

PENERAPAN SISTEM OTOMATISASI PADA PEMATANGAN BUATAN BUAH PISANG ✓

Sutrisno, Rokhani Hasbullah¹ dan Sugiyono²

¹ Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian FATETA-IPB

² Alumni PS-TEP, SPs-IPB

ABSTRAK

Sistem otomatisasi pematangan buatan dilakukan dengan mengintegrasikan pengendalian suhu, penyerapan CO₂, dan sistem injeksi etilen secara terprogram sehingga memudahkan proses pemeraman dengan hasil yang lebih baik. Penginjeksian etilen dilakukan dengan pendekatan matematis berdasarkan produksi etilen selama pengemposan. Hasil pengendalian menunjukkan korelasi konsentrasi etilen pengukuran dan perhitungan sebesar 0,947. Mekanisme injeksi etilen juga dipengaruhi oleh kondisi pisang dan volume bebas ruang, konsentrasi etilen *trigger* dan konsentrasi etilen dalam tabung. Proses penyerapan CO₂ menggunakan larutan kapur dengan efektivitas penyerapan sebesar 0,13 % CO₂/menit dapat mengurangi akumulasi CO₂ mendekati ambang batas 5% dengan tingkat validasi sebesar 0,72. Pengendalian suhu menggunakan sistem pemerata udara pendinginan menunjukkan kestabilan pada suhu 25°C. Pematangan buatan pada suhu tinggi tidak dapat dilakukan dengan sistem pendinginan, tetapi harus ada penggabungan dengan unit pemanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeraman dengan pengendalian menghasilkan perubahan mutu lebih seragam dibandingkan pengemposan. Hal ini disebabkan udara dalam ruang pemeraman secara kontinyu terkontrol sehingga penyebaran suhu dan gas etilen sebagai pemacu pematangan lebih merata.

Kata kunci: pematangan buatan, sistem injeksi etilen, penyerap CO₂, pemerata udara.

ABSTRACT

Automation of system artificial ripening was conducted by using programmable integration of temperature controller, CO₂ absorber, and ethylene injection system, in order to do the ripening process conveniently with best produces. Ethylene injection to ripening room was conducted by mathematical approach based on ethylene production of traditional ripening process. The result shown the correlation between ethylene experiment and calculation is 0.947. The ethylene injection mechanism was affected by banana condition, free-space volume, the amount of ethylene trigger, and ethylene concentration resource. The CO₂ absorber process using Ca(OH)₂ solution with absorption rate of 0.13 % CO₂/minute was maintained CO₂ concentration near set point of 5%, with correlation of 0.72. Using the cooling air system to maintain the temperature at 25°C was controlled the room temperature. Artificial ripening process at height temperature was not conducted by cooling system, but it should be using heater system. The ripening process using the control system produces the fruits more uniform than traditional method. Circulating of air continuously in the ripening room caused temperature and ethylene as trigger spread uniformly.

Keywords: artificial ripening, ethylene injection system, CO₂ absorber, and air spreader.

PENDAHULUAN

Sistem pematangan buatan (*artificial ripening*) secara komersial di Indonesia masih dilakukan dengan metode dan teknologi tradisional, dimana kondisi lingkungan dan perubahan fisiologi bahan yang dimatangkan belum bisa dikontrol dengan baik sehingga mutu hasilnya pun kurang dapat memenuhi tuntutan pasar yang terus berubah. Pada proses pematangan faktor lingkungan yang sangat berpengaruh adalah suhu dan kelembaban.

konsentrasi gas, sistem ventilasi, serta zat pemicu (*trigger*) pematangan. Metode pematangan buatan dengan pemberian etilen atau turunannya sebagai bahan pemicu secara tradisional telah banyak dilakukan oleh petani atau pedagang buah-buahan yang dikenal dengan istilah “pengkarbitan” karena menggunakan karbit, atau dengan sistem “pengemposan” yaitu dengan menghembuskan asap hasil pembakaran daun-daun kering ke dalam ruang pematangan.

Perbaikan sistem pematangan buatan pada intinya adalah bagaimana mengontrol kondisi ruang dengan memperhatikan lima faktor fisiko-kimia yaitu suhu, kelembaban, konsentrasi etilen, ventilasi dan konsentrasi CO₂. Suhu optimum pematangan buah-buahan direkomendasikan antara 18 – 25°C dengan kelembaban relatif 90 – 95%, sedangkan konsentrasi etilen yang umum digunakan adalah 10 – 100 ppm yang diaplikasikan selama 24 – 72 jam, tergantung pada jenis dan tingkat kematangan buah. Kondisi lain yang harus dipenuhi adalah sistem sirkulasi udara untuk meratakan penyebaran etilen dalam ruang pematangan. Ventilasi yang baik dapat mengatur pertukaran udara dan perataan suhu, sehingga tidak terjadi akumulasi CO₂ yang tinggi sehingga mengurangi efektivitas etilen. Konsentrasi gas CO₂ sebaiknya tidak lebih dari 4%, yang dikendalikan dengan mengatur pembukaan ventilasi pada selang waktu 12 jam (Reid, 1992).

Pisang sebagai salah satu buah dalam kelompok klimakterik termasuk produk hortikultura dengan prospek cerah untuk dikembangkan, karena tidak bersifat musiman, produksinya cukup besar di Indonesia dan dapat dimanfaatkan baik dalam bentuk segar maupun olahan. Kendala yang dihadapi adalah mudah rusak setelah panen, mutu tidak seragam serta penjadwalan pematangan yang belum terprogram, sehingga perlu penanganan yang memadai agar mutu dapat dipertahankan, daya simpan dan nilai manfaatnya lebih meningkat.

Tujuan umum penelitian ini adalah menerapkan teknologi otomatisasi dalam pemeraman buatan buah-buahan tropika, dalam hal ini mengambil kasus pemeraman buah pisang Ambon (*Musa paradisiaca* L.), sedangkan tujuan khususnya adalah : (i) melakukan pengendalian suhu ruang pemeraman secara otomatis dengan sistem kendali *Fuzzy*, (ii) melakukan uji coba sistem penginjeksian etilen secara otomatis pada ruang pemeraman skala komersial dengan pendekatan pendugaan produksi etilen pengemposan, (iii) menganalisis mekanisme penginjeksian etilen serta mempelajari mekanisme pengaturan akumulasi CO₂ dalam ruang pemeraman, (iv) menganalisis laju produksi CO₂ dalam ruang pemeraman, serta (v) mengamati perubahan fisiologi buah pisang Ambon selama pemeraman dengan sistem otomatisasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama pengujian pematangan adalah pisang ambon dengan tingkat ketuaan optimum (kurang lebih umur 80 hari) dengan kondisi $\frac{3}{4}$ bulat penuh yang diambil dari perkebunan pisang di Lampung. Bahan penunjang lainnya adalah batu kapur dan gas etilen.

Gas analyzer Shimadzu tipe IRA-107 digunakan untuk pengujian tingkat penyerapan CO₂ oleh larutan kapur, gas chromatograph (GC) Hitachi tipe D-263-50 untuk mengukur konsentrasi gas CO₂ dan etilen (kolom porapak Q), aerator, selang plastik 1/2“, tabung phenoljack sebagai tempat sampel gas dan syringe 10 ml untuk pengambilan sampel gas. Pengujian mutu meliputi: rheometer tipe CR-300 untuk mengukur kekerasan, timbangan digital untuk mengukur susut bobot, chromameter Minolta CR-310 untuk menentukan indeks warna dan refractometer tipe PR-201 untuk mengukur total padatan terlarut.

Sedangkan pengendalian penyebaran suhu, akumulasi CO₂ dan injeksi etilen dalam ruang pemeraman digunakan aktuator (suhu, CO₂, dan etilen), 2 jenis kipas hisap, mesin pendingin, tabung etilen, Wiring Terminal Board (WTB), power supply, larutan kapur Ca(OH)₂ untuk menyerap CO₂, komputer, interface PCL-812PG serta bahasa pemrograman Q-Basic.

Pengukuran Parameter

Parameter pematangan yang diukur adalah konsentrasi CO₂, laju respirasi, susut bobot, kekerasan, total padatan terlarut, warna kulit buah, indeks kematangan dan uji organoleptik terhadap kesegaran, warna, aroma, kekerasan dan rasa.

Laju Respirasi dan Produksi Etilen; diukur berdasarkan laju produksi CO₂, nilainya dinyatakan dalam ml/kg-jam. Perhitungan laju respirasi dengan menggunakan persamaan:

$$R = \frac{V}{W} \times \frac{dx}{100 dt}$$

dimana R : Laju respirasi (ml/kg.jam); dx : Perubahan konsentrasi CO₂ (%); V : Volume bebas (ml); dt : Selang waktu (jam); W: Berat buah (kg).

Laju produksi etilen (µl/kg.jam) dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$R_{\text{etilen}} = C_2H_4(\text{ppm}) \times \frac{\text{Vol.bebas (liter)}}{W (\text{kg})} \times \frac{1}{\Delta T (\text{jam})}$$

Susut Bobot; ditentukan dengan membandingkan bobot setiap hasil pemeraman (W₁) terhadap bobot awal sebelum perlakuan (W₀).

Kekerasan Buah; ditentukan berdasarkan tingkat ketahanan buah terhadap penetrasi jarum dari alat penetrometer. Beban yang diberikan pada bahan maksimum 10 kg dengan kedalaman jarum penetrasi 15 mm, dan kecepatan laju beban turun 60 mm/menit. Pengukuran kekerasan dilakukan pada tiga posisi buah yaitu ujung, tengah dan pangkal buah.

Total Padatan Terlarut; diukur menggunakan refraktometer yang dilakukan pada suhu ruang. Sebelumnya bahan dihaluskan sampai menjadi pasta, kemudian setetes contoh diletakkan pada prisma refraktometer untuk pembacaan nilai derajat brix.

Uji Warna; warna kulit buah pisang diukur pada tiga titik yaitu bagian pangkal, tengah dan ujung buah pisang. Nilai yang terukur adalah L, a, b, kemudian dikonversi menjadi nilai Hue dan Chroma. Nilai L menunjukkan kecerahan (bernilai 100 untuk warna putih dan 0 untuk warna hitam), a dan b adalah kromasitas (nilai a negatif untuk warna hijau dan positif untuk warna merah, sedangkan nilai b bernilai negatif untuk warna biru dan positif untuk warna kuning). Hue menunjukkan warna dan Chroma menunjukkan tingkat kandungan warna atau saturasi.

Uji Organoleptik; citarasa diuji secara organoleptik untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen terhadap mutu bahan hasil percobaan. Skor nilai menggunakan skala hedonik antara 1 sampai 7 yang menunjukkan tingkat kesukaan dari sangat tidak suka (1) sampai sangat suka (7). Penilaian dilakukan oleh 15 orang panelis, batas penerimaan didasarkan pada skor 4,5 dimana nilai ≤ 4,5 berarti tidak suka, nilai ≥ 4,5 berarti suka.

Validasi data

Sebaran pengendalian suhu dianalisa berdasarkan nilai standar deviasi suhu setpoint dengan suhu terukur selama 4 hari pemeraman. Untuk pengaturan CO₂ dilakukan juga selama 4 hari, dimana data produksi CO₂ terukur dibandingkan dengan data pendugaan. Sedangkan sistem injeksi etilen pematangan buatan ditentukan tingkat ketepatannya,

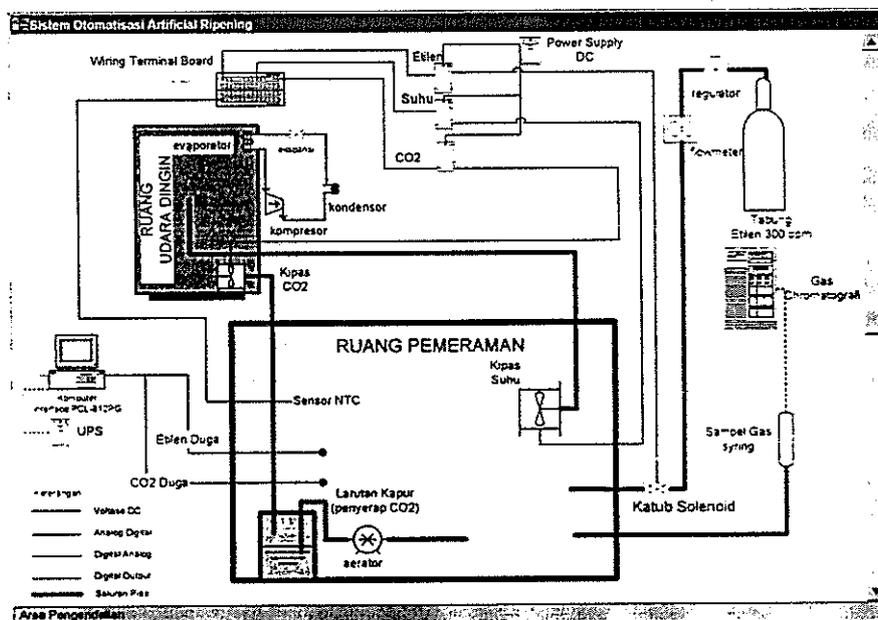
jumlah injeksi dan aktivitas sistem injeksi. Data pendugaan produksi etilen saat trigger 1 hari dan 3 hari dibandingkan dengan data pengamatan selama 96 jam dan ditentukan korelasinya.

Analisis validasi simulasi terhadap hasil pengukuran menggunakan prosedur korelasi dan untuk menilai hubungan kekuatan digunakan koefisien korelasi Pearson atau biasa disebut Metode Pearson Product Moment, yang disimbolkan dengan huruf r . Nilai r berada pada antara -1 dan $+1$, dimana tanda $-$ dan $+$ menunjukkan arah hubungan. Menurut Young (1982) dalam Sulaiman (2002) ukuran korelasi adalah sebagai berikut: $0,70 - 1,00$ (baik $+$ atau $-$) menunjukkan derajat asosiasi yang tinggi, $0,40 - 0,70$ (baik $+$ atau $-$) menunjukkan hubungan yang substansial, $0,20 - 0,40$ (baik $+$ atau $-$) artinya ada korelasi yang rendah dan $< 0,20$ (baik $+$ atau $-$) artinya korelasi dapat diabaikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe Otomatisasi Pematangan Buatan

Jaringan sistem kendali merupakan rangkaian komponen unit-unit pengendali kondisi proses pematangan buatan yang terbagi menjadi empat area, dimana tiga area merupakan bagian unit pengendalian serta satu bagian sebagai unit pengolah data serta monitoring proses pemeraman, seperti disajikan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Skema rancangan sistem pematangan buatan

Ruang Pemeraman; berupa ruang pengemposan termodifikasi, dimana dinding ruangan dilapisi dengan semen agar kedap udara sehingga kebocoran gas dapat dikurangi. Lantai dilapisi dengan triplek untuk menjaga agar bahan tidak kotor.

Ruang Udara Dingin; ruang ini berupa lemari pendingin sistem kompresi dengan bagian-bagian sebagai berikut: kompresor, filter kapiler, kondesor serta evaporator. Sistem kontrol suhu dilakukan dengan mengatur tekanan kompresor pada tingkat daya tertentu.

Saluran Injeksi Etilen; etilen yang ada dalam tabung diinjeksikan ke dalam ruang pemeraman dengan konsentrasi tertentu sesuai dengan kebutuhan yang diumpangkan

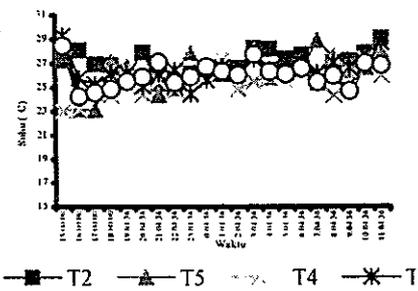
dalam program. Respon sistem mengaktifkan kerja solenoid untuk membuka saluran pipa etilen. Pengendalian dilakukan berdasarkan pada lama pembukaan katup solenoid *Penyerap Karbondioksida (CO₂)*; penyerap gas CO₂ dibuat dari kapur tohor (CaO) yang dilarutkan dalam air (H₂O) dengan perbandingan 250 gram kapur dalam 5000 ml air sehingga membentuk larutan kapur dengan rumus kimia Ca(OH)₂. Pada bagian ini unit pengendalian didasarkan pada perubahan akumulasi CO₂ pendugaan, dan ambang batas untuk sistem pemeraman adalah 4%. Proses pengendalian dilakukan dengan pengaturan kerja kipas pembawa udara dari dalam tabung penyerap tersebut.

Rangkaian Aktuator; aktuator pengendali suhu untuk mengatur kerja putaran kipas berupa opto-triak dalam rangkaian LDR dan LED infra merah yang berfungsi untuk mengatur daya kipas serta IC NE5534N sebagai pe-linier tegangan dan IC LM358 sebagai penguat tegangan dari analog output. Perubahan daya kipas sebanding dengan kecepatan putaran kipas sehingga pada tingkat suhu tertentu kipas berputar mengatur suhu pengendaliannya. Pengendalian injeksi etilen menggunakan relay yang mampu menggerakkan katub solenoid untuk mengatur keluarnya gas etilen ke dalam ruang pemeraman. Aktuator penyerap akumulasi CO₂ menggunakan rangkaian optotriak yang berfungsi sebagai pengontrol putaran kipas. Rangkaian optotriak terdiri dari beberapa komponen: LED, LDR, diac, triac, resistor dan potensiometer.

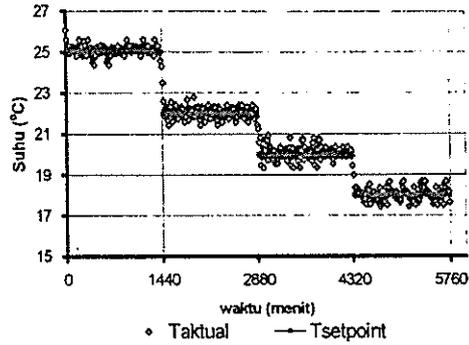
Software; seluruh program menggunakan bahasa pemrograman sederhana yaitu QuickBASIC 4.5 yang kompatibel dengan komputer dengan prosesor minimal misalnya Cx486DLC 100Mhz. Dengan bahasa pemrograman ini tidak diperlukan perangkat keras sistem komputer yang maksimal, sehingga pertimbangan biaya yang murah dan kemudahan penggunaannya menjadi pilihan yang tepat. Program meliputi tiga bagian unit pengendalian yaitu program untuk pengendalian suhu, injeksi etilen serta penyerap akumulasi karbondioksida. Setiap unit disusun dalam paket modul *sub-routine* dan *include file* sehingga memudahkan dalam penyusunan program dan pemantauan logika pengendalian unit kerja aktuator.

Pengendalian Suhu Pematangan Buatan

Suhu ruang pengemposan, baik pengemposan yang dilakukan di bawah maupun di atas permukaan tanah tidak merata, yang mengakibatkan mutu pisang yang dihasilkan tidak seragam. Data pengukuran suhu pengemposan selama 24 jam berfluktuasi dari 24,3°C–28,4°C (ruang empos bawah) dan 26,87°C–28,67°C (ruang empos atas), seperti ditunjukkan Gambar 2, berbeda dengan suhu optimum pemeraman pisang yaitu 18-25°C. Kondisi ruang empos masih dipengaruhi oleh perbedaan suhu siang dan malam hari, dan penyebaran suhu yang tidak merata di dalam ruang empos menunjukkan bahwa asap hasil pembakaran daun kelapa kering yang berfungsi sebagai *trigger* tidak tersirkulasi dengan baik. Untuk itu usaha pemerataan suhu sangat diperlukan agar mutu pisang matang yang dihasilkan lebih seragam.



Gambar 2. Sebaran suhu dalam ruang Pengemposan

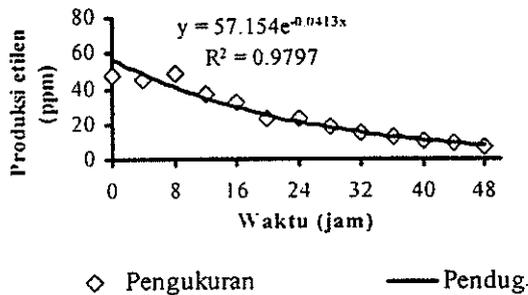


Gambar 3. Profil suhu pengendalian dengan setpoint menurun

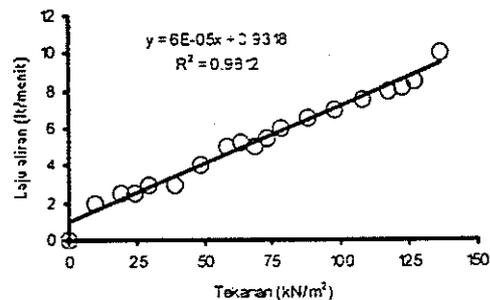
Pada pengendalian suhu menurun terjadi perubahan setpoint dari 25, 22, 20 dan 18°C seperti disajikan pada Gambar 3, terlihat terjadi fluktuasi suhu $\pm 1^\circ\text{C}$ yang masih relatif besar sehingga mekanisme pengendalian suhu pada presisi yang tinggi masih belum mampu dicapai. Mekanisme kerja pemerata udara pendingin yang dikendalikan memerlukan penambahan kapasitas karena mesin pendingin sebagai penyedia udara dingin belum mampu menurunkan suhu ruang pengendalian. Mesin pendingin yang digunakan memiliki daya 350 watt, sementara beban yang harus didinginkan adalah 1840 watt. Dengan demikian seharusnya mesin pendingin yang digunakan adalah sebesar 2,5 PK, sehingga *set point* akan tercapai setelah 2 jam diaktifkan.

Injeksi Etilen

Prinsip kerja sistem penginjeksian etilen dalam pematangan buatan dilakukan dengan kontrol ON-OFF dengan mengaktifkan relay yang berfungsi merubah bentuk tegangan keluaran unit pembangkit periode waktu (berupa nilai biner 1 atau 0) menjadi tegangan yang sesuai untuk menyalakan solenoid. Relay ON saat logika 1 dimana tegangan bernilai 3,3 volt dan OFF saat keluaran berlogika 0 dengan tegangan 0 volt. Pembukaan solenoid secara otomatis pada saat relay ON dalam selang waktu yang ditentukan seperti disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil penelitian ini maka model pendugaan pertumbuhan produksi etilen didekati dengan persamaan eksponensial sebagai berikut: $y(\text{duga}) = 57,54.e^{-0,0413x}$. Persamaan tersebut digunakan untuk pendugaan produksi etilen pada periode waktu berikutnya dan untuk mengetahui lamanya injeksi etilen sesuai dengan kebutuhan etilen yang digunakan sebagai *trigger* yaitu 100 ppm.

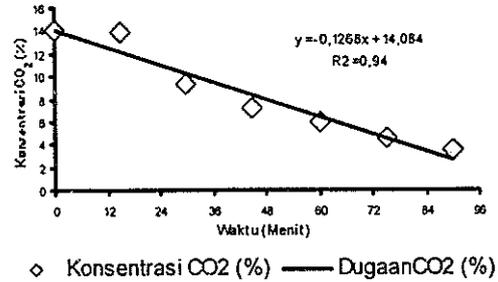
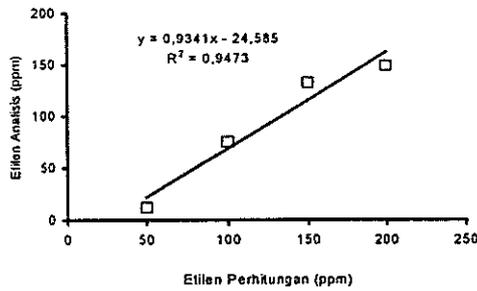


Gambar 4. Pendugaan produksi etilen selama pengemposan



Gambar 5. Hubungan antara laju aliran gas dengan tekanan

Sistem penginjeksian etilen dilakukan berdasarkan lamanya pembukaan katup solenoid pada kondisi tekanan gas etilen sebesar 1 Pa dan laju aliran gas sebesar 10 liter/menit, yang dihitung berdasarkan jumlah etilen yang dibutuhkan untuk proses pematangan. Pengujian dilakukan dengan menginjeksikan gas etilen dari tabung ke dalam chamber pada empat perlakuan konsentrasi etilen yaitu 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm. Hubungan antara laju aliran gas dengan tekanan seperti ditunjukkan pada Gambar 5, sehingga diperoleh persamaan $y = 6E-05x + 0,9318$ dengan nilai r^2 sebesar 0,98, yang dapat digunakan untuk menghitung hubungan laju aliran gas dengan tekanan yang keluar dari dalam tabung.



Gambar 6. Perbandingan injeksi etilen perhitungan dengan pengukuran menggunakan larutan kapur

Gambar 7. Uji penyerapan gas CO₂ menggunakan larutan kapur

Gambar 6 menunjukkan hubungan konsentrasi etilen yang diinjeksikan dengan pengukuran, dengan persamaan regresi $y_1 = 0,9341 x_1 - 24,585$ dengan nilai $r^2 = 0,95$, dimana variabel y_1 menunjukkan konsentrasi etilen hasil pengukuran (ppm) dan variabel x_1 merupakan konsentrasi etilen yang diinjeksikan (ppm). Berdasarkan perhitungan maka untuk konsentrasi etilen 150 ppm waktu yang dibutuhkan untuk penginjeksian adalah 6,3 menit, dan hasil pengukuran menunjukkan 132,5 ppm. Demikian juga perhitungan konsentrasi etilen 100 ppm waktu yang dibutuhkan untuk penginjeksian adalah 4,2 menit, hasil pengukuran konsentrasi etilen dalam chamber menunjukkan 75,17 ppm. Pada pengujian dengan konsentrasi etilen 200 ppm diperoleh hasil sebesar 191,81 ppm.

Pada sistem penginjeksian, parameter bahan dan lingkungan yang berpengaruh adalah massa pisang, massa jenis pisang, volume ruang, konsentrasi etilen pematangan dan konsentrasi etilen dalam tabung. Dengan tekanan gas dalam tabung sebesar 1 Pa dan laju aliran 10 liter/menit, maka kebutuhan injeksi pertama sebesar 42,85 ppm dipenuhi sebanyak 20 kali injeksi dengan lama injeksi awal 5,82 menit dan injeksi selanjutnya dilakukan dengan selang waktu 0,14-0,16 menit. *Trigger* etilen dilakukan selama 24 jam (1 hari) dengan injeksi aktif sebanyak 53 kali sehingga jumlah yang digunakan untuk pemeraman berdasarkan pendugaan adalah 80,53 ppm, yang ternyata masih mengalami kekurangan sebesar 19,37 ppm supaya terpenuhi kebutuhan *set point* 100 ppm.

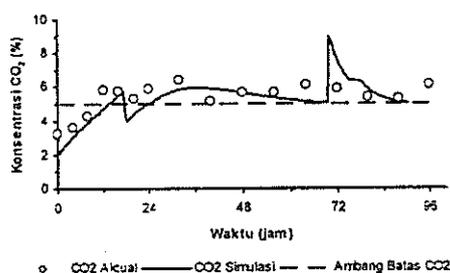
Akumulasi CO₂ dan Laju Produksi Etilen

Persamaan hasil pendugaan digunakan untuk evaluasi sistem dimana konsentrasi gas CO₂ hasil pendugaan (cp) akan mempengaruhi besarnya nilai CO₂. Disamping itu nilai CO₂ juga dipengaruhi oleh efektivitas penyerapan gas CO₂ oleh larutan kapur (Ca(OH)₂) yakni sebesar 0,13 %/menit yang diperoleh dari hasil pengujian terhadap larutan kapur 0,5 %. Grafik hasil pengujian penyerapan gas CO₂ oleh larutan kapur selama 90 menit disajikan pada Gambar 7.

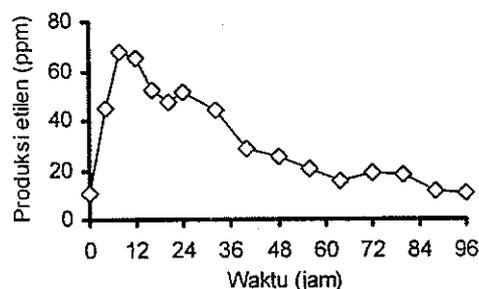
Perubahan konsentrasi gas CO₂ dalam ruang pengemposan cenderung terus meningkat dan laju respirasi naik mendadak diantara jam ke-12 dan jam ke-16.

Pengendalian konsentrasi gas CO₂ dalam ruang pemeraman dilakukan selama empat hari, dimana input pengendalian digunakan nilai dugaan konsentrasi gas CO₂ dalam ruang pemeraman dengan persamaan $y = -0,0005 x^2 + 0,1424 x + 0,6958$, selain juga memperhitungkan efektifitas penyerapan larutan kapur. Pengendalian putaran kipas dengan mengukur bit out minimalnya yakni 1381 dengan putaran 132 RPM, dan maksimal 1800 dengan putaran sebesar 1384 RPM. Hasil yang diperoleh menunjukkan putaran kipas terus meningkat sesuai dengan besarnya *error* dan mencapai kecepatan maksimum pada jam ke-41.38. Dari hasil uji validasi dengan membandingkan data ukur konsentrasi gas CO₂ pada 16 titik pengukuran diperoleh korelasi CO₂ hasil simulasi terhadap CO₂ ukur sebesar 0:72, menunjukkan bahwa simulasi perubahan konsentrasi gas CO₂ mempunyai derajat asosiasi yang tinggi terhadap data ukur (Gambar 8).

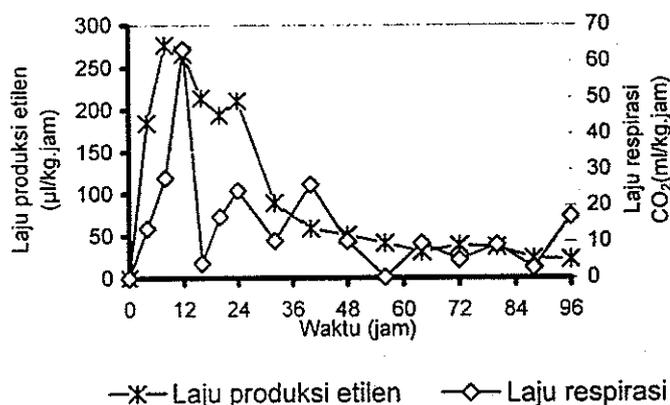
Pola laju produksi etilen pada percobaan ini sama dengan pola yang terjadi pada pengemposan. Laju produksi etilen mengalami peningkatan yang cukup signifikan sebesar 184,54 µl/kg.jam pada jam ke-4 dan mencapai puncak sebesar 276,47 µl/kg.jam pada jam ke-8, lalu mengalami penurunan secara drastis setelah jam ke-24 dan selanjutnya turun secara perlahan. Penurunan juga terjadi pada laju respirasi CO₂ yang sebelumnya meningkat drastis pada jam ke-12 sebesar 63,37 ml/kg.jam. Berdasarkan hasil tersebut perubahan laju produksi etilen seiring dengan perubahan laju respirasi CO₂ (Gambar 9 dan 10).



Gambar 8. Konsentrasi gas CO₂ simulasi dan pengukuran



Gambar 9. Produksi etilen pisang ambon selama 4 hari pemeraman



Gambar 10. Laju produksi etilen dan respirasi CO₂ pada pemeraman.

Susut Bobot

Selama pemeraman dengan pengendalian, bobot pisang mengalami susut seperti disajikan pada Tabel 1. Buah yang semakin matang bobotnya akan berkurang salah satunya adalah karena terjadinya transpirasi. Susut bobot pisang dalam ruang pemeraman yang dikendalikan terus meningkat dan mencapai 4,49% pada hari ke-4 dan sebesar 7,58% pada hari ke-8. Suhu dalam ruangan pemeraman yang relatif tinggi semakin mempercepat proses penguapan air sehingga susut bobotnya semakin tinggi pula. Selain karena transpirasi, susut bobot juga disebabkan oleh selulosa dan hemiselulosa dalam kulit yang pada pemasakan diubah menjadi zat pati (Simmond, 1966), sehingga dengan semakin masakny buah, berat daging buah bertambah disertai sedikit demi sedikit pengurangan berat kulitnya.

Tabel 1. Perubahan mutu selama pematangan buatan

Metode Pematangan	Parameter Mutu			
	Hari ke-	Susut Bobot (%)	Kekerasan (kgf)	Total Padatan Terlarut (%Brix)
Otomatisasi	0	0,00 ± 0,00	2,49 ± 0,10	7,47 ± 1,88
	1	1,69 ± 0,18	2,33 ± 0,12	8,97 ± 2,70
	2	2,02 ± 1,25	1,29 ± 0,13	15,30 ± 1,01
	3	3,31 ± 1,27	0,80 ± 0,03	23,53 ± 1,10
	4	4,51 ± 4,21	0,54 ± 0,02	24,80 ± 0,35
Pengemposan	0	0,00 ± 0,58	2,47 ± 0,07	6,29 ± 0,92
	1	3,49 ± 0,86	0,77 ± 0,22	12,91 ± 0,63
	2	3,99 ± 0,77	0,44 ± 0,07	17,31 ± 1,38
	3	5,16 ± 0,65	0,39 ± 0,06	21,64 ± 1,02
	4	4,47 ± 0,15	0,27 ± 0,03	23,56 ± 0,88

Kekerasan

Pisang yang diperam dalam ruang pemeraman dengan pengendalian mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperam dengan pengemposan biasa (Tabel 1). Pada hari ke-4 kekerasan pisang pada pengemposan bawah sebesar 0,27 kgf, sedangkan pada ruang pemeraman dengan pengendalian sebesar 0,54 kgf dan baru mencapai 0,24 kgf pada hari ke-7. Perubahan kekerasan pisang ini berkaitan dengan kandungan hemiselulosa, pektin, selulosa dan protopektin yang terjadi akibat proses penyimpanan atau penundaan penanganan. Buah yang masih mentah banyak mengandung pektin yang tidak dapat larut (protopektin), kemudian pada saat pematangan, protopektin ini akan diubah menjadi pektin. Menurut Kader (1992), pemecahan pektin dan polisakarida lainnya menyebabkan buah menjadi lunak dan sebagai akibatnya peka terhadap luka mekanik.

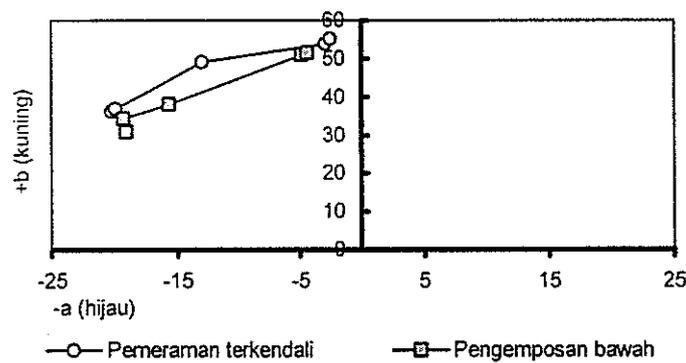
Total Padatan Terlarut (TPT)

Pisang mengalami perubahan-perubahan fisiko-kimia selama pematangan, salah satunya adalah perubahan kandungan gula yang ditunjukkan oleh kadar total padatan terlarut (TPT) yang mengakibatkan buah terasa manis pada saat matang. Menurut

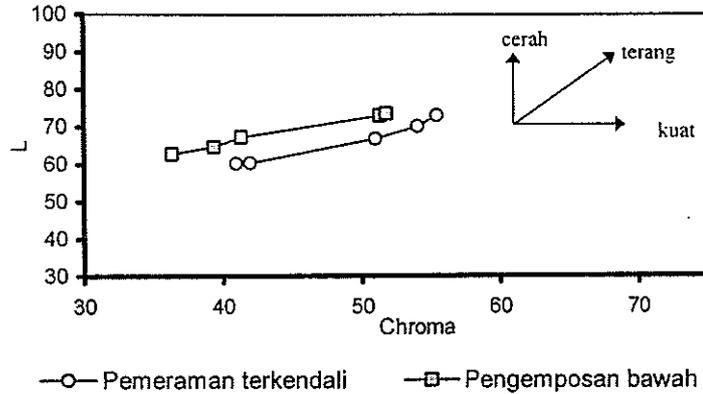
Pantastico (1986) buah yang matang rasanya akan manis seiring dengan meningkatnya kandungan gula total, terutama dengan timbulnya glukosa dan fruktosa. Sampai pemeraman hari ke-4 (Tabel 1), pisang mempunyai kadar TPT sebesar 24,8 %Brix lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengemposan biasa yang hanya mencapai 23,6 %Brix. Namun pada tahap penyimpanan yaitu sampai hari ke-8 kadar TPT pisang menurun hingga 23,2 %Brix akibat dari sebagian gula telah berubah menjadi asam.

Warna Kulit Buah

Sebelum diperam, kulit pisang mempunyai nilai a sebesar $-20,2$ dan b sebesar $36,2$, kemudian mengalami peningkatan kearah kuning hingga pada hari ke-4, dimana nilai a mencapai $-2,5$ dan b sebesar $55,3$. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa pisang berubah dari hijau sedikit kuning dengan nilai Hue sebesar $5GY$ pada hari sebelum diperam, menjadi kuning pada hari ke-4 dengan nilai Hue sebesar $5Y$. Grafik perubahan nilai hijau-kuning pisang selama pemeraman terkontrol ditunjukkan pada Gambar 11. Nilai kecerahan dan kejenuhan (L dan Chroma) warna kulit pisang pada hari sebelum diperam adalah sebesar $L = 60,2$ dan $Chroma = 41$, kemudian pada hari ke-4 pisang sudah meningkat kecerahannya dengan nilai $L = 72,9$ dan $Chroma = 55$. Warna pisang yang diperam dengan pengendalian ini mempunyai kecerahan yang lebih tinggi daripada pengemposan atas yang mempunyai nilai kecerahan L sebesar $70,4$, tetapi lebih jenuh dibandingkan pengemposan bawah yang mempunyai nilai kecerahan L sebesar $73,5$. Salah satu penyebabnya adalah pisang yang diperam dengan pengemposan hanya 24 jam disimpan dalam ruang tertutup, tiga hari berikutnya diangin-anginkan, sedangkan pada pemeraman dengan pengendalian pisang selama 4 hari penuh dimasukkan dalam ruangan yang mengakibatkan proses pembentukan karotenoid sedikit terganggu karena kandungan O_2 yang terbatas. Grafik perubahan nilai kecerahan-kejenuhan pisang selama pemeraman terkontrol ditunjukkan pada Gambar 12.



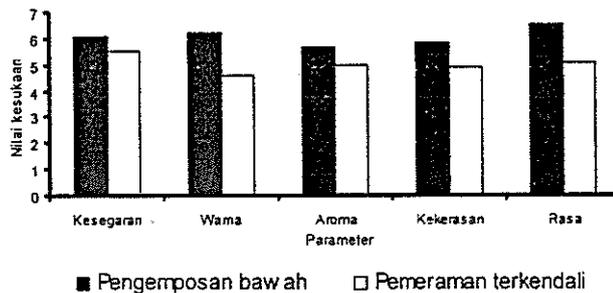
Gambar 11. Nilai hijau-kuning pisang selama pemeraman



Gambar 12. Kecerahan-kejenuhan pisang selama pemeraman

Uji Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan pada hari ke-4 dengan panelis sebanyak 15 orang. Panelis lebih cenderung memilih pisang dengan pengemposan bawah dibandingkan dengan pengendalian (Gambar 13). Panelis memberikan penilaian tertinggi semua parameter pada pisang yang diperam dengan pengemposan bawah tanah kemudian terbaik kedua adalah pengendalian, juga semua parameter kecuali kekerasan kurang disukai karena lebih keras dibandingkan pisang yang diperam dengan pengemposan di bawah permukaan tanah. Namun pemeraman terkendali mempunyai nilai lebih dibandingkan pemeraman secara tradisional (pengemposan) yaitu keseragaman warna.



Gambar 13. Uji organoleptik pisang pada otomatisasi pemeraman.

KESIMPULAN

Sistem otomatisasi pematangan buatan dapat dilakukan dengan mengintegrasikan pengendalian suhu, akumulasi CO₂, dan injeksi etilen secara terprogram sehingga dapat memudahkan proses pemeraman dengan hasil yang lebih baik.

Pendekatan matematis dengan trend eksponensial yang didasarkan pada kecenderungan produksi etilen selama pengemposan dapat digunakan dalam sistem injeksi etilen. Pengontrolan penyerap CO₂ (dengan larutan kapur) yang mempunyai efektivitas penyerapan sebesar 0,13 %/menit dapat mengurangi akumulasi CO₂ mendekati ambang batas 4% dengan tingkat validasi 72%. Sedangkan mekanisme injeksi etilen dipengaruhi parameter bahan dan lingkungan (massa pisang, massa jenis pisang, volume bebas ruang, konsentrasi etilen pematangan dan konsentrasi etilen dalam tabung).

Mekanisme kerja pemerata udara pendinginan memerlukan penggabungan dengan unit pemanas dan disesuaikan dengan beban pendinginannya. Dengan demikian, pemeraman dengan pengendalian secara visual (indeks kematangan) menghasilkan mutu hasil pemeraman yang lebih seragam dibandingkan hasil pengemposan. Dengan mekanisme pengendalian ini udara dalam ruang pemeraman terus diputar sehingga penyebaran suhu dan gas etilen sebagai pemacu pematangan lebih merata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Program Hibah Penelitian Proyek DUE-like yang telah membiayai penelitian ini serta Bapak Udi sebagai pengelola sentra pengemposan pisang desa Citapen, Bogor yang telah memberikan izin unit usahanya untuk tempat penelitian, serta kepada tim peneliti, teknisi dan institusi terkait juga diucapkan terimakasih atas bantuan dan kerjasamanya yang sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarante, Cassandro., Nigel H Banks., Siva Ganesh. 2000. Characteristic ripening behaviour of coated pears in relation to fruits internal atmosphere. *Post-harvest Biology and technology* 23 (2001) 51-59.
- Catalytic Generators. 2004. Suggest Banana Ripening Tips. <http://www.catalicgenerators.com> [15 Maret 2004]
- Georget, Dominique MR., Andrew C Smith and Keith W Waldron. 2001. Effect of ripening on the mechanical properties of Portuguese and Spanish varieties of olive (*Olea europaea* L). *J Sci Food Agric* 81:448-454 (online:2001).
- Jun Yan. M. Ryan, J. Power. 1994. *Using Fuzzy Logic Towards Intelligent System*. Prentice Hall International. London
- Kader, A.A. 1992. *Methods of Gas Mixing, Sampling, and Analysis: in Post-harvest technology of horticultural crops*. University of California. Oakland, California.
- Kays, S. Y. 1991. *Post-harvest Physiology of Perishable Plant Product*. Avi pub., Inc. New York, USA.
- McGlasson, W.B. and R.B.H Willis. 1972. Effect of O₂ and CO₂ on respiration, storage life & organic acids of green bananas. *Aust. J. Biol. Sci.* 25:35-42
- Pantastico, Er. B. 1986. *Fisiologi Pascapanen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-buahan dan Sayur-sayuran Tropika dan Subtropika*. Penerjemah: Kamariyani dan Tjitrosoepomo G. Gadjah Mada University Press.
- Reid, M.S. 1992. *Ethylene in Post-harvest Technology: in Post-harvest technology of horticultural crops*. University of California. Oakland, California.
- Sugiyono., B.I. Setiawan, Sutrisno. 1999. Penerapan kendali Fuzzy Pada Pemeraman Buah Pisang Uli (*Musa paradisiace* L). *Buletin Teknik Pertanian*.

Sutrisno, Seo, Y., Sagara, Y. and Kawagoe, Y. 1994. Otomatisasi pada sistem pengukuran respirasi komoditas hortikultura selama penyimpanan. Makalah Seminar Nasional, PERTETA, Bogor.

Sutrisno. 2002. Pengembangan sistem otomatisasi dalam pematangan buatan (*artificial ripening*) untuk buah tropika. Makalah Seminar Nasional Agroindustri. Universitas Andalas. 7-8 Agustus.

Tucker, G.A. 1993. Intruduction. Di dalam: Seymour G.B., Taylor J.E., Tucker G.A., editor. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chamman dan Hall. London, Glasgow, Ney York, Tokyo, Melbourne, Madras.

Vanani, K.T. dan Sutrisno. 2002. Rancang Bangun Model Karakteristik Respirasi Pada Sistem Pematangan Buatan Buah Klimakterik Berdasarkan Persamaan Logistik. Makalah Seminar Nasional PERTETA. Universitas Brawijaya, 3-4 Mei.

Winarno, F.G. dan Aman W. 1981. *Fisiologi Lepas Panen*. Sastra Hudaya. Jakarta.