

An Agent-Based Simulation Model to Analyze the Impact of Land Use Change, Climate Change, and Pest Attacks on the Decline of Rice Production in Central Java

Erik Setiawan¹, Rena Hartini Natang², Widya Anggrianita³

¹Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Gombong;

²Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Gombong;

³Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Gombong

Email : ¹alucat211@yahoo.com, ²renahartini.natang2103@gmail.com, ³manggrianitawidya@gmail.com

Abstract — The data obtained from the Central Statistics Agency (BPS) indicates a sharp decline in rice production in Central Java, reflecting the presence of a critical point caused by factors such as land use change, climate change, and pest infestations. The graph associated with the data shows a drastic decrease in production, approaching zero, which signals a failure in the agricultural sector. This phenomenon highlights the sector's vulnerability to environmental changes, requiring policy intervention and changes in agricultural practices. The Agent-Based Modeling (ABM) approach through simulations using NetLogo can help understand the interactions between various agents such as farmers, pests, and government policies, as well as predict the impacts of environmental or policy changes. This simulation is useful for designing more effective policies to reduce losses and ensure the sustainability of food production in the future.

Keywords: rice production decline, land use change, climate change, pest infestations, Agent-Based Modeling, NetLogo, agricultural policy.

Intisari — Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) mengindikasikan penurunan tajam dalam produksi padi di Jawa Tengah, yang mencerminkan adanya titik kritis akibat faktor-faktor seperti alih fungsi lahan, perubahan iklim, dan serangan hama. Grafik yang terhubung dengan data tersebut memperlihatkan penurunan produksi yang semakin mendekati nol, menunjukkan kegagalan dalam sektor pertanian. Fenomena ini menyoroti kerentanannya terhadap perubahan lingkungan, yang memerlukan intervensi kebijakan dan perubahan dalam praktik pertanian. Pendekatan *Agent-Based Modeling* (ABM) melalui simulasi dengan NetLogo dapat membantu memahami interaksi antara berbagai agen seperti petani, hama, dan kebijakan pemerintah, serta memprediksi dampak dari perubahan lingkungan atau kebijakan yang ada. Simulasi ini berguna untuk merancang kebijakan yang lebih efektif dalam mengurangi kerugian dan menjaga keberlanjutan produksi pangan di masa depan.

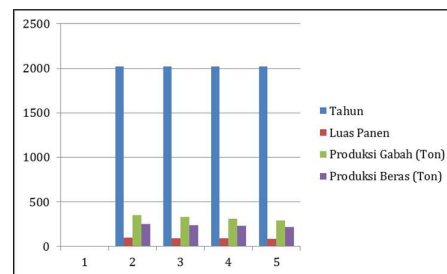
Kata kunci: penurunan produksi padi, alih fungsi lahan, perubahan iklim, serangan hama, Agent-Based Modeling, NetLogo, kebijakan pertanian.

I. PENDAHULUAN

Provinsi Jawa tengah merupakan salah satu lumbung padi utama di Indonesia, yang mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap produksi beras nasional. Selain itu, juga menjadi penopang utama ketahanan pangan Indonesia. Dalam beberapa tahun terakhir produktivitas padi dan beras di Provinsi Jawa Tengah mengalami penurunan. Dari data yang ada menunjukkan adanya penurunan luas panen, produksi gabah, dan produksi beras setiap tahunnya. Situasi ini menimbulkan pertanyaan tentang keberlanjutan sektor pertanian di Provinsi Jawa Tengah, terutama dalam menghadapi kebutuhan pangan yang terus meningkat. (Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia. (2022). Statistik Pertanian 2022).

Penurunan produktivitas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor utamanya adalah lahan pertanian yang beralih fungsi menjadi area perumahan, industri dan infrastruktur lainnya. Selain lahan pertanian, faktor lainnya yang mempengaruhi penurunan produktivitas padi dan beras di Jawa tengah adalah faktor perubahan iklim dengan cuaca yang semakin tidak menentu menyebabkan gangguan pada musim tanam, sehingga mempengaruhi hasil panen. Masalah lain yang berkontribusi pada penurunan produktivitas padi dan beras

adalah serangan hama dan penyakit yang sering kali merusak tanaman padi dan menyebabkan gagal panen. (Wibowo, A. (2020). Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Pertanian di Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 45(2), 101-110).



Gambar 1. Histogram Pengaruh luas panen terhadap produksi gabah dan beras

Luas lahan pertanian di Kebumen terus berkurang seiring dengan konversi lahan untuk keperluan perumahan dan industri. Berdasarkan data dari BPS, Kebumen memiliki luas lahan sawah yang cukup signifikan, namun dalam beberapa tahun terakhir, luas lahan tersebut mengalami penurunan yang

cukup tajam. Pada Gambar 1 tersedia Data Produktivitas Pertanian Padi di Kabupaten Kebumen (Berdasarkan Data Sensus BPS).

Selain itu, penurunan produktivitas pertanian di Kebumen juga dipengaruhi oleh perubahan iklim dengan kondisi cuaca yang tidak menentu dan serangan hama. Penurunan produksi padi dan beras sangat berdampak luas pada perekonomian daerah. Banyak petani kecil yang bergantung pada hasil panen untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kesejahteraan dan kesehatan masyarakat juga menurun karena kekurangan sumber pangan. Kondisi ini membutuhkan solusi yang berkelanjutan, untuk meningkatkan kembali produktivitas pertanian di Jawa Tengah.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai penurunan produksi padi di Jawa Tengah dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif, yang bertujuan untuk menggali secara mendalam faktor-faktor yang memengaruhi hasil pertanian di provinsi ini. Metode kualitatif dipilih karena dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika yang terjadi di lapangan, termasuk tantangan yang dihadapi oleh petani, kebijakan yang diterapkan oleh pemerintah daerah, serta dampak perubahan sosial dan ekonomi terhadap sektor pertanian. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat mengidentifikasi berbagai variabel yang mungkin tidak terlihat melalui pendekatan kuantitatif, seperti pola perilaku petani, persepsi mereka terhadap kebijakan pemerintah, dan hambatan-hambatan yang terkait dengan pengelolaan lahan dan sumber daya alam.

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), yang menyediakan informasi yang sangat penting terkait dengan produksi padi dan beras di Jawa Tengah selama beberapa tahun terakhir. Data tersebut mencakup informasi mengenai luas panen, jumlah produksi gabah, serta faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi hasil pertanian, seperti cuaca, harga pasar, dan perubahan teknologi pertanian. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan wawancara dengan petani lokal, penyuluh pertanian, dan pemangku kebijakan setempat untuk memperoleh pandangan yang lebih holistik tentang permasalahan yang ada. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penyebab penurunan produksi padi, serta memberikan rekomendasi yang relevan bagi pengambil kebijakan untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Jawa Tengah, baik dari segi luas panen maupun kualitas hasil pertanian yang dihasilkan.

Tabel 1 menunjukkan pengaruh luas panen terhadap produksi gabah dan beras di Indonesia antara tahun 2020 hingga 2023. Selama periode tersebut, luas panen mengalami penurunan bertahap dari 100.000 hektar pada tahun 2020 menjadi 85.000 hektar pada tahun 2023, yang berimbas langsung pada penurunan produksi gabah dari 350.000 ton menjadi 290.000 ton. Selain itu, produksi beras juga mengalami penurunan, meskipun dengan tingkat penurunan yang lebih kecil, yakni dari 250.000 ton pada 2020 menjadi 220.000 ton pada 2023. Penurunan produksi gabah dan beras ini

mencerminkan dampak dari berkurangnya luas lahan yang digunakan untuk panen padi, meskipun efisiensi konversi gabah menjadi beras mungkin memengaruhi perbedaan tingkat penurunan antara keduanya. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan adanya hubungan erat antara luas panen dengan produksi gabah dan beras, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti teknologi pertanian, kebijakan pemerintah, dan kondisi iklim.

Tabel 1. Pengaruh luas panen terhadap produksi gabah dan beras pada tahun 2020 sampai 2023.

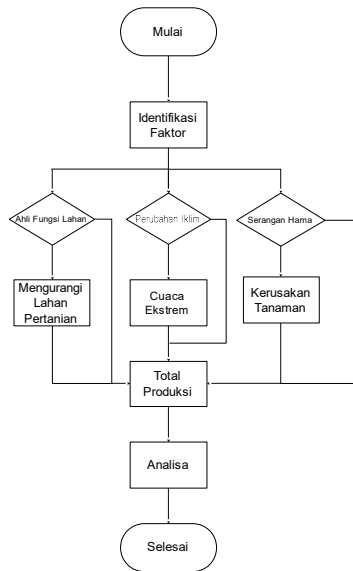
Tahun	Luas Panen (Hektar)	Produksi Gabah (Ton)	Produksi Beras (Ton)
2020	100,000	350,000	250,000
2021	95,000	330,000	240,000
2022	90,000	310,000	230,000
2023	85,000	290,000	220,000

Tabel 2. Produksi Padi dan Beras di Jawa Tengah

Kabupaten / Kota	Produksi Padi dan Beras Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah (Ton)					
	Produksi Padi			Produksi Beras		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
PROVINSI JAWA TENGAH	9618657	9579069	9061714.85	5531297	5508531	5211021.97
Kabupaten Cilacap	739140	772113	766923.48	425049	444011	441026.36
Kabupaten Banyumas	289998	284554	279426.07	166766	163635	160686.52
Kabupaten Purbalingga	157840	165622	140772.31	90767	95243	80952.4
Kabupaten Banjarnegara	108445	114912	100417.99	62362	66081	57746.28
Kabupaten Kebumen	392998	425285	403756.99	225997	244564	232184.16
Kabupaten Purworejo	258863	283105	287702.75	148862	162802	165446.1
Kabupaten Wonosobo	67479	70459	63487.05	38804	40518	36508.81
Kabupaten Magelang	169584	175080	161747.05	97521	100681	93014.11
Kabupaten Boyolali	286152	302311	278957.96	164554	173847	160417.34
Kabupaten Klaten	387733	367724	355717.1	222969	211463	204558.35
Kabupaten Sukoharjo	328275	308688	320221.12	188777	177514	184146.08
Kabupaten Wonogiri	405989	380055	376817.05	233468	218554	216692.1
Kabupaten Karanganyar	271490	277554	251816.48	156123	159610	144809.36
Kabupaten Sragen	743074	683496	641060.25	427311	393051	368647.53
Kabupaten Grobogan	800945	787275	679393.06	460591	452730	390691.2
Kabupaten Bora	483977	485012	470880	278315	278910	270783.85
Kabupaten Rembang	196084	180299	214958.29	112760	103682	123613.74
Kabupaten Pati	549005	588697	513325.78	315710	338535	295192.67
Kabupaten Kudus	171357	196822	162224.25	98541	113184	93288.53
Kabupaten Jepara	191726	209088	190986.34	110254	120238	109828.43
Kabupaten Demak	656823	617855	566006.1	377712	355303	325486.98
Kabupaten Semarang	131043	147746	142656.6	75357	84962	82036
Kabupaten Temanggung	62967	58782	47992.3	36210	33803	27598.4
Kabupaten Kendal	185218	169771	167076.95	106511	97629	96079.11
Kabupaten Batang	141701	131915	142147.52	81487	75859	81743.23
Kabupaten Pekalongan	185622	167071	168024.58	106744	96075	96624.07
Kabupaten Pemalang	409805	405440	388744.86	235662	233152	223551.28
Kabupaten Tegal	341080	340554	322591.57	196141	195839	185509.24
Kabupaten Brebes	469890	450663	424806.94	270214	259158	244289.13
Kota Magelang	711	798	640.25	409	459	368.19
Kota Surakarta	180	156	160.9	104	90	92.55
Kota Salatiga	3401	3614	3331.73	1956	2078	1915.93
Kota Semarang	20288	15691	16212.1	11667	9023	9322.92
Kota Pekalongan	7332	7684	7570.84	4217	4419	4353.69
Kota Tegal	2443	3179	3160.24	1405	1828	1817.33

Pada Tabel 2. menunjukkan data produksi padi dan beras di berbagai kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2021, 2022, dan 2023. Secara keseluruhan, produksi padi di Provinsi Jawa Tengah mengalami penurunan yang signifikan, dari 9.618.657 ton pada tahun 2021 menjadi 9.061.714,85 ton pada tahun 2023. Salah satu kabupaten yang menarik perhatian adalah Kabupaten Kebumen, yang mencatatkan produksi padi sebesar 392.998 ton pada tahun 2021, meningkat menjadi 425.285 ton pada tahun 2022, namun sedikit menurun pada

tahun 2023 menjadi 403.756,99 ton. Meskipun mengalami penurunan pada tahun 2023, Kabupaten Kebumen tetap menjadi salah satu daerah penghasil padi yang signifikan di provinsi ini. Penurunan produksi beras juga tercatat di kabupaten ini, dengan penurunan dari 244.564 ton pada tahun 2022 menjadi 232.184,16 ton pada tahun 2023. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada fluktuasi dalam produksi padi dan beras di Kebumen, kabupaten ini masih berperan penting dalam ketahanan pangan di Jawa Tengah. Berikut data ditampilkan dalam tabel dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penurunan Produksi Padi

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi untuk memahami dampak tiga faktor utama terhadap penurunan produksi padi di Jawa Tengah yaitu alih fungsi lahan, perubahan iklim yang menyebabkan cuaca ekstrem, dan serangan hama. Simulasi ini menggunakan aplikasi NetLogo dengan pembuatan coding yang mengimplementasikan pendekatan ABM (*Agent-Based Modeling*). ABM adalah pendekatan permodelan sistem yang mensimulasikan interaksi antara agen-agen individu, seperti petani yang membuat keputusan berdasarkan kondisi lingkungan mereka. Agen-agen ini berinteraksi satu sama lain dan dengan faktor eksternal, seperti cuaca dan serangan hama, untuk menghasilkan dinamika sistem yang lebih besar. Dalam penelitian ini, ABM diterapkan untuk memodelkan bagaimana petani beradaptasi dengan perubahan alih fungsi lahan, cuaca ekstrem, dan serangan hama, serta bagaimana keputusan-keputusan tersebut mempengaruhi produksi padi secara keseluruhan (Railsback, S. F., & Grimm, V. (2012). *Agent-based and individual-based modeling*). Diagram alir (*flowchart*) ditampilkan pada Gambar 2.

Flowchart tersebut menggambarkan analisis terhadap penurunan produksi padi di Jawa Tengah. Dimulai dengan identifikasi faktor-faktor yang mungkin menyebabkan penurunan tersebut. Kemudian, analisis bercabang menjadi tiga

kemungkinan: adanya alih fungsi lahan, perubahan iklim, atau serangan hama. Jika ada alih fungsi lahan, maka salah satu penyebabnya adalah berkurangnya lahan pertanian. Jika perubahan iklim yang menjadi penyebab, maka kondisi cuaca ekstrem menjadi faktor utama. Jika serangan hama yang menjadi penyebab, maka kerusakan tanaman menjadi konsekuensinya. Semua kemungkinan tersebut pada akhirnya akan bermuara pada penurunan produksi padi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah baris ke-42, di mana nilai produksi padi menunjukkan penurunan tajam dan bahkan mencapai nol (seperti pada baris 43 dan seterusnya), hal ini dapat mengindikasikan adanya titik *saddle point* atau titik kritis dalam produksi padi, yang menunjukkan penurunan drastis akibat berbagai faktor. Penurunan tajam ini bisa disebabkan oleh alih fungsi lahan, di mana lahan pertanian berkurang untuk penggunaan lain, perubahan iklim yang mengganggu pola cuaca dan merusak tanaman, serta serangan hama yang merusak hasil panen. Titik ini mencerminkan peringatan akan krisis dalam sistem pertanian, di mana jika faktor-faktor negatif terus berlanjut, produksi padi bisa hilang total. Pada kondisi ini, diperlukan intervensi besar agar produksi dapat dipulihkan dan tidak berlanjut ke kehilangan total, yang jika tidak ditangani, dapat menjadikan produksi padi sulit untuk dipulihkan lagi.

Tabel 3. Produktivitas Padi di Jawa Tengah

X (Tahun)	Y (Produktivitas)
0	138442.4
1	176136.6
2	280434
3	221000.8
4	357009.1
5	669767
6	680109.4
7	812096.9
8	805204.9
9	812444.8
10	258685.4
11	258247.8
12	218870.1
13	217315.7
14	235586.6
15	390565.1
16	67133.15
17	68027.19
18	10919.12
19	11428.21
20	4792.207
21	504.038

22	78.51461
23	128.8446
24	94.90072
25	87.79171
26	44.63712
27	34.83492
28	49.19603
29	17.80614
30	13.31675
31	4.462721
32	4.652848
33	2.368499
34	1.147246
35	1.191292
36	0.030708
37	0.025548
38	0.034025
39	0.007426
40	4.80E-04
41	9.78E-05
42	6.45E-05
43	0
44	0
45	0

namun setelah baris ke-42, penurunan menjadi sangat curam, dengan nilai produksi yang mendekati nol atau bahkan mencapai nol. Penurunan drastis ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti alih fungsi lahan yang mengurangi luas area yang tersedia untuk pertanian, perubahan iklim yang merusak pola cuaca yang mendukung pertumbuhan tanaman padi, serta serangan hama yang merusak hasil pertanian. Titik saddle pada grafik menggambarkan perubahan mendalam dalam kurva yang berakhir pada garis mendatar di nilai nol pada sumbu y, yang menunjukkan hilangnya produksi secara total. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya intervensi yang efektif dalam kebijakan pengelolaan lahan, adaptasi terhadap perubahan iklim, dan perbaikan dalam sistem pertanian, pemulihan produksi padi akan sangat sulit tercapai. Sektor pertanian, khususnya produksi padi, berada dalam kondisi yang sangat kritis dan memerlukan perhatian serta tindakan segera untuk menghindari kerugian yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anggraeni, D. (2021). *Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Padi di Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian Pertanian.

[2] Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). *Statistik Produksi Padi dan Beras 2021-2023*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

[3] Daryanto, A., & Prayitno, J. (2019). *Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Sektor Pertanian: Kasus di Jawa Tengah*. Jurnal Ilmu Pertanian, 28(3), 215-225.

[4] Hidayat, T. (2022). *Alih Fungsi Lahan Pertanian dan Dampaknya terhadap Ketahanan Pangan di Jawa Tengah*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.

[5] Iskandar, J. (2018). *Studi Kesesuaian Lahan untuk Pertanian Padi: Kasus di Kabupaten Kebumen*. Jurnal Geografi, 22(2), 134-140.

[6] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2021). *Program Ketahanan Pangan Nasional dalam Menghadapi Krisis Perubahan Iklim*. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.

[7] Mardiana, M. (2020). *Peran Teknologi dalam Meningkatkan Produksi Padi di Indonesia*. Jurnal Agronomi, 35(4), 110-120.

[8] Moeliono, M., & Suryana, E. (2020). *Strategi Adaptasi Petani Padi Terhadap Perubahan Iklim di Jawa Tengah*. Jurnal Pertanian Tropika, 18(1), 29-38.

[9] Nugroho, H. (2021). *Dampak Alih Fungsi Lahan terhadap Produksi Padi dan Ketahanan Pangan di Jawa Tengah*. Jurnal Ekonomi Pertanian, 33(2), 157-165.

[10] Rachmat, T., & Duwi, S. (2020). *Serangan Hama pada Tanaman Padi di Jawa Tengah: Studi Kasus di Kabupaten Kebumen*. Jurnal Perlindungan Tanaman, 39(3), 201-210.

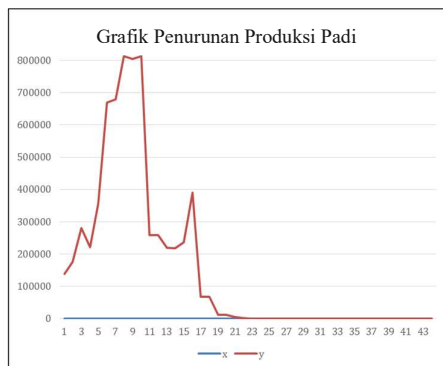
[11] Rahardjo, H., & Fitriani, A. (2019). *Pengaruh Faktor Sosial Ekonomi Terhadap Produksi Padi di Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Ekonomi Pembangunan, 22(1), 54-64.

[12] Sumarno, S., & Prasetyo, B. (2018). *Manajemen Risiko Pertanian: Menghadapi Ancaman Perubahan Iklim dan Serangan Hama pada Produksi Padi*. Bandung: Alfabeta.

[13] Sutrisno, H., & Yulia, L. (2022). *Evaluasi Kebijakan Pertanian dalam Menghadapi Penurunan Produksi Padi di Jawa Tengah*. Jurnal Kebijakan Pertanian, 31(4), 128-138.

[14] Widodo, A., & Suryanto, M. (2021). *Stabilitas Produksi Padi di Indonesia: Peran Teknologi dan Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Jurnal Teknologi Pertanian, 25(3), 98-108.

[15] Wulandari, E., & Darmawan, D. (2020). *Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Pola Tanam Padi di Jawa Tengah*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 42(1), 76-85.



Gambar 3. Grafik Penurunan Produksi Padi

IV. KESIMPULAN

Dari analisis ini menunjukkan bahwa faktor yang paling memengaruhi penurunan produksi padi adalah alih fungsi lahan. Grafik yang menggambarkan data produksi padi memperlihatkan penurunan signifikan setelah titik tertentu, membentuk titik saddle atau titik kritis, di mana produksi padi mulai mengalami penurunan tajam. Pada awalnya, grafik menunjukkan fluktuasi dalam produksi,