

Simulasi Sebaran Abu Pabrik Kapur Menggunakan Metode Beda Hingga

Kresna Oktafianto¹, Ahmad Zaenal Arifin², Nazilatul Fatihah³, Ridho Awanda⁴

¹Prodi Matematika Universitas PGRI Ronggolawe, kresnaoktafianto@unirow.ac.id

² Prodi Matematika Universitas PGRI Ronggolawe, az_arifin@unirow.ac.id

³ Prodi Matematika Universitas PGRI Ronggolawe, fatihahnazilatul@gmail.com

⁴Prodi Matematika Universitas PGRI Ronggolawe, ridhoawanda17@gmail.com

DOI 10.31102/zeta.2019.4.2.34-39

ABSTRACT

Air pollution is one of the problems that needs to be resolved quickly because its impact is very dangerous for human life, especially it can interfere with health of the respiratory system. One source of air pollution is pollutants arising from burning limestone. In Tuban Regency, East Java, there are many factories that carry out limestone burning activities, most of the factories are spread in the area of Plumpang and Rengel districts. Therefore the research team conducted research on the spread of lime mill ash using the Difference method. The research resulted in several conclusions, namely: 1) The area affected by an active ring covering an area of 72.5 m 2) Factors affecting the affected area are wind speed, wind direction, and the content of pollutants 3) Distribution of pollutants is limited in time and a certain area, as proven by a long time the concentration of pollutants will decrease.

Keywords: Air Pollution, Finite Difference Method, Limestone Factory

ABSTRAK

Pencemaran udara adalah salah satu masalah yang perlu cepat diselesaikan karena dampaknya yang sangat berbahaya bagi kehidupan manusia, terutama dapat mengganggu kesehatan pada sistem pernafasan. Salah satu sumber dari pencemaran udara yaitu polutan yang ditimbulkan dari pembakaran batu kapur. Di kabupaten Tuban Jawa Timur terdapat banyak pabrik yang melakukan aktifitas pembakaran batu kapur, sebagian besar pabrik tersebar pada daerah kecamatan Plumpang dan kecamatan Rengel. Oleh karena itu tim peneliti melakukan penelitian tentang penyebaran abu pabrik kapur dengan menggunakan metode Beda Hingga. Dari penelitian tersebut menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu : 1) Daerah yang terdampak oleh satu jubung aktif seluas 72,5 m 2) Faktor yang berpengaruh pada luas area terdampak adalah kecepatan angin, arah angin, serta kandungan dari polutan 3) Penyebaran polutan terbatas pada waktu dan luas daerah tertentu, terbukti dengan waktu yang lama konsentrasi polutan akan semakin menurun.

Kata Kunci: Metode Beda Hingga, Pabrik Kapur, Pencemaran Udara

1. PENDAHULUAN

Udara adalah salah satu kebutuhan bagi manusia yang sangat perlu mendapatkan perhatian khusus. Kualitas udara dapat terganggu karena adanya pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Salah satu bentuk pencemaran udara adalah debu atau polutan bertebaran yang berasal dari pabrik-pabrik industri. Berdasarkan pertumbuhan industri yang semakin meningkat maka debu yang ditimbulkan akan semakin bertambah terutama pada industri pabrik kapur.

Pabrik kapur bertempat di beberapa provinsi di Indonesia yang berkembang dengan begitu pesat, salah satu provinsi adalah Jawa Timur. Posisi geografis Jawa Timur yang sangat strategis menempatkan daerah ini sebagai salah satu kutub pertumbuhan ekonomi penting di Indonesia, khususnya untuk wilayah Indonesia bagian timur. Salah satunya pada daerah Tuban Jawa Timur.

Pabrik kapur yang terletak di Tuban, sebagian besar tersebar di daerah kecamatan Plumpang dan kecamatan Rengel, diantaranya PT. Pentawira dan PT. Timbul Persada. Keduanya merupakan pabrik dengan ijin yang jelas, selain itu terdapat jubung-jubung milik warga yang tidak memiliki ijin. Adanya jubung-jubung ini sangat memberikan dampak yang serius pada masyarakat sekitar. Hal ini disebabkan cerobong asap yang keluar menimbulkan polusi yang sangat mengganggu kesehatan masyarakat.

Polusi yang dihasilkan oleh jubung pabrik kapur ini sangat meresahkan warga. Hal ini lantaran jubung beroperasi setiap hari dan mengeluarkan polutan yang pekat. Dampak yang terlihat dari adanya pabrik ini adalah rumah-rumah warga, jalan raya, serta tumbuhan tertutupi oleh debu berwarna putih dan tebal. Polutan yang dihasilkan mengandung gas dan juga zat kimia yang berbahaya yaitu CO_x , NO_x (total konsentrasi dari NO dan NO_2), SO_x , SPM (*suspended particulate matter*), O_x , dan berbagai logam berat (Budiyono A, 2001).

Dari permasalahan tersebut perlu adanya upaya mengurangi penyebaran debu. Dengan mengetahui besar konsentrasi dan sebaran debu dari emisi gas pembuangan industri, dapat diprediksi tingkat kualitas udara di suatu wilayah sehingga dapat diambil tindakan preventif oleh pihak-pihak terkait, seperti pemerintah (Jamaluddin, 2012). Untuk mengetahui berapa besar konsentrasi polutan yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan dan apakah konsentrasi pada lokasi dan waktu tertentu sudah melewati ambang batas yang ditentukan atau belum serta proyeksinya ke depan diperlukan suatu penelitian. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan simulasi model penyebaran polutan di suatu tempat yang terintegrasi waktu dengan metode numerik beda hingga (*finite-difference*) (Arifin, A. Z. dkk, 2019).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti (Iqbal, 2019). Dalam kelangsungan hidup tumbuhan, hewan dan manusia udara adalah suatu komponen dari kehidupan yang paling penting (Romon, O. dkk, 2016). Dalam UU RI Nomor 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara yang menyebutkan bahwa pencemaran udara merupakan proses dimasukkan atau masuknya suatu zat energi, yang berasal dari komponen lain ke udara karena kegiatan manusia, yang menyebabkan mutu udara turun hingga ketinggian tertentu yang membuat udara tersebut tidak mampu memenuhi fungsinya (Romon, O. dkk, 2016) Pencemaran udara bersumber dari faktor alami seperti seperti letusan gunung berapi, kebakaran hutan alami, dan pencemaran udara akibat dari gas-gas alam, maupun faktor antropogenik seperti industri dan transportasi (Soedomo, 2001).



Gambar 1. Aktifitas Pembakaran Batu Kapur

2.2 Metode Beda Hingga

Metode beda hingga adalah metode numerik yang umum digunakan untuk menyelesaikan persoalan teknis dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Prinsipnya adalah mengganti turunan yang ada pada persamaan differensial dengan diskritisasi beda hingga berdasarkan deret Taylor.

Beberapa macam skema differensi beda hingga akan dijelaskan sebagai berikut (Supriyatna, 2008):

- Beda Hingga Skema Maju

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_{i+1}^{n+1} - f_{i+1}^n}{\Delta t}$$

- Beda Hingga Skema Mundur

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_i^{n+1} - f_i^n}{\Delta t}$$

- Beda Hingga Skema Tengah (ruang)

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_{i+1}^{n+1} - 2f_i^{n+1} + f_i^n}{2\Delta t}$$

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Membentuk Model Numerik Metode Beda Hingga

Metode beda hingga dapat diterapkan dalam penyelesaian persamaan pada suatu analisis tekanan, transfer panas, pencemaran udara dan persamaan gelombang. Dalam metode beda hingga konsep utama melalui ekspansi Taylor, dimana gradien atau suku differensial orde satu (∇) dan differensial gradien atau suku differensial orde dua (∇^2) dapat dicari dengan suatu pendekatan (Supriyatna, 2008).

Pendekatan suku differensial orde 1 dengan beda maju:

$$\frac{dc}{dx} \cong \frac{C_{i+1,j}-C_{i,j}}{h} \text{ dan } \frac{dc}{dy} \cong \frac{C_{i,j+1}-C_{i,j}}{k}$$

$$\frac{dC}{dt} \cong \frac{C_{i,j}^{m+1} - C_{i,j}^m}{\Delta t}$$

Pendekatan suku differensial orde 2:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \cong \frac{C_{i+1,j}-2C_{i,j}+C_{i-1,j}}{h^2} \text{ dan } \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \cong \frac{C_{i,j+1}-2C_{i,j}+C_{i,j-1}}{k^2} \quad (1)$$

Dengan menerapkan pendekatan beda-hingga untuk suku differensial orde 1 dan 2, persamaan (1) berubah menjadi:

$$\frac{C_{i,j}^{m+1}-C_{i,j}^m}{\Delta t} = -V_x \frac{C_{i+1,j}-C_{i,j}}{h} - V_y \frac{C_{i,j+1}-C_{i,j}}{k} + D \frac{C_{i+1,j}-2C_{i,j}+C_{i-1,j}}{h^2} + D \frac{C_{i,j+1}-2C_{i,j}+C_{i,j-1}}{k^2} + Q \quad (2)$$

$$C_{i,j}^{m+1} - C_{i,j}^m = -V_x \frac{\Delta t}{h} [C_{i+1,j} - C_{i,j}] - V_y \frac{\Delta t}{k} [C_{i,j+1} - C_{i,j}] + D \frac{\Delta t}{h^2} [C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}] + D \frac{\Delta t}{k^2} [C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}] + Q \cdot \Delta t \quad (3)$$

Karena digunakan lebar grid yang sama ($k = h$).

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j}^m - V_x \frac{\Delta t}{h} [C_{i+1,j} - C_{i,j} - V_y \frac{\Delta t}{k} [C_{i,j+1} - C_{i,j}] + D \frac{\Delta t}{h^2} + D \frac{\Delta t}{k^2} [C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}] + Q \cdot \Delta t \quad (4)$$

Misal:

$$\lambda_x = V_x \frac{\Delta t}{h}; \lambda_y = V_y \frac{\Delta t}{k}; \alpha_x = D \frac{\Delta t}{h^2};$$

$$\alpha_y = D \frac{\Delta t}{k^2}$$

Maka diperoleh:

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j}^m - \lambda_x (C_{i+1,j} - C_{i,j}) - \lambda_y (C_{i,j+1} - C_{i,j}) + \alpha_x (C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}) + \alpha_y (C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}) \quad (5)$$

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j}^m - \lambda_x C_{i+1,j} + \lambda_x C_{i,j} - \lambda_y C_{i,j+1} + \lambda_y C_{i,j} + \alpha_x C_{i+1,j} - \alpha_x 2C_{i,j} + \alpha_x C_{i-1,j} + \alpha_y C_{i,j+1} - \alpha_y 2C_{i,j} + \alpha_y C_{i,j-1} \quad (6)$$

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j}^m + \lambda_x C_{i,j} + \lambda_y C_{i,j} - \alpha_x 2C_{i,j} - \alpha_y 2C_{i,j} - \lambda_x C_{i+1,j} + \alpha_x C_{i+1,j} + \alpha_x C_{i-1,j} - \lambda_y C_{i,j+1} + \alpha_y C_{i,j+1} + \alpha_y C_{i,j-1} \quad (7)$$

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j} (1 + \lambda_x + \lambda_y - 2\alpha_x - 2\alpha_y) + C_{i+1,j} (-\lambda_x + \alpha_x) + C_{i-1,j} (\alpha_x) + C_{i,j+1} (-\lambda_y + \alpha_y) + C_{i,j-1} (\alpha_y) \quad (8)$$

Jika, $\alpha_1 = \alpha_x - \lambda_x$; $\alpha_2 = \alpha_x$; $\beta_1 = \alpha_y - \lambda_y$;

$$\beta_2 = \alpha_y; \gamma = 1 + \lambda_x + \lambda_y - 2\alpha_x - 2\alpha_y$$

Maka,

$$C_{i,j}^{m+1} = C_{i,j} \cdot \gamma + C_{i+1,j} \cdot \alpha_1 + C_{i-1,j} \cdot \alpha_2 + C_{i,j+1} \cdot \beta_1 + C_{i,j-1} \cdot \beta_2 \quad (9)$$

Misal, $i = 1, j = 1$

Disubstitusikan ke persamaan (9), diperoleh:

$$C_{1,1} = C_{1,1} \cdot \gamma + C_{2,1} \cdot \alpha_1 + 0 + C_{1,2} \cdot \beta_1 + 0$$

Misal, $i = 2, j = 1$

Disubstitusikan ke persamaan (9), diperoleh:

$$C_{2,1} = C_{2,1} \cdot \gamma + C_{3,1} \cdot \alpha_1 + C_{1,1} \cdot \alpha_2 + C_{2,2} \cdot \beta_1 + 0$$

Dilanjutkan sampai matriks $m \times n$, hingga diperoleh matriks beda hingga sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \gamma & \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \beta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_2 & \gamma & \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \beta_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 & \gamma & \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_2 & \gamma & \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \beta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & \beta_1 \\ \beta_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & \gamma & \alpha_1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & \gamma & \alpha_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}^{m+1} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

Penyelesaiannya dapat menggunakan metode numerik. Persamaan model difusi-adveksi diselesaikan dengan metode beda hingga, yang menghasilkan suatu solusi persamaan sebagai berikut (Supriyatna, 2008):

1. Adveksi

Dari persamaan (4) diambil bagian adveksi, $C_{x,j} = C_{i,j} - V_x (C_{i+1,j} - C_{i,j})$, perubahan di $i - 1$. Karena yang diubah $i - 1$, maka menjadi sebagai berikut:

$$C_{x,j} = C_{i,j} - V_x \cdot C_{i,j} + V_x \cdot C_{i-1,j} \quad (10)$$

Misalkan, $V_x = \alpha_x$. Maka

$$C_{x,j} = (1 - \alpha_x) C_{i,j} + \alpha_x \cdot C_{i-1,j} \quad (11)$$

j diganti dengan $(j - 1)$, sehingga

$$C_{x,j-1} = (1 - \alpha_x)C_{i,j-1} + \alpha_x C_{i-1,j-1} \quad (12)$$

$$C_{x,y} = C_{x,j} - V_y(C_{x,j+1} - C_{x,j})$$

Diubah ke $(j - 1)$, sehingga

$$C_{x,y} = C_{x,j} - V_y(C_{x,j} - C_{x,j-1}) \quad (13)$$

Misalkan, $V_y = \alpha_y$. Maka

$$C_{x,y} = (1 - \alpha_y)(C_{x,j} - C_{x,j-1}) \quad (14)$$

2. Difusi

Langkah difusi pada Euler-Lagrange mencari konsentrasi titik saat t_{n+1} dengan persamaan berikut (Supriyatna, 2008):

$$|C|_{x_i, y_i(t_{n+1}), t_{n+1}} - \Delta t |\nabla \cdot (D \nabla C) + Q|_{x_i(t_{n+1}), t_{n+1}} = C|x_i, y_i(t_n), t_n| \quad (15)$$

Dengan nilai konsentrasi pada $C|x_i, y_i(t_n), t_n|$ telah didapatkan pada langkah adveksi. Hasil dari langkah difusi ini yang digunakan untuk menentukan nilai dari t_{n+1} sampai t_{n+2} . Lalu diasumsikan bahwa nilai koefisien difusi D tidak mengalami perubahan lokasi serta waktunya, maka persamaan (15) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C|x_i, y_i(t_{n+1}), t_{n+1}| = C|x_i, y_i(t_n), t_n| + \Delta t |\nabla \cdot (D \nabla C) + Q| \quad (16)$$

$$C|x_i, y_i(t_{n+1}), t_{n+1}| = C|x_i, y_i(t_n), t_n| + \Delta t |D \nabla^2 C + Q| \quad (17)$$

Dari persamaan (7) diambil bagian difusi,

$$C_{i,j} = C_{i,j} + D \frac{\Delta t}{h^2} [C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}] + D \frac{\Delta t}{h^2} [C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}] \quad (18)$$

Karena lebar grid yang digunakan sama, maka ($k = h$), sehingga dapat dimisalkan:

$$D \frac{\Delta t}{h^2} = D \frac{\Delta t}{h^2} = \alpha$$

Maka diperoleh:

$$\begin{aligned} C_{i,j} &= C_{i,j} + \alpha C_{i+1,j} - 2\alpha C_{i,j} + \alpha C_{i-1,j} + \\ &\alpha C_{i,j+1} - 2\alpha C_{i,j} + \alpha C_{i,j-1} \\ C_{i,j} &= (1 - 2\alpha - 2\alpha)C_{i,j} + \alpha C_{i+1,j} + \alpha C_{i-1,j} + \\ &\alpha C_{i,j+1} + \alpha C_{i,j-1} \\ C_{i,j} &= (1 - 4\alpha)C_{i,j} + \alpha C_{i+1,j} + \alpha C_{i-1,j} + \\ &\alpha C_{i,j+1} + \alpha C_{i,j-1} \end{aligned} \quad (19)$$

Misalkan $\gamma = (1 - 4\alpha)$, maka diperoleh persamaan difusi:

$$C_{i,j} = \gamma C_{i,j} + \alpha C_{i+1,j} + \alpha C_{i-1,j} + \alpha C_{i,j+1} + \alpha C_{i,j-1} \quad (20)$$

3. Interpolasi Bilinier

Intrapolasi bilinier digunakan pada langkah adveksi untuk mengetahui nilai konsentrasi polutan pada titik asal jalur transport. Adapun persamaan yang digunakan pada interpolasi adalah sebagai berikut (Supriyatna, 2008).

$$a_x = \frac{(i-x)}{h}, \quad a_y = \frac{(j-y)}{h} \quad (21)$$

$$C_{x,j} = \alpha_x C_{i-1,j} + (1 - \alpha_x)C_{i,j} \quad (22)$$

$$C_{x,j-1} = \alpha_x C_{i-1,j-1} + (1 - \alpha_x)C_{i,j-1} \quad (23)$$

$$C_{x,y} = \alpha_y C_{x,j} + (1 - \alpha_y)C_{x,j-1} \quad (24)$$

3.2 Perhitungan Konsentrasi dengan Adveksi

Perhitungan konsentrasi dengan adveksi diawali dengan meninjau persamaan (22). Persamaan tersebut digunakan untuk kecepatan yang konstan terhadap waktu. Yang mana jarak tempuh dari partikel polutan sebesar $\Delta x = v_x \Delta t$ dan untuk waktu t_{n+1} partikel berjalan sejauh Δx . Konsentrasi karena faktor adveksi untuk node i didapatkan dengan meninjau ulang pada titik awal partikel saat waktu ke t_n dikarenakan titik $(x_i, y_i)|t_n$ tidak selalu berada pada node tertentu, maka tidak jarang dilakukan proses interpolasi. Metode interpolasi bilinear adalah metode interpolasi yang digunakan dalam penentuan konsentrasi menggunakan persamaan pada metode interpolasi bilinear. Jika saat proses meninjau ulang mendapatkan hasil titik diluar daerah yang diamati, maka konsentrasinya sama dengan titik perpotongan diantara jalur polutan dengan batasnya (dimana untuk hal ini memiliki nilai 0).

3.3 Perhitungan Laju Konsentrasi Menggunakan Difusi

Perhitungan laju konsentrasi dapat dilakukan dengan mensubstitusikan nilai yang dihasilkan pada perhitungan dengan menggunakan adveksi pada persamaan (24) dan mensubstitusikan hasilnya ke dalam proses difusi pada persamaan (20).

3.4 Simulasi

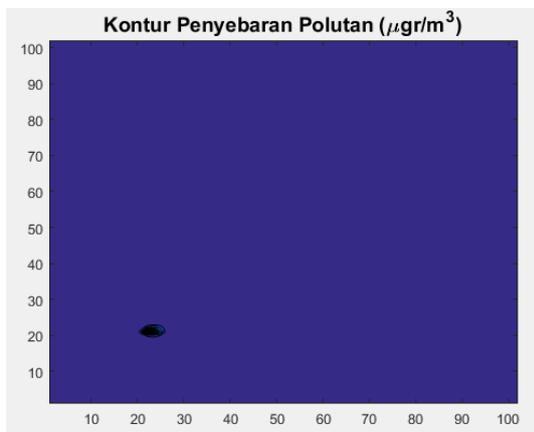
Langkah awal dalam melakukan simulasi adalah dengan menginputkan parameter-parameter yang digunakan dalam proses penyebaran polutan. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi penyebaran polutan adalah sebagai berikut

Tabel 1. Parameter pada Simulasi Penyebaran Polutan

parameter	Nilai
Kecepatan angin	1
Sudut tiupan angin	60
Koefisien dispersi	0.5
Dimensi grid	10
Waktu	3600
Perpindahan waktu (dt)	15
Beban emisi	39.1

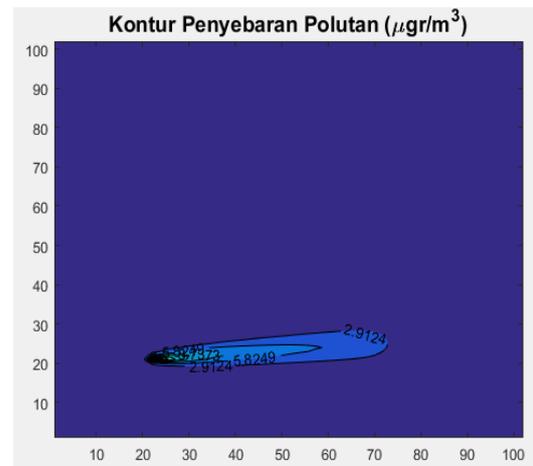
Sumber: Survei Maret 2019

Setelah dilakukan input parameter-parameter penyebaran polutan, langkah selanjutnya adalah dengan menampilkan grafik kontur pusat polutan dengan lama waktu 0 menit yang artinya belum terjadi penyebaran di sekitar area abu pabrik kapur. Dalam hal ini ditunjukkan pada simulasi grafik kontur pusat polutan terhadap x dan y pada koordinat (20,20). Grafik kontur pusat polutan dapat dilihat pada Gambar 2.



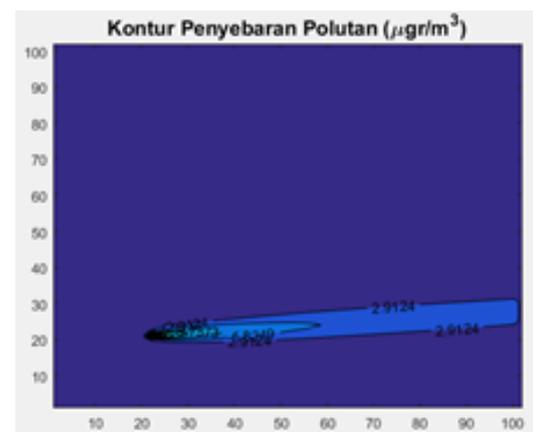
Gambar 2. Kontur Pusat Polutan

Simulasi selanjutnya dilakukan dengan lama waktu 15 menit dengan kecepatan angin 0.5 m/s menghasilkan penyebaran abu atau polutan dari jubung pabrik kapur sampai jarak 72.5 m dengan konsentrasi emisi sangat pekat yang berada pada range 0.1 – 0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk konsentrasi emisi pekat dengan range 0.07 – 0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menyebar sampai pada jarak lebih dari 20 meter dari pusat kontur polutan. Sedangkan konsentrasi emisi kurang pekat dengan range 0.04 – 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menyebar sampai pada jarak lebih dari 50 meter dari pusat kontur polutan. Semakin jauh jarak penyebaran dengan pusat kontur polutan maka konsentrasi emisi semakin berkurang yaitu dengan range 0.02 – 0.001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Grafik penyebaran polutan dalam waktu 15 menit dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyebaran Polutan saat t = 15 menit

Selanjutnya dilakukan simulasi dengan kecepatan angin 2.1 m/s menghasilkan penyebaran abu atau polutan dari jubung pabrik kapur hanya berjarak 50 m dengan konsentrasi emisi sangat pekat yang berada pada range 0.1 – 0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk konsentrasi emisi pekat dengan range 0.07 – 0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menyebar sampai pada jarak 15-60 meter dari pusat kontur polutan. Sedangkan konsentrasi emisi kurang pekat dengan range 0.04 – 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menyebar sampai pada jarak 60-80 meter dari pusat kontur polutan. Semakin jauh jarak penyebaran dengan pusat kontur polutan maka konsentrasi emisi semakin berkurang yaitu dengan range 0.02 – 0.001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Grafik penyebaran polutan dalam waktu 30 menit dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penyebaran Polutan saat t = 30 menit

Terlihat bahwa konsentrasi polutan semakin lama semakin menyebar dan nilai konsentrasi semakin kecil karena bertambahnya waktu. Sedangkan faktor yang mempengaruhi luas area terdampak adanya abu atau polutan pabrik kapur yaitu kecepatan angin yang salah satunya arah angin, serta konsentrasi emisi polutan.

4. KESIMPULAN

Daerah yang terdampak oleh satu jubung pabrik kapur aktif seluas 72,5 meter. Dari penelitian tersebut terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pada luas area yang terdampak yaitu kecepatan angin, arah angin, serta kandungan dari polutan. Penyebaran polutan terbatas pada waktu dan luas daerah tertentu, terbukti dengan waktu yang lama konsentrasi polutan akan semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, A. Z. (2019). Sebaran Debu Jubung Pabrik Kapur dengan *Gaussian Plume*. *Journal Math Vision*, Vol. 01, No. 02 (2019), pp. 27-30.
- Budiyono, A. (2001). Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan, *Berita Dirgantara Majalah Ilmiah Semi Populer*. Vol. 2 No. 1 Maret 2001, pp. 21-27.
- Iqbal. (2019). *Pencemaran Udara*. Diakses tanggal 10 Oktober 2019.
- Jamaluddin, D. (2012). Penggunaan Metode Numerik Bada Hingga untuk Penyelesaian Persamaan Model Sebaran Pencemaran Udara (NO_2). *Jurnal Materi dan Pendidikan Fisika*, pp.42-44.
- Romon, O., Aly, S.H., Runtulalo, D. (2016). *Analisis Penyebaran Polutan (CO_2) Kendaraan Bermotor Berbasis Model Dispersi Gauss*. Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Soedomo. (2001). *Pencemaran Udara*. Bandung.
- Supriyatna, N. (2008). *Model Simulasi Penyebaran Polutan dengan Pendekatan Bada Hingga*. Tesis, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.