

DINAMIKA FOTOSINTESIS $^{14}\text{CO}_2$ TANAMAN TEMULAWAK (*CURCUMA XANTHORRHIZA* ROXB.) DAN KUNYIT (*CURCUMA DOMESTICA* VAL.) DALAM RUANG PENANDAAN

Endang Kumolowati^{*}, Oei Ban Liang^{**}, Harjoto Djojosebroto^{*}, Sumanto^{***}

^{*}Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir - BATAN,

^{**}Departemen Kimia ITB,

^{***}Departemen Matematika ITB

ABSTRAK

DINAMIKA FOTOSINTESIS $^{14}\text{CO}_2$ TANAMAN TEMULAWAK (*CURCUMA XANTHORRHIZA* ROXB.) DAN KUNYIT (*CURCUMA DOMESTICA* VAL.) DALAM RUANG PENANDAAN. Sinar matahari pada intensitas tertentu memfasilitasi proses fotosintesis sehingga kadar CO_2 di ruang penandaan terus menurun. Sebaliknya, respirasi di malam hari menyebabkan CO_2 bertambah. Bila digunakan campuran CO_2 dan $^{14}\text{CO}_2$ maka perubahan konsentrasi keduanya mencerminkan dinamika CO_2 dan $^{14}\text{CO}_2$ yang sangat menarik. Selama percobaan kadar CO_2 dipantau dan dipertahankan pada tingkat 300-1000 bagian per-juta (ppm). Bila kadar CO_2 di bawah 300 ppm maka dilakukan penambahan CO_2 sebagai hasil reaksi dari NaHCO_3 dengan asam laktat berlebih. Dengan menjaga kadar CO_2 terbukti bahwa temulawak dan kunyit dapat hidup dan tumbuh normal selama satu bulan di dalam ruang penandaan. Dengan demikian proses penandaan dapat dimulai, yakni dengan menambahkan 0,1-0,6 GBq atau 3-16 mCi gas $^{14}\text{CO}_2$ ke dalam ruang penandaan. Kadar radioaktivitas $^{14}\text{CO}_2$ dipantau sepanjang hari dengan selang waktu pengukuran tiga jam, dan hasilnya menunjukkan bahwa selama dua jam pertama radioaktivitas ruang penandaan menjadi $\frac{1}{4}$ radioaktivitas awal. Pada sore hari hampir semua $^{14}\text{CO}_2$ telah terfotosintesis, hal ini terlihat dari radioaktivitas ruang penandaan yang mendekati latar belakang. Pada pagi keesokan harinya radioaktivitas ruang penandaan meningkat hingga $\sim 50\%$ dari radioaktivitas awal. Fenomena ini menunjukkan bahwa sebagian produk fotosintesis telah direspirasi kembali. Siklus peningkatan radioaktivitas di pagi hari dan penurunan hingga mendekati latar belakang di sore hari teramati pada hari-hari berikutnya. Namun radioaktivitas ^{14}C makin lama makin mengecil seperti deret ukur menurun, dan setelah dua minggu tingkat radioaktivitasnya mendekati latar belakang. Pola fotosintesis $^{14}\text{CO}_2$ kedua tanaman menunjukkan kemiripan dengan bentuk hiperbolik, selain itu dengan bertambahnya waktu terjadi gradasi yang semakin menurun. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah membuat kurkuminoid dan minyak atsiri bertanda produk dari tanaman temulawak dan kunyit.

Kata kunci: dinamika, fotosintesis, respirasi

ABSTRACT

THE DYNAMICS OF $^{14}\text{CO}_2$ IN THE TEMULAWAK (*CURCUMA XANTHOR-RHIZA* ROXB.) AND KUNYIT (*CURCUMA DOMESTICA* VAL.) PLANTS. At a certain intensity the sun lights facilitates photosynthesis that in effected diminishing concentration of CO_2 instead of respiration in the night that causes increasing of CO_2 . If mixtures of CO_2 and $^{14}\text{CO}_2$ were used, its concentration changes (either photosynthesis or respiration) results in interesting dynamics of CO_2 and $^{14}\text{CO}_2$. During experiments the concentration of CO_2 was monitored and maintained at 300-1000 ppm level. If CO_2 concentration decreased into less than 300 ppm the new CO_2 was added to the chamber; the CO_2 was reaction product of NaHCO_3 with excessive latic acid solution. By this kind of treatment the plants show their viability and growth normally during more than one month and finally the incorporating process can be started by adding of 0.1-0.6 GBq or 3-16 mCi gas $^{14}\text{CO}_2$ into incorporating chamber. The radioactivity level of $^{14}\text{CO}_2$ gasses was monitored every 3 hours. During the first 2 hours the radioactivity level dropped until a quarter and at the evening the radioactivity level dropped to zero level which mean similar with background radioactivity level. But at the next morning the radioactivity level of chamber was increased up to 50% of inisial radioactivity level. This phenomenon shown that carbohydrate recently produced were metabolized and respired as $^{14}\text{CO}_2$ gas. It was observed for a few days that the same process cycles were performed as its radioactivity was increased in the morning and went down to the background level in the afternoon. On the contrary the radioactivity of ^{14}C was continously went down and reach the background radioactivity level after 2 weeks. $^{14}\text{CO}_2$ photosynthetic patterns of both plants were similar and took the hyperbolic function. The aims of this research is producing ^{14}C labelled curcuminoid and essential oil of turmeric and temoelawak.

Key words: dynamics, photosyntesis, respiration

PENDAHULUAN

Fotosintesis adalah proses biologis yang terjadi antara CO_2 dan air yang dengan bantuan cahaya (matahari) dan tumbuhan hijau (klorofil) akan membentuk senyawa-senyawa organik bagi tumbuhan tersebut, sedangkan respirasi adalah proses pelepasan energi secara terkontrol dan berantai dengan melepaskan CO_2 . Apabila proses ini terjadi pada suatu sistem tertutup yang terdiri atas tanaman dan gas CO_2 yang terpapar sinar matahari, maka pada siang hari dari waktu ke waktu, kadar CO_2

tersebut akan terus berkurang. Sebaliknya pada malam hari kadar CO₂ akan bertambah. Bila pada sistem ini digunakan campuran CO₂ dan ¹⁴CO₂ maka dinamika konsentrasi keduanya mencerminkan penyerapan CO₂ akibat proses fotosintesis dan pelepasannya akibat proses respirasi. Pada percobaan ini dilakukan studi mengenai dinamika CO₂ tersebut dalam rangka penelitian tentang sintesis kurkuminoid dan minyak atsiri bertanda hasil asimilasi ¹⁴CO₂ pada tanaman temulawak dan kunyit.

Ruang penandaan merupakan sistem tertutup, berdinding rangkap, dengan ukuran 1 x 1 m² dan tinggi 2 m. Ruang tersebut dirancang agar kondisi dalam ruang dapat diatur sesuai dengan kondisi alami tempat tanaman temulawak dan kunyit tumbuh, yakni: suhu, kelembaban, pencahayaan dan kandungan CO₂. Selain itu ruang penandaan ini harus memenuhi syarat keselamatan kerja menggunakan gas radioaktif. Mengingat tingkat radioaktivitas gas yang digunakan dalam percobaan ini relatif tinggi, maka seluruh syarat keselamatan kerja mutlak harus dipenuhi. Itulah sebabnya rekayasa rancang bangun dan pembuatan ruang penandaan adalah tahap yang paling kritis dan menentukan keberhasilan percobaan ini.

Sebelum dilakukan penandaan, tanaman temulawak dan kunyit yang berumur sekitar 5-10 bulan disiapkan untuk hidup dan tumbuh dalam kondisi ruang penandaan selama minimum dua minggu, karena penandaan yang akan dilaksanakan adalah minimal dalam waktu tersebut. Hal tersebut ditetapkan berdasar pada percobaan pendahuluan/sebelumnya. Selama tanaman berada dalam ruang penandaan kadar CO₂ dipantau dan dipertahankan pada tingkat 300 (kondisi alami) hingga 1000 bagian per juta. Bila akibat proses asimilasi kadar CO₂ di bawah 300 bagian per juta maka kadar CO₂ tersebut dinaikkan dengan menambahkan CO₂ hasil reaksi antara NaHCO₃ dan asam laktat berlebih. Setelah terbukti bahwa minimum selama dua minggu tanaman temulawak dan kunyit dapat hidup dan tumbuh normal, maka proses penandaan dapat dimulai. Proses penandaan dilaksanakan dengan menambahkan 0,1- 0,6 GBq atau 3-16 mCi gas ¹⁴CO₂ ke dalam ruang penandaan yang berisi tanaman. Setelah ¹⁴CO₂

dimasukkan, tingkat radioaktivitas ruang penandaan terus dipantau sepanjang hari hingga mencapai waktu yang ditetapkan dengan selang waktu tiga jam.

BAHAN DAN TATA KERJA

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan meliputi $Ba^{14}CO_3$, NaOH, $NaHCO_3$ dan asam laktat 90%

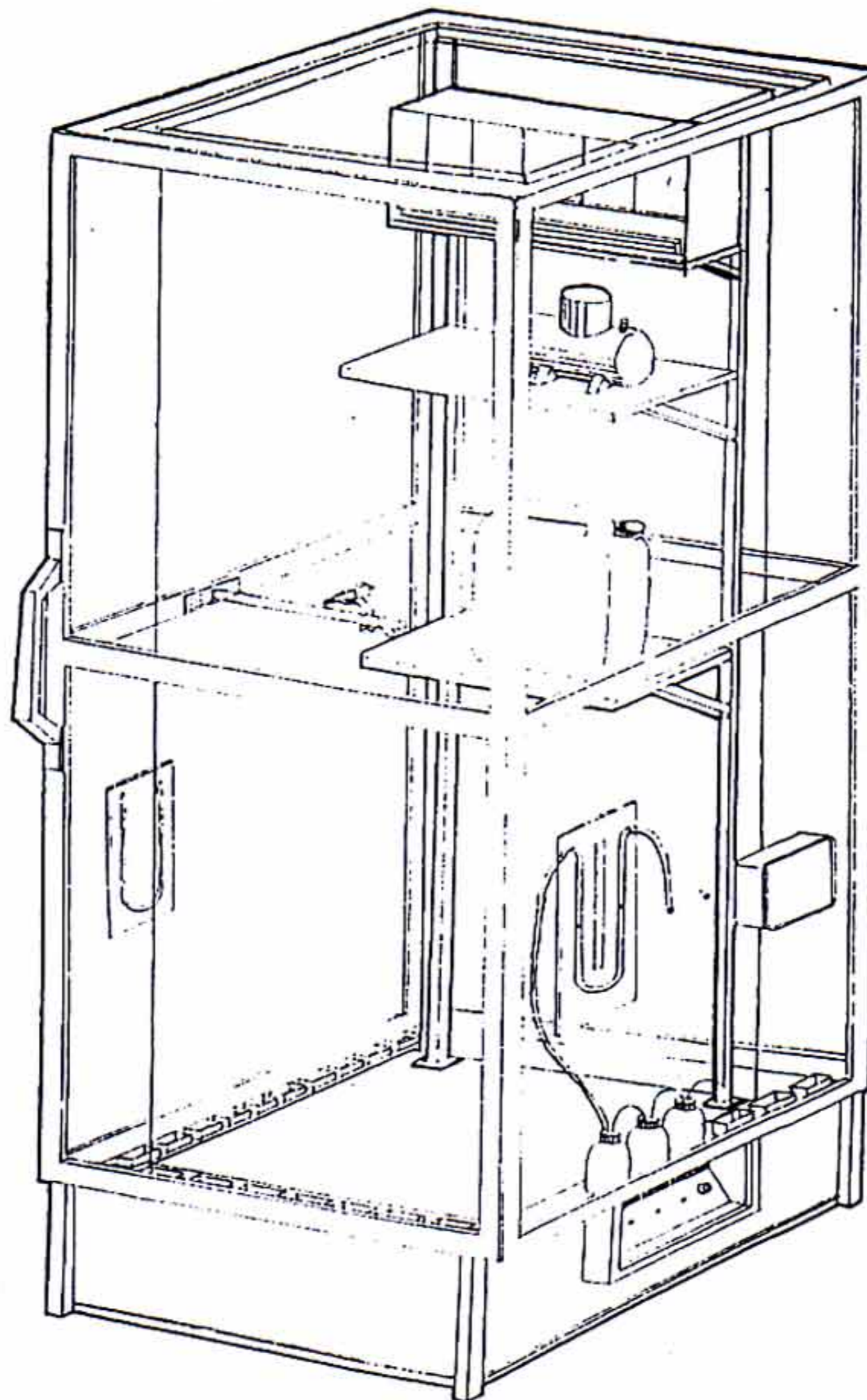
Peralatan

Ruang penandaan dengan seluruh sistem, alat pencacah Geiger dan *portable* CO_2 indicator model RI-411 A merek Riken Keiki Japan.

TATA KERJA

Penyiapan $^{14}CO_2$

1. Ruang penandaan dengan ukuran $1 \times 1 \text{ m}^2$ dan tinggi 2 m, yang merupakan sistem tertutup dan berdinding rangkap telah disiapkan. Ruang-1 yang merupakan ruang sebelah dalam berdinding kaca setebal 8 mm, sedang Ruang-2 yang terletak di sebelah luar berdinding kacapleksi setebal 5 mm. Volume Ruang-1 sebesar 2000 liter dan volume Ruang-2 540 liter (Gambar 1).
2. Gas $^{14}CO_2$ diperoleh dengan mereaksikan $Ba^{14}CO_3$ dengan asam laktat berlebih yang disiapkan sebagai berikut. Penyiapan senyawa yang mengandung ^{14}C ($Ba^{14}CO_3$) ini dilakukan setelah semua bahan dan peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan proses biosintesis telah berada di dalam Ruang-1, juga setelah dilakukan uji yang menunjukkan bahwa syarat keselamatan kerja dengan gas radioaktif telah dipenuhi.



Gambar 1. Ruang penandaan volume 2000 liter (1m x 1m x 2m), berdinding rangkap (kaca 8 mm dan kacapleksi 5 mm)

3. Sejumlah $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ yang mengandung sekitar 0,1- 0,6 GBq ^{14}C dimasukkan dengan alat suntik ke dalam gelas piala yang telah disiapkan dalam Ruang-1. Bersama

dengan suspensi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ dimasukkan pula larutan NaHCO_3 yang jumlahnya ekuivalen dengan 40 mmol CO_2 . Pembentukan gas $^{14}\text{CO}_2$ dicapai dengan menambahkan asam laktat berlebih kepada ke dua senyawa karbonat tersebut menggunakan alat suntik melalui saluran yang telah disiapkan. Disediakan dua saluran khusus, satu untuk larutan karbonat dan larutan asam laktat menuju gelas piala yang diletakkan di sudut ruangan, sedang satu saluran lagi untuk larutan NaOH menuju suatu baki yang terletak di tengah ruangan. Untuk menyebarkan $^{14}\text{CO}_2$ ke seluruh Ruang-1 agar dapat diserap oleh tanaman, maka segera setelah penambahan asam, kipas angin yang berada di atas gelas piala tersebut dinyalakan. Setelah berisi gas $^{14}\text{CO}_2$, Ruang-1 hanya boleh dibuka, atau percobaan diakhiri, apabila tingkat radioaktivitas dalam ruang tersebut sama dengan latar belakang (tingkat radioaktivitas sebelum Ruang-1 diisi $^{14}\text{CO}_2$). Bila tingkat radioaktivitas lebih tinggi daripada latar belakang maka sebelum dibuka, ke dalam Ruang-1 dimasukkan larutan NaOH yang disuntikkan melalui saluran khusus yang menuju baki, agar seluruh gas $^{14}\text{CO}_2$ dapat diserap oleh larutan NaOH tersebut. Penyerapan seluruh gas $^{14}\text{CO}_2$ ini ditandai oleh menurunnya tingkat radioaktivitas hingga sama dengan tingkat radioaktivitas latar belakang. Hal terakhir ini akan ditunjukkan oleh detektor Geiger yang dipasang dalam Ruang-1. Detektor Geiger hanya dioperasikan apabila akan digunakan untuk memantau tingkat radioaktivitas dalam Ruang-1

Pemaparan $^{14}\text{CO}_2$ pada tanaman temulawak dan kunyit

1. Gas $^{14}\text{CO}_2$ dipaparkan pada tanaman kunyit dan temulawak selama beberapa hari dengan sebelumnya dikondisikan dahulu di dalam ruang penandaan selama 20 hari. Percobaan pemaparan dilakukan dua kali terhadap kedua jenis tanaman, yaitu kelompok tanaman temulawak dan kelompok tanaman kunyit. Setiap selang waktu pemaparan, minimum digunakan masing-masing dua buah tanaman

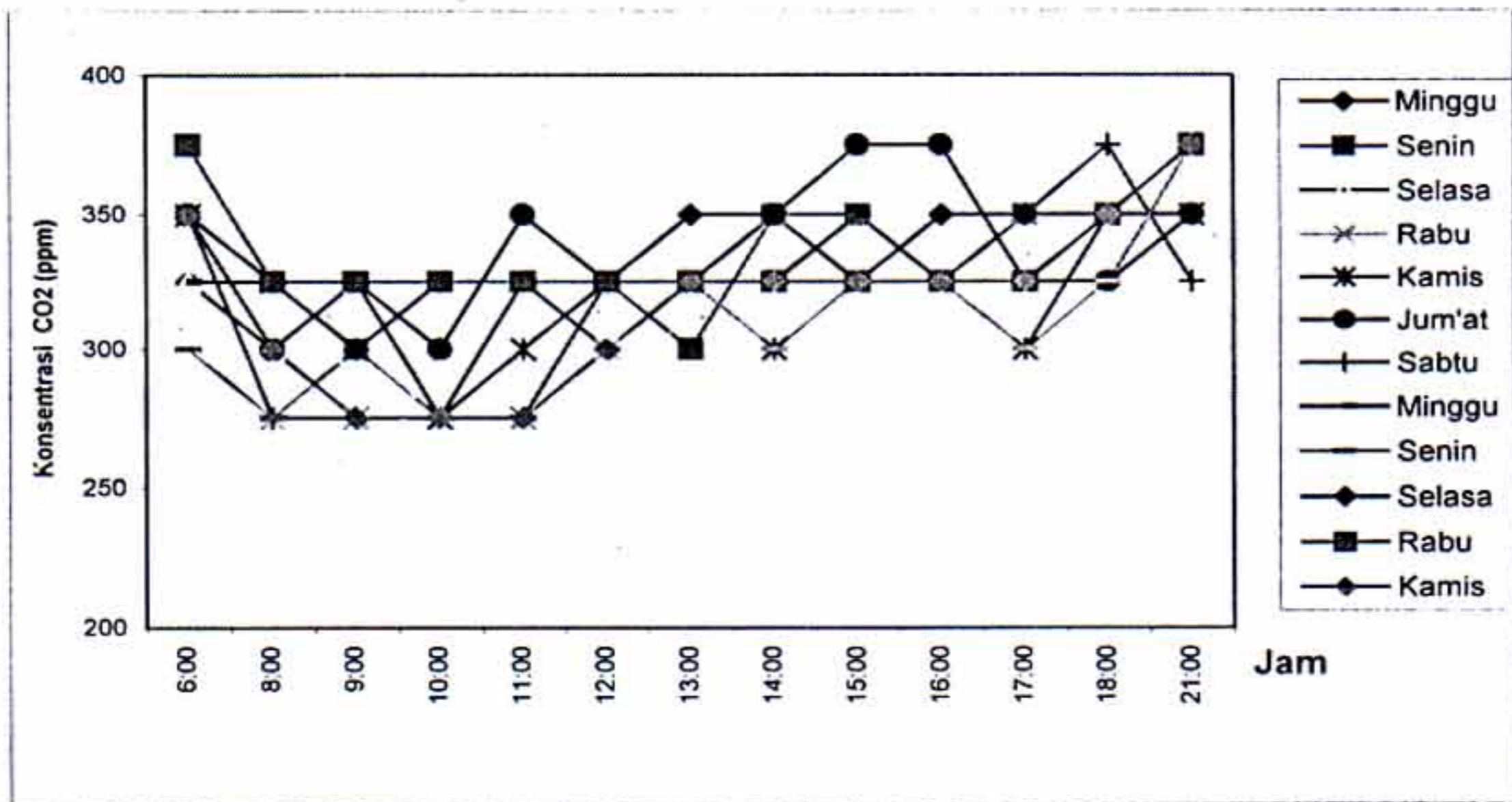
temulawak dan kunyit, sehingga dalam satu seri percobaan minimum memerlukan empat buah tanaman.

2. Pemantauan kadar CO_2 dilaksanakan dengan *Portable CO₂ indicator*, model RI-411 A, Riken Keiko, Japan, dan sebelum digunakan, alat pemantau ini dikalibrasi pada titik 0 (nol), 300 dan 1000 bagian per juta CO_2 . Kalibrasi titik 0 dilaksanakan dengan menempatkan detektor CO_2 dalam ruang bebas CO_2 yang dijenuhkan dengan gas nitrogen. Dua titik yang lain dikalibrasi dengan menambahkan sejumlah gas CO_2 yang jumlahnya sedemikian rupa sehingga jika dimasukkan ke dalam ruang tempat detektor yang bebas CO_2 tersebut akan diperoleh kadar CO_2 sebesar 300 dan 1000 bagian per juta. Gas CO_2 ini berasal dari reaksi antara sejumlah NaHCO_3 dengan asam laktat berlebih. Asam laktat digunakan dalam reaksi di atas karena senyawa tersebut merupakan senyawa organik yang tidak mengiritasi tanaman. Pemantauan kadar CO_2 ruangan dimaksudkan agar gas yang diperlukan untuk melangsungkan proses fotosintesis selalu tersedia dalam jumlah yang cukup dan seperti kondisi alami (300 bagian per juta). Kadar CO_2 dalam ruang penandaan dipertahankan antara 300 hingga 1000 bagian per juta. Bila sebelum jam 2 siang kadar CO_2 kurang dari 300 bagian per juta, ke dalam ruang penandaan ditambahkan CO_2 yang berasal dari hasil reaksi antara sejumlah NaHCO_3 dengan asam laktat berlebih.
3. Proses penandaan: **penandaan pertama**, dilakukan menggunakan 3 mCi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ terhadap empat buah tanaman kunyit yang berumur 7-10 bulan dengan lama penandaan 14 hari. **Penandaan kedua**, dilakukan menggunakan 8 mCi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ terhadap enam buah tanaman temulawak yang berumur 5,5-8,5 bulan dengan lama penandaan 12 hari, dan penandaan dilanjutkan hingga 20 hari terhadap tiga tanaman dengan menambahkan 8 mCi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$.

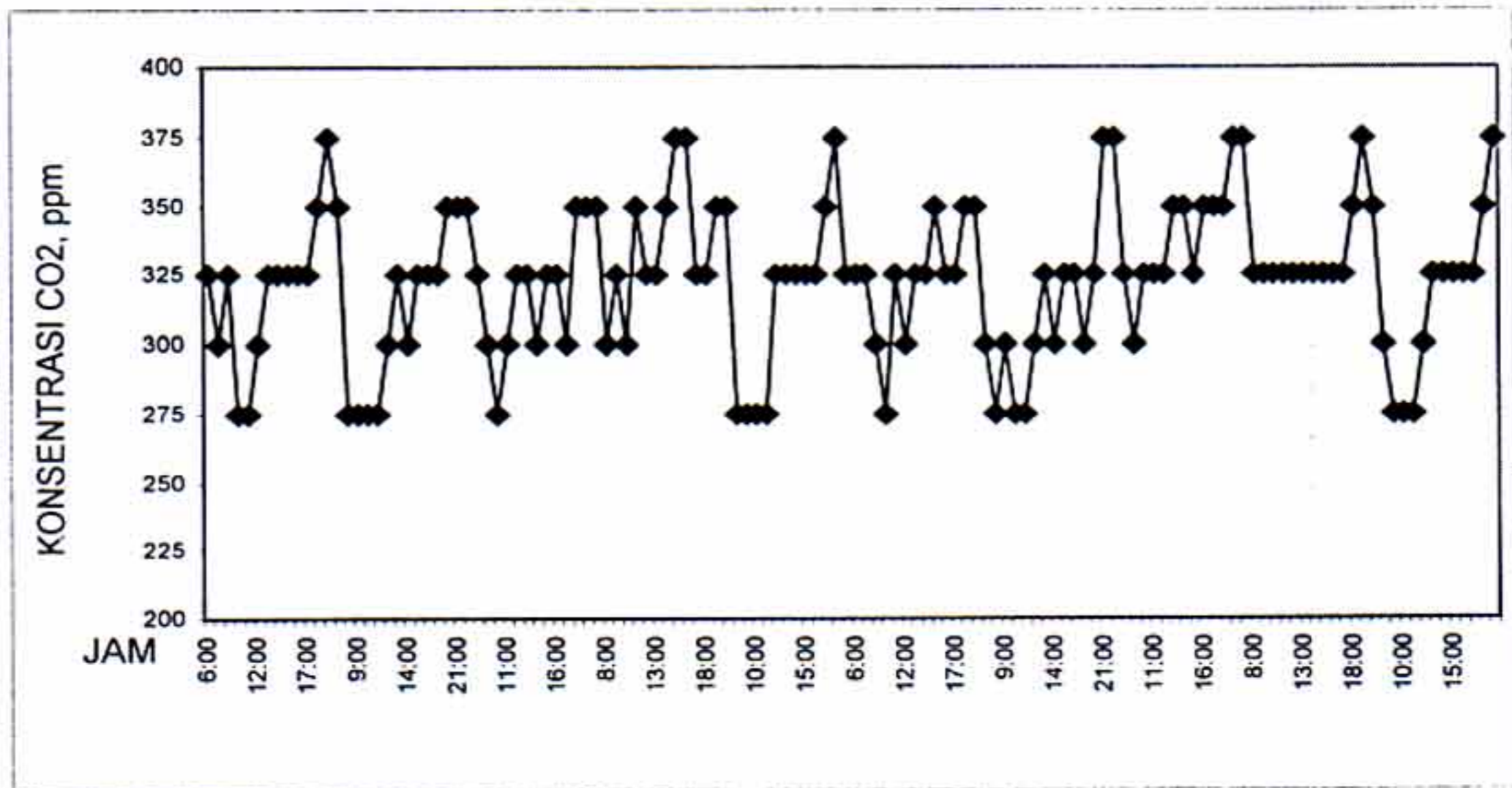
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah $^{14}\text{CO}_2$ dimasukkan, radioaktivitas dalam ruang penandaan meningkat dan mencapai maksimum dalam waktu kurang dari 10 menit, yakni 2630 cpm pada temulawak dan 1150 cpm pada kunyit. Selanjutnya tingkat radioaktivitas menurun dan dalam waktu sekitar dua jam tingkat radioaktivitas tinggal $\frac{1}{4}$ dari radioaktivitas awal. Pada sore hari (jam 15.00 – 16.00) radioaktivitas dalam ruang penandaan telah jauh berkurang hingga mendekati tingkat latar belakang. Fenomena ini menunjukkan bahwa dalam waktu dua jam, $\frac{3}{4}$ dari seluruh CO_2 yang ada dalam ruang penandaan telah digunakan untuk fotosintesis. Akan tetapi pada keesokan harinya (sekitar jam 8.00 pagi) radioaktivitas dalam ruang penandaan meningkat hingga sekitar $\sim 50\%$ tingkat keradioaktifan pada waktu $^{14}\text{CO}_2$ dimasukkan ke dalam ruang penandaan. Fenomena ini menggambarkan adanya proses respirasi yang mendominasi pada malam hingga pagi hari, pada saat tidak ada cahaya matahari. Seperti diamati pada hari sebelumnya, pada sore hari radioaktivitas turun kembali hingga mendekati tingkat latar belakang. Walaupun tidak dalam proporsi yang sama, peningkatan radioaktivitas pada pagi hari dan penurunan pada sore hari, namun pada hari-hari berikutnya juga masih dapat diamati hal tersebut. Pada malam hari fotosintesis tidak berlangsung, sedang respirasi tetap berlangsung bahkan lebih dominan. Oleh sebab itu peningkatan radioaktivitas tersebut disebabkan oleh peningkatan gas CO_2 hasil respirasi. Dari fakta ini dapat disimpulkan bahwa sebagian hasil fotosintesis ada yang direspirasikan kembali sebagai $^{14}\text{CO}_2$. Hal tersebut ditunjukkan oleh peningkatan radioaktivitas pada malam hingga pagi harinya.

Selain dimasukkan $^{14}\text{CO}_2$, ke dalam ruang penandaan juga dimasukkan CO_2 sebanyak 40-80 mmol. Penambahan CO_2 ini dimaksudkan agar pada siang hari konsentrasi CO_2 dalam ruang penandaan 0,05 – 0,1 %, yakni tetap terjaga mendekati kondisi alami CO_2 yakni sebesar 0,03%. Konsentrasi CO_2 lingkungan sehari semalam berkisar 275-375 ppm (Gambar 2a dan 2b).

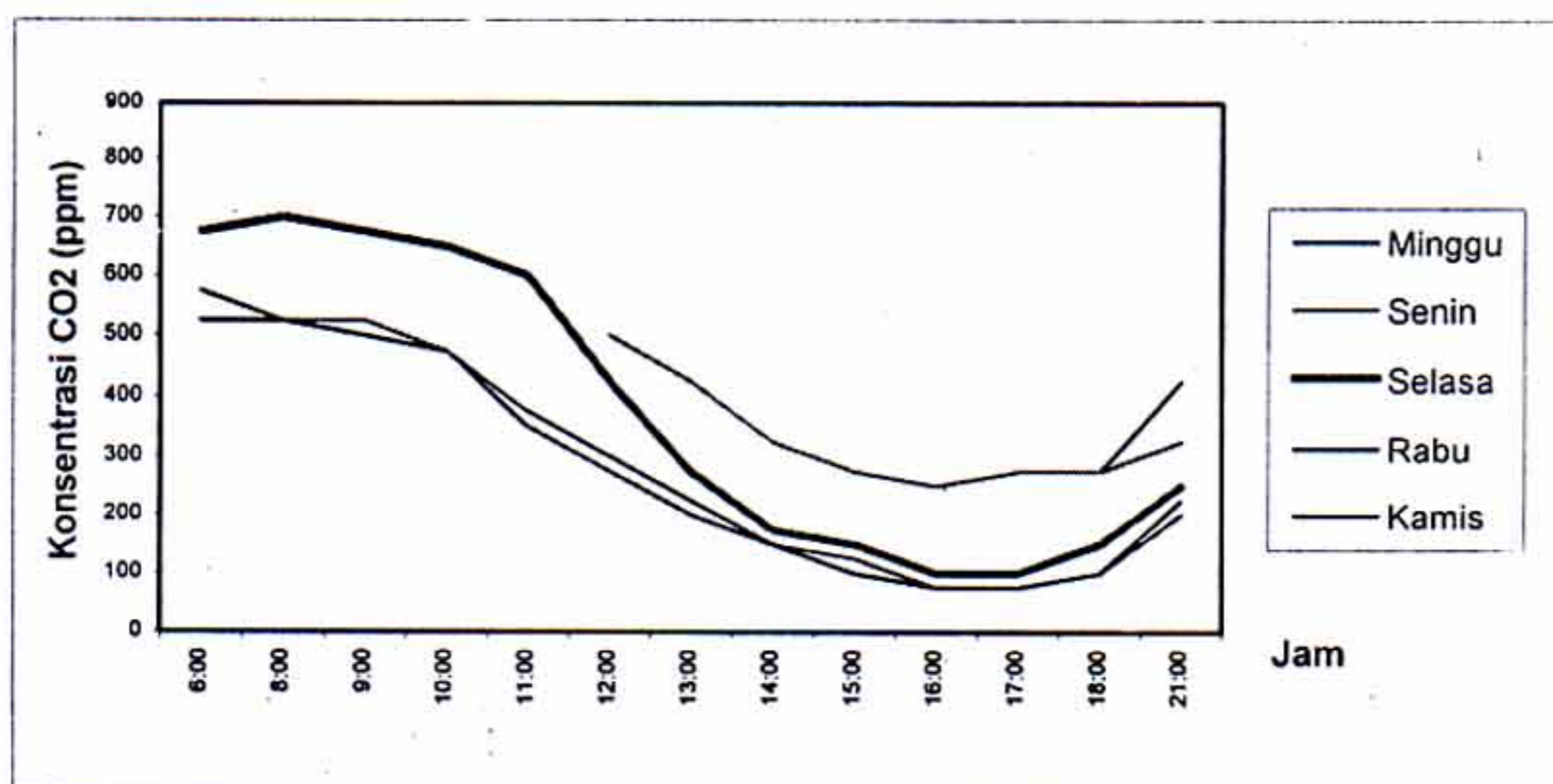


Gambar 2a. Konsentrasi CO₂ lingkungan sepanjang 24 jam selama 12 hari terus menerus, dalam *range* 275-375 ppm

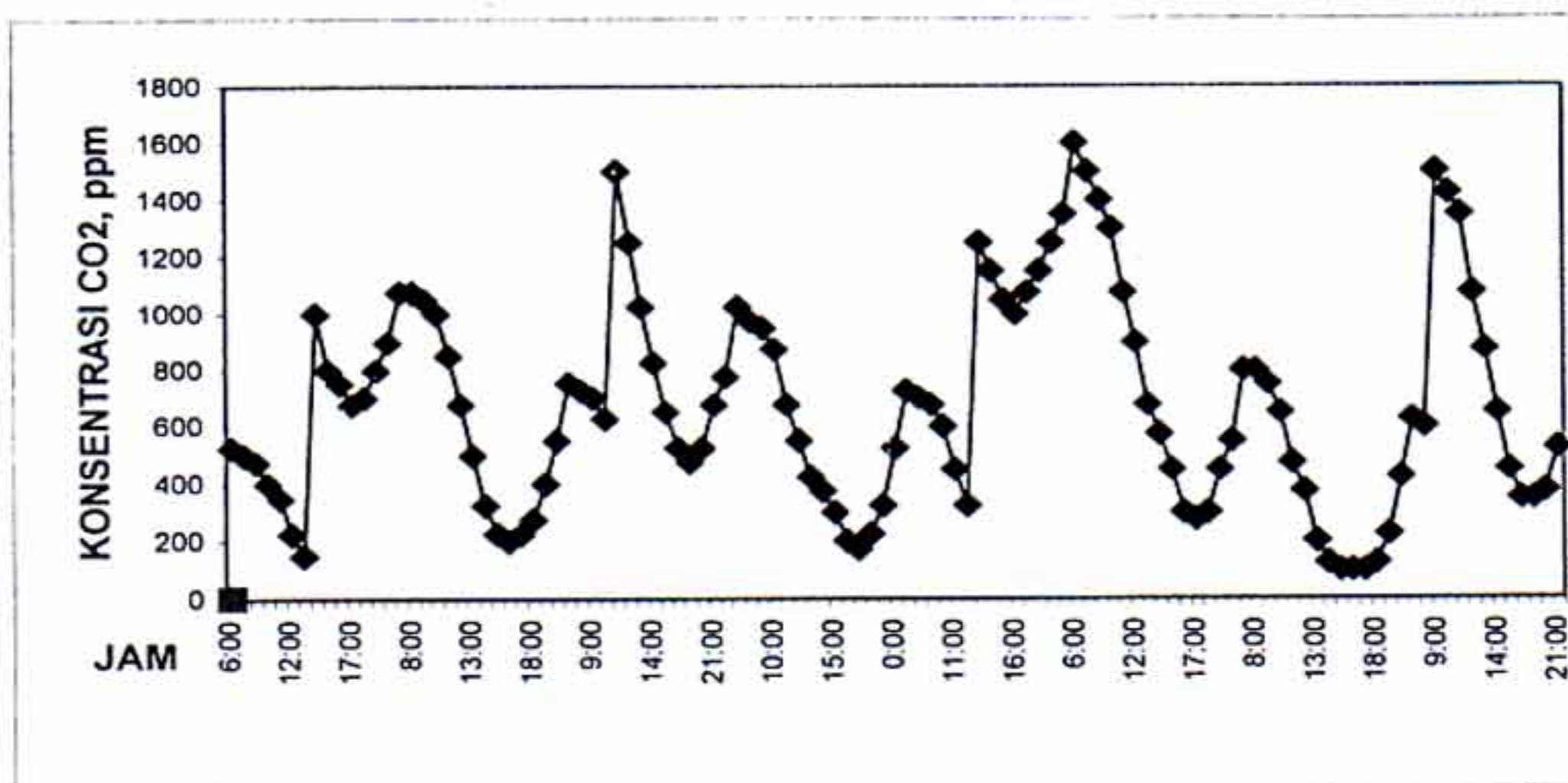


Gambar 2b. Konsentrasi CO₂ lingkungan sepanjang 24 jam selama 10 hari terus menerus, dalam *range* 275-375 ppm

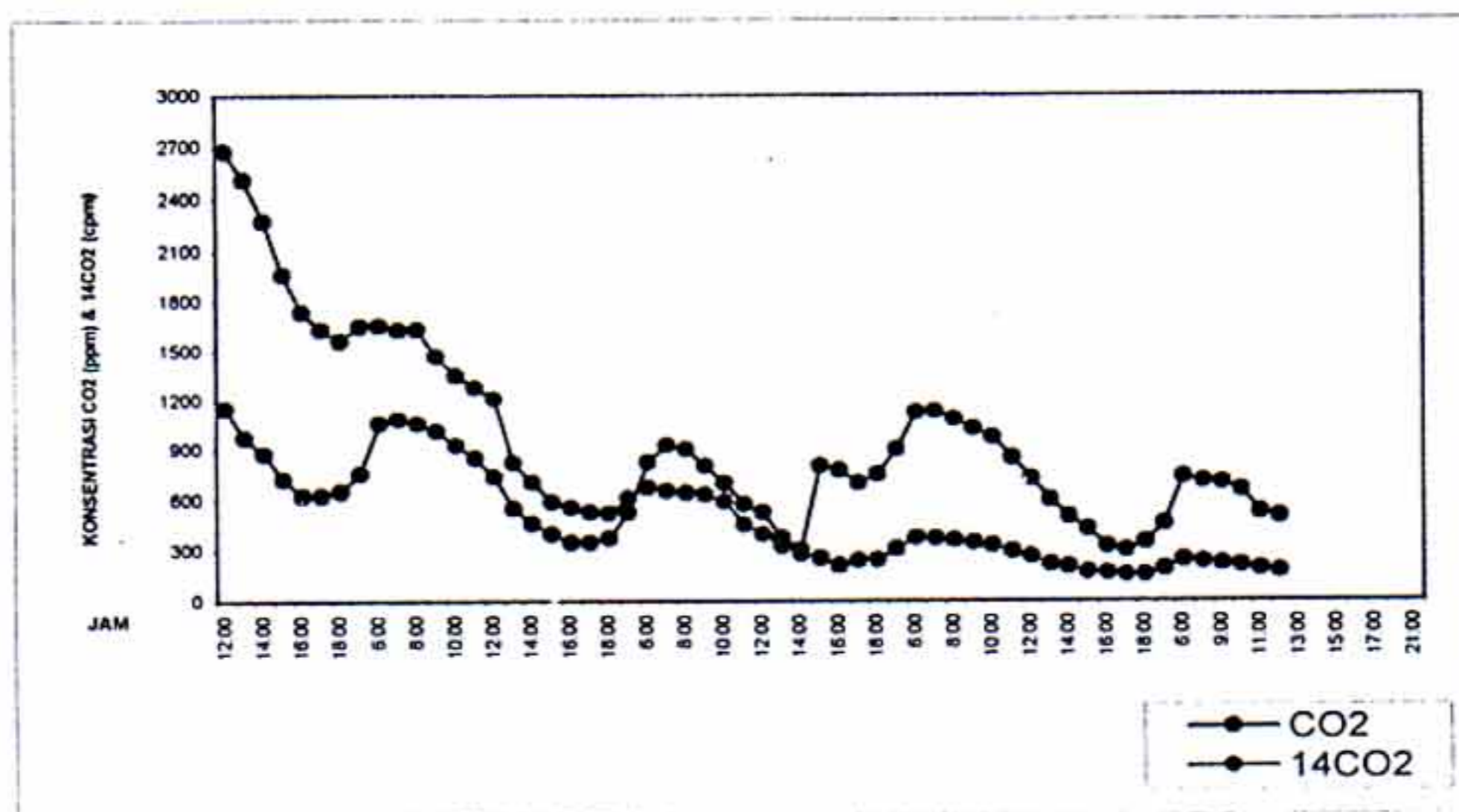
Konsentrasi CO₂ ruang penandaan apabila tanpa penambahan CO₂ akan semakin menurun (Gambar 3a). Untuk itu diperlukan penambahan CO₂ secara periodik dengan mereaksikan karbonat dan asam laktat berlebih agar mendekati kondisi CO₂ alam (Gambar 3b). Sementara itu, dinamika konsentrasi CO₂ dan ¹⁴CO₂ dalam ruang penandaan ditunjukkan oleh Gambar 4. Radioaktivitas ¹⁴C mengecil seperti deret ukur menurun, dan setelah dua minggu tingkat radioaktivitas mendekati latar belakang (Gambar 5a & 5b). Fenomena ini menggambarkan pola asimilasi dan respirasi kedua tanaman yang hiperbolik.



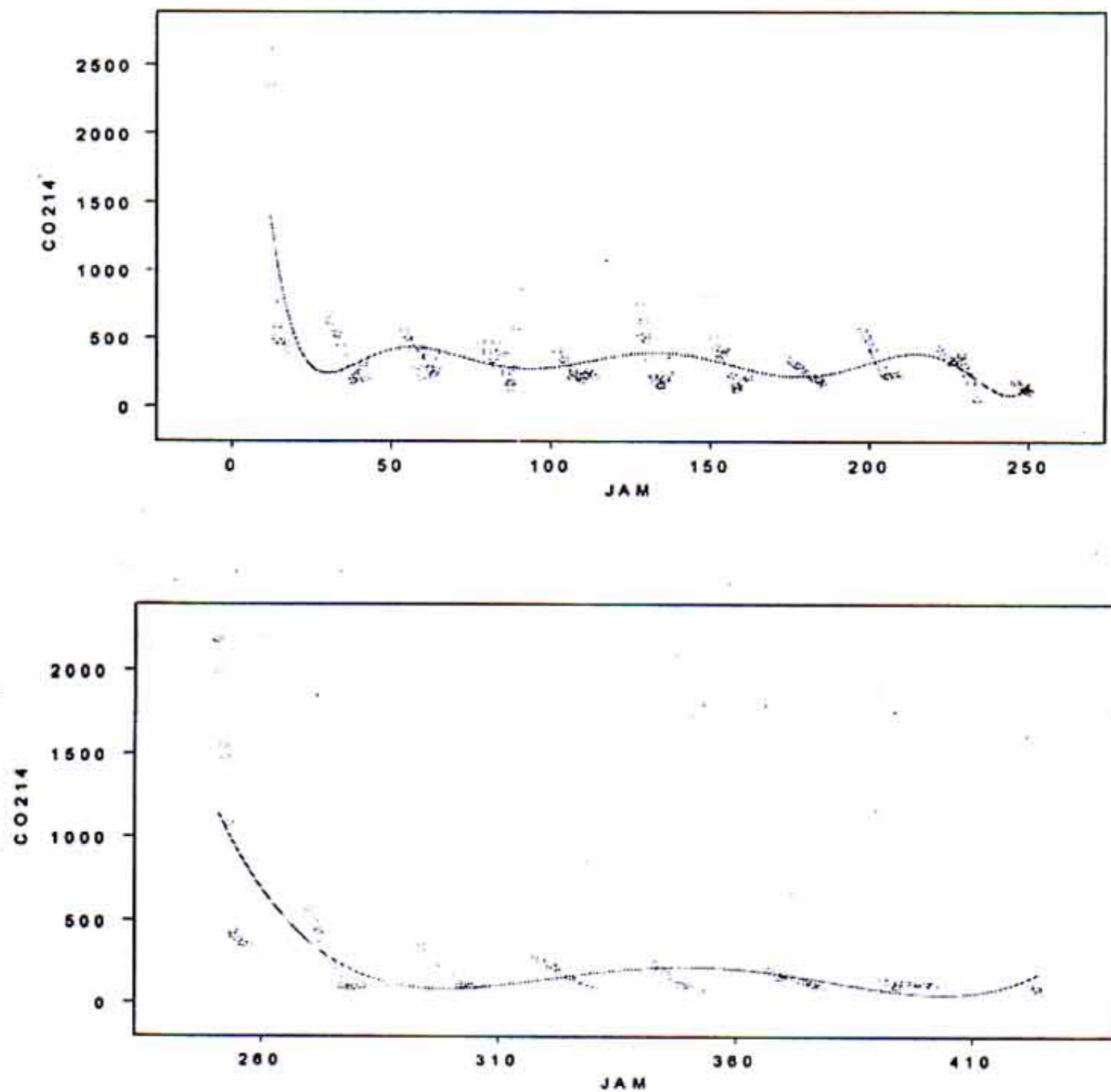
Gambar 3a. Konsentrasi CO₂ dalam ruang penandaan sepanjang 24 jam selama 5 hari tanpa penambahan CO₂



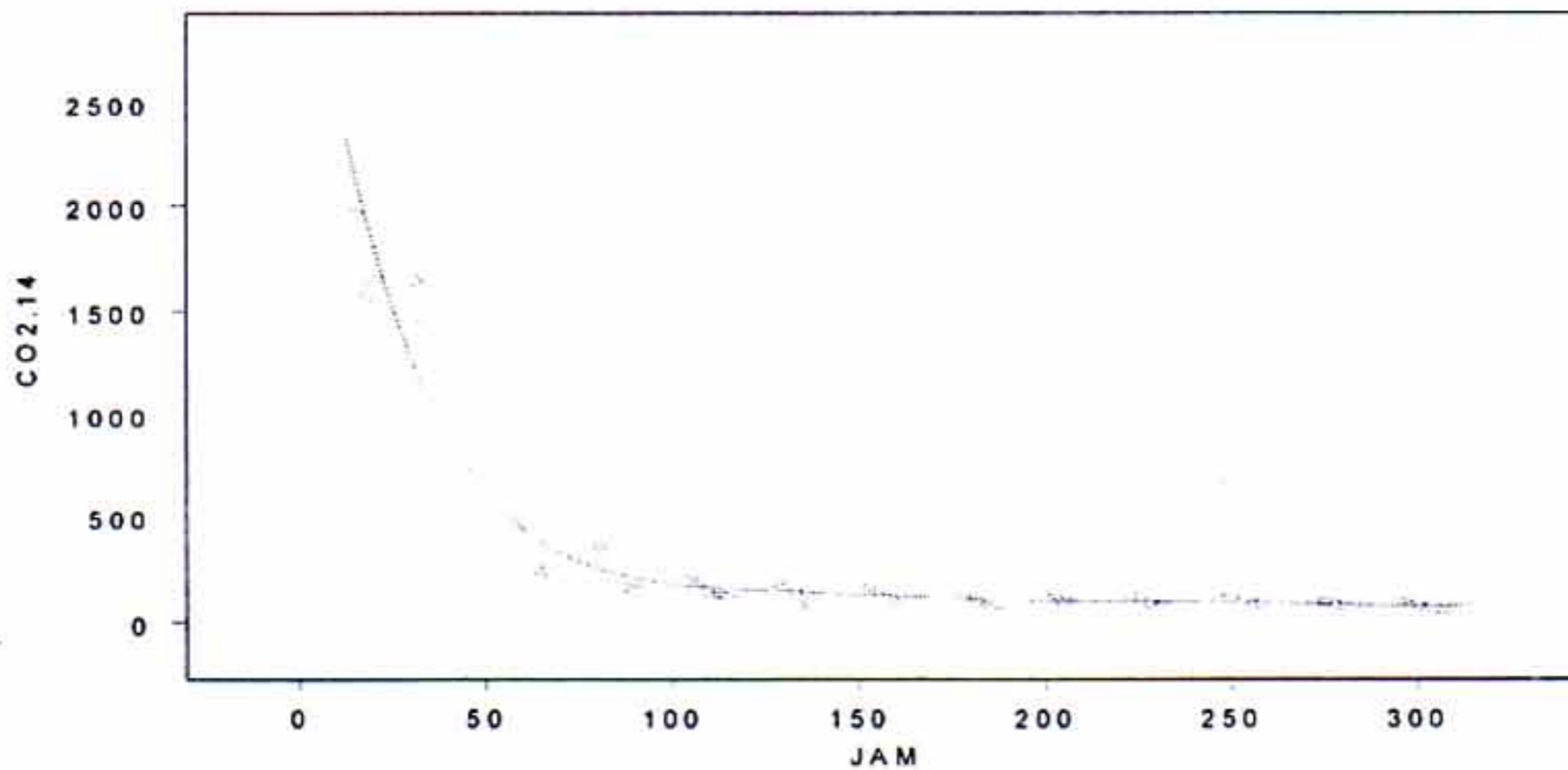
Gambar 3b. Konsentrasi CO₂ dalam ruang penandaan selama satu minggu dengan penambahan CO₂ (NaHCO₃ + asam laktat berlebih)



Gambar 4. Perkembangan konsentrasi CO₂ dan $^{14}\text{CO}_2$ dalam ruang penandaan selama proses penandaan berlangsung

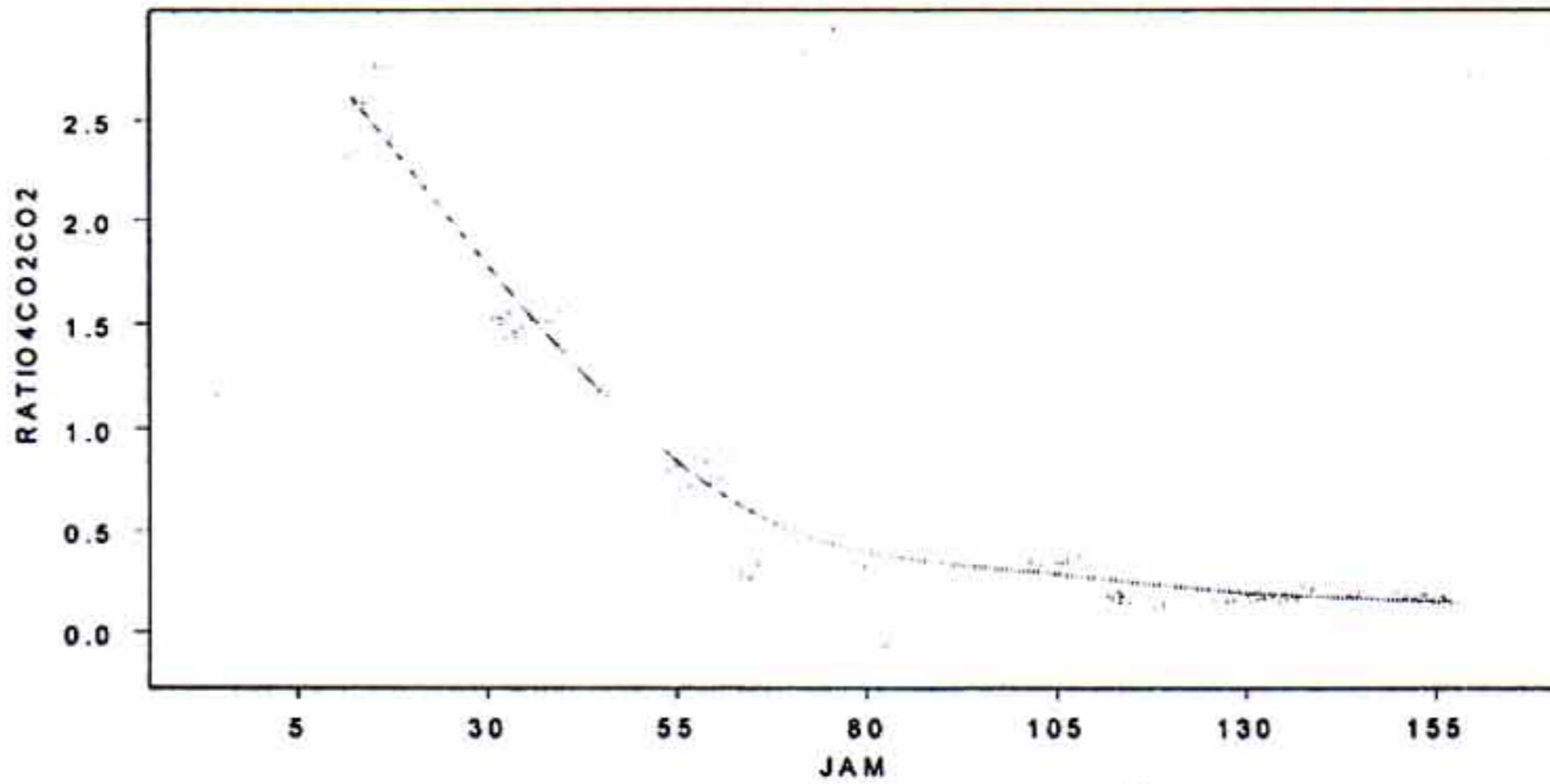


Gambar 5a. Laju inkorporasi $^{14}\text{CO}_2$ tanaman temulawak selama proses penandaan tahap I & II

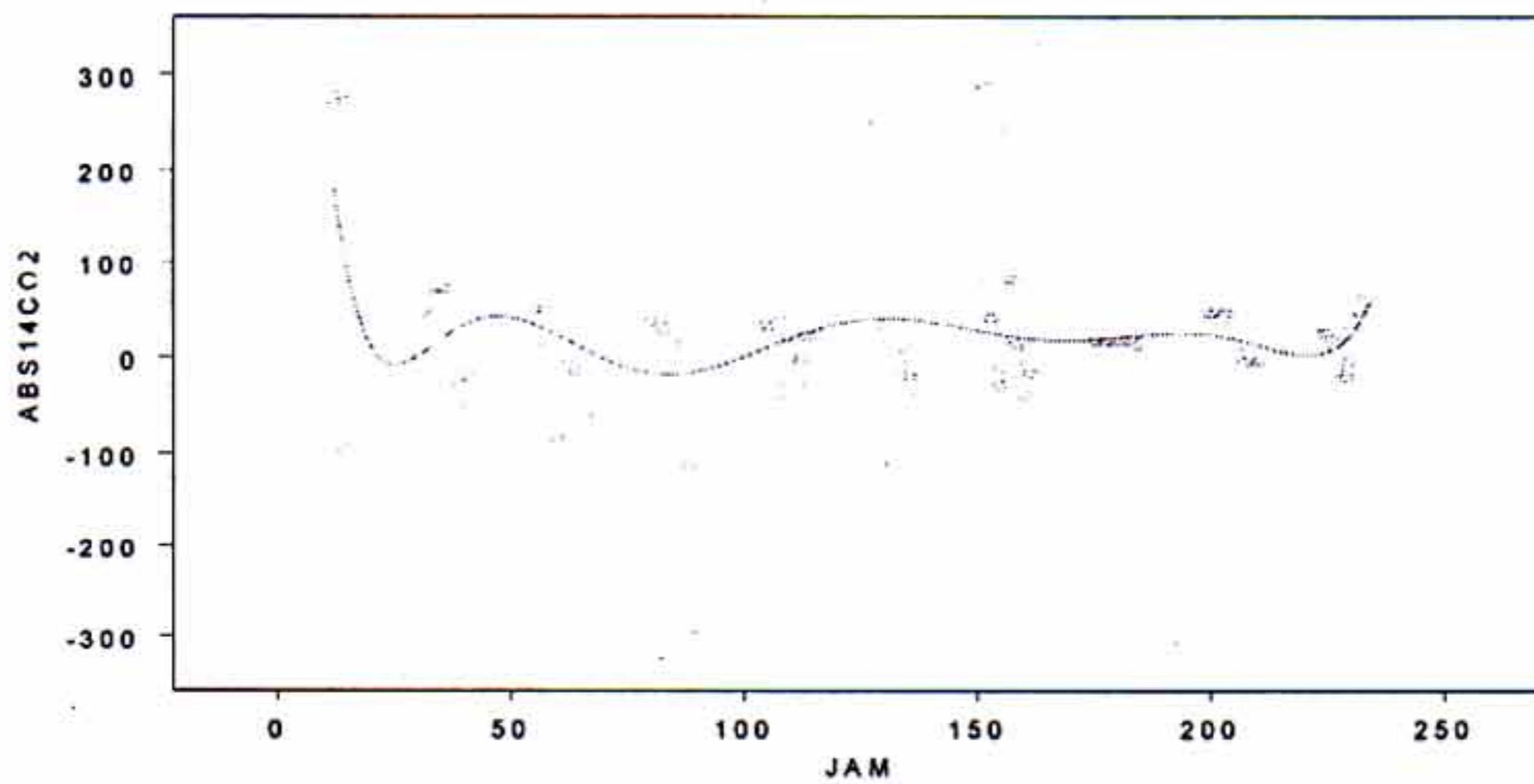


Gambar 5b. Laju inkorporasi $^{14}\text{CO}_2$ tanaman kunyit selama proses penandaan

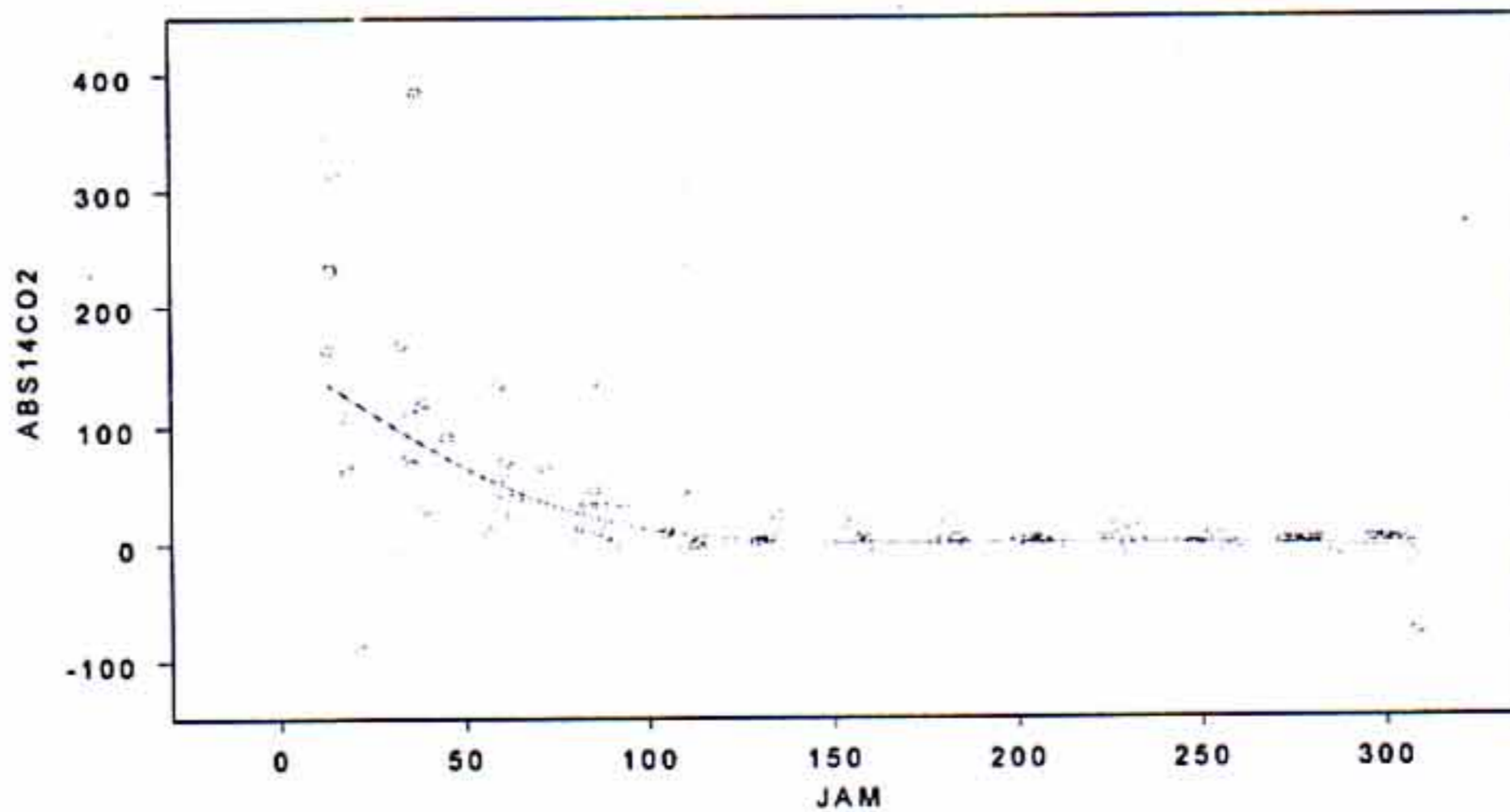
Perbandingan konsentrasi $^{14}\text{CO}_2/\text{CO}_2$ (total) dari hari ke hari makin berkurang (Gambar 6), karena penambahan $40\text{-}80\text{ mmol CO}_2\text{ hari}^{-1}$, sehingga jumlah $^{14}\text{CO}_2$ yang terlibat dalam fotosintesis dari hari ke hari juga semakin berkurang meskipun penggunaan CO_2 (total) untuk proses tersebut tidak berubah. Oleh sebab itu senyawa bertanda ^{14}C yang terbentuk pada proses fotosintesis (Gambar 7 dan 8, laju absorpsi $^{14}\text{CO}_2$), termasuk yang segera digunakan untuk respirasi, juga berkurang. Dengan demikian maka jumlah $^{14}\text{CO}_2$ yang dilepaskan pada respirasi juga berkurang. Semakin berkurangnya jumlah $^{14}\text{CO}_2$ yang dilepaskan pada respirasi adalah karena tidak ada lagi senyawa radioaktif karbonat yang ditambahkan, sedang senyawa NaHCO_3 selalu ditambahkan adalah untuk menjaga pertumbuhan tanaman di dalam sistem tertutup.



Gambar 6. Rasio konsentrasi $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ tanaman kunyit selama proses penandaan



Gambar 7. Laju absorpsi ^{14}C tanaman temulawak selama proses penandaan



Gambar 8. Laju absorpsi $^{14}\text{CO}_2$ tanaman kunyit selama proses penandaan

KESIMPULAN

1. Cahaya sangat berpengaruh terhadap proses fotosintesis sehingga pada cuaca terang tingkat radioaktivitas $^{14}\text{CO}_2$ dalam ruang penandaan cepat berkurang. Apabila mendung dan turun hujan penurunan keaktifan $^{14}\text{CO}_2$ (dan kadar CO_2) lebih lambat.
2. Peningkatan radioaktivitas $^{14}\text{CO}_2$ pada malam hari menunjukkan bahwa hasil fotosintesis ada yang segera direspirasikan.
3. Radioaktivitas ^{14}C mengecil seperti deret ukur menurun, dan setelah dua minggu tingkat radioaktivitas mendekati latar belakang. Fenomena ini menggambarkan pola asimilasi dan respirasi kedua tanaman yang hiperbolik, dan keduanya menunjukkan kemiripan