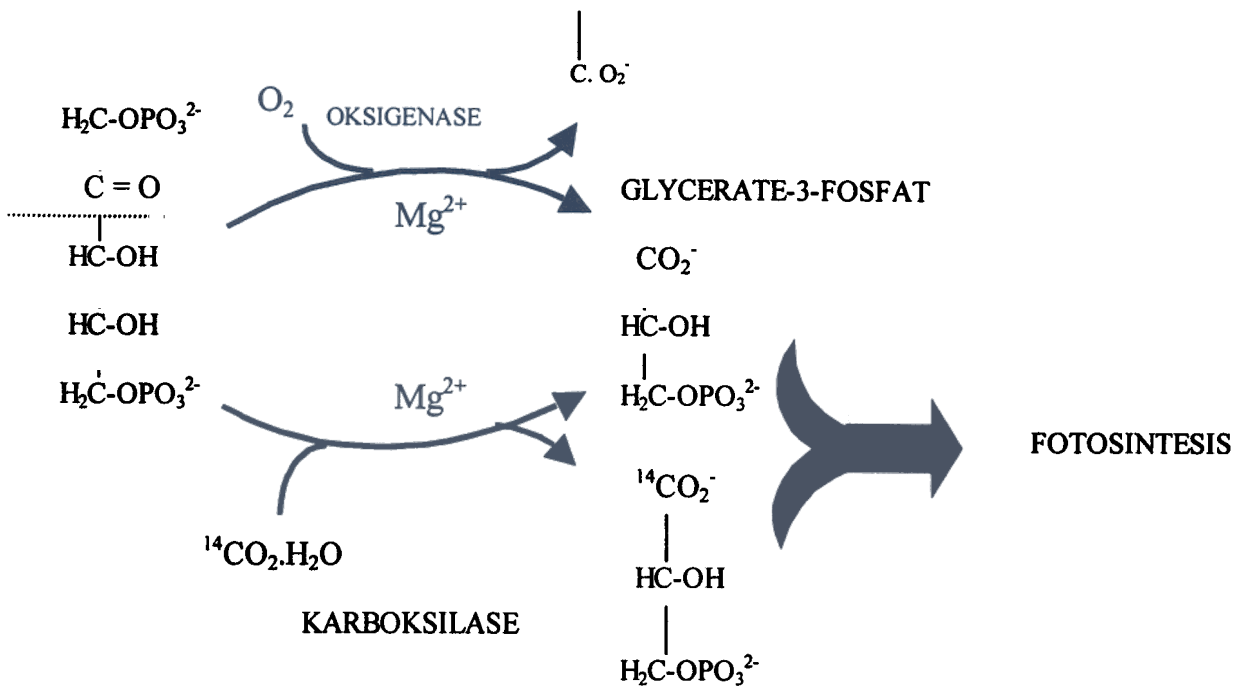
mengakibatkan laju fotosintesis tanaman yang semakin meningkat (Gambar 5 dan Gambar 6).

Selama fotosintesis, CO_2 diassimilasi menjadi karbohidrat melalui aktivitas enzim ribulose 1.5 difosfat karboksilase/oksigenase yang dikenal sebagai Rubisco (4,5). Rubisco dijumpai dengan konsentrasi tinggi pada semua organisme yang melakukan fotosintesis yaitu diatas 50 % yang terdiri protein larut dalam daun (18; 5). Pada Tanaman kapas terdapat 30 sampai 50 % dari protein larut yang ada dalam daun adalah Rubisco dan secara proporsional keberadaan Rubisco meningkat akibat Nitrogen daun tinggi (19,20,10).

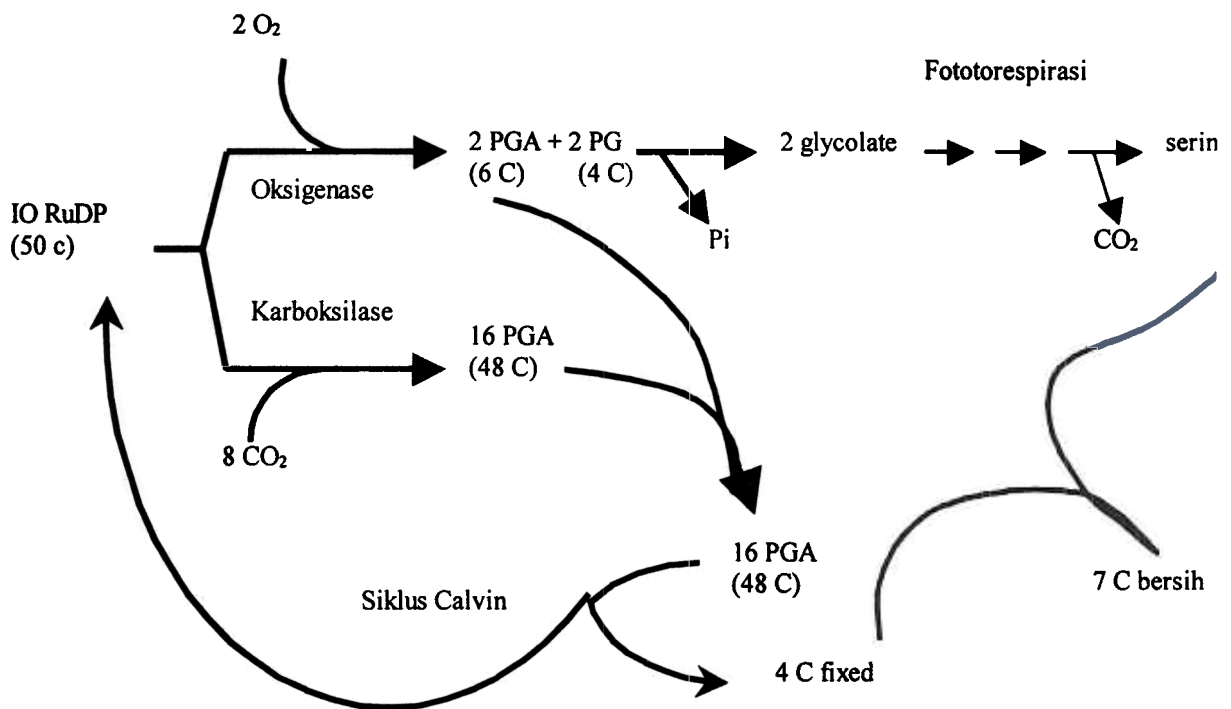
Peran utama Rubisco dalam laju fotosintesis akan terlihat jika kadar CO_2 udara sekitar tanaman meningkat diikuti fiksasi CO_2 tinggi pada intensitas cahaya sedang sampai tinggi (21;4) yang selanjutnya ditempatkan pada ribulose-1,5-difosfat karboksilase (9). Tahap tersebut adalah merupakan fase kedua dari fotosintesis yaitu terjadinya difusi CO_2 luar kemudian diletakkan pada enzim karboksilase. Ketersediaan CO_2 dan pengikatannya dengan RuDP terjadi atas bantuan Rubisco. Dengan demikian Rubisco dapat menjadi pembatas fotosintesis.

Rubisco mengkatalisis pelekatan CO_2 kepada gula karbon lima RuDP dan hidrolisis yang serentak dari intermediate karbon enam untuk menjadi dua molekul PGA. Satu diantara PGA itu mengandung ^{14}C (karbon berasal dari $^{14}\text{CO}_2$). RuDP yang terikat pada Rubisco aktif, dapat diikat oleh O_2 dan menghasilkan P.glycolat (2-fosfoglycolat) dan PGA (Gambar 7). Pada tingkat CO_2 0,03% dan O_2 20,8%, dua sampai tiga molekul CO_2 diikat dan hanya satu mol O_2 , yang menunjukkan Rubisco berafinitas lebih tinggi dengan CO_2 dibanding dengan O_2 . Rubisco memperlihatkan peran utamanya jika CO_2 sekitar tanaman tinggi disertai penyinaran sedang sampai tinggi maka CO_2 lebih cepat dimanfaatkan.

Menurut Schrader (22), peran Rubisco pada kondisi normal dengan perbandingan O_2 terhadap CO_2 seimbang serta pada keadaan O_2 atau CO_2 berlebihan dapat mempengaruhi jumlah atom karbon yang terfiksasi oleh karboksilase dan oksidase. Pada kondisi normal (campuran 240 μM O_2 dan 10 μM CO_2) telah dilaporkan bahwa ratio karboksilase terhadap oksigenase adalah 4:1 dengan asumsi bahwa respon enzim seimbang dalam tanaman maka 2 RuDP teroksidase dan 8 RuDP terkarboksilase (Gambar 8).



Gambar 7. Reaksi ribulose-1,5-difosfat karboksilase/oksigenase (Rubisco) terhadap RuDP (4).



Gambar 8. Pengaruh kondisi atmosfer normal ($240 \mu\text{M O}_2$, $10 \mu\text{M CO}_2$ pada suhu 25°C) terhadap fotosintesis dan fotorespirasi (28).

Pada konsentrasi O_2 yang rendah dan CO_2 yang normal, keseluruhan dari 10 RuDP akan digunakan untuk mengikat CO_2 untuk menghasilkan 10 karbon untuk setiap 10 RuDP yang digunakan (Gambar 8). Maka terjadi peningkatan 3 atom karbon yang difiksasi dibanding dengan pada kondisi normal (yang hanya menghasilkan 7 atom karbon) atau terjadi peningkatan karbon 3/7 bagian atau 43% (22).

Konsentrasi CO_2 internal meningkat disebabkan karena metanol yang disemprotkan akan terurai menjadi CO_2 (23, 12) yang terperangkap dalam ruang interselular mesofil daun, sehingga memicu pelekatannya ke Rubisco, secara proporsional meningkatkan aktivitas Rubisco. Peningkatan CO_2 internal dapat terjadi melalui aliran massa CO_2 eksternal ke rongga mesofil daun (4, 24) dan penguraian metanol yang diberikan pada tanaman, telah banyak diteliti (25,26,27,12).

Larcher (29) mengemukakan, tingkat penutupan dan pembukaan stomata tergantung intensitas radiasi, suhu, kelembaban dan pemberian air sebagai faktor eksternal dan CO_2 internal, kandungan ion, hormon dan potensial air daun sebagai faktor internal. Selanjutnya juga dikemukakan, bahwa reaksi penyempitan stomata pada CO_2 internal tinggi berlangsung sangat cepat (kurang dari satu menit). CO_2 internal tertinggi (Tabel 2) akibat pemberian metanol 20%, sehingga kecenderungan peningkatan CO_2 internal dan tingkat ketersediaan air yang ditingkatkan menjadi 50-75% AT kemudian akan menurun bila jumlah ketersediaan air lebih ditingkatkan lagi. Kadar CO_2 internal daun pada tanaman C3 yang tinggi mengakibatkan naiknya nisbah CO_2 terhadap O_2 dalam mesofil sehingga laju fotosintesis meningkat dan sebaliknya akan menurunkan fotorespirasi (30). Peningkatan CO_2 dalam mesofil daun akan menaikkan laju fotosintesis jauh lebih tinggi dibandingkan pada tingkat intensitas radiasi rendah (31,2).

Hubungan antara CO_2 internal yang tinggi (333,17 ppm) mengakibatkan aktivitas Rubisco tertinggi 14,28 ($\mu\text{mol. } CO_2 \text{ menit}^{-1} \mu\text{mol. Rubisco}^{-1}$) pada tanaman kapas. Hal ini sesuai dengan penemuan Von Caemmerer (31) dan Mott (32), yang mengemukakan bahwa peningkatan aktivitas Rubisco sangat didukung oleh CO_2 internal yang meningkat sampai batas tertentu sehingga mendorong asimilasi CO_2 lebih cepat.

Kecepatan aktivitas Rubisco berkorelasi linier dengan konsentrasi CO_2 (4,33), tetapi jika

bebas dari Mg^{++} maka aktivitas akan menurun (34). Dari Tabel 3 terlihat laju aktivitas Rubisco tertinggi pada tingkat ketersediaan air 75-100% AT dan juga kandungan CO_2 internal yang tinggi akibat pemberian metanol 20%. Pembuktian ini juga didukung oleh Farguher (35), Mott (32) dan Stitt (36), yang mengemukakan bahwa akan terjadi peningkatan Rubisco apabila kadar CO_2 internal lebih ditingkatkan.

KESIMPULAN

Pada tingkat ketersediaan air 75-100% AT dengan metanol 20% CO_2 internal meningkat dari 266,60 ppm menjadi 295,10 ppm (terjadi peningkatan 11%). Peningkatan ini mendorong laju fotosintesis dari 12,56 menjadi 18,91 ($\mu\text{mol. m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$) dan aktivitas Rubisco dari 3,81 menjadi 14,28 ($\mu\text{mol. } CO_2 \text{ menit}^{-1} \mu\text{mol. Rubisco}^{-1}$), sehingga produksi kapas meningkat dari 2,15 menjadi 2,80 t.ha⁻¹. Pelacakan peningkatan jumlah karbon tersebut, dideteksi dengan baik dengan menggunakan ¹⁴C.

DAFTAR PUSTAKA

1. OGREN, W.L. *Photorespiration : Pathways, regulation, and modification*. Ann. Rev. of Plant Physiology. 35: (1984), 415-442.
2. SALISBURY, F.B., and C.W. ROSS. *Plant physiology*. Wadsworth Publishing Co. New York, (1992).
3. ANDREWS, T.J., G.H. LORIMER. *Rubisco: Structure, mechanisms and prospects for improvement*. Vol. 10, (1987) hal: 132-218 di dalam: The biochemistry of plant, , Hatch, M.D., N.K. Boardman, (penyunting). Academic Press, New York.
4. JENSEN. 1990. *Rubilose 1,5-biophosphate carboxylase/oxygenase mechanism, activation and regulation*. hal: 224-238. di dalam: D. T. Dennis dan D. H. Turpin (Eds). *Plant Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Logman Scientific Technical.
5. LAWLOR, D.W. *Photosynthesis, molecular, physiological and enviromental processes*. Scientific Longman & Technical England. (1993).
6. RUSNADI PADJUNG. *Validation and parameterization of Gossym-Comax for Indonesian cotton growing condition*. Laporan Penelitian Young Academic, URGE ke Projek URGE, (1998a).

7. _____. 1998b. *Pengembangan sistem pakar dan model pertumbuhan tanaman untuk pengelolaan pertanian kapas di Indonesia*. Laporan Riset Unggulan Terpadu (RUT) IV ke Dewan Riset Nasional (DRN).
8. LEEGOOD, R. C. 1996. *Primary photosynthate production physiology and metabolism*. hal: 21-41. In: Zamski, E. dan A. A. Schaffer (Eds). *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. Marcell Dekker, Inc. New York-Basel-Hongkong.
9. KRIEG. 1986. Feedback control and stress effect on photosynthesis. hal 227- 242. di dalam: J. R. Mauney dan J.McD. Stewart (penyunting). *Cotton Physiology*. Number One, The Cotton Foundation Reference Book Series. The Cotton Foundation. Memphis, TN.
10. REDDY, A. R., K. R. REDDY, R. PADJUNG and H. F. HODGES, 1996. *Nitrogen nutrition and fotosynthesis in leaves of PIMA Cotton*. *Journal of Plan Nutrition*. 19(5),755-770.
11. GIBSE, M., U. BAUER-DORANTH, C. LANGEBARTELS and H. SANDERMANN, Jr. 1994. *Detoxification of formaldehyde by the spider plant (Chlorophytum comosum L.) and by soybean (Glycine max L.) cell suspension cultures*. *Plant Physiol* 104:1301-1309.
12. McGIFFEN, M. E., and J. A. MANTHEY. 1996. *The role of methanol in promoting plant growth : A current evaluation*. *Hort. Science*. 31 (7) : 1092-1096.
13. BADRON ZAKARIA and DARMAWAN. 1998. *Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kapas Yang Diberi Metanol di Rumah Kaca*. Penelitian Hibah Bersaing DIKTI DEPDIKNAS. Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin.
14. _____. 1999. *Aktifitas Fotosintesis dan Rubisco Tanaman Yang Diberi Metanol Pada Berbagai Tingkat Cekaman Air (Kasus pada tanaman kapas di lahan sawah tadah hujan)*. Penelitian Hibah Bersaing DIKTI DEPDIKNAS. Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin.
15. SISWORO E.L., HARYANTO, dan H. RASJID. 1997. *Penggunaan Teknik Nuklir Untuk Mempelajari Hubungan Tanah dengan Tanaman*. Makalah disampaikan pada Lokakarya Pemanfaatan Hasil Penelitian dan Teknologi Produksi Padi dan Palawija di Lahan Sawah dan lahan kering. Mataram 15 - 16 Desember 1997. Hal. 1- 9.
16. NOOR A., M. ZAKIR, B. RASYID, N. KASIM, L.A. NURR, ANTHONY, MAMING, M. AGUNG, dan M.F. L'ANNUNZIATA. 1996. *Pulse Height Spectral Analysis of 3H:14C Ratios*. Elsevier Science Ltd. *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 47:8 767-775.
17. MAKINO, A., T. MAE and K. OHARA. 1983. Purification and storage of ribulosa 1,5-biphosphate carboxilase from rice leaves. *Plant and cell Physiol.* 46: 1169-1173.
18. WOODROW, I.E., and J.A. Berry 1988. *Enzymatic regulation of photosynthetic CO₂ fixation in C3 plants*. *Annual reviews of plant physiology and plant molecular Biology*. 39: 533-594.
19. BROWN, R. H. 1978. *A difference in N-use efficiency in C3 and C4 plants and its implications in adaptation and evolution*. *Crop Sci.* 18:93-98.
20. SAGE, R. F. and R. W. PEARCY. 1987. *The nitrogen use efficiency of C3 and C4 plants. II. Leaf nitrogen effects on the gas exchange characteristics of Chenopodium album (L.) and Amaranthus retroflexus (L.)*. *Plant Physiol.* 84:959-963.
21. WITTWER, S.H. 1983. *Rising atmosphere carbon dioxide and productivity*. *Hort. Sci.* 16:667-673.
22. SCHRADER, L. E. 1976. *CO₂ metabolism and productivity in C3 plants : An assessments in CO₂ metabolism and plant productivity*. hal: 385-396. di dalam: Burris. R. H., dan C. C. Black (Eds). University Park Press London.
23. NISHIO, J. N., S. HUANG, T. L. WINDER, M. P. BROWNSON and L. NGO. 1994. *Physiological aspects of methanol feeding to higher plants*. *Proc. 20th Annu. Meeting Plant Growth Regulat. Soc. Amer.* hal: 8 - 13.
24. WOLFE, D. W. 1994. *Physiological and growth responses to atmospheric carbon dioxide concentration*. hal: 233-242. di dalam: Mohammad Pessarakli (penyunting). *Handbook of Plant and Crop Physiology* Marcel Dekter Inc. New York.

25. NONOMURA, A.M., and A.A. BENSON. 1992a. *The path of carbon in photosynthesis : Improved crop yield with methanol*. Proc.Natl. Acad. Sci. USA. 89:8794-8798.
26. _____, and A.A. Benson. 1992b. *The path of carbon in photosynthesis. Methanol and light*. hal: 911-914. di dalam: N. Murata (Eds). *Research in photosynthesis*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Nederlands.
27. COTHERN, J. T. 1994. *Methanol for cotton*. hal: 1330-1335. di dalam: D. J. Herbert dan D. A. Ritcher (Eds). *Proceedings Beltwide Cotton Conferences*. National Cotton Council of America, Memphis, T. N.
28. LAING, W.A., W.L. OGREN, and R.H. HAGEMAN. 1974. *Regulation of soybean net photosynthetic carbon dioxide fixation by the interaction of carbon dioxide, oxygen, and ribulose 1,5-diphosphate carboxylase*. *Plant physiol.* 54:678-685.
29. LARCHER, W. 1983. *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 303 p.
30. TAIZ, L., and E. ZIEGER. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin/Cumming. Publishing Inc. Company. Inc. Redwood City California.
31. VON CAEMMERER, S., and D. L. EDMONDSON. 1986. *Relationship between steady-state gas exchange, in vivo ribulose biphosphate carboxylase activity and some carbon reduction cycle intermediates in Raphanus sativus*. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:69-88.
32. MOTT, K.A., 1990. *Sensing of atmospheric CO₂ by plants*. *Plant, Cell and Environ.* 13:731-737.
33. ARP. W.J., 1991. *Effects of source sink-relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂*. *Plant, Cell and Environ.* 14, 869-875.
34. JENSEN, R.G. and J. T. BAHR. 1977. *Ribulose 1,5-biophoshate carboxylase-oxygenase*. *Ann.Rev.Plant Physiol.* 28:379-400.
35. FARQUHAR and T.D. SHARKEY, 1982. *Stomatal conductan and photosynthesis*. *Ann Rev Plant Physiol.* 33: 317-345
36. STITT, M. 1991. *Rising CO₂ levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells*. *Plant, Cell Environ.* 14:741-762.

DISKUSI

DAMERIA HUTABARAT

1. Bagaimana cara aplikasi metanol di lapangan
 - Dosis metanol yang diberikan
 - Berapa kali seminggu
 - Mulai umur tanaman berapa

PROF. BADRON ZAKARIA

0% , 10% , 20% , 30% metanol
Setiap dua minggu sekali 35 HST
Sampai muncul bunga awal

ITEU HIDAYAT

Bila hasil penelitian tersebut sudah dipatenkan, dan memberikan kenaikan produksi tersebut secara ekonomis juga menguntungkan dibandingkan dengan import teknologi yang diaplikasikan. Berapa hektar kapas mencapai kreaah event point ?

PROF. BADRON ZAKARIA

Belum diteliti, secara skala kecil mampu meningkatkan produksi naik maka jelas akan meningkatkan pendapatan petani.

KOMARUDIN IDRIS

1. Alasan menggunakan metanol, mengapa tidak digunakan bentuk alkohol lain, karena metanol lebih berbahaya bagi manusia ?
2. Apakah cahaya yang diterima terang dalam kondisi yang sama ?

PROF. BADRON ZAKARIA

1. Metanol yang dipakai teknis bukan murni.
2. Cahaya sama selalu dalam penelitian agar terjadi homogen

MUGIONO

Hasil penelitian Profesor dilaporkan bahwa penambahan/pemberian methanol 20% dapat meningkatkan konsentrasi CO₂ sehingga dapat meningkatkan produksi kapas.

Agar hasil penelitian ini dapat digunakan oleh perusahaan swasta saya sarankan dilakukan uji terap bekerja sama dengan Badan Litbang Deptan .

PROF. BADRON ZAKARIA

Bagus sarannya tapi perlu pendekatan antar P.T. dengan Litbang Deptan.
Bisa saja uji coba asalkan ada biaya dari Litbang Deptan.

YOYO S.

1. Apakah perlakuan 20% metanol akan berlaku juga untuk tanaman C3 lain, dalam peningkatan hasil ?
2. Berapa liter metanol dibutuhkan untuk menyemprot 1ha tanaman kapas ?

PROF. BADRON ZAKARIA

1. Perlu diteliti untuk tanaman C3 lain.
2. 10-20 liter per/ha 20 liter biayanya hanya Rp 40.000

SUHARYONO

Saya dari bidang peternakan, sangat tertarik dengan hasil penelitian Bapak, ada beberapa hal yang ingin saya tanyakan :

1. Apa yang disebut Rubisco ?
2. Apakah ada bijinya ?, bila ada produksinya berapa ?, kan biji kapas sangat potensial untuk pakan ternak , apalagi kita juga punya mitra di Fak. Pet. UNHAS. Biji kapas merupakan sumber protein untuk ternak sapi dll .

PROF. BADRON ZAKARIA

1. Rubisco adalah Enzim dalam metabolisme fotosintetis .
2. Bisa dilakukan perlu dikumpulkan dan diadakan kapas .

SUKARDJI

Apakah ada persamaan antara peranan Rubisco dan peranan chlorofil dalam proses fotosintetis, sehingga dapat mendorong peningkatan produksi ?

PROF. BADRON ZAKARIA

Rubisco adalah Enzim Fotosintetis yang bersifat Biokatalisator. Chlorofil adalah Zat hijau daun yang berperan menyerap sinar. Jadi Berbeda