

Analisis Variasi *Sparger* pada Instalasi *Modified Atmosphere Storage* untuk Menurunkan Kadar O₂

I Gede Eka Lesmana, Agri Suwandi, Arnold Raynold

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

Abstrak

Metode pengawetan makanan dengan memodifikasi komposisi udara khususnya untuk kandungan oksigen dan karbondioksida di ruang simpan atau disebut juga dengan *Modified Atmosphere Packaging (MAS)* telah diterapkan untuk memperpanjang umur simpan dari buah-buahan dan sayuran. Modifikasi komposisi udara dalam ruang simpan *MAS* menggunakan *injector* tipe *sparger* dengan gas karbon dioksida. Kinerja *sparger* dinilai dari peningkatan jumlah kandungan gas oksigen dalam ruang simpan dan tingkat homogenitas di dalam *sparger*. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pemilihan *sparger* berdasarkan variasi dimensi sudut keluar terhadap kinerja *sparger* dengan menggunakan simulasi ANSYS dan uji eksperimental. Lima varian *sparger* diuji tingkat homogenitas dan kadar oksigen yang terkandung dalam ruang simpan. Hasil simulasi dan eksperimental untuk kelima *sparger* menunjukkan *sparger* varian 3 dengan material PVC dari gabungan dua *reducer* (diameter 44,4 mm dan 31,7 mm) dan dimensi sudut keluar 26,6° memiliki nilai *Turbulence Kinetic Energy (TKE)* rata-rata tertinggi yaitu 792,66 J/kg dan kadar oksigen dalam ruang simpan terendah yaitu 6,4%. Model hubungan antara kadar gas karbon dioksida dengan oksigen dibuat dengan menerapkan metode *least square* menunjukkan tingkat signifikan sebesar 74,17%. Luaran dari penelitian ini adalah *sparger* varian 3 terpilih sebagai *sparger* yang akan digunakan dalam *MAS* karena mampu menurunkan kadar oksigen di bawah 10%.

Kata kunci: *sparger*, *Turbulence Kinetic Energy (TKE)*, *Modified Atmosphere Storage (MAS)*, *least square*

Abstract

Food preservation method by modifying air composition especially oxygen and carbon dioxide level in the storage room which is commonly known as Modified Atmosphere Packaging (MAS), has been implemented to extend the life time of fruit and vegetables. Atmosphere modification in MAS uses sparger as an injector to dissolved carbon dioxides into air. Sparger performance is based on oxygen level in the storage and homogeneities level in the sparger. The purpose of this research is to select several spargers with five variation of the exit angle, based on their performance by using ANSYS and experimental. Five sparger variants are tested at homogeneities simulation and oxygen level measurement. The simulation and experimental results for those spargers indicate that sparger variant 3, which has PVC material manufactured from the combination of two reducer pipes (diameter 44.4 mm and 31.7 mm) and has an exit angles 26.6°, has the highest Turbulence Kinetic Energy (TKE) which is 792.66 J/kg and the lowest oxygen level which is 6.4%. The correlation model between carbon dioxide and oxygen level in the storage room during experimental is made by using least square method, and the result shown that the model has 74.14% significant level. The outcome of this research is sparger variant 3 was selected as an injector applied in MAS to reduce the oxygen level below 10%.

Keywords: *sparger*, *Turbulence Kinetic Energy (TKE)*, *Modified Atmosphere Storage (MAS)*, *least square*

I. PENDAHULUAN

Masyarakat Indonesia yang aktif, mengkonsumsi buah-buahan dan sayuran dalam kehidupan sehari-hari. Kebiasaan tersebut berguna untuk menjaga

kehatan dan memvariasikan makanan, untuk itu kesegaran buah harus diperhatikan untuk pencakupan nilai gizi dan rasa. Pengawetan buah dan sayur harus dilakukan dengan metode aman bagi kesehatan manusia, sehingga tidak memiliki

efek samping. Pengawetan tersebut dilakukan untuk menjaga kadar CO₂ dan mengurangi kadar O₂.

Penelitian tentang pengawetan telah banyak dilakukan diantaranya tentang *Controlling Atmosphere Storage* (CAS) [1,2]. CAS telah digunakan untuk pengkondisian udara untuk buah-buahan, sayur, dan bunga, pendinginan udara dalam ruang penyimpanan untuk hasil panen, perikanan, vaksin imunisasi [3,4], serta pengeringan bengkung dengan sistem *vacuum freeze drying* untuk mengurangi kadar air [5].

Teknik pengawetan dengan sistem pengkondisian udara dalam ruang simpan menggunakan *injector* tipe *sparger* untuk disuntikkan gas CO₂ ke dalam ruang simpan telah dilakukan, dimana penyerapan gas emisi CO₂ pada gas buang industri menggunakan *sparger membrane* dan multi *sparger* digunakan kembali untuk mengalirkan gas ke kolam kultur [6,7]. Tujuan memasukkan CO₂ untuk mengurangi gas O₂ dalam ruang simpan buah-buahan dan sayuran dengan cara injeksi menggunakan *sparger*. Kandungan kadar gas O₂ ideal dalam ruang simpan setelah dimasukkan gas CO₂ dengan *sparger*, untuk dapat mengawetkan makanan adalah di bawah 5% [8].

Sparger adalah alat pemecah gelembung-gelembung udara agar gelembung udara yang terbentuk berukuran kecil sehingga luas permukaan interfasanya lebih besar sehingga laju difusi oksigen ke dalam larutan cepat. *Sparger* dibagi dengan 3 jenis yaitu *sparger* berpori (untuk pencampuran berskala laboratorium tanpa agitator), *sparger orifice* (pipa berlobang, mudah tertutup dengan mikroba), *spargernozzel* (pipa terbuka atau tertutup dibawah *impeller*) [9].

Pertimbangan metode MAS diterapkan dalam penelitian ini adalah: pengkondisian udara tidak membutuhkan pengkondisian temperatur ruang simpan; kapasitas dan bentuk ruang simpan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan; penggunaan teknologi injektor sederhana berbentuk venturimeter; serta peluang pemanfaatan gas CO₂ hasil emisi buang dari mesin untuk menggantikan gas CO₂ murni. Sehingga penelitian ini menggunakan metode MAS untuk mengawetkan buah-buahan dengan melihat hubungan antara kadar O₂ dan CO₂ di ruang simpan dengan metode *least square*, serta analisis simulasi aliran fluida yang terjadi di dalam *sparger*.

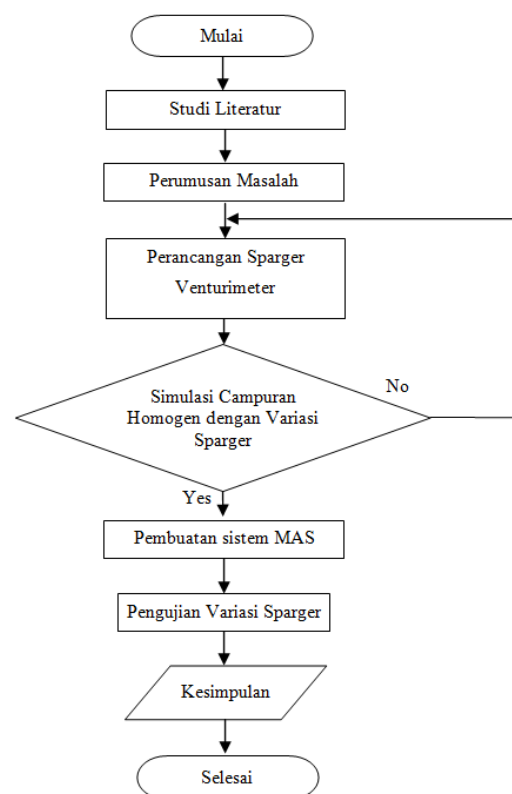
II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Tahapan terpenting dari penelitian yang dilakukan ada pada tahap perancangan dan simulasi campuran

homogen dengan variasi *sparger*, dimana ditujukan untuk memastikan rancangan yang telah dibuat lebih optimal.

Berikut adalah beberapa tahap persiapan untuk pengujian *sparger* dilakukan dalam, yaitu:

1. Memposisikan kipas di dalam ruang uji untuk *blending* udara di dalam ruang uji, seperti yang terlihat pada Gambar 2.
2. Memasang plat PVC sebagai tutup ruang uji yang sebelumnya sudah dilubangi untuk *sparger* dan alat uji.
3. Memasang instalasi *sparger* di plat PVC yang sudah dilubangi, seperti pada Gambar 3.
4. Masukkan alat ukur oksigen pada lubang yang sudah disiapkan dan ditutup dengan aluminium *tape* untuk mendapatkan titik awal oksigen di dalam ruang uji.
5. Vakum ruang uji dengan *vacuum cleaner*, seperti pada Gambar 5.
6. Memasukkan selang ke dalam ruang uji dan botol mineral yang tutupnya sudah dipasang selang untuk udara keluar, seperti pada Gambar 6.
7. Pasang regulator pada tabung CO₂ dan diikuti selang pada regulator, seperti pada Gambar 7.
8. Pasang selang pada *nipple* yang ada pada *sparger*.
9. Buka katup tabung dan katup regulator sesuai debit yang ditetapkan yaitu 5 liter per menit.
10. Lakukan pengecekan setiap 15 menit.



Gambar 1. Metode penelitian



Gambar 2. Posisi kipas



Gambar 6. Tempat sirkulasi udara



Gambar 3. Posisi *sparger*



Gambar 7. Regulator



Gambar 4. Posisi aluminium *tape*



Gambar 5. Vakum ruang uji

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Simulasi Pola Aliran

Penggunaan *software* ANSYS merupakan salah satu alat bantu untuk mengetahui penyebaran gas di dalam ruang simpan, dimana *software* ANSYS menerapkan prinsip *Computational Fluid Dynamics* atau CFD dalam melakukan analisis. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida untuk kemudian dilakukan penghitungan yang terbagi 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*.

Pada tahap simulasi dibuat 5 (lima) spesifikasi *sparger* untuk mengetahui varian *sparger* mana yang paling optimal hasilnya (lihat Tabel 1).

Analisis ini menggunakan kondisi yang sama terhadap semua varian sesuai dengan kondisi eksperimental. Kondisi batas (*boundary condition*) untuk simulasi yang dilakukan adalah: (1) *inlet* udara tidak diberikan tekanan sehingga tekanan udara yang di masukan 101,33 Pa dan (2) *inlet* CO₂ dimasukkan dengan debit 5 liter per menit atau jika dikonversikan ke dalam satuan kecepatan yaitu 1,31 m/s.

Tabel 1. Variasi *Sparger*

No.	Jenis <i>Sparger</i>	Spesifikasi	Sudut
1	Varian 1	Reducer Ø 44.4 mm x Ø 19 mm	35.3°
		pipa Ø 19 mm	180°
2	Varian 2	Reducer Ø 44.4 mm x Ø 19 mm	35.3°
		Reducer draht dalam Ø 19 mm x Ø 31.75	36.9°
3	Varian 3	Reducer Ø 44.4 mm x Ø 19 mm	35.3°
		Reducer Ø 19 mm x 25.4 mm	26.6°
4	Varian 4	Reducer Ø 44.4 mm x Ø 19 mm	35.3°
		Reducer Ø 19 mm x Ø 31.75	35.3°
5	Varian 5	Reducer Ø 44.4 mm x Ø 19 mm	35.3°
		Reducer Ø 19 mm x Ø 38.1 mm	29.9°

Gambar 8 memperlihatkan *sparger* memiliki turbulen yang besar pada saat diameter besar ke diameter kecil. Pada data tersebut *Turbulence Kinetic Energy* (TKE) ditunjukkan pada titik

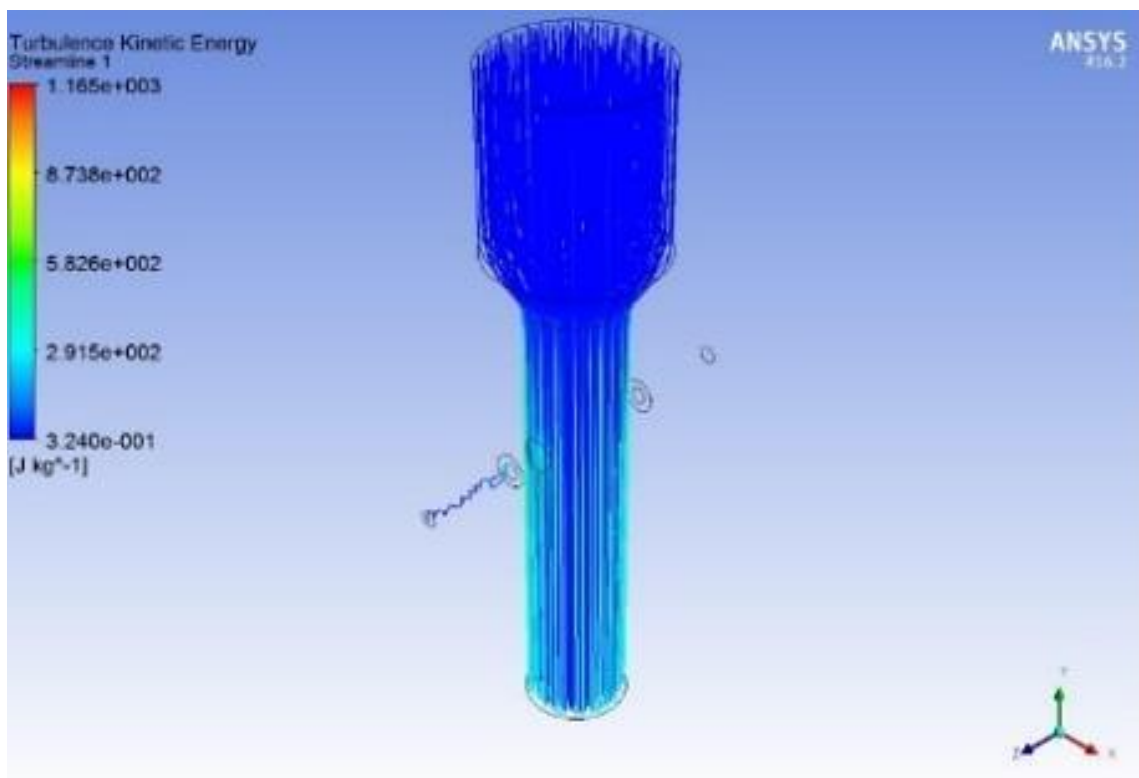
maksimal 1,16 J/kg, sedangkan pada titik minimalnya ditunjukkan 0,32 J/kg dengan nilai rata-rata 582,64 J/kg.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa *sparger* memiliki turbulen yang besar pada saat diameter besar ke diameter kecil. Pada data tersebut TKE ditunjukkan pada titik maksimal 1,42 J/kg, sedangkan pada titik minimalnya ditunjukkan 0,22 J/kg dengan nilai rata-rata 709,26 J/kg.

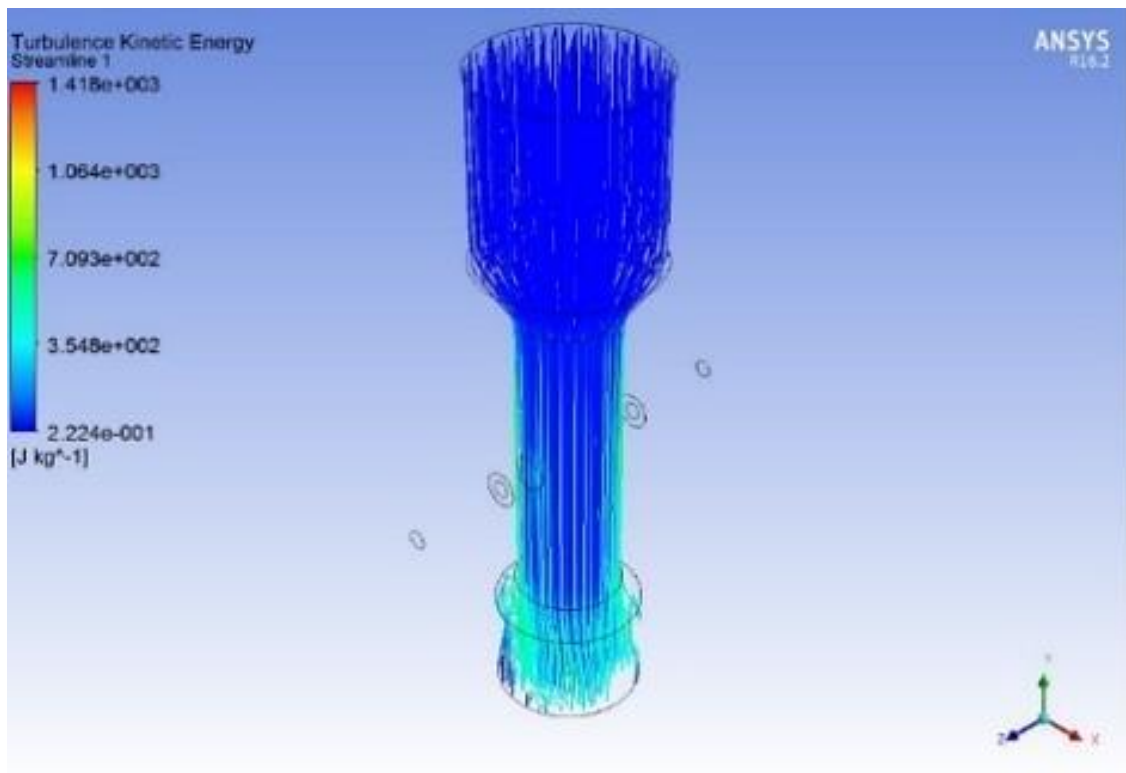
Gambar 10 memperlihatkan bahwa *sparger* memiliki turbulen yang besar pada saat diameter besar ke diameter kecil. Pada data tersebut TKE ditunjukkan pada titik maksimal 1,58 J/kg, sedangkan pada titik minimalnya ditunjukkan 0,31 J/kg dengan nilai rata-rata 792,66 J/kg.

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa *sparger* memiliki turbulen yang besar pada saat diameter besar ke diameter kecil. Pada data tersebut TKE ditunjukkan pada titik maksimal 1,43 J/kg, sedangkan pada titik minimalnya ditunjukkan 0,03 J/kg dengan nilai rata-rata 713,49 J/kg.

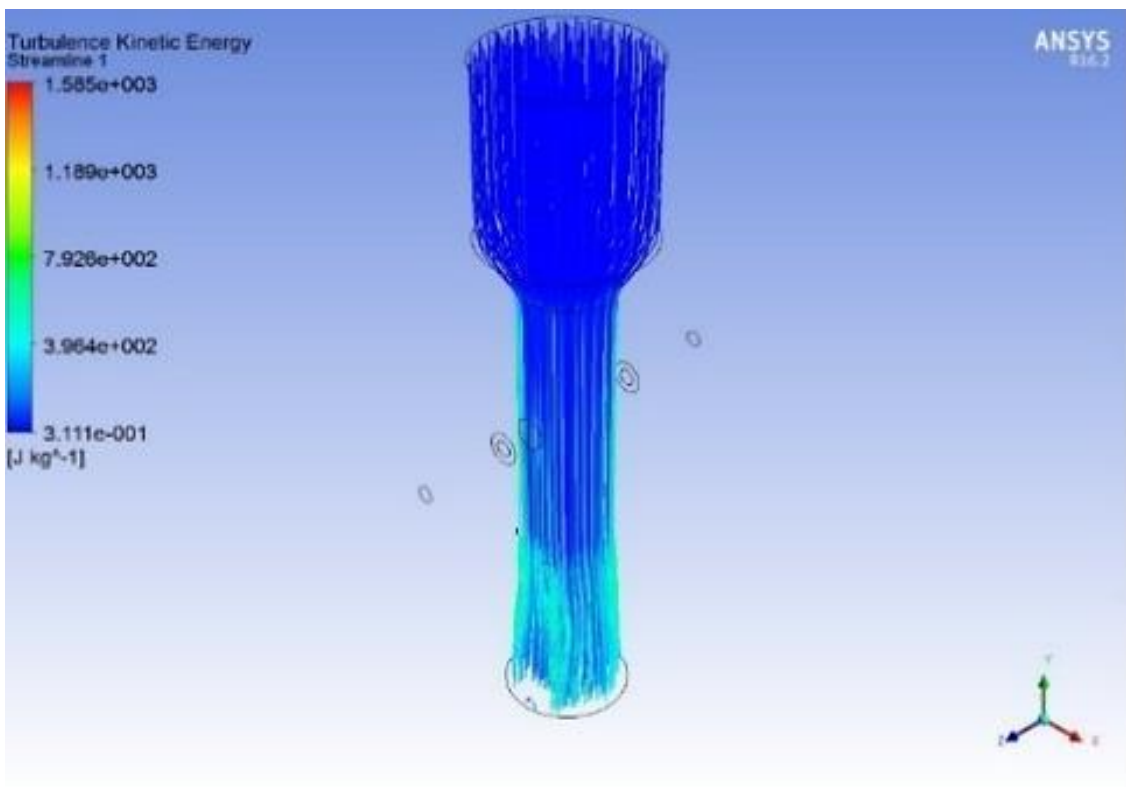
Pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa *sparger* memiliki turbulen yang besar pada saat diameter besar ke diameter kecil. Pada data tersebut TKE ditunjukkan pada titik maksimal 1,31 J/kg, sedangkan pada titik minimalnya ditunjukkan 0,23 J/kg dengan rata-rata 655,73 J/kg.



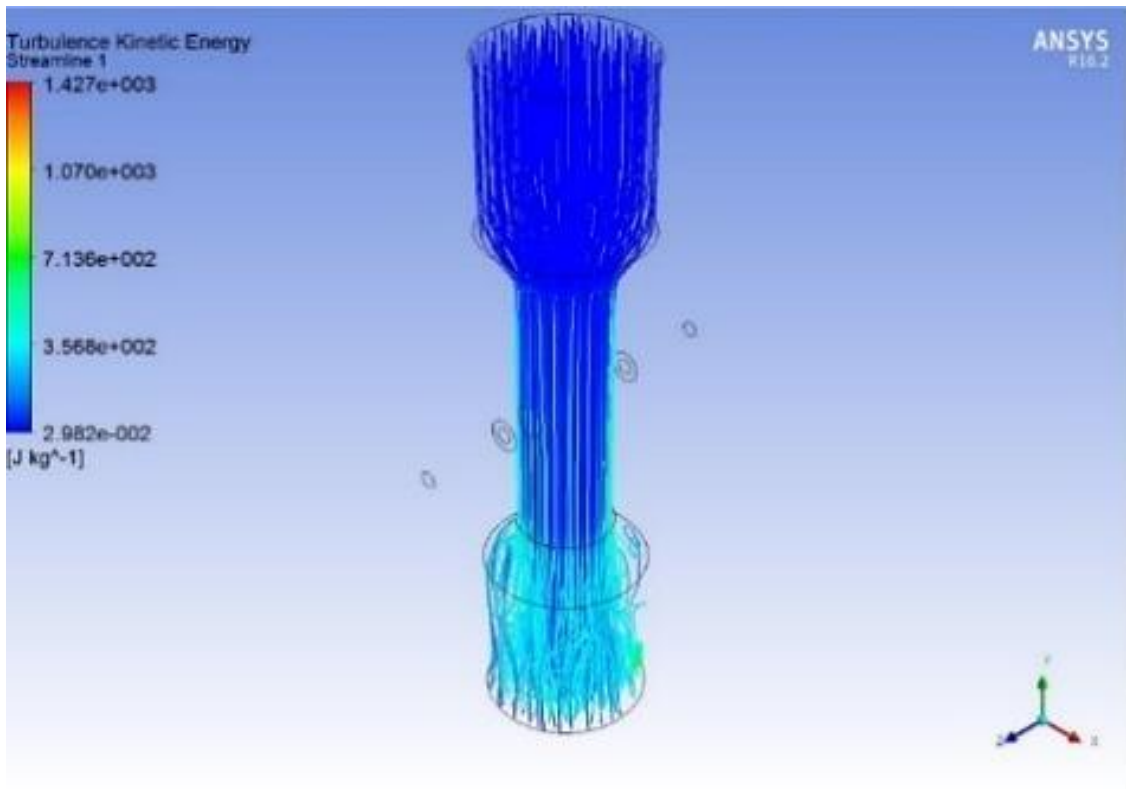
Gambar 8. Hasil analisis varian 1



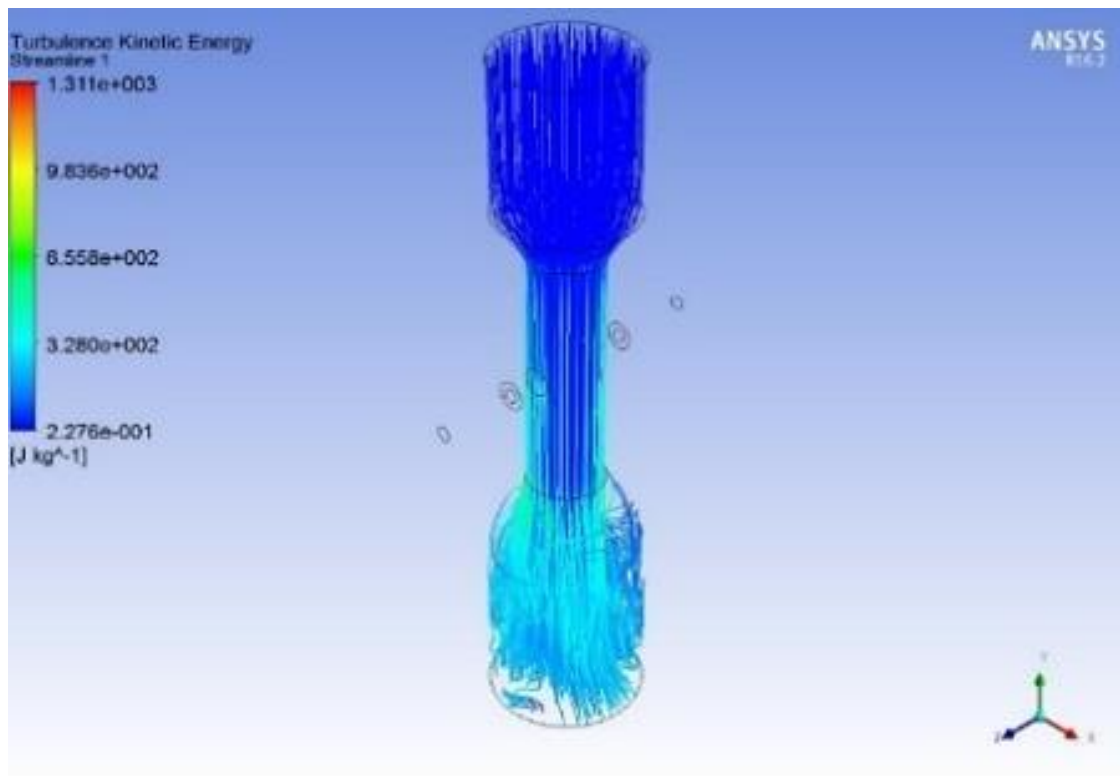
Gambar 9. Hasil analisis varian 2



Gambar 10. Hasil analisis varian 3



Gambar 11. Hasil analisis varian 4



Gambar 12. Hasil analisis varian 5

Berdasarkan hasil analisis simulasi yang telah dilakukan, *sparger* varian 3 dengan dimensi sudut keluar $26,6^\circ$ merupakan *sparger* yang mempunyai hasil rata-rata TKE yang paling tinggi yaitu $792,66 \text{ J/kg}$.

B. Analisis Hasil Pengujian

Pada grafik hubungan CO_2 dan O_2 , menjelaskan sumbu X sebagai parameter waktu dengan satuan menit, sumbu Y_1 sebagai parameter jumlah CO_2

dengan satuan liter, dan sumbu Y_2 sebagai parameter kadar O_2 dengan satuan %.

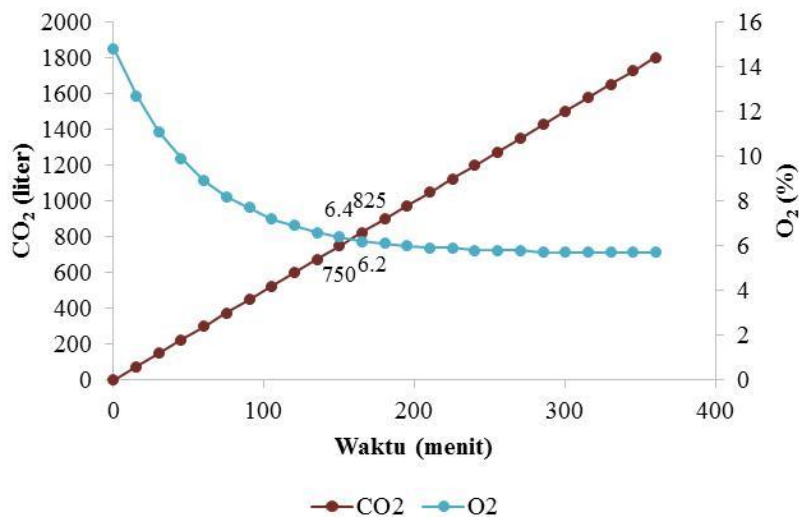
Berdasarkan Gambar 13, dapat disimpulkan bahwa, penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO_2 selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 15 menit sebanyak 1,8 liter mencapai 5,7%. Dengan kondisi pencampuran yang mendekati konstan pada rentan waktu 150-165 menit dengan kadar O_2 6,4-6,2% dan CO_2 750-825 liter.

Gambar 14 memperlihatkan penurunan kadar O_2 setelah disuntik CO_2 selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 15 menit sebanyak 1,8 liter mencapai 6,3%, dimana terjadi pencampuran yang konstan pada waktu ke 165 menit dengan kadar O_2 7,2% dan CO_2 825 liter.

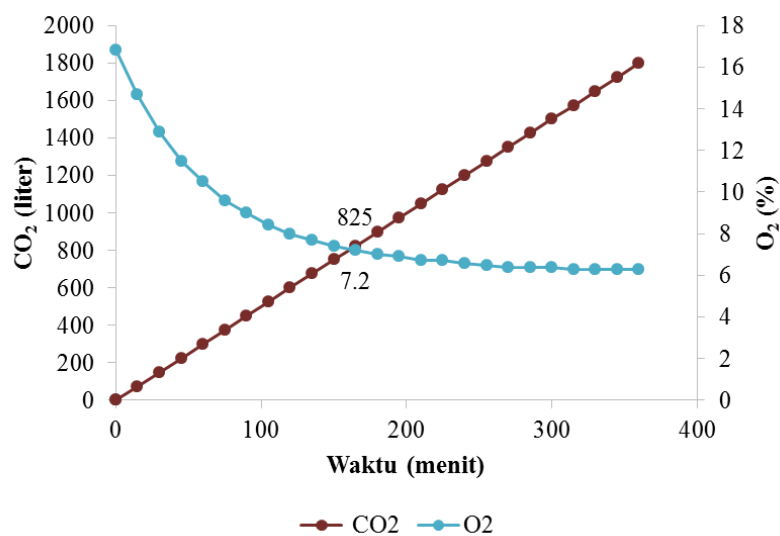
Gambar 15 memperlihatkan penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO_2 selama 6 jam dengan

pengambilan data setiap 15 menit sebanyak 1,8 liter mencapai 6,4 % dimana terjadi pencampuran yang konstan pada waktu ke 165 menit dengan kadar O_2 7,3% dan CO_2 825 liter. Gambar 16 memperlihatkan penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO_2 selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 15 menit sebanyak 1,8 liter mencapai 6,2% dengan pencampuran nilai mendekati konstan pada rentan waktu 150-165 menit dengan kadar O_2 7,2-7% dan CO_2 750-825 liter.

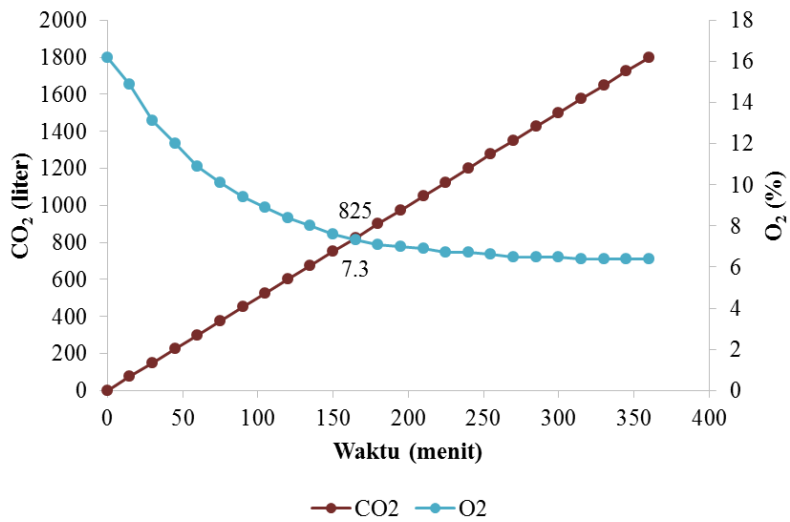
Dari gambar 17 dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar oksigen setelah disuntik CO_2 selama 6 jam pengambilan data setiap 15 menit sebanyak 1,8 liter mencapai 6,3% pencampuran yang konstan pada waktu ke 165 menit dengan kadar O_2 7,1% dan CO_2 825 liter.



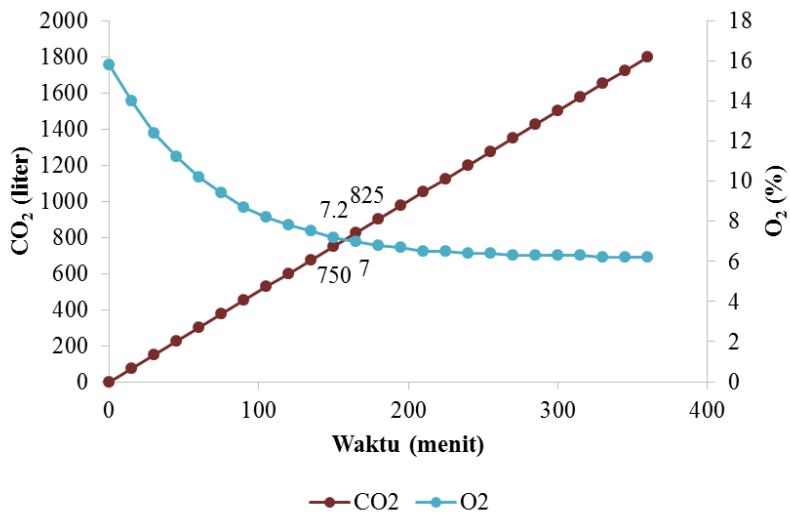
Gambar 13. Grafik hubungan waktu, CO_2 , dan O_2 pada varian 1



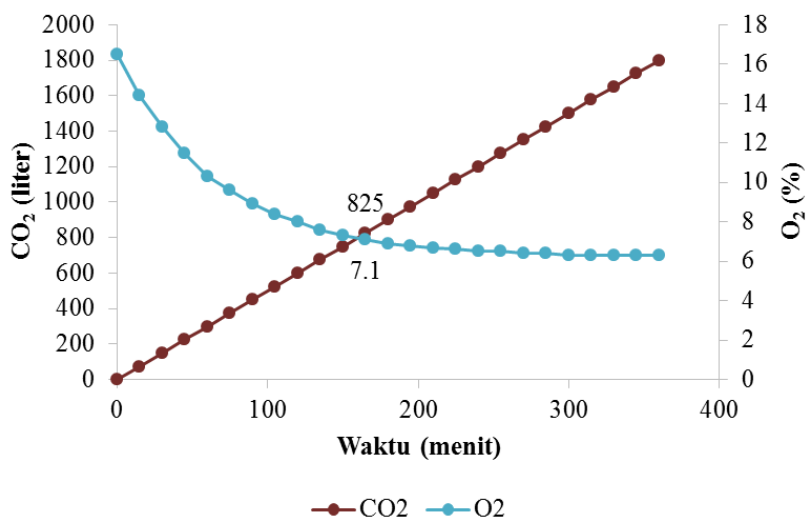
Gambar 14. Grafik hubungan waktu, CO_2 , dan O_2 pada varian 2



Gambar 15. Grafik hubungan waktu, CO₂, dan O₂ pada varian 3



Gambar 16. Grafik hubungan waktu, CO₂, dan O₂ pada varian 4



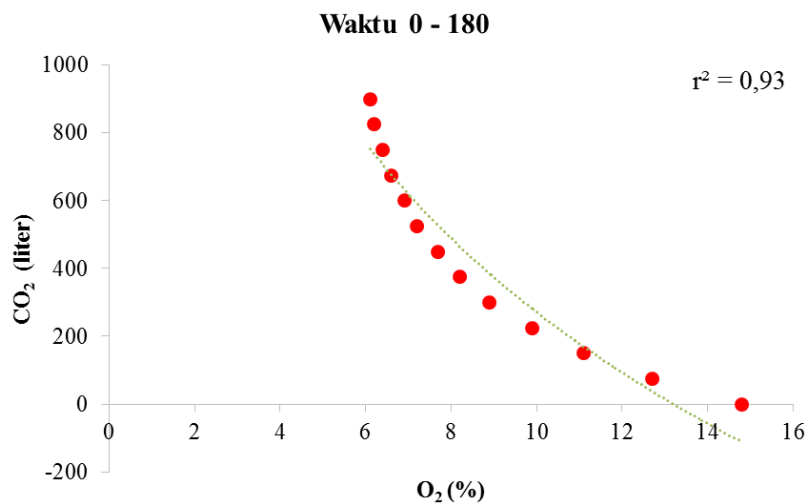
Gambar 17. Grafik hubungan waktu, CO₂, dan O₂ pada varian 5

C. Analisis Pemodelan dengan Least Square Korelasi dan Regresi Linear

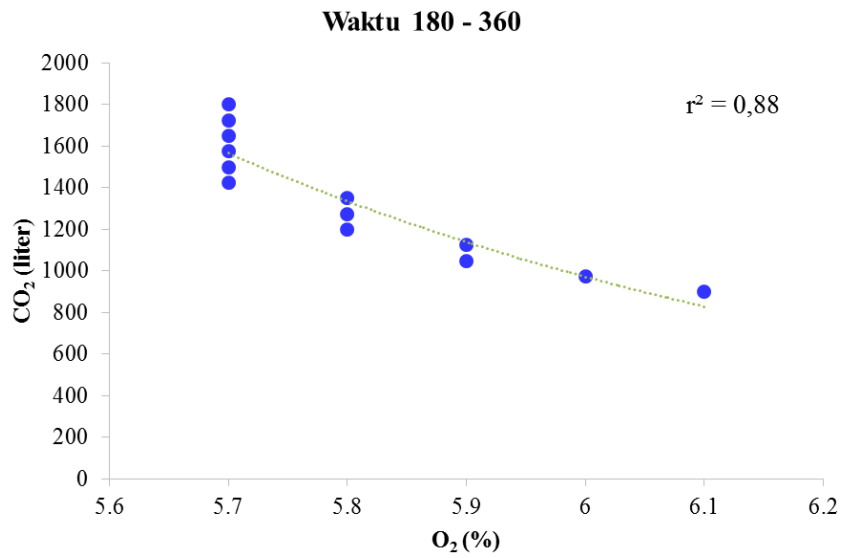
Perhitungan persamaan matematika garis lurus ini menghitung hubungan penambahan CO₂ atas penurunan O₂. Sumbu X sebagai kadar O₂ dengan satuan % dan sumbu Y sebagai jumlah CO₂ dengan satuan liter.

Uji kinerja *sparger* varian 1 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O₂ dan CO₂ yang ditunjukkan Gambar 18 pada menit 0-180 mengalami penurunan O₂ yang berarti dengan r² sebesar 92,68 %. Gambar 19 memperlihatkan pada menit 180-360 mengalami penurunan O₂ yang kurang berarti dengan penurunan r² sebesar 88,36%, sedangkan penurunan O₂ secara keseluruhan r = -0,81 dan r² = 0,65 dimana CO₂ mempengaruhi penurunan O₂ sebesar 65,31%. Penurunan O₂ sebesar 34,69% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Uji kinerja *sparger* varian 2 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O₂ dan CO₂ yang ditunjukkan Gambar 20 pada menit 0-180 mengalami penurunan O₂ yang berarti dengan r² sebesar 94,03 %. Pada Gambar 21 pada menit 180-360 mengalami penurunan O₂ yang kurang berarti dengan penurunan r² sebesar 93,51%, sedangkan penurunan O₂ secara keseluruhan r = -0,84 dan r² = 0,70 dimana CO₂ mempengaruhi penurunan O₂ sebesar 69,9%. Penurunan O₂ sebesar 30,1% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Uji kinerja *sparger* varian 3 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O₂ dan CO₂ menunjukkan Gambar

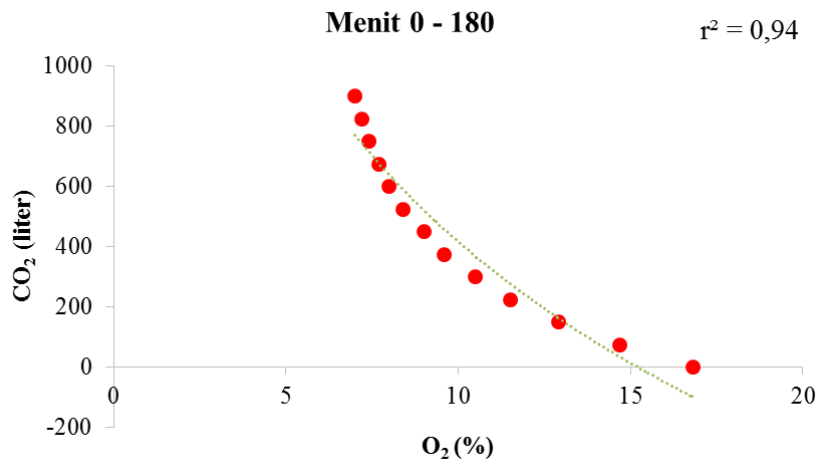
22 pada menit 0-180 mengalami penurunan O₂ yang berarti dengan r² sebesar 96,91 %, sedangkan pada Gambar 23 pada menit 180-360 mengalami penurunan O₂ yang kurang berarti dengan penurunan r² = 0,93 atau 92,89%, sedangkan penurunan O₂ secara keseluruhan r = -0.8612 dan r² = 0.7417 dimana CO₂ mempengaruhi penurunan O₂ sebesar 74,17%. Penurunan O₂ sebesar 25,83% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Uji kinerja *sparger* varian 4 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O₂ dan CO₂ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24 dengan waktu dari menit 0-180 mengalami penurunan O₂ yang berarti dengan r² sebesar 94,91 %, sedangkan Gambar 25 pada menit 180-360 mengalami penurunan O₂ yang kurang berarti dengan penurunan r² sebesar 91,04%, sedangkan penurunan O₂ secara keseluruhan r = -0,84 dan r² = 0,70 dimana CO₂ mempengaruhi penurunan O₂ sebesar 70,35%. Penurunan O₂ sebesar 29,65% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Uji kinerja *sparger* varian 5 dengan hasil pemodelan menggunakan metode *least square*, antara O₂ dan CO₂ menunjukkan bahwa Gambar 26 pada menit 0-180 mengalami penurunan O₂ yang berarti dengan r² sebesar 94,73 %. Untuk Gambar 27 pada menit 180-360 mengalami penurunan O₂ yang kurang berarti dengan penurunan r² sebesar 93,2%, sedangkan penurunan O₂ secara keseluruhan r = -0,84 dan r² = 0,70 dimana CO₂ mempengaruhi penurunan O₂ sebesar 69,93%. Penurunan O₂ sebesar 30,07% dipengaruhi oleh faktor lainnya.



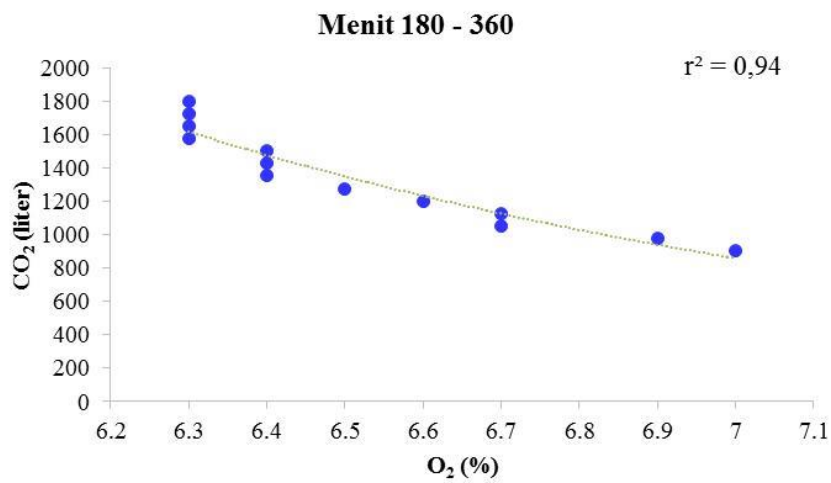
Gambar 18. Grafik logaritmik menit 0-180 pada varian 1



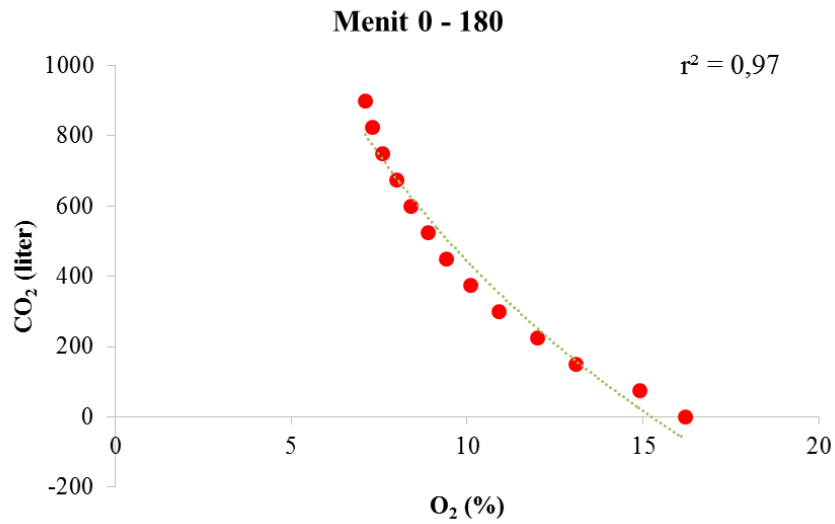
Gambar 19. Grafik eksponensial menit 180-360 varian 1



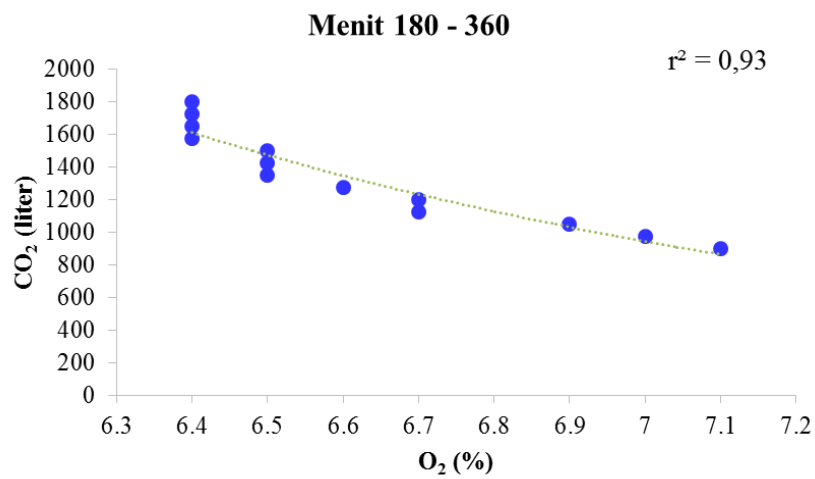
Gambar 20. Grafik logaritmik menit 0-180 varian 2



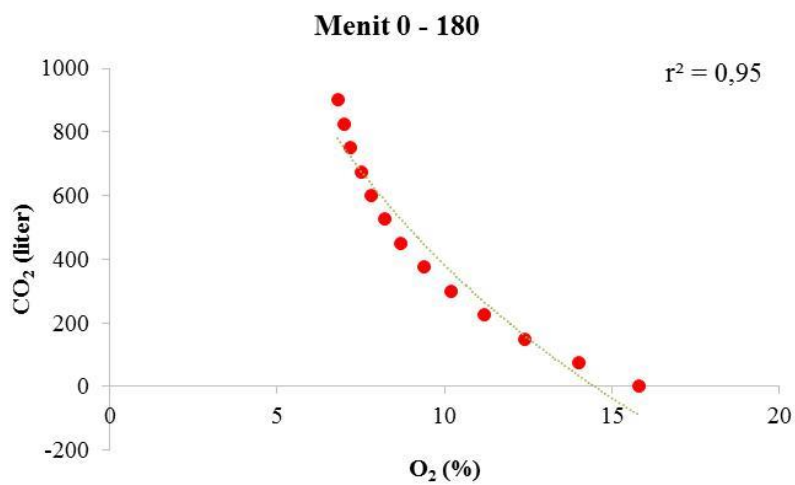
Gambar 21. Grafik eksponensial menit 180-360 varian 2



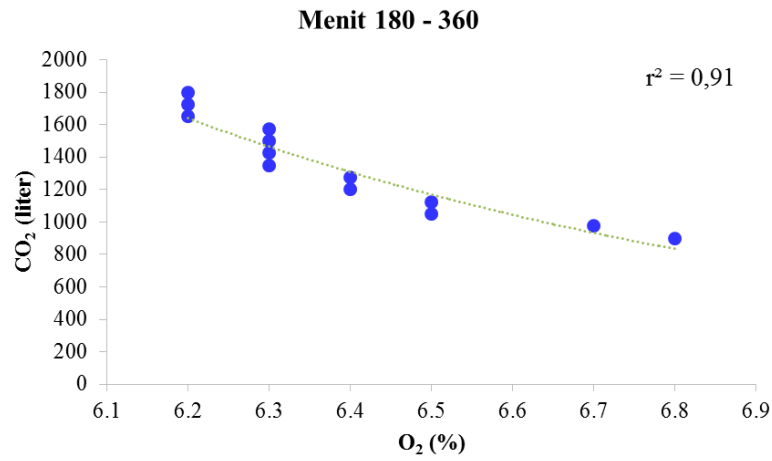
Gambar 22. Grafik logaritmik menit 0-180 varian 3



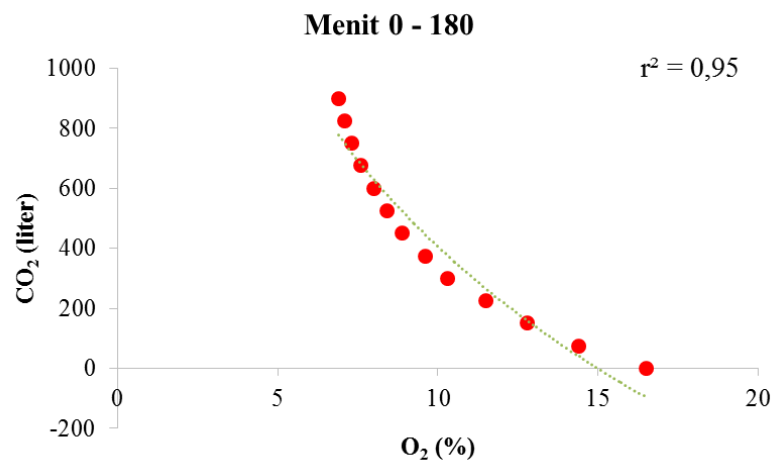
Gambar 23. Grafik eksponensial menit 180-360 varian 3



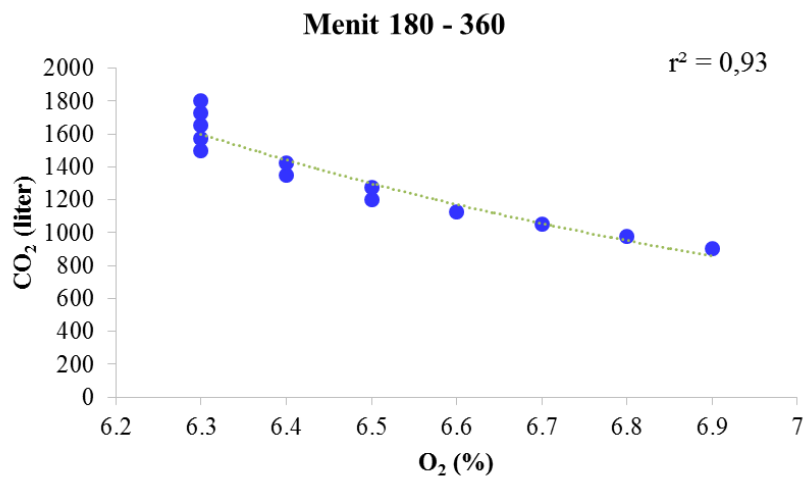
Gambar 24. Grafik logaritmik menit 0-180 varian 4



Gambar 25. Grafik eksponensial menit 180-360 varian 4



Gambar 26. Grafik logaritmik menit 0-180 varian 5



Gambar 27. Grafik eksponensial menit 180-360 varian 5

IV. KESIMPULAN

Kadar CO₂ dapat mengakibatkan penurunan kadar O₂ jika tercampur secara homogen dengan udara. *Sparger* dengan nilai TKE tertinggi mampu mencampur CO₂ dengan udara menjadi homogen. Hasil simulasi dan eksperimen untuk kelima *sparger* menunjukkan *sparger* varian 3, dengan material PVC dari gabungan dua *reducer* (diameter 44,4 mm dan 31,7 mm) dan dimensi sudut keluar 26,6 °C, memiliki nilai TKE rata-rata tertinggi yaitu 792,66 J/kg dan kadar oksigen dalam ruang simpan terendah yaitu 6,4%. Model hubungan antara kadar gas karbondioksida dengan oksigen dibuat dengan menerapkan metode *least square* menunjukkan tingkat signifikan sebesar 74,17%. Luaran dari penelitian ini adalah *sparger* varian 3 terpilih sebagai *sparger* yang akan digunakan dalam MAS karena mampu menurunkan kadar oksigen di bawah 10%.

REFERENSI

- [1] A. A. Kader, "Controlled atmosphere storage," *Agricultural*, pp. 66-76, 2004.
- [2] A. A. Kader, "Modified and Controlling Atmosphere Storage of Tropical Fruits," in *Postharvest Handling of Tropical Fruit*, Canberra, 1994, pp. 293-249.
- [3] Doddy Purwadianto, "Unjuk kerja pendingin absorpsi amonia-air dengan variasi tekanan desorpsi," in *Seminar Nasional SNTTM 9*, Palembang, 2010, pp. 395-399.
- [4] Teguh Kristianto and Samsul Kamal, "Studi Pemanfaatan Gas Buang Untuk Refrigerasi Sistem Absorpsi Bagi penyimpanan Dingin Industri Perikanan," in *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti*, Jakarta, 2014, pp. 1-9.
- [5] Awal Januari S and Awaludin Martin, "Pengeringan Bengkuang Dengan Sistem Pengeringan Beku Vakum," *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, vol. 1, pp. 1-13, 2014.
- [6] Titin Handayani, Adi Mulyanto, and Nida Sopiah, "Penyerapan Emisi CO₂ Oleh Mikroalga *Euglena Sp* Dengan Bioreaktor Kolam Kultur," *Jurnal Kualitas Lingkungan Hidup*, pp. 1-10, 2014.
- [7] F N Zahir, "Peningkatan produksi biomassa *chlorella vulgaris* dengan perlakuan mikrofiltrasi pada sirkulasi aliran medium kultur sebagai bahan baku biodiesel," Depok, 2011.
- [8] Wina Libyawati, Agri Suwandi, and Hafidan Agustian, "Rancang Bangun Teknologi Modified Atmosphere Storage (Mas) Dengan Kapasitas 4,77 m³," *Jurnal Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 103-116, Juli 2017.
- [9] Ariyanto Ariyanto, Syamsul Arifin, and M. Ilyas, "Perancangan Sistem Pengendalian Level Deaerator Menggunakan Fuzzy Gain Scheduling-pi di PT. Petrowidada," Surabaya, 2011.

