

PEMODELAN DAN SIMULASI NUMERIK SEBARAN AIR PANAS *SPRAY POND* MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA

Arif Fatahillah^{1*}, Susi Setiawani¹, Novian Nur Fatimah¹
Prodi Pendidikan Matematika, FKIP, Universitas Jember, Indonesia

Abstrak: Pencemaran lingkungan saat ini telah menjadi permasalahan yang umum dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contoh pencemaran adalah adanya aktifitas pembuangan limbah air panas dari pembangkit tenaga listrik dan pendingin mesin-mesin industri yang ada di pabrik gula. Masuknya limbah air yang masih panas dari *spray pond* ke sungai dalam jumlah besar dapat memberikan dampak negatif bagi kehidupan biota sungai di sekitarnya. Oleh karena itu, pengkajian tentang pola sebaran air panas dari *spray pond* perlu dilakukan untuk dapat mengetahui temperatur air yang ada di *spray pond* dapat dialirkan ke sungai tanpa harus mengganggu biota sungai tersebut. Metode volume hingga akan digunakan untuk menganalisis sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula. Untuk menyelesaikan model matematika menggunakan software *MATLAB*, dan untuk proses simulasi sebaran air panas dilakukan menggunakan software *FLUENT*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dibutuhkan tekanan air yang tinggi agar proses penurunan temperatur air panas yang dikeluarkan dari *spray pond* semakin mendekati temperatur lingkungan dan penyebarannya air semakin luas.

Kata Kunci: pencemaran lingkungan, *spray pond*, sebaran air panas, pemodelan matematika, metode volume hingga

PENDAHULUAN

Matematika merupakan salah satu disiplin ilmu yang penting dalam kehidupan sehari-hari yang didefinisikan dengan jelas, cermat, akurat, dan representasinya lebih banyak menggunakan simbol-simbol. Matematika itu bukanlah ilmu pengetahuan menyendiri yang dapat sempurna karena dirinya sendiri, akan tetapi adanya hubungan dengan ilmu lainnya dapat menyelesaikan masalah yang ada di kehidupan sehari-hari dan mempermudah menyelesaikan permasalahan tersebut. Permasalahan dalam kehidupan sehari-hari dapat meliputi berbagai bidang, diantaranya adalah di bidang pendidikan, bidang industri, bidang pertanian, bidang perkebunan, dan sebagainya. Salah satu penerapan yang bisa di aplikasikan di bidang industri ialah penggunaan metode volume hingga pada sebaran air panas dari hasil pengolahan pabrik pada *spray pond* di pabrik gula.

Pencemaran lingkungan saat ini telah menjadi permasalahan yang umum dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah pencemaran adanya aktifitas pembuangan limbah air panas dari pembangkit tenaga listrik dan pendingin mesin-mesin industri yang ada di pabrik gula. Oleh karena itu, dampak dari buangan limbah air panas ini perlu dikaji dengan lebih mendalam agar perubahan temperatur air tidak mengganggu proses metabolisme organisme sungai.

e-mail : arif.fkip@unej.com

Pengoperasian suatu instalasi di suatu pabrik yang berbahan bakar minyak bumi, batubara, maupun ampas padat limbah pabriknya, umumnya menggunakan air sungai sebagai pendingin. Air sungai yang telah digunakan sebagai pendingin ini dibuang kembali ke sungai. Untuk menurunkan temperatur sebelum dibuang ke sungai, air pendingin dialirkan melalui suatu kolam pendingin yang disebut *spray pond*. Namun, air pendingin yang masuk kembali ke sungai masih saja memiliki temperatur di atas temperatur lingkungan sungai (Novarina, 2012).

Hal ini akan mendorong manusia untuk mencari solusi atas pemecahan masalah-masalah tersebut yang secara tidak langsung dapat mendorong berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi. Sebaran polutan limbah air panas dari *spray pond* ke sungai tergantung pada beberapa faktor yaitu volume limbah air panas yang berada di *spray pond*, temperatur limbah air panas, luas dari *spray pond*, banyaknya pipa penyemprot di *spray pond* dan sirkulasi air yang terdapat di *spray pond* tersebut. Pengkajian tentang pola sebaran air panas dari *spray pond* perlu dilakukan untuk dapat mengetahui temperatur dan tekanan air yang ada di *spray pond* dapat dialirkan ke sungai tanpa harus mengganggu biota sungai tersebut.

Dalam penelitian ini akan dibangun suatu model persamaan diferensial matematika berdasarkan persamaan momentum dan persamaan energi yang dibentuk dalam dua dimensi. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan model yang telah terbentuk secara numerik adalah metode volume hingga. Metode volume hingga merupakan metode diskritisasi yang sangat baik digunakan untuk simulasi numerik karena nilai ketelitian menggunakan metode ini sangat tinggi (Fatahillah, 2014). Model matematika sebaran air panas yang terjadi di *spray pond* yang merupakan aktifitas pembuangan limbah air panas ke lingkungan akan dibentuk menggunakan metode volume hingga kemudian dianalisis secara numerik dengan bantuan *MATLAB*. Simulasi pola sebaran air panas yang terjadi di *spray pond* dilakukan dengan bantuan *FLUENT*.

Penelitian ini dilakukan untuk mendesain model matematika sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula menggunakan metode volume hingga, mengetahui hasil analisis temperatur awal sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula menggunakan metode volume hingga, mengetahui hasil analisis temperatur awal sebaran air panas terhadap tekanan air di *spray pond*, dan untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis faktor temperatur sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula.

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika, kemudian menjadi sumber bacaan bagi para peneliti lain yang ingin melakukan penelitian dalam bidang pemodelan matematika. Penelitian ini juga dapat menambah pengetahuan baru dalam bidang pemodelan matematika, yaitu mengetahui pemodelan sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula, serta dapat memberikan kontribusi kepada pabrik yang membuang limbah air panas ke lingkungan bagaimana pemodelan sebaran air panas *spray pond* agar tidak berbahaya bagi lingkungan saat sudah dikeluarkan dari *spray pond*.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian studi kasus. Peneliti membandingkan variabel-variabel yang berpengaruh pada proses sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula berdasarkan faktor temperatur dan tekanan air, dalam pemodelan matematika menggunakan metode Volume Hingga dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan (Yin, 2003).

Penelitian ini dibutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yang merupakan suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Prosedur penelitian terdapat rancangan penelitian dan teknik penelitian. Rancangan penelitian merupakan rencana yang menggambarkan atau menjelaskan apa yang hendak diteliti dan bagaimana penelitian dilaksanakan (Arikunto, 2006). Teknik penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan langkah-langkah dalam menyelesaikan pemodelan matematika secara numerik.

Efektivitas metode volume hingga dalam menyelesaikan model sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula dapat dilihat dari besar *error* (kesalahan), selisih nilai iterasi terakhir dengan iterasi sebelumnya atau panjangnya iterasi dengan nilai toleransi yang diberikan. Nilai toleransi yang digunakan pada penelitian ini adalah $10e-10$.

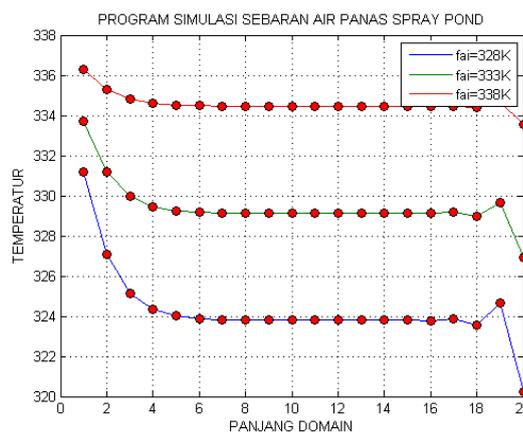
HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan pembangun yang dipakai adalah persamaan momentum dan persamaan energi yaitu:

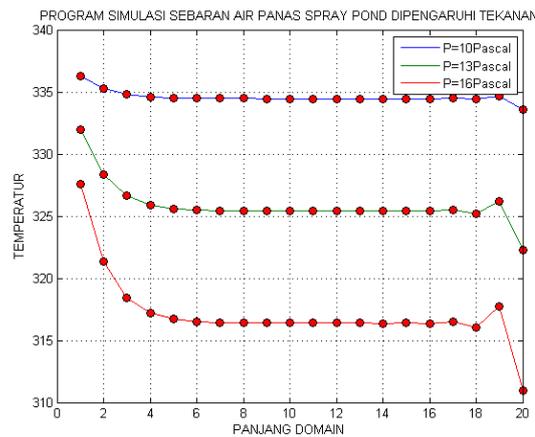
$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial x} + \nabla \rho h u_i u_j = \nabla p - \rho \nabla g_i + \frac{h}{\rho} \nabla (\nabla \tau_{ij}) + \frac{g n^2}{(h^{1/6})} (u_i + u_j) (u_i^2 + u_j^2)^{1/2}$$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial x} + \nabla u_i u_j = k \nabla (\nabla \tau_0) + \nabla (-p \bar{u}_i - \frac{1}{2} \rho \bar{u}_i \bar{u}_i - \mu \bar{u}_i - \rho \bar{u}_i^2)$$

Selanjutnya persamaan akan diselesaikan dengan metode volume hingga. Penyelesaian sistem persamaan linier diselesaikan dengan menggunakan teknik diskritisasi *QUICK*. Dalam penelitian ini dilakukan dua kali tahap simulasi program *Matlab*. Simulasi pertama dilakukan untuk mengetahui pengaruh penurunan temperatur pada sebaran air panas *spray pond*. Simulasi kedua dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap tekanan air yang dikeluarkan dari pipa *spray pond*. Simulasi pada gambar 5 menggunakan metode iterasi gauss seidel. Grafik pada Gambar 5(a) input yang dimasukkan yaitu diskritisasi sumbu-x sebesar 20 dan sumbu-y sebesar 1 dengan temperatur awal yang digunakan yaitu 328 Kelvin, 333 Kelvin, dan 338 Kelvin. Tekanan air yang digunakan yaitu 10 Pascal. Pada Gambar 5(a) terlihat bahwa grafik temperatur mengalami penurunan temperatur. Ketiga grafik yang berawal dari temperatur yang berbeda mengalami penurunan temperatur. Semakin panjang domain, maka semakin turun temperatur air yang disemprotkan dari *spray pond*. Dari grafik tersebut dapat dilihat pula bahwa semakin rendah temperatur awal yang dikeluarkan oleh pipa semprot maka semakin cepat juga dalam proses penurunannya.



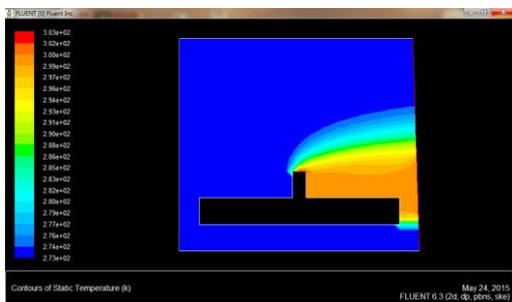
Gambar 1. Hasil simulasi Sebaran Air Panas *Spray Pond* dipengaruhi Temperatur Awal

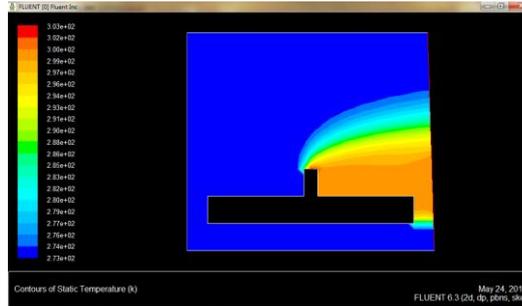


Gambar 2. Hasil Simulasi Sebaran Air Panas *Spray Pond* dipengaruhi Tekanan Awal

Selain simulasi untuk mengetahui pengaruh temperatur awal dari air yang keluar dari pipa semprot *spray pond*, faktor lain yakni tekanan yang diberikan pada saat penyemprotan juga disimulasikan. Hasil dari simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 5(b). Gambar 5(b) merupakan hasil simulasi dengan temperatur awal 328 K, 333 K, dan 338 K dan juga tekanan air yang berbeda 10 Pascal, 13 Pascal, dan 16 Pascal. Dari grafik yang dihasilkan, terlihat jelas bahwa terjadi penurunan temperatur. Semakin rendah tekanan air yang diberikan maka penurunan temperatur juga semakin rendah. Oleh karena itu dibutuhkan tekanan air yang tinggi agar proses penurunan temperatur air panas yang dikeluarkan dari *spray pond* semakin banyak.

Simulasi dengan *software FLUENT* dilakukan sebanyak dua kali dan menghasilkan 6 gambar. Simulasi pertama merupakan simulasi sebaran air panas *spray pond* yang dipengaruhi oleh tekanan air, dan simulasi yang kedua adalah simulasi sebaran air panas *spray pond* yang dipengaruhi oleh temperatur awal air yang keluar dari pipa.



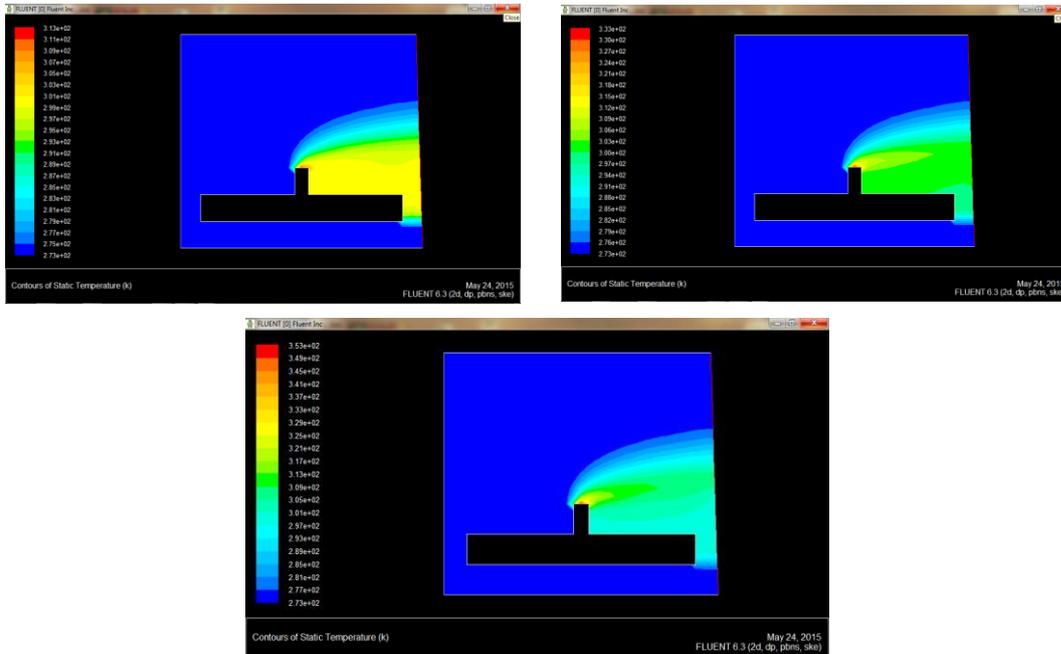


Gambar 3. Simulasi sebaran air panas *spray pond* dengan tekanan 10, 20, dan 30 Pascal

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa terjadi penyebaran air yang keluar dari pipa *spray pond* dengan tekanan yang diberikan adalah 10, 20 dan 30 pascal. Hasil simulasi dapat dilihat adalah temperatur awal air keluar dari pipa adalah 303 Kelvin, kemudian setelah disemprotkan temperatur dari air berkurang menjadi 299 Kelvin yang terletak di sekitar pipa, sedangkan air yang semprotannya lebih ke atas pipa penurunan temperaturnya lebih banyak yaitu sampai dengan temperatur 285 Kelvin mendekati temperatur udara sekitar. Proses pendinginan air panas yang keluar dari pipa ini sangat dipengaruhi oleh temperatur yang ada di luar pipa, oleh karena itu temperatur yang ada di luar pipa harus lebih dingin dibanding dengan temperatur air yang keluar agar pendinginan air lebih optimal. Simulasi pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tekanan pada saat menyemprotkan air sangat berpengaruh pada sebaran penyemprotan air, karena semakin ke atas sebaran air panas maka temperaturnya semakin rendah. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 3 penyebaran air yang keluar dari pipa *spray pond* dengan tekanan yang diberikan adalah 20 pascal, ternyata sebaran air panasnya semakin luas, simulasi sebarannya lebih menjulang ke atas pipa dibandingkan dengan tekanan awal yang diberikan 10 pascal. Temperatur awal yang diberikan adalah sama dengan simulasi pertama, yaitu 303 Kelvin. Proses sebaran air semprotan dari pipa lebih menjulang ke atas dan penurunan temperaturnya lebih meluas dengan suhu 299 Kelvin, temperatur air semprotan semakin ke atas semakin berkurang menuju temperatur sekitar lingkungan yaitu 282 Kelvin. Berdasarkan simulasi Gambar 3 dengan tekanan awal yang diberikan adalah 30 pascal. Perbedaan dengan simulasi sebelumnya tidak terlalu signifikan, akan tetapi proses sebaran lebih meluas lagi dibanding dengan tekanan awal 10 pascal atau 20 pascal. Temperatur awal yang diberikan adalah sama dengan simulasi pertama dan kedua, yaitu 303 Kelvin. Simulasi dengan tekanan awal 30 pascal lebih meluas di atas pipa penyebarannya dengan temperatur yang keluar awal 303 Kelvin, kemudian temperatur turun menjadi 299 Kelvin, semakin ke atas temperatur berkurang lagi menjadi 294 Kelvin, dan

penyebaran paling atas temperatur sudah mendekati dengan temperatur sekitar lingkungan yaitu 280 Kelvin.

Selain pengaruh tekanan terhadap temperatur, simulasi kedua menggunakan *Fluent* adalah yang dipengaruhi oleh temperatur awal air panas yang keluar dari pipa *spray pond*. Dengan temperatur awal *in* air adalah 313 Kelvin, 333 Kelvin, dan 353 Kelvin.



Gambar 4. Simulasi sebaran *spray pond* dengan temperatur awal 313, 333 dan 353 Kelvin

Gambar 4 (a) merupakan simulasi sebaran air panas *spray pond* dengan temperatur awal 313 Kelvin, air keluar dari pipa dengan temperatur 313 Kelvin kemudian menyebar ke arah samping kanan pipa mengikuti arah angin dengan penurunan temperatur yang di tunjukkan dengan warna kuning muda dengan temperatur 301 Kelvin, lebih ke atas penyebarannya warna menjadi hijau dengan penurunan temperatur menjadi lebih dingin 293 Kelvin, dan penyebaran paling maksimal mengalami penurunan temperatur hingga 277 Kelvin yang hampir sama dengan temperatur sekitar lingkungan. Selanjutnya adalah simulasi sebaran air panas *spray pond* yang dipengaruhi temperatur awal 333 Kelvin yang ditunjukkan pada Gambar 4 (b). Temperatur air yang keluar dari pipa adalah 333 Kelvin kemudian menyemprot bergerak ke arah samping kanan dengan penurunan temperatur menjadi 309 Kelvin dan semakin jauh dengan pipa *spray pond* temperatur menjadi 303 Kelvin. Penyebaran air panas semakin ke atas pipa juga mengalami penurunan temperatur menjadi 282 Kelvin yang mendekati temperatur sekitar lingkungan. Simulasi yang terakhir pada Gambar 4(c) merupakan simulasi sebaran air panas *spray pond* yang dipengaruhi temperatur awal sebesar

353 Kelvin. Proses sebaran air panas sama dengan simulasi lainnya, akan tetapi pada keluaran air dengan temperatur 353 Kelvin ini mengalami penurunan temperatur lebih cepat, dikarenakan temperatur udara lingkungan jauh lebih dingin dibandingkan air yang disemprotkan. Mula-mula air menyemprot dengan temperatur 353 Kelvin, kemudian tidak jauh menyemprot air sudah mengalami penurunan temperatur menjadi 313 Kelvin. Meskipun demikian temperatur yang dihasilkan setelah penyemprotan masih belum mendekati temperatur lingkungan. Dengan begitu, temperatur awal yang dikeluarkan oleh pipa *spray pond* sangatlah mempengaruhi proses pendinginan air. Semakin tinggi temperatur yang dikeluarkan maka air yang didinginkan tidak mendekati temperatur lingkungan sekitar.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu model matematika sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula diselesaikan secara numerik dengan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *QUICK*. Dari model matematika sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula menggunakan metode volume hingga dengan menggunakan *software Matlab* dan *Fluent* maka didapatkan hasil analisis temperatur awal sebaran air panas *spray pond* adalah semakin panjang domain, maka air yang disemprotkan semakin mengalami penurunan temperatur menuju ke temperatur normal lingkungan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, hasil analisis temperatur awal sebaran air panas terhadap tekanan air di *spray pond* adalah semakin rendah tekanan air yang diberikan maka penurunan temperatur juga semakin rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan tekanan air yang tinggi agar proses penurunan temperatur air panas yang dikeluarkan dari *spray pond* semakin banyak dan penyebarannya air semakin luas, serta penggunaan metode volume hingga sangat efektif dalam menyelesaikan model matematika tentang sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula, karena nilai penurunan temperatur yang dihasilkan dari metode iterasi Gauss Seidell yang didapatkan kurang dari nilai toleransi yang ditentukan yaitu $10e-10$, maka iterasi berhenti dan dapat dikatakan konvergen. Sehingga nilai tersebut mendekati nilai sebenarnya.

Saran yang diberikan berdasarkan hasil penelitian tentang sebaran air panas *spray pond* di pabrik gula adalah asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini dapat dihilangkan dengan melakukan penelitian lebih lanjut untuk melakukan penelitian yang baru, pemodelan sebaran air panas *spray pond* yang telah dibentuk dapat dikembangkan lagi

dengan metode lain, dan simulasi sebaran air panas *spray pond* menggunakan metode volume hingga ini sebaiknya menggunakan laptop yang memiliki kapasitas *memory* yang cukup banyak agar saat *run* program tidak menunggu lama dan lebih efisien waktu pengerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT. Asdi Mahasatya.

Fatahillah, Arif. dkk. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. Scholargoogle. Jember: University of Jember.

Novarina, dkk. 2012. *Kajian Parameter Suhu dalam Baku Mutu Air Limbah Industri Gula Jenis Air Limbah Kondensor di Jawa Tengah*. Prosiding. Semarang: Universitas Diponegoro.

Yin, R. K. 2003. *Case Study Research: Design and Methods (3rd ed.)* Thousand Oaks, CA: Sage Publications.