

Simulasi Numerik Akumulasi Konsentrasi CO₂ Di Dalam Ruang Kelas Gedung Teknik Refrigerasi dan Tata Udara

Mutiara Nurul Azmi¹, Bowo Yuli Prasetyo², Parisya Premiera Rosulindo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

¹E-mail : mutiara.nurul.tptu420@polban.ac.id

²Email : bowo_yuli@polban.ac.id

³Email : parisya.premiera@polban.ac.id

ABSTRAK

Ruang kelas merupakan ruangan yang digunakan untuk proses pembelajaran sehingga banyak aktivitas dilakukan pada ruangan tersebut. Adanya aktivitas dalam ruangan membuat nilai konsentrasi CO₂ meningkat. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui akumulasi konsentrasi CO₂ selama kegiatan belajar berlangsung. Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada ruang kelas LG 1 yang terletak di Gedung Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara dengan kapasitas maksimal penghuni sebanyak 32 orang dalam ruangan. Tugas akhir ini menggunakan metode simulasi numerik berupa *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan jendela pivot dalam kondisi terbuka 45° pada satu sisi ruangan dan data pengukuran langsung digunakan untuk proses validasi hasil simulasi. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa temperatur diperoleh sebesar 26 °C, kecepatan udara sebesar 1,21 m/s, dan, nilai konsentrasi CO₂ sebesar 1012 ppm. Berdasarkan hasil simulasi nilai konsentrasi CO₂ pada ruang LG 1 melebihi standar ASHRAE yang menetapkan batas konsentrasi CO₂ maksimum sebesar 700 ppm, dapat disimpulkan pada ruang LG 1 memiliki kualitas udara buruk yang dapat mengiritasi mata, hidung, dan tenggorokan.

Kata Kunci

CFD, CO₂, Ruang Kelas, dan Buka-an Jendela

ABSTRACT

The classroom is a room used for the learning process so that many activities are carried out in the room. The existence of indoor activities makes the CO₂ concentration value increase. The purpose of this study is to determine the accumulation of CO₂ concentration during learning activities. This final project research was conducted in the LG 1 classroom located in the Refrigeration and Air Conditioning Engineering Department Building with a maximum occupant capacity of 32 people in the room. This final project uses a numerical simulation method in the form of Computational Fluid Dynamics (CFD) with a pivot window in an open condition of 45 ° on one side of the room and direct measurement data is used to validate the simulation results. The results obtained show that the temperature obtained is 26 ° C, the air velocity is 1.21 m / s, and the CO₂ concentration value is 1012 ppm. Based on the simulation results, the CO₂ concentration value in the LG 1 room exceeds the ASHRAE standard which sets the maximum CO₂ concentration limit at 700 ppm, it can be concluded that the LG 1 room has poor air quality that can irritate the eyes, nose and throat.

Keywords

CFD, CO₂, Classroom, and Window openings

1. PENDAHULUAN

Ruang kelas adalah tempat berkumpulnya banyak orang dalam waktu bersamaan. Memiliki kualitas udara yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi bukaan jendela dan aktivitas manusia dalam ruangan. Semakin banyaknya orang yang menggunakan ruangan, semakin tinggi

konsentrasi pencemar udara, baik yang berasal dari aktivitas manusia di dalam ruangan ataupun dari luar ruangan.

Salah satu penyebab tingginya konsentrasi CO₂ dalam ruangan adalah jumlah dan aktivitas manusia pada ruangan. Jika konsentrasi CO₂ dalam ruangan lebih besar dari 1000 ppm maka akan mengganggu kesehatan, konsentrasi belajar,

dan performa belajar siswa dapat terganggu [7]. Sebaliknya manusia hampir 90 % waktunya dihabiskan dalam ruangan, termasuk kantor maupun di rumah. Sistem ventilasi ruangan melalui jendela mempermudah sirkulasi aliran udara masuk dari luar ke dalam ruangan, memungkinkan adanya perputaran udara. Kekurangan sirkulasi udara dapat mengakibatkan kekurangan kandungan oksigen dalam ruangan, sehingga kadar CO₂ yang mana tergolong berbahaya bagi penghuni meningkat. Dengan menggunakan bukaan jendela alami, udara dapat masuk dan keluar secara alami tanpa bantuan alat mekanis, bergantung pada tingkat kecepatan angin, perbedaan tekanan atmosfer, dan suhu luar atau dalam ruangan. Bukaan jendela alami ini perlu dengan mengatur kualitas udara di dalam ruangan memenuhi standar keinginan penghuni, meskipun kondisi udara di luar sangat memiliki dampak yang besar. Parameter di dalam ruangan yang memengaruhi rancangan sistem meliputi jumlah sumber panas serta kelembapan, jumlah dengan aktivitas penghuni, luas lantai, volume ruangan, dan, ukuran bukaan jendela. Parameter udara dalam ruangan yang diperhatikan mencakup penyebaran temperatur dan kecepatan. Kecepatan yang dipilih berkaitan erat dengan banyaknya sirkulasi udara untuk memperoleh kenyamanan penghuni. Pada akhirnya, banyaknya udara yang tersirkulasikan harus memenuhi kebutuhan minimal untuk memastikan kebutuhan pernapasan penghuni terpenuhi.

Dalam penelitian ini, konsentrasi CO₂ dalam ruangan yang terkondisikan melalui bukaan jendela pada satu sisi ruangan. Untuk memenuhi penelitian, maka penelitian ini dibutuhkan untuk melakukan simulasi numerik berupa CFD dengan menggunakan Ansys Fluent. CFD adalah metode analisis numerik yang terdiri dari pergerakan perputaran udara, pergerakan panas, dan fenomena kimia melalui simulasi yang digunakan pada komputer [2]. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui konsentrasi CO₂ di dalam ruangan jika terdapat bukaan jendela pada satu sisi ruangan dengan metode simulasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di ruang kelas LG 1 lantai 2 di gedung Teknik refrigerasi dan tata udara dapat dilihat pada Gambar 1. Ruang kelas ini biasanya digunakan untuk belajar mengajar dengan kapasitas penghuni sebanyak 32 orang dalam ruangan. Ruang kelas ini dipilih sebagai sampel karena didalamnya terdapat sistem ventilasi

mekanis yang berupa AC dan ventilasi alami yang berupa bukaan jendela.

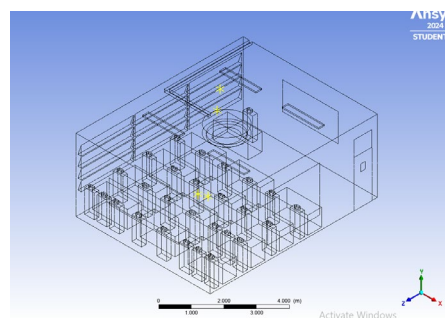


Gambar 1. Penampakan ruang kelas LG 1

Untuk pengukuran dilakukan selama 1,5 jam, mulai pukul 10.00 hingga 11.30 WIB, dengan menggunakan beban penghuni yang berjumlah 28 orang terdiri dari 1 dosen dan 27 mahasiswa selama pengukuran berlangsung. Kondisi ruangan dengan pintu tetap tertutup sementara jendela terbuka pada satu sisi ruangan dan adanya pengondisian udara berupa AC pada ruangan ini. Parameter yang digunakan pada pengukuran ini berupa temperatur udara, kecepatan udara, dan CO₂. Hasil pengukuran meliputi kondisi ruangan, karakteristik ruangan, dan data desain yang digunakan dalam pembuatan model simulasi. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan pada Tabel 1, sedangkan visual titik pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi alat ukur

Alat ukur	Spesifikasi			
	Type/Model	Range Operation	Resolution	Accuracy
Hot Wire Anemometer	AM-4204	0.2 – 20.0 m/s	0.1 °C, 0.001 m/s	± (5%+1d)
CO ₂ Data Logger	AZ-7798	0 – 9999 ppm	1 ppm	±50 ppm ±5% of reading (0 - 2000 ppm) other
Thermometer Digital	APPA50 (50II Series)	200 °C ~ 1372 °C	0.1 °C	range are not specified



Gambar 2. Visualisasi titik pengambilan data

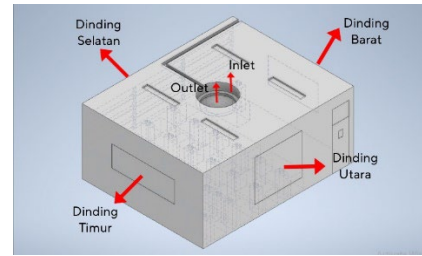
Berdasarkan standar 62.1 tahun 2000 menetapkan pedoman untuk kualitas udara dalam ruangan di berbagai jenis bangunan, termasuk hunian, sekolah, kantor, dan, tempat publik. Standar ini mencakup batas maksimum konsentrasi CO₂ yang diizinkan di dalam ruangan untuk menjaga kesehatan dan kenyamanan penghuni. Berikut adalah Tabel 2 perbandingan konsentrasi CO₂ dalam ruangan dengan standar ASHRAE.

Tabel 2. Perbandingan konsentrasi CO₂ dalam ruangan dengan standar ASHRAE [7]

Kisaran Konsentrasi CO ₂ (ppm)	Kualitas Udara Dalam Ruangan	Dampak Kesehatan
< 600	Baik	Tidak ada dampak kesehatan yang signifikan
600 - 1000	Sedang	Dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, dan kelelahan
1000 - 2000	Buruk	Dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan
>2000	Berbahaya	Dapat menyebabkan sesak nafas yang dapat berakibat sulit bernafas

Simulasi CFD ini dilakukan dengan menggunakan metode *steady state*, perangkat lunak menggunakan *Ansys Fluent*, memanfaatkan persamaan model turbulen SST k-omega. Model ini dipilih karena peningkatan akurasi dan keandalannya untuk kasus-kasus yang melibatkan kondisi aliran yang lebih kuat dan dapat memprediksi gradien tekanan lebih akurat dibandingkan dengan model lainnya.

Geometri ruangan yang digunakan untuk tujuan simulasi digambarkan pada Gambar 3. Ruang kelas yang memiliki luas total 41,934 m². Dinding sebelah barat ruangan terdapat papan tulis. Pada dinding sebelah selatan terdapat 3 bukaan jendela dan hanya 1 terbuka yang digunakan, untuk sisanya keadaan jendela tertutup. Pintu dan kaca terdapat di dinding sebelah utara dengan keadaan tertutup rapat selama pengukuran. Untuk bagian *inlet* dan *outlet* terdapat di pengkondisian udara yaitu AC yang ditempatkan pada bagian atap di tengah ruangan. Selain itu terdapat 4 lampu yang ditempatkan pada bagian atap ruangan yang mengeluarkan panas jika dinyalakan. Nilai *heat flux* pada dinding diasumsikan nol, karena dianggap tidak terkena paparan sinar matahari. Representasi penghuni manusia dalam simulasi disederhanakan untuk mengurangi beban simulasi, dengan tetap memastikan jumlah dan posisi objek manusia sesuai.



Gambar 3. Model 3D

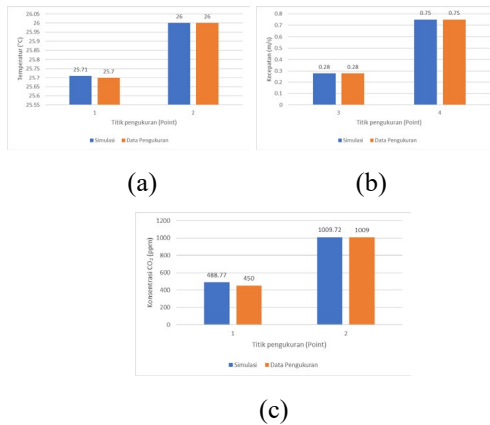
Penentuan kondisi batas yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 3. Untuk nilai suhu manusia ditentukan berdasarkan suhu normal pada manusia, sedangkan untuk bukaan jendela, *inlet*, *outlet*, lampu dan CO₂ diperoleh berdasarkan data aktual yang dikumpulkan selama pengukuran.

Tabel 3. Kondisi batas untuk simulasi numerik

Ruangan	Kondisi Batas	Tipe	Nilai	Dimensi (PxLxT) m
Ruang Kelas	Bukaan Jendela (33%)	Pressure Outlet	Velocity: 0,7 5m/s Temperature: 25,7 °C	(2,26 x 1,94)
	Lampu	Wall	183 W/m ²	(1,57 x 0,25 x 0,05)
Ruang Kelas	Inlet	Velocity Inlet	Velocity: 4,7 8m/s Temperature: 24,4 °C	360°
	Outlet	Velocity Outlet	Velocity: 0,9 m/s Temperature: 27 °C	
Manusia	Wall	36 °C		
CO ₂	velocity inlet	1009 ppm		

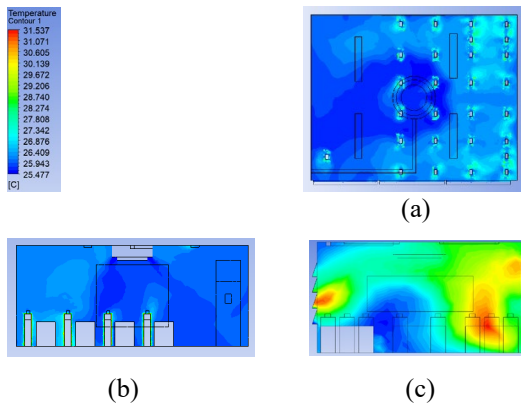
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menampilkan hasil validasi simulasi dan data pengukuran baik temperatur, kecepatan dan konsentrasi CO₂, dengan selisih temperatur dalam persen pada masing-masing titik satu dan dua sebesar 0% dan -1 %, pada selisih kecepatan pada masing-masing titik tiga dan empat sebesar 0 %, dan pada konsentrasi CO₂ pada masing-masing titik satu dan dua sebesar 9 % dan 0 %. Berdasarkan analisis grafik ini maka simulasi mendekati keadaan sebenarnya.



Gambar 4. Validasi data hasil simulasi dan pengukuran pada: (a) temperatur, (b) kecepatan, dan (c) konsentrasi CO₂

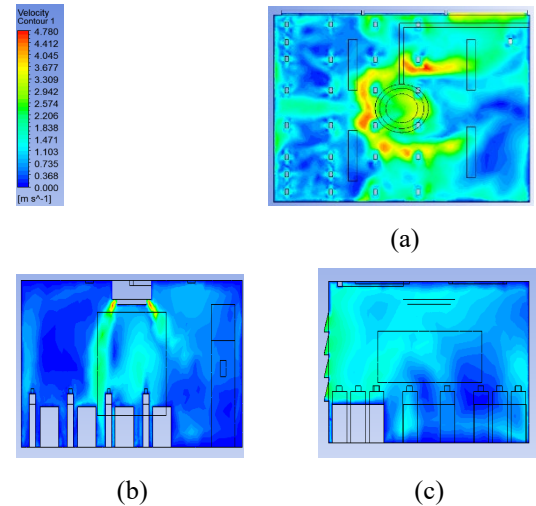
Gambar 5 menunjukkan visualisasi temperatur menggunakan *contour*, dan hasil simulasi dalam keadaan *steady* yang menyatakan pada *plane* satu, temperatur dalam ruangan rata-rata sebesar 26,24 °C, sedangkan pada *plane* dua, temperatur rata-rata sebesar 26,24 °C, sementara *plane* ketiga, temperatur rata-rata ruangan sebesar 25,95 °C. pada Gambar 5 (a) dan (b) temperatur menjadi tinggi dikarenakan ada pengaruh dari suhu manusia dan lampu di dalam ruangan. Berdasarkan hasil visualisasi, temperatur di dalam ruangan menunjukkan bahwa kondisi ruang kelas dikategorikan nyaman.



Gambar 5. Temperatur *contour* pada: (a) *plane* 1, (b) *plane* 2, dan (c) *plane* 3

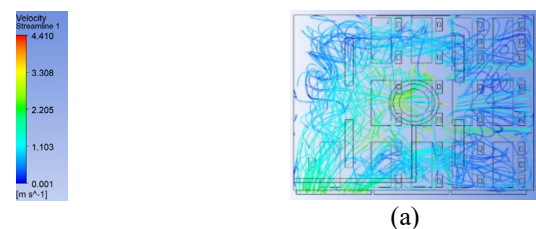
Gambar 6 yang divisualisasikan menggunakan *contour* dalam keadaan *steady* menunjukkan bahwa kecepatan udara yang berasal dari *inlet* AC (*supply*) dengan kecepatan udara 4,78 m/s. Hasil simulasi menunjukkan pada setiap *plane* mengalami perubahan kecepatan udara yang keluar dari *inlet* AC menuju *outlet* AC dan bukaan

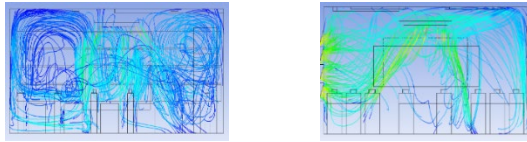
jendela. Berdasarkan hasil simulasi ini menunjukkan bahwa kecepatan udara di area *inlet* AC cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan area di sekitarnya karena pergerakan udara lebih terkonsentrasi di area yang terdapat AC dan udara hampir banyak keluar ruangan melalui bukaan jendela dikarenakan kecepatan udara dalam ruangan lebih cepat dibandingkan udara dari luar ruangan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan AC memberikan pengaruh terhadap kecepatan udara di dalam ruangan.



Gambar 6. *Velocity contour* pada: (a) *plane* 1, (b) *plane* 2, dan (c) *plane* 3

Gambar 7 yang divisualisasikan menggunakan *streamline* dalam keadaan *steady* menunjukkan bahwa udara di dalam ruangan berasal dari *inlet* dengan nilai sebesar 4,78 m/s dan bergerak menuju *outlet* dengan nilai antara 0,9–4,78 m/s. hasil simulasi menunjukkan jika udara dalam ruangan Sebagian terbuang ke luar ruangan melalui bukaan jendela karena kecepatan udara dalam ruangan lebih besar dari pada kecepatan udara luar ruangan dengan nilai 0,75 m/s. tetapi pada area dalam ruangan distribusi udara cenderung lebih merata keseluruhan ruangan. Namun aliran udara terbanyak yaitu di sekitar bukaan jendela karena udara sebagian terbuang keluar ruangan, sementara udara di sekitar titik ukur berada pada nilai sebesar 0,28 m/s.

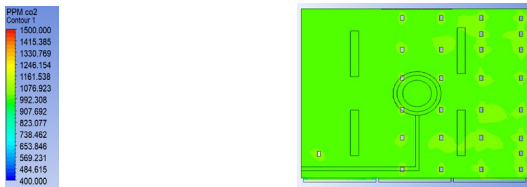




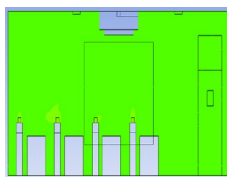
(b) (c)

Gambar 7. *Velocity streamline* pada: (a) *plane 1*, (b) *plane 2*, dan (c) *plane 3*

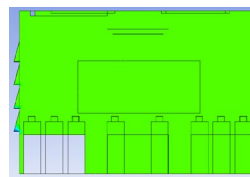
Gambar 8 yang divisualisasikan menggunakan *contour*, hasil simulasi dalam keadaan *steady* yang menunjukkan konsentrasi CO₂ terkontrol di setiap *plane* satu dengan sebesar 1017 ppm, *plane* dua dengan sebesar 1011 ppm, dan pada *plane* tiga pada area bukaan jendela dengan sebesar 1009 ppm. Dapat diartikan jika bukaan jendela dapat mengurangi jumlah konsentrasi CO₂ walaupun hanya berkurang 8 ppm, dikarenakan pada simulasi ini hanya terdapat bukaan jendela satu sisi ruangan dan konsentrasi CO₂ di dalam ruangan menunjukkan bahwa kondisi ruang LG 1 kurang nyaman. Karena menurut standar ASHRAE menyebutkan jika seharusnya batas maksimal konsentrasi CO₂ dalam ruang kelas tersebut 1000 ppm, jika melebihi 1000 ppm maka mengganggu kenyamanan pada pernapasan penghuni di ruang kelas.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. *Concentration CO₂* pada: (a) *plane 1*, (b) *plane 2*, dan (c) *plane 3*

4. KESIMPULAN

Analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini, diperoleh hasil simulasi yang menunjukkan temperatur ruangan sebesar 26 °C karena terdapat beban penghuni 28 orang dalam ruangan, dengan kecepatan udara sebesar 1,21 m/s yang sebagian udara terbuang melalui bukaan jendela dan sebagian lagi kembali ke *outlet (return)* AC. dan

konsentrasi CO₂ di dalam ruang LG 1 diperoleh sebesar 1012 ppm. Berdasarkan standar ASHRAE 62.1 tahun 2000 konsentrasi CO₂ melebihi batas maksimal sebesar 700 ppm, maka dapat disimpulkan kualitas udara buruk dikarenakan tidak ada pengaruh pada bukaan jendela yang terlalu kecil dan beban penghuni yang terlalu banyak dengan ukuran kelas yang tidak terlalu besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan dan ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penelitian yang penulis lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Udara Bebas Diluar Ruangan Terhadap Kondisi Udara Didalam Ruangan Pada Penggunaan 2 Unit Ac Type Split Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Cfd)*. (N.D.).
- [2] ANSYS 2023 R1. (2013). ANSYS Fluent Theory Guide. ANSYS Inc., USA, 15317(November), 814.
- [3] Hamzah, B. (2014). *PENGALIRAN UDARA UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG KELAS DENGAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (Vol. 14, Issue 2).
- [4] Hamzah, B., Rahim, M. R., Ishak, M. taufik, & Sahabuddin. (2023). Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(1), 24–31.
- [5] Hasibuan, J. A., Ajiwiguna, T. A., & Prawirasasra, M. S. (2019). Study of the Effect of Installing Mechanical Ventilation on Co2 Levels in Rooms Using Split Ac. *E-Proceeding of Engineering*, 6(1), 1339–1345.
- [6] Rusmana, S., Research, M. F.-P. I., & 2022, undefined. (2022). Pengaturan Konsentrasi CO₂ Ruang Menggunakan Exhaust Fan Berbasis Inverter Vsd dan Plc. *Jurnal.Polban.Ac.IdSF Rusmana, MA FalahuddinProsiding Industrial Research Workshop and National Seminar, 2022•jurnal.Polban.Ac.Id*, 13–14.
- [7] Talarosha, B. (2017a). Jendela dan Dampaknya terhadap Konsentrasi CO₂ di dalam Ruang Kelas, Kajian Literatur. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(4), 188–195.
- [8] Talarosha, B., & Rosardy, V. (2018). Konsentrasi Co₂ Pada Ruang Kelas Dengan Sistem Ventilasi Alami, Tipe Jendela Gantung Atas. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 1(1), 137–144.
- [9] Widiarta, I. P., Suarda, M., Sucipta, M., &

- Sukadana, I. G. K. (2022). Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan. *Jurnal METTEK*, 8(2), 83.
- [10] Yani, A., Suhardiyanto, H., Hasbullah, R., Purwanto A A Departemen, B. P., Produksi, I., & Peternakan, T. (2007). *Analisis dan Simulasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)*.