

**Kerangka Kebijakan Berbasis Risiko untuk Resiliensi Produksi Padi  
Pada Fenomena El Niño Ekstrem di Lampung, Indonesia*****A Risk-Based Policy Framework for Climate-Resilient Rice Production  
under Extreme El Niño in Lampung, Indonesia*****Rizky Rahmadi<sup>1</sup>, Desi Maulida<sup>1</sup>, Dulbari<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup> Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia 35141\*E-mail: [dulbari@polinela.ac.id](mailto:dulbari@polinela.ac.id)

Submitted: 25/05/2026, Accepted: 18/06/2026, Published: 18/06/2026.

**ABSTRAK**

Fenomena El Niño secara signifikan mengancam sistem produksi padi di wilayah tropis seperti Provinsi Lampung. Kajian ini merumuskan kerangka kebijakan adaptif berbasis risiko melalui integrasi analisis variabilitas iklim, kapasitas adaptasi lokal, dan hasil *Focus Group Discussion* (FGD). Menggunakan pendekatan *mixed-methods*, studi ini menganalisis data *time-series* iklim dan produksi padi tahun 1991-2024 beserta wawasan kualitatif partisipatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa risiko utama meliputi kekeringan, penurunan produktivitas akibat stres air, hama, dan ketidakpastian kalender tanam. Namun, sistem produksi di Lampung memiliki kapasitas adaptasi yang kuat. Praktik adaptasi lokal yang teridentifikasi dalam kajian ini terbukti esensial. Hal ini sejalan dengan dukungan literatur bahwa penerapan teknologi seperti *Alternate Wetting and Drying* (AWD) mampu menghemat penggunaan air hingga  $\pm 30\%$ . Kombinasi adaptasi lokal dan efisiensi air ini secara efektif meredam guncangan hasil menekan potensi kehilangan dari  $>20\%$  menjadi hanya  $\pm 1\%$ , sekaligus mempertahankan tren pertumbuhan produksi jangka panjang. Kajian ini mengusulkan model kebijakan terintegrasi yang menghubungkan risiko iklim, kapasitas adaptasi, dan intervensi kebijakan. Temuan ini menekankan pentingnya pendekatan berbasis risiko, integrasi data, dan skalabilitas adaptasi lokal, menjadikan Lampung sebagai model nasional untuk pertanian tangguh iklim.

**Kata Kunci:** Adaptasi Iklim, Lampung, Pertanian Cerdas Iklim, Produksi Padi, Resiliensi.**ABSTRACT**

*The El Niño phenomenon poses a significant threat to rice production systems in tropical regions such as Lampung Province. This study formulates a risk-based adaptive policy framework by integrating analyses of climate variability, local adaptive capacity, and findings from Focus Group Discussions (FGDs). Using a mixed-methods approach, this study analyzes time-series data on climate and rice production from 1991 to 2024, along with participatory qualitative insights. The results indicate that the primary risks include drought, reduced productivity due to water stress, pests, and uncertainty regarding the planting calendar. However, the production system in Lampung possesses strong adaptive capacity. The local adaptation practices identified in this study prove to be essential. This aligns with the literature's support that the application of technologies such as Alternate Wetting and Drying (AWD) can reduce water use by up to  $\pm 30\%$ . This combination of local adaptation and water efficiency effectively mitigates yield shocks, reducing potential losses from  $>20\%$  to just  $\pm 1\%$ , while maintaining the long-term production growth trend. This study proposes an integrated policy model linking climate risks, adaptive capacity, and policy interventions. These findings underscore the importance of a risk-based approach, data integration, and the scalability of local adaptation, positioning Lampung as a national model for climate-resilient agriculture.*

**Keywords:** *Climate Adaptation; Climate-Smart Agriculture, Lampung, Rice Production, Resilience.*



Copyright © 2026 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

## PENDAHULUAN

Fenomena El Niño sebagai bagian dari sistem ENSO (El Niño–Southern Oscillation) merupakan penggerak utama variabilitas iklim global yang secara signifikan mempengaruhi stabilitas sistem produksi pangan, khususnya di wilayah tropis. Anomali suhu permukaan laut pada fase El Niño memicu penurunan curah hujan, peningkatan suhu udara, serta perpanjangan musim kemarau yang secara langsung menurunkan ketersediaan air dan produktivitas tanaman (Sahu et al., 2020; Stuecker et al., 2018). Pada skala global, ENSO telah diidentifikasi sebagai determinan utama fluktuasi produksi pertanian, termasuk padi sebagai komoditas pangan strategis dunia (Naylor et al., 2007).

Sejumlah studi menunjukkan bahwa produksi padi sangat sensitif terhadap variabilitas iklim yang dipicu ENSO. Fase El Niño umumnya menyebabkan defisit air yang berdampak langsung pada fase reproduktif tanaman, sehingga menurunkan hasil hingga lebih dari 20% (Barrios-Perez et al., 2021; Khairulbahri et al., 2021). Selain kekeringan, kejadian cuaca ekstrem seperti hujan intensitas tinggi dan angin kencang juga meningkatkan risiko rebah tanaman (lodging), yang mengganggu proses fotosintesis dan translokasi asimilat (Wassmann et al., 2010; Salassi et al., 2013). Dengan demikian, dampak ENSO terhadap produksi padi tidak bersifat tunggal, tetapi merupakan hasil interaksi

kompleks antara stres abiotik dan gangguan fisiologis tanaman.

Dalam konteks Indonesia, hubungan antara variabilitas curah hujan akibat ENSO dan produksi padi telah lama diidentifikasi sebagai faktor kunci yang menentukan stabilitas pangan nasional (Naylor et al., 2002). Sistem pertanian berbasis tadah hujan menunjukkan kerentanan yang tinggi terhadap perubahan pola hujan, di mana fluktuasi curah hujan berpengaruh signifikan terhadap ketersediaan air dan produktivitas (Subash et al., 2011). Hal ini menegaskan bahwa sistem produksi padi di wilayah tropis menghadapi risiko yang semakin meningkat seiring intensifikasi variabilitas iklim global.

Provinsi Lampung sebagai salah satu sentra produksi padi nasional menghadapi kompleksitas risiko yang semakin tinggi akibat dinamika tersebut. Hasil penelitian Andri & Priantoro (2020) juga menunjukkan bahwa kejadian kekeringan berulang telah menyebabkan kerusakan tanaman dalam skala luas, dengan luasan terdampak mencapai puluhan ribu hektar, sementara prediksi iklim mengindikasikan kecenderungan musim kemarau yang lebih awal dengan potensi El Niño pada tahun 2026.

Namun demikian, temuan empiris menunjukkan bahwa dampak cuaca ekstrem terhadap produksi padi di Lampung tidak selalu linier terhadap penurunan hasil. Studi longitudinal menunjukkan bahwa meskipun terjadi puluhan kejadian cuaca ekstrem, kehilangan hasil relatif kecil ( $\pm 1\%$ ),

sementara produksi tetap meningkat dengan laju sekitar 5% per tahun. Hal ini menunjukkan adanya kapasitas adaptasi sistem produksi yang relatif kuat. Adaptasi tersebut tercermin dalam praktik lokal seperti diversifikasi agroekosistem, penggunaan varietas unggul, serta penerapan kalender tanam berbasis informasi iklim (Dulbari et al., 2018).

Lebih lanjut, strategi adaptasi seperti shifting produksi antar agroekosistem, peningkatan intensitas tanam hingga 2,5–3 kali per tahun pada lahan irigasi, serta adopsi varietas berdaya hasil tinggi terbukti mampu menekan dampak negatif variabilitas iklim terhadap produksi. Temuan ini sejalan dengan literatur internasional yang menegaskan bahwa dampak ENSO terhadap produksi pangan sangat ditentukan oleh kapasitas adaptasi lokal, termasuk teknologi, manajemen air, dan kelembagaan pertanian (Frazier et al., 2022). Dengan demikian, ketahanan sistem produksi padi tidak hanya bergantung pada intensitas tekanan iklim, tetapi juga pada efektivitas respons adaptif yang diterapkan.

Meskipun dampak ENSO telah banyak dikaji, integrasi sistemik antara analisis risiko iklim, kapasitas adaptasi lokal, dan formulasi kebijakan operasional yang kontekstual masih sangat terbatas. Guna mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini memilih Provinsi Lampung sebagai lokus kajian. Sebagai *living laboratory*, Lampung merepresentasikan kompleksitas agroekosistem tropis secara kompak, mulai dari sawah irigasi, tadah hujan, hingga lahan rawa. Keberhasilan wilayah ini dalam mempertahankan pertumbuhan produksi di tengah tekanan El Niño ekstrem menjadikannya prototipe resiliensi pangan yang bernilai strategis untuk direplikasi oleh negara-negara

berkembang lainnya dalam menghadapi volatilitas iklim global.

Selain itu, penguatan ketahanan sistem produksi ini berkontribusi fundamental pada capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya dalam mengamankan ketersediaan pangan (SDG 2), mendorong konsumsi dan produksi bertanggung jawab melalui efisiensi air (SDG 12), serta menjaga keberlanjutan ekosistem daratan (SDG 15). Oleh karena itu, studi ini mengusulkan *risk-based policy framework* yang mengintegrasikan komponen *climate risk*, *adaptive capacity*, dan *policy intervention*. Dengan menggabungkan analisis data empiris jangka panjang dan perspektif kualitatif partisipatif melalui FGD, kajian ini merumuskan rekomendasi kebijakan berbasis bukti yang aplikatif sekaligus menjembatani kesenjangan antara analisis ilmiah dan implementasi di tingkat tapak.

## METODE PENELITIAN

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* berorientasi kebijakan (*policy-oriented mixed methods*) yang mengintegrasikan analisis kuantitatif berbasis data runtun waktu (*time series*) dengan pendekatan kualitatif partisipatif melalui FGD yang mampu menghubungkan analisis empiris dengan perspektif pemangku kepentingan dalam perumusan kebijakan yang kontekstual (Frazier et al., 2022).

Kerangka analisis mengacu pada *risk-based policy framework*, yang mengintegrasikan empat komponen utama, yaitu: *climate hazard* (intensitas El Niño), *exposure* (luas tanam padi), *vulnerability* (ketergantungan terhadap

curah hujan), dan *adaptive capacity* (teknologi dan kelembagaan) (Naylor et al., 2007). Selain itu, pendekatan partisipatif dalam penelitian ini mengadopsi konsep *co-production of knowledge*, yaitu integrasi antara pengetahuan ilmiah dan pengalaman praktis pemangku kepentingan dalam menghasilkan kebijakan yang aplikatif dan berbasis bukti (Frazier et al., 2022).

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Provinsi Lampung, salah satu sentra produksi padi nasional dengan keragaman agroekosistem yang meliputi sawah irigasi, tadah hujan, dan rawa. Wilayah ini dipilih karena memiliki tingkat variabilitas iklim yang tinggi akibat pengaruh ENSO, serta riwayat kejadian cuaca ekstrem yang berulang (Naylor et al., 2002).

### Sumber dan Pengumpulan Data

#### Data Kuantitatif (*Time Series*)

Data sekunder dalam penelitian ini dikumpulkan dari berbagai sumber resmi, yaitu BMKG untuk data curah hujan, suhu, dan variabilitas iklim, BPS Provinsi Lampung untuk data produksi padi, luas panen, dan produktivitas, serta NOAA untuk indeks ENSO (*Oceanic Niño Index/ONI*). Periode analisis mencakup tahun 1991–2024 ( $\geq 30$  tahun) guna memenuhi standar klimatologi jangka panjang. Data tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabilitas ENSO, curah hujan, dan dinamika produksi padi (Barrios-Perez et al., 2021).

#### Data Kualitatif (FGD)

Data kualitatif diperoleh melalui FGD yang diselenggarakan oleh Dinas Ketahanan Pangan Tanaman Pangan dan

Hortikultura Provinsi Lampung pada tanggal 1 April 2026 secara hybrid (luring dan daring).

FGD melibatkan pemangku kepentingan lintas sektor yang dipilih secara *purposive* untuk merepresentasikan sistem produksi padi secara komprehensif. Narasumber terdiri dari tenaga ahli dan pendamping program yang memberikan perspektif strategis terkait pengembangan pertanian dan ketahanan pangan.

Peserta FGD mencakup instansi pemerintah, lembaga nasional, akademisi, serta perwakilan pemerintah kabupaten/kota di Provinsi Lampung. Instansi yang terlibat antara lain Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah, BMKG, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, Balai Besar Penerapan Modernisasi Pertanian (BRMP), serta perguruan tinggi Politeknik Negeri Lampung.

Khusus dari Politeknik Negeri Lampung, keterlibatan dosen/peneliti dan praktisi bidang produksi tanaman pangan memberikan kontribusi penting dalam menjembatani aspek teknis budidaya, inovasi teknologi, serta implementasi adaptasi di tingkat lapangan. Selain itu, partisipasi dinas ketahanan pangan dan pertanian dari seluruh kabupaten/kota di Provinsi Lampung memastikan representasi kondisi lokal secara menyeluruh.

Keterlibatan multi-aktor ini mencerminkan pendekatan *multi-level governance* dalam adaptasi perubahan iklim, yang meningkatkan efektivitas kebijakan melalui integrasi perspektif ilmiah, kebijakan, dan praktik lapangan (Frazier et al., 2022). Diskusi difokuskan

pada identifikasi risiko El Niño, evaluasi kapasitas adaptasi, serta formulasi strategi kebijakan berbasis konteks lokal.

### Metode Analisis

#### Analisis Hubungan Iklim-Produksi, Dampak ENSO, dan Risiko

Model regresi yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi hubungan antara variabel iklim dan produksi padi, dengan memasukkan faktor biofisik dan struktural secara simultan:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 R_{\text{aint}} + \beta_2 \text{ENSO}_t + \beta_3 A_{\text{reat}} + \epsilon_t$$

Keterangan:

|                             |   |                                                               |
|-----------------------------|---|---------------------------------------------------------------|
| $Y_t$                       | = | produksi padi pada waktu $t$                                  |
| $R_{\text{aint}}$           | = | curah hujan sebagai indikator ketersediaan air                |
| $\text{ENSO}_t$             | = | indeks ENSO (ONI) yang merepresentasikan anomali iklim global |
| $A_{\text{reat}}$           | = | luas panen sebagai faktor struktural produksi                 |
| $\beta_0$                   | = | konstanta                                                     |
| $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ | = | koefisien regresi                                             |
| $\epsilon_t$                | = | error term                                                    |

Model ini mengasumsikan bahwa produksi padi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor iklim (curah hujan dan ENSO), tetapi juga oleh faktor struktural seperti luas panen. Koefisien  $\beta_1$  menunjukkan sensitivitas produksi terhadap perubahan curah hujan,  $\beta_2$  menggambarkan dampak variabilitas ENSO terhadap produksi, sedangkan  $\beta_3$  mencerminkan kontribusi ekspansi atau kontraksi luas panen terhadap total produksi (Naylor et al., 2002).

Klasifikasi ENSO menggunakan indeks ONI, dimana El Niño ( $\geq +0,5$ ) dan La Niña ( $\leq -0,5$ ). Analisis dilakukan dengan membandingkan rata-rata produksi padi antar fase ENSO untuk

mengidentifikasi perbedaan kinerja produksi akibat variabilitas iklim (Barrios-Perez et al., 2021).

Risiko produksi padi dihitung menggunakan pendekatan:

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability}$$

Kerangka analisis risiko ini mengukur tingkat risiko produksi padi sebagai hasil interaksi antara *hazard* (intensitas El Niño), *exposure* (luas tanam atau area terdampak), dan *vulnerability* (tingkat ketergantungan terhadap curah hujan) (Naylor et al., 2007).

### Uji Perubahan Struktural (Chow Test)

Untuk menguji keberadaan patahan struktural (*structural break*) atau fenomena *decoupling* pada tren produksi padi di Provinsi Lampung sebelum dan sesudah era 2000-an, penelitian ini menerapkan Uji Chow (*Chow Test*). Uji ini mengevaluasi apakah parameter regresi linier dari dua sub-periode pengamatan menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Data *time-series* dibagi menjadi dua sub-periode, yaitu Periode I (1991–2005) sebagai representasi fase sebelum adopsi masif teknologi adaptasi, dan Periode II (2006–2024) sebagai fase pasca-adopsi teknologi resiliensi lokal.

Statistik uji F-Chow dihitung menggunakan formulasi sebagai berikut (Gujarati & Porter, 2009):

$$F = \frac{(RSS_p - (RSS_1 + RSS_2)) / k}{(RSS_1 + RSS_2) / (N_1 + N_2 - 2k)}$$

Keterangan:

- $RSS_p$  = *Residual Sum of Squares* dari model gabungan (keseluruhan periode 1991–2024)
- $RSS_1$  = *Residual Sum of Squares* dari sub-periode I (1991–2005)

- $RSS_2$  = *Residual Sum of Squares* dari sub-periode II (2006–2024)
- $N_1$  = Jumlah sampel/tahun pada sub-periode I
- $N_2$  = Jumlah sampel/tahun pada sub-periode II
- $k$  = Jumlah parameter yang diduga (termasuk intersep)

Hipotesis nol ( $H_0$ ) menyatakan bahwa tidak terdapat perubahan struktural (koefisien parameter kedua sub-periode adalah sama/stabil), sedangkan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) menyatakan terdapat perubahan struktural yang signifikan. Jika nilai  $F$ -hitung yang diperoleh lebih besar daripada nilai  $F$ -tabel pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ) dengan derajat bebas  $df = (k, N_1 + N_2 - 2k)$ , maka  $H_0$  ditolak, yang mengonfirmasi adanya perubahan struktural atau stabilitas parameter yang patah secara empiris.

### Analisis FGD serta Integrasi dan Validasi Data

Data FGD dianalisis menggunakan *thematic content analysis* secara sistematis dan berlapis. Proses dimulai dengan transkripsi penuh hasil diskusi, kemudian dilanjutkan dengan *coding* tematik untuk mengidentifikasi isu kunci seperti risiko, adaptasi, dan kebijakan. Selanjutnya, hasil *coding* dikategorikan menjadi tema utama yang merepresentasikan pola pemikiran pemangku kepentingan. Tahap akhir adalah sintesis kebijakan, yaitu merumuskan rekomendasi yang terstruktur, berbasis bukti, dan relevan dengan kondisi lapangan. Pendekatan ini memastikan bahwa analisis tidak hanya deskriptif, tetapi juga menghasilkan keluaran yang aplikatif dan dapat digunakan dalam perumusan kebijakan. Kerangka analisis FGD tersebut disajikan pada Gambar 1.

Integrasi data dilakukan melalui pendekatan triangulasi dengan menggabungkan data iklim, data produksi, dan data persepsi dari FGD untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif. Validasi hasil dilakukan melalui *cross-validation* antar sumber data, konsultasi dengan pemangku kepentingan, serta *expert judgment*, sehingga meningkatkan akurasi, konsistensi, dan keandalan temuan dalam mendukung perumusan kebijakan berbasis bukti.

Penelitian ini memperhatikan prinsip etika, meliputi persetujuan partisipan, kerahasiaan data, dan transparansi penggunaan data.



Gambar 1 *FGD Analysis Framework: Thematic Content Analysis*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

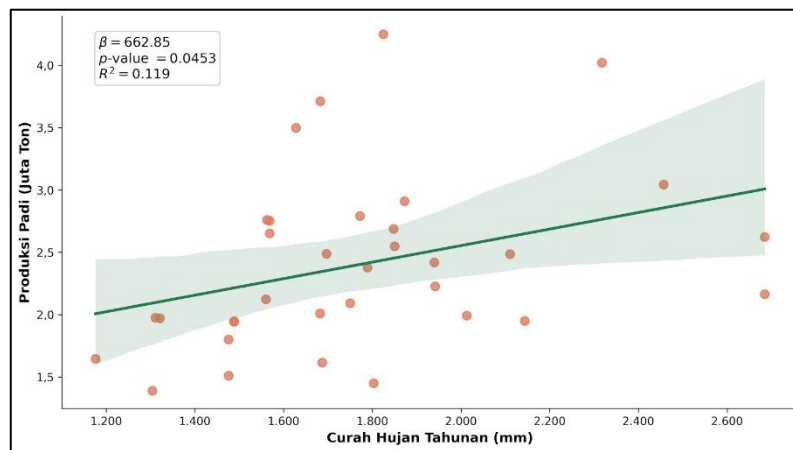
### *Risk Profile of Rice Production under El Niño*

Untuk memvalidasi profil risiko dan persepsi kerentanan yang dirumuskan dalam FGD, analisis empiris menggunakan data runtun waktu (*time-series*) sepanjang 34 tahun (1991–2024) dieksekusi guna memetakan sensitivitas nyata sistem produksi padi di Provinsi Lampung terhadap fluktuasi iklim (Gambar 1). Berdasarkan hasil pemodelan regresi linear, ketersediaan curah hujan tahunan memiliki pengaruh positif yang signifikan secara statistik terhadap total volume produksi padi regional ( $p\text{-value} = 0,0452 < 0,05$ ). Koefisien regresi

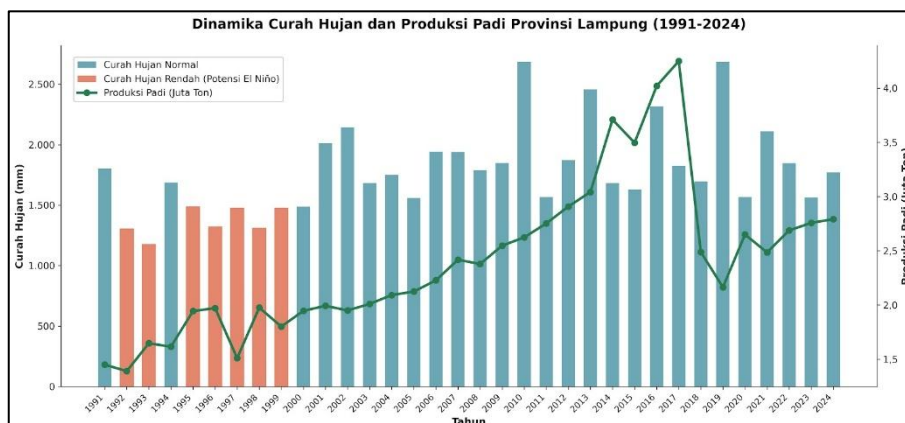
menunjukkan nilai  $\beta = 662,85$ , yang mengimplikasikan bahwa tanpa adanya intervensi adaptasi di tingkat tapak, setiap defisit curah hujan sebesar 1 mm berpotensi menurunkan produksi padi sebesar 662,85 ton (Gambar 1). Pola kerentanan linier ini terekam jelas pada dekade 1990-an, khususnya saat El Niño kuat tahun 1997 memicu kejatuhan produksi padi secara drastis hingga berada di bawah rentang 1,51 juta ton akibat cekaman abiotik pada fase reproduktif tanaman.

Hasil studi (Gambar 2) mengidentifikasi tahun-tahun terjadinya anomali kering ekstrem (diwarnai oranye sebagai indikator intensifikasi El

Niño/kuartil bawah curah hujan), seperti pada tahun 1992, 1993, 1997, 2002, 2006, 2014, 2015, 2020, dan 2023. Pola historis menunjukkan bahwa penurunan curah hujan di bawah ambang batas kritis ini merupakan *primary hazard* yang memicu stres abiotik pada tanaman padi. Sebagai contoh, pada fase kerentanan tinggi di era 1990-an (khususnya El Niño kuat tahun 1997), curah hujan yang merosot tajam berimplikasi langsung pada kontraksi produksi padi menjadi hanya sekitar 1,51 juta ton. Defisit air yang ekstrem pada fase reproduktif ini secara fisiologis mengganggu translokasi asimilat dan meningkatkan persentase gabah hampa.



Gambar1. Hubungan linear curah hujan dan produksi padi Provinsi Lampung (1991-2024)



Gambar 2. Data *time-series* produksi padi dan curah hujan Provinsi Lampung tahun 1991-2024

Untuk memperkuat argumen kuantitatif terkait resiliensi produksi, pengujian perubahan struktural (*structural*

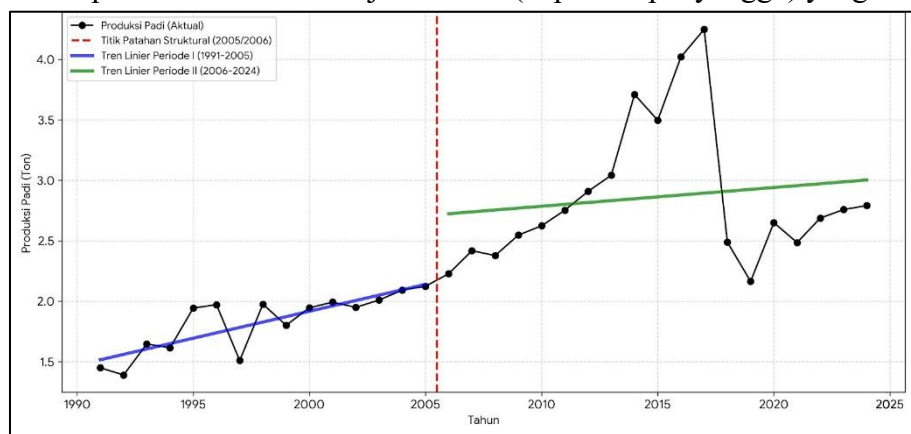
*break*) dilakukan menggunakan *Chow Test* dengan membagi rentang observasi menjadi dua sub-periode: Periode I

(1991–2005) dan Periode II (2006–2024). Hasil analisis menunjukkan nilai  $F$ -hitung sebesar 15,34, yang jauh melebihi nilai  $F$ -tabel (3,32) pada tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  ( $p < 0,001$ ). Penolakan hipotesis nol ini memberikan bukti matematis yang solid bahwa telah terjadi pergeseran struktural pada ekosistem produksi padi di Provinsi Lampung (Gambar 3).

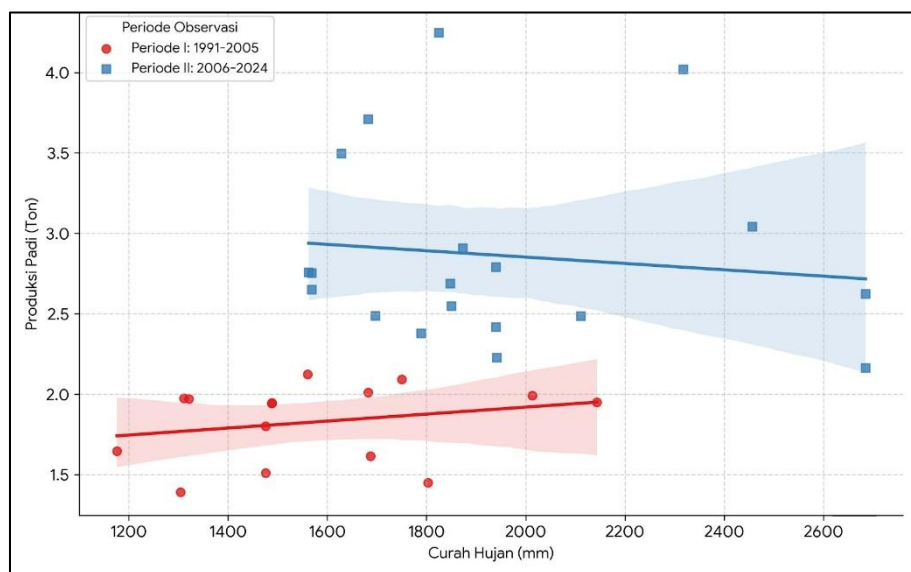
Bukti pergeseran struktural ini divisualisasikan melalui kurva *scatter plot* (Gambar 3). Grafik tersebut memperlihatkan terjadinya fenomena *decoupling* (pelepasan ketergantungan). Pada Periode I (merah), produksi sangat sensitif terhadap defisit curah hujan.

Namun, pada Periode II (biru), terjadi pergeseran kurva ke atas dengan kemiringan yang lebih landai, yang mengindikasikan bahwa produksi tetap stabil di level tinggi meskipun terjadi fluktuasi curah hujan ekstrem akibat El Niño.

Fenomena ini dipertegas oleh grafik tren *time-series* (Gambar 4) yang menunjukkan lompatan signifikan pada garis tren produksi pasca-2005. Secara empiris, kedua bukti visual dan statistik ini mengonfirmasi bahwa sistem produksi padi di Lampung tidak sekadar pulih dari guncangan, tetapi telah berhasil mengakumulasi *buffering capacity* (kapasitas penyangga) yang dinamis.



Gambar 3. Tren produksi padi Lampung dan titik patahan struktural (*Chow Test*)



Gambar 4. Perubahan structural: Hubungan curah hujan dan produksi padi

Selain terekam dalam data historis, kerentanan sistem produksi ini juga divalidasi oleh perspektif pemangku kepentingan. Hasil *Focus Group Discussion* (FGD) menunjukkan bahwa risiko utama yang paling dirasakan di tingkat tapak meliputi kekeringan, gangguan sistem irigasi, peningkatan serangan hama dan penyakit, serta ketidakpastian kalender tanam yang berimplikasi langsung pada potensi gagal panen. Persepsi risiko ini sejalan dengan temuan empiris di mana kekeringan lahan sawah menjadi faktor pembatas utama akibat penurunan curah hujan selama fase El Niño.

Kekeringan lahan sawah menjadi risiko dominan akibat penurunan curah hujan selama El Niño. Defisit air ini berdampak langsung pada ketersediaan air irigasi, terutama pada sistem tadah hujan yang sangat bergantung pada curah hujan. Studi global menunjukkan bahwa kekeringan merupakan faktor pembatas utama produksi padi (Sahu et al., 2020; Naylor et al., 2007). Di Lampung, risiko ini diperkuat oleh keterbatasan infrastruktur air di beberapa wilayah, sehingga meningkatkan kerentanan sistem produksi terhadap fluktuasi iklim. Stres air pada fase kritis tanaman, khususnya fase reproduktif, menyebabkan gangguan fisiologis seperti penurunan fotosintesis, sterilisasi bunga, dan peningkatan gabah hampa. Dampaknya adalah penurunan hasil yang signifikan, bahkan dapat melebihi 20% tergantung intensitas cekaman (Wassmann et al., 2010; Barrios-Perez et al., 2021). Temuan FGD menunjukkan bahwa penurunan produktivitas merupakan dampak yang paling dirasakan oleh petani, terutama pada musim kemarau panjang.

Kondisi suhu tinggi dan kelembaban rendah selama El Niño menciptakan lingkungan yang kondusif bagi perkembangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Studi menunjukkan bahwa perubahan iklim meningkatkan dinamika populasi hama secara signifikan (Deutsch et al., 2018). Dalam konteks Lampung, petani melaporkan peningkatan serangan wereng dan penggerek batang selama musim kering, yang memperparah penurunan produksi (Hasil FGD).

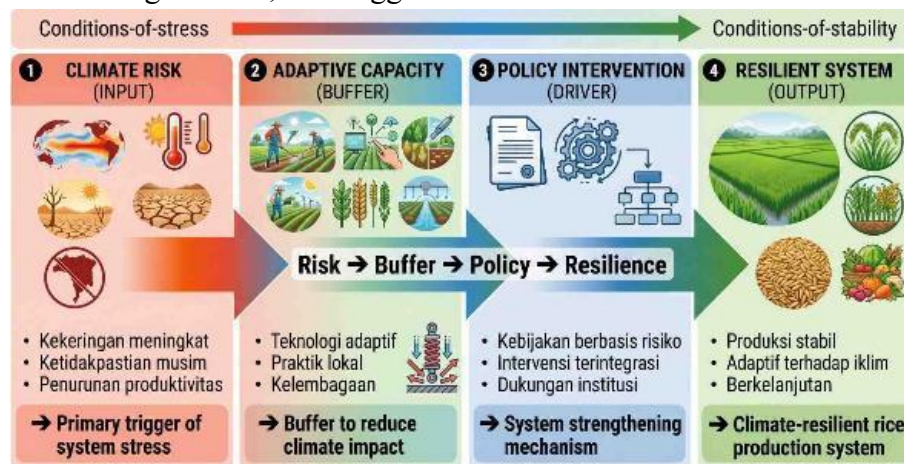
El Niño menyebabkan pergeseran musim yang berdampak pada ketidakpastian kalender tanam. Ketidaktepatan waktu tanam menyebabkan mismatch antara kebutuhan air tanaman dan ketersediaan air di lapangan. Hal ini telah diidentifikasi sebagai faktor utama fluktuasi produksi padi di Indonesia (Naylor et al., 2002) dan diperkuat oleh temuan FGD yang menunjukkan bahwa ketidakpastian musim menjadi kendala utama dalam pengambilan keputusan budidaya.

Risiko produksi padi bersifat heterogen, baik secara spasial maupun temporal. Secara spasial, tingkat risiko berbeda antar agroekosistem, seperti sawah irigasi, tadah hujan, dan rawa, tergantung pada ketersediaan air dan infrastruktur. Secara temporal, risiko dipengaruhi oleh fase pertumbuhan tanaman, di mana fase generatif menjadi paling sensitif terhadap stres air, sehingga berpotensi menimbulkan penurunan hasil paling signifikan (Wassmann et al., 2010).

Secara keseluruhan, risiko utama produksi padi meliputi kekeringan yang menyebabkan defisit air tinggi, stres air yang menurunkan hasil secara signifikan, peningkatan serangan hama dan penyakit dengan dampak sedang hingga tinggi, serta ketidakpastian kalender tanam yang

mempengaruhi stabilitas produksi. Interaksi antar faktor tersebut menunjukkan bahwa risiko bersifat sistemik dan saling terkait, sehingga

memerlukan pendekatan kebijakan yang terintegrasi dan berbasis risiko untuk penanganannya (Gambar 5).



Gambar 5. Sintesis risiko produksi padi dibawah variabilitas iklim

### Existing Adaptive Capacity

Petani secara aktif menyesuaikan waktu tanam berdasarkan pola curah hujan dan informasi iklim. Penggunaan seasonal climate forecasting terbukti meningkatkan stabilitas produksi (Hansen et al., 2011). Di Lampung, strategi ini efektif menghindari kegagalan panen akibat kesalahan waktu tanam.

Adopsi varietas unggul tahan kekeringan, genangan, dan rebah menjadi strategi kunci. Varietas adaptif mampu mempertahankan hasil di bawah kondisi stres lingkungan (Wassmann et al., 2009; Manzanilla et al., 2011). Keberagaman varietas memberikan fleksibilitas dalam menghadapi kondisi agroklimat yang dinamis.

Petani menerapkan shifting antar agroekosistem untuk menyesuaikan kondisi lingkungan. Strategi ini memungkinkan optimalisasi sumber daya dan pengurangan risiko kegagalan panen. Pendekatan ini sejalan dengan konsep diversifikasi sebagai strategi adaptasi perubahan iklim (Frazier et al., 2022).

Pengembangan irigasi, pompanisasi, dan pengelolaan air berbasis komunitas meningkatkan ketersediaan air. Studi menunjukkan bahwa investasi pada irigasi meningkatkan stabilitas produksi (Bouman et al., 2007). Kapasitas adaptasi sistem produksi padi di Lampung bersifat multidimensi, mencakup aspek teknologi, manajemen, dan kelembagaan, serta menunjukkan karakter dinamis yang responsif terhadap perubahan iklim. Selain itu, adaptasi yang berbasis pada kondisi dan pengetahuan lokal memperkuat ketahanan sistem, sehingga produksi padi tetap stabil bahkan cenderung meningkat meskipun menghadapi tekanan iklim ekstrem.

### Policy Framework for Climate-Resilient Rice System

Berdasarkan sintesis hasil FGD dan dukungan literatur, diperlukan kerangka kebijakan berbasis *Climate-Smart Agriculture* (CSA) yang mengintegrasikan peningkatan produktivitas, penguatan kapasitas adaptasi, dan mitigasi emisi secara

simultan, sehingga mampu membangun sistem produksi padi yang tangguh, efisien, dan berkelanjutan di tengah tekanan variabilitas iklim (Lipper et al., 2014).

Strategi teknis yang direkomendasikan meliputi penerapan kalender tanam berbasis informasi iklim, penggunaan varietas toleran kekeringan, penerapan irigasi hemat air seperti *Alternate Wetting and Drying* (AWD), serta pemanfaatan bahan organik untuk meningkatkan kesuburan tanah. Penerapan AWD terbukti mampu menghemat penggunaan air hingga 30% tanpa menurunkan produktivitas tanaman (Bouman et al., 2007).

Strategi infrastruktur yang direkomendasikan meliputi pembangunan embung dan sumur sebagai sumber air alternatif, modernisasi jaringan irigasi untuk meningkatkan efisiensi distribusi, serta pengelolaan air berbasis komunitas guna memperkuat koordinasi antarpetani. Pendekatan terpadu ini tidak hanya meningkatkan keandalan pasokan air pada musim kering, tetapi juga mendorong efisiensi penggunaan sumber daya dan keberlanjutan sistem produksi padi di tengah variabilitas iklim yang semakin tinggi.

Penguatan kelembagaan dilakukan melalui penguatan kelompok tani sebagai basis organisasi petani, integrasi sistem informasi iklim untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data, serta pelaksanaan sekolah lapang iklim sebagai sarana pembelajaran adaptif. Pendekatan ini meningkatkan kapasitas kolektif petani, mempercepat difusi inovasi teknologi, dan memperkuat kemampuan adaptasi terhadap variabilitas iklim secara berkelanjutan dan terstruktur (Pretty et al., 2011).

Kebijakan ekonomi diarahkan melalui pengembangan asuransi usaha tani untuk mengurangi risiko kerugian, pemberian subsidi input adaptif guna mendukung teknologi tahan cekaman, serta diversifikasi usaha tani sebagai strategi penguatan pendapatan. Pendekatan ini meningkatkan ketahanan ekonomi petani, mengurangi kerentanan terhadap variabilitas iklim, dan memperkuat stabilitas sistem produksi secara berkelanjutan (Greatrex et al., 2015).

Model kebijakan yang diusulkan adalah: Climate Risk → Adaptive Capacity → Policy Intervention → Resilient System. Model ini menegaskan bahwa risiko iklim, khususnya fenomena El Niño, berperan sebagai pemicu utama yang menimbulkan tekanan terhadap sistem produksi padi melalui peningkatan kekeringan, ketidakpastian musim, dan gangguan produktivitas. Dalam kondisi tersebut, kapasitas adaptasi berfungsi sebagai penyangga yang menentukan sejauh mana sistem mampu merespons dan meminimalkan dampak negatif melalui teknologi, praktik lokal, dan kelembagaan. Selanjutnya, kebijakan berperan sebagai penguat sistem dengan menyediakan kerangka intervensi yang terarah, terintegrasi, dan berbasis risiko. Sinergi antara ketiga komponen ini menjadi kunci dalam membangun sistem produksi padi yang resilien, adaptif, dan berkelanjutan di tengah dinamika perubahan iklim.

Model ini mengintegrasikan empat dimensi utama, yaitu iklim sebagai sumber tekanan, teknologi sebagai solusi adaptif, kelembagaan sebagai penggerak implementasi, dan ekonomi sebagai penopang keberlanjutan sistem. Interaksi keempat dimensi tersebut membentuk

*climate–technology–institution–economy nexus* yang saling terhubung dan memperkuat, sehingga meningkatkan efektivitas strategi adaptasi serta ketahanan sistem produksi padi terhadap variabilitas dan ekstremitas iklim (Lal, 2020).

## Policy Implications

### Pendekatan Berbasis Risiko

Kebijakan pembangunan pertanian perlu didasarkan pada identifikasi dan pengelolaan risiko iklim secara sistematis, mencakup analisis bahaya, paparan, dan kerentanan. Pendekatan ini memungkinkan perumusan intervensi yang lebih tepat sasaran, adaptif, dan berbasis bukti, sehingga mampu meningkatkan ketahanan sistem produksi padi terhadap variabilitas dan kejadian iklim ekstrem (IPCC, 2022).

### Integrasi Data Iklim dan Produksi

Integrasi data BMKG, BPS, dan NOAA memungkinkan pengembangan sistem prediksi risiko berbasis ENSO yang lebih akurat, mendukung implementasi sistem peringatan dini, serta memperkuat pengambilan keputusan berbasis data. Pendekatan ini

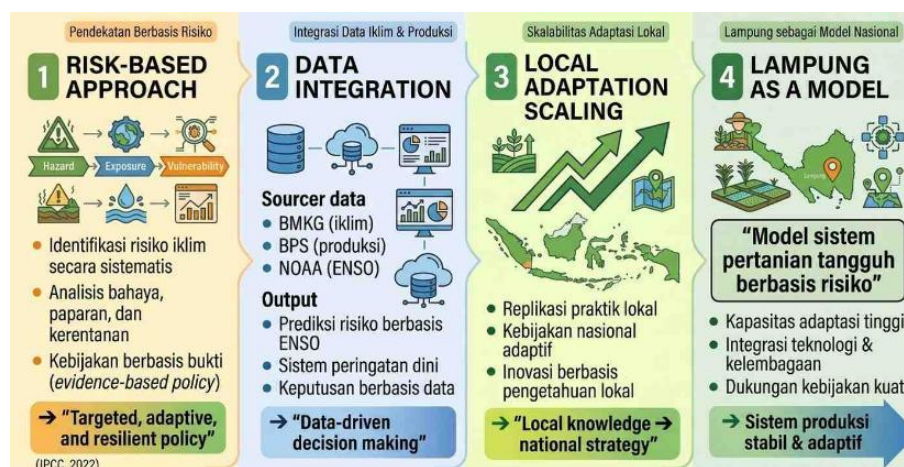
meningkatkan responsivitas terhadap variabilitas iklim, meminimalkan ketidakpastian, dan mendukung perencanaan produksi padi yang lebih adaptif dan terarah.

### Skalabilitas Adaptasi Lokal

Praktik lokal yang terbukti efektif perlu direplikasi dan diskalakan melalui kebijakan nasional yang adaptif, sehingga dapat diadopsi secara luas lintas wilayah. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan pengetahuan lokal sebagai basis inovasi, sekaligus memperkuat ketahanan sistem produksi padi secara nasional dalam menghadapi variabilitas dan perubahan iklim.

### Lampung sebagai Model Nasional

Lampung memiliki potensi kuat sebagai model sistem pertanian tangguh karena didukung oleh kapasitas adaptasi yang tinggi, integrasi yang efektif antara inovasi teknologi dan kelembagaan lokal, serta adanya dukungan kebijakan yang relatif responsif. Kombinasi faktor ini memungkinkan sistem produksi padi di Lampung tetap stabil dan adaptif dalam menghadapi tekanan variabilitas dan ekstremitas iklim (Gambar 6).



Gambar 6. Policy Implications for Climate-Resilient Rice Production

### Matriks Pemangku Kepentingan dan Peta Jalan Implementasi

Keberhasilan transisi menuju sistem produksi padi yang resilien sangat bergantung pada koordinasi lintas sektor

dalam kerangka *multi-level governance*. Berdasarkan hasil FGD, berikut adalah pemetaan peran dan tanggung jawab strategis untuk setiap pilar kebijakan (Tabel 1):

Tabel 1. Matriks Peran Pemangku Kepentingan (*Stakeholder Mapping*)

| Sektor Kebijakan              | Instansi Penanggung Jawab            | Peran Strategis                                                                                              |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Teknis &amp; Teknologi</b> | DKPTPH Prov. Lampung, BRIN, Polinela | Pengembangan varietas toleran kekeringan dan diseminasi teknologi <i>Alternate Wetting and Drying</i> (AWD). |
| <b>Infrastruktur Air</b>      | Dinas SDA, BBWS Mesuji Sekampung     | Modernisasi jaringan irigasi, pembangunan embung, dan optimalisasi pompanisasi.                              |
| <b>Informasi Iklim</b>        | BMKG Lampung                         | Penyediaan data prediksi iklim musiman dan operasionalisasi Sekolah Lapang Iklim (SLI).                      |
| <b>Kelembagaan</b>            | Bappeda, Dinas Pertanian Kab/Kota    | Penguatan Kelompok Tani dan integrasi kebijakan berbasis risiko ke dalam RPJMD.                              |
| <b>Ekonomi</b>                | Jasindo (Asuransi), Kementan         | Perluasan cakupan Asuransi Usaha Tani Padi (AUTP) berbasis indeks iklim.                                     |

Guna memastikan keberlanjutan transisi menuju ekosistem Pertanian Cerdas Iklim (*Climate-Smart Agriculture/CSA*), peta jalan implementasi kebijakan dikonstruksikan ke dalam dua fase strategis yang berkesinambungan (Gambar 5). Fase jangka pendek (2026–2027) difokuskan pada upaya tanggap risiko dan penguatan kapasitas dasar melalui sinkronisasi presisi antara data iklim BMKG dan kalender tanam tingkat kecamatan, perluasan pompanisasi pada lahan sawah tadah hujan guna merespons ancaman anomali El Niño 2026, serta peningkatan literasi petani melalui

masifikasi adopsi teknologi AWD dan penggunaan benih umur genjah. Sebagai fondasi stabilitas jangka panjang, fase jangka menengah (2028–2030) diarahkan pada transformasi struktural melalui modernisasi digital pada infrastruktur pintu air irigasi, penguatan skalabilitas ekonomi lewat skema subsidi input berbasis kinerja adaptasi (insentif CSA), yang bermuara pada institusionalisasi Provinsi Lampung sebagai Pusat Unggulan Pertanian Cerdas Iklim berskala nasional untuk memfasilitasi replikasi kebijakan ke wilayah berkarakteristik agroekologi serupa.



Gambar 5. Peta jalan implementasi kebijakan

### Matriks Pemangku Kepentingan dan Peta Jalan Implementasi

Analisis ini membandingkan antara potensi kehilangan hasil akibat tekanan El Niño yang ekstrem dengan efektivitas respons adaptif yang telah berjalan (Tabel 2). Tanpa kapasitas adaptasi yang memadai, pengabaian terhadap risiko El Niño (cost of inaction) dapat mengancam hilangnya 20% potensi produksi tahunan, mengingat defisit air pada fase reproduktif berpotensi menurunkan hasil padi hingga lebih dari 20%. Namun, penerapan kebijakan adaptasi eksisting di Provinsi Lampung seperti penyesuaian kalender tanam, penggunaan varietas unggul, dan adopsi teknologi hemat air AWD yang

mampu menghemat air hingga 30% terbukti sangat efektif dalam menekan angka kehilangan hasil menjadi  $\pm 1\%$ . Penghematan input air ini secara langsung menurunkan biaya operasional petani, seperti pengeluaran energi untuk mesin pompanisasi di musim kemarau. Dengan demikian, investasi pada infrastruktur irigasi dan kelembagaan adaptif bukanlah sebuah beban biaya bagi pemerintah daerah, melainkan strategi finansial yang krusial untuk mengamankan stabilitas pendapatan petani sekaligus mempertahankan tren pertumbuhan produksi yang rata-rata mencapai 5,44% per tahun di tengah guncangan iklim.

Tabel 2. Estimasi Dampak Ekonomi dan Manfaat Adaptasi pada Sistem Produksi Padi

| Indikator Ekonomi                   | Tanpa Adaptasi Optimal<br>(Skenario Risiko) | Dengan Kapasitas<br>Adaptasi Eksisting       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Potensi Kehilangan Hasil</b>     | >20% (Stres Fase Reproduksi)                | $\pm 0,92\% - 1,03\%$<br>(Terdampak Moderat) |
| <b>Pertumbuhan Produksi Tahunan</b> | Terhambat/Stagnan akibat Cekaman Iklim      | Tren Positif sebesar 5,44% per tahun         |
| <b>Efisiensi Input Air (AWD)</b>    | Penggunaan Air Konvensional (Boros)         | Penghematan Air hingga $\pm 30\%$            |
| <b>Stabilitas Pendapatan Petani</b> | Risiko Gagal Panen Tinggi (Vulnerable)      | Produksi Stabil & Diversifikasi Risiko       |

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Kajian ini menyimpulkan bahwa meskipun risiko El Niño yang mencakup kekeringan, stres air, ledakan hama, dan ketidakpastian kalender tanam sehingga berpotensi menurunkan hasil padi hingga >20%, sistem produksi di Provinsi Lampung terbukti sangat resilien. Analisis empiris jangka panjang menunjukkan kehilangan produksi berhasil ditekan pada level  $\pm 0,92-1,03\%$ , dengan tren pertumbuhan tetap positif sebesar 5,44% per tahun. Berdasarkan literatur review, ketahanan ini ditopang oleh kapasitas adaptasi lokal yang komprehensif, meliputi kalender tanam berbasis iklim, varietas toleran cekaman, fleksibilitas agroekosistem, dukungan irigasi, serta efisiensi teknologi AWD yang mampu menghemat air hingga  $\pm 30\%$ . Melalui integrasi data kuantitatif dan wawasan FGD, studi ini mengusulkan model kebijakan adaptif berbasis risiko (*climate risk, adaptive capacity, policy intervention, resilient production system*) yang digerakkan oleh sinergi *climate-technology-institution-economy nexus*. Keberhasilan meredam guncangan iklim sekaligus mempertahankan stabilitas produksi ini menempatkan Lampung sebagai model strategis nasional dalam pengembangan kebijakan pertanian yang tangguh dan berkelanjutan.

### Ucapan Terima Kasih

Dinas Ketahanan Pangan Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung yang telah menyelenggarakan FGD Identifikasi Risiko dan Strategi Adaptasi El Nino Terhadap Produksi

Pangan di Provinsi Lampung. Para Narasumber FGD.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andri, A., & Priantoro, R. D. (2020). El Nino 2015: Asosiasinya Dengan Kekeringan dan Dampaknya Terhadap Curah Hujan, Luas Panen dan Produksi Padi di Kabupaten Subang. *Geomedia Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 18(2), 132–143.  
<https://doi.org/10.21831/gm.v18i2.34959>
- Barrios-Perez, C., Tao, F., & Zhang, Z. (2021). How does ENSO affect rice production? *Agricultural and Forest Meteorology*, 308–309, 108353.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108353>
- Bouman, B. A. M., Humphreys, E., Tuong, T. P., & Barker, R. (2007). Rice and water. *Advances in Agronomy*, 92, 187–237.  
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92004-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92004-4)
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919.  
<https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2018a). Production stability and quality of rice after lodging and flooding. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(1), 74–80.  
<https://doi.org/10.18343/jipi.23.1.74>
- Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2018b). Yield loss estimation on rice lodging due to strong wind and high rainfall incidents. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(1), 17–23.  
<https://doi.org/10.24831/jai.v46i1.14376>
- Frazier, A. G., Renschler, C. S., & Wood,

- N. J. (2022). Climate variability and rice production. *Climate Services*, 26, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100312>
- Greatrex, H., Hansen, J. W., Garvin, S., Diro, R., Blakeley, S., Le Guen, M., Rao, K. N., & Osgood, D. E. (2015). Scaling up index insurance for smallholder farmers. *Climate and Development*, 7(4), 324–334. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1049276>
- Hansen, J. W., Mason, S. J., Sun, L., & Tall, A. (2011). Review of seasonal climate forecasting for agriculture. *Experimental Agriculture*, 47(2), 205–240. <https://doi.org/10.1017/S0014479710000876>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.
- Khairulbahri, M., Yulianti, D., & Hidayat, R. (2021). Climate change impacts on rice supply. *Heliyon*, 7(10), e08115. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08115>
- Lal, R. (2020). Soil organic matter and climate resilience. *Soil and Tillage Research*, 199, 104568. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104568>
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P. T., & Sessa, R. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4, 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Manzanilla, D. O., Paris, T. R., Vergara, G. V., Ismail, A. M., Pandey, S., Labios, R. V., & Tatlonghari, G. T. (2011). Submergence risks and rice adaptation. *Agricultural Systems*, 104(4), 335–347. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.12.005>
- Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., & Wada, N. (2002). Using ENSO climate data to predict rice production in Indonesia. *Climatic Change*, 50, 255–272. <https://doi.org/10.1023/A:1016308712738>
- Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2007). Climate risks and rice production in Indonesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 7752–7757. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2011). Sustainable intensification in agriculture. *Science*, 341(6141), 33–34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>
- Sahu, N., Behera, S. K., Yamashiki, Y., Takara, K., Sahu, L., & Yamagata, T. (2020). Impact of climate variability on rice yield. *Sustainability*, 12(17), 7023. <https://doi.org/10.3390/su12177023>
- Salassi, M. E., Deliberto, M. A., & Linscombe, S. D. (2013). Impact of lodging on rice yield. *Agronomy Journal*, 105(6), 1860–1867. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0238>
- Stuecker, M. F., Tigchelaar, M., Kantar, M. B., & Battisti, D. S. (2018). ENSO impacts on agriculture. *PLOS ONE*, 13(8), e0201426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201426>
- Subash, N., Singh, S. S., & Priya, N.

- (2011). Rainfall variability and rice productivity. *Agricultural Water Management*, 98(9), 1373–1387. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.003>
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Heuer, S., Ismail, A., Redoña, E., Serraj, R., Singh, R. K., Howell, G., Pathak, H., & Sumfleth, K. (2009). Climate change affecting rice production. *Advances in Agronomy*, 101, 59–122. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00802-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00802-X)
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redoña, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2010). Regional vulnerability of climate change impacts on Asian rice production and scope for adaptation. *Advances in Agronomy*, 102, 91–133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)