

Pengembangan Lingkungan Virtual yang Dinamis untuk Simulasi Pencarian Sumber Bau

Muis Muhtadi

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: muis.muhtadi.ft@um.ac.id

Paper received: 05-07-2021; revised: 11-08-2021; accepted: 18-09-2021

Abstract

The search for odor sources by robotics-based systems still faces several challenges, including providing a realistic test environment for the development and testing process. Providing a real test environment with different conditions requires a high cost and a long time. With the development of increasingly sophisticated computing techniques and lower prices for computer equipment, currently the use of computer simulation techniques to build virtual environments that depict real environments is increasingly being used. The development of this virtual test environment can be done more quickly at a lower cost with an adequate level of accuracy. Among the numerical computational techniques for environmental simulation involving fluid flow is Computational Fluid Dynamics (CFD). This article describes a case study of developing a simulation of odor dispersion by convective airflow in an enclosed space using CFD software. This simulation aims to produce a virtual environment that is used as a test environment for the development of odor source search techniques by robotics systems.

Keywords: computational fluid dynamics; cfd simulation; dynamic virtual environment; airflow; odor distribution

Abstrak

Pencarian sumber bau oleh sistem berbasis robotika masih menghadapi beberapa tantangan diantaranya adalah penyediaan lingkungan pengujian yang realistis untuk proses pengembangan dan pengujian. Penyediaan lingkungan pengujian nyata yang dengan berbagai kondisi yang berbeda-beda memerlukan biaya yang tinggi dan waktu yang lama. Dengan perkembangan teknik komputasi yang semakin canggih dan harga perangkat komputer yang semakin rendah, saat ini penggunaan teknik simulasi komputer untuk membangun lingkungan virtual yang menggambarkan lingkungan nyata semakin banyak digunakan. Pembangunan lingkungan pengujian virtual ini bisa dilakukan dengan lebih cepat dengan biaya lebih rendah dengan tingkat keakuratan yang cukup memadai. Diantara teknik komputasi numerik untuk simulasi lingkungan yang melibatkan aliran fluida adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Artikel ini menguraikan studi kasus pengembangan simulasi penyebaran bau oleh aliran udara konvektif di dalam ruang tertutup menggunakan software CFD. Simulasi ini bertujuan untuk menghasilkan lingkungan virtual yang digunakan sebagai lingkungan pengujian untuk pengembangan teknik pencarian sumber bau oleh sistem robotika.

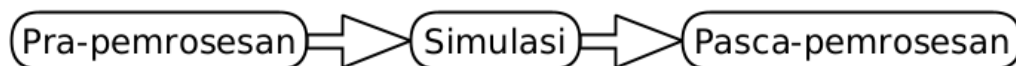
Kata kunci: computational fluid dynamics; simulasi cfd; lingkungan virtual dinamis; airflow; odor distribution

1. Pendahuluan

Sistem pencarian sumber bau oleh sistem robotika telah menjadi topik penelitian yang aktif selama tiga dekade terakhir. Berbagai teknik pencarian telah dikembangkan untuk kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Suatu model lingkungan yang realistis diperlukan dalam proses pengembangan, pengoptimalan dan pengujian teknik pencarian. Ada dua pendekatan yang sering digunakan dalam penelitian teknik pencarian ini, yakni eksperimen dan simulasi. Pada pendekatan eksperimen proses pengembangan, pengoptimalan dan

pengujian dilakukan berdasarkan pada model lingkungan nyata. Sedangkan pada pendekatan simulasi rangkaian proses tersebut dilakukan pada model lingkungan virtual. Dalam upaya pengembangan teknik pencarian sumber bau yang optimal, model lingkungan yang memiliki karakteristik yang konsisten, utamanya karakteristik aliran udara (airflow) dan persebaran bau, sangat diperlukan sebagai lingkungan pengujian. Pada pendekatan eksperimen, sulit mewujudkan model lingkungan dengan karakteristik yang konsisten pada tiap perulangan eksperimen. Sementara pada pendekatan simulasi, model lingkungan virtual bisa direproduksi dengan karakteristik yang konsisten. Di sisi lain, dengan semakin meningkatnya kemampuan komputer serta harganya yang semakin terjangkau, penggunaan teknik simulasi komputer menjanjikan proses penelitian yang lebih cepat dengan harga yang lebih murah. Model lingkungan pengujian virtual dengan simulasi aliran udara di dalamnya bisa diwujudkan dengan simulasi CFD.

Tersedia berbagai pilihan software CFD yang banyak digunakan untuk mensimulasikan model lingkungan virtual, baik itu yang bersifat komersial maupun yang bersifat open source. Apapun pilihan software CFD yang digunakan, secara umum proses simulasi CFD terbagi dalam tiga tahapan utama yang berurutan: pra-pemrosesan, simulasi, dan pasca-pemrosesan, sebagaimana digambarkan pada Gambar 1. Ketiga proses ini saling terkait satu sama lain.



Gambar 1. Tahapan simulasi CFD.

1.1. Pra-pemrosesan

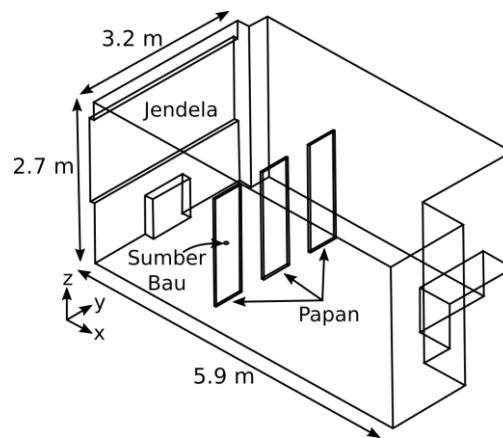
Simulasi CFD yang melibatkan aliran udara pada umumnya dilaksanakan dengan menyelesaikan seperangkat persamaan diferensial yang tergantung pada kondisi batas dan kondisi awal dari domain simulasi. Proses komputasi penyelesaian ini dilakukan oleh suatu paket program yang disebut solver. Dalam proses komputasi, solver mengambil parameter input yang mencakup:

1. Domain komputasi. Simulasi dilaksanakan pada suatu ruang yang menjadi target simulasi yang telah mengalami proses pembagian menjadi elemen-elemen ruang yang lebih kecil. Komputasi numerik simulasi dilakukan pada elemen-elemen tersebut.
2. Metode simulasi dari berbagai fenomena yang disimulasikan yang meliputi aliran fluida, energi, transportasi materi, dan berbagai fenomena terkait lainnya yang diperhitungkan dalam simulasi.
3. Nilai-nilai konstanta fisik, kondisi batas, dan kondisi awal domain komputasi.

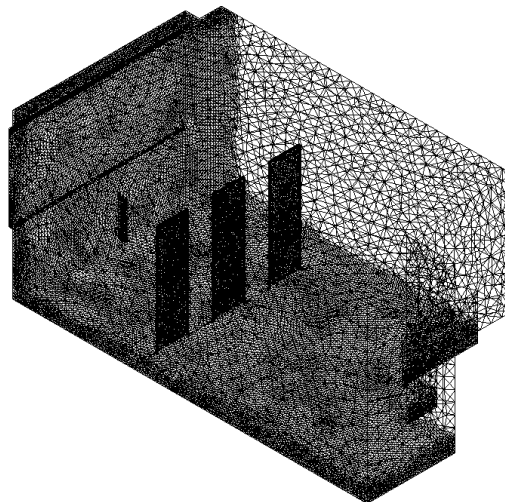
Dengan demikian, dalam rangka pengkondisian dan penyediaan parameter input dari solver tersebut, beberapa tahapan pra-pemrosesan perlu dilakukan sebelum proses simulasi dijalankan. Tahapan utama pra-pemrosesan ini meliputi empat bidang, yakni: penentuan geometri, diskritisasi spasial, dan pengaturan solver.

1.2. Penentuan geometri

Penentuan geometri bertujuan untuk membatasi domain komputasi. Domain simulasi ini bisa berupa bidang 2D atau ruang 3D yang mewakili lingkungan fisik dunia nyata yang dijadikan model. Bentuk geometri ini bisa dibangun menggunakan berbagai software Computer Aided Design (CAD). Geometri bisa memiliki bentuk apa saja baik itu 2D maupun 3D asalkan merupakan bidang atau ruang tertutup. Bidang atau ruang didalam geometri diperhitungkan dalam komputasi sementara diluarnya tidak diperhitungkan. Contoh dari geometri bisa dilihat pada Gambar 2 yang telah digunakan pada sebuah penelitian teknik pencarian sumber bau (Muhtadi & Nakamoto, 2018). Geometri ini merupakan model tiruan dari suatu ruang tertutup nyata (Ghinea et al., 2011). Ruang ini memiliki satu jendela tertutup pada satu sisinya dan pada lantainya terdapat sumber bau, yakni, lubang untuk memancarkan gas bau, dan tiga buah papan.



Gambar 2. Geometri ruang tertutup (direproduksi dari Muhtadi & Nakamoto (2018)).



Gambar 3. Hasil diskritisasi spasial dari geometri.

1.3. Diskritisasi spasial

Simulasi CFD memerlukan pembagian domain geometri menjadi sejumlah subdomain yang lebih kecil dan tidak saling tumpang tindih dalam rangka penghitungan solusi dari

persamaan model matematis aliran fluida yang terjadi di dalam geometri yang telah dibuat. Pembagian ini menghasilkan sel-sel mesh (atau grid) yang memenuhi seluruh domain geometri (Blazek, 2015; Tu et al., 2018)]. Proses pembagian ini disebut diskritisasi spasial yang disebut juga meshing atau grid generation. Terdapat berbagai pilihan tipe bentuk sel mesh yang bisa dipilih untuk meshing, antara lain: tetrahedron, hexahedron, wedge, pyramid dan polyhedron (Inc, 2017a).

Tingkat akurasi dari solusi CFD sangat dipengaruhi oleh jumlah sel-sel mesh dalam domain komputasi. Meskipun secara umum peningkatan jumlah sel akan meningkatkan tingkat akurasi dari solusi, tingkat akurasi ini juga dipengaruhi banyak faktor lain, seperti tipe bentuk sel mesh, tingkat akurasi dari metode numerik, dan kesesuaian teknik-teknik yang dipilih (melalui pengaturan solver) dengan kondisi fisik dari bidang permasalahan. Tingkat akurasi solusi juga sangat bergantung pada batasan kapasitas komputasi perangkat komputer yang digunakan dan waktu perputaran kalkulasi yang ditentukan pada pengaturan solver .

Gambar 3 menunjukkan hasil proses meshing pada geometri menggunakan automatic method pada ANSYS Fluent . Dengan automatic method, tipe bentuk sel mesh akan dipilhkan oleh software ANSYS, yang umumnya merupakan gabungan dari berbagai bentuk sel, untuk mencapai hasil yang optimal sesuai dengan bentuk geometri. Seperti terlihat pada gambar ini, ukuran sel mesh di sekitar jendela, lantai, dan papan berukuran lebih kecil karena diperkirakan pada daerah tersebut terjadi dinamika aliran udara dan fraksi massa gas bau yang lebih tinggi dari daerah lainnya. Oleh karena itu diperlukan proses komputasi simulasi yang lebih teliti pada daerah tersebut sehingga bisa diperoleh solusi yang lebih akurat pada daerah tersebut.

1.4. Pengaturan solver

Pada bagian ini akan dijelaskan secara ringkas sebagian dari pengaturan solver, yakni: penentuan materi penyusun model fisik, penentuan model aliran fluida, dan penentuan konstanta fisik, kondisi batas, dan kondisi awal domain komputasi.

1.4.1. Penentuan materi penyusun model fisik

Pada tahap ini, jenis materi dari unsur-unsur penyusun model fisik didefinisikan. ANSYS Fluent menyediakan pilihan berbagai jenis materi beserta sifat-sifat fisiknya yang bisa dipergunakan sebagai materi penyusun model fisik. Materi-materi ini terbagi menjadi enam kategori, yakni: fluida (fluid), padat (solid), campuran (mixture), partikel pembakaran (combusting-particle), partikel droplet (droplet-particle) dan partikel lembam (inert-particle) . Pada kasus penelitian pencarian sumber bau ini, parameter model fisik yang ditentukan adalah: jenis gas yang mengisi ruang, jenis gas yang dipancarkan oleh sumber bau, laju emisi gas bau, jenis bahan padat yang menyusun ruang dan temperaturnya.

Pada simulasi ini, gas ethanol (C_2H_5OH) digunakan sebagai materi gas bau sedangkan campuran udara dan gas ethanol digunakan sebagai materi pengisi ruang. Gas ethanol banyak digunakan pada eksperimen pencarian sumber bau karena relatif tidak berbahaya dan tidak mahal. Maka dalam simulasi CFD, gas ethanol juga cukup populer dipilih sebagai sumber bau untuk memudahkan proses validasi menggunakan eksperimen. Sebagai

bahan padat penyusun ruang, aluminium digunakan sebagai materi dinding pembatas dan jendela. Sebagai sumber bau, lubang memancarkan gas ethanol dengan laju 50 m l/s.

1.4.2. Penentuan model aliran fluida

Aliran fluida alami secara umum bersifat turbulenta. Dalam simulasi CFD, terdapat beberapa pilihan metode simulasi aliran turbulenta. Metode-metode simulasi ini pada umumnya termasuk kedalam tiga kategori atau kombinasinya, yakni: Direct Numerical Simulation (DNS), Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), dan Scale-Resolving Simulation (SRS) (Inc, 2017b). Tiap-tiap metode ini memiliki tingkat kompleksitas, akurasi yang berbeda-beda. Semakin tinggi tingkat kompleksitasnya, maka semakin tinggi pula tingkat akurasinya namun membutuhkan proses komputasi lebih lama (Tabatabaian, 2015). Sehingga pemilihan metode penyelesaian ini perlu disesuaikan dengan tingkat akurasi yang dibutuhkan oleh aplikasi dari hasil simulasi. Dalam hal ini metode turbulensi yang paling populer digunakan di dunia industri adalah model k-ε standar yang merupakan salah satu model dari RANS. Model ini memiliki tingkat kompleksitas yang tidak terlalu tinggi namun secara umum memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk banyak aplikasi.

1.4.3. Penentuan konstanta fisik, kondisi batas, dan kondisi awal domain komputasi

Diantara konstanta fisik yang diperhitungkan dalam simulasi ini adalah besaran percepatan gravitasi adalah 9.81 m/s^2 . Penentuan kondisi batas adalah pemberian definisi dan penentuan jenis materi dari semua bidang yang membatasi geometri yang merupakan ruang tertutup sebagaimana terlihat pada Gambar 2, yang terdiri dari jendela, dinding, lantai, langit-langit, papan pembatas, dan lubang sumber bau. Sedangkan materi pengisi interior dari geometri adalah fluida. Sementara penentuan kondisi awal mendefinisikan keadaan fisik di awal simulasi, yakni: energi kinetik turbulenta sebesar $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$, besar laju disipasi turbulenta sebesar $1 \text{ m}^2/\text{s}^3$, temperatur interior sebesar $15 \text{ }^\circ\text{C}$, dan fluida pengisi geometri merupakan udara (tidak mengandung gas ethanol). Ringkasan parameter model fisik yang digunakan dalam simulasi ini bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter solver CFD.

Parameter	Nilai Parameter
Sumber bau	Gas ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
Laju emisi bau	50 m l/m in
Materi	
• Dinding ruangan	Aluminium
• Fluida	Campuran ethanol dan udara
Temperatur awal	
• Jendela	10 $^\circ\text{C}$
• Lain	15 $^\circ\text{C}$
• Tipe	Pressure-based
• Mode simulasi	Transient
• Gravitasi	9.81 m/s^2
• Model aliran fluida	Turbulent, $k - \epsilon$ standar
• Energi kinetik turbulenta	1 m^2/s^2
• Laju disipasi turbulenta	1 m^2/s^3
• Time step	0.1 s

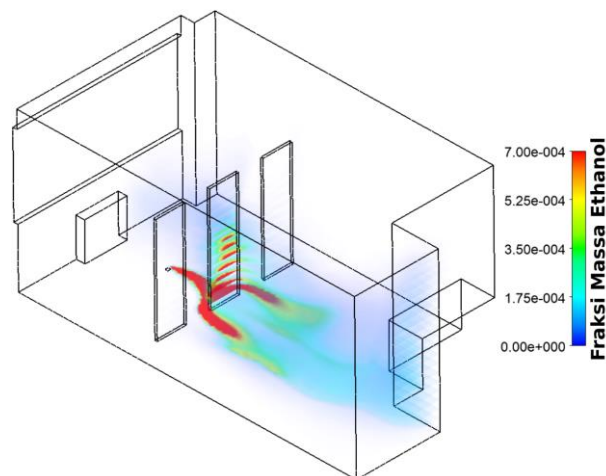
2. Metode

Proses simulasi ini pada dasarnya adalah proses komputasi oleh solver. Simulasi ini diperuntukkan untuk mengembangkan lingkungan pengujian yang konsisten untuk pengembangan teknik pencarian sumber bau. Dalam pencarian sumber bau, suatu sistem robotik, yang bisa terdiri dari sebuah robot atau lebih, melakukan pencarian jejak bau dan ketika berhasil mendeteksinya, sistem robotik bergerak mengikuti jejak bau tersebut menuju sumber bau. Jejak bau yang bergerak karena terbawa aliran udara berubah-ubah struktur dan konsentrasinya terhadap waktu. Sehingga untuk pengembangan dan pengujian teknik ini, lingkungan pengujian yang diperlukan adalah lingkungan yang karakteristik fisiknya berubah secara dinamis terhadap waktu. Pada simulasi CFD, mode simulasi yang diperlukan untuk menghasilkan simulasi yang memasukkan komponen waktu adalah mode *transient*. Pada mode ini, solver melakukan komputasi pada tiap langkah waktu (*time step*) yang besarnya 0.1 detik, dan output-nya yang berupa data fenomena fisik yang disimulasikan yang terdistribusi dalam ruang 3D dan disimpan secara serial terhadap waktu. Proses simulasi ini bisa memakan waktu beberapa jam hingga beberapa hari yang sangat dipengaruhi oleh kompleksitas simulasi dan spesifikasi perangkat komputer yang digunakan.

Di awal simulasi, di dalam ruangan tertutup tidak ada aliran udara. Kemudian aliran udara konvektif terbentuk secara alami karena adanya perbedaan temperatur udara (15 °C) dan jendela (10 °C). Untuk kepentingan studi pengembangan teknik pencarian sumber bau, sumber bau mulai memancarkan bau ketika aliran udara konvektif sudah cukup kuat. Maka simulasi ini dijalankan dalam dua tahap. Pertama, simulasi dijalankan tanpa pancaran gas bau selama 10 menit hingga terbentuk aliran udara konvektif yang sudah cukup kuat. Kedua, simulasi dilanjutkan dengan pancaran gas bau selama 10 menit.

3. Hasil dan Pembahasan

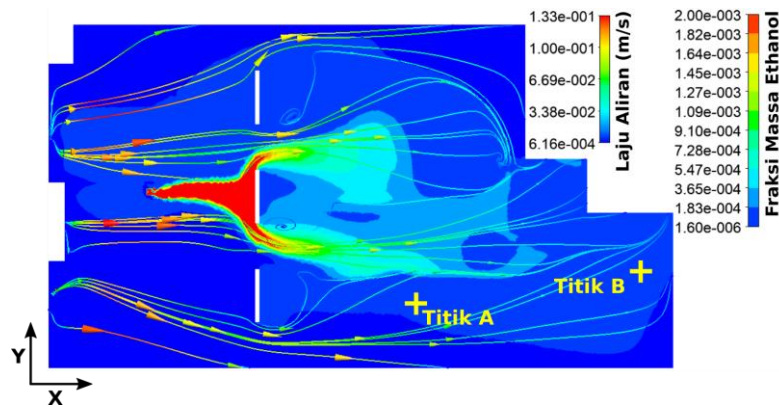
Hasil simulasi CFD bisa diamati secara visual menggunakan suatu software visualisasi seperti ANSYS CFD-Post atau ParaView (software open source). Dengan software tersebut, hasil simulasi ini bisa dijalankan seperti suatu video yang menampilkan model fisik dengan proses penyebaran bau oleh aliran udara yang berubah terhadap waktu. Pengamatan mendalam bisa dilakukan secara 3D dengan pengaturan sudut pandang dan perbesaran. Visualisasi hasil dari simulasi ini menggunakan ANSYS CFD-Post bisa dilihat pada Gambar 4. Gambar ini menunjukkan distribusi gas ethanol pada saat lubang gas telah memancarkan gas selama 200 detik.



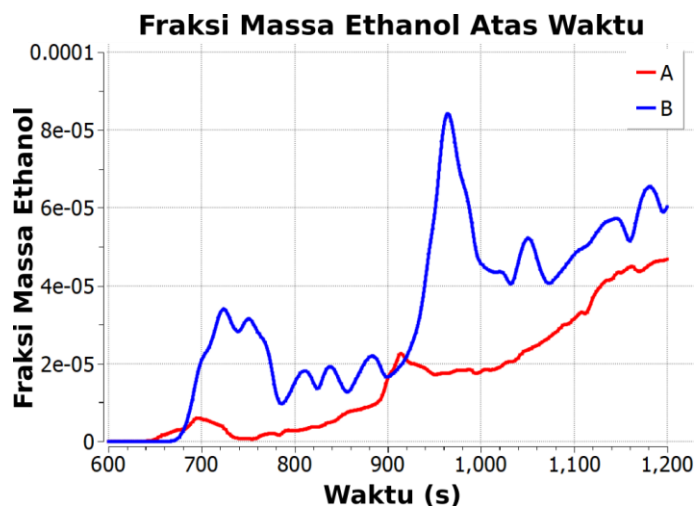
Gambar 4. Distribusi gas ethanol dalam ruang tertutup pada saat lubang gas telah memancarkan gas selama 200 detik.

Untuk keperluan pengembangan teknik pencarian sumber bau, tidak semua data hasil simulasi CFD yang digunakan. Namun hanya data persebaran bau pada ketinggian yang bersesuaian dengan posisi sensor bau yang digunakan. Pada kasus robot pencarian sumber bau yang memiliki sensor bau pada pada posisi 5 cm dari lantai, maka irisan data 2D sejajar lantai pada ketinggian 5 cm diatas lantai yang digunakan (Muhtadi & Nakamoto, 2018).

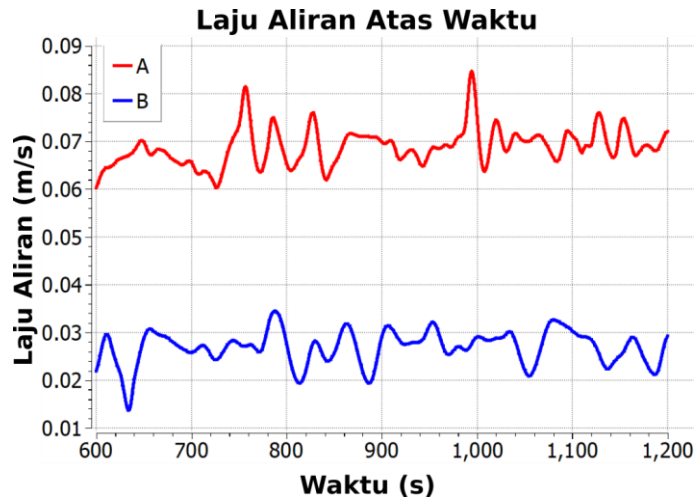
Untuk melakukan pengamatan pola persebaran bau di atas lantai, suatu irisan data diambil pada ketinggian 5 cm di atas lantai seperti yang terlihat pada Gambar 5. Karakteristik fluktuasi fraksi massa gas bau atas waktu pada titik A dan B pada Gambar 5 ditampilkan pada Gambar 6. Sementara karakteristik laju udara atas waktu pada titik A dan B pada Gambar 5 ditampilkan pada Gambar 7. Pemahaman secara umum atas profil distribusi bau pada ruang dan dinamikanya seiring waktu ini sangat diperlukan untuk perancangan teknik pencarian sumber bau.



Gambar 5. Distribusi bau pada ketinggian 5 cm di atas lantai pada 200 detik sejak sumber bau mulai memancarkan gas bau.



Gambar 6. Fraksi massa bau pada titik A dan titik B sejak sumber bau mulai memancarkan gas bau.



Gambar 7. Laju aliran udara pada titik A dan titik B sejak sumber bau mulai memancarkan gas bau.

4. Simpulan

Penggunaan simulasi CFD bisa menghasilkan lingkungan virtual dengan aliran udara dan distribusi bau yang kompleks dan dinamis. Pembangunan lingkungan virtual menggunakan simulasi CFD yang relatif cepat dibandingkan pembangunan lingkungan nyata memberikan kemudahan dalam menyiapkan berbagai macam lingkungan pengujian yang realistis. Bergantung kebutuhan aplikasinya, tingkat akurasi yang diinginkan dari simulasi ini bisa dicapai melalui pengaturan solver dan pemilihan parameternya yang sesuai dengan kondisi fisik dari bidang permasalahan.

Daftar Rujukan

- Blazek, J. (2015). *Computational fluid dynamics: principles and applications*. Butterworth-Heinemann.
- Ghinea, G., Andres, F., & Gulliver, S. (2011). *Multiple sensorial media advances and applications: new developments in MulSeMedia*. IGI Global.
- Inc, A. (2017a). *ANSYS FLUENT Meshing User Guide* (Vol. 18, Issue 2, p. 189).
- Inc, A. (2017b). *ANSYS FLUENT User Guide*. 18(2), 753–75.
- Muhtadi, M., & Nakamoto, T. (2018). Plume tracking strategy in turbulent environment using odor sensor with time constant. *Sensors and Materials*, 30(9), 2009–2021.
- Tabatabaian, M. (2015). *COMSOL5 for Engineers*. Stylus Publishing, LLC.
- Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. (2018). *Computational fluid dynamics: a practical approach*. Butterworth-Heinemann.