

# Simulasi Numerik dan Eksperimental Pola Aliran dalam *Modified Atmosphere Storage* Terhadap Waktu Pemasakan Buah Pisang

Wina Libyawati, Agri Suwandi, Lanang Mahardhika

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila  
Srengseng Sawah Jagakarsa, Depok, Indonesia  
wina@univpancasila.ac.id

---

---

## Abstrak

Waktu pemasakan pada buah dan sayur dapat dikendalikan dengan penambahan atau pengurangan gas sehingga  $O_2$  dan  $CO_2$  dapat diatur untuk mendapatkan berbagai komposisi gas. Teknologi pengawetan makanan seperti *Modified Atmosphere Storage* (MAS) adalah sistem pengontrolan laju aliran udara untuk menurunkan kadar  $O_2$  dengan menyuntikkan  $CO_2$  untuk menahan laju pemasakan pada buah dan sayur. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap simulasi dan eksperimental. Simulasi dilakukan menggunakan *software ANSYS* dan eksperimental menggunakan hubungan antara pola aliran dengan waktu pemasakan. Pola aliran diwakili oleh parameter energi turbulen kinetik, sedangkan waktu pemasakan diwakili oleh warna dan kadar glukosa. Tujuan penelitian ini adalah melakukan simulasi pola aliran dalam MAS serta mengetahui hubungan jumlah dan posisi *sparger* terhadap pola aliran dan hubungan antara kadar oksigen dengan waktu pemasakan buah. Luaran dari penelitian ini adalah model hubungan antara kadar  $O_2$  dengan waktu pemasakan buah dengan membuat lima varian jumlah dan posisi *sparger* pada MAS. Penurunan kadar oksigen dilakukan dengan menyuntik  $CO_2$  selama 24 jam dan ditunggu selama dua hari. Hasil eksperimental kadar oksigen dalam MAS menunjukkan varian 3 dapat menurunkan kadar  $O_2$  paling rendah sampai 8,5% dan kadar glukosa pada pisang di dalam MAS 5,33%, sedangkan pisang di luar MAS 9,65%.

**Kata kunci:** *Modified Atmosphere Storage*, pola aliran, waktu pemasakan buah, *sparger*

## Abstract

*Time decay in fruits and vegetables can be controlled by the addition or subtraction of  $O_2$  and  $CO_2$  gas that can be set to obtain various gas compositions. Meal preservation technology as modified atmosphere storage (MAS) is a system of controlling the air flow rate to lower levels of  $O_2$  by injecting  $CO_2$  to restrain the rate of decay in fruits and vegetables. This study uses two stages, namely simulation and experimental stage. Simulation is done using ANSYS software and experimental uses of the relationship between the flow pattern and the time decay. The flow patterns are represented by the parameters of the turbulent kinetic energy. Time decay is represented by the color and glucose levels. The purpose of this study is the simulation of the flow pattern in the MAS, the relationship to the number and position *sparger* flow patterns and the relationship between the oxygen content of fruit decay with time. Outcome of this study is a model of the relationship between the levels of  $O_2$  by the time decay of the fruit by making 5 variants *sparger* on the number and position of MAS. Decreased levels of oxygen are done by injecting  $CO_2$  for 24 hours and wait for 2 days. The experimental results show that the oxygen levels in MAS 3 variant can reduce levels of the lowest  $O_2$  to 8.5% and glucose levels in the banana inside MAS 5.33%, while bananas outside MAS 9.65%.*

**Keywords:** *Modified Atmosphere Storage*, flow patterns, the time decay of the fruit, *sparger*

---

---

## I. PENDAHULUAN

Masyarakat Indonesia mengkonsumsi buah dan sayuran untuk asupan gizi sehari-hari. Proses pemasakan buah dan sayuran di pasar lebih cepat, karena pada proses penyimpanannya tidak tepat.

Proses penyimpanan dengan mengendalikan waktu pemasakan seperti respirasi, transpirasi, infeksi hama penyakit dan dapat memperpanjang umur simpan [1]. Pengendalian waktu pemasakan mencakup penambahan atau pengurangan gas yang menghasilkan susunan udara yang sangat

berbeda dengan udara biasa [2]. Jadi, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, dapat diatur untuk mendapatkan berbagai kombinasi komposisi gas [3].

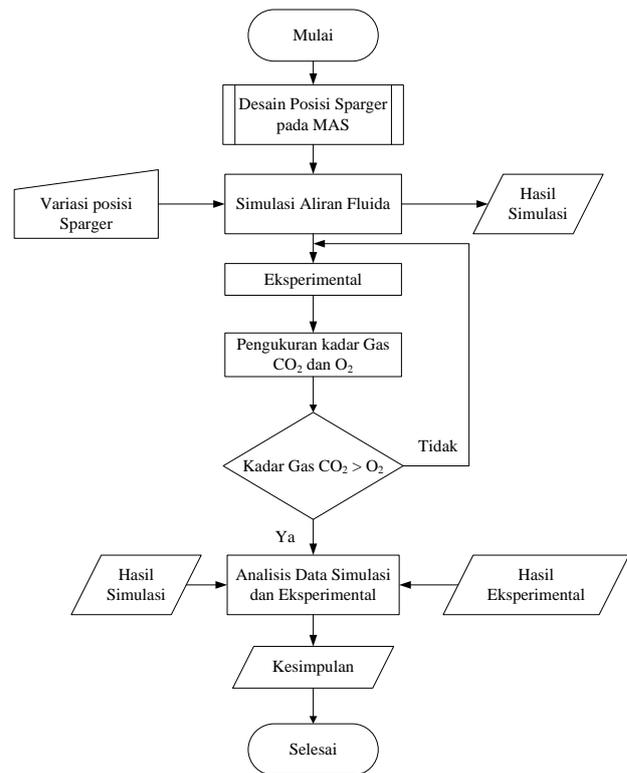
Pengendalian waktu pembusukan pada buah dan sayuran pada teknologi pengawetan makanan dilakukan, untuk mengurangi tingkat pembusukan pada buah dan sayuran. Teknologi pengawetan makanan seperti *Modified Atmosphere Storage (MAS)* adalah alat dengan sistem pengontrolan laju aliran udara sekitar. Pengendalian laju aliran udara dilakukan dengan menurunkan kadar O<sub>2</sub> menjadi dibawah 8% dan menaikkan kadar CO<sub>2</sub> diatas 1% dalam tempat penyimpanan [1][2][4].

Pengendalian laju aliran udara meliputi pengukuran laju respirasi pada buah dengan campuran gas dan konsentrasi gas tersebut. Simulasi yang dilakukan oleh Hasbullah [5] mengatakan pola aliran yang terbentuk dari pencampuran dari konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> dalam keadaan vakum sehingga masa simpan menjadi tahan lama. sedangkan simulasi yang dilakukan oleh Beaudry [6] tekanan dan suhu mempengaruhi respirasi terhadap buah hal tersebut didukung oleh penelitian Sandya [7], Barrios dkk [8] serta Utama dkk [9].

Dalam penelitian ini, analisis aliran fluida gas pada MAS dilakukan dengan metode eksperimental aliran fluida yang meliputi aspek mekanika fluida dan dinamis. Eksperimental aliran dilakukan mulai dari pencampuran udara normal dengan gas CO<sub>2</sub> sampai dengan campuran berada di tempat penyimpanan untuk menurunkan kadar gas O<sub>2</sub>, sehingga dapat menahan laju pembusukan buah dan sayuran.

## II. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian untuk menghasilkan pola aliran pada ruang penyimpanan MAS yang terdiri dari tahap desain, tahap simulasi, dan tahap uji. Tahap desain terdiri pembuatan 5 varian model posisi sparger pada unit MAS dengan menggunakan *software* desain. Kemudian dilakukan tahap simulasi aliran pada ke 5 varian dengan *software* ANSYS Fluent. Tahap selanjutnya adalah tahap pengujian, yaitu uji fungsional dan uji kinerja dan tahap akhir adalah tahap analisis komparasi data antara hasil simulasi dan eksperimental. Adapun Tahap penelitian terangkum pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode penelitian

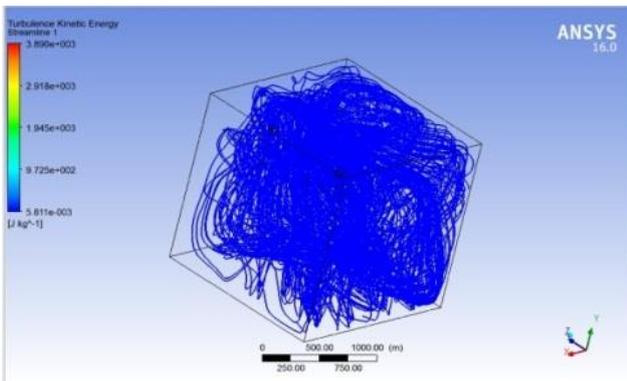
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Simulasi Pola Aliran

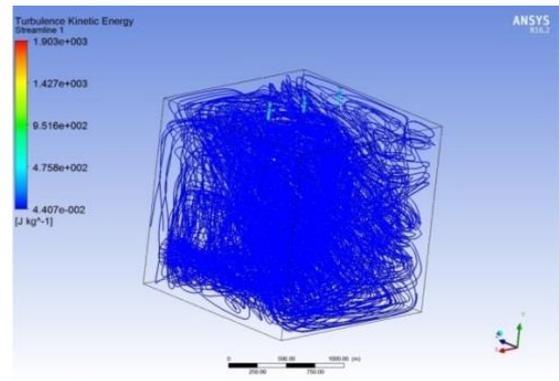
Pada tahap simulasi dibuat 5 varian posisi dan jumlah sparger untuk mengetahui pola aliran di dalam ruang penyimpanan MAS dengan posisi penempatan sparger seperti pada Tabel 1. Kondisi batas yang dilakukan untuk melakukan simulasi pola aliran dengan menggunakan ANSYS meliputi tekanan *inlet* udara, kecepatan udara, dan debit dari CO<sub>2</sub> total. Tekanan udara masuk diasumsikan  $1,01325 \times 10^5$  Pa. Kecepatan udara masuk diasumsikan 20 m/s. Debit total dari CO<sub>2</sub> ditetapkan 5 liter/menit (2,63 m/s). Pembagian debit pada sparger akan berbeda pada setiap varian. Varian 1 = 0,87 m/s pada tiap *sparger*, varian 2 = 0,52 m/s pada tiap *sparger*, varian 3 = 0,43 m/s pada tiap *sparger*, varian 4 = 0,65 m/s pada tiap *sparger*, dan varian 5 = 0,87 m/s pada tiap *sparger*.

Tabel 1. Jumlah dan Posisi Sparger

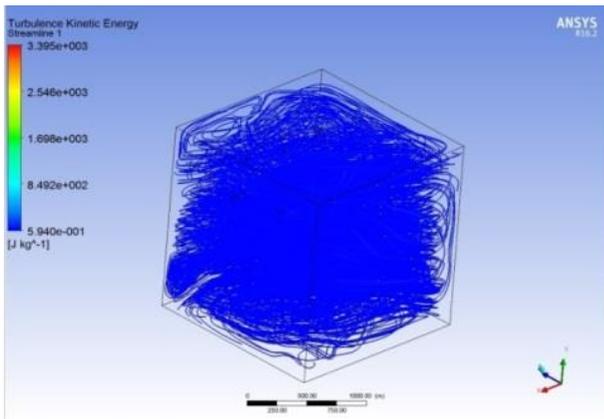
Varian	Jumlah Sparger	Posisi Sparger pada MAS			
		Kiri	Kanan	Belakang	Atas
1	3	1	1	1	-
2	5	1	1	2	1
3	6	1	1	1	3
4	4	-	-	1	3
5	3	-	-	-	3



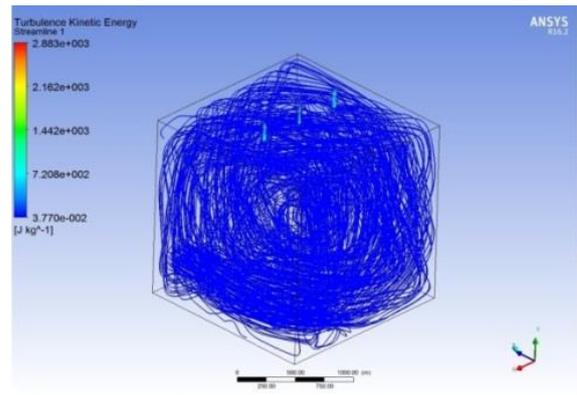
Gambar 2. Simulasi aliran varian 1



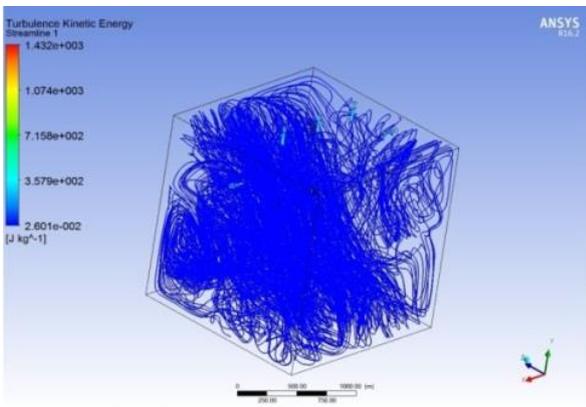
Gambar 5. Simulasi aliran varian 4



Gambar 3. Simulasi aliran varian 2



Gambar 6. Simulasi aliran varian 5



Gambar 4. Simulasi aliran varian 3

Penggunaan *software* ANSYS *Fluent* merupakan salah satu alat bantu untuk mengetahui penyebaran gas didalam ruang simpan. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau *software* [10]. Setelah melakukan simulasi pada 5 varian posisi dan jumlah sparger, maka didapatkan nilai *Turbulence Kinetic Energy* (TKE).

Dari Gambar 2 dapat dilihat pada ruang penyimpanan pada varian 1 pola aliran masih belum memenuhi ruang MAS pada bagian depan. Pola aliran varian 1 memiliki nilai TKE maksimum 3890 J/kg dan minimum 0,0058 J/kg dengan rata-rata 1944 J/kg.

Gambar 3 memperlihatkan pola aliran yang hampir memenuhi ruang MAS. Dapat dilihat pada tiap sisi bagian ujung ruang yang tidak terisi oleh gas pada ruang. Pada varian 2 memiliki nilai TKE maksimum 3395,05 J/kg dan minimum 0,5939 J/kg dengan rata-rata 1679,7 J/kg.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat pada ruang MAS bagian belakang aliran tidak sepenuhnya terisi. Pada varian 3 memiliki nilai TKE maksimum 1431,6 J/kg dan minimum 0,0260 J/kg dengan rata-rata 715,60 J/kg.

Untuk Gambar 5 dapat dilihat pada ruang penyimpanan dengan varian 4, pola aliran terkonsentrasi di tengah unit MAS. Varian 4 ini menghasilkan nilai TKE maksimum 1903 J/kg dan minimum 0,0440 J/kg dengan rata-rata 951,20 J/kg.

Pola aliran pada Gambar 6 pada ruang penyimpanan MAS menyebar merata ke semua bagian. Nilai TKE yang dihasilkan pada varian 5 ini adalah maksimum 2883,1 J/kg dan minimum 0,0377 J/kg dengan rata-rata 1441,4 J/kg.

### B. Eksperimental

Pengujian pengawetan buah pisang pada MAS dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Gantungkan 1 tandan buah pisang pada tiang gantung di dalam MAS dan 1 buah diluar untuk perbandingan (Gambar 7).
2. Pasang *dissolve oxygen meter* untuk mengetahui kadar oksigen di dalam ruangan tersebut.
3. Tutup pintu dan pasang *seal* pada sekeliling pintu agar kondisi didalam ruang tersebut kedap (Gambar 8).
4. Pasang *sparger* pada posisi yang telah ditentukan dan hubungkan selang ke *nipple* untuk menginjek gas CO<sub>2</sub> ke dalam ruangan yang telah terisi buah pisang (Gambar 9).
5. *Vacuum* ruangan untuk menurunkan tekanan didalam ruangan tersebut (Gambar 10).
6. Pasang selang untuk mengeluarkan oksigen dan dimasukkan kedalam wadah berisi air (Gambar 11).
7. Pasang regulator CO<sub>2</sub> pada tabung dan sambungkan selang dari *output* regulator CO<sub>2</sub> ke dalam *nipple* di *sparger* (Gambar 12).
8. Nyalakan regulator gas dengan debit 5 liter/menit.
9. Tunggu sampai kadar oksigen di dalam ruang turun sampai 5%.
10. Setelah kadar oksigen didalam ruang sampai stabil dan tingkat terendah, tunggu 2 hari lalu cek keadaan pisang di dalam dan di luar ruangan.
11. Lakukan hal serupa pada ke 5 varian posisi penempatan sparger lainnya.



Gambar 7. Pemasangan pada MAS: di dalam (kiri), di luar (kanan)



Gambar 8. Seal pintu



Gambar 9. Instalasi selang masuk CO<sub>2</sub> pada MAS



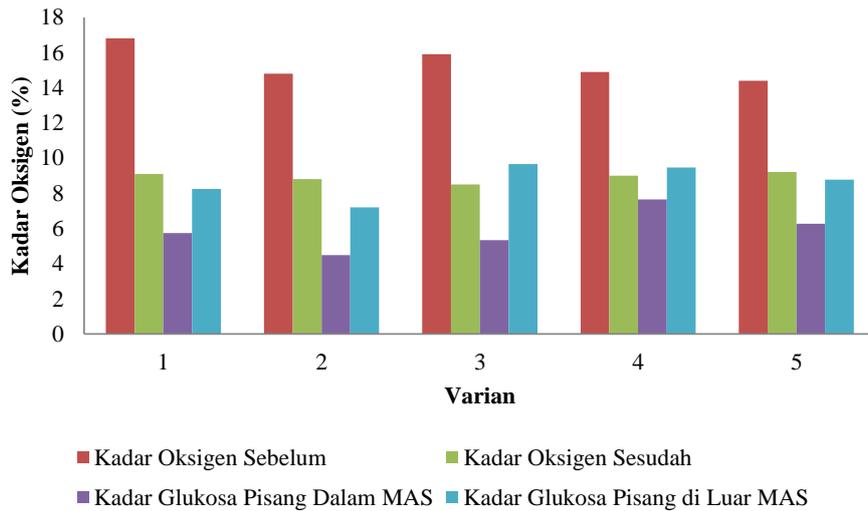
Gambar 10. Proses *vacum* ruangan



Gambar 11. Pemasangan selang pada MAS



Gambar 12. Proses pemasangan regulator

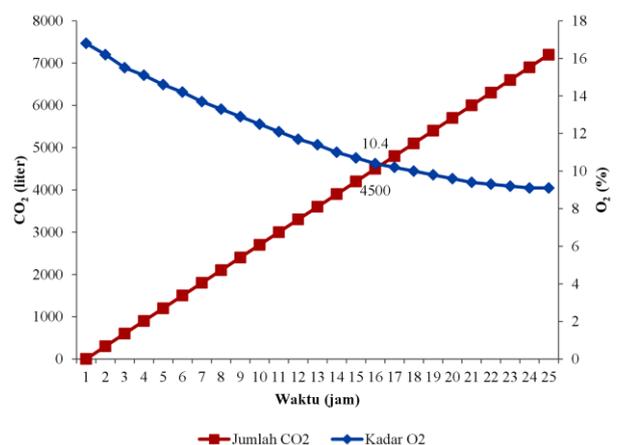


**Gambar 13. Grafik hasil uji eksperimental**

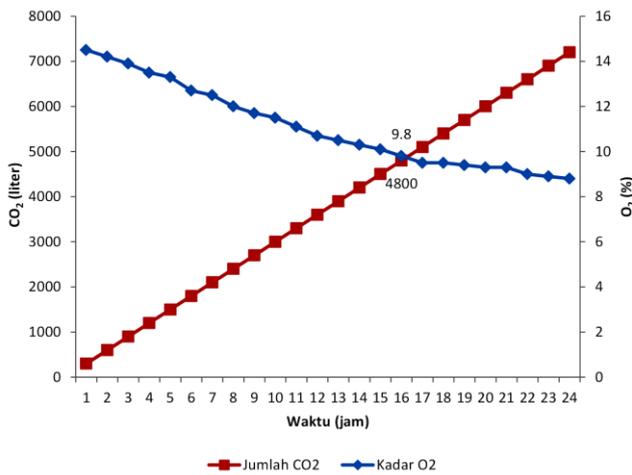
Dari hasil uji eksperimental pada 5 varian MAS di dapat grafik seperti pada Gambar 13. Gambar 13 menunjukkan: Varian 1 memiliki nilai oksigen sebelum penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 16,8%, memiliki nilai oksigen setelah penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 9,1%, memiliki kadar glukosa pisang di dalam MAS sebesar 5,73%, memiliki kadar glukosa pisang di luar MAS sebesar 8,24%; Varian 2 memiliki nilai oksigen sebelum penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 14,8%, memiliki nilai setelah penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 8,8%, memiliki kadar glukosa pisang di dalam MAS sebesar 4,48%, memiliki kadar glukosa pisang di luar MAS sebesar 7,19%; Varian 3 memiliki nilai oksigen sebelum penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 15,8%, memiliki nilai oksigen setelah penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 8,5%, memiliki kadar glukosa pisang di dalam MAS sebesar 5,33%, memiliki kadar glukosa pisang di luar MAS sebesar 9,65%; Varian 4 memiliki nilai oksigen sebelum penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 14,9%, memiliki nilai oksigen setelah penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 9,0%, memiliki kadar glukosa pisang di dalam MAS sebesar 7,64%, memiliki kadar glukosa pisang di luar MAS sebesar 9,47%; Varian 5 memiliki nilai oksigen sebelum penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 14,4%, memiliki nilai oksigen setelah penyuntikan CO<sub>2</sub> sebesar 9,2%, memiliki kadar glukosa pisang di dalam MAS sebesar 6,26%, memiliki kadar glukosa pisang di luar MAS sebesar 8,77%.

Berdasarkan Gambar 14, dapat disimpulkan bahwa, sumbu X sebagai waktu dengan satuan menit, sumbu Y<sub>1</sub> sebagai jumlah CO<sub>2</sub> dengan satuan liter, dan sumbu Y<sub>2</sub> sebagai kadar O<sub>2</sub> dengan satuan %. Penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO<sub>2</sub> selama 24 jam mencapai 9,1 %. Dengan kondisi setelah 15 jam adalah kadar O<sub>2</sub> = 10,4% dan jumlah CO<sub>2</sub> = 4500 liter. Gambar 15

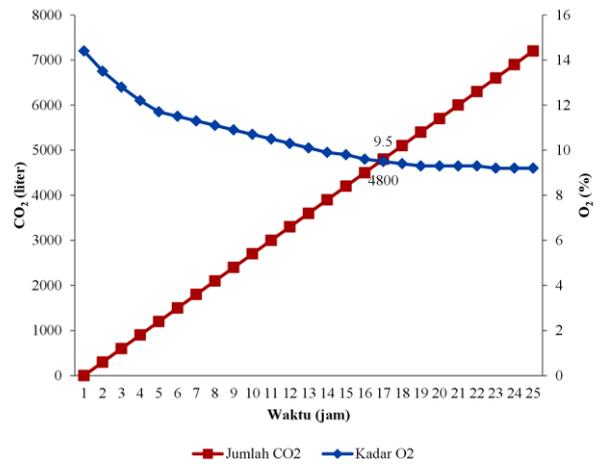
memperlihatkan penurunan kadar O<sub>2</sub> setelah disuntik CO<sub>2</sub> selama 24 jam dengan kondisi pada jam ke 16, didapatkan penggunaan CO<sub>2</sub> sebanyak 4800 liter dengan kadar O<sub>2</sub> mencapai 9,8 %. Gambar 16 memperlihatkan penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO<sub>2</sub> selama 24 jam dihasilkan jumlah CO<sub>2</sub> sebanyak 4500 liter dan O<sub>2</sub> mencapai 9,9 % di dalam MAS pada jam ke 15, sedangkan Gambar 17 memperlihatkan penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO<sub>2</sub> selama 24 jam hingga 4800 liter mencapai 9,7 % O<sub>2</sub>. Dari Gambar 18 dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO<sub>2</sub> selama 24 jam didapatkan nilai konstan pada jam ke 16 dengan jumlah CO<sub>2</sub> sebanyak 4500 liter serta O<sub>2</sub> mencapai 9,9 %. Untuk warna pisang dalam MAS tidak mengalami perubahan warna maupun aroma, baik pada ke-5 varian tersebut. Sementara hasil eksperimental berhasil karena dapat menghambat waktu pbusukan buah pisang.



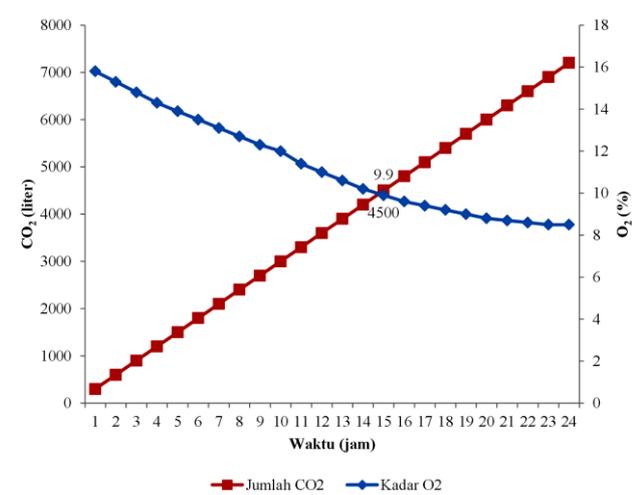
**Gambar 14. Grafik hubungan waktu, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada varian 1**



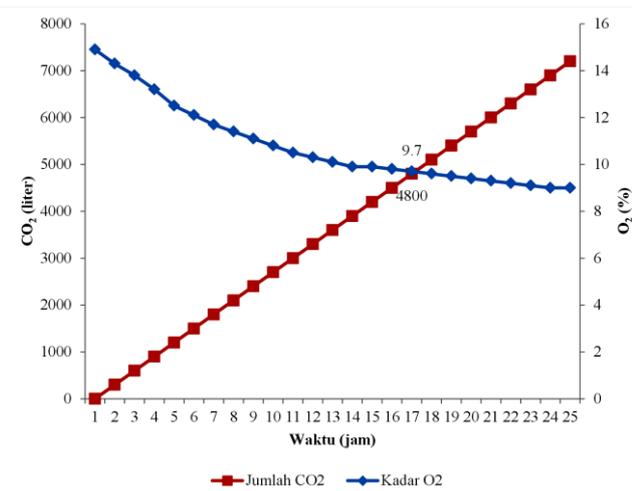
Gambar 15. Grafik hubungan waktu, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada varian 2



Gambar 18. Grafik hubungan waktu, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada varian 5



Gambar 16. Grafik hubungan waktu, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada varian 3



Gambar 17. Grafik hubungan waktu, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada varian 4

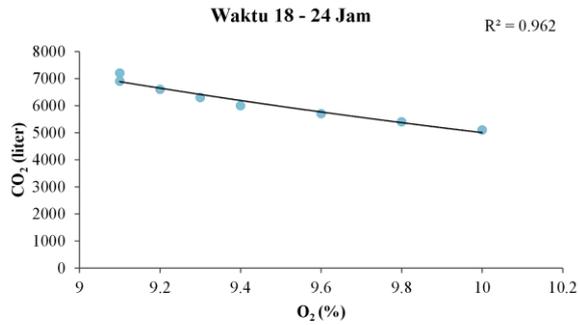
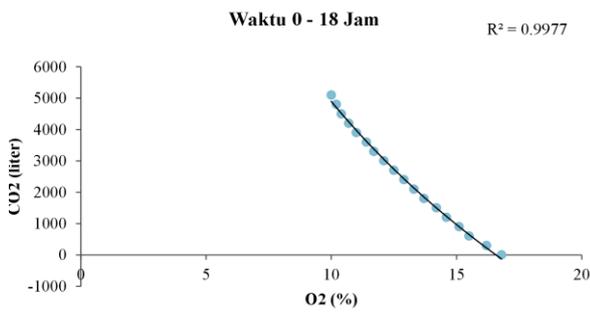
### C. Analisis Pemodelan dengan Least Square Korelasi dan Regresi Linear

Pemodelan dengan *least square* adalah perhitungan matematika garis lurus untuk mencari korelasi (hubungan) dan *regresi linear* (pengaruh) dari kadar oksigen terhadap waktu pembusukan buah [11].

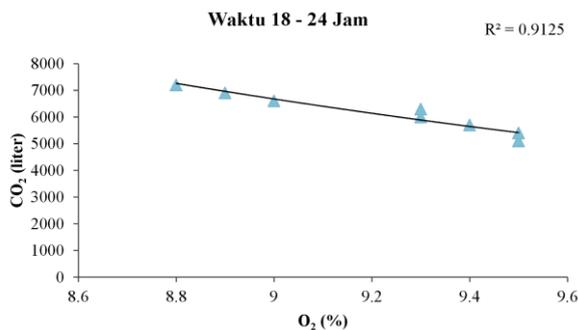
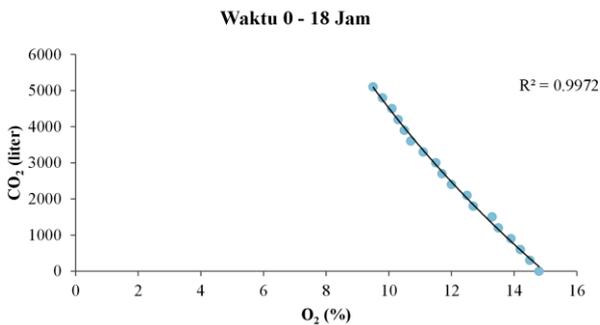
Perhitungan persamaan matematika garis lurus ini menghitung hubungan penambahan CO<sub>2</sub> atas penurunan O<sub>2</sub>. Sumbu X sebagai kadar O<sub>2</sub> dengan satuan % dan sumbu Y sebagai jumlah CO<sub>2</sub> dengan satuan liter. Uji kinerja varian 1 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang ditunjukkan Gambar 19 atas pada jam 0-18 mengalami penurunan O<sub>2</sub> yang signifikan dengan pengaruh CO<sub>2</sub> hingga 99,77%, sedangkan Gambar 19 bawah penurunan kadar O<sub>2</sub> tidak signifikan atau suntikan gas CO<sub>2</sub> sudah mulai tidak berpengaruh akibat ruangan MAS yang telah terisi gas CO<sub>2</sub>.

Gambar 20 atas menunjukkan uji kinerja varian 2 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, dimana pada jam ke 0-18, nilai O<sub>2</sub> mengalami penurunan yang berarti hingga 99,72% dan pada Gambar 20 bawah pada jam ke 18-24 penurunan O<sub>2</sub> sudah berkurang, dimana CO<sub>2</sub> mempengaruhi penurunan O<sub>2</sub> sebesar 96,34%.

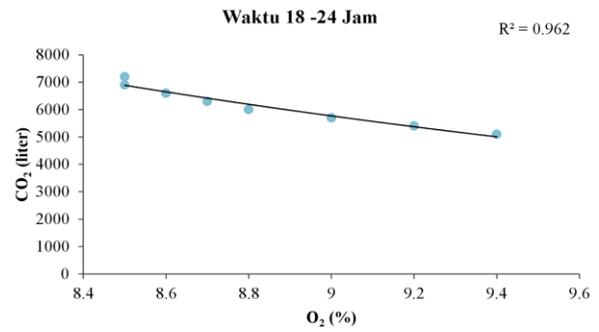
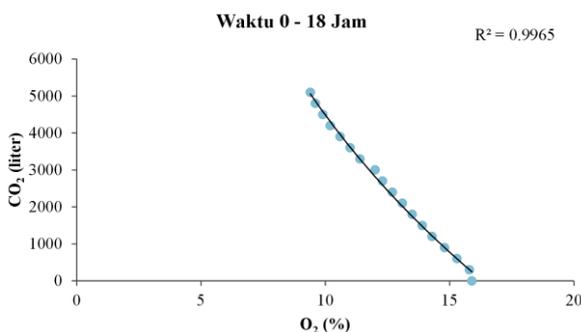
Uji eksperimen varian 3 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, pada jam ke 0-18 didapatkan penurunan kadar O<sub>2</sub> hingga 99,65% (Gambar 21 atas), sedangkan pada Gambar 21 bawah, CO<sub>2</sub> mempengaruhi penurunan O<sub>2</sub> sebesar 96,85%.



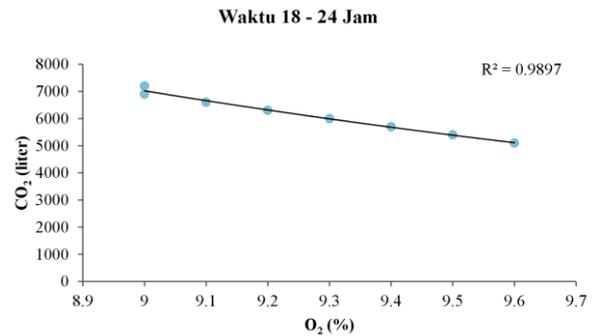
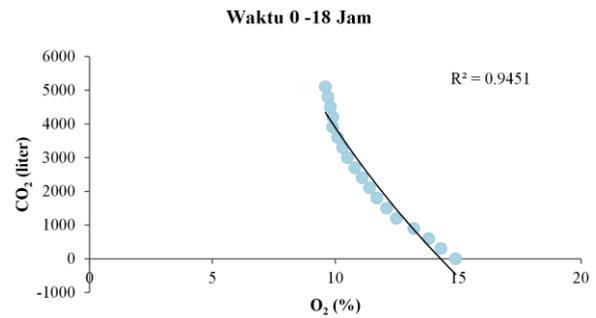
Gambar 19. Grafik logaritmik pada varian 1



Gambar 20. Grafik logaritmik pada varian 2



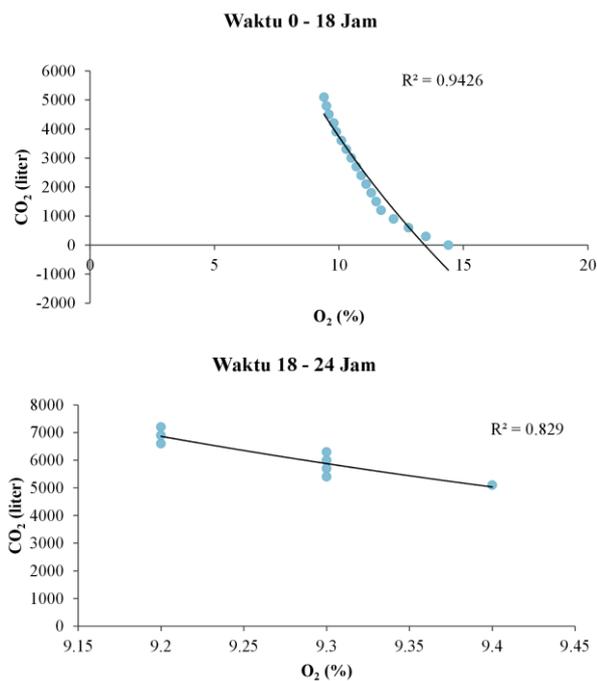
Gambar 21. Grafik logaritmik pada varian 3



Gambar 22. Grafik logaritmik pada varian 4

Hasil uji varian 4 pada Gambar 22 atas, menunjukkan pada rentan waktu 0-18 jam kadar  $O_2$  mengalami penurunan hingga 94,51%, sedangkan pada Gambar 22 bawah pada jam ke 18-24 kadar  $O_2$  mengalami penurunan yang kurang berarti, dimana  $CO_2$  mempengaruhi penurunan  $O_2$  sebesar 87,30%. Penurunan kadar  $O_2$  sebesar 12,70% dipengaruhi oleh faktor lainnya.

Pada varian 5 hubungan antara  $O_2$  dan  $CO_2$  menunjukkan bahwa pada jam ke 0-18 mengalami penurunan  $O_2$  yang berarti dengan  $r^2 = 0,9426$  atau 94,26% yang diperlihatkan pada Gambar 23 atas. Untuk Gambar 23 bawah pada jam ke 18-24,  $O_2$  mengalami penurunan kadar yang kurang berarti dengan penurunan  $r^2 = 0,829$  atau 82,9 %, sedangkan penurunan  $O_2$  secara keseluruhan  $r = -0,9242$  dan  $r^2 = 0,8542$  dimana  $CO_2$  mempengaruhi penurunan  $O_2$  sebesar 85,41%.



Gambar 23. Grafik logaritmik pada varian 5

#### IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi untuk kelima varian posisi dan jumlah *sparger* menunjukkan varian 3 memiliki nilai TKE rata-rata terendah yaitu 715,6 J/kg. Jumlah dan posisi *sparger* berpengaruh terhadap pola aliran di dalam MAS. Semakin banyak jumlah *sparger*, aliran dalam MAS semakin memenuhi ruang dengan baik. Seperti pada eksperimental yang dilakukan dengan menyuntik gas CO<sub>2</sub> selama 24 jam, bahwa varian 3 dapat menurunkan kadar O<sub>2</sub> paling rendah hingga 8,5%. Kadar O<sub>2</sub> berpengaruh terhadap waktu pembusukan buah, maka varian dengan kadar oksigen rendah dapat menunda pembusukan buah yang dilihat dari perbedaan glukosa pisang yang paling tinggi dengan pembanding pisang di dalam dan di luar MAS, yaitu varian 1 = 2,51%, varian 2 = 2,71%, varian 3 = 4,32%, varian 4 = 1,83%, serta varian 5 = 2,51%.

#### REFERENSI

[1] Wina Libyawati, Agri Suwandi, and Hafidan Agustian, "Rancang Bangun Teknologi Modified Atmosphere Storage (Mas) Dengan Kapasitas 4,77 m<sup>3</sup>," *Jurnal Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 103-116, Juli 2017.

- [2] I Gede Eka Lesmana, Agri Suwandi, and Arnold Raynold, "Analisis Variasi Sparger pada Instalasi Modified Atmosphere Storage untuk Menurunkan Kadar O<sub>2</sub>," *JTERA - Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 2, no. 1, pp. 15-28, Juni 2017.
- [3] Bambang Dwi Argo, Anang Lastriyanto, and Nuraini Puji Astuti, "Sistem Monitoring Gas Oksigen dan Karbondioksida pada Ruang Penyimpanan Sistem Udara Terkontrol," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 1, no. 3, pp. 84-90, 2010.
- [4] A. A. Kader, "Modified and Controlling Atmosphere Storage of Tropical Fruits," in *Postharvest Handling of Tropical Fruit*, Canberra, 1994, pp. 293-249.
- [5] Rokhani Hasbullah, "Teknik Pengukuran Laju Respirasi Produk Hortikultura pada Kondisi Atmosfir Terkendali, Bagian I: Metode Sistem Tertutup," *Jurnal Keteknik Pertanian*, vol. 21, no. 4, pp. 419-427, Desember 2007.
- [6] Randolph M. Beaudry, Arthur C. Cameron, Ahmad Shirazi, and Diana L. Dostal-Lange, "Modified-atmosphere Packaging of Blueberry Fruit: Effect of Temperature on Package O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>," *Journal American Society Horticultural Science*, vol. 117, no. 3, pp. 436-441, 1992.
- [7] K. V. Sandhya, "Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce: Current Status and Future Needs," *LWT Food Science and Technology*, pp. 381-392, 2010.
- [8] S Barrios, Lema P., and Mona F., "Modelling passive modified atmosphere packaging of strawberries: Numerical analysis and model validation," *International Food Research Journal*, pp. 507-515, 2014.
- [9] I Made Supartha Utama, Yohanes Setiyo, Ida Ayu Rina Pratiwi Puja, and Nyoman Semadi Antara2, "Kajian Atmosfir Terkendali untuk Memperlambat Penurunan Mutu Buah Mangga Arumanis selama Penyimpanan," *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 27-33, April 2011.
- [10] Jiyuan Tu, Guan Heng Yeoh, and Chaoqun Liu, *Computational fluid dynamics: a practical approach*, 2nd ed. London, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [11] P. R. Nelson, M. Coffin, and K. A Copeland, *Introductory statistics for engineering experimentation*. San Diego, United States of America: Academic Press, 2003.