



Disrupsi Sistem Produksi Padi Nasional: Mampukah Indonesia Memenuhi Kebutuhan Beras di Tahun 2045?

Marwanti¹, Setyono Hari Adi^{2*}, Hendri Sosiawan³, Muhrizal Sarwani⁴, Gatot Irianto⁵, Mohammad Ismail Wahab⁶

¹Program Studi Magister Agribisnis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia

^{2,3}Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor, Indonesia

^{4,5}Balai Besar Pengujian Standardisasi Instrumen Sumber Daya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian, Bogor, Indonesia

⁶Direktorat Serealia, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian, Jakarta, Indonesia

ARTIKEL INFO

Sejarah artikel
Diterima 21/08/2023
Diterima dalam bentuk revisi 06/11/2023
Diterima dan disetujui 17/11/2023
Tersedia online 22/12/2023

Kata kunci
Disruptive agriculture
Rice production
Food resilience

ABSTRAK

Produksi padi di Indonesia tahun 2022 tercatat mengalami peningkatan sebesar 1,25 juta ton Gabah Kering Giling (GKG) atau 2,31 % dibandingkan produksi padi pada tahun 2021 yang mencapai 54,42 juta ton GKG. Peningkatan produksi ini disebabkan oleh peningkatan luas panen padi sebesar 10,61 juta hektar dengan jumlah produksi sekitar 55,67 juta ton Gabah Kering Giling (GKG). Terjadinya kenaikan produksi padi ternyata belum mampu memenuhi permintaan kebutuhan beras nasional dengan laju pertumbuhan penduduk rata-rata nasional 1,2% per tahun, laju alih fungsi lahan rata-rata 96 ribu hektar per tahun, peningkatan harga beras domestic 4% per tahun pada periode 2018-2022, dan tingginya volume impor beras sebesar 2,5 juta ton dan komoditas pangan lainnya, terutama terigu sebesar 9,5 juta ton pada 2022, dan ubi kayu sebesar 52% per tahun sejak 2000. Kondisi ini diperkirakan semakin tinggi pada tahun 2045 jika tidak ada implementasi disrupsi teknologi produksi pertanian pangan yang mampu menyelesaikan masalah peningkatan produksi pangan nasional, termasuk padi, secara cepat dan masif dari hulu ke hilir. Disrupsi pertanian (*disruptive agriculture*) secara operasional dimaknai sebagai tindakan berbiaya murah (*low-cost*) yang mampu melakukan semua pekerjaan, baik di hulu, *onfarm* dan hilir, secara lebih cepat dan masif, sehingga meningkatkan efisiensi teknis, alokasi, dan ekonomi produksi pertanian secara berkelanjutan. Indikator keberhasilan penerapan *disruptive agriculture* antara lain peningkatan produksi dan mutu hasil, penurunan biaya produksi, dan keuntungan usaha tani yang signifikan.



ABSTRACT

Indonesia paddy production in 2022 recorded an increase of 1.25 million metric tons of dry unhusked-rice or about 2.31 % increase compared to 2021 production of about 54.42 million metric tons. This increase that mainly caused by the increase of cultivation area by 10.61 million hectares resulted in approximately 55.67 million metric tons of dry unhusked-rice. However, the increase in rice production was not able to meet national demand of rice causing a high volume of rice import totaling of 2.5 million metric tons, as well as other food commodities, particularly wheat with 9.5 million metric tons in 2022, and cassava with an increasing annual rate up to 52 percent since 2000. This

condition is expected to worsen by the year 2045 if there is no implementation of disruptive agriculture in rice production technology that can rapidly and massively solves national issue of increasing food productions, including rice. Disruptive agriculture can be defined as a fast and massive implementation of low-cost agricultural technologies to enhance agricultural efficiency and allocation, to ensure economic sustainability of agricultural production. Indicators of successful disruptive agriculture technologies implementation include increased in agriculture production and quality, reduced production costs, and significant increase of farmer profits.

PENDAHULUAN

Ketersediaan pangan merupakan hak asasi manusia yang dijamin oleh Pasal 27 UUD 1945 dan Deklarasi Roma (1996). Undang-Undang No. 7/1996 tentang Pangan diterbitkan dengan memperhatikan pentingnya beras sebagai kebutuhan pangan pokok utama. Kenaikan harga beras secara ekstrem sebagai salah satu pemicu krisis ekonomi dan politik di tahun 1965/1966 dan 1997/1998 terbukti mengguncang stabilitas sosial, ekonomi dan politik nasional. Selain itu, sistem produksi beras juga mempunyai peran dalam stabilisasi bidang penyerapan tenaga kerja, pertumbuhan ekonomi perdesaan, menjaga tata guna air, kebersihan udara, serta pemenuhan gizi masyarakat seperti kalori, protein, lemak dan vitamin.

Fluktuasi produksi beras di Indonesia sangat tergantung pada faktor iklim (Prmono & Romdon 2022; Perdinan *et al.*, 2018). Perubahan iklim ekstrem memberikan dampak negatif terhadap produksi padi di Indonesia. Faktor-faktor seperti suhu, kekeringan, banjir,

dan peningkatan serangan hama penyakit secara ekstrem dapat mengganggu pertumbuhan dan mengurangi produksi padi secara signifikan (Wang *et al.*, 2018). Selama periode 1970-2010, kondisi El Nino dan La Nina berturut-turut mengurangi produksi padi nasional sekitar -0,50% dan -0,65%, masing-masing (Irawan 2013). Dampak El Nino pada tingkat nasional terlihat dari penurunan produksi padi di daerah irigasi, yang memaksa pemerintah untuk mengimpor beras untuk memenuhi kebutuhan pasokan pangan. Selama periode El Nino pada tahun 1972, 1982, 1992, dan 1997, impor beras pemerintah mencapai tingkat tertinggi, yaitu sebesar 615 ribu ton, 1,57 juta ton, 3,67 juta ton, dan 7,1 juta ton. Namun, pada tahun 2002, 2003, 2004, dan 2006, jumlah impor beras mengalami penurunan dibandingkan dengan tahun 1997, yaitu sebesar 3,10 juta ton, 2,4 juta ton, 2,0 juta ton, dan 700 ribu ton (Khudori 2008). Pada El Nino tahun 2015, yang menyebabkan kekeringan dan gagal panen secara masif di beberapa wilayah di Indonesia, secara signifikan menurunkan produksi beras,

meningkatkan harga beras, serta mengurangi pasokan beras di beberapa daerah sehingga impor beras Indonesia mencapai 1,28 juta ton pada tahun 2016 (Julianto, 2016; Mulyaquin, 2020; Salman, 2016).

Produksi beras juga dipengaruhi oleh luas baku sawah yang dipicu oleh laju alih fungsi lahan sawah menjadi perumahan, kawasan industri, jalan tol, dan kebutuhan urban lainnya (Purwanti, 2020; Sari & Yuliani, 2022). Laju alih fungsi lahan sawah di Indonesia pada tahun 2000-2015 tercatat mencapai 96.512 hektar per tahun. Angka ini menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan kemampuan pemerintah dalam mencetak sawah baru, yang hanya sekitar 20.000-30.000 ha per tahun. Tren alih fungsi lahan ini akan terus berlanjut sejalan dengan pengembangan infrastruktur jalan tol beserta turunannya. Diprediksi akan tersisa 5,1 juta hektar lahan sawah di tahun 2045 (Mulyani *et al.*, 2016), jauh di bawah luas baku lahan sawah tahun 2019 sebesar 7,46 juta hektar (Badan Pertanahan Nasional, 2019; Yuniartha, 2020).

Produksi padi di Indonesia tahun 2022 tercatat mengalami peningkatan sebesar 1,25 juta ton GKG atau 2,31 persen dibandingkan produksi padi pada tahun 2021 yang mencapai 54,42 juta ton GKG (Badan Pusat Statistik, 2022; Sutrisno, 2022). Peningkatan produksi ini disebabkan oleh peningkatan luas panen padi sebesar 10,61 juta hektar dengan jumlah produksi sekitar 55,67 juta ton Gabah Kering Giling (GKG). Akan tetapi, kenaikan produksi padi ini ternyata belum mampu memenuhi permintaan kebutuhan beras nasional tercermin dari peningkatan harga beras domestik, volume

impor beras dan komoditas pangan lainnya, terutama terigu (Ariska & Qurniawan, 2021; Rahayu & Febriaty 2019). Berdasarkan proyeksi *baseline*, konsumsi beras per kapita di Indonesia diperkirakan akan meningkat sebesar 1,5% menjadi 99,08 kilogram per kapita per tahun pada tahun 2025. Apabila Indonesia tidak mampu menurunkan konsumsi beras per kapita, maka konsumsi beras pada tahun 2045 akan mencapai 99,55 kilogram per kapita (Arifin 2018). Diperlukan 35,4 juta ton beras atau setara dengan 64,4 juta ton GKG untuk memenuhi kebutuhan 354 juta penduduk Indonesia pada tahun 2045.

Data impor beras, komoditas pangan lainnya, dan harga komoditas pangan tercatat mengalami peningkatan yang konsisten sejak tahun 2010 (Angraini *et al.*, 2022; Wibawa *et al.*, 2023). Pada tahun 2008 impor beras dan komoditas pangan lainnya sebesar 8,0 juta ton dan dalam waktu 10 tahun terjadi peningkatan impor komoditas pangan utama berkisar 25.3 sampai 27,6 juta ton (Santosa, 2021). Sinyal ini menunjukkan bahwa, program peningkatan produksi padi yang dijalankan pemerintah melalui peningkatan provitas, perluasan areal, dan pembangunan infrastruktur tidak mampu meleverage tantangan pemenuhan kebutuhan pangan nasional sampai dengan saat ini. Usaha pemerintah melalui subsidi pupuk untuk mengurangi biaya produksi padi sehingga harga pupuk $\frac{1}{2}$ dari harga gabah kering giling terkendala faktor distribusi sehingga ketersediaannya tidak sesuai enam tepat (tepat jenis, jumlah, mutu, harga, lokas, dan waktu). Selain itu luas kepemilikan lahan petani yang relatif kecil menyebabkan keberlanjutan usaha

tani padi secara perseorangan tidak menguntungkan dari aspek ekonomi. Pemerintah perlu mencari terobosan untuk menurunkan harga pupuk dan biaya produksi padi yang lebih murah sebagai insentif petani, dan tidak membebani konsumen.

Disparitas harga beras domestik dan internasional yang semakin besar sejak tahun 2010 menyebabkan derasnya arus impor beras yang mendestruksi harga beras di pasar domestik. Kondisi ini menyebabkan turunnya pendapatan dan kesejahteraan petani yang berdampak pada turunnya kemampuan investasi petani pada budidaya padi musim selanjutnya (Arifin, 2020). Peningkatan laju alih fungsi lahan sawah yang berkelanjutan tidak terhindarkan yang akan berdampak langsung pada penurunan produksi beras nasional. Kondisi ini diperkirakan semakin parah pada tahun 2045 jika tidak ada implementasi disrupsi teknologi yang mampu menyelesaikan masalah peningkatan produksi padi nasional secara cepat dan masif dari hulu ke hilir. Disrupsi pertanian (*disruptive agriculture*) secara operasional dimaknai sebagai tindakan berbiaya murah (*low-cost*) yang mampu melakukan semua pekerjaan, baik di hulu, *onfarm* dan hilir, secara lebih cepat dan masif, sehingga meningkatkan efisiensi teknis, alokasi, dan ekonomi produksi beras secara berkelanjutan (Ezeomah & Duncombe, 2019; Curry *et al.*, 2021). Indikator keberhasilan penerapan disrupsi pertanian antara lain adalah peningkatan produksi dan mutu hasil, penurunan biaya produksi, dan keuntungan usaha tani yang signifikan.

Tulisan ini membahas hasil analisis dan prediksi produksi beras nasional tahun 2045 menggunakan pendekatan *Recurrent Neural Network* (RNN) dengan mengintegrasikan faktor-faktor determinan dalam penerapan *disruptive agriculture*. Diskusi hasil studi difokuskan pada teknik penerapan disrupsi pertanian secara murah, masif, dan cepat, dengan tujuan penurunan biaya produksi beras secara signifikan melalui penerapan efisiensi teknis, alokasi, dan ekonomi produksi beras nasional.

METODE

Proyeksi produksi padi nasional di tahun 2045 dianalisis menggunakan data yang bersumber dari basis data FAOSTAT yang dapat diakses di <https://www.fao.org/faostat/en/> (FAO, 2023). Basis data FAOSTAT memuat data tahunan terkait pertanian Indonesia dengan total sebanyak 912 parameter dengan periode tahun data antara 1961 - 2022. Tidak semua parameter pertanian dalam basis data FAOSTAT memiliki data yang lengkap setiap tahunnya, hanya parameter dengan kelengkapan data lebih dari 70% yang dipertimbangkan dalam studi ini. Total terdapat 315 dari total 912 parameter data pertanian yang tersedia dengan kekosongan data tidak lebih dari 18 tahun dari total 62 tahun data pada periode 1961 sampai 2022. Selanjutnya, data kosong di beberapa tahun data diestimasi dari data yang tersedia dengan menggunakan teknik imputasi. Pada teknik imputasi, data seri waktu terdekat digunakan untuk mengestimasi nilai kosong dalam suatu variabel. Ketentuan yang diterapkan adalah jika data yang kosong berada di antara dua data yang

tersedia, maka nilai imputasi akan dihitung sebagai rata-rata dari dua data tersebut. Lebih lanjut, apabila data yang kosong berada di awal atau akhir periode data, maka nilai imputasi akan dihitung berdasarkan tren dari data pada tahun-tahun berikutnya atau sebelumnya.

Kompleksitas model proyeksi padi yang dibangun disederhanakan dengan mengurangi jumlah parameter model, terutama variable-variabel yang memiliki nilai multikolinearitas tinggi. Proses seleksi variabel bebas untuk mengurangi kompleksitas model dilakukan dengan menggunakan teknik *Ridge regression*. Proses *Ridge Regression* dijalankan menggunakan *R Statistics* dengan paket *GLMNet* pada lingkungan perangkat lunak Rstudio (Friedman *et al.*, 2010; R Core Team, 2023; RStudio Team, 2023). *Ridge Regression* dipilih karena kemampuannya dalam mengatasi masalah multikolinearitas data, terutama pada kondisi jumlah variabel bebas yang lebih besar daripada jumlah tahun datanya (Hoerl & Kennard, 1970). *Ridge Regression* menghitung nilai koefisien regresi untuk masing-masing 315 variabel pertanian terhadap parameter produksi beras. Besaran absolut koefisien regresi ini menunjukkan kontribusi masing-masing parameter pertanian terhadap parameter produksi pertanian, dengan nilai koefisien terbesar diasumsikan memiliki kontribusi 100% terhadap nilai prediksi produksi beras nasional. Studi ini mempertimbangkan variabel bebas dengan nilai kontribusi lebih dari 70% untuk kemudian dilakukan *expert judgment* dalam penentuan variabel-variabel bebas pertanian yang digunakan untuk analisis proyeksi produksi beras di tahun 2045. Proses *expert*

judgment terhadap hasil seleksi variabel bebas menggunakan *Ridge Regression* memilih sebanyak 20 variabel bebas pertanian yang digunakan proses pemodelan prediksi beras.

Produksi beras nasional tahun 2045 diprediksi menggunakan metode *Recurrent Neural Network* (RNN) yang mengintegrasikan teknik *Gated Recurrent Units* (GRU). Teknik GRU perlu diintegrasikan kedalam RNN sebagai solusi terhadap masalah *short-term memory* pada RNN (Chung *et al.*, 2014). Dalam studi ini, GRU-RNN proyeksi produksi beras nasional dibangun menggunakan *R Statistics* melalui paket KERAS dalam lingkungan perangkat lunak RStudio (Allaire & Chollet, 2023). KERAS merupakan sebuah *library* dalam bahasa pemrograman Python yang diadopsi kedalam R untuk membangun algoritma *deep learning* berbasis pada platform *TensorFlow* (<https://keras.io/>). *TensorFlow* adalah sebuah platform komputasi berbasis alur grafik yang dikembangkan oleh Google. Model dibangun dengan menggunakan 1 layer GRU dengan dimensi output sebanyak 16 unit, yang dikombinasikan dengan 1 *dense layer* dengan 1 dimensi output. Model RNN proyeksi produksi beras dioptimasi menggunakan algoritma *Root Mean Squared Propagation* (RMSProp) (Hinton *et al.*, 2012). Proses pemodelan diawali dengan proses normalisasi data terhadap nilai rata-rata dan standar deviasinya. Data ternormalisasi kemudian dibagi menjadi 2 bagian untuk proses *training* (data tahun ganjil) dan validasi (data tahun genap), yaitu masing-masing sebesar 50% dari total sebanyak 62 tahun data dari periode 1961 sampai dengan 2022. Pemilihan sampel acak dalam proses

training model dilakukan dengan menggunakan fungsi *generator* dengan total 500 data sampling untuk masing-masing iterasi, dan total 150 *training* model iterasi. *Mean Absolute Error* (MAE) digunakan sebagai metrik penentuan model terbaik dalam proses *training* model. Dalam studi ini, kriteria model terbaik adalah model dengan nilai *validation mean absolute prediction error* (terdenormalisasi) kurang dari 5% terhadap produksi beras nasional saat ini. Prediksi produksi beras dilakukan untuk tahun 2034, 2042, dan 2045, atau masing-masing dalam rentang prediksi 12, 20, dan 23 tahun kedepan sejak tahun 2022.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Determinan Penentu Produksi Beras Nasional

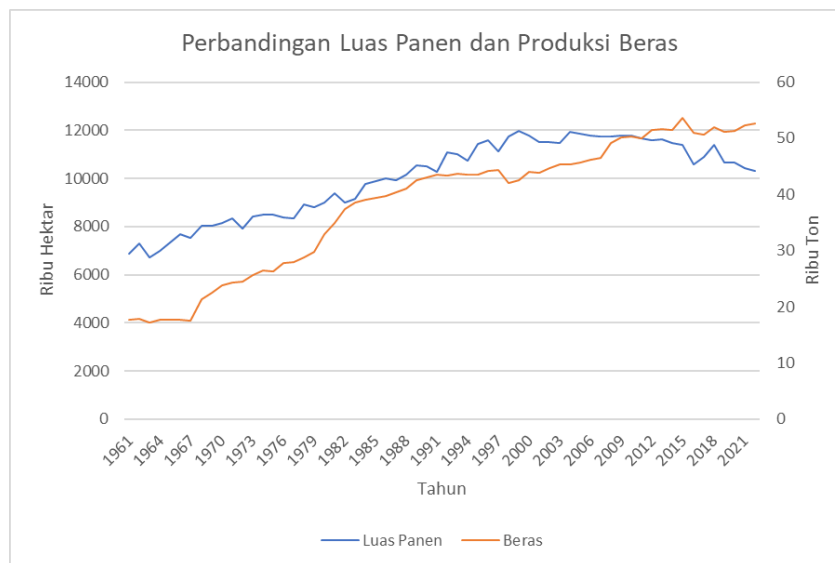
Hasil *expert judgement* pemilihan variabel bebas pertanian dengan kontribusi minimal 70% terhadap produksi beras nasional keluaran dari proses *Ridge Regression* disajikan pada Tabel 1. Gambar 1 dan 2 menunjukkan data seri waktu dari beberapa variabel yang terseleksi. Hasil proses seleksi variabel bebas menunjukkan 20 parameter pertanian memiliki korelasi dengan produksi beras nasional. Ke-20 parameter ini mewakili 4 aspek budidaya pertanian yang saling terkait, meliputi parameter: 1) sumber daya lahan, 2) sosial ekonomi, 3) energi, dan 4) produk pertanian pengganti selain beras. Terpilihnya 20 parameter ini menunjukkan bahwa produksi beras nasional merupakan isu yang kompleks yang mempengaruhi kehidupan masyarakat dalam arti luas.

Parameter sumber daya lahan merupakan variabel umum dalam studi proyeksi produksi beras karena berkaitan langsung dengan budidaya padi. Beberapa studi menunjukkan dampak perubahan iklim (Ansari *et al.*, 2021; Falcon *et al.*, 2004; Naylor *et al.*, 2001, 2007; Yuliawan & Handoko 2016), variabilitas air pertanian (Hidayat *et al.*, 2019; Khasanah *et al.*, 2021; Mediawan *et al.*, 2021; Ratri *et al.*, 2023), kondisi lahan (tanah) (Agus *et al.*, 2019), dan faktor lingkungan (Setyanto *et al.*, 2018; Yudhana *et al.*, 2021) terhadap produksi beras nasional. Selain parameter sumber daya lahan, aspek sosial ekonomi merupakan variabel umum lain yang dikaitkan dengan produksi beras nasional, walaupun pembahasannya lebih banyak difokuskan pada skala ekonomi mikro masyarakat lokal (Arifin *et al.*, 2021; Rondhi *et al.*, 2018; Zahri *et al.*, 2019). Parameter energi muncul sebagai parameter baru dalam studi ini dan belum banyak digunakan dalam studi proyeksi beras nasional. Studi oleh Putri *et al.* (2020) berhasil membandingkan total energi yang dibutuhkan dalam proses panen padi menggunakan tenaga manusia, mesin pertanian, dan kombinasi antara keduanya.

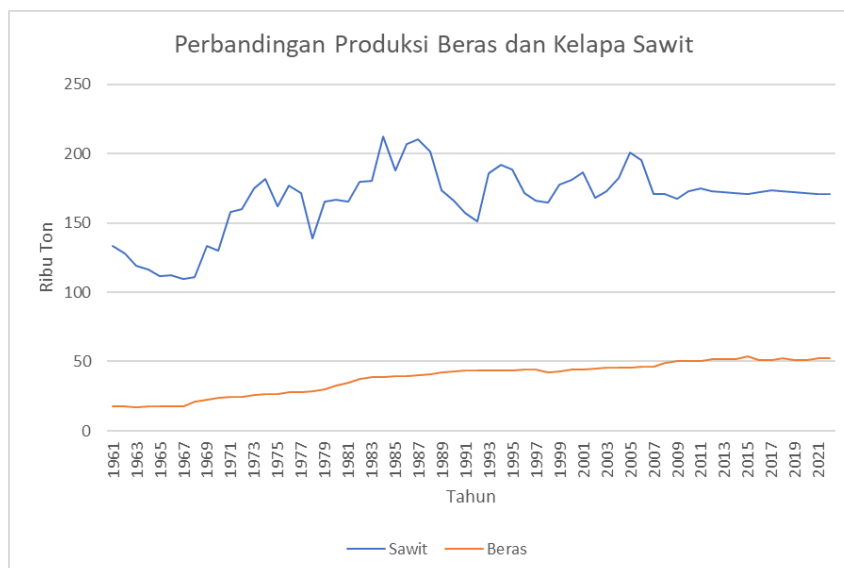
Selain parameter sumber daya lahan, sosial ekonomi, dan energi, parameter lain yang relatif baru dan belum banyak digunakan dalam proyeksi beras nasional adalah keterkaitan antara produksi beras dengan produksi pertanian lain selain beras. Proses seleksi variabel menunjukkan nilai impor jagung dan produksi kelapa sawit memiliki korelasi yang kuat dengan produksi beras nasional. Jagung dan kelapa sawit merupakan dua komoditas yang bisa di budidayakan dengan baik di lahan

pertanian Indonesia dan memiliki nilai keuntungan lebih tinggi dari budidaya padi. Jagung biasa dibudidayakan pada lahan yang sama dengan padi. Peningkatan kebutuhan produksi minyak sawit dunia akan mendorong konversi lahan pertanian di Indonesia ke perkebunan sawit karena memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. Beberapa studi menunjukkan keterkaitan antara penurunan produksi beras nasional dengan peningkatan

areal perkebunan kelapa sawit dan komoditas pertanian lain yang bernilai tinggi (Gellert, 2015; McCarthy, 2010; Vel *et al.*, 2016; Zahri *et al.*, 2019). Rendahnya nilai ekonomi pertanian padi akan mendorong konversi lahan sawah menjadi non sawah yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi seperti jagung dan sawit (Murdy & Nainggolan, 2020).



Gambar 1. Perbandingan luas panen dan produksi beras nasional



Gambar 2. Perbandingan produksi beras dan kelapa sawit nasional

Tabel 1. Hasil Seleksi Variabel Bebas Pertanian yang Berkontribusi terhadap Produksi Beras Nasional

No	Nama Variabel	Koefisien	Kontribusi*
1	Nilai impor tepung jagung <i>Flour of maize Import Value</i>	-0.0112	1.0000
2	Emisi CH4 padi <i>CH4 Rice Emissions</i>	0.0108	0.9623
3	Suplai pangan produk beras (kcal/capita/day) <i>Food supply Rice and products (kcal/capita/day)</i>	0.0106	0.9451
4	Jumlah tenaga kerja perempuan di sector pertanian, kehutanan, dan perikanan (umur 15+) <i>Female Employment in agriculture forestry and fishing by age</i>	0.0104	0.9314
5	Total Jumlah tenaga kerja di sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan (umur 15+) <i>Total Employment in agriculture forestry and fishing by age</i>	0.0104	0.9295
6	Fiksasi biologi nitrogen di lahan pertanian <i>Cropland nitrogen Biological Fixation</i>	0.0103	0.9184
7	Angka kehilangan produk beras <i>Losses Rice and products</i>	0.0100	0.8958
8	Kontribusi GDP dari sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan (USD) <i>Share of GDP USD Value Added Agriculture Forestry and Fishing</i>	-0.0096	0.8540
9	Efisiensi penggunaan nitrogen di lahan pertanian (<i>Nutrient Budget</i>) <i>Cropland nitrogen use efficiency Nutrient Budget</i>	-0.0093	0.8263
10	Rasio nilai produk pertanian, kehutanan, dan perikanan terhadap total manufaktur (USD) <i>Ratio of Value Added Agriculture Forestry and Fishing USD Value Added Total Manufacturing</i>	0.0092	0.8189
11	Luas Panen Padi <i>Harvested Area</i>	0.0087	0.7739
12	Produksi kelapa sawit <i>Yield Oil palm fruit</i>	0.0085	0.7605
13	Fosfor per unit area lahan pertanian (tanpa tanaman) <i>Cropland phosphorus per unit area Crop Removal</i>	0.0084	0.7482
14	Nitrogen per unit area lahan (nutrient budget) <i>Cropland nitrogen per unit area Nutrient Budget</i>	0.0084	0.7480
15	Fosfor per unit area lahan pertanian (keluaran) <i>Cropland phosphorus per unit area Outputs</i>	0.0084	0.7480
16	Luas area lahan yang digunakan untuk pembangunan irigasi <i>Share in Agricultural land Land area equipped for irrigation</i>	0.0083	0.7435
17	Total energi sektor pertanian (tanpa listrik) <i>Use in agriculture Total Energy excl electricity</i>	0.0082	0.7336
18	Total energi sektor pertanian <i>Use in agriculture Total Energy</i>	0.0082	0.7327
19	Emisi CO2 dari total energi (tanpa listrik) <i>Emissions CO2 Total Energy excl electricity</i>	0.0082	0.7323
20	Emisi CO2 dari total energi <i>Emissions CO2 Total Energy</i>	0.0081	0.7266

* Proporsi nilai koefisien absolut regresi terhadap nilai koefisien absolut terbesar

Proyeksi Produksi Beras Nasional di 2045

Hasil pengembangan model prediksi produksi padi tahun 2034, 2042, dan 2045

menunjukkan produksi padi masing-masing sebesar 53,4, 39,3, dan 35,4 juta ton GKG, dengan MAE masing-masing sebesar 1,4, 1,4,

dan 1,5 juta ton GKG (Gambar 3). Hasil simulasi proyeksi produksi padi nasional menggunakan metode GRU-RNN menunjukkan terjadinya penurunan produksi di tahun 2045 sebesar 22,7% terhadap produksi tahun 2022. Hasil simulasi ini mempertegas tren penurunan produksi beras yang sudah terjadi mulai tahun 2018 sampai dengan 2022, dan penurunan produksi ini diproyeksi akan berlanjut sampai dengan tahun 2045. Mempertimbangkan tren peningkatan jumlah penduduk dan penurunan areal lahan sawah baku nasional, maka perlu diterapkan kebijakan yang bersifat disruptif berbiaya murah (*low-cost*) yang dapat diimplementasikan secara masif dan cepat pada skala nasional, untuk dapat memenuhi permintaan kebutuhan beras masyarakat sampai dengan tahun 2045.

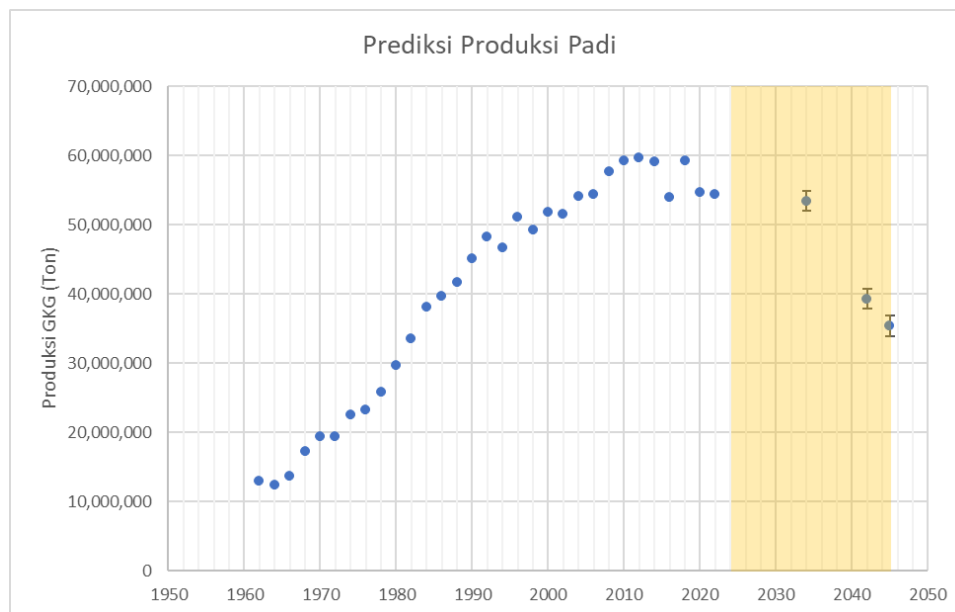
Hasil proyeksi produksi beras nasional di 2045 menggunakan model GRU-RNN menunjukkan laju penurunan produksi beras nasional secara linear kurang lebih 770 ribu ton per tahun. Proyeksi penurunan produksi beras nasional ini sesuai dengan studi lain terkait (Ray *et al.*, 2013; Susanti *et al.*, 2021; Sutrisno *et al.*, 2019). Proyeksi konsumsi beras di Indonesia diperkirakan meningkat sebesar 1,5% menjadi 99,08 kilogram per kapita pada 2025 dan meningkat sebesar 2% menjadi 99,55 kilogram per kapita pada 2045 (Arifin, 2018). Dengan menggunakan faktor koreksi pada Neraca Bahan Makanan (NBM) untuk kegunaan lain pangan dan non-pangan, pakan, benih, serta memperhitungkan hilang dan susut menggunakan estimasi FAO (2011), proyeksi konsumsi beras Indonesia mencapai 102,73 kilogram pada 2025 dan 103,22 kilogram pada

2045. Berdasarkan data BPS, jumlah penduduk Indonesia saat ini adalah sekitar 276 juta jiwa, dan diproyeksikan akan mencapai 319 juta jiwa pada 2045 dengan pertumbuhan sebesar 1,17% per tahun. Dengan mempertimbangkan faktor koreksi NBM dan hilang susut, proyeksi kebutuhan beras pada tahun 2045 diprediksi mencapai 32,9 juta ton atau setara dengan 59,90 juta ton GKG. Apabila dibandingkan dengan kapasitas produksi padi nasional hasil simulasi sebesar 33-37 juta ton akan terjadi defisit 19,90 juta ton GKG. Artinya ada tren peningkatan importasi beras lebih besar dari 600 % dari impor tahun 2022 merupakan refleksi ketidakberhasilan sistem produksi beras nasional merespon kebutuhan dan dinamika lingkungan strategis nasional maupun global.

Hasil pemodelan ini merupakan peringatan dini bagi *stakeholder* beras nasional bahwa strategi peningkatan produksi beras nasional yang dijalankan sekarang mungkin belum cukup untuk mempertahankan produksi beras nasional sampai dengan dua dekade kedepan. Strategi pencetakan sawah, peningkatan produktivitas lahan, peningkatan indeks pertanaman, dll pada akhirnya akan mencapai titik maksimal karena tertekan oleh derasnya laju konversi lahan yang dibarengi dengan peningkatan jumlah penduduk. Diperlukan terobosan yang bersifat disruptif untuk meningkatkan nilai ekonomi budidaya padi secara signifikan sehingga dapat bersaing dengan komoditas pertanian lainnya, baik dalam skala nasional maupun internasional. Alih fungsi lahan diprakirakan hanya dapat dimoderasi melalui peningkatan pendapatan petani beras secara signifikan. Keterbatasan

daya beli beras masyarakat pada akhirnya mendorong satu-satunya opsi peningkatan *margin* keuntungan produksi beras melalui

penurunan biaya produksi beras melalui penerapan disrupsi teknologi pertanian secara murah, massif, dan cepat.



Gambar 3. Tren produksi padi nasional hasil simulasi model dengan GRU-RNN (1961-2045)

Strategi Pemenuhan Produksi Beras Nasional

Berdasarkan data [Badan Pusat Statistik \(BPS\) 1980-2020](#), produktivitas rata-rata meningkat sebesar 0,04 ton/ha per tahun. Pada tahun 1980, produktivitas rata-rata di Jawa hanya mencapai 4,0 ton/ha, sedangkan di luar Jawa adalah 3,0 ton/ha. Tahun 2020, produktivitas rata-rata di Jawa meningkat menjadi 5,6 ton/ha, sedangkan di luar Jawa meningkat menjadi 4,6 ton/ha. Pertanyaan fundamentalnya adalah mengapa peningkatan produktivitas lahan sawah tidak mampu mengkompensasi kebutuhan beras dalam negeri? Peningkatan produktivitas sangat mungkin dibarengi oleh penurunan luas panen akibat alih fungsi lahan, karena lahan-lahan sempit dan hasil waris cenderung dijual dan dibagi. Pilihan pembelinya biasanya untuk keperluan infrastruktur ataupun bangunan baik

pabrik maupun perumahan. Perluasan pabrik dan perumahan diakselerasi dengan terbangunnya tol dari Merak sampai Probolinggo dan direncanakan sampai Banyuwangi. Banyaknya pintu masuk dan pintu keluar tol memicu harga tanah semakin tinggi, sehingga alih fungsi lahan menjadi suatu keniscayaan. Hasil yang diperoleh dari budidaya padi dibandingkan untuk keperluan industri, tentu tidak bisa dibandingkan secara langsung. Pengembangan infrastruktur jalan tol merupakan suatu dilema yang memicu *trade-off* bagi sektor pertanian. Dengan akses yang lebih baik akan memperlancar angkutan produksi dan menurunkan ongkos angkut pertanian menuju pasar, sehingga biaya pemasaran berkurang dan menyebabkan harga produk pertanian semakin terjangkau ([Wirabrata & Silalahi, 2012](#)), tetapi di sisi lain pembangunan tol memicu alih fungsi lahan karena *land rent* industri lebih tinggi

dibandingkan usaha pertanian. Pemerintah tidak bisa membiarkan pencaplokan lahan sawah secara masif tanpa kendali. Pilihan pengembangan infrastruktur kereta api harus diutamakan dibandingkan jalan tol, agar kapasitas angkut barang dan jasa dapat dimaksimalkan dan alih fungsi lahan dapat dimitigasi (Humas Ditjen Perkeretaapian, 2019).

Peningkatan produktivitas lahan sawah yang signifikan tidak tercapai sepenuhnya karena rendahnya insentif yang diterima petani menyebabkan investasi produksi yang terus menurun sehingga sulit mencapai peningkatan produksi secara nasional. Usaha tani kemudian dilakukan hanya atas dasar melanjutkan budaya nenek moyang karena secara ekonomi tidak menguntungkan. Kondisi ini mengancam keberlanjutan usaha tani nasional karena generasi milenial kurang (tidak) tertarik untuk melanjutkan usaha tani padi. Untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional, penting untuk mempertahankan lahan sawah dengan produktivitas tinggi di Jawa dari konversi lahan. Mitigasinya adalah konsolidasi pengelolaan sawah sehingga alokasi curahan tenaga kerjanya produktif, sisa tenaga kerjanya bisa untuk kegiatan diluar sektor pertanian. Mengacu pada gambar 3, selama periode 2010-2018 produksi beras sudah melandai dan terus menurun dari tahun 2019. *Expert judgment* saat itu berhipotesis bahwa penurunan produksi Tahun 2019 sampai saat ini terjadi karena tidak ditemukannya terobosan teknologi varietas dan budidaya yang murah, cepat, dan masif, sehingga mampu mengungkit produksi padi nasional (Badan Pusat Statistik, 2020; Santosa,

2021). Tidak berhasilnya pemerintah mengendalikan laju alih fungsi lahan melalui instrumen perundangan (Kaputra, 2015). Pendapat ini masih diyakini dan dipercaya sampai saat ini, sehingga periode 2019-2023 strategi pemerintah dalam pemenuhan kebutuhan pangan dalam jangka pendek masih mengandalkan program peningkatan produktivitas dan luas panen. Inilah kesalahan fundamental yang perlu dikoreksi secepatnya, karena produksi padi terus menurun, sekalipun upaya peningkatan produktivitas dan indeks pertanaman/perluasan areal sudah dilakukan.

Peningkatan produktivitas dan perluasan areal tanam yang menjadi andalan program pemerintah setelah tahun 2019 tidak mampu memenuhi kebutuhan beras nasional sampai tahun 2023. Indikasi konkritnya adalah importasi beras dan terigu terus meningkat. Implikasi langsungnya, sistem produksi beras nasional terdistruksi secara sistemik karena impor beras akan mendistorsi harga beras di dalam negeri, menurunkan pendapatan petani di panen raya, sehingga akan menggerus modal untuk pertanaman berikutnya dan seterusnya. Impor yang dilakukan pada puncak panen raya, seperti impor pada bulan Januari sampai Mei 2023, selain membanjiri pasokan beras di pasaran juga menyebabkan harga jual gabah di lapangan mengalami depresiasi, sekalipun pemerintah menaikkan harga pembelian pemerintah (HPP) (Mawarni, 2023; Rizki, 2023). Fakta lainnya tentang menurunnya produksi beras tahun 2022 adalah tingginya harga beras medium di pasaran saat panen raya walaupun operasi pasar sudah dilakukan (Idris, 2023). Fenomena ini menunjukkan bahwa,

desifit produksi terhadap konsumsi sangat dalam, sehingga panen raya dan penggelontoran beras operasi pasar tidak mampu mengungkit harga beras medium di pasaran.

Penurunan daya sangga (*buffering capacity*) sistem produksi beras nasional akan semakin terdistruksi karena harus menahan tekanan dari faktor lain seperti alih fungsi lahan, penurunan investasi, produksi dan provitas. Sinyal ini dapat dilihat dari data impor komoditas pangan beras dan pangan lainnya yang terus meningkat pada periode tersebut (Santosa, 2021). Hal ini semakin dipicu oleh tergerusnya pendapatan petani karena biaya produksi yang meningkat, sehingga menurunkan modal petani untuk berproduksi secara berkelanjutan. Meskipun UU PLP2B telah komprehensif mengatur alih fungsi LP2B dan aturan turunannya, praktik alih fungsi lahan tetap terjadi, menunjukkan sinyal negatif terhadap implementasi PLP2B yang belum efektif dalam menangani alih fungsi lahan pertanian menjadi non-pertanian (Dahiri, 2021). Demikian juga dengan menggunakan instrumen undang-undang 41/2009 beserta 4 peraturan pemerintah turunannya Nomor 12 Tahun 2012, tentang Insentif Perlindungan Lahan Pertanian Berkelanjutan; PP No. 1 Tahun 2011 tentang Penetapan dan Alih Fungsi Lahan Pertanian dan PP No. 20/2012 tentang Pembiayaan Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan terbukti tidak mampu mempertahankan apalagi menurunkan laju alih fungsi lahan. Alih fungsi lahan diperkirakan dapat dimoderasi melalui peningkatan pendapatan yang signifikan dari hasil budidaya padi.

Disrupsi sistem produksi padi nasional merujuk pada perubahan signifikan yang terjadi dalam sistem produksi padi. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti perubahan kebijakan pemerintah, perubahan iklim yang ekstrem, atau kemajuan teknologi dalam produksi, pengolahan, atau distribusi beras. Dampak dari disrupsi tersebut meliputi perubahan ketersediaan dan harga beras di pasar domestik, serta dapat mempengaruhi keamanan pangan, ekonomi, dan aspek sosial yang terkait dengan sektor pertanian dan petani. Disrupsi teknologi di hulu (*up stream*) meliputi jenis dan sistem produksi pupuk dan pestisida, *on farm* berupa olah tanah, tanam, penyiangan, penyemprotan, pemupukan, sedangkan di hilir (*down stream*) meliputi panen dan pengolahan hasil. Teknologi produksi padi dapat lebih efisien apabila disrupsi teknologi ini dapat dilakukan sehingga biaya produksi lebih murah, cepat dan masif. Sehingga terjadi efisiensi di segala aspek baik teknis, alokatif dan ekonomi.

Skenario Disrupsi Sistem Budidaya Padi

Disrupsi sistem produksi beras nasional merupakan suatu keniscayaan agar Indonesia bisa keluar dari perangkap pangan termasuk padi (*rice trap*). Untuk mendiskripsikan disrupsi sektor produksi padi, maka dikelompokkan pembahasan menjadi dua bagian, yaitu a) skenario disrupsi berbiaya murah (*low cost disruption scenario*), b) skenario investasi untuk memicu dan memacu disrupsi (*investment disruption scenario*), dan c) kebun padi swasta.

Skenario Low Cost Disruption

Peningkatan daya beli masyarakat dan kompensasi inflasi yang dilakukan oleh

pemerintah melalui peningkatan Upah Minimum Regional (UMR) dan peningkatan harga pokok pembelian gabah pemerintah sepiantas sangat populis. Skenario ini dikenal sebagai skenario *low cost* karena biaya yang dikeluarkan pemerintah relatif kecil, karena pengusaha dan masyarakatlah yang membiayai skenario tersebut. Namun demikian cara tersebut justru dalam jangka panjang akan mendistorsi harga beras di dalam negeri. Jika UMR dinaikkan setiap tahun dan HPP gabah disesuaikan setiap lima tahun sekali, maka cepat dan pasti biaya produksi beras nasional makin mahal dan tidak kompetitif terhadap produk sejenis yang diimpor. Pemerintah harus mampu menciptakan lapangan kerja yang produktif, sehingga upah yang diterima bukan hanya membayar kerja fisik, tetapi memperhitungkan kerja ketrampilan dan intelektual. Secara simultan, kerja sektor pertanian juga harus mampu mendisrupsi teknologi eksisting agar lebih produktif, cepat, murah dan masif pelaksanaannya. Target yang harus dicapai adalah penerapan teknologi disrupsi sampai menurunkan biaya produksi padi 20% dari biaya produksi negara kompetitor. Argumen nya angka ini stabil terhadap guncangan valas, inflasi, maupun bencana. Angka ini merupakan angka yang pasti menjaga/menjamin kepastian untuk melawan impor.

Sasaran akhir dari penerapan disrupsi pertanian adalah efisiensi biaya produksi padi sehingga kompetitif terhadap HPP produk pangan impor, terutama beras. Disrupsi teknologi dalam sektor pertanian memiliki potensi untuk menghasilkan perubahan positif dalam cara produksi, pengolahan, dan distribusi

produk pertanian. Penerapan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), big data, analitik, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent/AI*) dapat membantu mengoptimalkan penggunaan sumber daya, memperbaiki efisiensi produksi, meningkatkan hasil panen dan profitabilitas pertanian yang lebih tinggi (Himesh *et al.*, 2018).

Skenario Investasi untuk Memicu dan Memacu Disrupsi

Insentif teknologi produksi dan pengolahan hasil disruptif antara lain, produksi bahan organik yang masif, berbiaya murah, dan in situ (menggunakan bahan lokal), memanfaatkan daur ulang sampah terseleksi. Pilihan ini untuk menekan biaya produksi pupuk yang semakin mahal bahan bakunya serta sensitif terhadap gejolak moneter dan dinamika geopolitik regional dan internasional. Produksi bahan organik in situ memungkinkan tanah semakin subur dan tidak memerlukan pengolahan tanah penuh, melainkan cukup pengolahan tanah minimum (*minimum tillage*) atau bahkan tanpa olah tanah (*zero tillage*). Peningkatan kesuburan tanah melalui aplikasi bahan organik akan menekan penggunaan pupuk anorganik (Siwanto & Melati, 2015). Apabila penanaman padi dilakukan melalui tabur dengan drone seperti di negara negara maju seperti Amerika Serikat, maka biaya tanam juga tereduksi secara signifikan. Pendekatan tanam tebar akan memerlukan volume benih tiga kali lipat dibandingkan kebutuhan normal. Namun demikian, populasi padi akan meningkat minimal 200%, sehingga produksi per hektar ditargetkan minimal 10 ton GKG/hektar. Pemerintah perlu memberi

insentif untuk investasi pengolahan sampah kota dan pengembangan drone agar sistem produksi padi dapat didisrupsi secara utuh. Selanjutnya, insentif pengadaan unit penggilingan padi moderen yang mampu menghasilkan *by product* seperti *hush* dan *oil bran* yang harganya sangat mahal. Jika *by product* dapat dimaksimalkan, maka harga beras akan menjadi lebih murah. Kredit bagi penyediaan teknologi sistem produksi yang disruptif mulai produksi pupuk, pengolahan tanah, tanam, penyiangan, pemupukan, panen dan pengolahan hasil harus menjadi prioritas utama, seperti halnya pemerintah mengucurkan kredit usaha rakyat (KUR).

Kebun Padi Swasta

Disrupsi sektor pertanian harus digerakkan swasta agar beban biaya pemerintah dapat diminimalkan. Indonesia punya pelajaran yang baik dalam pengembangan kelapa sawit. Melalui insentif kredit dan fasilitasi pemerintah, pengembangan kebun padi dapat mengadopsi dengan berbagai penyesuaian mengikuti pengembangan kebun sawit. Modernisasi industri pengolahan sawit swasta terjadi karena insentif dan ekosistem bisnis yang diciptakan pemerintah kondusif, sehingga Indonesia menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia. Keberhasilan PT. Topi Koki dalam mengelola lahan rawa pasang surut dan lebak di Kabupaten Ogan Komering Ilir dan Ogan Ilir dengan luasan lebih dari 1.000 hektar per lokasi membuktikan bahwa konsolidasi lahan dan kebun padi swasta menguntungkan (Susmana, 2016). Usaha tani padi eksisting dengan biaya yang efisien, dan penerapan teknologi yang cepat dan massif, dibarengi dengan

pemberdayaan petani setempat mampu menghasilkan keuntungan perusahaan yang kemudian dapat digunakan untuk memperluas areal kebun padi. Selain infrastruktur pengelolaan air, PT. Topi Koki juga melengkapi infrastruktur pengolahan hasil pertanian dan pemasaran baik retail maupun partai besar. Pemerintah perlu menumbuhkan ekosistem bisnis untuk mendorong terbentuknya kebun padi swasta lain dengan menyederhanakan proses perijinan lahan, regulasi pembangunan infrastruktur irigasi, dan insentif pajak termasuk importasi barang modal mendukung kegiatan disrupsi pertanian diperlakukan secara khusus. Keberhasilan pengembangan kebun padi swasta dapat menjadi industri pertanian baru yang mampu menciptakan kesempatan berusaha dan lapangan kerja baru, peningkatan pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, dan mitigasi kemiskinan secara berkelanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Peningkatan produksi padi nasional belum mampu memenuhi permintaan kebutuhan beras nasional akibat tingginya rata-rata laju pertumbuhan penduduk nasional per tahun. Diprakirakan defisit antara kebutuhan dan pasokan terus meningkat sejalan dengan tekanan dan dinamika lingkungan strategis global (perubahan iklim, perdagangan bebas), regional (alih fungsi lahan, regulasi pemerintah dan perubahan pola konsumsi masyarakat). Peningkatan harga beras domestik, dan tingginya volume impor beras dan komoditas pangan lainnya menunjukkan kecenderungan penurunan kemampuan produksi pangan nasional. Penurunan kapasitas produksi pangan

nasional utamanya beras utamanya disebabkan oleh terus menurunnya keuntungan yang diperoleh petani, sehingga terjadi penurunan kemampuan pembiayaan petani pada masa tanam berikutnya. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar generasi muda kurang berminat bekerja di sektor pertanian, dan praktis petani yang bekerja di lapangan sekadar meneruskan tradisi dan budaya tanpa inovasi yang memadai.

Distruksi sistem produksi padi nasional terjadi secara sistemik, masif dan terstruktur akibat para pemangku kepentingan tidak berhasil menempatkan kepentingan nasional (*national interest*) sebagai kepentingan bersama yang harus diamankan *at all cost*. Usaha pemerintah dalam bentuk bantuan/subsidi pupuk, benih, alat mesin pertanian, pestisida pada lahan yang kurang produktif, dapat direalokasi untuk mendukung pengembangan model disrupsi sektor pertanian. Kebijakan pemerintah untuk mendorong tercapainya biaya produksi padi yang murah dengan produktivitas padi yang tinggi dapat dilakukan dengan masif dalam waktu yang cepat harus dikerjakan saat ini juga agar keuntungan usaha tani menjadi lebih menjanjikan dan investasi pertanian semakin berkembang. Insentif pajak, biaya masuk peralatan produksi, pasca panen, dan pengolahan hasil perlu diakselerasi, agar sektor pertanian tumbuh dengan laju yang lebih tinggi dibandingkan biaya pendanaan (*cost of fund*), sehingga investasi sektor pertanian menjadi suatu bisnis yang menjanjikan. Keberhasilan petani mandiri dalam mengelola lahan rawa dan pasang surut di Sumatra Selatan melalui pengelolaan lahan dan air serta pasca panen, pengolahan hasil dan pemasaran menjadi bukti

lapangan bahwa usaha tanaman pangan dapat memberikan hasil yang menjanjikan jika dikelola secara profesional.

Disrupsi sistem produksi beras dapat dikembangkan melalui beberapa skema sistem pertanian yang sudah ada (*existing*) seperti program Makmur di PT Pupuk Indonesia, Kemitraan PT. Wilmar dengan Petani di Ngawi, Pandeglang dan Mojokerto, serta PT. Topi Koki yang ada di Sumatra Selatan. Pertimbangannya, disrupsi sebagai bentuk transformasi dari pola business as usual ke disruptif akan lebih mudah adopsinya, cepat pelaksanaan dan pengembangannya, sehingga progresnya bisa dipantau kemajuannya. Secara akseleratif disrupsi diperluas, dipercepat dan ditingkatkan di semua rantai bisnis prosesnya, sehingga mencapai hasil optimum bagi petani. Secepatnya segera dieksekusi, dengan disrupsi hulu, budidaya, hilir sampai pemasaran, sampai tercapai biaya produksi padi kompetitif menghadapi kompetitornya. Investasi teknologi pemacu dan pemicu disrupsi merupakan suatu keniscayaan, sehingga pemerintah perlu memberikan atensi khusus misalnya dengan memasukkan sebagai salah satu program strategis nasional (PSN) dengan maksud agar pendanaan, pelaksanaan, monitoring dan pelaporan menjadi perhatian (atensi) pimpinan nasional.

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Seluruh penulis memiliki kontribusi yang sama dan berpartisipasi aktif dalam proses koleksi dan analisis data, serta penyusunan, review, dan perbaikan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Andrade, J. F., Edreira, J. I. R., Deng, N., Purwantomo, D. K., Agustiani, N., ... & Grassini, P. (2019). Yield gaps in intensive rice-maize cropping sequences in the humid tropics of Indonesia. *Field Crops Research*, 237, 12-22.
- Allaire, J. J., and François Chollet. (2023). *Keras: R Interface to 'Keras.'*
- Angraini, R., Amaliah, I., & Haviz, M. (2022, January). Pengaruh Harga Beras, Pendapatan Perkapita, Jumlah Penduduk dan Impor Beras terhadap Permintaan Beras di Indonesia Tahun 2010-2020. In *Bandung Conference Series: Economics Studies* (Vol. 2, No. 1, pp. 68-75).
- Ansari, A., Lin, Y. P., & Lur, H. S. (2021). Evaluating and adapting climate change impacts on rice production in Indonesia: a case study of the Keduang subwatershed, Central Java. *Environments*, 8(11), 117.
- Arifin, B. (2018). "PERSPEKTIF: Proyeksi Konsumsi Pangan Dan Kebijakan Rantai Nilai." Retrieved May 23, 2023 (<https://ekonomi.bisnis.com/read/20180807/99/825199/perspektif-proyeksi-konsumsi-pangan-dan-kebijakan-rantai-nilai>).
- Arifin, B. (2020). *Ekonomi Beras Kontemporer*. Gramedia Pustaka Utama.
- Ariska, F. M., & Qurniawan, B. (2021). Perkembangan impor beras di Indonesia. *Journal of Agriculture and Animal Science*, 1(1), 27-34.
- Badan Pertanahan Nasional. (2019). "Peta Spasial Luas Baku Sawah Tahun 2019."
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Luas Panen Dan Produksi Padi Di Indonesia Tahun 2019*.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Luas Panen Dan Produksi Padi Di Indonesia 2021*. Jakarta.
- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1412.3555*.
- Curry, G. N., Nake, S., Koczberski, G., Oswald, M., Rafflegeau, S., Lummani, J., ... & Nailina, R. (2021). Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. *Journal of Rural Studies*, 88, 422-431.
- Dahiri, D. (2021). Analisis Kritis Terhadap Implementasi Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan. *Jurnal Budget: Isu dan Masalah Keuangan Negara*, 6(1), 1-16.
- Ezeomah, B., & Duncombe, R. (2019, April). The role of digital platforms in disrupting agricultural value chains in developing countries. In *International Conference on Social Implications of Computers in Developing Countries* (pp. 231-247). Cham: Springer International Publishing.
- Falcon, W. P., Naylor, R. L., Smith, W. L., Burke, M. B., & McCullough, E. B. (2004). Using climate models to improve Indonesian food security. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 40(3), 355-377.
- FAO. 2023. "FAOSTAT Online Database." Retrieved March 1, (2023) (<https://www.fao.org/faostat/en/#data>).
- Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2010). Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of statistical software*, 33(1), 1.
- Gellert, P. K. (2015). Palm oil expansion in Indonesia: land grabbing as accumulation by dispossession. In *States and citizens: accommodation, facilitation and resistance to globalization* (Vol. 34, pp. 65-99). Emerald Group Publishing Limited.
- Hidayat, A. M., Mulyo, A. P., Azani, A. A., Aofany, D., Nadiansyah, R., & Rejeki, H. A. (2019). Evaluasi ketersediaan sumber daya air berbasis metode neraca air thornthwaite mather untuk pendugaan surplus dan defisit air di Pulau Jawa. In *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)* (Vol. 3, pp. 35-46).
- Himesh, S., Rao, E. P., Gouda, K. C., Ramesh, K. V., Rakesh, V., Mohapatra, G. N., ...

- & Ajilesh, P. (2018). Digital revolution and Big Data: a new revolution in agriculture. *CABI Reviews*, (2018), 1-7.
- Hinton, G., Srivastava, N., & Swersky, K. (2012). Neural networks for machine learning lecture 6a overview of mini-batch gradient descent. *Cited on*, 14(8), 2.
- Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55-67.
- Humas Ditjen Perkeretaapian. (2019). "Moda Transportasi Kereta Api, Moda Angkutan Umum Massal Pilihan Di Perkotaan." *Kementerian Perhubungan*. Retrieved May 30, 2023 (<https://djka.dephub.go.id/moda-transportasi-kereta-api-moda-angkutan-umum-massal-pilihan-di-perkotaan-1>).
- Idris, Mawarni. (2023). "Jokowi Bingung Harga Beras Mahal Justru Saat Panen Raya." *Kompas.Com*, March 16. Unpublished.
- Irawan, B. (2013). Dampak El Nino dan La Nina terhadap produksi padi dan palawija. *Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian*.
- Julianto, Pramdia Arhando. (2016). "Impor Beras RI Pada 2016 Mencapai 1,2 Juta Ton." *Kompas.Com*. Retrieved May 30, 2023 (<https://money.kompas.com/read/2016/12/29/202642826/impor.beras.ri.pada.2016.mencapai.1.2.juta.ton>).
- Kaputra, I. (2015). Alih fungsi lahan, pembangunan pertanian dan kedaulatan pangan. *Jurnal Strukturisasi*, 1(1), 25-39.
- Khasanah, N. M., Tanika, L., Pratama, L. D. Y., Leimona, B., Prasetyo, E., Marulani, F., ... & Van Noordwijk, M. (2021). Groundwater-extracting rice production in the Rejoso Watershed (Indonesia) reducing urban water availability: characterisation and intervention priorities. *Land*, 10(6), 586.
- Khudori, S. K. (2008). *Ironi Negeri Beras*. Yogyakarta: Insist Press.
- Mawarni, A. M. (2023). "Masa Panen Raya Tiba, Pemerintah Harus Serap Beras Petani Semaksimal Mungkin." *Jawa Pos*, March 29. Unpublished.
- McCarthy, J. (2010). Processes of inclusion and adverse incorporation: Oil palm and agrarian change in Sumatra, Indonesia. *The Journal of Peasant Studies*, 37 (4): 821-850.
- Mediawan, Y., Montarich, L., Soetopoi, W., & Prayogo, T. B. (2021). Water Balance Supporting the Irrigation Water Demand in Java Island, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 53(1).
- Mulyani, A., Kuncoro, D., Nursyamsi, D., & Agus, F. (2016). Analisis konversi lahan sawah: Penggunaan data spasial resolusi tinggi memperlihatkan laju konversi yang mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40(2), 121-133.
- Mulyaqin, T. (2020). The Impact of El Niño and La Nina on Fluctuation of Rice Production in Banten Province. *Agromet*, 34(1), 34-41.
- Murdy, S., & Nainggolan, S. (2020). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Alih Fungsi Lahan Di Kabupaten Tanjung Jabung Timur-Indonesia. *Jurnal Manajemen Terapan Dan Keuangan*, 9(03), 206-214.
- Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 7752-7757.
- Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., & Wada, N. (2001). Using El Nino/Southern Oscillation climate data to predict rice production in Indonesia. *Climatic Change*, 50, 255-265.
- Perdinan, P., Atmaja, T., Adi, R. F., & Estiningtyas, W. (2018). Adaptasi perubahan iklim dan ketahanan pangan: telaah inisiatif dan kebijakan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 5(1), 60-87.
- Pramono, J., & Romdon, A. S. (2022). Peningkatan Produktivitas Melalui

- Perbaikan Sistem Budidaya Padi Sawah Di Tengah Ancaman Perubahan Iklim. *KaliAgri Journal*, 3(2), 9-19.
- Purwanti, T. (2020). Petani, Lahan dan Pembangunan: Dampak Alih Fungsi Lahan terhadap Kehidupan Ekonomi Petani. *Umbara*, 3(2), 95-104.
- Putri, R. E., Cahyani, G. A., Fahmy, K., Arlius, F., & Hasan, A. (2020, June). Comparison of Performance and Total Energy Requirement for Several Harvesting Method of Indonesian Farmers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 515, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- R Core Team. (2023). "R: A Language and Environment for Statistical Computing."
- Rahayu, S. E., & Febriaty, H. (2019, October). Analisis perkembangan produksi beras dan impor beras di Indonesia. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 219-226).
- Ratri, D. N., Weerts, A., Muharsyah, R., Whan, K., Tank, A. K., Aldrian, E., & Hariadi, M. H. (2023). Calibration of ECMWF SEAS5 based streamflow forecast in Seasonal hydrological forecasting for Citarum river basin, West Java, Indonesia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101305.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PloS one*, 8(6), e66428.
- Rizki, M. (2023). "Sah! Pemerintah Naikkan Harga Gabah Dan Beras, Ini Rinciannya." *CNBC Indonesia*, March 21. Unpublished.
- Rondhi, M., Pratiwi, P. A., Handini, V. T., Sunartomo, A. F., & Budiman, S. A. (2018). Agricultural land conversion, land economic value, and sustainable agriculture: A case study in East Java, Indonesia. *Land*, 7(4), 148.
- RStudio Team. (2023). "RStudio: Integrated Development Environment for R."
- Salman, R. S. (2016). Impact Of El Nino Phenomenon On Paddy Field At Seram Island (Case Study: El Nino 2015-2016). In *International Conference on Climate Change* (pp. 248-254).
- Santosa, A. D. (2021). "Kebijakan Pangan Badan Pangan Nasional." *Kompas.Id*. Retrieved May 30, 2023 (<https://www.kompas.id/baca/opini/2021/09/09/badan-pangan-nasional-2>).
- Sari, R. W. S. W. S., & Yuliani, E. (2022). Identifikasi Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Ke Non Pertanian Untuk Perumahan. *Jurnal Kajian Ruang*, 1(2), 255-269.
- Setyanto, P., Pramono, A., Adriany, T. A., Susilawati, H. L., Tokida, T., Padre, A. T., & Minamikawa, K. (2018). Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(1), 23-30.
- Siwanto, T., & Melati, M. (2015). Peran pupuk organik dalam peningkatan efisiensi pupuk anorganik pada Padi Sawah (*Oryza sativa* L.). *Indonesian Journal of Agronomy*, 43(1), 8-14.
- Susanti, E., Dewi, E. R., Surmaini, E., Sopaheluwakan, A., Linarko, A., & Syahputra, M. R. (2021). The projection of rice production in Java Island to support Indonesia as the world food granary. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 306). EDP Sciences.
- Susmana, A. (2016). "Sukarta Buyung: Usaha Meningkatkan Pangan Dari Sumatera Selatan." *Berdikarionline.Com*, March. Unpublished.
- Sutrisno, D., Ambarwulan, W., Nahib, I., Suryanta, J., Windiastuti, R., & Kardono, P. (2019). Cellular automata markov method, an approach for rice self-sufficiency projection. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6).
- Sutrisno, Eri. (2022). "Indonesia.Go.Id - Produksi Padi Di 2022 Alami Kenaikan." *Indonesia.Go.Id*. Retrieved May 22, 2023 (<https://indonesia.go.id/kategori/editorial/6142/produksi-padi-di-2022-alami-kenaikan?lang=1>).

- Vel, J. A., McCarthy, J. F., & Zen, Z. (2016, July). The conflicted nature of food security policy: Balancing rice, sugar and palm oil in Indonesia. In *Anthropological Forum* (Vol. 26, No. 3, pp. 233-247). Routledge.
- Wang, J., Vanga, S. K., Saxena, R., Orsat, V., & Raghavan, V. (2018). Effect of climate change on the yield of cereal crops: A review. *Climate*, 6(2), 41.
- Wibawa, N. C., Ardini, H., Hermawati, G., Firdausa, R. N., Anggoro, K. B., & Wikansari, R. (2023). Analisis Impor Beras Di Indonesia Dan Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Impor Beras. *Jurnal Economina*, 2(2), 574-585.
- Wirabrata, A., & Silalahi, S. A. F. (2012). Hubungan infrastruktur transportasi dan biaya logistik. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*, 3(1), 119-136.
- Yudhana, A., Sulistyono, D., & Mufandi, I. (2021). GIS-based and Naïve Bayes for nitrogen soil mapping in Lendah, Indonesia. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 33, 100435.
- Yuliawan, T., & Handoko, I. (2016). The effect of temperature rise to rice crop yield in Indonesia uses Shierary Rice model with geographical information system (GIS) feature. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 214-220.
- Yuniartha, L. (2020). "Kementerian Agraria: Luas Lahan Baku Sawah Tahun 2019 Sebesar 7,46 Juta Hektare." *Kontan.Co.Id*. Retrieved May 30, 2023 (<https://industri.kontan.co.id/news/kementerian-agraria-luas-lahan-baku-sawah-tahun-2019-sebesar-746-juta-hektare>).
- Zahri, I., Wildayana, E., Ak, A. T., Adriani, D., & Harun, M. U. (2019). Impact of conversion from rice farms to oil palm plantations on socio-economic aspects of ex-migrants in Indonesia. *Agricultural Economics*, 65(12), 579-586.