



# PRODUKTIVITAS AIR UNTUK PERTANIAN:

KUNCI KETAHANAN PANGAN  
DI WILAYAH SEMI-ARID



Jonathan Ebet Koehuan

# **PRODUKTIVITAS AIR UNTUK PERTANIAN :**

Kunci Ketahanan Pangan  
di Wilayah Semi-Arid

## **UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta**

### **Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# **PRODUKTIVITAS AIR UNTUK PERTANIAN :**

Kunci Ketahanan Pangan  
di Wilayah Semi-Arid

Jonathan Ebet Koehuan

**PRODUKTIVITAS AIR UNTUK PERTANIAN :  
KUNCI KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID**

**Penulis** : Jonathan Ebet Koehuan  
**Editor** : Anisa Triana Yustiadani  
**Desain Cover** : Syaiful Anwar  
**Sumber** : www.shutterstock.com (zulfa noor fadlilah)  
**Tata Letak** : Zulita A.  
**Proofreader** : A. Timor Eldian

Ukuran:

**xx, 151 hlm., Uk.: 15x23 cm**

ISBN:

**978-634-01-0589-6**

Cetakan Pertama:

**Mei 2025**

Hak Cipta 2025 pada Penulis

**Copyright © 2025 by Deepublish Publisher**

All Right Reserved

**PENERBIT DEEPUBLISH**

**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl. Rajawali, Gg. Elang 6, No. 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl. Kaliurang Km. 9,3 – Yogyakarta 55581

Telp./Faks : (0274) 4533427

Website : www.penerbitdeepublish.com

www.deepublishstore.com

E-mail : cs@deepublish.co.id

---

*Hak cipta dilindungi undang-undang.*

*Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.*

*Isi di luar tanggung jawab percetakan.*

# KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis memanjatkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas pimpinan dan penyertaan-Nya sehingga buku ini dapat terselesaikan. Konsep produktivitas air mulai diperkenalkan pada tahun 1996 yang menandai dimulainya era baru dalam pengelolaan sumber daya air dan telah menjadi perhatian dunia. Meskipun demikian, tinjauan mendalam terkait produktivitas air untuk tanaman pangan di Indonesia, khususnya wilayah semi arid, belum tersedia. Di sisi lain, tinjauan mendalam terkait pertumbuhan total faktor produktivitas air untuk tanaman pangan juga belum dilakukan. Berangkat dari hal tersebut, penulis termotivasi untuk menerbitkan buku ini.

Petani tanaman pangan memiliki efisiensi pemanfaatan air yang tinggi sehingga teknologi produksi berpengaruh dominan terhadap pertumbuhan produktivitas air tanaman pangan. Teknologi produksi pangan perlu menjadi prioritas pengembangan guna meningkatkan pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman pangan.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan sehingga penulis mengharapkan saran dan masukan dari pembaca untuk perbaikan lebih lanjut.

Kupang, Januari 2025

Penulis

# KATA PENGANTAR PENERBIT

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku ***PRODUKTIVITAS AIR UNTUK PERTANIAN: KUNCI KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID*** dapat terwujud dan hadir di tengah-tengah masyarakat. Sebagai penerbit yang berkomitmen untuk mencerdaskan, membahagiakan, dan memuliakan umat manusia, kami merasa terhormat dapat berkontribusi dalam penyebaran ilmu pengetahuan dan pendidikan melalui penerbitan karya ini.

Buku ini mengulas solusi atas permasalahan perairan pada pertanian. Buku ini menyajikan upaya dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam sektor pertanian, terutama untuk tanaman pangan yang menjadi kebutuhan bagi manusia. Dengan penjabaran yang mendetail dan menyeluruh, buku ini berusaha untuk menjelaskan bagaimana penggunaan air yang efisien mampu meningkatkan hasil panen pertanian tanpa harus bergantung pada penggunaan jumlah air yang besar.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Kami berharap karya ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam perkembangan keilmuan di Indonesia. Semoga buku ini tidak hanya menjadi sumber informasi yang berharga, tetapi juga menginspirasi pembacanya untuk terus berkembang dan berkontribusi dalam membangun bangsa yang lebih baik.

Hormat Kami,  
**Penerbit Deepublish**

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
KATA PENGANTAR PENERBIT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
<b>BAB 1 PROLOG: HUBUNGAN SEBAB-AKIBAT TINGKAT EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PERTANIAN DAN KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID.....</b>	<b>1</b>
A. Mengenal Wilayah Semi-Arid: Wilayah dengan Indeks Ketahanan Pangan Rendah .....	1
B. Air Sebagai Elemen Utama dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan di Wilayah Semi-Arid.....	3
C. Menilik Produktivitas Air untuk Tanaman sebagai Upaya Organisasi Internasional dalam Menangani Krisis Air dan Pangan Global.....	3
D. Memahami Konsep Produktivitas Air untuk Tanaman .....	4
E. Urgensi dan Kebermanfaatan Produktivitas Air untuk Tanaman di Wilayah Semi-Arid.....	6
F. Mengulik Cara Meningkatkan Produktivitas Air yang Berkelanjutan .....	8
<b>BAB 2 PRODUKTIVITAS AIR: MEMAHAMI EFISIENSI PENGGUNAAN AIR DALAM SEKTOR PERTANIAN.....</b>	<b>11</b>
A. Memahami Konsep Produktivitas Air .....	11
B. Evapotranspirasi: Proses Kehilangan Air dari Tanaman dan Tanah .....	13
C. Melihat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Dunia .....	19

D.	Memahami Berbagai Komponen dalam Produksi Pertanian .....	23
E.	Produktivitas Air untuk Tanaman Faktor Tunggal dan Banyak Faktor.....	27
<b>BAB 3</b>	<b>EKSPLORASI CARA UNTUK MENGETAHUI TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN .....</b>	<b>30</b>
A.	Mengidentifikasi Cara Efektif dalam Menilai Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman.....	30
B.	Membentuk Gambaran Cara Penerapan Produktivitas Non-Parametrik .....	40
C.	Menguraikan Proses Penilaian Tingkat Efisiensi Penggunaan Air dalam Produksi Pertanian .....	41
D.	Menemukan Cara Menilai Pertumbuhan Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan .....	49
<b>BAB 4</b>	<b>ALUR MEMAHAMI TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN .....</b>	<b>54</b>
<b>BAB 5</b>	<b>Pengenalan Berbagai Komponen yang Menentukan Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman.....</b>	<b>58</b>
A.	Apa Saja Komponen yang Menentukan Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid?.....	58
B.	Bagaimana Karakteristik Setiap Komponen Penentu Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid? .....	61
<b>BAB 6</b>	<b>MENJELAJAHI LEBIH JAUH WILAYAH SEMI-ARID DI INDONESIA.....</b>	<b>65</b>
A.	Gambaran Umum Wilayah Semi-Arid di Indonesia.....	65
B.	Kondisi Produksi Pangan Wilayah Semi-Arid di Indonesia.....	71
C.	Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid.....	74

<b>BAB 7</b>	<b>MENGUNGKAP UPAYA EFISIENSI PENGUNAAN AIR UNTUK PERTANIAN TANAMAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID.....</b>	<b>81</b>
A.	Penelusuran Efisiensi Penggunaan Air dalam Sektor Pertanian Pangan di Wilayah Semi-Arid.....	81
B.	Pengoptimalan Penggunaan Air dalam Sektor Pertanian Berdasarkan Berbagai Komponen yang Mempengaruhinya .....	87
C.	Total Faktor Produktivitas Air Untuk Tanaman Non- Parametrik .....	95
<b>BAB 8</b>	<b>EPILOG: BAGAIMANA PENGARUH TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN PANGAN DALAM MENJAGA KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID? .....</b>	<b>119</b>
	DAFTAR PUSTAKA.....	125
	GLOSARIUM .....	142
	LAMPIRAN .....	146

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Peningkatan Nilai Produktivitas.....	33
Gambar 2	Perubahan Teknologi Produksi dan Kurva Batas Produksi .....	34
Gambar 3	Fungsi Jarak Masukan dan Fungsi Jarak Keluaran .....	35
Gambar 4	Produksi Pangan Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015 .....	72
Gambar 5	Rata-Rata Kontribusi Produksi Padi dan Jagung Terhadap Produksi Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 .....	73
Gambar 6	Rerata Evapotranspirasi Acuan Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015 .....	75
Gambar 7	Indeks Tanaman Padi dan Jagung .....	76
Gambar 8	Rerata Curah Hujan Efektif di Wilayah Semi-Arid Periode 2000–2015 .....	77
Gambar 9	Rata-Rata Penggunaan Air Tanaman di Wilayah Semi-Arid Periode 2000–2015.....	78
Gambar 10	Proporsi Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 .....	79
Gambar 11	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non- Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (1).....	83
Gambar 12	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non- Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (2).....	84
Gambar 13	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non- Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (3).....	85
Gambar 14	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non- Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (4).....	86

Gambar 15	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (5).....	86
Gambar 16	Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (6).....	87
Gambar 17	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (1) .....	96
Gambar 18	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2).....	97
Gambar 19	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1) .....	98
Gambar 20	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2) ....	100
Gambar 21	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (3) .....	101
Gambar 22	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3) ....	103
Gambar 23	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4).....	103
Gambar 24	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semia-Arid Tahun 2000-2015 (4).....	105
Gambar 25	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1)....	106
Gambar 26	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)....	108
Gambar 27	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)....	109
Gambar 28	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3)....	111
Gambar 29	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4)....	111
Gambar 30	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (5)....	113

Gambar 31	Pertumbuhan Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (6).....	114
Gambar 32	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (7) ....	115
Gambar 33	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (8) ....	116
Gambar 34	Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (9) ....	118

# DAFTAR TABEL

Tabel 1	Skala, Domain, dan Kepentingan dalam Penentuan Produktivitas Air untuk Tanaman.....	5
Tabel 2	Komponen Masukan Produksi Pertanian Konvensional (1) .....	25
Tabel 3	Komponen Masukan Produksi Pertanian Konvensional (2) .....	26
Tabel 4	Komponen Air pada Pendalaman Produktivitas Pertanian Banyak Faktor .....	27
Tabel 5	Konsistensi Informasi Iklim .....	44
Tabel 6	Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Jagung .....	47
Tabel 7	Jenis, Satuan, dan Waktu Komponen Penentu Tingkat Produktivitas Air Untuk Tanaman Pangan.....	59
Tabel 8	Percobaan Konsistensi Curah Hujan di Wilayah Semi-Arid Indonesia .....	68
Tabel 9	Kondisi Iklim Wilayah Semi-Arid Indonesia Tahun 2000–2015 .....	69
Tabel 10	Kondisi Non-Iklim Non-Parametrik Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015 .....	71
Tabel 11	Harga Konsumen Beras dan Jagung Pipilan Tahun 2000–2015.....	72
Tabel 12	Produksi Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015.....	74
Tabel 13	Perbandingan Perkiraan Penggunaan Air Tanaman .....	78
Tabel 14	Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015.....	80
Tabel 15	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000 – 2015 (1) .....	97
Tabel 16	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1) .....	99

Tabel 17	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (2).....	102
Tabel 18	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2).....	104
Tabel 19	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1).....	107
Tabel 20	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2).....	110
Tabel 21	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3).....	112
Tabel 22	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4).....	114
Tabel 23	Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (5).....	117

# DAFTAR SIMBOL

Simbol	Teks
\$	: US dolar
$(q_s, X_s)$	: Vektor keluaran dengan penggunaan input pada waktu $s$ ( $t-1$ )
$(q_t, X_t)$	: Vektor keluaran dengan penggunaan input pada waktu $t$
$\sum$	: Jumlah ( <i>Sum</i> )
$d_{ij}$	: Jumlah minggu periode tumbuh ke- $i$ dalam bulan ke- $j$
$do^s$	: Fungsi jarak orientasi <i>output</i> pada waktu $s$ ( $t-1$ )
dot	: Fungsi jarak orientasi <i>output</i> pada waktu $t$
$e$	: Kesalahan ( <i>error</i> )
$e_a$	: Tekanan uap aktual (kPa)
$e_a - e_s$	: Tekanan uap defisit (kPa)
$e_s$	: Tekanan uap jenuh (kPa)
$F$	: Variabel pupuk
$f$	: Fungsi
$G$	: Kerapatan panas pada tanah ( $MJ/m^2/hari$ )
$\gamma$	: Konstanta <i>psychrometric</i> ( $kPa/^\circ C$ )
$L$	: Variabel lahan
$L(x)$	: Koefisien Lagrange
$\ln$	: Logaritma natural
$M$	: Variabel alat dan mesin pertanian
$N$	: Variabel tenaga kerja
$N+$	: Nilai positif pada sebaran normal
$n_j$	: Jumlah minggu pada bulan ke- $j$
$P(x)$	: Nilai fungsi interpolasi <i>Lagrange</i>
$Q$	: Nilai Statistik $Q$
$R$	: Variabel penelitian pertanian
$R$	: Nilai statistik $R$ ( <i>Range</i> )
$R_n$	: Radiasi permukaan tanaman ( $MJ/m^2/hari$ )
$S$	: Variabel kepemilikan ternak
$S^{**}K$	: Nilai konsistensi data
$S^*K$	: Simpangan mutlak
$T$	: Temperatur harian rata-rata ( $^\circ C$ )

- t : Tahun (1,2,... 16)  
U<sub>2</sub> : Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/detik)  
W : Nilai statistik Shapiro-Wilk  
X'<sub>it</sub> : Vektor masukan unit produksi i pada waktu t  
α<sub>p</sub> : Koefisien jumlah petani  
Δ : Kurva kemiringan tekanan uap (kPa/°C)

# DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Teks
BDJ	: Pengeluaran untuk Barang dan Jasa
BFR	: Banyak faktor
BMKG	: Badan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika
BPS	: Badan Pusat Statistik
BTL	: Pengeluaran untuk barang tahan lama
CHBR	: Rata-rata curah hujan bulanan
CHEFF	: Curah hujan efektif
CV	: Koefisien variansi (%)
CWP	: <i>Crop Water Productivity</i>
CWU	: <i>Crop Consumptive Water Use</i> (Penggunaan Air Tanaman)
CWUJagung	: Volume penggunaan air tanaman jagung
CWUPadi	: Volume penggunaan air tanaman padi
CWUPangan	: Volume penggunaan air tanaman pangan
DAS	: Daerah Aliran Sungai
DEA	: <i>Data envelopment analysis</i>
DEA-MI	: <i>Data envelopment analysis – Malmquist index</i>
EFC	: <i>Efficiency Change</i> (Perubahan Efisiensi)
EFCJagung	: Perubahan Efisiensi Tanaman Jagung
EFCPadi	: Perubahan Efisiensi Tanaman Padi
EFCPangan	: Perubahan Efisiensi Tanaman Pangan
EL	: Elevasi
ENSO	: <i>El Niño Southern Oscillation</i>
ETa	: Evapotranspirasi Aktual Tanaman
ETc	: Evapotranspirasi Tanaman
ETo	: Evapotranspirasi Acuan ( <i>Refrens</i> )
FAO	: <i>Food And Agriculture Organization</i>
FAO PM	: Metode empiris FAO <i>Penman-Monteith</i>
FAO33	: <i>FAO paper</i> No.33
FAOSTAT	: <i>FAO statistics</i>
FL USA	: <i>Florida-United States of America</i>

<b>Singkatan</b>	<b>Teks</b>
FT	: Faktor tunggal
GIS	: <i>Geographic Information System</i>
ha	: Hektar
HDI	: <i>Human Development Index</i>
HRGJagung	: Harga jagung pipilan
HRGPadi	: Harga beras
IGB	: <i>Indus and Ganggas Basin</i>
IIMI	: <i>International Irrigation Management Institute</i>
IPM	: Indeks Pembangunan Manusia
IRA	: <i>Irrigation area</i>
IWMI	: <i>International Water Management Institute</i>
JG	: Jagung
KAT	: Konsumsi air tanaman
Kc	: Koefisien tanaman
Kcal	: Kilo kalori
kg	: Kilogram
Kpan	: Koefisien panci evaporasi
Ks	: Koefisien stres tanaman
LPN	: Luas panen tanaman
LPNJagung	: Luas panen tanaman jagung
LPNPadi	: Luas panen tanaman padi
LPNPangan	: Luas panen tanaman pangan
LT	: Luas tanam
LTJG	: Luas tanam jagung
LTPD	: Luas tanam padi
m	: Meter
m <sup>3</sup>	: Meter Kubik
MIMO	: <i>Multiple inputs – Multiple outputs</i>
MIMO-1	: MIMO pengembangan
MISO	: <i>Multiple inputs-Single output</i>
MKN	: Pengeluaran untuk makanan
Model BCC	: <i>Model Banker, Charnes, dan Cooper</i>
Model CCR	: <i>Model Charnes Cooper, dan Rhodes</i>
MPI	: <i>Malmquist productivity index</i>
MSE	: <i>Mean square error</i>

<b>Singkatan</b>	<b>Teks</b>
NP	: Non parametrik
NPV	: <i>Net Present Value</i>
NTFP	: <i>Nutrient total factor productivity index</i>
NTT	: Nusa Tenggara Timur
O&M	: <i>Operation and maintenance</i>
PAT	: Produktivitas air untuk tanaman
PAT <sub>Jagung</sub>	: Produktivitas air untuk tanaman jagung
PAT <sub>Padi</sub>	: Produktivitas air untuk tanaman padi
PAT <sub>Pangan</sub>	: Produktivitas air untuk tanaman pangan
PD	: Padi
PDRB	: Produk Domestik Regional Bruto
PENG <sub>Jagung</sub>	: Pengeluaran petani jagung (Jt Rupiah)
PENG <sub>Padi</sub>	: Pengeluaran petani padi (Jt Rupiah)
PENG <sub>Pangan</sub>	: Pengeluaran petani pangan (Jt Rupiah)
PET <sub>Jagung</sub>	: Jumlah petani jagung
PET <sub>Padi</sub>	: Jumlah petani padi
PET <sub>Pangan</sub>	: Jumlah petani pangan
PMF	: Produktivitas multi faktor
PPC	: <i>Production Possibility Curve</i>
PROD	: Produksi
PROD <sub>Jagung</sub>	: Produksi jagung
PROD <sub>Padi</sub>	: Produksi padi
PROD <sub>Pangan</sub>	: Produksi pangan
PVC	: <i>Polyvinyl Chloride</i>
RAPS	: <i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i>
RF	: <i>Rainfeed</i> (Lahan Kering)
RFA	: <i>Rainfeed area</i>
RH	: Kelembaban udara relatif
RPE	: Rasio presipitasi – evapotranspirasi
RPJMD	: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah
SAT	: <i>Semi-arid tropic</i>
SDGs	: <i>Sustainable Development Goals</i>
SEBAL	: <i>Simplified Surface Energy Balance</i>
SF	: Faktor tunggal
SGVP	: <i>A Standardized Gross Value of Production</i>

<b>Singkatan</b>	<b>Teks</b>
SISO	: <i>Single input-Single output</i>
SLCP	: <i>Sloping Land Conversion Program</i>
Std. Dev	: Standar deviasi
SWAP	: <i>The Soil Water Atmosphere Plant Model</i>
TEC	: <i>Technological Change</i> (Perubahan Teknologi Produksi)
TEC <sub>Jagung</sub>	: Perubahan teknologi produksi jagung
TEC <sub>Padi</sub>	: Perubahan teknologi produksi padi
TEC <sub>Pangan</sub>	: Perubahan teknologi produksi pangan
TFP	: Total faktor produktivitas
TFPAT	: Total faktor produktivitas air untuk tanaman
TFPAT <sub>Jagung</sub>	: Total faktor produktivitas air untuk tanaman jagung
TFPAT <sub>Padi</sub>	: Total faktor produktivitas air untuk tanaman padi
TFPAT <sub>Pangan</sub>	: Total faktor produktivitas air untuk tanaman pangan
TTS	: Kabupaten Timor Tengah Selatan
TTU	: Kabupaten Timor Tengah Utara
UNESCO	: <i>United Nations of Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>
Unsur N	: Unsur Nitrogen
USA	: <i>United States of America</i>
USDA-SCS	: <i>United States Department of Agricultural – Soil Conservation Service</i>
UUD 1945	: Undang-Undang Dasar 1945
Variabel K	: Variabel modal
Variabel L	: Variabel tenaga kerja
Variabel Y	: Variabel keluaran ( <i>Output</i> )
Varian BS	: SFA-MI banyak faktor varian Biasa
Varian RT	: SFA-MI banyak faktor varian Rasio
Varian WT	: SFA-MI banyak faktor varian Pembobotan rasio
WFP	: <i>World Food Programme</i>
WP	: <i>Water Productivity</i>
WUE	: <i>Water Use Efficiency</i>
Ya	: <i>Aktual yield</i>

# BAB 1

## PROLOG: HUBUNGAN SEBAB-AKIBAT TINGKAT EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PERTANIAN DAN KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID

### A. Mengenal Wilayah Semi-Arid: Wilayah dengan Indeks Ketahanan Pangan Rendah

---

Timor Barat adalah wilayah yang masuk ke dalam bagian dari Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Wilayah ini terdiri dari satu kota dan lima kabupaten dengan jumlah penduduk mencapai 1,650 juta jiwa pada tahun 2015. Berdasarkan data BPS (2016), mayoritas penduduk Timor Barat memanfaatkan serelia, umbi-umbian, dan kacang-kacangan, terutama padi dan jagung, sebagai bahan pangan mereka sehari-hari.

Perlu diketahui bahwa Timor Barat termasuk ke dalam wilayah beriklim semi-arid. Ayensu (1985) menyatakan bahwa tipologi wilayah iklim semi-arid memiliki kecenderungan curah hujan yang rendah. Hal ini ditandai dengan potensi musim hujan yang tidak dapat diperkirakan dan tidak teratur sehingga membuat hasil produksi pertanian pun cenderung kurang maksimal. Beberapa ciri-ciri wilayah yang termasuk zona semi-arid adalah: (1) curah hujan yang berubah-ubah dan rendah mencapai 700 mm/tahun; (2) kekeringan musiman; serta (3) keanekaragaman keterkaitan antara vegetasi penutup tanah dan jenis tanah itu sendiri. Di samping itu, Ayensu (1985) menjelaskan tentang sistem mata pencaharian di wilayah semi-arid bahwa hasil produksi pertanian cenderung tidak teratur, sementara padang rumput dan peternakan secara keseluruhan cukup memuaskan.

Salih & Ahmed (1994) mengatakan bahwa kebanyakan penduduk di wilayah semi-arid menggantungkan kebutuhan hidup, terutama pangan, kepada sektor pertanian dan penggembalaan. Namun, perkembangan

pengembalaan sistem nomaden dan pertanian sistem menetap di wilayah ini sangat terbatas karena adanya kendala ekologi. Meskipun faktanya demikian, masyarakat adat (*indigenous peoples*) sepanjang hidupnya telah berhasil memanfaatkan potensi lokal yang ada dan menggunakan pengetahuan mereka untuk beradaptasi dalam keterbatasan yang mereka miliki.

Lebih lanjutnya, Serraj, dkk. (2003) mengungkapkan bahwa problematika pertanian yang paling penting di wilayah semi-arid tropis (SAT) ialah persoalan kekeringan, suhu udara yang tinggi, paparan sinar matahari yang kuat, dan rendahnya tingkat kesuburan tanah yang ada. Persoalan tekanan kekeringan (*drought stress*) merupakan gangguan yang rumit karena mencakup berbagai faktor, seperti iklim, edafik, dan agronomi. Karakteristik tekanan kekeringan sangat beragam, baik dari waktu terjadi, durasi, maupun intensitasnya. Keadaan seperti ini mampu menurunkan kualitas hasil produksi tanaman (*yield*) dan bahkan bisa mengakibatkan terjadinya gagal panen (*crop failure*).

Dari penjelasan tersebut, ditemukan fakta bahwa Timor Barat menjadi salah satu wilayah yang rentan dan rawan pangan berdasarkan peta kerentanan dan kerawanan pangan Provinsi NTT tahun 2015. WFP (2015) menyebutkan bahwa ada delapan kecamatan yang berkategori sangat rentang (prioritas 2) dan 37 kecamatan berkategori rentan (prioritas 3). Mengacu kepada Rancangan Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RJMPD) NTT 2013, rerata laju pertumbuhan penduduk adalah sebesar 1,29% sehingga dibutuhkan laju pertumbuhan produksi pangan yang lebih besar dibandingkan pertumbuhan penduduk tersebut guna memenuhi kebutuhan sekarang dan ke depannya.

Pangan itu sendiri didefinisikan sebagai makanan dan minuman yang berasal dari sumber daya hayati, baik yang diolah maupun tidak. Pangan merupakan kebutuhan primer masyarakat dan menjadi bagian dari HAM (Hak Asasi Manusia) yang wajib dipenuhi dan dijamin oleh UUD 1945. Dalam UU RI Nomor 18 Tahun 2012 memuat bahwa pemenuhan pangan adalah ketentuan awal dari terbentuknya sumber daya manusia yang berkualitas.

## **B. Air Sebagai Elemen Utama dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan di Wilayah Semi-Arid**

---

Pangan didefinisikan sebagai makanan dan minuman yang berasal dari sumber daya hayati, baik yang diolah maupun tidak. Pangan merupakan kebutuhan primer masyarakat dan menjadi bagian dari HAM (Hak Asasi Manusia) yang wajib dipenuhi dan dijamin oleh UUD 1945. Dalam UU RI Nomor 18 Tahun 2012 memuat bahwa pemenuhan pangan adalah ketentuan awal dari terbentuknya sumber daya manusia yang berkualitas.

Proses produksi pangan membutuhkan beragam elemen penting, tetapi yang paling utamanya adalah air. Air menjadi salah satu elemen produksi pangan yang sangat berpengaruh di sektor pertanian. Jika dibandingkan dengan sektor domestik, industri, lingkungan, dan sektor lainnya, pertanian menjadi sektor produksi yang membutuhkan paling banyak air. Hal ini pun menjadikan sektor pertanian secara global harus menghadapi persoalan tentang cara memproduksi pangan menggunakan masukan air yang ideal. Beberapa pengamat, seperti Kijne, dkk. (2003), Zwart & Bastiaansen (2004), dan Cai, dkk. (2010), mengemukakan bahwa persoalan tersebut dapat diatasi dengan meningkatkan produktivitas air untuk tanaman.

## **C. Menilik Produktivitas Air untuk Tanaman sebagai Upaya Organisasi Internasional dalam Menangani Krisis Air dan Pangan Global**

---

Tantangan utama dunia saat ini adalah tentang krisis pengelolaan air (*water management*) yang dimulai dari terjadinya krisis air dan pangan global (*global water and agriculture crisis*). Perlu diketahui bahwa penyebab utama dari krisis air adalah sektor pertanian. Scheierling, dkk. (2014) menyebutkan bahwa terdapat dua fakta yang membuktikan bahwa sektor pertanian turut berperan dalam menyebabkan krisis air, yaitu: (1) sektor pertanian menggunakan lebih dari 70% persediaan air yang ada; dan (2) rendahnya nilai keuntungan ekonomi dalam penggunaan air pada sektor pertanian membuat sektor lain memanfaatkan air untuk pertanian demi memenuhi kebutuhan lainnya. Apabila persoalan krisis pengelolaan air tidak dapat teratasi dengan cepat, dunia akan menghadapi berbagai

akibat pada keberlanjutan pertumbuhan ekonomi, kelestarian ekosistem, dan kesejahteraan masyarakat, terutama masyarakat miskin, yang parah.

Berbagai organisasi dunia, seperti Global Water Partnership (2000), World Water Council (2000), UNESCO (2009), dan Food and Agriculture Organization (2012), memberikan perhatian terhadap persoalan krisis air dan pangan global sehingga upaya produktivitas air untuk tanaman pun diangkat. Global Water Partnership (2000) mengungkapkan bahwa cara untuk mewujudkan keamanan air (*water security*) adalah dengan meningkatkan produktivitas air untuk pertanian sebesar 30% pada tahun 2015. World Water Council (2000) pun menambahkan bahwa untuk menjauhi kemungkinan terjadinya akibat buruk dari krisis air, setengah dari peningkatan permintaan air untuk pertanian (*agriculture water demand*) wajib tercukupi melalui peningkatan produktivitas air untuk pertanian. Sementara itu, pendalaman yang menelusuri terkait produktivitas air tanaman banyak faktor (*multy factor*) dan total faktor produktivitas (TFP) masih jarang dilakukan (pendalaman dilakukan oleh Scheierling, dkk., 2014 dan Giordano, dkk., 2017).

UNESCO (2009) menegaskan bahwa upaya peningkatan produktivitas air untuk tanaman (*crop water productivity*) penting dilakukan guna menekan tantangan dalam pembangunan infrastruktur penyediaan air yang baru dan/atau untuk menaikkan jumlah distribusi air untuk pertanian. Food and Agriculture Organization (2012) mengungkapkan bahwa peningkatan dalam pengelolaan permintaan air (*water demand management*) menjadi upaya penting untuk mengatasi persoalan kelangkaan air (*water scarcity*). Selain itu, organisasi ini juga menambahkan bahwa peningkatan produktivitas air untuk pertanian menjadi cara utama dalam upaya pengelolaan permintaan air.

#### **D. Memahami Konsep Produktivitas Air untuk Tanaman**

---

Giordano, dkk. (2017) menjelaskan bahwa konsepsi produktivitas air (*water productivity*) pertama kali muncul pada tahun 1996. Konsep ini dicetuskan oleh David Secler yang merupakan Direktur Jenderal International Irrigation Management Institute (IIMI). Setelah itu, pada tahun 1997, Molden memberikan hasil pendalamannya dan menemukan persamaan untuk produktivitas air. Mulai dari sinilah produktivitas air dianggap sebagai penanda era baru dalam pengelolaan sumber daya air dan

menjadi fokus utama pendalaman di IIMI atau yang sekarang dikenal sebagai International Water Management Institute (IWMI).

Produktivitas air untuk tanaman adalah parameter yang memperlihatkan keluaran berbentuk fisik dan nilai ekonomi terhadap volume air yang digunakan. Cai dan Rosegrant (2003) mendefinisikan produktivitas air untuk tanaman dalam bentuk fisik sebagai produk tanaman (*crop yield*) dari setiap penggunaan volume air. Kijine, dkk. (2003) mengemukakan bahwa produktivitas air untuk tanaman dalam persamaan nilai ekonomi adalah *gross* atau *net present value* (NPV) dari tanaman dibagi dengan air yang digunakan. Molden, dkk. (1997 & 2001) menyebutkan jika mengacu kepada skala analisis, produktivitas air untuk tanaman bisa dianalisis melalui tiga sisi, yaitu skala lahan petani, daerah irigasi, dan skala daerah aliran sungai (DAS).

Produktivitas air untuk tanaman adalah sebuah konsepsi yang dinamis. Hal ini diartikan bahwa pengukurannya dapat disesuaikan dengan skala, domain, dan kepentingan. Molden, dkk. (2001) dan Bastiaanssen, dkk. (2003)—dalam Palanisami, dkk. (2006)—mengemukakan fleksibilitas dalam menentukan produktivitas air untuk tanaman seperti yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1 Skala, Domain, dan Kepentingan dalam Penentuan Produktivitas Air untuk Tanaman**

Stakeholders	Definisi Produktivitas Air	Skala	Kepentingan
Fisiologis Tanaman	Biomassa kering/Transpirasi	Tanaman	Pemanfaatan air dan cahaya
Agronomi	<i>Yield</i> /Evapotranspirasi	Lahan	Keamanan pangan
Petani	<i>Yield</i> /Irigasi	Lahan	Keuntungan
Ahli Irigasi	<i>Yield</i> /Air yang disalurkan	Daerah Irigasi	Alokasi air yang tepat
Pengambil Kebijakan	\$/Air Tersedia	DAS	Keuntungan

Pada dasarnya, produktivitas adalah rasio dari unit keluaran (*output*) per unit masukan (*input*). Molden (1997) berpendapat bahwa produktivitas air merupakan nilai produksi fisik dan ekonomi dari suatu jumlah penggunaan masukan air. Masukan air (*water input*) terbagi menjadi beberapa kategori, yaitu masukan total (*gross input*), masukan bersih (*net*

*inflow*), air yang terpakai (*water depleted*), dan air yang dimanfaatkan untuk proses produksi (*process water depleted*). Sumber air itu sendiri dapat berasal dari curah hujan efektif (*green water*) dan air irigasi (*blue water*). Kedua sumber air ini umumnya sudah dimanfaatkan pada sektor pertanian. Air yang berasal dari curah hujan efektif biasanya dimanfaatkan pada lahan kering, sementara air irigasi digunakan pada lahan beririgasi. Selanjutnya, Molden, dkk. (2001) mengestimasi nilai ekonomi produktivitas air menggunakan *a standardized gross value of production* (SGVP) dengan merujuk kepada standar harga pangan dunia.

## **E. Urgensi dan Kebermanfaatan Produktivitas Air untuk Tanaman di Wilayah Semi-Arid**

---

Pendalaman tentang produktivitas air untuk tanaman di Indonesia masih sangat jarang dilakukan. Bahkan, hingga saat ini nilai produktivitas air untuk tanaman pangan di Timor Barat pun masih belum diketahui. Selain itu, pendalaman perihal pertumbuhan total faktor produktivitas air untuk tanaman (TFPAT) dan penguraian pertumbuhan TFPAT menjadi komponen efisiensi (EFC) serta komponen teknologi produksi (TEC) juga sangat minim dilakukan oleh para penelaah dunia. Padahal pendalaman terkait hal ini penting untuk dilakukan demi meningkatkan berbagai sektor kehidupan di masyarakat, terutama yang tinggal di wilayah semi-arid.

Studeto, dkk. (2007) menerangkan terkait kebermanfaatan produktivitas air dan upaya peningkatannya untuk mencapai kesejahteraan sosial-ekonomi dan kelestarian lingkungan. Mereka menganggap bahwa konsep tersebut bermanfaat karena mencerminkan ambisi dalam memanfaatkan sumber air yang terbatas secara bijaksana. Di samping itu, perlu diketahui bahwa ada tiga manfaat utama dari peningkatan produktivitas air untuk tanaman, yakni sebagai berikut.

1. Mengurangi kesenjangan kebutuhan pangan yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk, peningkatan ekonomi, dan urbanisasi di tengah persoalan krisis air.
2. Meningkatkan kemampuan dalam transfer air dari kebutuhan pertanian ke kebutuhan domestik dan lingkungan.
3. Memberikan peran serta dalam peningkatan pertumbuhan ekonomi sehingga mengurangi angka kemiskinan.

Poin tiga pada manfaat utama dari peningkatan produktivitas air untuk tanaman ini dilatarbelakangi oleh anggapan jika penduduk miskin pedesaan semakin produktif dalam menggunakan air, semakin meningkat pula berbagai aspek kehidupannya. Aspek kehidupan yang dimaksud adalah meningkatnya nutrisi yang diperoleh keluarga, naiknya jumlah pendapatan, tenaga kerja yang lebih produktif, dan kesejahteraan yang lebih baik.

Persoalan produktivitas air untuk tanaman dan pengelolaan sumber daya air jika dilihat secara umum merupakan isu yang kompleks dengan berbagai penyebab dan dampak yang mengikutinya. Berdasarkan pendalaman Cosgrove & Rijsberman (2000) dan Oweis & Hachm (2003), salah satu solusi atas persoalan kompleks ini adalah melibatkan pemangku kepentingan dalam pengelolaan sistem pertanian yang terintegrasi.

Molden, dkk. (2007) dan Barron, dkk. (2013) menjelaskan bahwa produksi pangan, terutama di negara berkembang, sangat bergantung pada komponen air. Hal ini dikarenakan negara berkembang memiliki akses yang terbatas terhadap sumber daya air sehingga kebutuhan utama mereka saat ini adalah peningkatan kapasitas pengelolaan sumber daya air untuk pertanian. Pengelolaan sumber daya air untuk pertanian memerlukan pendekatan multidisipliner yang terintegrasi mengingat manajemennya harus mempertimbangkan dan mengikutsertakan berbagai pihak terkait.

Molden, dkk. (2007), Barron, dkk. (2013), dan Boelee, dkk. (2013) melanjutkan bahwa melibatkan berbagai pihak untuk manajemen sumber daya air dapat meningkatkan perhatian dan motivasi dalam upaya peningkatan efisiensi dan efektivitasnya. Walaupun setiap pihak yang terlibat berlatar belakang ilmu dan pengetahuan yang berbeda, tetap saja penting untuk menggabungkan dan menyampaikannya dengan jelas. Dengan begitu, para pemangku kepentingan yang terlibat dapat memahami dan melaksanakannya dengan lebih efektif.

Steduto, dkk. (2007) menyebutkan ada empat kategori wilayah yang seharusnya memperoleh perhatian lebih untuk ditelusuri dan dikembangkan produktivitas airnya, yakni sebagai berikut.

1. Wilayah dengan tingkat kemiskinan tinggi dan produktivitas air rendah. Peningkatan produktivitas air di wilayah ini diharapkan mampu menurunkan tingkat kemiskinan masyarakat.
2. Wilayah yang mengalami kelangkaan air (*water scarcity*) dengan

tingginya persaingan kebutuhan air, tetapi peluang produktivitas ekonomi airnya tinggi.

3. Wilayah yang memiliki keterbatasan dalam membangun infrastruktur sumber daya air, tetapi memiliki potensi meningkatkan produksi pangan dengan sedikit penambahan volume air.
4. Wilayah yang menghadapi kerusakan lingkungan karena sumber daya air, seperti proses alami erosi dan sedimentasi, penurunan muka air tanah, dan tingginya persaingan dalam penggunaan air.

Dengan adanya tekanan yang berlangsung terus-menerus terhadap sumber daya air dan lahan, persoalan pemenuhan kebutuhan pangan dunia dapat diatasi melalui peningkatan produktivitas air untuk tanaman. Pertanian lahan kering (*rain fed agriculture*) menjadi hal yang fundamental karena mencakup 80% dari total pertanian dunia. Umumnya, pertanian lahan kering memiliki tingkat produksi (*yield*) yang rendah dengan tingginya tingkat kehilangan air di lahan. Rockstrom, dkk. (2003) mengungkap fakta lain yang menunjukkan bahwa 95% pertumbuhan penduduk dunia terjadi di negara berkembang dengan mayoritas penduduknya bergantung pada sektor pertanian dan ekonomi lahan kering.

Berangkat dari hal tersebut, Rockstrom, dkk. (2003) menyelidiki lebih lanjut perihal tantangan dan peluang dari upaya peningkatan produktivitas air untuk tanaman pada lahan kering di wilayah semi-arid. Penyelidikan ini dilakukan karena wilayah tersebut memiliki tingkat ketahanan pangan yang rendah dan mengalami kelangkaan air sehingga upaya produktivitas air sangat penting untuk diperhatikan. Penyelidikan pun menemukan bahwa wilayah semi-arid secara agrohidrologi memiliki peluang yang baik untuk menaikkan produksi tanaman (*yield*) dengan cara memproduksi lebih banyak dari setiap unit air hujan (*producing 'more crop per drop' of rain*).

## **F. Mengulik Cara Meningkatkan Produktivitas Air yang Berkelanjutan**

---

Salah satu syarat utama untuk meningkatkan produktivitas air yang berkelanjutan adalah melakukan pengukuran produktivitas yang efektif dan kontinu. Pengukuran produktivitas adalah kuantifikasi keluaran (*output*) dari pemanfaatan masukan (*input*) pada sebuah sistem produksi.

Selama beberapa dekade terakhir ini, berkembang sebuah model pengukuran produktivitas yang berdasar pada fungsi produksi. Becker, dkk. (2012), Maheshwari, dkk. (2014), dan Matebua & Shibabawb (2015) menjelaskan bahwa model pengukuran produktivitas ini merepresentasikan perincian dari faktor masukan dan keluaran yang akan dipakai dalam telaah produktivitas. Tujuan dari penggunaan model pengukuran produktivitas dalam telaah produktivitas itu sendiri adalah untuk menilai pertumbuhan produktivitas dan memberikan saran terkait peningkatan dari pertumbuhannya.

Ramaila, dkk. (2001) serta Prayoga (2010) membagi model pengukuran produktivitas menjadi dua jenis, yaitu berdasarkan model produktivitas faktor tunggal dan model produktivitas banyak faktor. Produktivitas faktor tunggal menjabarkan terkait rasio keluaran karena memanfaatkan satu faktor produksi, sementara produktivitas banyak faktor menguraikan tentang rasio keluaran akibat pemanfaatan sebagian/seluruh faktor produksi. Perlu dipahami bahwa setiap jenis model memiliki keunggulan dan kekurangannya masing-masing sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan tujuan telaah, kesiapan data, dan kemampuan desain serta operasional model.

Di samping itu, Simar, dkk. (1992), Coelli, dkk. (2005), Scheierling, dkk. (2014), serta Fazril, dkk. (2017) mengategorikan model pengukuran produktivitas berdasarkan model *non-frontier* dan model *frontier*. Model *non-frontier* memiliki dugaan awal bahwa unit produksi bekerja pada keadaan efisien penuh, sementara model *frontier* menganggap bahwa unit produksi bekerja pada keadaan tidak efisien penuh. Model *frontier* ini pun membentuk *frontier* berdasarkan masukan yang telah diamati dan menghasilkan keluaran nyata. Kebanyakan pengamat telaah produktivitas saat ini lebih memilih menggunakan model *frontier* karena dirasa lebih mirip dengan keadaan nyata dari unit produksi.

Coelli, dkk. (1998 & 2005) serta Scheierling, dkk. (2014) menjelaskan bahwa model *frontier* terbagi lagi menjadi dua model, yaitu model *frontier* non-parametrik dan model *frontier* parametrik. Model *frontier* pertumbuhan total faktor produktivitas (TFP) dibentuk menggunakan metode *Malmquist productivity index* (MPI) dengan mempertimbangkan fungsi jarak terhadap fungsi batas produksi relatif dan transisi fungsi batas produksi terhadap waktu. Perubahan pada total faktor

produktivitas (TFP) menjadi komponen efisiensi (EFC) dan komponen teknologi produksi (TEC) dapat diuraikan menggunakan fungsi jarak (*distance function*). Fungsi ini dapat ditetapkan menggunakan metode non-parametrik dan parametrik.

Dalam penggunaannya, model pengukuran produktivitas harus didesain terlebih dahulu agar sesuai dengan kebutuhan telaah dan kesiapan data karena tidak ada model pengukuran produktivitas yang pas untuk semua kebutuhan serta kondisi. Simar (1992) dan Del Gatto, dkk. (2011) menegaskan bahwa desain model pengukuran produktivitas harus mempertimbangkan berbagai hal, seperti tujuan pengukuran, tingkat pengukuran (global atau lokal), ketersediaan data, dan keadaan lingkungan dari sistem produksi.

Dari uraian terkait hubungan sebab-akibat tingkat produktivitas air dan ketahanan pangan di wilayah semi-arid di atas, buku ini ditulis untuk dapat memberikan kontribusi berupa informasi teraktual tentang produktivitas air tanaman pangan di wilayah semi-arid tropis. Lebih lanjutnya, bahasan buku ini berfokus kepada pendalaman tentang telaah non-parametrik pertumbuhan total faktor produktivitas air tanaman pangan melalui telaah faktor tunggal dan banyak faktor di wilayah semi-arid tropis. Untuk lebih relevan, buku ini mengambil studi kasus yang terjadi di wilayah Timor Barat, Indonesia.

# BAB 2

## PRODUKTIVITAS AIR: MEMAHAMI EFISIENSI PENGGUNAAN AIR DALAM SEKTOR PERTANIAN

### A. Memahami Konsep Produktivitas Air

---

Produktivitas air untuk tanaman umumnya dipahami sebagai nilai atau manfaat penggunaan dari sejumlah volume air. Dalam persamaan produktivitas air, pembilang ialah nilai fisik atau ekonomi yang merepresentasikan manfaat dari penggunaan volume air, sementara penyebut adalah satuan volume penggunaan air. Molden, dkk. (2003) menyebutkan bahwa biasanya produktivitas air dihitung dengan membagi hasil produksi tanaman atau nilai ekonomi tanaman dan satuan penggunaan volume air. Studeto, dkk. (2007) menambahkan bahwa produktivitas air merupakan wujud dari upaya peningkatan produksi, pendapatan, kesejahteraan, dan kelestarian ekologis melalui penghematan volume penggunaan air. Dengan begitu, nantinya diharapkan mampu menekan pengeluaran sosial dan lingkungan.

Definisi dari produktivitas ialah rasio keluaran dari penggunaan sejumlah masukan. Umumnya, produktivitas dimanfaatkan dalam menyelidiki kinerja suatu unit produksi. Thomas (1984) mengungkapkan bahwa telaah produktivitas merupakan instrumen penilaian fundamental dalam proses evaluasi kinerja unit produksi. Telaah produktivitas berusaha menyajikan tingkat produktivitas guna dilakukan penilaian terhadap berbagai faktor yang menyebabkan perubahan pada produktivitas. Hal ini nantinya digunakan untuk menyusun saran pembenahan terhadap pertumbuhan produktivitas. O'Donnell (2018) berpendapat bahwa telaah produktivitas memuat dua proses, yaitu pengukuran dan penguraian perubahan produktivitas. Di samping itu, Matebua & Shibabawb (2015) mengemukakan bahwa sudah seharusnya telaah produktivitas mampu

memberikan informasi yang terperinci dari tingkatan makro hingga mikro pada produktivitas sehingga dapat disusun saran untuk meningkatkan produktivitas.

Barker, dkk. (2003), Kijne, dkk. (2003), dan Seckler, dkk. (2003) menjelaskan terkait konsep dari produktivitas air untuk tanaman. Perlu diketahui bahwa konsep produktivitas air untuk tanaman merupakan konsep efisiensi irigasi yang telah dikembangkan. Konsep efisiensi irigasi itu sendiri adalah rasio penggunaan air oleh tanaman terhadap air yang diberikan ke lahan atau yang diambil dari pintu pengambilan. Konsep ini umum digunakan oleh ahli irigasi. Konsep ini disusun untuk menyesuaikan beragam kebutuhan penggunaan air irigasi, termasuk pemanfaatannya di daerah hilir dalam suatu DAS. Selain itu, konsep efisiensi irigasi mengutamakan pada konsep fisik sehingga sering kali diterapkan oleh ahli teknik irigasi.

Meskipun konsep efisiensi irigasi sudah umum digunakan oleh para ahli, tetapi tidak menutup kemungkinan konsep ini memiliki beberapa keterbatasan dalam penggunaannya. Untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan yang ada, konsep produktivitas dikembangkan sebagai alternatif. Konsep ini lebih berfokus pada nilai pemanfaatan volume air agar lebih mudah dipahami oleh para pemangku kepentingan. Dalam sektor pertanian, konsep ini diterapkan secara lebih spesifik sebagai produktivitas air untuk pertanian, khususnya produktivitas air untuk tanaman.

Molden (1997) menyajikan tiga persamaan awal produktivitas air untuk tanaman sebagai bagian dari indeks “*Water Accounting*”. Ketiga persamaan awal tersebut adalah: (1) membandingkan produksi dengan total masukan air; (2) membandingkan produksi dengan volume air yang disalurkan; dan (3) membandingkan produksi dengan volume air yang digunakan dalam proses produksi. Cai, dkk. (2010) pun mengemukakan hal yang serupa bahwa penyebut dalam telaah produktivitas air tanaman dapat mengacu kepada curah hujan, irigasi, dan evapotranspirasi.

Beberapa pengamat—Zwart & Bastiansen (2004), Singh, dkk. (2006), serta Brar, dkk. (2012)—secara fisik menggunakan komponen produksi tanaman yang bisa dijual sebagai pembilang dengan penyebut berupa evapotranspirasi aktual. Cai, dkk. (2011) dan Cao, dkk. (2015a & 2015b) mendetailkan menjadi komponen pembilang bisa berupa *yield*

(kg/ha) dengan penyebut dapat berupa curah hujan, irigasi, atau evapotranspirasi yang dinyatakan dalam volume setiap hektar ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). Konsep produktivitas air secara fisik juga dapat dikembangkan menjadi rasio nutrisi terhadap volume air yang digunakan karena adanya pertimbangan bahwa tujuan dari peningkatan produksi tanaman pertanian di berbagai negara berkembang adalah untuk memenuhi kebutuhan pangan dan gizi bagi masyarakatnya.

Mdemu, dkk. (2009) mendalami terkait produktivitas air pada sistem irigasi kecil dan sedang di Ghana saat musim kemarau. Pengukuran produktivitas air untuk tanaman dilakukan menggunakan rasio *yield* terhadap evapotranspirasi tanaman (ETc). Selanjutnya, produktivitas air dialihkan menjadi ekuivalen dengan kandungan nutrisi—dalam bentuk kalori ( $\text{Kcal}/\text{m}^3$  ETc)—, protein, dan lemak ( $\text{kg}/\text{m}^3$  ETc). Renault & Wallender (2000) mentransformasikan *yield* ( $\text{kg}/\text{ha}$ ) menjadi kandungan nutrisi dengan mengalikan *yield* terhadap kandungan nutrisi produk pangan (nutrisi/kg). Kemudian, produktivitas air berbasis nutrisi menjadi rasio nutrisi produk pangan ( $\text{kg}/\text{ha}$ ) terhadap evapotranspirasi aktual ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) sehingga satuan dari produktivitas air berbasis nutrisi dinyatakan sebagai nutrisi/ $\text{m}^3$  air.

## **B. Evapotranspirasi: Proses Kehilangan Air dari Tanaman dan Tanah**

---

### **1. Definisi Evapotranspirasi**

Satu hal yang harus diperhatikan dalam memperkirakan produktivitas air untuk tanaman adalah komponen penyebut dari persamaan produktivitas air. Komponen penyebut itu sendiri mewakili informasi tentang tingkat efisiensi pengelolaan air. Ada berbagai hal yang dapat menjadi komponen dari penyebut, antara lain, volume curah hujan, volume curah hujan efektif, volume air irigasi, dan volume evapotranspirasi tanaman.

Allen, dkk. (2006) serta Ali (2010) menjelaskan tentang apa itu konsep evapotranspirasi. Mereka menguraikan bahwa evapotranspirasi terdiri dari dua proses penguapan yang berbeda, yaitu transpirasi dan evaporasi. Transpirasi adalah proses penguapan yang berasal dari komponen tumbuhan, sementara evaporasi merupakan proses penguapan dari komponen tanah atau permukaan bebas. Proses evapotranspirasi

berlangsung secara bersamaan sehingga sukar untuk dibedakan, mana proses transpirasi dan mana proses evaporasi. Proses terjadinya evapotranspirasi biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu iklim, tanaman, pengelolaan, dan lingkungan. Perlu dipahami bahwa satuan evapotranspirasi dinyatakan dalam satuan mm/satuan waktu.

## **2. Jenis-Jenis Evapotranspirasi**

Allen, dkk. (2006) membagi evapotranspirasi ke dalam tiga jenis, yaitu berdasarkan evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>), evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>), dan evapotranspirasi aktual tanaman (ET<sub>a</sub>). Evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>) adalah proses yang menunjukkan kemampuan penguapan oleh unsur iklim. Lalu, evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>) ialah proses yang terjadi ketika tanaman tumbuh pada kondisi optimal sehingga mampu menghasilkan produk yang maksimal pada kondisi iklim tertentu. Terakhir, evapotranspirasi aktual tanaman (ET<sub>a</sub>) merupakan proses yang terjadi saat tanaman tumbuh dalam kondisi tidak optimal sehingga menghasilkan produk yang lebih rendah.

Evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>) dan evapotranspirasi aktual (ET<sub>a</sub>) memiliki nilai yang sama ketika berada pada kondisi optimal. Akan tetapi, ketika kondisi tidak optimal, ET<sub>c</sub> akan bernilai lebih besar daripada ET<sub>a</sub>. Apabila keadaan pengelolaan dan lingkungan tidak optimal, potensi produksi pun akan mengalami penurunan yang dinyatakan dengan koefisien stres (K<sub>s</sub>). Nilai koefisien stres adalah  $\leq 1$  sehingga jika nilai K<sub>s</sub> = 1, menandakan kondisi yang optimal dengan K<sub>s</sub> = K<sub>c</sub>. Sementara itu, jika nilai K<sub>s</sub> < 1, menunjukkan bahwa kondisi pertumbuhan tanaman tidak dalam kondisi optimal.

## **3. Cara Memperkirakan Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi dapat ditentukan melalui dua cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Penentuan evapotranspirasi secara langsung dilakukan menggunakan Lysimeter sebagai alat utama dan Neutron Probe sebagai alat bantu untuk mengetahui kadar air tanah. Sementara itu, penentuan secara tidak langsungnya dilakukan dengan cara empiris berdasarkan pergerakan hubungan tanah-tanaman dan atmosfer.

### a. Secara Langsung

Allen, dkk. (2006), Ali (2010), dan Hashim, dkk. (2012) menjelaskan bahwa perkiraan ETc dan ETa dapat dilakukan melalui pengukuran secara langsung menggunakan *Lysimeter* dan *neutron probe*. *Lysimeter* berguna untuk memberikan informasi terkait evapotranspirasi menggunakan prinsip perbedaan berat dan volume air yang diserap tanaman melalui persamaan keseimbangan air. Di sisi lain, *neutron probe* dipakai untuk mengetahui kandungan air dalam tanah sehingga penentuan evapotranspirasi bergantung pada perubahan keseimbangan air tanah.

Zwart & Bastiaanssen (2004) mengulas kembali terkait pengukuran produktivitas air untuk tanaman dengan metode eksperimen dari para penelaah yang memakai data evapotranspirasi aktual (ETa) hasil pengukuran langsung di lapangan. Ulasan ini menunjukkan bahwa hubungan antara *yield* aktual (Ya) dan ETa secara global dikatakan sangat rendah. Namun, pada kondisi lokal, hubungan tersebut erat sehingga tidak bisa dianggap berlaku secara global. Selain itu, terdapat variasi yang besar pada nilai produktivitas air untuk tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada peluang untuk mempertahankan produksi pertanian melalui upaya penghematan penggunaan air sebesar 20–40%

Phengphaengsy & Okudaira (2008) melakukan pendalaman terkait produktivitas air untuk tanaman di DAS Mekong. Mereka memperkirakan hal tersebut dengan mengukur evapotranspirasi referens (ETo) dan evapotranspirasi aktual (ETa) menggunakan *Lysimeter*. Pengukuran evapotranspirasi aktual (ETa) memperlihatkan nilai yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan temuan pendalaman lainnya. Nilai ETc paling tinggi mencapai 5 mm/hari dan selaras dengan yang digunakan oleh perencana. Pendalaman ini pun berhasil memperkirakan bahwa penggunaan air terbanyak di DAS Mekong ialah untuk ETc. Perlu dipahami bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman pertanian mono-kultur lebih rendah daripada pertanian banyak kultur jika dilihat pada skala DAS.

Hashim, dkk. (2012) melakukan perkiraan produktivitas air untuk tanaman satu musim dan jenis rumputan di Makkah, Arab

Saudi. Perkiraan ini dilakukan dengan mengukur evapotranspirasi secara langsung menggunakan Lysimeter dan Neutron Probe. Pada lahan yang lebih luas, pengukuran ETa dilakukan menggunakan Neutron Probe. Meskipun demikian, pengukuran ETa menggunakan kedua alat tersebut tidak memperlihatkan perbedaan yang berarti. Selain itu, Hashim, dkk. (2012) juga menemukan bahwa tingkat produktivitas air tanaman jenis rumputan lebih tinggi saat musim panas dibandingkan ketika musim dingin. Telaah ini pun memperoleh nilai produktivitas air tanaman dengan rerata yang lebih rendah daripada laporan telaah lainnya.

Selanjutnya, Vial, dkk. (2015) melakukan percobaan demi mencari tahu efek mulsa dan pemberian air irigasi terhadap produktivitas tanaman jagung di Laos. Lysimeter mikro yang terbuat dari pipa PVC digunakan sebagai alat pengukur evaporasi dari permukaan tanah. Eksperimen ini pun memperoleh temuan bahwa mulsa dan pengurangan masukan air dapat meningkatkan hasil produksi, menaikkan tingkat produktivitas air untuk tanaman, dan menambah penghasilan para petani jagung manis.

Allen, dkk. (2006), Ali (2010), dan Hashim, dkk. (2012) menyebutkan bahwa terdapat kelebihan dan kekurangan dalam proses pengukuran evapotranspirasi secara langsung dengan memanfaatkan alat, seperti Lysimeter dan Neutron Probe. Kelebihan yang dimiliki adalah hasil pengukuran yang diperoleh akurat sesuai dengan lokasi yang diamati. Sementara itu, ada beberapa kekurangan yang harus diperhatikan, yaitu: (1) membutuhkan biaya yang besar untuk membeli alatnya; (2) perawatan dan penggunaannya memerlukan tenaga terampil; (3) sulit dalam mempertahankan kondisi tanah sesuai dengan keadaan saat percobaan berlangsung; serta (4) kurang sesuai untuk pengamatan rutin pada wilayah luas.

#### **b. Secara Tidak Langsung**

Dengan berbagai kekurangan dari metode pengukuran evapotranspirasi secara langsung, disarankan untuk melakukan pengukuran evapotranspirasi menggunakan metode tidak langsung. Ali (2010) menjelaskan bahwa metode pengukuran evapotranspirasi secara tidak langsung ini dapat dilakukan dengan mengacu kepada

pergerakan hubungan tanah-tanaman dan atmosfer sebagai dasar pengukurannya.

Metode empiris menjadi cara yang digunakan untuk melakukan pengukuran  $ET_c$  secara tidak langsung. Metode ini memuat perkalian antara evapotranspirasi potensial ( $ET_o$ ) dan koefisien tanaman ( $K_c$ ).  $ET_o$  itu sendiri dapat ditentukan melalui temuan pengukuran pada panci evaporasi ( $E_o$ ) yang dikalikan dengan koefisien panci evaporasi ( $K_{pan}$ ). Allen, dkk. (2006) dan Ali (2010) mengungkapkan bahwa biasanya pengukuran  $ET_o$  secara tidak langsung disarankan untuk menggunakan metode empiris FAO Penman-Monteith dengan masukan data berupa iklim.

Allen, dkk. (2006) dan Ali (2010) menyebutkan bahwa koefisien tanaman ( $K_c$ ) memiliki bentuk yang beragam berdasarkan jenis dan tahap pertumbuhan tanaman. Ada berbagai komponen yang memengaruhi koefisien tanaman, yakni iklim, jenis tanaman, penguapan tanah, dan tahap pertumbuhan tanaman. Selanjutnya, tahap pertumbuhan tanaman mencakup tahap pertumbuhan awal, tahap vegetatif, dan tahap akhir/panen. Perlu diketahui bahwa pada tahap pertumbuhan awal dan akhir, nilai  $K_c$ -nya akan lebih kecil dibandingkan dengan tahap pertumbuhan vegetatif.

Metode perkiraan evapotranspirasi aktual ( $ET_a$ ) menjadi cara yang paling banyak digunakan dalam telaah produktivitas air untuk tanaman. Choudhury, dkk. (2007) melakukan telaah terhadap produktivitas air tanaman untuk padi dan gandum di India dengan memperkirakan evapotranspirasi aktual ( $ET_a$ ) yang mengacu kepada persamaan keseimbangan air. Lalu, Xue, dkk. (2008) melakukan penilaian produktivitas untuk tanaman padi di dataran utara China dengan memperkirakan  $ET_a$  menggunakan model ORYZA2000 yang berdasarkan keseimbangan air pada lahan. Selain itu, Mahajan, dkk. (2009) juga melakukan perhitungan produktivitas air untuk tanaman padi pada waktu tanam yang berbeda di Punjab, India menggunakan perkiraan  $ET_a$  dengan persamaan empiris Penman yang memakai hasil pengukuran unsur iklim di sekitar lokasi percobaan.

Jiang, dkk. (2015) mendalami kinerja irigasi dan produktivitas air untuk tanaman di Sistem Irigasi Yingke, China. Pendalamannya ini dilakukan dengan memperkirakan ETa memakai persamaan Penman-Monteith yang disimulasikan menggunakan *The Soil-Water-Atmosphere-Plant model* (SWAP). Jiang, dkk. (2016) pun melanjutkan pendalaman tersebut dengan mengembangkan perkiraan ETa menggunakan data iklim yang dijadikan sebagai masukan bagi model AquaCrop dan GIS. Pendalaman ini nantinya akan memperlihatkan ETa dan produktivitas air untuk tanaman pada bagian tengah DAS Heihe di China.

Pada skala yang lebih luas, seperti di sistem irigasi, DAS, atau wilayah, perkiraan evapotranspirasi aktual (ETa) bisa memakai penginderaan jauh atau data satelit yang dikombinasikan dengan pemodelan dan kalibrasi lapangan. Hellegers, dkk. (2009) melakukan perkiraan ETa dengan memanfaatkan model SEBAL (*Simplified Surface Energy Balance*). Model ini menggunakan metode FAO Penman-Montheith sebagai basis dan memanfaatkan data satelit berupa panas permukaan bumi dan data iklim. Model SEBAL juga digunakan oleh Karimi, dkk. (2011) untuk memperkirakan ETa pada DAS Nile di Mesir. Selain itu, Usman, dkk. (2014) pun turut menerapkan model SEBAL untuk memperkirakan ETa pada pusat penghasil beras antara sungai Ravi dan Chenab di Pakistan.

Molden, dkk. (2003) dan Sharma, dkk. (2015) mengemukakan bahwa konsep konsumsi air tanaman/*crop consumptive water use* (CWU) menjadi opsi yang paling tepat untuk diterapkan di wilayah yang lebih luas, seperti DAS atau wilayah administratif. Hal ini disebabkan oleh adanya kendala berupa kesulitan dalam memperoleh data pengukuran langsung ETa atau data keseimbangan air di wilayah tersebut. Jansen (1966) berpendapat bahwa konsep pemakaian air oleh tanaman (*water consumption by agricultural plant*) atau konsumsi air tanaman (*consumptive use*) serupa dengan penjumlahan antara evapotranspirasi tanaman (ETc) dan sejumlah air yang tersimpan dalam jaringan tanaman. Namun, umumnya komponen air yang tersimpan di dalam jaringan tanaman tidak diperhitungkan secara terpisah dari komponen ETc karena air yang tersimpan jumlahnya lebih kecil ( $\leq 1\%$ ) dari ETc.

Jenis *Crop consumptive water use* (CWU) atau Konsumsi Air Tanaman (KAT) dibagi berdasarkan kondisi lahannya, yaitu lahan beririgasi dan lahan kering. Jenis CWU pada lahan beririgasi setara dengan evapotranspirasi potensial tanaman (ET<sub>c</sub>). Sementara itu, pada lahan kering, CWU dapat ditentukan oleh nilai minimum dari curah hujan efektif (CHEFF) atau evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>). Sharma, dkk. (2015) mengemukakan bahwa kelebihan dari CWU adalah bisa diperkirakan menggunakan data statistik dan data historis.

### **C. Melihat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Dunia**

---

Bowen (2003) menganggap padi dan jagung sebagai tanaman pangan utama di dunia. Menurutnya, selain gandum dan kentang, kedua tanaman pangan tersebut merupakan barang dagang penting dunia yang paling umum dibudidayakan. Mengacu kepada data statistik FAO (FAOSTAT) tahun 2002, produksi jagung dunia tercatat mencapai 604 juta ton yang ditanam di lahan seluas 139 juta hectare dengan *yield* 4,4 ton/ha. Di samping itu, produksi padi dunia tercatat sebanyak 595 juta ton yang ditanam di luasan 154 juta hectare dengan *yield* 3,9 ton/ha. Lalu, untuk produksi gandum dan kentang dunia, masing-masing sebanyak 588 juta ton dan 306 juta ton.

#### **1. Produktivitas Air Untuk Tanaman Padi**

Pada umumnya, padi dibudidayakan di lahan beririgasi. Perhitungan produktivitas air untuk tanaman padi didasarkan pada berat gabah setiap volume evapotranspirasi. Perkiraan produktivitas air untuk tanaman padi beragam besarnya berdasarkan beberapa pendalaman yang pernah dilakukan. Temuan dari pendalaman yang sudah dipublikasikan menyatakan bahwa produktivitas air untuk tanaman padi berkisar di antara 0,100 kg/m<sup>3</sup> sampai 2,040 kg/m<sup>3</sup>. Doorenbos & Kassam (1979) menemukan perkiraan produktivitas air untuk tanaman padi adalah sekitar 0,700 kg/m<sup>3</sup> sampai 1,100 kg/m<sup>3</sup>. Di sisi lain, Zwart & Bastiaanssen (2004), melalui pendalamannya, mengungkapkan perkiraan produktivitas air untuk tanaman padi ialah di antara 0,600 kg/m<sup>3</sup> hingga 1,600 kg/m<sup>3</sup>.

Cai & Rosegrant (2003) menyatakan bahwa DAS di wilayah Asia dan Afrika memiliki nilai produktivitas air untuk tanaman yang lebih rendah sekitar 0,150 kg/m<sup>3</sup> sampai 0,600 kg/m<sup>3</sup>. Lalu, Studeto, dkk. (2007) mengemukakan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman secara global

adalah sekitar  $0,150 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1,600 \text{ kg/m}^3$ . Alauddin & Sharma (2013) menelaah produktivitas air untuk tanaman padi di Bangladesh dengan memanfaatkan data statistik dari 22 Kabupaten dan menjadikan CWU sebagai penyebut. Telaah ini menemukan bahwa rerata nilai produktivitas air untuk padi yang ditanam di lahan beririgasi dan lahan kering di Bangladesh selama empat puluh tahun terakhir adalah berkisari antara  $0,216 \text{ kg/m}^3$  hingga  $0,570 \text{ kg/m}^3$ .

Cai & Rosegrant (2003) mengklasifikasikan nilai produktivitas air untuk tanaman padi berdasarkan wilayah yang lebih luas. Jika dibandingkan antara negara maju dan negara berkembang, nilai produktivitas air untuk tanaman padi yang dibudidayakan pada lahan beririgasi di negara maju lebih tinggi daripada negara berkembang. Rerata nilai produktivitas air untuk tanaman padi di negara maju adalah sebesar  $0,470 \text{ kg/m}^3$ , sementara di negara berkembang sebesar  $0,390 \text{ kg/m}^3$ . Di samping itu, Cai & Rosegrant (2003) juga menemukan bahwa budidaya tanaman padi pada lahan kering di negara berkembang memiliki rerata nilai produktivitas air untuk tanaman padi berkisar antara  $0,190 \text{ kg/m}^3$  dan  $0,240 \text{ kg/m}^3$ . Dari sini dapat dikatakan bahwa tanaman padi yang sensitif air akan memiliki rerata nilai produktivitas air yang rendah apabila ditanam pada lahan kering yang hanya bergantung pada curah hujan sebagai masukan utama dengan pengelolaan budidaya yang kurang optimal.

Rockström, dkk. (2003) menarik simpulan dari pendalaman yang dilakukannya di wilayah semi-arid bahwa rerata nilai produktivitas air untuk padi yang ditanam di lahan kering berkisar di antara  $0,143 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1,000 \text{ kg/m}^3$ . Sementara itu, Devkota, dkk. (2015) mengungkapkan bahwa di wilayah Uzbekistan nilai produktivitas air untuk tanaman padi berkisar di antara  $0,110 \text{ kg/m}^3$  sampai  $0,270 \text{ kg/m}^3$ .

Cai, dkk. (2010) menemukan nilai produktivitas air untuk tanaman padi yang paling tinggi dibandingkan pendalaman lainnya yang pernah dilakukan. Nilai produktivitas air yang ditemukan adalah sebesar  $2,040 \text{ kg/m}^3$  dan berada di DAS Indus dan Ganggas (IGB) yang mencakup beberapa negara, yaitu Afganistan, Bangladesh, China, India, Nepal, dan Pakistan. Nilai produktivitas air untuk tanaman padi di lokasi ini sekitar  $0,200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2,040 \text{ kg/m}^3$  dengan rerata  $0,740 \text{ kg/m}^3$ . Pengamatan dilakukan terhadap tanaman yang dibudidayakan, baik di lahan beririgasi

maupun lahan kering. Perkiraan nilai volume evapotranspirasi atau penyebutnya dilakukan menggunakan CWU.

Di samping itu, nilai produktivitas air untuk tanaman padi yang paling rendah ditemukan oleh Cai & Rosegrant (2003). Keduanya menemukan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman padi pada pertanian padi lahan kering di Sub Sahara Afrika adalah sebesar 0,100 kg/m<sup>3</sup>. Maka dari itu, pendalaman Cai & Rosegrant (2003) mendapatkan simpulan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman padi ada di antara 0,100 kg/m<sup>3</sup> hingga 0,250 kg/m<sup>3</sup>.

## **2. Produktivitas Air Untuk Tanaman Jagung**

Berdasarkan statistik FAO, jagung merupakan tanaman yang paling banyak diproduksi di dunia. Hal ini dikarenakan jagung sudah menjadi bahan pangan yang umum ditanam, baik di negara maju maupun negara berkembang. Dengan beragam teknologi produksi jagung yang ada, rerata nilai produktivitas air untuk tanaman pun juga bervariasi. Mengacu kepada pendalaman yang pernah dilakukan, rerata nilai produktivitas air untuk tanaman jagung secara global berada di antara 0,030 kg/m<sup>3</sup> sampai 7,160 kg/m<sup>3</sup> melalui penghitungan jumlah produksi per volume evapotranspirasi.

Beberapa penelaah secara global mengungkapkan bahwa rentang dari nilai produktivitas air untuk tanaman jagung adalah sebesar 1,100 kg/m<sup>3</sup> sampai 3,990 kg/m<sup>3</sup>. Menurut Doorenbos & Kassam (1979), nilai produktivitas air untuk tanaman jagung berkisar di antara 0,800 kg/m<sup>3</sup> sampai 1,600 kg/m<sup>3</sup>. Lalu, Cai & Rosegrant (2003) mengemukakan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung ada di antara 0,200 kg/m<sup>3</sup> sampai 2,400 kg/m<sup>3</sup>. Selanjutnya, pendalaman Zwart & Bastiaanssen (2004)—yang berbasis studi pustaka dengan bentuk percobaan di lahan beririgasi menggunakan pengukuran ETa secara langsung—menemukan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung berkisar di antara 0,220 kg/m<sup>3</sup> sampai 3,990 kg/m<sup>3</sup> dengan rerata sebesar 1,800 kg/m<sup>3</sup>. Pendalaman dilanjutkan oleh Studeto, dkk. (2007) yang menyimpulkan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung berkisar dari 0,300 kg/m<sup>3</sup> sampai 2,000 kg/m<sup>3</sup>. Di samping itu, Barker, dkk. (2003) dan Zwart (2010) memperoleh temuan yang sama perihal nilai produktivitas air untuk tanaman jagung, yakni sama-sama sebesar 1,100 kg/m<sup>3</sup> sampai 2,700 kg/m<sup>3</sup>.

Irmak (2015) berhasil mengungkapkan nilai produktivitas air untuk tanaman jagung yang paling tinggi, yaitu sebesar  $7,160 \text{ kg/m}^3$ , yang didasarkan pada hasil percobaan pada lahan beririgasi curah sistem *pivot* di Nebraska, USA. Percobaan yang dilakukan pun beragam, yakni dari lahan beririgasi penuh hingga lahan tanpa irigasi sama sekali. Percobaan ini pun menghasilkan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung berkisar di antara  $1,180 \text{ kg/m}^3$  sampai  $7,160 \text{ kg/m}^3$ . Sementara itu, produktivitas air untuk tanaman jagung paling rendah ada di Gainesville, Florida dengan besaran nilai  $0,030 \text{ kg/m}^3$ . Pendalaman ini dilakukan oleh Nangia, dkk. (2005) dan menyimpulkan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman berada di rentang antara  $0,030 \text{ kg/m}^3$  hingga  $0,570 \text{ kg/m}^3$ . Rendahnya nilai produktivitas ini disebabkan oleh dua hal, yaitu ketidaksesuaian antara curah hujan yang datang dan kebutuhan tahap pertumbuhan tanaman serta proses pemupukan tidak mengandung unsur N. Dari pendalaman ini pula ditemukan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung dipengaruhi oleh tingkat pemberian pupuk dengan unsur N. Maka dari itu, semakin tinggi unsur N yang diberikan kepada tanaman padi, semakin meningkat pula nilai produktivitas air untuk tanamannya.

Cai & Rosegrant (2003) menyatakan bahwa rerata nilai produktivitas air untuk tanaman jagung yang dibudidayakan pada lahan kering di negara berkembang adalah sebesar  $0,160 \text{ kg/m}^3$  sampai  $0,460 \text{ kg/m}^3$ . Pendalaman Rockström, dkk. (2003) memperoleh simpulan bahwa tanaman jagung yang dibudidayakan pada lahan kering di wilayah semi-arid memiliki nilai produktivitas air untuk tanaman yang beragam, yakni dari  $0,143 \text{ kg/m}^3$  hingga  $1,000 \text{ kg/m}^3$ .

Selanjutnya, mari lihat perbandingan nilai produktivitas air untuk tanaman jagung yang ditanam pada lahan kering di China dan di Afrika. Sharma, dkk. (2015) menyampaikan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung di DAS Mekong memiliki rerata sebesar  $1,900 \text{ kg/m}^3$ . Nilai rerata ini agak lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil yang dikemukakan oleh Cai & Rosegrant (2003) dengan lokasi pendalaman di DAS Yellow. Meskipun demikian, kedua pendalaman ini memperoleh rentang nilai produktivitas air untuk tanaman jagung yang sama, yaitu berkisar di antara  $0,680 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1,410 \text{ kg/m}^3$  dengan rerata sebesar  $1,090 \text{ kg/m}^3$ .

Berikutnya adalah melihat nilai produktivitas air untuk tanaman jagung di wilayah Sub Sahara Afrika. Makurira, dkk. (2011) menyatakan bahwa rentang nilai produktivitas air untuk tanaman jagung di Makanya, Tanzania adalah  $0,150 \text{ kg/m}^3$  sampai  $0,700 \text{ kg/m}^3$ . Tanaman jagung ini dibudidayakan di lahan kering dan hanya untuk konsumsi pribadi (*subsistence*). Kemudian, Sharma, dkk. (2015) melaporkan bahwa tanaman jagung yang ditanam di DAS Limpopo, Afrika memiliki rerata nilai produktivitas air sebesar  $0,140 \text{ kg/m}^3$ . Dari sini dapat terlihat bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung di wilayah Sub Sahara Afrika berkisar  $0,100 \text{ kg/m}^3$  sampai  $0,600 \text{ kg/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,300 \text{ kg/m}^3$ .

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dibandingkan bahwa nilai produktivitas air untuk tanaman jagung yang ditanam pada lahan kering di Cina memiliki besaran yang lebih tinggi dibandingkan produktivitas air untuk tanaman jagung yang dibudidayakan pada lahan kering di Afrika.

## **D. Memahami Berbagai Komponen dalam Produksi Pertanian**

---

### **1. Awal Kemunculan Konsep Komponen Produksi**

Berbagai komponen dalam pertanian dan keterkaitan tiap komponen terhadap produksi tanaman menjadi poin utama yang harus diperhatikan guna memperkirakan produktivitas air untuk tanaman banyak faktor. Untuk memahami hubungan antara komponen masukan (air) dan komponen keluaran dalam proses produksi pertanian, dapat dilakukan dengan membentuk fungsi produksi pertanian. Meskipun komponen itu penting dalam telaah produktivitas air untuk tanaman, tetapi masih sedikit sekali telaah yang mengulik air sebagai salah satu komponen yang penting. Scheierling, dkk. (2014) beranggapan bahwa hal tersebut disebabkan oleh kurangnya perhatian bahwa air merupakan komponen masukan yang langka sehingga belum sepenuhnya diperhitungkan sebagai masukan yang bernilai ekonomi.

Modal (K) dan tenaga kerja (L) adalah dua komponen produksi pertanian atau masukan pertanian banyak faktor yang pertama kali termuat di dalam penyelidikan milik Cobb-Douglas (1928). Kemudian, Debertin (2012) menambahkan bahwa sampai saat ini komponen masukan sudah berkembang sehingga pendalaman terkait produksi pertanian telah memperhatikan berbagai komponen yang ada di dalamnya, seperti lahan (A), tenaga kerja (L), modal (K), pupuk (F), dan mesin pertanian (AM).

## 2. Klasifikasi Komponen Produksi Pertanian

Rittenberg & Tregarthen (2011) menyebutkan bahwa ada tiga komponen produksi yang menurut mereka penting, yakni sebagai berikut.

- 1) Tenaga Kerja (L) adalah usaha manusia untuk memproduksi barang dan jasa. Peningkatan peran serta tenaga kerja dalam berproduksi adalah dengan menambahkan jumlah tenaga kerja atau membantu menaikkan kualitas tenaga kerja (*human capital*).
- 2) Modal (K) adalah luaran produksi yang bisa dipakai dalam proses produksi barang dan jasa.
- 3) Sumber daya alam (N) adalah bahan alam yang dimanfaatkan dalam proses produksi barang dan jasa.

Todaro & Smith (2012) turut mengemukakan bahwa lahan (A) dan tenaga kerja (L) merupakan komponen yang paling utama dalam sistem pertanian subsisten, sedangkan investasi modal (K) menjadi komponen yang paling tidak penting. Di sisi lain, pertanian yang sebagian produknya telah dipakai untuk memperoleh pendapatan, kebutuhan komponen produksi pun semakin bertambah. Pada sistem pertanian yang lebih maju seperti ini, komponen pemberian pupuk, pestisida, alat, bahkan mesin pertanian pun sudah menjadi kebutuhan. Kemudian, pada pertanian spesialisasi atau agroindustri, komponen produksi yang diterapkan dapat dikategorikan menjadi bahan alam dan bahan sintetis. Komponen produksi yang dimaksud, antara lain, benih unggul, irigasi, pestisida, pupuk, dan bahan lainnya. Sistem pertanian agroindustri ini juga membutuhkan beberapa komponen lainnya, seperti investasi modal, teknologi, dan pengembangan ilmu pertanian.

Barkley & Barkley (2013) menegaskan bahwa sumber daya itu sifatnya terbatas sehingga penggunaannya pun harus dilakukan demi kepentingan manusia. Kedua pengamat ini juga mengklasifikasikan masukan produksi pertanian menjadi lahan (A), tenaga kerja (L), modal (K), dan pengelolaan (M) yang dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

- 1) Lahan (A) berupa sumber daya hayati, iklim, dan sumber daya alam lainnya.
- 2) Tenaga kerja (L) mencakup sumber daya manusia.
- 3) Modal (K) meliputi irigasi, bangunan, serta alat dan mesin pertanian.

4) Pengelolaan (M) berupa kemampuan manajemen.

Sementara itu, Colman & Young (1989) beranggapan bahwa komponen masukan produksi pertanian yang termasuk ke dalam bentuk fisik adalah lahan (A), alat dan mesin (AM), benih (B), pupuk (F), serta tenaga kerja (L). Kemudian, penentuan kombinasi komponen masukan untuk menghasilkan keluaran tertentu bergantung pada tingkat keterampilan dari teknologi produksi.

Dalam melakukan pendalaman investasi dan produktivitas pertanian di beberapa negara berkembang, para penelaah FAO membagi masukan produksi pertanian menjadi dua klasifikasi, yaitu masukan konvensional dan masukan non-konvensional. Zepeda (2001) memperincikannya sebagai berikut:

- 1) Masukan konvensional merupakan masukan yang umumnya berupa faktor produksi yang sudah diketahui lama, seperti kapital, lahan, tenaga kerja, dan masukan fisik lainnya.
- 2) Masukan non-konvensional dapat mencakup modal sosial (*social capital*), pertimbangan degradasi alam (*environmental degradation*), dan sumber daya manusia (*human capital*).

Berikut adalah tabel 2 yang memperincikan beberapa komponen produksi pertanian konvensional yang termuat pada pendalaman FAO terkait produktivitas pertanian.

**Tabel 2 Komponen Masukan Produksi Pertanian Konvensional (1)**

No.	Faktor Produksi Pertanian Konvensional							Sumber
	Lahan (A)	Tenaga Kerja (L)	Kapital (K)	Hewan (H)	Pupuk (F)	Pestisida (P)	Alsin (AM)	
1.	√	√	√	√	√	√		Zepeda, 2001
2.	√	√			√		√	Chavas, 2001
3.	√	√	√	√				Wiebe, <i>et al.</i> ,2001a
4.	√	√			√		√	Valasco, 2001
5.	√	√			√		√	Wiebe, <i>et al.</i> ,2001b

Sumber: Data diolah

Pendalaman tentang produktivitas pertanian yang bukan dilakukan oleh FAO biasanya masih menjadikan lahan (A) dan tenaga kerja (L) sebagai komponen utama. Sementara itu, komponen kapital (K) sudah dikembangkan menjadi beberapa komponen lainnya, seperti alat dan mesin pertanian (AM), benih (B), pupuk (F), irigasi (IR), dan pestisida (P).

Tabel di bawah ini menunjukkan beberapa pendalaman non-FAO yang memakai komponen masukan konvensional untuk menyelidikannya.

**Tabel 3 Komponen Masukan Produksi Pertanian Konvensional (2)**

No.	Faktor Produksi Pertanian Konvensional								Sumber
	Lahan (A)	Tenaga Kerja (L)	Kapital (K)	Hewan (H)	Pupuk (F)	Pestisida (P)	Alsin (AM)	Benih (B)	
1.	√	√	√						Echevarria, 1998
2.		√			√			√	Maulana, 2004
3.	√	√		√	√		√		Rao, <i>et al.</i> , 2004
4.	√	√			√	√		√	Kusumastuti, 2007
5.	√	√	√						Xu, 2012
6.		√			√	√		√	Nikmah, <i>et al.</i> , 2013
7.	√	√			√		√		Ogundari, 2013
8.	√	√			√		√		Gautham dan Yu, 2015

Sumber: Data diolah

### **3. Komponen dalam Produksi Pertanian yang Sebenarnya Harus Diutamakan**

Pendalaman terkait produktivitas pertanian sering kali mengubah komponen yang dijadikan fokus utamanya. Pada awalnya, lahan adalah komponen yang menjadi perhatian utama pada pendalaman produktivitas pertanian. Hal ini dikarenakan ada anggapan bahwa jumlah lahan itu terbatas sehingga pendalaman produktivitas pertanian diarahkan kepada usaha untuk meningkatkan produksi persatuan lahan (*yield*). Selanjutnya, fokus komponen pada pendalaman produktivitas pertanian pun berubah seiring peralihan industrialisasi. Dengan adanya perkembangan pada sektor industri, tenaga kerja pertanian pun jumlahnya semakin menurun sehingga perlu dijadikan perhatian utama dalam telaah produktivitas pertanian. Usaha ini dilakukan guna membentuk sebuah teknologi yang bisa menghemat penggunaan tenaga manusia di bidang pertanian. Pada waktu ini pun air masih belum dianggap sebagai barang yang langka sehingga dianggap belum memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Barker, dkk.

(2003) dan Debertin (2012) pun menjelaskan bahwa perhatian dunia terhadap kelangkaan air dan usaha penghematan air baru dimulai pada akhir tahun 1990-an.

Meskipun belum banyak pendalaman yang menggunakan komponen air sebagai telaah produktivitas pertanian, bukan berarti tidak ada penelaah yang memasukkan komponen ini ke dalam penyelidikan mereka terhadap produktivitas pertanian. Berikut adalah tabel yang memuat beberapa penyelidikan yang memasukkan komponen air sebagai salah satu komponen produksi pertanian untuk mencari tahu produktivitas pertanian.

**Tabel 4 Komponen Air pada Pendalaman Produktivitas Pertanian Banyak Faktor**

No.	Faktor Produksi Pertanian Konvensional								Sumber
	Lahan (A)	Tenaga Kerja (L)	Kapital (K)	Hewan (H)	Pupuk (F)	Alsln (AM)	Air/CH (W)	Irigasi (IR)	
1.	√		√				√		Lee dan Zepeda, 2001
2.	√	√			√	√	√		Chang dan Zepada, 2001
3.	√	√		√	√	√		√	Coelli dan Rao, 2003
4.		√			√			√	Manos, <i>et al.</i> , 2013
5.	√	√	√	√	√		√	√	Abro, <i>et al.</i> , 2014
6.	√	√			√		√		Suresh, 2015

Sumber: Data diolah

## **E. Produktivitas Air untuk Tanaman Faktor Tunggal dan Banyak Faktor**

Banyak penelaah yang menyebutkan bahwa produktivitas bisa ditelaah melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan parsial (tunggal) dan banyak faktor. Untuk lebih jelasnya, silakan simak uraian terkait pendekatan produktivitas air untuk tanaman faktor tunggal dan banyak faktor berikut.

### **1. Produktivitas Air untuk Tanaman Faktor Tunggal**

Pada umumnya, perkembangan pendalaman tentang produktivitas air untuk tanaman dilakukan dengan menyelidiki dari aspek produktivitas faktor tunggal. Beberapa penelaah, seperti Barker, dkk. (2003), Kijne, dkk. (2003), dan Scheierling, dkk. (2014), mengungkapkan bahwa pendalaman

ini memperhitungkan keluaran fisik dan ekonomi setiap penggunaan volume air. Lebih lanjutnya, Coelli, dkk. (1998 & 2005), Barker, dkk. (2003), Kijne, dkk. (2003), dan Scheierling, dkk. (2014) menguraikan terkait konsep produktivitas air untuk tanaman. Perlu dipahami bahwa sebenarnya produktivitas air untuk tanaman merupakan produktivitas parsial atau faktor tunggal yang serupa dengan konsep produktivitas lahan atau tenaga kerja. Produktivitas faktor tunggal atau parsial adalah rasio keterkaitan antara keluaran dan satu komponen masukan. Selain itu, pendekatan produktivitas faktor tunggal (parsial) hanya memperhatikan dari satu komponen masukan saja berupa air.

Produktivitas faktor tunggal ini berguna sebagai bentuk penilaian terhadap efektivitas dari penggunaan satu komponen masukan tertentu. Konsep ini banyak digunakan oleh ahli irigasi dan ahli ekonomi untuk mendalami produktivitas air karena dianggap relatif mudah, terutama perhitungannya. Namun, pendekatan ini memiliki kekurangan berupa tidak mampu menyajikan gambaran yang menyeluruh perihal fenomena yang terjadi.

## **2. Produktivitas Air untuk Tanaman Banyak Faktor**

Seiring berjalannya waktu, muncul kesadaran bahwa produktivitas air untuk tanaman ternyata tidak hanya dipengaruhi oleh satu komponen saja. Ada berbagai komponen yang dapat memengaruhi tingkat produktivitas air untuk tanaman, seperti komponen agronomi, ekonomi, genetik tanaman, lingkungan, manajemen sumber daya air, dan sosial. Sampai saat ini pun proses mengidentifikasi, mengintegrasikan, dan menginformasikan pengaruh setiap komponen tersebut masih sulit dilakukan secara efektif padahal hal ini berguna untuk menciptakan sinergi dalam meningkatkan produktivitas air untuk tanaman.

Molden, dkk. (2003) dan Scheierling, dkk. (2014) pun mengungkapkan bahwa pendekatan produktivitas air banyak faktor sangat disarankan untuk melengkapi pendalaman terhadap produktivitas air untuk tanaman. Pendekatan ini sendiri memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap pola keterkaitan antar-komponen sehingga menyediakan pengukuran produktivitas yang lebih lengkap, yakni mencakup produktivitas banyak faktor dan total faktor produktivitas.

Konsep produktivitas banyak faktor sudah dijelaskan oleh Barker, dkk. (2003), Kijne, dkk. (2003), Molden, dkk. (2003), dan Scheierling, dkk. (2014). Melalui pendalaman yang mereka lakukan, konsep produktivitas banyak faktor didefinisikan sebagai pendekatan yang mengukur hubungan antara keluaran atau total keluaran dan penggunaan sejumlah atau total masukan. Pendekatan ini berguna untuk memperkirakan sebagian atau keseluruhan komponen masukan yang memengaruhi keluaran (hasil).

Pendekatan produktivitas banyak faktor memerlukan lebih banyak masukan data sehingga tantangan yang sering kali ditemui adalah persoalan ketersediaan data. Meskipun demikian, produktivitas banyak faktor juga memiliki kelebihan berupa penyajian gambarannya yang lebih lengkap sehingga saran pembenahan yang diberikan dapat lebih komprehensif.

# BAB 3

## EKSPLORASI CARA UNTUK MENGETAHUI TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN

### A. Mengidentifikasi Cara Efektif dalam Menilai Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman

---

Basis dari pembentukan model pengukuran produktivitas adalah perbandingan variabel keluaran terhadap variabel masukan. Becker, dkk. (2012) menjelaskan bahwa pada pendekatan faktor tunggal pengukuran produktivitas dikatakan perbandingan variabel keluaran terhadap satu variabel masukan dalam sebuah sistem produksi. Sementara itu, pada pendekatan banyak faktor disebut sebagai perbandingan variabel keluaran terhadap sejumlah atau seluruh variabel masukan dalam sebuah sistem produksi.

Solow (1957) merupakan ahli pertama yang mencetuskan hadirnya model pengukuran produktivitas. Mengacu kepada fungsi produksi Cobb-Douglas, model pengukuran produktivitas menunjukkan perubahan produktivitas yang disebabkan oleh perubahan pada masukan dan teknologi produksi (TEC). Das (2009) dan Fazri, dkk. (2017) berpendapat bahwa model pengukuran ini dijadikan sebagai dasar dan dikategorikan sebagai model pengukuran *non-frontier*.

Penjelasan terkait model pengukuran produktivitas *non-frontier* akan mengacu kepada pendapat dari Coelli, dkk. (2005), Gatto, dkk. (2011), dan Fazri, dkk. (2017). Asumsi dasar dari model pengukuran produktivitas *non-frontier* adalah keluaran diproduksi melalui proses yang berlangsung saat keadaan efisien optimal pada penggunaan teknologi produksi khusus. Keluaran yang diperhatikan dalam model ini adalah keluaran di tingkat potensial. Perubahan produktivitas karena perubahan teknologi produksi (TEC) dapat diukur menggunakan pendekatan non-

*frontier*, seperti Hicks-Moorstee, Malmquist-Tornquist, dan Fisher. Namun, pendekatan ini memerlukan data berupa masukan harga dan anggapan dasarnya adalah semua unit produksi bekerja secara optimal sehingga tidak dapat memberikan informasi perubahan efisiensi (EFC). Maka dari itu, model pengukuran produktivitas *frontier* pun diterapkan guna mengatasi keterbatasan tersebut.

Asumsi dasar dari model pengukuran produktivitas *frontier* adalah bahwa sebuah unit produksi tidak selalu beroperasi dalam keadaan optimal. Dengan kata lain, keluaran yang diproduksi bisa berbeda dengan keluaran potensial karena adanya pemborosan dalam proses produksi. Perubahan produktivitas dalam model ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu perubahan masukan, perkembangan teknologi produksi (TEC), dan perubahan efisiensi (EFC). Model *frontier* ini menjadi model pengukuran produktivitas yang banyak digunakan oleh penelaah dan praktisi saat ini.

Simar (1992) dan Kneip & Simar (1996) menguraikan penjelasan terkait awal mula dicetuskannya model pengukuran produktivitas *frontier*. Farrell (1957) menjadi sosok yang memperkenalkan model pengukuran produktivitas *frontier* pertama kali dan dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan linear programming atau pendekatan non-parametrik untuk mengukur perubahan efisiensi (EFC). Selanjutnya, Aigner & Chu (1968) memperkenalkan model produktivitas *frontier* parametrik. Konsep dasar dari model ini adalah mengukur efisiensi sebuah unit produksi dengan membandingkan jarak keluaran dan keluaran potensialnya. Keluaran potensial itu sendiri adalah hasil maksimal yang dapat diperoleh dari penggabungan masukan tertentu yang dinyatakan sebagai fungsi produksi *frontier* dan bisa dirancang, baik secara parametrik maupun non-parametrik.

### **1. Penguraian Total Faktor Produktivitas**

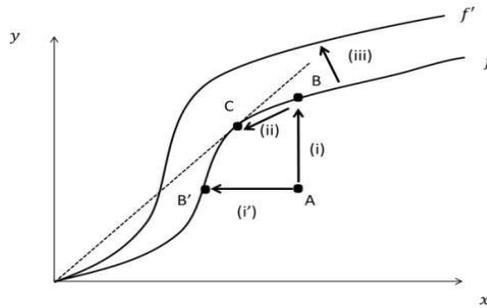
Comin (2006), Kholi (2001), dan Fazri, dkk. (2017) menjelaskan bahwa total faktor produktivitas (TFP) adalah bagian dari perubahan dari hasil produksi yang tidak dipengaruhi oleh perubahan masukan dalam sebuah proses produksi. TFP menjadi konsep yang fundamental karena mampu menunjukkan kemampuan sebuah unit produksi dalam menghasilkan keluaran berdasarkan pemakaian sejumlah masukan. Coelli, dkk. (1998) mengemukakan bahwa TFP adalah nilai dari perbandingan

antara total keluaran dan total masukan dalam sebuah proses produksi. TFP ini berfungsi sebagai pemberi gambaran produktivitas yang lebih lengkap dibandingkan pengukuran yang hanya melihat satu faktor saja (produktivitas faktor tunggal). Para penelaah dan praktisi saat ini menjadikan TFP sebagai pilihan utama dalam menyelidiki fenomena produktivitas.

Nishimizu & Page (1982) mendefinisikan dekomposisi TFP sebagai proses pemecahan komponen perubahan TPF menjadi dua komponen utama, yaitu perubahan teknologi produksi (TEC) dan perubahan efisiensi (EFC). Perubahan TFP itu sendiri adalah hasil dari pengombinasian antara perubahan TEC dan EFC. Komponen TEC dapat ditingkatkan melalui inovasi atau penerapan teknologi baru pada sebuah unit produksi, sementara EFC bisa meningkat dengan adanya penambahan kapasitas pemakaian faktor produksi pada teknologi yang digunakan.

Coelli, dkk (2005) menegaskan bahwa perubahan teknologi produksi (TEC) adalah faktor utama yang paling umum dalam perubahan produktivitas. Penentuan TEC didasarkan pada kemampuan sebuah sistem produksi dalam menghasilkan lebih banyak keluaran dari sumber daya yang ada (masukan) pada periode penyelidikan dibandingkan dengan periode sebelumnya. Sementara itu, perubahan efisiensi (EFC) menunjukkan peningkatan efisiensi dalam penggunaan teknologi yang dioperasikan. Lalu, perubahan produktivitas dapat terjadi melalui penerapan teknologi produksi baru (TEC), peningkatan efisiensi dalam penggunaan masukan (EFC), atau mengombinasikan keduanya secara bersamaan.

Perubahan produktivitas melalui komponen TEC dan EFC diilustrasikan dalam gambar 1 di bawah ini. Pada ilustrasi terlihat bahwa batas produksi (*frontier*) atau nilai rerata produktivitas sebuah unit produksi direpresentasikan oleh kurva *f*. Mulanya, unit produksi berjalan atau memiliki nilai produktivitas yang letaknya berada di titik A. Hal ini menunjukkan bahwa produktivitasnya masih di bawah batas optimal atau belum mencapai kurva *frontier*.



**Gambar 1 Peningkatan Nilai Produktivitas**

(Coelli, dkk., 2005; Scheierling, dkk., 2014)

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Scheierling, dkk. (2014) menyebutkan bahwa ada tiga cara yang bisa dilakukan untuk meningkatkan produktivitas unit produksi A, yakni sebagai berikut.

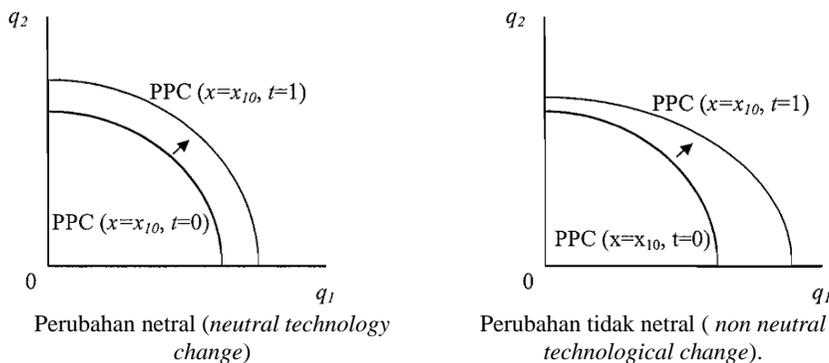
- 1) **Meningkatkan Efisiensi (EFC):** Menghasilkan keluaran yang serupa dengan lebih sedikit masukan (bergerak dari titik A ke B') atau meningkatkan keluaran dengan jumlah masukan yang tetap (bergerak dari titik A ke B).
- 2) **Membenahi Skala Operasi (SEC):** Menyesuaikan skala produksi atau bergerak dari titik B ke titik C.
- 3) **Meningkatkan Teknologi Produksi (TEC):** Menerapkan teknologi yang lebih maju atau bergerak dari f ke f'.

Akhir kata, Balk, dkk. (2019) menekankan bahwa penentuan model pengukuran dan penguraian TFP bergantung pada ketersediaan data, khususnya data kuantitas dan data harga.

## 2. Indeks Produktivitas Malmquist dan Fungsi Jarak

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Scheierling, dkk. (2014) menguraikan bahwa indeks produktivitas Malmquist adalah cara pengukuran produktivitas yang dilakukan dengan membaginya ke dalam komponen TEC dan EFC. Cara ini memiliki anggapan bahwa unit produksi tidak selalu beroperasi secara optimal, tidak memerlukan data harga, tetapi membutuhkan data historis (panel data). Selain itu, cara ini juga mampu menunjukkan perubahan produktivitas, baik antar-unit produksi maupun dari waktu ke waktu.

Fungsi jarak (*distance function*) digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi dan produktivitas dalam sebuah proses produksi. Konsep ini pertama kali dicetuskan pada tahun 1953 oleh Malmquist dan Shepard, tetapi berkembang pesat dalam tiga dekade terakhir. Fungsi jarak ini berhubungan dengan kurva batas produksi (*production frontier*) atau kurva kemungkinan produksi (*production possibility curve/PPC*). Prinsip dasarnya adalah untuk menggambarkan posisi dan perubahan dalam batas produksi, baik dalam bentuk ekspansi maupun kontraksi. Perubahan pada PPC merepresentasikan perubahan teknologi produksi (TEC), baik bersifat netral (*neutral technology change*) maupun tidak netral (*non-neutral technological change*). Perubahan ini dapat diperhatikan pada gambar berikut.



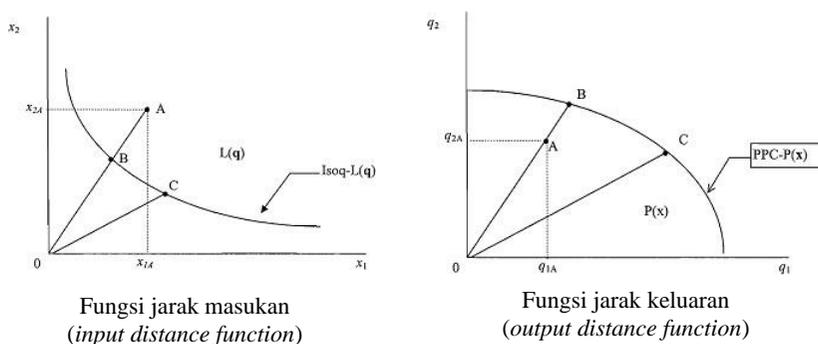
**Gambar 2 Perubahan Teknologi Produksi dan Kurva Batas Produksi**

(Coelli, dkk., 1998; Coelli, dkk., 2005)

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Xu (2012) menguraikan tentang kegunaan dan komponen yang dibutuhkan oleh fungsi jarak. Fungsi jarak berguna sebagai penggambaran terkait teknologi produksi tanpa perlu menentukan tujuan spesifik, seperti maksimasi atau minimasi. Fungsi jarak ini hanya memerlukan data kuantitas masukan dan keluaran. Selain itu, fungsi jarak juga menjadi komponen utama dalam indeks Malmquist dan dapat dihitung, baik berdasarkan jarak masukan (*input distance*) maupun jarak keluaran (*output distance*).

Fungsi jarak keluaran menggambarkan karakter dari sebuah teknologi produksi yang dapat mengoptimalkan fungsi batas produksi (PPC) dengan jumlah masukan tetap atau lebih sedikit. Di samping itu,

fungsi jarak masukan (*input distance function*) menjelaskan karakter dari teknologi produksi yang meminimalkan penggunaan sumber daya (masukan) untuk mencapai batas tingkat produksi tertentu atau bisa dikatakan pula proses pengaturan penambahan masukan agar sesuai dengan target keluaran. Gambaran fungsi jarak masukan dan keluaran bisa diperhatikan pada gambar berikut ini.



**Gambar 3 Fungsi Jarak Masukan dan Fungsi Jarak Keluaran**  
(Coelli, dkk., 1998; Coelli, dkk., 2005)

Fungsi jarak keluaran merepresentasikan seberapa jauh unit usaha (titik A) berada dari batas produksi optimal (PPC) saat menghasilkan keluaran  $q$  dengan pemanfaatan masukan  $X$ . Nilai fungsi jarak pada titik A dihitung sebagai rasio  $OA/OB$ . Sementara itu, fungsi jarak masukan menggambarkan keadaan nilai fungsi jarak pada titik A merupakan kondisi saat pemanfaatan masukan  $X_{1A}$  dan  $X_{2A}$  guna menghasilkan keluaran  $q$  yang berada pada kurva Isog  $L(q)$  (*Isoquant*  $q$ ). Nilai fungsi jarak masukan pada titik A juga dinyatakan sebagai rasio  $OA/OB$ .

Fungsi jarak adalah komponen utama dalam Pembentukan indeks produktivitas *Malmquist*. Indeks ini dihitung dengan mengacu kepada pengukuran jarak radial dari titik pengamatan vector masukan dan keluaran terhadap batas teknologi yang beroperasi. Untuk membentuk indeks produktivitas Malmquist, diperlukan data kuantitas masukan dan keluaran dalam dua periode waktu berbeda (contoh:  $s$  dan  $t$  atau  $t$  dan  $t+1$ ). Indeks ini dapat dihitung dengan dua pendekatan, yaitu berdasarkan orientasi masukan dan orientasi keluaran.

Orientasi masukan berfokus kepada proses penambahan jumlah masukan guna memproduksi keluaran yang diinginkan. Sementara itu, orientasi keluaran lebih menekankan pada pengurangan penggunaan masukan guna memproduksi keluaran yang tetap atau penggunaan jumlah masukan yang sama guna meningkatkan jumlah keluaran produksi. Penggunaan vektor masukan  $X$  pada dua periode berbeda ( $X_s =$  waktu  $s$  dan  $X_t =$  waktu  $t$ ) serta vektor keluaran  $q$  pada periode yang sama ( $q_s =$  waktu  $s$  dan  $q_t =$  waktu  $t$ ) maka fungsi jarak Malmquist PMF index untuk periode  $s$  dan  $t$  ialah  $do^s(q_s, x_s)$ ,  $do^t(q_s, x_s)$ ,  $do^s(q_t, x_t)$ ,  $do^t(q_t, x_t)$  (Coelli *et al.*, 1998; Coelli *et al.*, 2005; Xu, 2012)

Indeks produktivitas Malmquist memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pendekatan lainnya. Kelebihan pertama berada pada asumsi dasarnya yang dianggap realistis. Asumsi dasar ini menyatakan bahwa unit produksi beroperasi dalam kondisi yang tidak sepenuhnya optimal, terutama untuk sektor pertanian di negara berkembang. Kelebihan kedua adalah kemampuannya dalam memecah komponen TFP menjadi komponen teknologi produksi (TE) dan komponen efisiensi (EF). Perlu dipahami bahwa TFP merupakan kombinasi dari TEC dan EFC sehingga perubahan TFP hanya dapat terjadi apabila TEC dan EFC mengalami perubahan, baik secara mandiri maupun bersamaan.

Penentuan nilai indeks produktivitas Malmquist dihitung berdasarkan nilai fungsi jarak pada dua periode waktu, yaitu waktu  $s$  ( $do^s$ ) dan pada waktu  $t$  ( $do^t$ ). Ada dua pendekatan yang bisa dilakukan untuk menghitung kedua fungsi jarak ini, yaitu pendekatan parametrik dan non-parametrik. Perhitungan fungsi jarak secara non-parametrik dilakukan menggunakan model Data Envelopment Analysis (DEA), sementara pendekatan parametrik menggunakan model Frontier Analysis (FA), baik dalam bentuk deterministic maupun stokastik.

### 3. Bentuk Pengukuran Produktivitas *Frontier* Non-Parametrik

Rao (2003) dan Chen (2003) menjabarkan terkait dasar dari model pengukuran produktivitas *frontier*. Model pengukuran ini didasarkan pada teori produksi dan konsep fungsi jarak. Pendekatan non-parametrik dalam pengukuran produktivitas *frontier* dilakukan menggunakan DEA-MI. Model DEA-MI itu sendiri berguna untuk mengukur perubahan TFP dari

waktu ke waktu dan bisa diimplementasikan pada unit produksi dengan banyak masukan dan menghasilkan banyak keluaran.

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Lin, dkk. (2011) menjelaskan terkait konsep dari model DEA. Model DEA mulanya dikembangkan pada tahun 1978 oleh Charner Cooper dan Rhodes (model CCR). Berikutnya pada tahun 1984 dikembangkan pula oleh Banker, Charner, dan Cooper (model BBC). Kedua model ini sering kali diterapkan guna mengukur efisiensi relatif dari unit produksi. DEA itu sendiri bekerja dengan pendekatan matematis berbasis pemrograman linear guna menentukan posisi dan batas fungsi produksi (*frontier*) berdasarkan data yang ada.

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Xu (2012) menguraikan terkait perhitungan fungsi jarak Malmquist Index menggunakan DEA. Perhitungan ini berkembang selepas diperkenalkan pada tahun 1994 oleh Fare, Grosskopf, Norris, dan Zang. Hingga sekarang ini, model ini menjadi salah satu pendekatan yang paling sering digunakan dalam penyelidikan produktivitas. Mengacu kepada pendekatan yang dicetuskan oleh Fare, perhitungan produktivitas setiap unit produksi pada periode  $s$  dan  $t$  dilakukan dengan menghitung fungsi jarak melalui pemrograman linear.

Rao, dkk. (2003) berpendapat bahwa model DEA-MI bisa berfokus kepada masukan ataupun keluaran. Dalam fokus masukan, model ini mengasumsikan bahwa masukan bisa dikurangi semaksimal mungkin tanpa menurunkan keluaran. Sementara itu, pada fokus keluaran, model ini berpusat kepada peningkatan keluaran secara optimal tanpa menambahkan masukan.

O'Donnell (2011) berpendapat bahwa model DEA-MI tidak hanya bisa diterapkan dalam pengukuran TFP dengan pendekatan SISO, tetapi juga bisa mendalami untuk banyak masukan-banyak keluaran atau MIMO. Model DEA-MI menjadi cara pendalaman yang populer digunakan karena tidak memerlukan data harga, mampu menguraikan TFP menjadi komponen TEC dan EFC, serta adanya perangkat lunak yang mendukung penelusuran lebih lanjutnya.

Beberapa pendalaman telah menerapkan model DEA-MI dalam pengukuran produktivitas. Misalnya, Ashton (2000) yang mendalami dampak privatisasi terhadap perubahan produktivitas dan teknologi produksi di industry air dan pengolahan limbah di Inggris. Pendalaman ini menyimpulkan bahwa walaupun biaya investasi tinggi, hal ini tidak

memengaruhi perkembangan teknologi (TEC) dan efisiensi (EFC) secara keseluruhan.

Model DEA-MI digunakan dalam telaah produktivitas karena perhitungannya relatif mudah, tidak memerlukan asumsi dasar terhadap fungsi produksi, dan tidak memerlukan data harga secara terang-terangan. Coelli & Rao (2003) menerapkan model DEA-MI dengan orientasi keluaran dan menggunakan panel data sekunder yang berasal dari statistik pertanian dunia yang dipublikasi oleh FAO guna mengukur pertumbuhan produktivitas di 93 negara pada periode tahun 1980–2000. Pendalaman ini menemukan bahwa rerata pertumbuhan TFP sebesar 2,1% dengan kontribusi dari EFC sebesar 0,9% dan TEC sebesar 1,2%. Selain itu, negara-negara di Asia tercatat memiliki pertumbuhan produktivitas pertanian yang lebih tinggi dibandingkan dengan negara-negara di benua lainnya.

Kumar & Basu (2008) menerapkan model DEA-MI berorientasi keluaran guna menilai dampak TEC dan EFC terhadap produktivitas industri pengolahan makanan di Indonesia. Penilaian ini memakai data masukan dan keluaran yang berasal dari panel data statistik industri selama tahun 1998 hingga 2005. Dari pendalaman ini, mereka menemukan bahwa walaupun industri pengolahan makanan di Indonesia berada di peringkat tiga besar dunia dan mengalami peningkatan produksi, tetapi pertumbuhan TEC dan EFC mereka masih tergolong rendah. Hal ini pun mengakibatkan rendahnya pertumbuhan TFP yang hanya mencapai 1,5% selama 17 tahun terakhir. Saran yang diberikan guna meningkatkan TFP adalah melakukan pendalaman dan pengembangan (R&D), mengimpor bahan produksi, membenahi institusi dan kebijakan yang berlaku.

Pendalaman Yao & Li (2012) serta Hoang & Coelli (2011) memanfaatkan model DEA-MI guna menilai produktivitas pertanian dengan mempertimbangkan komponen lingkungan. Yao & Li (2010) mendalami perihal dampak dari program pengembangan pertanian di lereng (Sloping Land Conversion/SLCP) dan menemukan bahwa peningkatan TFP terjadi sedikit demi sedikit melalui peningkatan EFC. Perlu dipahami bahwa EFC ini meningkat karena adanya kenaikan alokasi dana dari pemerintah dan peningkatan pengetahuan petani.

Hoang & Coelli (2011) mengembangkan cara pengukuran efisiensi lingkungan (*environmental efficiency/EE*) menjadi indeks TFP berbasis

nutrisi tanah (*nutrient total factor productivity index* = NTFP). Pendalaman ini memperoleh simpulan bahwa produksi pertanian masih bisa dipertahankan meskipun terjadi pengurangan masukan hingga 50%. Pengelolaan gabungan masukan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi lingkungan sekaligus mendorong produktivitas pertanian.

Alviya (2011) menerapkan model DEA-MI untuk menelusuri tingkat produktivitas industri pengolahan kayu di Indonesia pada periode 2004–2007. Pendalaman ini menggunakan panel data statistik yang mencakup produksi (keluaran) serta berbagai masukan, seperti tenaga kerja, kapital, bahan baku, dan energi. Orientasi model yang digunakan adalah orientasi masukan. Simpulan pendalaman ini menunjukkan bahwa rerata EFC industri kayu olahan di Indonesia mencapai 72%. Namun, terjadi penurunan pada komponen TEC sehingga berdampak pada penurunan produktivitas rerata sebesar 5,3% selama periode penyelidikan.

Pendalaman Tan, dkk. (2015) menerapkan DEA-MI yang berorientasi keluaran untuk menyelidiki produktivitas pertanian di India selama satu dekade terakhir. Pendalaman ini didasarkan pada data sekunder yang diterbitkan oleh pemerintah India. Pendalaman ini pun memperlihatkan bahwa rerata peningkatan TFP pertanian di India mencapai 1,5% meskipun pertumbuhannya tidak merata di beberapa provinsi lainnya. Peningkatan TEC menjadi faktor penting dalam pertumbuhan TFP yang didorong oleh investasi dan pengembangan (R&D), perluasan layanan, serta kemajuan teknologi.

Terakhir adalah Gadanakis, dkk. (2015) yang menerapkan model DEA-MI berorientasi masukan guna menelaah dan menyarankan peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan air dalam sektor pertanian. Pendalaman ini memanfaatkan data sekunder yang berasal dari peninjauan tentang pemakaian air dan produksi pertanian pada skala lahan pertanian (*farm*) di Inggris. Simpulan akhir yang diperoleh dari pendalaman ini adalah bahwa petani mampu menekan pemakaian air hingga 35%, sementara 47% di antaranya masih berpotensi untuk mengurangi biaya produksi. Selain itu, penerapan teknologi informasi dalam pengambilan keputusan dan penggunaan sistem irigasi tetes terbukti mampu meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus mengurangi konsumsi air.

## **B. Membentuk Gambaran Cara Penerapan Produktivitas Non-Parametrik**

---

Produktivitas didefinisikan sebagai rasio antara keluaran dan masukan dalam suatu proses produksi. Fuglie (2004) berpendapat bahwa peningkatan jumlah keluaran per unit pemakaian masukan mencerminkan peningkatan dalam fungsi produksi dan dapat diukur sebagai peningkatan produktivitas. Konsep produktivitas berakar pada teori produksi. Teori ini sendiri adalah fungsi produksi yang menyatakan jumlah produksi (masukan) yang mungkin bisa dihasilkan dari beberapa masukan dengan mengoperasikan teknologi yang ada. Ahern, dkk. (1998) menambahkan bahwa teknologi produksi sendiri menjelaskan proses perubahan masukan menjadi keluaran.

Produktivitas air untuk tanaman merupakan rasio antara produksi tanaman dan volume air yang dipakai. Molden (1997) dan Scheierling, dkk. (2018) mengemukakan bahwa konsep ini berkembang dari gagasan efisiensi air dan telah menjadi fokus utama pada pendalaman pengelolaan air pertanian sejak diperkenalkan pada 1996. Dalam bentuk fisik, produktivitas air untuk tanaman pangan diukur sebagai jumlah produksi pangan per unit volume air yang digunakan dengan satuan  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Pada buku ini, tanaman pangan yang ditelusuri adalah padi, jagung, dan kombinasi keduanya.

Pendalaman buku ini dilakukan di Wilayah Timor Barat yang beriklim semi-arid dan membutuhkan jalan keluar dalam menghadapi tantangan perihal peningkatan produksi pangan dengan keterbatasan air serta faktor produksi pertanian lainnya. Bastiaanssen & Steduto (2017) menyarankan peningkatan produktivitas air untuk tanaman (PAT) sebagai upaya utama dalam meningkatkan produksi pangan. Upaya ini telah diterapkan oleh organisasi pangan global seperti FAO, UN Water, dan organisasi internasional lainnya. Mengingat bahwa variasi nilai fisik PAT sangat dipengaruhi oleh keadaan lokal, Brauman dkk. (2013) menegaskan pentingnya pendalaman PAT sampai pada tingkat lokal agar strategi peningkatan PAT dapat diterapkan secara efektif sesuai dengan karakteristik wilayah setempat.

Pendalaman mengenai pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman (PAT) masih dapat dikatakan sedikit. Pendalaman yang ada, seperti milik Alauddin dan Sharma (2013) serta Alauddin, dkk. (2014), menyelidiki

pertumbuhan PAT tanaman padi di tingkat nasional dan provinsi di Bangladesh. Namun, kedua pendalaman ini hanya menunjukkan pertumbuhan tahunan atau perubahan pada komponen teknologi produksi (TEC) tanpa menyertakan penyelidikan pertumbuhan efisiensi (EFC) dan total faktor produktivitas (TFP).

Penelusuran TFP merupakan pendekatan modern yang semakin berkembang dalam telaah produktivitas. TFP ini memberikan gambaran lebih komprehensif dengan mengukur tingkat pertumbuhan komponen TEC dan EFC. TFP dapat diselidiki menggunakan model pengukuran produktivitas frontier, baik yang bersifat non-parametrik maupun parametrik. Model frontier parametrik memungkinkan penyelidikan secara bersamaan terhadap pengaruh faktor eksternal non-stokastik terhadap EFC. Selain itu, model produktivitas frontier dapat diterapkan untuk menelusuri produktivitas, baik berdasarkan faktor tunggal maupun banyak faktor sehingga lebih fleksibel dalam berbagai konteks pendalaman.

Pendalaman pertumbuhan TFPAT pada skala wilayah dengan pendekatan banyak faktor menjadi penting untuk dilakukan. Edeira, dkk. (2018) menegaskan bahwa variasi nilai PAT bisa dipengaruhi, baik oleh faktor air maupun non-air dengan tingkat pengaruh yang seimbang. Wilayah yang mengalami keterbatasan faktor produksi, akses pasar, dan faktor pendukung lainnya cenderung memiliki besaran PAT yang lebih rendah. Sementara itu, Teixeira & Bassoi (2009) menyatakan bahwa peningkatan PAT di daerah semi-arid memiliki tantangan dari faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap pengaruh ketiga faktor tersebut terhadap PAT di wilayah semi-arid perlu dilakukan, mulai dari tingkat lahan hingga skala wilayah. Pemahaman ini menjadi krusial dan dapat diperkuat melalui pemodelan serta penyelidikan berbasis data lokal yang tersedia.

### **C. Menguraikan Proses Penilaian Tingkat Efisiensi Penggunaan Air dalam Produksi Pertanian**

---

Proses penilaian tingkat efisiensi penggunaan air dimulai dengan mengumpulkan panel data sekunder periode tahun 2000-2015. Data sekunder ini terbagi menjadi dua, yaitu data iklim dan non-iklim. Data iklim itu sendiri, meliputi: (1) rata-rata curah hujan bulanan; (2) suhu udara bulanan minimum, rata-rata, dan maksimum; (3) kelembapan udara

rata-rata bulanan; dan (4) rata-rata kecepatan angin bulanan. Sementara itu, data non-iklim ialah data tanaman, data sosial, dan data ekonomi dengan perincian: (1) data produksi padi dan jagung; (2) data harga konsumsi padi dan jagung; (3) data luas tanam dan luas panen padi serta jagung; (4) data jumlah pekerja primer; (5) data pengeluaran petani; (6) data Indeks Pembangunan Manusia (IPM); dan (7) data pertumbuhan ekonomi kabupaten/kota.

Tahap berikutnya adalah pengolahan data awal. Doolan & Froelicher (2005) menjelaskan tujuan dari pengolahan data awal adalah untuk memperoleh data sekunder berkualitas yang akan ditelusuri lebih lanjut sehingga temuan pendalaman yang diperoleh pun bermutu tinggi. Selain itu, Broeck, dkk. (2005) menegaskan akan pentingnya proses data *cleaning* dalam meningkatkan kualitas data sekunder. Proses data *cleaning* itu sendiri terdiri dari telaah data hilang dan telaah nilai ekstrem.

Telaah data hilang dipakaikan pada data yang kosong di komponen terukur. Kekosongan data ini nantinya menyebabkan pengurangan jumlah sampel sehingga menurunkan tingkat keakuratan penelaahan. Pengisian data hilang dilakukan menggunakan metode interpolasi *Lagrange* dua titik dan dijalankan secara bertahap. Persamaan metode interpolasi *Lagrange* dua titik memenuhi Persamaan 1.

$$P(x) = L_0(x) Y_0 + L_1(x) Y_1$$

$$P(x) = \frac{x-x_1}{x_0-x_1} (Y_0) + \frac{x-x_0}{x_1-x_0} (Y_1)$$

Keterangan:

- P(x) = Nilai fungsi interpolasi *Lagrange*
- L (x) = Koefisien *Lagrange*
- Y = Nilai fungsi
- X = Titik data yang kosong
- X0, X1 = Titik data referensi

### 1. Uji Kestabilan Data Iklim

Untuk mendapatkan simpulan penelaahan yang akurat dan bermutu pada pendalaman hidrologi, dibutuhkan masukan data yang sifatnya konsisten. Konsistensi data itu sendiri ialah data yang menunjukkan perubahan yang disebabkan oleh dinamika pada indikator iklim dan tidak

tercampur dengan perubahan karena metode pengukuran atau penyebab lainnya. Røhr & Killingtveit (2003) dan Ahmad & Deni (2013) berpendapat bahwa data iklim di negara berkembang, terutama data curah hujan, biasanya tidak konsisten karena adanya perubahan kondisi alat ukur, cara pengukuran, keterampilan petugas, dan perubahan kondisi di wilayah sekitar stasiun pengukuran iklim. Apabila data inkonsisten ini digunakan, nantinya akan berdampak pada penurunan kualitas hasil pendalaman hidrologi.

Ahmad & Deni (2013), Santos & Fragoso (2013), dan Said, dkk. (2015) mengungkapkan bahwa cara tes konsistensi (kepanggahan) data iklim dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu tes relatif dan tes absolut. Tes relatif merupakan tes konsistensi data menggunakan data dari beberapa stasiun terdekat, sementara tes absolut ialah tes konsistensi yang memakai data dari stasiun khusus, yakni stasiun yang diselidiki saja; Pengecekan konsistensi data iklim di negara berkembang disarankan menggunakan tes absolut karena keadaan dari setiap stasiun pengukuran sangat bervariasi dan berbeda.

Buishand (1982 & 1984), Leander & Buishand (2004), dan Said, dkk. (2015) merekomendasikan tes absolut yang digunakan untuk mengecek konsistensi data iklim, yaitu metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) atau *Buishand Test*. Metode ini dicetuskan pertama kali pada tahun 1982 oleh Buishand. Metode RAPS ini berupa cara statistik yang berguna untuk memahami perubahan terhadap *mean* atau homogenitas data. Cara penggunaan metode ini adalah dengan menghitung nilai total penyimpangan dan nilai rata-rata (*mean*) seperti pada Persamaan 2 sampai 6. Lalu, untuk nilai Statistik Q dan R dalam tes RAPS dapat dilihat pada tabel 5 di bawah.

$$S^*K = \sum^k (y - \bar{y}) \dots\dots\dots(2)$$

$$S^{**}K = S^*K / \dots\dots\dots(3)$$

$$D^2y = \sum^n (y - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$Q = 0 \leq k \leq n |S^{**}K| \dots\dots\dots(5)$$

$$R = \max S^{**}K - \min S^{**}K \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

S\*K = Simpangan mutlak

- S\*\*K = Nilai konsistensi data  
 yi = Data ke-i  
 $\bar{y}$  = Nilai rata-rata data  
 n = Jumlah data  
 Dy = Simpangan baku data  
 Q = Nilai Statistik Q  
 R = Nilai Statistik R ( *Range* )

**Tabel 5 Konsistensi Informasi Iklim**

n	Q/ $\sqrt{n}$			R/ $\sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	90%	95%	99%
20	1,10	1,22	1,42	1,21	1,28	1,38
30	1,12	1,24	1,46	1,34	1,43	1,60
40	1,13	1,26	1,50	1,40	1,50	1,70
50	1,14	1,27	1,52	1,42	1,53	1,74
100	1,17	1,29	1,55	1,44	1,55	1,78
$\infty$	1,22	1,36	1,63	1,50	1,62	1,86

Sumber: Buishand, 1982

Nilai Kritis Q:

$Q/\sqrt{n}$  Hitung <  $Q/\sqrt{n}$  Tabel, maka data konsisten (Pangghah)

Nilai Kritis R:

$R/\sqrt{n}$  Hitung <  $R/\sqrt{n}$  Tabel, maka data konsisten (Pangghah)

## 2. Perkiraan Penggunaan Air Tanaman (CWU)

Molden, dkk. (2003), Vaidyanathan & Sivasubramanian (2004), Amarasinghe, dkk. (2007), Cai, dkk. (2010), Alauddin & Sharma (2013), Alauddin, dkk. (2014), Amarasinghe & Smakhtin (2014), serta Sharma, dkk. (2015) menjelaskan bahwa penggunaan air tanaman disebut sebagai CWU (*Crop Consumptive Water Use*). Pada lahan beririgasi (IR), CWU setara dengan evapotranspirasi tanaman (ETc) sesuai dengan Persamaan 9. Sementara itu, pada lahan kering (RF), CWU dihitung sebagai nilai minimum antara ETc dan curah hujan efektif seperti yang dinyatakan dalam Persamaan 10. Untuk sistem gabungan antara lahan beririgasi dan lahan kering, CWU dinyatakan dalam Persamaan 11.

$$CWU_{IR} = IRA_1 \sum_{j \in \text{Bulan}} \sum_{i \in \text{periode}} Kc_{li} \times ET_{O_j} \times \frac{d_{ij}}{n_j} \quad (9)$$

$$CWU_{RF} = RFA_1 \times \sum_{j \in \text{bulan}} \sum_{i \in \text{periode}} \min (Kc_{li} \times ET_{O_j}, CHEFF_j) \times \frac{d_{ij}}{n_j} \quad (10)$$

$$CWU = CWU_{IR} + CWU_{RF} \quad (11)$$

Perkiraan CWU berdasarkan jenis lahan akan menghadapi kendala jika dipakai dalam penyelidikan produktivitas air berbasis tanaman sehingga dibutuhkan sebuah modifikasi. Mengacu kepada praktik budidaya di wilayah Timor Barat, padi dapat ditanam, baik pada lahan beririgasi maupun lahan kering, sementara jagung hanya ditanam pada lahan kering. Oleh karena itu, perkiraan  $CWU_{Pangan}$  dihitung dengan menjumlahkan  $CWU_{Padi}$  dari lahan beririgasi dan lahan kering serta  $CWU_{Jagung}$  dari lahan kering. CWU berbasis komoditas dijelaskan dalam Persamaan 12 sampai 14 berikut,

$$CWU_{Pangan} = CWU_{Padi} + CWU_{Jagung} \quad (12)$$

$$CWU_{Padi} = LPN_{Padi} \left[ \sum_{j \in \text{mth}} \sum_{i \in \text{period}} \min (Kc_{Padi} \times ET_{O_j}, CHEFF_j) \times \frac{d_{ij}}{n_j} + \sum_{j \in \text{mth}} \sum_{i \in \text{period}} (Kc_{Padi-i} \times ET_{O_j}) \times \frac{d_{ij}}{n_j} \right] \quad (13)$$

$$CWU_{Jagung} = LPN_{Jagung} \left[ \sum_{j \in \text{mth}} \sum_{i \in \text{period}} \min (Kc_{Jagung-i} \times ET_{O_j}, CHEFF_j) \times \frac{d_{ij}}{n_j} + \sum_{j \in \text{mth}} \sum_{i \in \text{period}} (Kc_{Jagung-i} \times ET_{O_j}) \times \frac{d_{ij}}{n_j} \right] \quad (14)$$

Keterangan:

$CWU$  = Volume penggunaan air tanaman

$CWU_{IR}$  = CWU pada lahan beririgasi

$CWU_{RF}$  = CWU pada lahan kering

$CWU_{Pangan}$  = CWU tanaman pangan

$CWU_{Padi}$  = CWU tanaman padi

$CWU_{Jagung}$  = CWU tanaman jagung

$IRA_1$  = Luas panen lahan beririgasi

$RFA_1$  = Luas panen lahan kering

$Kc_{li}$  = Koefisien tanaman  $Ke-i$  pada periode tumbuh ke- $i$

$Kc_{Pd-i}$  = Koefisien tanaman padi pada periode tumbuh ke- $i$

$Kc_{Jg-i}$  = Koefisien tanaman jagung pada periode tumbuh ke- $i$

$ET_{O_j}$  = Evapotranspirasi acuan

- CHEFF<sub>j</sub> = Curah hujan efektif pada pertumbuhan tanaman bulan ke-j  
 dij = Jumlah minggu periode tumbuh ke-i dalam bulan ke-j  
 n<sub>j</sub> = Jumlah minggu pada bulan ke-j

Perkiraan CWU dilakukan dengan menghitung ETC. ETC itu sendiri diperoleh dari perkalian antara evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>) dan koefisien tanaman (K<sub>c</sub>). Perkiraan ET<sub>o</sub> dan K<sub>c</sub> ini mengacu pada standar FAO yang berlaku di wilayah Indonesia.

### 3. Perkiraan Evapotranspirasi Acuan (ET<sub>o</sub>)

Allen, dkk. (1998) mengemukakan bahwa perkiraan ET<sub>o</sub> dapat dilakukan menggunakan persamaan empiris FAO Penman-Monteith. Persamaan ini pun sesuai dengan Persamaan 15 berikut.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (15)$$

Keterangan:

- ET<sub>o</sub> = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)  
 R<sub>n</sub> = Radiasi permukaan tanaman (MJ/m<sup>2</sup>/hari)  
 G = Kerapatan panas pada tanah (MJ/m<sup>2</sup>/hari)  
 T = Temperatur harian rata-rata pada ketinggian 2 m (°C)  
 U<sub>2</sub> = Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/detik)  
 e<sub>s</sub> = Tekanan uap jenuh (kPa)  
 e<sub>a</sub> = Tekanan uap aktual (kPa)  
 e<sub>a</sub>-e<sub>s</sub> = Tekanan uap deficit (kPa)  
 Δ = Kurva kemiringan tekanan uap (kPa/°C)  
 γ = Konstanta psychrometric (kPa/°C)

Allen, dkk. (1998) dan Raes (2012) menguraikan terkait perkiraan evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>). Eto ini diperkirakan menggunakan FAO-ET<sub>o</sub> Calculator versi 3.2. Data iklim utama yang diperlukan, antara lain, suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum (°C), kelembaban udara relatif rata-rata, maksimum, dan minimum (%), lama penyinaran matahari (jam), serta kecepatan angin pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah (m/detik). Karena keterbatasan ketersediaan data iklim, terutama di negara berkembang, FAO-ET<sub>o</sub> Calculator membantu dalam menelusuri data yang

hilang dan menghitung ETo berdasarkan ketersediaan data suhu udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Raes (2012) menambahkan bahwa program FAO-ETo Calculator tidak hanya membutuhkan data iklim saja, tetapi juga memerlukan data karakteristik stasiun pengukuran. Data ini berupa nama stasiun, letak negara, letak astronomis (lintang dan bujur), dan ketinggian stasiun dari permukaan laut.

#### 4. Perkiraan Kebutuhan Air pada Tanaman dalam Tahap Pertumbuhan

Perkiraan kebutuhan air pada tanaman atau koefisien tanaman (Kc) yang dipakai pada pendalaman ini mengacu kepada standar FAO tanaman padi dan jagung di wilayah Indonesia. Koefisien tanaman (Kc) padi dan jagung berdasarkan standar FAO wilayah Indonesia ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 6**  
**Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Jagung**

No.	Tanaman	Umur (Hari)	Dua Minggu ke-							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Padi									
	Varietas Unggul	90	1,10	1,10	1,05	1,05	0,95	0,00		
	Varietas Biasa	120	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,05	0,95	0,00
2.	Jagung	80	0,50	0,59	0,96	1,05	1,02	0,95		

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan. Standar perencanaan irigasi KP 01, 1986

#### 5. Perkiraan Curah Hujan Efektif (CHEFF)

Amarasinghe, dkk. (2005 & 2007), Alauddin & Sharma (2013), dan Alauddin (2014) menjelaskan bahwa curah hujan efektif (CHEFF) dihitung sebagai bagian dari curah hujan yang memiliki peluang lebih dari 75% dari rerata curah hujan bulanan. Perhitungan CHEFF dinyatakan dalam Persamaan 16 dan 17 berikut.

$$\text{CHEFF} = \text{CHBR} \times [1 - (0,25 \times \text{CHBR}) / 125] \text{ untuk } \text{CHBR} \leq 250 \text{ mm} \quad (16)$$

$$\text{CHEFF} = 125 + (0,1 \times \text{CHBR}) \text{ untuk } \text{CHBR} \geq 250 \text{ mm} \quad (17)$$

Keterangan:

CHEFF = Curah hujan efektif (mm)

CHBR = Rata-rata curah hujan bulanan (mm)

## 6. Perkiraan Produktivitas Air Untuk Tanaman (PAT)

Perkiraan produktivitas air untuk tanaman (PAT) memuat perhitungan PAT untuk tanaman padi, jagung, dan pangan yang merupakan gabungan dari tanaman padi serta jagung. Penghitungan produktivitas air untuk tanaman pangan didasarkan pada pendekatan fisik dan dinyatakan dalam Persamaan 18, 19, dan 20 berikut.

$$PAT_{\text{Padi}} = \frac{PROD_{\text{Padi}}}{CWU_{\text{Padi}}} \quad (18)$$

$$PAT_{\text{Jagung}} = \frac{PROD_{\text{Jagung}}}{CWU_{\text{Jagung}}} \quad (19)$$

$$PAT_{\text{Pangan}} = \frac{PROD_{\text{Pangan}}}{CWU_{\text{Pangan}}} = \frac{(PROD_{\text{Padi}} + PROD_{\text{Jagung}})}{(CWU_{\text{Padi}} + CWU_{\text{Jagung}})} \quad (20)$$

Bentuk produksi pangan dalam satuan berat beras (kg beras) dapat dihasilkan melalui pengalihan produksi jagung menjadi setara produksi padi menggunakan Persamaan 21 berikut.

$$PROD_{\text{Padi}} = \left( \frac{HRG_{\text{Jagung}}}{HRG_{\text{Padi}}} \right) \times PROD_{\text{Jagung}} \quad (21)$$

Keterangan:

$PAT_{\text{Pangan}}$	= Produktivitas air untuk tanaman pangan (kg/m <sup>3</sup> )
$PAT_{\text{Padi}}$	= Produktivitas air untuk tanaman padi (kg/m <sup>3</sup> )
$PAT_{\text{Jagung}}$	= Produktivitas air untuk tanaman jagung (kg/m <sup>3</sup> )
$PROD_{\text{Pangan}}$	= Produksi tanaman pangan (kg beras)
$PROD_{\text{Padi}}$	= Produksi tanaman padi (kg beras)
$PROD_{\text{Jagung}}$	= Produksi tanaman jagung (kg pipilan)
$CWU_{\text{Pangan}}$	= Penggunaan air tanaman pangan (m <sup>3</sup> )
$CWU_{\text{Padi}}$	= Penggunaan air tanaman padi (m <sup>3</sup> )
$CWU_{\text{Jagung}}$	= Penggunaan air tanaman jagung (m <sup>3</sup> )
$HRG_{\text{Padi}}$	= Harga beras (Rp/kg)
$HRG_{\text{Jagung}}$	= Harga jagung pipilan (Rp/kg)

## D. Menemukan Cara Menilai Pertumbuhan Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan

Pendalaman tahap kedua adalah menyelidiki pertumbuhan dan penguraian TFPAT, yang terdiri dari TEC dan EFC, menggunakan pendekatan non-parametrik, baik faktor tunggal maupun banyak faktor. Penyelidikan ini dilakukan terhadap tanaman padi, jagung, dan kombinasi dari keduanya (pangan).

Coelli, dkk. (1998 & 2005) dan Xu (2012) mengemukakan bahwa pendalaman pertumbuhan  $PAT_{\text{pangan}}$  dengan pendekatan faktor tunggal non-parametrik didasarkan pada model *frontier* berupa DEA-MI-PAT. Model ini menghitung TFPAT pada setiap unit produksi dalam dua periode,  $s$  dan  $t$ , dengan menentukan fungsi jarak melalui penyelesaian empat persamaan program lineal yang tercantum pada persamaan 22 sampai 25. Sementara itu, untuk perkiraan pertumbuhan dan penguraian TFPAT dilakukan menggunakan perangkat lunak DEAP 2.1.

$$[d_o^t(y_t, x_t)]^{-1} = \max \phi, \lambda \phi, \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{Konstrain : } & -\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0, \\ & x_{it} - X_t \lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

$$[d_o^s(y_s, x_s)]^{-1} = \max \phi, \lambda \phi, \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Konstrain : } & -\phi y_{is} + Y_s \lambda \geq 0, \\ & x_{is} - X_s \lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

$$[d_o^t(y_s, x_s)]^{-1} = \max \phi, \lambda \phi, \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{Konstrain : } & -\phi y_{is} + Y_t \lambda \geq 0, \\ & x_{is} - X_t \lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

$$[d_o^s(y_t, x_t)]^{-1} = \max \phi, \lambda \phi, \quad (25)$$

$$\text{Konstrain : } -\phi q_{it} + Y_s \lambda \geq 0,$$

$$x_{it} - X_s \lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0$$

Penguraian TFPT dalam model DEA-MI-PAT menggunakan orientasi keluaran yang sesuai dengan Persamaan 26 hingga 28 berikut ini.

$$EFC = \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \quad (26)$$

$$TEC = \left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (27)$$

$$TFPAT = \left( \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \right) \times \left( \left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \right) \quad (28)$$

Keterangan:

TFPAT = Total faktor produktivitas air untuk tanaman

EFC = Perubahan efisiensi

TEC = Perubahan teknologi produksi

do = Fungsi jarak pada orientasi keluaran

y = Keluaran

x = Masukan

$\lambda \phi$  = Parameter program linier

t = Waktu saat ini

s = Waktu lalu ( t-1)

i = Jenis tanaman (padi, jagung, dan pangan)

Berikutnya adalah indeks berantaa. Goodridge (2007) menyatakan bahwa indeks berantai ini berguna untuk menelusuri pertumbuhan TFPAT bersama dua komponennya, yaitu EFC dan TEC. Tahun yang dijadikan dasar adalah tahun 2000 dengan nilai indeks 1.000. Persamaan indeks berantai ini mengikuti Persamaan 29 berikut.

$$I_t = \left( \frac{X_t}{X_{t-1}} \right) I_{t-1} \quad (29)$$

Keterangan:

- I = Indeks
- X = Nilai indeks
- t = Waktu t
- t-1 = Waktu t-1

Pendalaman pertumbuhan  $PAT_{Pangan}$  faktor tunggal non-parametrik bertujuan untuk menilai pertumbuhan dan penguraian TFPAT padi, jagung, dan pangan. Pendalaman ini dilakukan menggunakan penyelesaian persamaan linear yang menghubungkan antara produksi pangan dan jumlah air yang digunakan tanaman. Pada buku ini, disusun sebuah model frontier modifikasi guna mengukur PAT non-parametrik, yaitu menggunakan pendekatan DEA-MI-PAT-SISO (satu masukan-satu keluaran) dan DEA-MI-PAT-MIMO (dua masukan-dua keluaran).

Model DEA-MI-PAT faktor tunggal dinyatakan dalam Persamaan 30 sampai 34. Lalu, model DEA-MI-PAT-SISO dalam Persamaan 30 sampai 32. Kemudian, model DEA-MI-PAT-MISO pada Persamaan 33. Terakhir, model DEA-MI-PAT-MIMO sesuai Persamaan 34.

$$PROD_{Padi} = f(CWU_{Padi}) \quad (30)$$

$$PROD_{Jagung} = f(CWU_{Jagung}) \quad (31)$$

$$PROD_{Pangan} = f(CWU_{Pangan}) \quad (32)$$

$$PROD_{Pangan} = f(CWU_{Padi}, CWU_{Jagung}) \quad (33)$$

$$PROD_{Padi}, PROD_{Jagung} = f(CWU_{Padi}, CWU_{Jagung}) \quad (34)$$

Keterangan:

- $PROD_{Padi}$  = Produksi padi (kg)
- $PROD_{Jagung}$  = Produksi jagung (kg)
- $CWU_{Padi}$  = Penggunaan air tanaman padi ( $m^3$ )
- $CWU_{Jagung}$  = Penggunaan air tanaman jagung ( $m^3$ )

Selanjutnya adalah pendalaman pertumbuhan  $PAT_{Pangan}$  banyak faktor non-parametrik. Pendalaman ini bertujuan untuk menilai pertumbuhan dan penguraian TFPAT padi, jagung, dan pangan menggunakan penyelesaian persamaan linear yang menghubungkan PAT dengan komponen luas panen (LPN), jumlah petani (PET), dan

pengeluaran petani (PENG). Pada pendalaman ini dirancang sebuah model *frontier* pengukuran PAT non-parametrik menggunakan model DEA-MI-PAT dengan pendekatan MISO (banyak masukan-satu keluaran) dan menggunakan kelebihan model DEA-MI guna membentuk model DEA-MI-PAT-MIMO.

Penyelesaian model DEA-MI-PAT-MISO dapat dilihat melalui Persamaan 35 sampai 37, sedangkan model DEA-MI-PAT-MIMO pada Persamaan 38 dan 39.

$$PAT_{Padi} = f(LPN_{Padi}, PET_{Padi}, PENG_{Padi}) \quad (35)$$

$$PAT_{Jagung} = f(LPN_{Jagung}, PET_{Jagung}, PENG_{Jagung}) \quad (36)$$

$$PAT_{Pangan} = f(LPN_{Pangan}, PET_{Pangan}, PENG_{Pangan}) \quad (37)$$

$$PAT_{Padi}, PAT_{Jagung} = f(LPN_{Pangan}, PET_{Pangan}, PENG_{Pangan}) \quad (38)$$

$$PAT_{Padi}, PAT_{Jagung} = f(LPN_{Padi}, LPN_{Jagung}, PET_{Padi}, PET_{Jagung}, PENG_{Padi}, PENG_{Jagung}) \quad (39)$$

Keterangan:

PAT = Produktivitas air untuk tanaman (kg/m<sup>3</sup>)

LPN = Luas panen (ha)

PET = Jumlah petani (orang)

PENG = Pengeluaran petani (Jt rupiah)

Jumlah petani ini maksudnya adalah jumlah petani yang bekerja sebagai penghasil tanaman padi, jagung, dan pangan. Dasar untuk memperkirakan jumlah petani (PET) padi dan jagung adalah jumlah petani pangan sesuai dengan Persamaan 40.

$$PET_{Padi} = \alpha_{Padi} PET_{Pangan} \text{ dan } PET_{Jagung} = \alpha_{Jagung} PET_{Pangan} \quad (40)$$

Keterangan:

PET = Jumlah petani (orang)

$\alpha_p$  = Koefisien jumlah petani

Perkiraan jumlah pengeluaran petani mengacu kepada jumlah pengeluaran petani untuk makanan, barang dan jasa, serta barang tahan lama. Jumlah pengeluaran petani atau PENG diperkirakan memakai Persamaan 41.

$$PENG_i = PET_i \times (MKN + BDJ + BTL) \quad (41)$$

Keterangan:

PENG = Pengeluaran petani (Jt rupiah)

PET = Jumlah petani (orang)

MKN = Pengeluaran untuk makanan

BDJ = Pengeluaran untuk barang dan jasa

BTL = Pengeluaran untuk barang tahan lama

i = Tanaman (padi, jagung dan pangan )

# BAB 4

## ALUR MEMAHAMI TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN

Pendalaman buku ini termasuk ke dalam jenis pendalaman deskriptif kuantitatif. Malamssam (2009) mendefinisikan pendalaman deskriptif sebagai pendalaman yang menguraikan dan menjabarkan terkait fenomena atau berbagai variabel peristiwa. Deskriptif merupakan salah satu cara untuk mendalami perihal status sekelompok manusia, sebuah objek, kondisi, sistem pemikiran, ataupun peristiwa. Nazir (1998) dan Idtesis (2012) menyatakan bahwa pendalaman deskriptif memiliki tujuan untuk memberikan penjelasan berupa gambaran atau ilustrasi secara sistematis, faktual, dan akurat perihal berbagai fakta, sifat, serta keterkaitan antar-fenomena yang dibahas.

Nazir (1988) dan Idtesis (2012) menyebutkan beberapa ciri utama dari pendalaman deskriptif, yakni sebagai berikut.

1. Memiliki perhatian kepada persoalan nyata yang terjadi ketika penyelidikan dilakukan atau permasalahannya bersifat baru.
2. Menguraikan fakta terkait persoalan yang ditelusuri apa adanya menggunakan interpretasi logis yang seimbang.
3. Menyajikan gambaran tentang beragam fenomena yang ada, menjelaskan hubungannya, membuktikan asumsi dasar, menyusun dugaan, serta memperoleh makna dan maksud dari suatu persoalan.

Selanjutnya, Kumalaningsih (2012) menyebutkan bahwa ciri dari pendalaman kuantitatif adalah menilai fakta atau fenomena secara objektif dengan berlandaskan pada kekuatan angka, memastikan reliabilitas data, fokus utamanya kepada keterkaitan antar-setiap variabel yang diamati, bentuk pendalamannya sistematis, pendekatan yang digunakan adalah statistik, dan cenderung membentuk sebuah generalisasi. Pendalaman kuantitatif berguna untuk melakukan penyelidikan berbagai teori secara objektif melalui pengukuran keterkaitan antar-variabel. Berbagai variabel

yang digunakan harus bisa diukur melalui proses pengambilan data. Creswell (2014) menyebutkan bahwa informasi berupa angka yang diperoleh selanjutnya ditelaah menggunakan cara statistik atau matematis.

Creswell (2014) pun menegaskan bahwa cara kuantitatif dapat dikategorikan berdasarkan bentuk pendalamannya, yaitu berbentuk eksperimen atau non-eksperimen. Pendalaman berbentuk eksperimen mengutamakan peninjauan terhadap perlakuan, sementara non-eksperimen tidak menerapkan peninjauan yang intensif terhadap perlakuan. Pendalaman non-eksperimen ini dibagi lagi menjadi dua, yaitu bentuk kausal-komparatif dan bentuk korelasi. Pendalaman non-eksperimen berbentuk kausal-komparatif adalah pendalaman yang membandingkan variabel-variabel yang ada pada kelompok pengamatan. Sementara itu, bentuk korelasi ialah pendalaman non-eksperimen yang memperhatikan pola hubungan antara variabel menggunakan cara regresi atau pemodelan, baik yang sederhana maupun rumit.

Sumber yang digunakan pendalaman buku ini berupa panel data sekunder 16 tahun yang berasal dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT serta Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Frees (2004) dan Hurlin (2010) menjelaskan panel data sebagai data yang pemerolehannya berasal dari penyelidikan terhadap satu atau beberapa variabel pada rentang waktu tertentu. Panel data menyajikan informasi perihal perubahan variabel di setiap waktu. Selain itu, panel data berbentuk dua dimensi dan memuat notasi variabel yang diselidiki ( $i$ ) dan waktu penyelidikan ( $t$ ).

Panel data terbagi ke dalam dua jenis, yaitu panel data seimbang (*balanced*) dan panel data tidak seimbang (*unbalanced*). Perbedaan antara kedua jenis panel data ini berada pada kelengkapan komponen variabel dan waktunya. Pada panel data seimbang, datanya lengkap dari komponen variabel dan komponen waktunya, sementara panel data tidak seimbang ada beberapa komponennya yang kosong. Panel data menyajikan informasi yang komprehensif, mampu memberikan gambaran yang bervariasi, dan lebih banyak derajat bebas. Frees (2004) dan Hurlin (2010) berpendapat bahwa panel data sangat sesuai digunakan untuk penyelidikan perubahan yang berubah-ubah dan pemodelan perbedaan atau beragam objek penyelidikan.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, buku ini menggunakan data sekunder untuk pendalamannya yang berbentuk panel data. Lynne (1978) serta Greenhoot & Dowsett (2012) menjelaskan bahwa data sekunder adalah data yang bukan diperoleh langsung oleh penelaah, melainkan didapatkan dari sebuah instansi atau perorangan. Saat ini data sekunder sudah banyak digunakan oleh para penelaah untuk pendalamannya karena kemajuan teknologi yang dapat dengan mudahnya menyimpan dan menyebarluaskan data sekunder. Selain itu, penggunaan data sekunder juga membantu penelaah memperoleh data dengan sebaran wilayah yang luas, durasi yang panjang, serta variabel dan interaksi yang lebih banyak.

Sprague, dkk. (2017) menyebutkan beberapa kesulitan saat menggunakan data sekunder sebagai informasi untuk sebuah pendalaman, yaitu data hilang (*missing value*), satuan pengukuran yang berbeda, dan adanya kesalahan data yang dimasukkan oleh operator. Dari kesulitan-kesulitan yang ada, penelaah yang menggunakan data sekunder harus mengawasi kesiapan dan kualitas data yang dibutuhkan melalui peningkatan keselarasan dan kualitas data, seperti pembersihan, penyesuaian, dan penyeragaman data.

Mengingat pendalaman buku ini berkaitan dengan perkiraan produktivitas air untuk tanaman pangan di Indonesia, tantangan yang mungkin harus dihadapi sama seperti yang dinyatakan oleh Fugile (2004) bahwa data sekunder yang tersedia tidak semuanya berkualitas. Meskipun demikian, beberapa tahun terakhir ini BPS sudah mampu memberikan data terkait variabel pertanian yang cukup berkualitas.

Pemrosesan data yang telah diperoleh dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengelolaan data awal, perkiraan penggunaan air tanaman, perkiraan produktivitas air untuk tanaman, dan telaah pertumbuhan dan penguraian total faktor produktivitas air untuk tanaman (TFPAT) faktor tunggal serta banyak faktor non-parametrik. Uraian lebih lanjut dapat disimak sebagai berikut.

1. Pengelolaan data mencakup proses menyelidiki data hilang dan percobaan konsistensi data iklim menggunakan RAPS (*Rescaled adjusted partial sums*).
2. Perkiraan penggunaan air tanaman menggunakan CWU (*Crop consumptive water use*), meliputi perkiraan CWU tanaman pangan

( $CWU_{pangan}$ ),  $CWU$  tanaman padi ( $CWU_{padi}$ ),  $CWU$  tanaman jagung ( $CWU_{jagung}$ ), perkiraan evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>) dengan FAO Penman-Monteith, dan perkiraan curah hujan efektif (CHEFF).

3. Perkiraan produktivitas untuk tanaman (PAT), meliputi produktivitas air untuk tanaman pangan ( $PAT_{pangan}$ ), untuk tanaman padi ( $PAT_{padi}$ ), dan untuk tanaman jagung ( $PAT_{jagung}$ ).
4. Telaah pertumbuhan dan penguraian total faktor produktivitas air untuk tanaman (TFPAT) faktor tunggal dan banyak faktor non-parametrik mencakup desain model *frontier* pengukuran produktivitas non-parametrik DEA-MI-PAT (*Data Envelopment Analysis-Malmquist Index*) dan telaah pertumbuhan TFPAT, komponen teknologi produksi (TEC), serta efisiensi (EFC) non-parametrik.

# BAB 5

## PENGENALAN BERBAGAI KOMPONEN YANG MENENTUKAN TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN

### A. Apa Saja Komponen yang Menentukan Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid?

---

Berdasarkan berbagai pendalaman, seperti yang pernah dilakukan oleh Cosgrove & Rijsberman (2000), Studeto, dkk. (2007), Barron, dkk. (2013), dan Boelee, dkk. (2013), manajemen air untuk pertanian memerlukan peran serta dari berbagai pihak dan harus memperhatikan banyak faktor. Berangkat dari hal ini, penting untuk menelaah produktivitas air untuk tanaman dengan menyelidiki beberapa komponen yang terkait guna menyajikan informasi rasional yang komprehensif. Dengan begitu, pemahaman dan keikutsertaan banyak pihak dapat tercipta. Myers (2009), Soemarno (2012), dan Debertain (2012) menjelaskan bahwa ada dua pendekatan yang bisa digunakan untuk memahami fenomena perubahan produktivitas air untuk tanaman, yaitu pendekatan pengaruh variabel bebas serta interaksi antara komponen bebas dan komponen terikat.

Dalam sebuah pendalaman, variabel merupakan seluruh hal yang menjadi objek pengamatan. Komponen ini bisa berupa fenomena yang dijadikan perhatian utama untuk diamati dan diukur. Hidayat (2012) menjelaskan bahwa pendefinisian komponen pendalaman dilakukan secara operasional supaya pencarian hubungan antar-komponennya lebih mudah dan proses pengukurannya pun menjadi sederhana.

Nazir (1988) dan Hidayat (2012) menguraikan terkait pola dan jenis dari hubungan komponen pendalaman. Pola hubungan komponen pendalaman itu bersifat dinamis dan dapat berbentuk *bivariat* dan

*multivariate*. Hubungan komponen terbagi menjadi dua, yaitu hubungan asimetris (kausalitas) dan hubungan simetris (timbang balik). Jenis hubungan komponen simetris menunjukkan hubungan antar-komponen tanpa adanya hubungan saling memengaruhi satu sama lain, sedangkan pada hubungan komponen simetris terdapat komponen yang memengaruhi komponen lainnya.

Pendalaman buku ini memuat dua kelompok komponen, yaitu komponen bebas (*independent*) dan komponen terikat (*dependent*). Komponen bebas memiliki nilai dan hubungan antar-komponen yang dinamis dan saling berkaitan satu sama lain sehingga komponen ini akan memberikan pengaruh terhadap hasil yang tampak melalui nilai komponen terikat. Berbagai komponen bebas dan terikat yang digunakan dalam buku ini dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 7 Jenis, Satuan, dan Waktu Komponen Penentu Tingkat Produktivitas Air Untuk Tanaman Pangan**

No.	Jenis	Satuan	Tahun
<b>Variabel terikat</b>			
1.	Produksi padi	kg beras/tahun	2000-2015
2.	Produksi jagung	kg pipilan/tahun	
3.	Produksi pangan	kg beras/tahun	2000-2015
Sub variabel ( Variabel pembentuk)			
3A.	Produksi padi	kg beras/tahun	
3B.	Produksi jagung	kg pipilan/tahun	
3C.	Harga konsumen beras	Rp/kg	
3D.	Harga konsumen jagung	Rp/kg	
4.	Produktivitas air untuk tanaman padi (PAT <sub>Padi</sub> )	kg beras/m <sup>3</sup>	2000-2015
Sub variabel ( Variabel pembentuk)			
4A.	Produksi padi	kg beras/tahun	2000-2015
4B.	Penggunaan air tanaman padi (CWU <sub>Padi</sub> )	m <sup>3</sup> /tahun	
5.	Produktivitas air untuk tanaman jagung (PAT <sub>Jagung</sub> )	kg pipilan/m <sup>3</sup>	
Sub variabel (Variabel pembentuk)			
5A.	Produksi jagung	kg pipilan/tahun	
5B.	Penggunaan air tanaman jagung (CWU <sub>Jagung</sub> )	m <sup>3</sup> /tahun	
6.	Produktivitas air untuk tanaman pangan (PAT <sub>Pangan</sub> )	kg beras/m <sup>3</sup>	
Sub variabel ( Variabel pembentuk)			
6A.	Produksi pangan	kg beras/tahun	

No.	Jenis	Satuan	Tahun
6B.	Penggunaan air tanaman pangan (CWU <sub>Pangan</sub> )	m <sup>3</sup> /tahun	2000-2015
<b>Variabel bebas</b>			
Faktor air: Volume penggunaan air tanaman (CWU)			
7.	Variabel bebas – Volume penggunaan air tanaman (CWU)		
	Sub variabel ( Variabel pembentuk) – Variabel iklim		
7A.	Curah hujan rata-rata	mm/bulan	2000-2015
7B.	Suhu udara maksimum	°C/bulan	
7C.	Suhu udara minimum	°C/bulan	
7D.	Suhu udara rata-rata	°C/bulan	
7E.	Penyinaran matahari	%/bulan	
7F.	Kelembaban udara (RH) rata-rata	%/bulan	
7G.	Kecepatan angin rata-rata	Knot/bulan	
	Sub variabel ( Variabel pembentuk) – Variabel tanaman		
7H.	Koefisien tanaman (Kc)	Fase pertumbuhan	2000-2015
7I.	Luas panen tanaman padi	ha/tahun	2000-2015
7J.	Luas panen tanaman jagung	ha/tahun	
Faktor tenaga kerja: Jumlah petani (PET)			
8.	Variabel bebas-Jumlah petani (PET)		
	Sub variabel ( Variabel pembentuk)		
8A.	Jumlah tenaga kerja sektor primer	Orang/tahun	2000-2015
8B.	Jumlah tenaga kerja sub sektor tanaman pangan	Orang/tahun	2000-2015
8C.	Perkembangan jumlah petani padi	%	2003-2013
8D.	Perkembangan jumlah petani jagung	%	2003-2013
Faktor Modal: Pengeluaran petani (PENG)			
9.	Variabel bebas-Pengeluaran petani (PENG)		
	Sub variabel ( Variabel pembentuk)		
9A.	Pengeluaran perkapita rata-rata	Rp/bulan	2000-2015
9B.	Pengeluaran perkapita untuk makanan	%	
9C.	Pengeluaran perkapita untuk barang dan jasa	%	
9D.	Pengeluaran perkapita untuk barang tahan lama	%	
<b>Variabel bebas pada model efisiensi efek (TE)</b>			
Faktor lingkungan			
10.	Variabel bebas: Rasio presipitasi – evapotranspirasi (RPE)		
	Sub variabel ( Variabel pembentuk)		
10A.	Curah hujan rata-rata	mm/bulan	2000-

No.	Jenis	Satuan	Tahun
10B.	Evapotranspirasi acuan (ET <sub>o</sub> )	mm/bulan	2015
11.	Variabel bebas: Luas tanam (LT)		
11A.	Luas tanam padi	ha/tahun	2000- 2015
11B.	Luas tanam jagung	ha/tahun	
11C.	Luas tanam pangan	ha/tahun	
Faktor Sosial: Indeks pembangunan manusia (IPM)			
12.	Indeks pembangunan manusia (IPM)		2000- 2015
Faktor ekonomi: Pertumbuhan ekonomi kabupaten/kota			
13.	Pertumbuhan ekonomi kabupaten/kota	%	2000- 2015

## B. Bagaimana Karakteristik Setiap Komponen Penentu Tingkat Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid?

Penjelasan operasional komponen adalah definisi dan batasan terhadap berbagai karakteristik yang dimiliki oleh komponen. Hal ini berguna supaya komponen bisa lebih spesifik, konsisten, dan bisa diamati atau diukur. Priyono (2016) mengatakan bahwa penjelasan operasional juga bermanfaat bagi penelaah lain yang akan melakukan pendalaman dengan komponen sejenis. Penjelasan operasional terdiri dari definisi operasional komponen terikat dan komponen bebas.

### 1. Penjelasan Karakteristik Komponen Terikat (Hasil)

Ada beberapa elemen yang dijadikan komponen hasil dalam buku ini, yaitu produksi padi, produksi jagung, produksi pangan, produktivitas air untuk tanaman padi, untuk tanaman jagung, dan untuk tanaman pangan. Lebih lanjutnya, penjelasan operasional masing-masing komponen hasil adalah sebagai berikut.

- Produksi padi ( $PROD_{padi}$ ): Produksi beras di Timor Barat berdasarkan jumlah produksi beras di setiap kabupaten/kota selama setahun dan dinyatakan dalam satuan kg beras/tahn.
- Produksi jagung ( $PROD_{jagung}$ ): Produksi jagung pipilan di Timor Barat berdasarkan jumlah produksi jagung pipilan setiap kabupaten/kota selama setahun dan dinyatakan dalam satuan kg pipilan/tahun.
- Produksi pangan ( $PROD_{pangan}$ ): Produksi pangan utama yang disepadankan dengan produksi beras.  $PROD_{pangan}$  ini merupakan

hasil dari akumulasi produksi padi dan jagung berdasarkan rasio harga konsumen beras dan jagung di Kota Kupang dan dinyatakan dalam satuan kg beras/tahun.

- d. Produktivitas air untuk tanaman padi ( $PAT_{padi}$ ): Produktivitas air untuk tanaman padi dalam bentuk fisik yang dinyatakan dengan kg beras/ $m^3$  atau rasio produksi beras per satuan volume penggunaan air tanaman padi.
- e. Produktivitas air untuk tanaman jagung ( $PAT_{jagung}$ ): Produktivitas air untuk tanaman jagung dalam bentuk fisik yang dinyatakan dengan kg pipilan/ $m^3$  atau rasio produksi jagung pipilan per satuan volume penggunaan air tanaman jagung.
- f. Produktivitas air untuk tanaman pangan ( $PAT_{pangan}$ ): Produktivitas air untuk tanaman pangan dalam bentuk fisik yang dinyatakan dengan kg beras/ $m^3$  atau rasioan produksi pangan per satuan volume penggunaan air tanaman pangan.

## 2. Penjelasan Karakteristik Komponen Bebas (Pengaruh)

Terdapat delapan belas komponen pengaruh yang dibahas dalam buku ini. Berikut adalah penjelasan karakteristik seluruh komponen pengaruh yang digunakan.

- a. Volume penggunaan air tanaman padi ( $CWU_{padi}$ ): Hasil perkiraan volume penggunaan air tanam padi yang diperoleh dari perkalian luas panen tanaman padi dengan nilai minimum antara evapotranspirasi tanaman padi dan curah hujan efektif pada musim hujan kemudian ditambah dengan nilai evapotranspirasi tanaman padi pada musim kering.  $CWU_{padi}$  ini dinyatakan dalam  $m^3$ /tahun (meter kubik per tahun).
- b. Volume penggunaan air tanaman jagung ( $CWU_{jagung}$ ): Hasil perkiraan volume penggunaan air tanaman jagung yang diperoleh dari perkalian luas panen tanaman jagung dengan nilai minimum antara evapotranspirasi tanaman jagung dan curah hujan efektif pada musim hujan kemudian ditambah dengan nilai evapotranspirasi tanaman jagung pada musim kering.  $CWU_{jagung}$  ini dinyatakan dalam  $m^3$ /tahun (meter kubik per tahun).
- c. Volume penggunaan air tanaman pangan ( $CWU_{pangan}$ ): Hasil perkiraan volume penggunaan air tanaman pangan yang diperoleh

dari perkalian luas panen tanaman pangan dengan nilai minimum antara evapotranspirasi tanaman pangan dan curah hujan efektif pada musim hujan kemudian ditambah dengan nilai evapotranspirasi tanaman pangan pada musim kering.  $CWU_{pangan}$  ini dinyatakan dalam  $m^3/tahun$  (meter kubik per tahun).

- d. Luas panen tanaman padi ( $LPN_{padi}$ ): Luasan tanaman padi yang hasilnya dipanen setelah tanaman tersebut cukup umur.  $LPN_{padi}$  ini dinyatakan dalam ha/tahun (hektare per tahun).
- e. Luas panen tanaman jagung ( $LPN_{jagung}$ ): Luasan tanaman jagung yang hasilnya dipanen setelah tanaman tersebut cukup umur.  $LPN_{jagung}$  ini dinyatakan dalam ha/tahun (hektare per tahun).
- f. Luas panen tanaman pangan ( $LPN_{pangan}$ ): Akumulasi dari luasan tanaman pangan yang hasilnya dipanen setelah tanaman tersebut cukup umur.  $LPN_{pangan}$  ini dinyatakan dalam ha/tahun (hektare per tahun).
- g. Jumlah petani tanaman padi ( $PET_{padi}$ ): Total petani yang menanam padi yang merupakan akumulasi dari jumlah petani yang menanam tanaman pangan.  $PET_{padi}$  dinyatakan dalam orang/tahun (jumlah orang per tahun).
- h. Jumlah petani tanaman jagung ( $PET_{jagung}$ ): Total petani yang menanam jagung yang merupakan akumulasi dari jumlah petani yang menanam tanaman pangan.  $PET_{jagung}$  dinyatakan dalam orang/tahun (jumlah orang per tahun).
- i. Jumlah petani tanaman pangan ( $PET_{pangan}$ ): Total petani yang menanam padi dan jagung yang merupakan akumulasi dari jumlah tenaga kerja dari sektor primer.  $PET_{pangan}$  dinyatakan dalam orang/tahun (jumlah orang per tahun).
- j. Pengeluaran petani tanaman padi ( $PENG_{padi}$ ): Total pengeluaran petani padi yang berasal dari hasil perkalian antara jumlah petani padi dan total pengeluaran rerata per kapita untuk makanan, barang, jasa, dan barang tahan lama.  $PENG_{padi}$  dinyatakan dalam Juta Rp/tahun (jutaan rupiah per tahun).
- k. Pengeluaran petani tanaman jagung ( $PENG_{jagung}$ ): Total pengeluaran petani jagung yang berasal dari hasil perkalian antara jumlah petani jagung dan total pengeluaran rerata per kapita untuk makanan,

barang, jasa, dan barang tahan lama.  $PENG_{Jagung}$  dinyatakan dalam Juta Rp/tahun (jutaan rupiah per tahun).

- l. Pengeluaran petani tanaman pangan ( $PENG_{Pangan}$ ): Total pengeluaran petani pangan yang berasal dari perkalian antara jumlah petani pangan dan total pengeluaran rerata per kapita untuk makanan, barang, jasa, dan barang tahan lama.  $PENG_{Pangan}$  - dinyatakan dalam Juta Rp/tahun (jutaan rupiah per tahun).
- m. Rasio presipitasi–evapotranspirasi (RPE): Perbandingan antara total curah hujan dan total evapotranspirasi. Perbandingan ini menunjukkan kondisi surplus air apabila nilai perbandingannya lebih dari 1,0, sementara apabila nilai perbandingannya kurang dari 1,0 berarti kondisinya deficit air.
- n. Luas tanam padi ( $LT_{Padi}$ ): Total luasan tanaman padi tahunan.  $LT_{Padi}$  dinyatakan dalam satuan ha/tahun (hektare per tahun).
- o. Luas tanam jagung ( $LT_{Jagung}$ ): Total luasan tanaman padi tahunan.  $LT_{Jagung}$  dinyatakan dalam satuan ha/tahun (hektare per tahun).
- p. Luas tanam tanaman pangan ( $LT_{Pangan}$ ): Akumulasi dari luas tanam padi dan jagung yang dinyatakan dalam satuan ha/tahun (hektare per tahun).
- q. Indeks Pembangunan Manusia (IPM): Parameter untuk menilai kualitas manusia yang disusun dari tiga dimensi dasar, yaitu umur panjang, pengetahuan, dan standar hidup layak.
- r. Pertumbuhan Ekonomi Kabupaten/Kota (PERTEKO): Laju pertumbuhan ekonomi tahunan kabupaten/kota di Timor Barat yang dinyatakan dalam satuan %/tahun (persen per tahun).

# BAB 6

## MENJELAJAHI LEBIH JAUH WILAYAH SEMI-ARID DI INDONESIA

### A. Gambaran Umum Wilayah Semi-Arid di Indonesia

---

Buku ini menggunakan wilayah semi-arid Timor Barat sebagai tempat penyelidikan terkait produktivitas air untuk tanaman pangan di Indonesia. Wilayah semi-arid Timor Barat ini berada pada  $123^{\circ} 27' 40''$ – $125^{\circ} 11' 59''$  BT dan  $08^{\circ} 56' 17''$ – $10^{\circ} 21' 56''$  LS. Ada lima daerah yang diselidiki, yaitu satu kota dan empat kabupaten. Kota yang dijadikan sebagai tempat penyelidikan adalah Kota Kupang, sementara empat kabupaten yang digunakan ialah Kabupaten Kupang, Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), Kabupaten Timor Tengah Utara (TTU), dan Kabupaten Belu. Penyelidikan ini sendiri sudah dilakukan sejak April 2017.

Secara geografis, wilayah Timor Barat berada di Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia dan berbatasan dengan Australia di sisi Selatan serta Timor Leste di sisi Timur. Berdasarkan data BPS (2016), luas wilayah ini adalah  $14.660 \text{ km}^2$  dengan total populasi pada tahun 2015 sebanyak 1,650 juta jiwa dengan persentase pertumbuhan sebesar 1,29% per tahun. 61,65% populasi di Timor Barat menjadikan sektor pertanian sebagai sumber pendapatan utama mereka.

Wilayah Timor Barat Indonesia didominasi dengan iklim semi-arid yang sangat memengaruhi kondisi pertaniannya. Selama bulan April hingga November, wilayah ini mengalami akan musim kemarau ekstrem yang disebabkan oleh angin muson tenggara dari Australia. Kondisi seperti ini nantinya akan berdampak kepada pertumbuhan tanaman yang berakhir kegagalan panen tanaman dalam siklus lima tahunan. Dalam menghadapi kondisi ini, banyak petani di Timor Barat menerapkan sistem pertanian tradisional, seperti tebas-bakar. Namun, Piggin (2003) mengungkapkan

bahwa sistem pertanian tradisional ini justru mempercepat terjadinya erosi tanah, terutama di daerah perbukitan.

Jagung dan padi merupakan tanaman pangan utama di wilayah Timor Barat. Mayoritas petani subsisten di wilayah ini membudidayakan kedua tanaman pangan tersebut pada lahan kering dengan sistem budidaya lahan berpindah. Di samping itu, Pulau Timor tidak hanya Para petani juga masih menerapkan sistem budidaya lahan berpindah untuk pertanian tanaman pangan. Sistem pertanian di wilayah ini pun masih sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan alam dan budaya lokal yang ada. Di samping, iklim wilayah Timor Barat juga memperoleh dampak dari siklus *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) yang memengaruhi pola curah hujan wilayah. Molyneux, dkk. (2012) menambahkan bahwa topografi wilayah yang kompleks juga turut berperan dalam menciptakan variasi curah hujan di setiap daerah.

Jagung menjadi tanaman pangan yang paling populer di Timor Barat karena sekitar 54,60% rumah tangga membudidayakan tanaman ini. Besaran persentase ini jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan tanaman padi yang hanya dibudidayakan oleh 15,80% rumah tangga. Pada umumnya, budidaya jagung dilakukan di lahan kering, seperti ladang atau kebun, menggunakan sistem ladang berpindah, sementara padi ditanam di lahan sawah menggunakan sistem irigasi tambahan. Di wilayah Timor Barat lahan pertaniannya didominasi oleh lahan kering sekitar 67,20% dari total luas lahan, sedangkan lahan sawah hanya sebesar 4,04%. Reata luas tanam per rumah tangga per tahun di Timor Barat adalah 0,36 hektare untuk tanaman jagung dan 0,51 hektare untuk tanaman padi.

Mengacu kepada peninjauan pertanian yang dilakukan oleh BPS NTT, mayoritas rumah tangga petani padi, sekitar 68,87%, memakai benih hibrida, sementara sebagian besar rumah tangga petani jagung, sekitar 92,92%, masih mengandalkan benih lokal. Dalam mempersiapkan lahan pertanian, sebanyak 44,11% rumah tangga petani padi mengoperasikan traktor tangan yang disewa guna menggeburkan tanah. Di sisi lain, hanya sebanyak 5,44% rumah tangga petani jagung yang memanfaatkan traktor untuk mempersiapkan lahan pertaniannya. Dalam hal penggunaan pupuk anorganik, rumah tangga petani padi lebih tinggi dibanding rumah tangga petani jagung. Sebanyak 60,14% rumah tangga petani padi yang memakai pupuk anorganik untuk pertaniannya, sementara rumah tangga petani

jagung hanya sekitar 14,74%-nya saja yang menggunakan pupuk anorganik. Selain itu, praktik pengendalian hama lebih banyak dilakukan oleh petani padi, yakni sebesar 74,86%, dibandingkan dengan petani jagung yang hanya 22,87%.

Sekitar setengah dari petani tanaman pangan terdampak dari terjadinya perubahan iklim dan bencana alam, terutama kekeringan dan volume hujan yang tinggi. Perubahan ini memberikan efek kepada 48,47% rumah tangga petani padi dan 57,51% rumah tangga petani jagung. Untuk mengatasi hal ini, banyak petani yang bergantung pada sumber pendapatan eksternal, seperti pinjaman perorangan, koperasi, dan perorangan dengan bunga. Sebanyak 74,46% rumah tangga petani padi mendapatkan pinjaman dari perorangan dan koperasi, sementara 50,87% rumah tangga petani jagung lebih bergantung pada pinjaman perorangan dengan bunga. Mayoritas petani tanaman pangan, baik padi maupun jagung, di Timor Barat memanen produksi pertaniannya secara mandiri dengan total 92% untuk petani padi dan 98% untuk petani jagung. BPS (2014) menyebutkan bahwa hasil panen mayoritas digunakan untuk konsumsi sendiri, yaitu sebesar 84,75% oleh petani padi dan sebesar 86,80% oleh petani jagung.

Walaupun dalam dekade terakhir ini produksi pangan padi dan jagung di Timor Barat meningkat masing-masing 10% dan 1% setiap tahunnya, tantangan ketahanan pangan pun tidak serta merta teratasi. Berdasarkan pendalaman ketahanan pangan dan gizi yang dilakukan oleh World Food Programme (WFP) tahun 2015, sekitar 7% kecamatan di Timor Barat masih masuk ke golongan sangat rentan (prioritas 2) dan 23% lainnya termasuk golongan cukup rentan (prioritas 3).

Berdasarkan uraian umum dan karakteristik wilayah untuk penyelidikan dan produktivitas untuk tanaman milik Studeto, dkk. (2007), wilayah Timor Barat harus diberikan perhatian khusus. Data BPS menunjukkan bahwa 20% rumah tangga di Timor Barat tergolong miskin. Selain itu, menurut dokumen RPJMD NTT tahun 2013–2018, Timor Barat menemui persoalan kekurangan air, seperti halnya wilayah beriklim semi-arid tropis pada umumnya. Melalui dokumen ini ditemukan pula bahwa tantangan utama wilayah ini adalah keterbatasan pembangunan dan perbaikan jaringan irigasi dengan tingkat kerusakan jaringan irigasi mencapai 61%. Akibatnya, luas jaringan irigasi yang masih berfungsi hanya sekitar 40,7%. Selain persoalan air, tantangan lain yang sulit diatasi

adalah topografi wilayah yang merupakan daerah perbukitan dan pegunungan dengan tutupan hutan sabana yang mudah terjadi erosi.

### 1. Kondisi Iklim

Hasil percobaan konsistensi data dari stasiun klimatologi dan pos pengamatan hujan yang tersebar di kabupaten/kota di Timor Barat menunjukkan bahwa nilai  $RAPS_{Hitung}$  lebih kecil dibandingkan nilai  $RAPS_{Tabel}$  pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa data curah hujan yang didapatkan dari stasiun dan pos pengamatan tersebut bersifat konsisten. Untuk lebih terperinci, berikut adalah hasil percobaan konsistensi data curah hujan menggunakan pendekatan RAPS dalam bentuk tabel.

**Tabel 8 Percobaan Konsistensi Curah Hujan di Wilayah Semi-Arid Indonesia**

No.	Stasiun	Nilai RAPS Hitung	Nilai RAPS Tabel	Keterangan
1.	Klimatologi Lasiana Kupang	0,499		Konsisten
2.	Pos pengamatan hujan – Soe-Kab. TTS	0,514	1,188 (95%)	Konsisten
3.	Pos pengamatan hujan – Kefa-Kab. TTU	0,541		Konsisten
4.	Pos pengamatan hujan – Atambua-Kab. Belu	0,401		Konsisten

Sumber Data hasil olahan

Selama 16 tahun terakhir, curah hujan di Timor Barat berkisar di antara 1.171 mm/tahun sampai 2.183 mm/tahun dengan rerata hujan efektif mencapai 63–87 mm/bulan. Rerata suhu udara sebesar 27°C/bulan, rerata kelembapan relatif (RH) sebesar 76%/bulan, dan rerata kecepatan angin pada ketinggian 2 m sebesar 6 knot/bulan.

Dengan mengacu kepada nilai koefisien variansi (CV), kecepatan angin memperlihatkan keberagaman yang terbesar dibandingkan dengan parameter iklim lainnya, sementara suhu udara memiliki variasi yang paling rendah. Selain itu, data curah hujan dari pos pengamatan menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan dengan data dari stasiun klimatologi. Perincian uraian data iklim dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 9 Kondisi Iklim Wilayah Semi-Arid Indonesia Tahun 2000–2015**

Stasiun/Lokasi	Komponen	Rataan	Std. Dev	CV (%)
Stasiun Klimatologi Lasiana (10°08'19"SL; 123°40'02" EL/19 m dpl)				
Kabupaten Kupang	Curah Hujan (mm/tahun)	1.567,73	303,07	19,33
	Curah Hujan (mm/bulan)	131	25,26	19,33
	Rataan Suhu Udara (°C/bulan)	27	0,26	0,96
	Suhu Udara maksimum (°C/bulan)	32	1,01	3,11
	Suhu Udara Minimum (°C/bulan)	23	0,86	3,80
Kota Kupang	Rataan RH (%/bulan)	76	5,44	6,92
	Kecepatan Angin 2 m (knot/bulan)	6	1,58	25,38
	Curah Hujan Efektif-CHEFF (mm/bulan)	64	6,65	10,40
Pos Pengamatan Hujan Soe (742 m dpl)				
Kabupaten TTS	Curah Hujan (mm/tahun)	2.183,19	447,16	20,48
	Curah Hujan (mm/bulan)	182	37,26	20,48
	Curah Hujan Efektif-CHEFF (mm/bulan)	87	14,30	16,43
Pos Pengamatan Hujan Kefamenanu (381 m dpl)				
Kabupaten TTU	Curah Hujan (mm/tahun)	1.171,56	361,81	30,88
	Curah Hujan (mm/bulan)	108	42,75	39,51
	Curah Hujan Efektif-CHEFF (mm/bulan)	63	14,36	22,74
Pos Pengamatan Hujan Atambua (53 m dpl)				
Kabupaten Belu	Curah Hujan (mm/tahun)	1.712,13	468,18	27,34
	Curah Hujan (mm/bulan)	143	39,02	27,35
	Curah Hujan Efektif-CHEFF (mm/bulan)	74	11,17	15,11

Sumber: Data diolah

## 2. Kondisi Non-Iklim dan Non-Parametrik

Data non-iklim non-parametrik merupakan data selain iklim yang tidak dicari tahu distribusinya normal atau tidak (tanpa uji normalitas data). Selama periode 2000–2015, rerata produksi beras di wilayah Timor Barat mencapai 69.647 ton/tahun. Rerata harga beras konsumen adalah Rp 5.315/kg, sementara rerata harga jagung pipilan ialah Rp 3.182/kg. Harga jagung menunjukkan fluktuasi yang lebih tinggi dengan koefisien variansi (CV) sebesar 52,66%, dibandingkan dengan harga beras yang memiliki CV sebesar 45,80%. Rasio rerata harga jagung terhadap harga beras selama periode tersebut adalah 0,580.

Luas panen jagung lebih besar dibandingkan luas panen padi, tetapi variasi rerata luas panen padi jauh lebih tinggi dibandingkan jagung. Hal ini menunjukkan bahwa padi lebih sensitive terhadap lahan yang kondisinya kering. Selain itu, rerata luas tanam jagung juga lebih besar daripada padi. Rerata ini sesuai dengan karakteristik pertanian di Timor Barat yang didominasi oleh sistem pertanian lahan kering.

Rerata jumlah tenaga kerja pada sektor primer di wilayah Timor Barat mencapai 462.160 orang atau sekitar 61% dari total angkatan kerja yang tersedia. Berdasarkan laporan BPS, tenaga kerja sektor primer ini merupakan tenaga kerja yang secara langsung menggunakan sumber daya alam. Sektor primer itu sendiri meliputi perkebunan, pertambangan, pertanian, dan peternakan. Sementara itu, setiap tahunnya, rata-rata ada 309.384 orang bekerja di sub-sektor tanaman pangan atau setara dengan 67% dari total pekerja sektor primer dan 41% dari total angkatan kerja. Hal ini memperlihatkan bahwa sub-sektor tanaman pangan merupakan sektor yang besar di wilayah Timor barat.

Hasil pendataan pertanian 2013 menunjukkan bahwa jumlah rumah tangga petani padi mengalami peningkatan sebesar 15,76%, sementara jumlah rumah tangga petani jagung menurun sebesar 1,96% dibandingkan dengan tahun 2003. Tren ini memperlihatkan bahwa ada peningkatan intensifikasi pertanian dengan semakin meningkatnya kemampuan petani dalam membudidayakan padi karena produksi padi itu sendiri membutuhkan teknologi yang lebih maju daripada budidaya jagung.

Data berikutnya yang digunakan dalam buku ini adalah IPM atau Indeks Pembangunan Manusia. UNDP (2018) menyatakan bahwa pembangunan manusia berfokus kepada peningkatan kapasitas manusia. IPM telah dicetuskan sejak 1990 sebagai indeks komposit yang meliputi dimensi kesehatan, pendidikan, dan pendapatan. Di wilayah Timor Barat, rerata IPM berkisar di antara 62–75 yang masuk ke dalam kategori sedang. Rerata pengeluaran per kapita penduduk wilayah Timor Barat adalah sebesar Rp 263.535/bulan dengan variasi yang cukup besar, yaitu 55,837%.

Weatherspoon, dkk. (2017) menjelaskan bahwa variasi yang besar pada pengeluaran per kapita penduduk Timor Barat dipengaruhi oleh peningkatan pengeluaran. Jumlah terbesar dialokasikan untuk makanan, khususnya sereal. Hal ini menjadi pola umum yang ada di negara

berkembang. Sementara itu, pengeluaran per kapita untuk barang dan jasa serta barang tahan lama masing-masing adalah 9,78% dan 2,75% dengan variasi tertinggi terjadi pada pengeluaran untuk barang tahan lama. Untuk penjelasan yang lebih terperinci, berikut adalah tabel yang memuat data non-iklim non-parametrik dalam penyelidikan ini.

**Tabel 10 Kondisi Non-Iklim Non-Parametrik Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015**

No.	Variabel	Rataan	Standar Deviasi	CV (%)
1.	Produksi Padi (ton beras/tahun)	69.647	25.071	35,998
2.	Produksi Jagung (ton pipilan/tahun)	321.560	35.474	11,032
3.	Harga Konsumen Beras (Rp/kg)	5.315	2.434	45,803
4.	Harga Konsumen Jagung (Rp/kg)	3.182	1.676	52,663
5.	Luas Panen Padi (ha/tahun)	34.525,375	6.113,10	17,706
6.	Luas Panen Jagung (ha/tahun)	133.736,00	9.347,98	6,990
7.	Luas Tanam Padi (ha/tahun)	43.374,08	4.805,01	11,078
8.	Luas Tanam Jagung (ha/tahun)	146.620,31	8.426,71	5,747
9.	Jumlah Tenaga Kerja Sektor Primer (Orang/tahun)	462.160	54.484	11,789
10.	Jumlah tenaga kerja Sub Sektor Pangan (Orang/tahun)	309.384	3.803	1,229
11.	Perkembangan Jumlah petani padi 2003-2013 (%)	15,76	na	na
12.	Perkembangan jumlah petani jagung 2003 – 2013 (%)	-1,96	na	na
13.	Indeks Pembangunan Manusia (IPM)	66,20	3,38	5,108
14.	Pengeluaran perkapita rata-rata (Rp/bulan)	263.535	147.149	55,837
15.	Pengeluaran perkapita untuk makanan (%)	62,83	5,35	8,511
16.	Pengeluaran perkapita untuk barang dan jasa (%)	9,78	2,66	27,172
17.	Pengeluaran perkapita untuk barang tahan lama (%)	2,75	1,05	38,296

Sumber: Data diolah

Keterangan: CV = Koefisien variansi; Non-Par = Non-Parametrik; na = *Not any*

## **B. Kondisi Produksi Pangan Wilayah Semi-Arid di Indonesia**

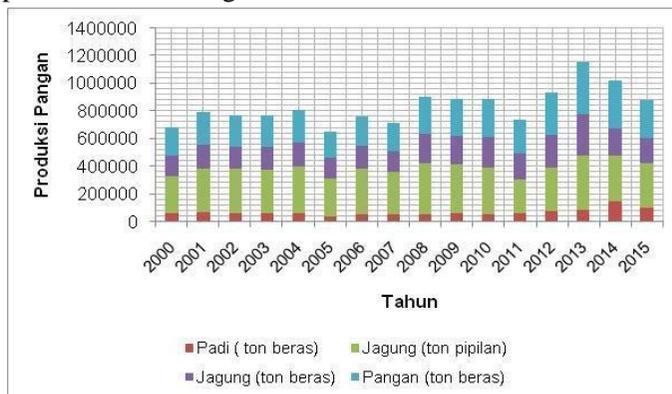
Produksi pangan dihitung sebagai gabungan dari produksi padi dan jagung yang dinyatakan dalam satuan ton beras. Konversi produksi jagung ke dalam satuan yang setara produksi padi dilakukan dengan mengalikan rasio harga konsumen jagung terhadap beras dengan total produksi jagung. Perkembangan harga konsumen beras dan jagung serta rasio harga keduanya termuat pada tabel berikut.

Tabel 11 Harga Konsumen Beras dan Jagung Pipilan Tahun 2000–2015

Komoditi			
Tahun	Beras (Rp)	Jagung Pipilan (Rp)	Rasio Harga Jagung/Beras
2000	2.362	1.280	0,542
2001	2.519	1.351	0,536
2002	2.970	1.449	0,488
2003	2.963	1.561	0,527
2004	3.073	1.607	0,523
2005	3.530	1.869	0,529
2006	4.489	2.146	0,478
2007	5.224	2.568	0,492
2008	5.580	3.165	0,567
2009	5.732	3.389	0,591
2010	6.368	4.089	0,642
2011	6.466	4.818	0,745
2012	6.700	4.975	0,743
2013	7.320	5.428	0,742
2014	8.807	5.234	0,594
2015	10.938	5.985	0,547
Rataan	5.315	3.182	0,580

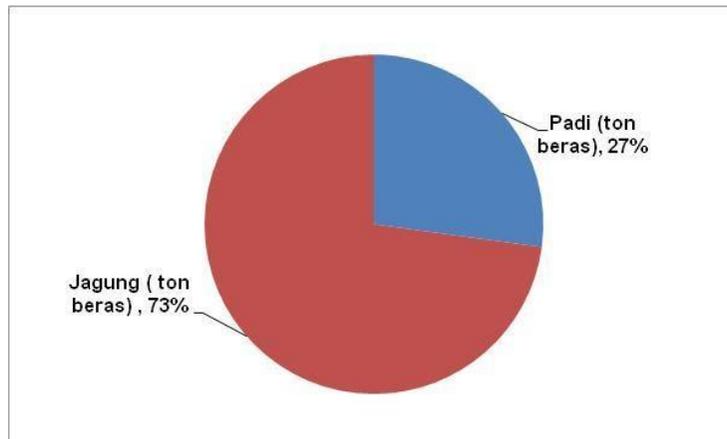
Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT

Berdasarkan data non-parametrik, produksi pangan di wilayah Timor Barat pada 2000–2015 memperlihatkan fluktuasi dengan tren yang cenderung meningkat. Pada 2013, produksi mencapai jumlah tertinggi sebesar 380.604,44 ton, sedangkan terendah terjadi pada tahun 2005, yaitu hanya 185.491,17 ton. Perkembangan produksi pangan di wilayah Timor Barat dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 4 Produksi Pangan Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015

Produksi jagung memiliki peran dominan dalam produksi pangan di wilayah Timor Barat pada periode 2000–2015 dengan kontribusi rata-rata sebesar 73%. Kontribusi tertinggi terjadi pada tahun 2005 mencapai 80,22%, sedangkan kontribusi terendah tercatat pada tahun 2014 sebesar 57,14%. Proporsi rerata produksi padi dan jagung terhadap produksi pangan dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5 Rata-Rata Kontribusi Produksi Padi dan Jagung Terhadap Produksi Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015**

Produksi pangan terbesar di wilayah Timor Barat berada di Kabupaten Timor Tengah Selatan dengan rerata produksinya mencapai 92.183,53 ton/tahun. Sementara itu, Kota Kupang mencatat produksi pangan rerata terendah sebesar 1.183 ton/tahun. Selama 16 tahun terakhir, variasi produksi tertinggi terjadi di Kabupaten Timor Tengah Utara, sedangkan variasi terendah ada di Kabupaten Kupang.

Selanjutnya, produksi beras terbesar ada di Kabupaten Kupang dengan rata-rata produksi sebesar 31.213 ton/tahun selama 16 tahun terakhir. Kabupaten penghasil beras terbesar kedua adalah Kabupaten Timor Tengah Utara dengan total 17.496 ton/tahun, sedangkan rerata terendah ada di Kabupaten Kupang dengan produksi beras rerata sebesar 566,3 ton/tahun.

Untuk produksi jagung pipilan, Kabupaten Timor Tengah Selatan menjadi daerah penghasil terbanyak diikuti oleh Kabupaten Belu. Kabupaten Timor Tengah Selatan juga memiliki proporsi terbesar dalam

produksi jagung yang dapat disamakan dengan beras. Kemudian, proporsi terbesar kedua adalah Kabupaten Belu. Data produksi pangan di wilayah Timor Barat pada periode 200–2015 dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 12 Produksi Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015**

Kabupaten	Kupang		TTS		TTU		BELU		Kota	
Komponen	Rataan	CV (%)								
<b>Padi (ribu ton beras)</b>										
Non parametrik	30,98	39,795	7,31	15,78	17,42	52,10	13,38	51,68	0,56	65,62
Parametrik	31,21	38,014	7,41	18,38	17,50	51,64	13,60	49,81	0,57	60,99
<b>Jagung (ribu ton pipilan)</b>										
Non parametrik	54,58	18,298	144,59	17,35	49,41	21,36	71,89	31,52	1,08	32,08
Parametrik	54,58	17,217	144,59	19,17	49,41	20,19	71,89	29,58	1,08	30,10
<b>Jagung (ribu ton beras)</b>										
Non parametrik	31,77	25,689	84,78	29,34	28,73	28,43	40,93	30,37	0,62	27,71
Parametrik	31,77	24,014	84,78	29,91	28,73	26,92	40,93	28,43	0,62	26,38
<b>Pangan (ribu ton beras)</b>										
Non parametrik	62,98	22,402	92,18	26,94	46,22	35,17	54,53	28,16	1,18	26,27
Parametrik	62,98	21,315	92,18	27,88	46,22	33,50	54,53	26,61	1,18	25,80

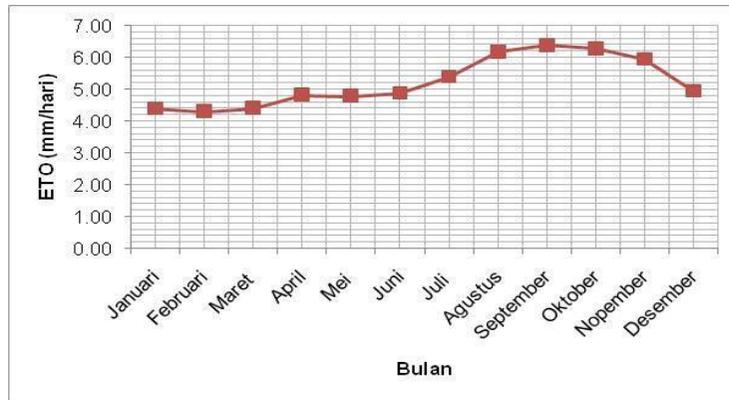
Sumber: Data diolah

### C. Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid

Ada beberapa tahapan yang harus dilalui guna memperkirakan penggunaan air tanaman (CWU), yaitu perkiraan evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>), perkiraan curah hujan efektif, koefisien tanaman (K<sub>c</sub>), kalender tanam, dan luas panen. Evapotranspirasi acuan (ET<sub>o</sub>) adalah salah satu komponen utama dalam perhitungan kebutuhan air tanaman. Metode Penman-Monteith (PM), yang direkomendasikan oleh FAO, menjadi standar dalam memperkirakan ET<sub>o</sub>. Yang, dkk. (2019) menjelaskan bahwa acuan yang digunakan oleh metode FAO-PM adalah parameter fisik dan aerodinamis sehingga memerlukan data iklim utama, seperti kecepatan angin, kelembapan udara, radiasi matahari, dan suhu udara.

Perkiraan ET<sub>o</sub> menggunakan metode FAO-PM dengan bantuan perangkat lunak FAO ET<sub>o</sub> Calculator 3.2 memperlihatkan bahwa selama periode 2000–2015 rerata ET<sub>o</sub> terendah di wilayah Timor Barat terjadi pada bulan Februari (4,30 mm/hari) dan tertinggi pada bulan September (6,39 mm/hari). Pada skala yang lebih luas, ET<sub>o</sub> terendah tercatat pada

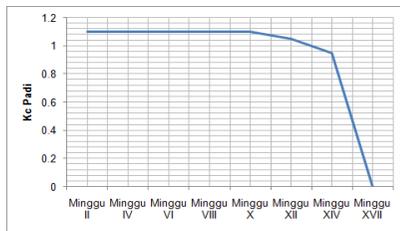
bulan Januari, Februari, dan April, yakni sebesar 3,80 mm/hari, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada bulan September, yaitu sebesar 8,20 mm/hari. Perincian rata-rata ETo di wilayah Timor Barat dapat diperhatikan pada gambar berikut.



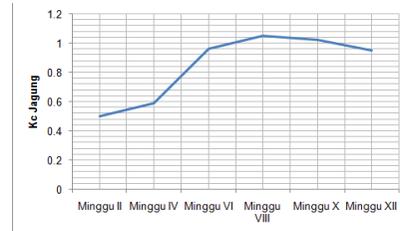
**Gambar 6 Rerata Evapotranspirasi Acuan Wilayah Semi-Arid di Indonesia Tahun 2000–2015**

Pendekatan umum yang digunakan dalam memperkirakan penggunaan air tanaman adalah pendekatan evapotranspirasi tanaman (ETc). Allen, dkk. (1998 & 2005) menjelaskan bahwa nilai ETc diperoleh dari perkalian antara evapotranspirasi acuan (ETo) dan koefisien tanaman (Kc). Koefisien tanaman (Kc) ini merepresentasikan karakteristik tanaman yang mencakup jenis, varietas, dan tahapan pertumbuhan.

Dalam penyelidikan ini, koefisien tanaman padi dan jagung disesuaikan dengan kondisi Indonesia berdasarkan standar FAO dan berasal dari Direktorat Jenderal Pengairan RI. Jenis padi yang digunakan dalam perkiraan ini adalah varietas padi yang paling umum digunakan di wilayah Timor Barat, yaitu padi dengan umur panen 120 hari. Sementara itu, acuan perkiraan untuk jagung adalah umur panen 80 hari. Nilai koefisien tanaman padi dan jagung dimuat pada gambar berikut.



(a) Padi Varietas Biasa



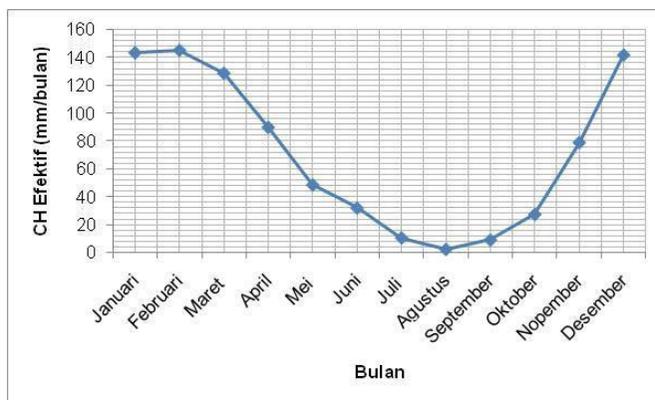
(b) Jagung

**Gambar 7 Indeks Tanaman Padi dan Jagung**

Curah hujan adalah salah satu sumber utama air bagi pertanian. Destane (1978) & Patwardhan, dkk. (1990) menjelaskan bahwa curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang memenuhi keperluan air tanaman. Karakteristik iklim, kondisi tanah, dan karakteristik tanaman menjadi komponen yang memengaruhi besarnya curah hujan efektif. Destane (1978) serta Ali & Mubarak (2017) mengungkapkan bahwa curah hujan efektif secara empiris diperkirakan berkisar di antara 50–80% dari total curah hujan dengan saran penggunaan peluang curah hujan yang melebihi 75%.

Perkiraan curah hujan efektif dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, yaitu pengukuran langsung, pendekatan bentuk keseimbangan air, atau menggunakan data curah hujan historis. Chapagain & Hoekstra (2010) menyebutkan bahwa salah satu metode yang paling umum digunakan dalam perkiraan curah hujan efektif berbasis data curah hujan adalah metode USDA-SCS. Metode USDA-SCS yang dimaksud adalah metode yang digunakan oleh Alauddin & Sharma (2013) serta Alauddin, dkk. (2014) dalam telaahnya.

Berdasarkan hasil perkiraan, rerata curah hujan efektif tertinggi tercatat pada bulan Februari sebesar 145,16 mm, sementara nilai terendah terjadi pada bulan Agustus, yaitu sebesar 22,60 mm. Selama enam belas tahun terakhir, variasi curah hujan efektif paling rendah tercatat pada bulan Januari, sedangkan variasi tertinggi tercatat pada bulan Agustus. Rerata curah hujan efektif di wilayah Timor Barat ditunjukkan dalam gambar 8 berikut.



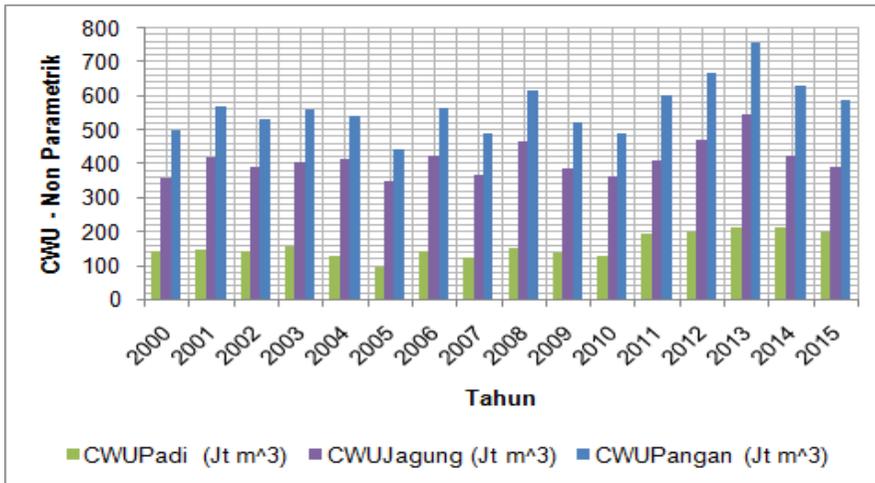
**Gambar 8** Rerata Curah Hujan Efektif di Wilayah Semi-Arid Periode 2000–2015

Penggunaan air konsumtif dipengaruhi oleh waktu tanam padi dan jagung. Di wilayah Timor Barat, waktu tanam padi pada Musim Tanam I dimulai pada bulan Oktober dan puncaknya berada pada bulan Januari. Sementara itu, waktu tanam padi pada Musim Tanam II dimulai pada bulan April dan berujung pada bulan Juli. Untuk tanaman jagung, puncak tanam Musim Tanam I terjadi pada Desember, sedangkan puncak Musim Tanam II ada pada bulan Mei. Runtunuwu, dkk. (2013) dan BPS NTT (2016) mengungkapkan bahwa luas tanam pada Musim Tanam I lebih besar jika dibandingkan dengan Musim Tanam II karena ketersediaan air terbatas.

Vaidyanathan & Siyasubramaniyan (2004), Amarasinghe, dkk. (2007), serta Sharma, dkk. (2015) mendefinisikan Crop Consumptive Water Use (CWU) atau penggunaan air tanaman sebagai jumlah air yang digunakan untuk proses transpirasi dan evaporasi dari lahan budidaya. Pada lahan beririgasi, CWU setara dengan jumlah evapotranspirasi. Sementara itu, pada lahan kering yang sangat bergantung pada curah hujan, CWU dihitung sebagai jumlah evapotranspirasi atau curah hujan efektif.

Pendalaman yang dilakukan pada lahan yang luas akan sulit jika menggunakan pengukuran secara langsung sehingga disarankan untuk memanfaatkan berbagai data iklim dan tanaman yang tersedia saja. Dalam buku ini, CWU dimodifikasi untuk menunjukkan berbagai data berbasis tanaman padi dan jagung serta dikembangkan dengan pendekatan non-parametrik. Rerata penggunaan air tanaman padi mencapai 155,56 juta

m<sup>3</sup>/tahun dengan koefisien variansi sebesar 22,77%. Di samping itu, untuk tanaman jagung, rerata penggunaan airnya adalah 411,41 juta m<sup>3</sup>/tahun dengan koefisien variansi sebesar 12,16%. Dengan begitu, penggunaan air tanaman pangan di wilayah ini secara keseluruhan mencapai 566,97 juta m<sup>3</sup>/tahun dengan koefisien variansi sebesar 13,71%. Rerata penggunaan air tanaman pangan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 9 Rata-Rata Penggunaan Air Tanaman di Wilayah Semi-Arid Periode 2000–2015

Perkiraan CWU di Timor Barat hampir setara dengan hasil yang ada di India dan Bangladesh. Perkiraan CWU tanaman padi di wilayah Timor Barat lebih tinggi dibandingkan di India, tetapi lebih rendah dari Bangladesh. Temuan ini menunjukkan bahwa petani padi di Timor Barat memakai air dengan jumlah yang lebih besar daripada petani di India, tetapi lebih sedikit dibandingkan Bangladesh. Di sisi lain, perkiraan CWU jagung dan CWU tanaman pangan di Timor Barat memperlihatkan nilai yang lebih besar daripada India dan Bangladesh. Pernyataan ini membuktikan bahwa petani jagung dan petani tanaman pangan di Timor Barat memakai air dengan jumlah yang lebih besar daripada petani jagung dan pangan di India serta Bangladesh. Perbandingan perkiraan CWU pangan diperincikan dalam tabel berikut.

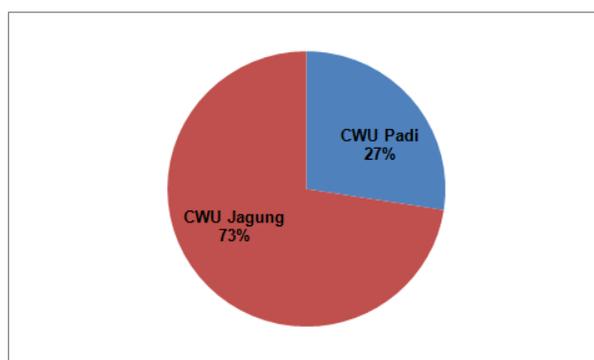
Tabel 13 Perbandingan Perkiraan Penggunaan Air Tanaman

Lokasi	CWUPadi		CWUJagung		CWUPangan		Sumber
	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	m <sup>3</sup> /ha	mm	
India	3.961,90	396,19	2.264,15	226,42	6.226,06	622,61	Amarasinghe et al., 2007
Bangladesh	4.995,32	499,53	1.430,00	143,00	6.425	642,53	Amarasinghe et al., 2014
Timor Barat	4.504,75	450,48	3.079,13	307,91	7.583,88	758,39	

Sumber: Data diolah

Persentase penggunaan air tanaman di wilayah Timor Barat lebih tinggi untuk tanaman jagung dibandingkan padi. Persentase ini setara dengan luas tanam dan luas panennya yang memang lebih besar. Hasil ini pun membuktikan bahwa petani di Timor Barat menjadikan jagung sebagai komoditas utama selama 15 tahun, yakni dari tahun 2000 hingga 2015.

Berikut adalah gambar yang menunjukkan proporsi penggunaan air untuk tanaman jagung dan padi.



**Gambar 10 Proporsi Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015**

Penggunaan air tanaman pangan ( $CWU_{\text{pangan}}$ ) di Wilayah Timor Barat adalah gabungan dari CWU tanaman padi dan jagung. Dari tahun 2000 hingga 2015, pola penggunaan air untuk tanaman pangan mengindikasikan terjadinya fluktuasi, baik secara temporal maupun spasial. Daerah yang menggunakan air terbanyak untuk produksi pangan di wilayah Timor Barat adalah Kabupaten Timor Tengah Selatan, sedangkan daerah yang paling sedikit menggunakan air untuk produksi pangan ialah

Kabupaten Kupang. Di samping itu, Kabupaten Timor Tengah Utara dan Kabupaten Belu memiliki variasi CWU pangan temporal terbesar.

Di Kabupaten Kupang, penggunaan air tanaman padi dan jagung hampir setara, sedangkan di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Timor Tengah Utara, dan Kota Kupang, penggunaan air untuk jagung lebih tinggi. Variasi penggunaan air untuk padi pada setiap daerah di wilayah Timor Barat, kecuali Kabupaten Timor Tengah Selatan, lebih besar daripada jagung.

Berdasarkan uraian di atas, rerata penggunaan air tanaman pangan di wilayah Timor Barat dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 14 Penggunaan Air Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015**

Kabupaten	Kupang		TTS		TTU		BELU		KOTA	
Komponen	Rataan	CV (%)								
<b>CWU Padi (Juta m<sup>3</sup>)</b>										
Non parametrik	69,28	27,371	16,92	15,424	39,85	38,139	28,45	32,723	1,06	37,862
<b>CWU Jagung (Juta m<sup>3</sup>)</b>										
Non parametrik	69,96	19,442	190,04	21,228	58,49	25,361	91,45	29,144	1,47	26,871
<b>CWU Pangan (Juta m<sup>3</sup>)</b>										
Non parametrik	139,24	18,505	206,96	20,111	98,34	26,150	119,90	23,197	2,53	13,883

Sumber: Data diolah

# BAB 7

## MENGUNGKAP UPAYA EFISIENSI PENGUNAAN AIR UNTUK PERTANIAN TANAMAN PANGAN DI WILAYAH SEMI- ARID

### A. Penelusuran Efisiensi Penggunaan Air dalam Sektor Petanian Pangan di Wilayah Semi-Arid

---

Sektor pertanian saat ini harus menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan pangan dengan meningkatkan produksi tanpa menggunakan air secara berlebihan. Salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah meningkatkan produktivitas air untuk tanaman (PAT). Pernyataan ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh Bastiaanssen & Studeto (2017) serta Zeng, dkk. (2018). Melalui pendalamannya, mereka menyatakan bahwa dalam 40 tahun ke depan, seluruh negara berkembang harus menggandakan produksi pangan dalam kondisi ketersediaan air yang terbatas. Untuk mencapai hal tersebut, peningkatan PAT adalah salah satu strategi utama yang bisa dilakukan.

Blatchford, dkk. (2018) dan Giordano, dkk. (2017) mengungkapkan bahwa produktivitas air untuk tanaman (PAT) secara fisik dinyatakan sebagai perbandingan antara hasil panen dan jumlah air yang digunakan. Konsep ini merupakan pengembangan dari konsep efisiensi penggunaan air (WUE) dan produktivitas air. Sejak dicetuskan pada tahun 1996 oleh David Seckler, konsep produktivitas air menandai era baru dalam manajemen sumber daya air dan fokus utama untuk pendalaman di International Water Management Institute.

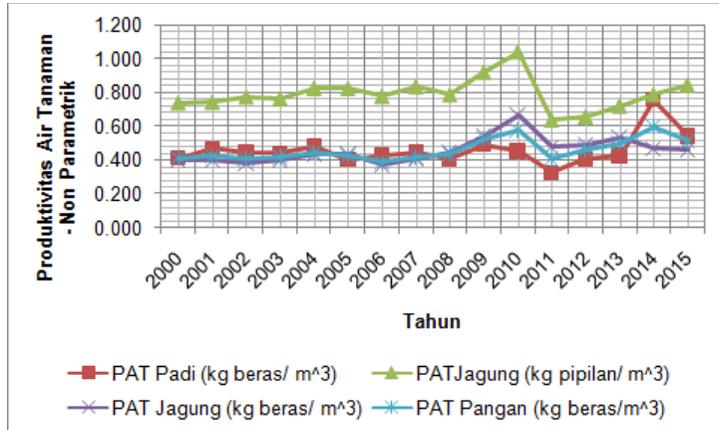
Seiring perkembangannya, konsep PAT semakin menyoroti persoalan kelangkaan air dan pentingnya manajemen sumber daya air dalam pertanian guna mendukung tujuan pembangunan yang lebih luas. Beberapa pembangunan yang diharapkan adalah peningkatan hasil

pertanian, efisiensi penggunaan air dalam pertanian, peningkatan pendapatan petani, serta penurunan tingkat kemiskinan dan kesenjangan sosial. Giordano, dkk. (2017) dan Blatchford, dkk. (2017) menjelaskan bahwa PAT juga menjadi salah satu indikator dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Indikator ini sendiri menekankan perihai peningkatan efisiensi penggunaan air secara substansial. Meskipun indikator ini sudah berhasil secara global, tetapi masih perlu dikembangkan agar lebih efektif di tingkat lokal.

Pada periode tahun 2000–2015, produktivitas air untuk tanaman pangan di Timor Barat mengalami naik-turun dengan tren meningkat, terutama dalam enam terakhir. Berdasarkan data non-parametrik,  $PAT_{Jagung}$  (kg beras/ $m^3$ ) menunjukkan variasi tahunan tertinggi, sementara  $PAT_{Padi}$  memiliki variasi terendah. Di sisi lain, menurut data parametrik,  $PAT_{Padi}$  memiliki variasi paling tinggi, sedangkan  $PAT_{Jagung}$  (kg pipilan/ $m^3$ ) memiliki variasi paling rendah. Ketidakstabilan ini mencerminkan kemampuan petani di Timor Barat untuk beradaptasi dalam memanfaatkan air hujan sebagai sumber utama untuk tanaman pangan.

$PAT_{Padi}$  di Timor Barat selama tahun 2000–2015 berada di rentang angka 0,330 kg beras/ $m^3$  hingga 0,755 kg beras/ $m^3$ . Lalu, untuk tanaman jagung, rentang PAT-nya adalah berkisar dari 0,640 kg pipilan/ $m^3$  sampai 1,037 kg pipilan/ $m^3$ . Jika dikonversi ke satuan kg beras/ $m^3$ ,  $PAT_{Jagung}$  berkisar antara 0,372 hingga 0,666 kg beras/ $m^3$ . Secara keseluruhan,  $PAT_{Pangan}$  di Timor Barat berada dalam kisaran 0,388 kg hingga 0,594 kg beras/ $m^3$ .

Data terperinci mengenai produktivitas air untuk tanaman pangan non-parametrik di Timor Barat tahun 2000–2015 dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 11 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (1)**

Secara fisik,  $PAT_{Padi}$  memiliki rerata sebesar  $0,459 \text{ kg beras/m}^3$ , sedangkan untuk rerata tanaman jagung adalah  $0,792 \text{ kg pipilan/m}^3$  atau setara dengan  $0,457 \text{ kg beras/m}^3$ . Dari jumlah ini dapat diketahui bahwa  $PAT_{Pangan}$  secara keseluruhan adalah sebesar  $0,458 \text{ kg beras/m}^3$ .

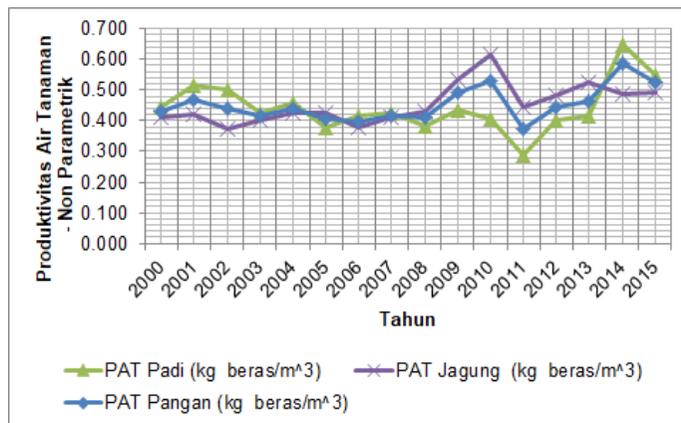
Pada tahun 2000–2015,  $PAT_{Padi}$  di Timor Barat berada di kisaran global, yaitu sebesar  $0,600 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1,600 \text{ kg/m}^3$ . Namun, Cai & Rosegrant (2003), Zwart & Bastiaanssen (2004), serta Cai, dkk. (2010) menyatakan bahwa angka ini masih tergolong rendah apabila dibandingkan dengan standar global yang rentangnya mencapai  $0,600 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1,600 \text{ kg/m}^3$ . Meskipun demikian, selama 40 tahun terakhir ini,  $PAT_{Padi}$  di Timor Barat memiliki rerata yang lebih unggul dibandingkan rerata  $PAT_{Padi}$  di Bangladesh. Di sisi lain pula,  $PAT_{Padi}$  di Timor Barat juga lebih besar dibandingkan beberapa wilayah negara lain, seperti wilayah semi-arid Afrika, Uzbekistan, dan lahan kering Sub-Sahara Afrika.

Selanjutnya,  $PAT_{Jagung}$  ( $\text{kg pipilan/m}^3$ ) di Timor Barat pada tahun 2000–2015 berada dalam kisaran dunia, yakni sebesar  $0,030 \text{ kg/m}^3$  sampai  $7,160 \text{ kg/m}^3$ . Akan tetapi, menurut Zwart & Bastiaanssen (2004), Nangia, dkk. (2005), dan Irmak (2015), angka ini masih lebih rendah dibandingkan standar dunia yang berkisar di antara  $0,220 \text{ kg/m}^3$  hingga  $3,990 \text{ kg/m}^3$  dengan rerata mencapai  $1,800 \text{ kg/m}^3$ . Walaupun masih dianggap rendah dalam standar dunia, nilai  $PAT_{Jagung}$  di Timor Barat dalam periode ini lebih

tinggi dibandingkan dengan  $PAT_{Jagung}$  yang ditanam di lahan kering di beberapa negara berkembang, seperti di Makanya, Tanzania dan DAS Limpopo, Afrika.

Di Kabupaten Kupang,  $PAT_{Padi}$  selama tahun 2000–2015 berkisar di antara  $0,290 \text{ kg beras/m}^3$  sampai  $0,648 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,443 \text{ kg beras/m}^3$ . Sementara itu, untuk variasi  $PAT_{Padi}$  berdasarkan pendekatan non-parametrik tercatat sebesar 18,22%. Sementara itu,  $PAT_{Jagung}$  melalui pendekatan non-parametrik selama periode yang sama berkisar di antara  $0,373 \text{ kg beras/m}^3$  hingga  $0,6115 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,454 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 14,30%. Mengacu kepada nilai PAT padi dan jagung, rentang  $PAT_{Pangan}$  non-parametrik berkisar antara  $0,372 \text{ kg beras/m}^3$  sampai  $0,585 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,452 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 12,44%.

Berikut adalah gambar yang menunjukkan produktivitas air untuk tanaman pangan non-parametrik di Kabupaten Kupang periode tahun 2000–2015.

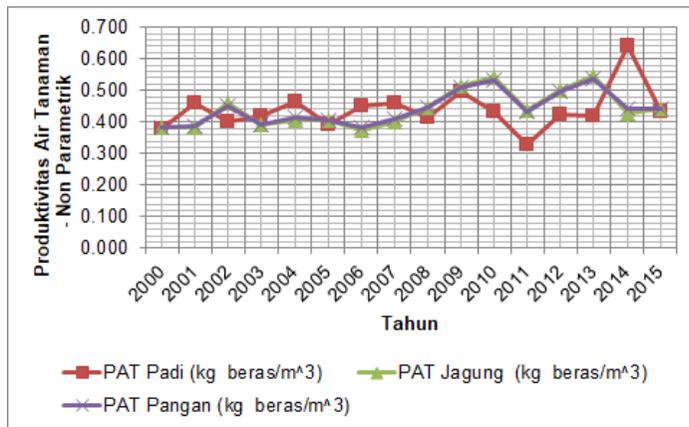


**Gambar 12 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (2)**

Berdasarkan pendekatan non-parametrik,  $PAT_{Padi}$  di Kabupaten Timor Tengah Selatan selama tahun 2000–2015 berkisar di antara  $0,330 \text{ kg beras/m}^3$  sampai  $0,643 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata  $0,439 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 15,29%. Kemudian,  $PAT_{Jagung}$  berada di antara  $0,374 \text{ kg beras/m}^3$  hingga  $0,545 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,442 \text{ kg beras/m}^3$

dan variasi nilai sebesar 12,69%. Dari PAT padi dan jagung ini, secara keseluruhan  $PAT_{Pangan}$  di Kabupaten Timor Tengah Selatan berada di antara  $0,381 \text{ kg beras/m}^3$  sampai  $0,537 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rata-rata sebesar  $0,442 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 11,74%.

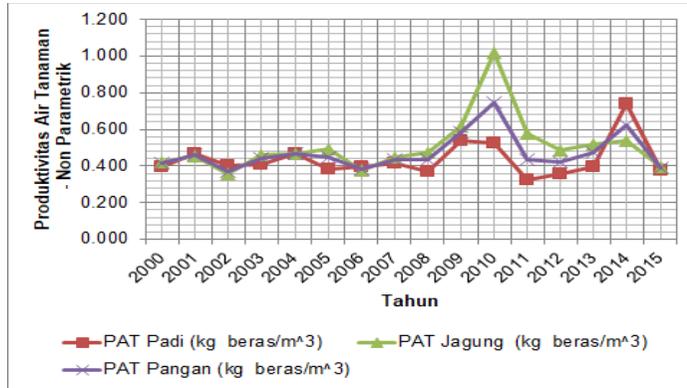
$PAT_{Pangan}$  non-parametrik di Kabupaten Timor Tengah Selatan periode 2000–2015 secara lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 13 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (3)**

Selama periode tahun 2000–2015, secara non-parametrik,  $PAT_{Padi}$  di Kabupaten Timor Tengah Utara berkisar antara  $0,324 \text{ kg beras/m}^3$  hingga  $0,737 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata  $0,435 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 22,88%. Lalu, untuk  $PAT_{Jagung}$  berada di antara  $0,354 \text{ kg beras/m}^3$  hingga  $1,021 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata sebesar  $0,507 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 30,31%. Angka variasi ini lebih tinggi dibandingkan variasi menggunakan pendekatan parametrik yang hanya mencapai 30,19%. Dengan nilai PAT padi dan jagung ini, dapat dikatakan bahwa  $PAT_{Pangan}$  di Kabupaten Timor Tengah Utara pada periode 2000–2015 secara non-parametrik berada di rentang  $0,369 \text{ kg beras/m}^3$  sampai  $0,748 \text{ kg beras/m}^3$  dengan rerata  $0,471 \text{ kg beras/m}^3$  dan variasi sebesar 21,21%.

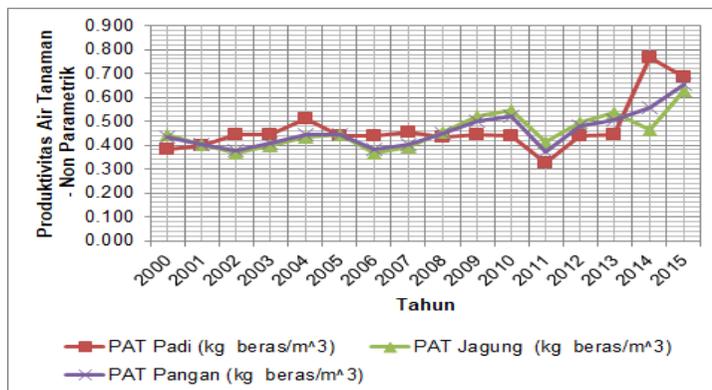
Berikut adalah gambar yang memuat lebih jelas terkait  $PAT_{Pangan}$  non-parametrik di Kabupaten Timor Tengah Utara pada periode 2000–2015.



**Gambar 14 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (4)**

Pada periode tahun 2000–2015,  $PAT_{Padi}$  di Kabupaten Belu secara non-parametrik berkisar antara 0,326 kg beras/m<sup>3</sup> sampai 0,765 kg beras/m<sup>3</sup> dengan rerata sebesar 0,468 kg beras/m<sup>3</sup> dan variasi sebesar 23,10%. Kemudian,  $PAT_{Jagung}$  berada di rentang antara 0,365 kg beras/m<sup>3</sup> hingga 0,630 kg beras/m<sup>3</sup> dengan rerata 0,456 kg beras/m<sup>3</sup> dan variasi sebesar 15,97%. Berangkat dari nilai  $PAT_{padi}$  dan jagung, secara keseluruhan  $PAT_{pangan}$  secara non-parametrik berkisar di antara 0,371 kg beras/m<sup>3</sup> hingga 0,655 kg beras/m<sup>3</sup> dengan rerata 0,458 kg beras/m<sup>3</sup> dan variasi sebesar 16,63%.

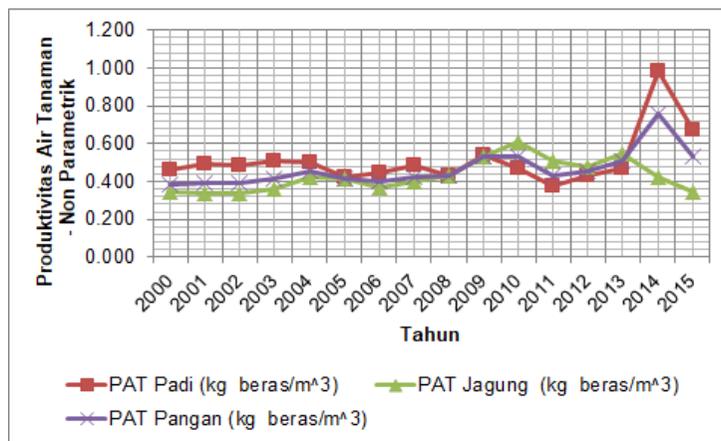
Berikut adalah gambar yang memperlihatkan  $PAT_{pangan}$  di Kabupaten Belu secara keseluruhan selama tahun 2000–2015.



**Gambar 15 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (5)**

Berdasarkan pendekatan non-parametrik,  $PAT_{padi}$  di Kota Kupang pada tahun 2000–2015 berkisar di antara 0,379 kg beras/ $m^3$  sampai 0,980 kg beras/ $m^3$  dengan rerata 0,511 kg beras/ $m^3$  dan variasi sebesar 27,50%. Kemudian, untuk  $PAT_{jagung}$  berada di rentang dengan angka berkisar 0,339 kg beras/ $m^3$  hingga 0,607 kg beras/ $m^3$  dengan rerata sebesar 0,428kg beras/ $m^3$  dan variasi sebesar 19,51%. Dengan nilai  $PAT$  padi dan jagung ini, dapat diketahui bahwa  $PAT_{pangan}$  keseluruhan di Kota Kupang secara non-parametrik berada di rentang angka 0,386 kg beras/ $m^3$  sampai 0,760 kg beras/ $m^3$  dengan rerata 0,466 kg beras/ $m^3$  dan variasi sebesar 20,35%.

Gambaran lebih lengkap tentang  $PAT_{pangan}$  non-parametrik di Kota Kupang pada tahun 2000–2015 adalah sebagai berikut.



Gambar 16 Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan Non-Parametrik di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (6)

## B. Pengoptimalan Penggunaan Air dalam Sektor Pertanian Berdasarkan Berbagai Komponen yang Mempengaruhinya

Pendalaman terkait pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman pangan faktor tunggal dan banyak faktor non-parametrik dilakukan guna memahami pertumbuhan indeks TFPAT (Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman) sekaligus berbagai komponen EFC (Efisiensi) dan TEC (Teknologi produksi). Dalam penyelidikan ini, pertumbuhan indeks TFPAT padi, jagung, dan pangan, serta EFC dan TEC di dalam menggunakan pendekatan *frontier* non-parametrik pengukuran DEA-MI-

PAT-FT dan DEA-MI-PAT-BFR. Kedua pengukuran ini merupakan singkatan dari *Data Envelopment Analysis-Malmquist Index* Faktor Tunggal dan Banyak Faktor.

TFPAT<sub>Pangan</sub> diselidiki menggunakan cara yang telah dikembangkan, yaitu model DEA-MI-PAT dengan menggunakan kelebihan dari DEA-MI untuk menangani sistem dengan banyak masukan dan keluaran (MIMO). Copper, dkk. (2011) berpendapat bahwa DEA-MI merupakan cara menyelidiki yang mampu memetakan sistem produksi yang kompleks sehingga bisa mengungkap hubungan antar-komponen secara lebih jelas dan memperoleh pendalaman yang lebih menyeluruh.

Model DEA-MI-PAT-FT adalah pendekatan *frontier* non-parametrik yang digunakan untuk mengukur total faktor produktivitas air untuk tanaman (TFPAT) dengan metode *Data Envelopment Analysis-Malmquist Index*. Model ini menggunakan jumlah air yang digunakan untuk tanaman (CWU) sebagai komponen masukannya dan jumlah produksi sebagai komponen keluaran. Model DEA-MI-PAT-FT dikembangkan untuk mengukur pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Padi</sub>, TFPAT<sub>Jagung</sub>, dan TFPAT<sub>Pangan</sub> secara keseluruhan.

Model DEA-MI-PAT-FT untuk setiap tanaman pangan, yaitu padi dan jagung, memiliki singkatan yang berbeda. Model untuk tanaman padi menjadi model DEA-MI-PAT-FT-PD dan untuk tanaman jagung menjadi DEA-MI-PAT-FT-JG. Kedua model ini merupakan jenis model satu masukan-satu keluaran atau SISO. Lalu, model DEA-MI-PAT-FT untuk tanaman pangan adalah model DEA-MI-PAT-FT-PGN yang dikembangkan ke dalam tiga jenis pendekatan, yaitu pendekatan SISO, MISO, dan MIMO. Penjelasan lebih lanjut terkait ketiga jenis pendekatan model DEA-MI-PAT-FT-PGN adalah sebagai berikut.

1. **Pendekatan SISO atau Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-SIS:** Jenis pendekatan dengan satu komponen masukan dan satu komponen keluaran. Pada jenis ini, komponen masukannya berupa CWU<sub>Pangan</sub> yang merupakan gabungan dari CWU<sub>Padi</sub> dan CWU<sub>Jagung</sub>, sementara komponen keluarannya adalah produksi pangan yang terdiri dari produksi padi dan jagung.
2. **Pendekatan MISO atau Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIS:** Jenis pendekatan dengan banyak komponen masukan dan satu komponen keluaran. Pada model ini, komponen masukannya adalah

$CWU_{Padi}$  dan  $CWU_{Jagung}$ , sedangkan komponen keluarannya adalah produksi pangan yang merupakan gabungan dari produksi padi dan jagung dalam satuan kg beras.

3. **Pendekatan MIMO atau Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIM:** Jenis pendekatan dengan banyak komponen keluaran dan banyak komponen masukan. Pada pendekatan jenis ini, komponen masukannya ada dua, yaitu  $CWU_{Padi}$  dan  $CWU_{Jagung}$ . Sementara itu, komponen keluarannya juga ada dua, yaitu produksi padi (kg beras) dan produksi jagung (kg pipilan).

Model DEA-MI-PAT-FT-PD dirancang guna mendalami pertumbuhan TFPAT-NP-FT-PD (total produktivitas air untuk tanaman padi non-parametrik faktor tunggal). Model ini pun sesuai dengan Persamaan 30. Rangkuman dari komponen masukan pada model DEA-MI-PAT-FT-PD mencakup rerata penggunaan air tanaman padi ( $CWU_{Padi}$ ) sebesar  $31,112 \text{ juta m}^3 \pm 25,798 \text{ juta m}^3$  dengan nilai maksimum mencapai  $92,297 \text{ juta m}^3$  dan nilai minimum  $209.418 \text{ m}^3$ . Koefisien variasinya pun mencapai 90%. Sementara itu, untuk komponen keluaran, meliputi rerata produksi padi  $14,055 \text{ juta kg beras} \pm 12,616 \text{ juta kg beras}$  dengan nilai maksimum  $56,869 \text{ juta kg beras}$  dan nilai minimum  $89.000 \text{ kg beras}$  serta koefisien variansi sebesar 83%. Variasi data komponen masukan dan masukan yang tinggi ini disebabkan oleh perbedaan nilai antar-kabupaten/kota dibandingkan dengan perbedaan antar-waktu.

Model DEA-MI-PAT-FT-JG dikembangkan untuk mendalami pertumbuhan produktivitas air tanaman jagung secara non-parametrik menggunakan TFPAT-NP-FT-JG (total faktor produktivitas air untuk tanaman jagung non-parametrik faktor tunggal). Model DEA-MI-PAT-FT-JG ini selaras dengan Persamaan 31. Inti dari komponen DEA-MI-PAT-FT-JG adalah rerata penggunaan air tanaman jagung ( $CWU_{Jagung}$ ) sebesar  $82,281 \text{ juta m}^3 \pm 66,013 \text{ juta m}^3$  dengan nilai maksimum mencapai  $282,368 \text{ juta m}^3$  dan nilai minimum  $896.407 \text{ m}^3$  serta koefisien variansi sebesar 77%. Di samping itu, rangkuman komponen keluaran mencakup rerata produksi jagung sebesar  $64,312 \text{ juta kg pipilan} \pm 49,580 \text{ juta kg pipilan}$  dengan nilai maksimum  $207,631 \text{ juta kg}$  dan nilai minimum  $746.000 \text{ kg pipilan}$  serta koefisien variansi sebesar 80%. Penyebab variasi data komponen masukan dan keluaran tinggi adalah perbandingan antara variasi nilai antar-kabupaten/kota dan antar-waktu.

Selanjutnya adalah model DEA-MI-PAT-FT-PGN. Model ini memuat tiga jenis, yaitu SISO, MISO, dan MIMO. Singkatan untuk jenis SISO cukup ditambahkan SIS di belakang format singkatan DEA-MI-PAT-FT-PGN, begitu juga untuk MISO (MIS) dan MIMO (MIM). Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-SIS sesuai dengan Persamaan 32. Lalu, model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIS sesuai dengan Persamaan 33, sementara model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIM sesuai Persamaan 34.

Untuk penjabaran yang lebih komprehensif terkait komponen masukan dan keluarannya, setiap jenis dijabarkan sebagai berikut.

### **1. Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-SIS**

Komponen masukan berupa rerata penggunaan air tanaman pangan ( $CWU_{\text{Pangan}}$ ) sebesar 113,394 juta  $m^3 \pm 71,968$  juta  $m^3$  dengan nilai maksimum mencapai 302,686 juta  $m^3$  dan nilai minimum 1,806 juta  $m^3$  serta koefisien variansi sebesar 63%. Kemudian, untuk komponen keluaran, rerata produksi pangan sebesar 51,419 juta kg beras  $\pm 33,576$  juta kg beras dengan nilai maksimum 162,536 juta kg dan nilai minimum 766.361 kg beras serta koefisien variansi sebesar 63%. Variasi data komponen masukan dan keluaran tinggi disebabkan oleh perbandingan antara variasi nilai antar-kabupaten/kota dan variasi antar-waktu.

### **2. Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIS**

Komponen masukannya adalah  $CWU_{\text{Padi}}$  dan  $CWU_{\text{Jagung}}$  dan komponen keluarannya berupa produksi pangan yang merupakan kombinasi dari produksi padi dan jagung dan dinyatakan dalam satuan kg beras. Rangkuman hasil komponen masukan, antara lain, rerata penggunaan air tanaman padi ( $CWU_{\text{Padi}}$ ) sebesar 31,112 juta  $m^3 \pm 25,798$  juta  $m^3$  dengan nilai maksimum mencapai 92,297 juta  $m^3$  dan nilai minimum 209.418  $m^3$  serta koefisien variansi sebesar 90%. Sementara itu, rerata penggunaan air tanaman jagung ( $CWU_{\text{Jagung}}$ ) sebesar 82,281 juta  $m^3 \pm 66,013$  juta  $m^3$  dengan nilai maksimum mencapai 282,368 juta  $m^3$  dan nilai minimum 896.407  $m^3$  serta koefisien variansi sebesar 77%. Kemudian, untuk rangkuman komponen keluaran berupa rerata produksi pangan sebesar 51,419 juta kg beras  $\pm 33,576$  juta kg beras dengan nilai maksimum 162,536 juta kg beras dan nilai minimum 766.361 kg beras serta koefisien variansi sebesar 63%.

### 3. Model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIM

Komponen masukan pada model ini adalah  $CWU_{Padi}$  dan  $CWU_{Jagung}$ , sementara komponen keluarannya berupa produksi padi dan jagung. Komponen masukan dalam model ini mencakup rerata pemakaian air tanaman padi ( $CWU_{Padi}$ ) sebesar 31,112 juta  $m^3 \pm 25,798$  juta  $m^3$  dengan nilai maksimum mencapai 92,297 juta  $m^3$  dan nilai minimum 209.418  $m^3$  serta koefisien variansi sebesar 90%. Kemudian, untuk rerata penggunaan air tanaman jagung ( $CWU_{Jagung}$ ) adalah sebesar 82,281 juta  $m^3 \pm 66,013$  juta  $m^3$  dengan nilai maksimum mencapai 282,368 juta  $m^3$  dan nilai minimum 896.407  $m^3$  serta koefisien variansi sebesar 77%. Di samping itu, untuk komponen keluarannya terdiri dari rerata produksi padi sebesar 14,055 juta kg beras  $\pm 12,616$  juta kg beras dengan nilai maksimum 56,869 juta kg beras dan nilai minimum 89.000 kg beras serta koefisien variansi sebesar 83%. Lalu, rerata produksi jagung sebesar 64,312 juta kg pipilan  $\pm 49,580$  juta kg pipilan dengan nilai maksimum 207,631 juta kg pipilan dan nilai minimum 746.000 kg pipilan serta koefisien variansi sebesar 80%.

Berikutnya adalah pembahasan terkait model DEA-MI-PAT-BFT atau model *frontier* non-parametrik pengukuran total faktor produktivitas air untuk tanaman Data Envelopment Analysis-Malmquist Index banyak faktor. Model ini disusun guna mendalami pertumbuhan TFPAT non-parametrik banyak faktor yang mencakup pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$ ,  $TFPAT_{Jagung}$  dan  $TFPAT_{Pangan}$  beserta berbagai komponen EFC dan TEC. Ada dua jenis pendekatan yang dikembangkan dalam model ini, yaitu jenis MISO dan MIMO. Komponen masukan pada model ini adalah luas panen (LPN), jumlah petani (PET), dan pengeluaran petani (PENG). Sementara itu, komponen keluarannya adalah produktivitas untuk tanaman (PAT).

Pada pendalaman banyak faktor, komponen bebas (pengaruh) mencakup tiga komponen, yaitu luas panen (LPN), jumlah petani (PET), dan pengeluaran petani (PENG). Dalam penyelidikan banyak faktor non-parametrik, seluruh komponen bebas tersebut di dalam menggunakan data non-parametrik. Penjelasan lebih lanjut terkait ketiga komponen bebas dalam penyelidikan banyak faktor adalah sebagai berikut.

### 1. **Komponen Luas Panen (LPN)**

Luas panen mengacu kepada total area tanaman yang sudah dipanen dalam satuan hektare. BPS berpendapat bahwa luas panen ialah luas lahan yang hasil tanamannya telah dipanen setelah mencapai umur yang cukup. Komponen luas panen sering kali digunakan sebagai perwakilan dari komponen lahan yang biasa digunakan pada pendalaman produktivitas tanaman.

### 2. **Komponen Jumlah Petani (PET)**

Komponen PET merujuk kepada jumlah tenaga kerja yang bekerja di sektor primer, khususnya di sub-sektor tanaman pangan, seperti petani padi dan jagung. Komponen ini digunakan sebagai perwakilan dari tenaga kerja. Komponen ini sudah pernah dipakai dalam telaah produktivitas pertanian milik Machek dan Špička (2013), Chandio *et al.*, (2017) dan Nurjati *et al.*, (2018).

### 3. **Komponen Pengeluaran Petani (PENG)**

Komponen pengeluaran petani (PENG) ini dijadikan sebagai perwakilan dari modal petani. Machek dan Špička (2013) berpendapat bahwa komponen modal petani merepresentasikan total aset yang digunakan dalam proses produksi. Aset yang dimaksud dapat berwujud (contoh: alat pertanian) ataupun yang tidak berwujud (contoh: keterampilan dan akses pasar). Modal petani dapat dinyatakan, baik secara langsung dalam bentuk fisik maupun tidak langsung dalam bentuk biaya. Pada pendalaman ini, komponen pengeluaran petani mencakup biaya makanan dan non-makanan yang dikatakan berkontribusi terhadap produksi pertanian. Pengeluaran untuk barang dan jasa serta bahan tahan lama juga masuk ke dalam komponen ini sebagai bagian dari kelompok non-makanan.

Penyusunan model DEA-MI-PAT-BFR-PD dilakukan guna mendalami pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$ . Model ini yang berjenis MISO memenuhi Persamaan 35. Komponen masukannya terdiri dari luas panen padi ( $LPN_{Padi}$ ), jumlah petani padi ( $PET_{Padi}$ ) dan pengeluaran petani padi ( $PENG_{Padi}$ ). Sementara itu, komponen keluarannya berupa produktivitas air untuk tanaman padi ( $PAT_{Padi}$ ). Pada model DEA-MI-PAT-BFT-PD, rangkuman komponen masukannya mencakup rerata  $LPN_{Padi}$  sebesar  $6.905 \pm 5.713$  ha pada rentang luas panen sebesar 49 ha sampai 20.584 ha

dengan koefisien variansi sebesar 82,74%. Lalu, untuk komponen  $PET_{Padi}$  reratanya sebesar  $16.902 \pm 10.786$  orang pada rentang 1.091 orang hingga 33.033 orang dengan koefisien variansi sebesar 63,81%. Kemudian, komponen  $PENG_{Padi}$  memiliki rerata rata-rata sebesar  $52.253 \pm 46.974$  juta rupiah pada rentang sebesar 942,69–179.559 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 89,90%. Di samping itu, untuk komponen keluaran meliputi  $PAT_{Padi}$  dengan rerata sebesar  $0,459 \pm 0,104$  kg beras/ $m^3$  pada rentang nilai 0,290–0,980 kg beras/ $m^3$  dan koefisien variansi sebesar 22,58%.

Selanjutnya, model DEA-MI-PAT-BFR-JG dirancang guna mendalami pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$ . Model ini sesuai dengan Persamaan 36 dan merupakan jenis MISO. Pada model ini, komponen masukannya berupa luas panen jagung ( $LPN_{Jagung}$ ), jumlah petani jagung ( $PET_{Jagung}$ ), dan pengeluaran petani padi ( $PENG_{Jagung}$ ), sedangkan komponen keluarannya berupa produktivitas air untuk tanaman jagung ( $PAT_{Jagung}$ ). Rangkuman terkait komponen masukan dalam model ini, yakni rerata  $LPN_{Jagung}$  adalah sebesar  $26.747 \pm 20.272$  ha pada rentang luas panen sebesar 309–76.638 ha dengan koefisien variansi sebesar 75,79%. Kemudian, komponen ( $PET_{Jagung}$ ) sebanyak  $44.975 \pm 28.474$  orang pada rentang sebesar 3.221–80.340 orang dengan koefisien variansi 63,31%. Lalu, untuk komponen  $PENG_{Jagung}$  memiliki rerata sebesar  $104.176 \pm 89.623$  juta rupiah pada rentang 2.866 juta–345.323 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 86,03%. Sementara itu, untuk rangkuman komponen keluaran berupa  $PAT_{Jagung}$  dengan rata-rata sebesar  $0,792 \pm 0,135$  kg pipilan/ $m^3$  pada rentang nilai 0,533–1,590 kg pipilan/ $m^3$  dan koefisien variansi sebesar 17,05%.

Berikutnya ialah model DEA-MI-PAT-BFT-PGN yang disusun guna mendalami pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$ . Model ini dirancang dalam dua jenis, yaitu MISO dan MIMO. Komponen masukan pada model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIS ialah luas panen tanaman pangan ( $LPN_{Pangan}$ ), jumlah petani tanaman pangan ( $PET_{Pangan}$ ) dan pengeluaran petani tanaman pangan ( $PENG_{Pangan}$ ). Sementara itu, komponen keluarannya berupa produktivitas air untuk tanaman pangan ( $PAT_{Pangan}$ ) dalam satuan kg beras/ $m^3$ . Di sisi lain, pada model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM komponen masukannya sama dengan model MISO, sementara komponen keluarannya ialah  $PAT_{Padi}$  dalam satuan kg beras/ $m^3$  dan

$PAT_{Jagung}$  dalam satuan kg pipilan/m<sup>3</sup>. Model ini kemudian dikembangkan lebih lanjut menjadi DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM-1. Pada model terbaru, dilakukan pengembangan kepada komponen bebas menjadi  $LPN_{Padi}$ ,  $LPN_{Jagung}$ ,  $PET_{Padi}$ ,  $PET_{Jagung}$ ,  $PENG_{Padi}$  dan  $PENG_{Jagung}$ . Pengembangan ini bertujuan untuk memperoleh hasil pendalaman  $TFPAT_{Pangan}$  yang lebih komprehensif.

Model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIS sudah sesuai dengan Persamaan 37 dengan seluruh komponen masukan dan keluarannya merupakan kombinasi nilai dari tanaman padi dan jagung. Rangkuman dari komponen masukan, yaitu  $LPN_{Pangan}$  memiliki rerata sebesar  $33.662 \pm 21.211$  ha pada rentang luas panen sebesar 567 ha–80.326 ha dengan koefisien variansi sebesar 63%. Kemudian, komponen  $PET_{Pangan}$  reratanya sebesar  $61.877 \pm 39.179$  orang pada rentang sebesar 4.410 orang–111.026 orang dengan koefisien variansi 63,32%. Lalu, untuk komponen  $PENG_{Pangan}$ , reratanya adalah  $144.793 \pm 126.762$  juta rupiah pada rentang berkisar antara 3.808 juta rupiah–491.583 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 87,55%. Sementara itu, komponen keluaran berupa  $PAT_{Pangan}$  reratanya sebesar  $0,458 \pm 0,077$  kg beras/m<sup>3</sup> dengan rentang nilai berkisar 0,369 kg beras/m<sup>3</sup>–0,760 kg beras/m<sup>3</sup> dengan koefisien variansi sebesar 16,82%.

Model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM telah memenuhi Persamaan 38 dengan komponen masukan meliputi  $LPN_{Pangan}$ ,  $PET_{Pangan}$  dan  $PENG_{Pangan}$ , sedangkan komponen keluarannya berupa  $PAT_{Padi}$  dan  $PAT_{Jagung}$ . Rangkuman untuk komponen masukan ialah bahwa rerata  $LPN_{Pangan}$  ialah seluas  $33.662 \pm 21.211$  ha pada rentang kisaran 567 ha–80.326 ha dengan koefisien variansi sebesar 63%. Selanjutnya, komponen  $PET_{Pangan}$  memiliki rata-rata sebesar  $61.877 \pm 39.179$  orang dengan berkisar di antara 4.410 orang–111.026 orang dan koefisien variansi 63,32%. Terakhir, untuk komponen  $PENG_{Pangan}$  reratanya adalah sebesar  $144.793 \pm 126.762$  juta rupiah dalam rentang sekitaar 3.808 juta rupiah–491.583 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 87,55%.

Model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM-1 sudah sama dengan Persamaan 39. Pada model ini, komponen masukan dikembangkan menjadi  $LPN_{Padi}$ ,  $LPN_{Jagung}$ ,  $PET_{Padi}$ ,  $PET_{Jagung}$ ,  $PENG_{Padi}$  dan  $PENG_{Jagung}$ , sementara komponen keluarannya tetap  $PAT_{Padi}$  dan  $PAT_{Jagung}$ . Rangkuman komponen masukan modal ini mencakup rerata  $LPN_{Padi}$  seluas  $6.905 \pm 5.713$  ha pada

rentang 49 ha sampai 20.584 ha dengan koefisien variansi sebesar 82,74%. Berikutnya komponen  $PET_{Padi}$  dengan rata-rata sebanyak  $16.902 \pm 10.786$  orang pada rentang 1.091 orang sampai 33.033 orang dan koefisien variansi 63,81%. Lalu, komponen pengeluaran  $PENG_{Padi}$  yang reratanya  $52.253 \pm 46.974$  juta rupiah pada rentang sebesar 942,69 juta rupiah sampai 179.559 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 89,90%.

Untuk komponen masukan jagung, rerata  $LPN_{Jagung}$  adalah seluas  $26.747 \pm 20.272$  ha dalam rentang luas 309 ha sampai 76.638 ha dengan koefisien variansi sebesar 75,79%. Komponen  $PET_{Jagung}$  reratanya adalah sebanyak  $44.975 \pm 28.474$  orang pada kisaran 3.221 orang sampai 80.340 orang dengan koefisien variansi 63,31%. Lalu, komponen  $PENG_{Jagung}$  memiliki rerata sebesar  $104.176 \pm 89.623$  juta rupiah dalam kisaran di antara 2.866 juta rupiah sampai 345.323 juta rupiah dengan koefisien variansi sebesar 86,03%.

Pada model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM dan DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM-1, komponen keluarannya terdiri dari  $PAT_{Padi}$  dan  $PAT_{Jagung}$ . Komponen keluaran  $PAT_{Padi}$  ini reratanya adalah sebesar  $0,459 \pm 0,104$  kg beras/ $m^3$  yang berkisar di antara 0,290 kg beras/ $m^3$  sampai 0,980 kg beras/ $m^3$  dengan koefisien variansi sebesar 22,58%. Sementara itu, komponen keluaran  $PAT_{Jagung}$  memiliki rerata sebesar  $0,792 \pm 0,135$  kg pipilan/ $m^3$  dengan rentang nilai 0,533 kg pipilan/ $m^3$  sampai 1,590 kg pipilan/ $m^3$  dan koefisien variansi sebesar 17,05%.

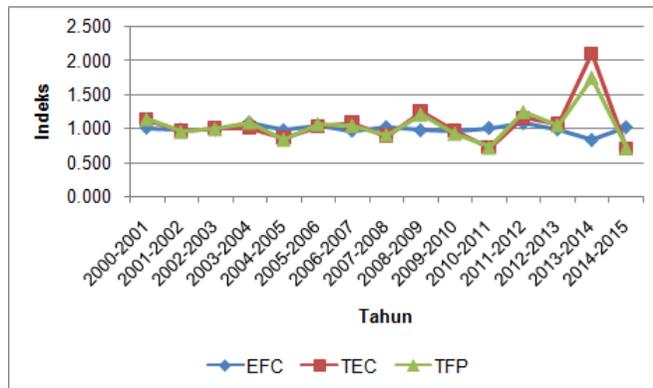
### C. Total Faktor Produktivitas Air Untuk Tanaman Non-Parametrik

---

Pendalaman pertumbuhan indeks TFPAT non-parametrik dilakukan pada tanaman padi, jagung, dan pangan. TFPAT ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu EFC dan TEC non-parametrik yang merupakan hasil pendalaman terhadap keluaran model pengukuran PAT non-parametrik faktor tunggal dan banyak tunggal.

Pendalaman pertumbuhan dan penguraian TFPAT pada padi, jagung, dan tanaman pangan dilakukan menggunakan model frontier non-parametrik dengan pendekatan faktor tunggal. Pendalaman ini mencakup pertumbuhan indeks TFPAT serta komponen EFC dan TEC. Selain itu, ditampilkan pula pertumbuhan indeks tahunan, perubahan indeks setiap tahun berdasarkan tahun dasar 2000, serta variasi pertumbuhan indeks di setiap kabupaten/kota.

Mengacu kepada model DEA-MI-PAT-FT-PD, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  non-parametrik faktor tunggal di Timor Barat selama tahun 2000–2015 diperlihatkan pada gambar 17 di bawah ini. Pada rentang waktu ini, indeks  $TFPAT_{Padi}$  mengalami ketidakstabilan, terutama pada tahun 2013–2015. Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  sebesar 1,017 yang merupakan gabungan dari rerata  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,990 dan rerata indeks  $TEC_{Padi}$  sebesar 1,027.



**Gambar 17 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (1)**

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  mencapai puncaknya pada 2013/2014 dengan nilai 1,742, sementara terendah pada 2014/2015 di angka 0,709. Indeks  $EFC_{Padi}$  tumbuh tertinggi pada 2003/2004 dengan nilai sebesar 1,08 dan terendah pada 2013/2014 bernilai 0,830. Perubahan indeks antara  $TEC_{Padi}$  dan  $TFPAT_{Padi}$ , setara dengan nilai tertinggi 2,099 pada 2013/2014 dan terendah 0,699 pada 2014/2015.

Mengacu kepada pendalaman indeks berantai, periode 2000–2015 menunjukkan penurunan indeks  $TFPAT_{Padi}$  dan  $TEC_{Padi}$ , sedangkan indeks  $EFC_{Padi}$  meningkat. Selama periode ini, indeks  $TFPAT_{Padi}$  dan  $TEC_{Padi}$  mengalami penurunan masing-masing 37,81%, sedangkan indeks  $EFC_{Padi}$  naik 0,69%. Ini menunjukkan bahwa perubahan teknologi produksi padi ( $TEC_{Padi}$ ) berperan penting dalam pertumbuhan  $TFPAT_{Padi}$ . Namun, selama periode tersebut,  $TEC_{Padi}$  menurun, menandakan bahwa teknologi yang diterapkan belum mampu meningkatkan produksi padi atau mengatasi faktor alam dan hambatan lainnya. Efisiensi penggunaan air untuk

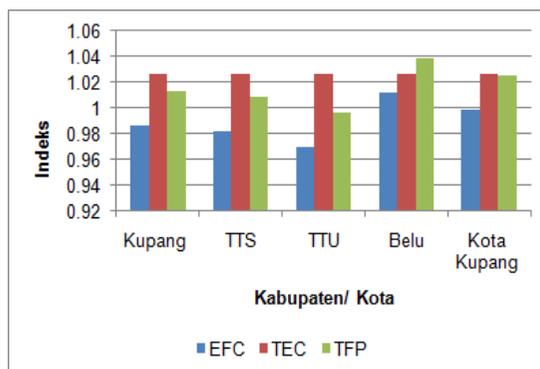
tanaman padi juga tumbuh lambat, dengan kontribusi yang relatif stabil terhadap indeks  $TFPAT_{Padi}$ . Indeks berantai  $TFPAT_{Padi}$  non-parametrik faktor tunggal dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 15 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000 – 2015 (1)**

Tahun	$EFC_{Padi}$	$TEC_{Padi}$	$TFPAT_{Padi}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,973	0,863	0,840
2002/2003	0,973	0,899	0,875
2003/2004	1,073	0,895	0,961
2004/2005	0,963	0,771	0,743
2005/2006	1,031	0,913	0,941
2006/2007	0,957	0,961	0,920
2007/2008	1,009	0,792	0,799
2008/2009	0,962	1,107	1,065
2009/2010	0,946	0,864	0,818
2010/2011	0,997	0,641	0,640
2011/2012	1,065	1,028	1,096
2012/2013	0,977	0,948	0,927
2013/2014	0,823	1,867	1,538
2014/2015	1,007	0,622	0,626

Sumber: Data diolah

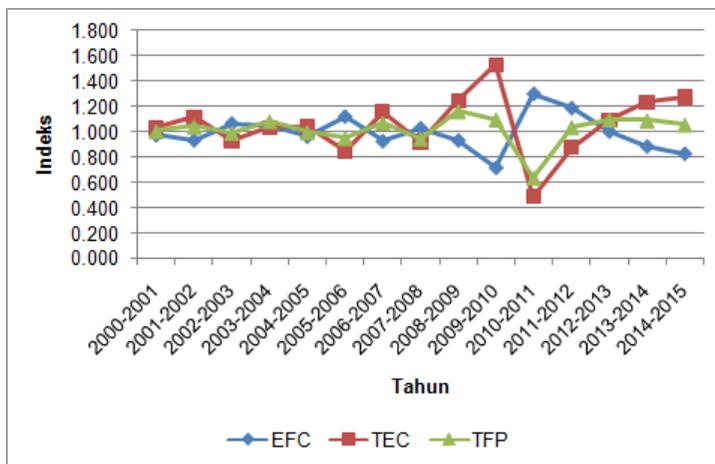
Rata-rata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  non-parametrik faktor tunggal di setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat selama 2000–2015 ditampilkan pada Gambar 18 berikut.



**Gambar 18 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)**

Berdasarkan gambar di atas, Kabupaten Belu mencatat pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  tertinggi sebesar 1,039) dan indeks  $EFC_{Padi}$  tertinggi sebesar 1,012), sementara Kabupaten Timor Tengah Utara memiliki pertumbuhan terendah untuk kedua indeks dengan besar secara berurutan adalah 0,996 dan 0,970. Seluruh kabupaten/kota memiliki pertumbuhan indeks  $TEC_{Padi}$  yang sama, yaitu sebesar 1,027. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi produksi padi relatif merata. Di samping itu, perbedaan pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  lebih dipengaruhi oleh efisiensi penggunaan air untuk tanaman padi.

Mengacu kepada model DEA-MI-PAT-FT-JG, pertumbuhan  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik faktor tunggal di wilayah Timor Barat periode 2000–2015 diperlihatkan pada gambar 19 berikut.



**Gambar 19 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1)**

Pada gambar di atas, dapat diketahui bahwa pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  memiliki rata-rata sebesar 1,008 yang merupakan gabungan dari pertumbuhan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 0,985 dan pertumbuhan indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 1,023. Dalam kurun tahun 2000–2015, pertumbuhan  $TFPAT_{Jagung}$  dan dua komponennya mengalami ketidakstabilan, terutama dalam tujuh tahun terakhir. Selain itu, dapat dipahami pula bahwa pada periode 2008/2009 terjadi pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  tertinggi, yaitu

sebesar 1,163, sedangkan pertumbuhan terendahnya terjadi pada tahun 2010/2011 dengan besaran nilai 0,631.

Selanjutnya adalah indeks berantai  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik faktor tunggal dari tahun 2000 sampai 2015 di wilayah Timor Barat dapat dilihat pada tabel 16 berikut.

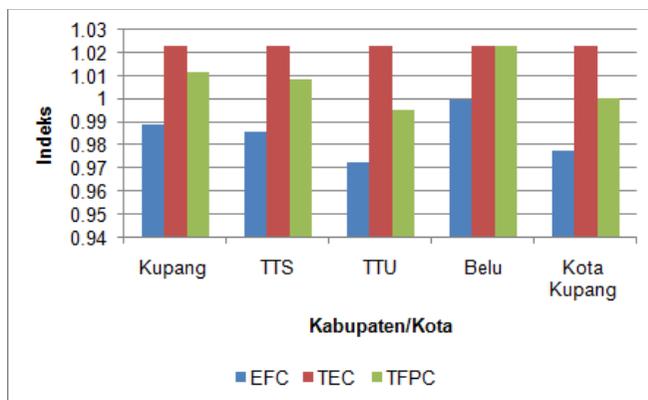
**Tabel 16 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1)**

Tahun	$EFC_{Jagung}$	$TEC_{Jagung}$	$TFPAT_{Jagung}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,959	1,081	1,037
2002/2003	1,094	0,899	0,984
2003/2004	1,077	1,000	1,077
2004/2005	0,988	1,004	0,992
2005/2006	1,150	0,821	0,944
2006/2007	0,952	1,122	1,068
2007/2008	1,057	0,889	0,940
2008/2009	0,958	1,210	1,159
2009/2010	0,738	1,481	1,093
2010/2011	1,334	0,471	0,629
2011/2012	1,219	0,846	1,031
2012/2013	1,031	1,059	1,092
2013/2014	0,909	1,192	1,084
2014/2015	0,852	1,234	1,051

Sumber: Data diolah

Dari tabel tersebut, diketahui bahwa indeks  $TFPAT_{Jagung}$  meningkat sebesar 5,01% karena adanya penurunan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 14,89% dan peningkatan indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 23,38%. Pernyataan ini memperlihatkan bahwa efisiensi penggunaan air untuk tanaman jagung mengalami penurunan, sementara produksi jagung meningkat karena adanya inovasi pada teknologi produksi.

Berikut adalah gambar yang memuat rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat tahun 2000–2015.

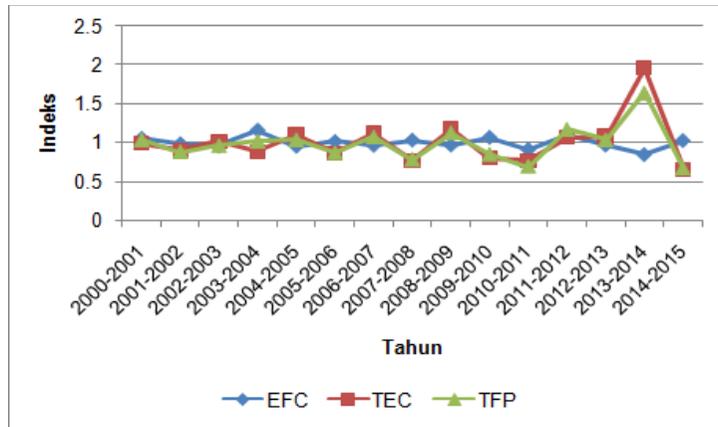


Gambar 20 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)

Pada gambar di atas, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  tertinggi berada di Kabupaten Belu dengan nilai indeks sebesar 1,023 dengan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 1,000. Sementara itu, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  paling rendah ada di Kabupaten Timor Tengah Utara dengan besaran nilai 0,995 dan pertumbuhan  $EFC_{Jagung}$  sebesar 0,973. Secara keseluruhan, kabupaten/kota di wilayah Timor Barat dalam periode tahun 2000–2015 memiliki pertumbuhan indeks  $TEC_{Jagung}$  yang besarnya sama, yaitu 1,023. Lalu, untuk perbedaan pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  antar-kabupaten/kota mayoritas dipengaruhi oleh kemampuan petani dalam menggunakan air untuk produksi jagung.

Pendalaman pertumbuhan dan penguraian TFPAT padi, jagung, dan pangan merupakan hasil dari telaah model *frontier* PAT non-parametrik banyak faktor. Pendalaman ini menunjukkan pertumbuhan indeks TFPAT sekaligus indeks pertumbuhan EFC dan TEC secara non-parametrik banyak faktor. Selain itu, pendalaman ini juga menyajikan pertumbuhan indeks tahunan yang menggunakan tahun 2000 sebagai tahun dasar dan pertumbuhan indeks setiap kabupaten/kota.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  non-parametrik banyak faktor di wilayah Timor Barat pada periode tahun 2000–2015 berdasarkan model DEA-MI-PAT-BFR-PD akan terlihat seperti pada gambar 21 berikut.



**Gambar 21 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (3)**

Berdasarkan gambar di atas, dapat dikatakan bahwa pada periode 2000–2015, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  cenderung mengalami ketidakstabilan, khususnya pada rentang tahun 2013 hingga 2015. Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  memiliki rerata sebesar 0,963 yang mencakup rerata dari indeks  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,991 dan indeks  $TEC_{Padi}$  sebesar 0,972. Nilai tertinggi dari pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  berlangsung pada tahun 2013/2014, yaitu sebesar 1,640. Sementara itu, nilai terendahnya sebesar 0,666 yang terjadi pada tahun 2014/2015. Di sisi lain, pertumbuhan indeks  $EFC_{Padi}$  paling tinggi bernilai 1,151 yang berlangsung pada periode 2003/2004.

Pertumbuhan indeks  $EFC_{Padi}$  tertinggi terjadi pada tahun 2003/2004 (1,151) dan pertumbuhan terendah terjadi pada tahun 2013/2014 (0,841). Pertumbuhan indeks  $TEC_{Padi}$  tertinggi dan terendah terjadi paralel dengan perubahan pada  $TFPAT_{Padi}$  masing-masing mencapai 1,950 pada tahun 2013/2014 dan 0,653 pada tahun 2014/2015.

Indeks berantai pertumbuhan  $TFPAT_{Padi}$  non parametrik banyak faktor ditampilkan pada Tabel 17.

**Tabel 17 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000–2015 (2)**

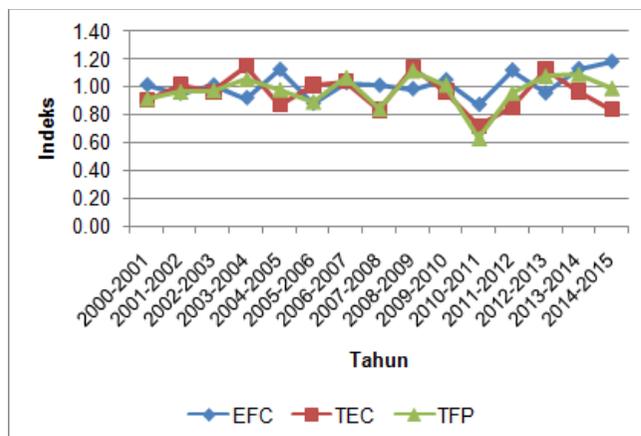
<b>Tahun</b>	<b>EFC<sub>Padi</sub></b>	<b>TEC<sub>Padi</sub></b>	<b>TFPAT<sub>Padi</sub></b>
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,936	0,911	0,852
2002/2003	0,906	1,025	0,929
2003/2004	1,100	0,894	0,983
2004/2005	0,905	1,105	1,001
2005/2006	0,963	0,873	0,840
2006/2007	0,917	1,132	1,037
2007/2008	0,980	0,771	0,755
2008/2009	0,920	1,184	1,088
2009/2010	1,013	0,807	0,818
2010/2011	0,866	0,775	0,671
2011/2012	1,050	1,078	1,132
2012/2013	0,919	1,090	1,000
2013/2014	0,804	1,978	1,589
2014/2015	0,974	0,662	0,645

Sumber: Data diolah

Mengacu kepada pendalaman indeks berantai tahun 2000–2015 terlihat bahwa TFPAT<sub>padi</sub>, EFC<sub>padi</sub>, dan TEC<sub>padi</sub> mengalami penurunan yang secara berurutan sebesar 35,47%, 2,81%, dan 33,77%. Penurunan indeks TFPAT<sub>padi</sub> kemungkinan besar disebabkan oleh terjadinya penurunan penggunaan teknologi pemanfaatan air oleh petani dibandingkan penurunan efisiensi pemakain air.

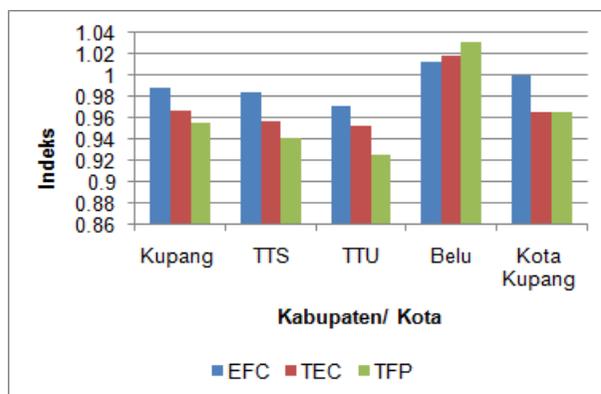
Dari tabel tersebut, Kabupaten Belu tercatat memiliki rerata pertumbuhan TFPAT<sub>padi</sub>, EFC<sub>padi</sub>, dan TEC<sub>padi</sub> non-parametrik banyak faktor tertinggi, sedangkan Kabupaten Timor Tengah Utara indeks pertumbuhan TFPAT<sub>padi</sub>, EFC<sub>padi</sub>, dan TEC<sub>padi</sub>-nya paling rendah. Nilai pertumbuhan indeks TFPAT<sub>padi</sub> paling tinggi adalah sebesar 1,031, sedangkan paling rendahnya adalah sebesar 0,926. Lalu, untuk pertumbuhan indeks EFC<sub>padi</sub>, paling tinggi 1,013, sementara paling rendahnya adalah 0,972. Kemudian, pertumbuhan indeks TEC<sub>padi</sub> tertinggi bernilai 1,018, sedangkan terendah sebesar 0,953.

Pertumbuhan indeks TFPAT<sub>padi</sub> non-parametrik banyak faktor setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat dalam rentang tahun 2000–2015 disajikan pada gambar 22 berikut.



**Gambar 22 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3)**

Berdasarkan model DEA-MI-PAT-BFR-JG, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik banyak faktor di wilayah Timor Barat tahun 2000 – 2015 ditampilkan pada Gambar 23.



**Gambar 23 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Padi di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4)**

Selama periode ini, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik banyak faktor mengalami fluktuasi dengan tren yang cenderung meningkat. Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  tercatat sebesar 0,960 yang mencakup rata-rata pertumbuhan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 1,007 dan indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 0,953. Pernyataan ini menunjukkan bahwa

kemampuan petani dalam menggunakan air meningkat selama periode pengamatan meskipun kemajuan teknologi dalam pemanfaatan air justru mengalami penurunan.

Pertumbuhan tertinggi indeks  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik banyak faktor terjadi pada tahun 2008/2009 dengan nilai 1,114. Lalu, indeks  $EFC_{Jagung}$  mencapai puncaknya pada tahun 2014/2015 dengan nilai 1,177, sementara indeks  $TEC_{Jagung}$  tertinggi terjadi pada tahun 2003/2004 sebesar 1,148. Sebaliknya, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$ ,  $EFC_{Jagung}$ , dan  $TEC_{Jagung}$  terendah tercatat pada tahun 2010/2011 dengan besaran nilai setiap indeks secara berurutan adalah 0,626, 0,868, dan 0,721.

Merujuk kepada pendalaman indeks berantai periode tahun 2000-2015, diketahui bahwa terjadi kenaikan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  dan  $EFC_{Jagung}$ , sementara indeks  $TEC_{Jagung}$  mengalami penurunan. Dalam kurun waktu ini, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  meningkat sebesar 8,11%, indeks  $EFC_{Jagung}$  naik 16,65%, sedangkan indeks  $TEC_{Jagung}$  turun 7,51%. Kenaikan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  besar kemungkinan dipengaruhi oleh adanya peningkatan efisiensi penggunaan air oleh petani walaupun teknologinya mengalami penurunan. Indeks berantai  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik banyak faktor dapat dilihat pada Tabel 18 berikut.

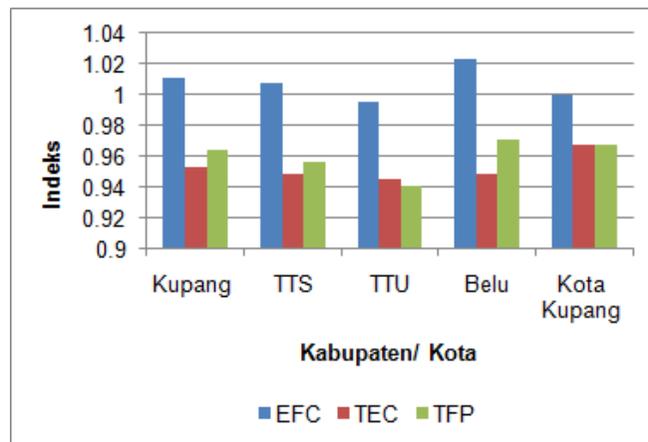
**Tabel 18 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)**

Tahun	$EFC_{Jagung}$	$TEC_{Jagung}$	$TFP_{Jagung}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,940	1,121	1,055
2002/2003	0,998	1,065	1,065
2003/2004	0,909	1,267	1,152
2004/2005	1,110	0,962	1,070
2005/2006	0,869	1,118	0,974
2006/2007	1,015	1,147	1,165
2007/2008	0,997	0,923	0,920
2008/2009	0,972	1,253	1,220
2009/2010	1,036	1,070	1,110
2010/2011	0,860	0,796	0,686
2011/2012	1,105	0,946	1,046
2012/2013	0,943	1,247	1,177
2013/2014	1,116	1,066	1,192
2014/2015	1,167	0,925	1,081

Sumber: Data diolah

Berdasarkan tabel di atas, Kabupaten Belu tercatat memperoleh rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  dan  $EFC_{Jagung}$  tertinggi dengan nilai masing-masing sebesar 0,971 dan 1,023. Sementara itu, rerata pertumbuhan indeks  $TEC_{Jagung}$  tertinggi berada di Kota Kupang dengan nilai indeks sebesar 0,968. Di sisi lain, Kabupaten Timor Tengah Utara menunjukkan pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$ ,  $EFC_{Jagung}$ , dan  $TEC_{Jagung}$  yang paling rendah dibandingkan daerah lainnya.

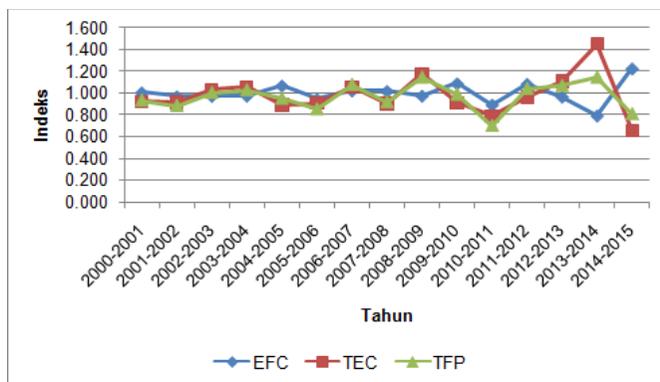
Berikut adalah gambar yang menunjukkan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  non-parametrik banyak faktor pada setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat.



**Gambar 24 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Jagung di Wilayah Semia-Arid Tahun 2000-2015 (4)**

Pertumbuhan Indeks efisiensi ( $EFC_{Jagung}$ ) memiliki nilai lebih dari 1,000, mengindikasikan petani di wilayah Timor Barat memiliki kemampuan yang meningkat dalam penggunaan air untuk produksi jagung. Indeks  $TFPAT_{Jagung}$  lebih rendah dari indeks efisiensi akibat pertumbuhan indeks teknologi produksi (TEC) yang rendah. Hal ini mengindikasikan kemampuan penggunaan air untuk produksi jagung belum diimbangi oleh pertumbuhan teknologi pemanfaatan air.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  berdasarkan model DEA-MI-PAT-BFT-PGN-MIS di wilayah Timor Barat pada periode tahun 2000-2015 diperlihatkan pada gambar 25 berikut.



**Gambar 25 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1)**

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$ ,  $EFC_{Pangan}$ , dan  $TEC_{Pangan}$  menunjukkan ketidakstabilan, terutama setelah tahun 2008/2009. Di akhir periode, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dan  $TEC_{Pangan}$  mengalami penurunan, sementara indeks  $EFC_{Pangan}$  justru meningkat. Ketidakstabilan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  ini mencerminkan variabilitas kemampuan petani pangan di wilayah Timor Barat dalam mengelola air untuk produksi pangan selama periode 2000-2015. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan ketersediaan, baik faktor masukan maupun faktor eksternal, yang memengaruhi kemampuan petani dalam memanajemen air.

Selanjutnya, rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  sebesar 0,960 berada pada rentang antara 0,700 sampai 1,144. Periode 2008/2009 menjadi waktu terjadinya pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$ , sedangkan terendahnya terjadi pada tahun 2010/2011. Rerata pertumbuhan indeks  $EFC_{Pangan}$  tercatat sebesar 0,992 dengan rentang di antara 0,788 pada tahun 2013/2014 hingga 1,222 pada tahun 2014/2015. Sementara itu, rerata pertumbuhan indeks  $TEC_{Pangan}$  mencapai 0,968 dengan kisaran di antara 0,660 pada tahun 2014/2015 sampai 1,450 pada tahun 2013/2014.

Selama periode 2000–2015, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  di wilayah Timor Barat mengalami penurunan sebesar 13,61%, sementara indeks  $EFC_{Pangan}$  meningkat sebesar 22,08% dan indeks  $TEC_{Pangan}$  turun sebesar 28,42%. Penurunan indeks  $TEC_{Pangan}$  menunjukkan bahwa teknologi pengelolaan air dalam periode ini belum mampu meningkatkan produktivitas air untuk tanaman pangan. Faktor utama yang berperan terhadap penurunan indeks

TFPAT<sub>Pangan</sub> adalah penurunan indeks TEC<sub>Pangan</sub>. Indeks berantai TFPAT<sub>Pangan</sub> non-parametrik banyak faktor MISO di wilayah Timor Barat pada periode tersebut diperlihatkan pada Tabel 19 di bawah ini.

**Tabel 19 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (1)**

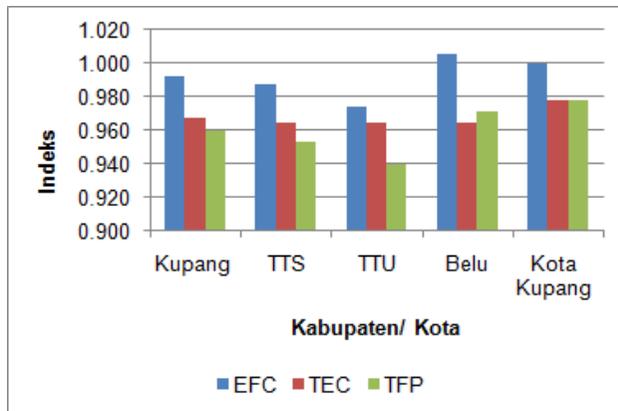
Tahun	EFC <sub>Pangan</sub>	TEC <sub>Pangan</sub>	TFPAT <sub>Pangan</sub>
2000/2001	1,001	0,922	0,933
2001/2002	0,964	0,917	0,884
2002/2003	0,970	1,034	1,003
2003/2004	0,971	1,057	1,026
2004/2005	1,064	0,891	0,949
2005/2006	0,939	0,908	0,853
2006/2007	1,019	1,056	1,076
2007/2008	1,014	0,905	0,917
2008/2009	0,971	1,178	1,144
2009/2010	1,084	0,911	0,987
2010/2011	0,888	0,788	0,700
2011/2012	1,079	0,964	1,040
2012/2013	0,962	1,109	1,067
2013/2014	0,788	1,450	1,143
2014/2015	1,222	0,660	0,806

Sumber: Data diolah

Rerata pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> dan TEC<sub>Pangan</sub> di Kota Kupang menjadi yang tertinggi dengan nilai masing-masing sebesar 0,978. Sementara itu, Kabupaten Belu memiliki pertumbuhan indeks EFC<sub>Pangan</sub> tertinggi dengan nilai sebesar 1,006. Di sisi lain, pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> dan EFC<sub>Pangan</sub> paling rendah secara berurutan bernilai 0,940 dan 0,974 yang terjadi di Kabupaten Timor Tengah Utara. Untuk pertumbuhan indeks TEC<sub>Pangan</sub> paling rendah ada di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Kabupaten Timor Tengah Utara, dan Kabupaten Belu dengan besaran nilai 0,965.

Seperti halnya dengan pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Jagung</sub>, di seluruh kabupaten/kota wilayah Timor Barat memiliki indeks EFC<sub>Pangan</sub> yang lebih tinggi dibandingkan dengan indeks TEC<sub>Pangan</sub>. Keadaan ini memperlihatkan bahwa efisiensi petani dalam memanfaatkan air untuk produksi pangan sudah cukup baik dengan teknologi yang ada saat ini. Lalu, untuk meningkatkan pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub>, diperlukan upaya

pembenahan teknologi manajemen air. Indeks  $TFPAT_{Pangan}$  banyak faktor non-parametrik berdasarkan metode DEA-MI MISO untuk setiap kabupaten/kota di Wilayah Timor Barat ditampilkan pada gambar 26 berikut.

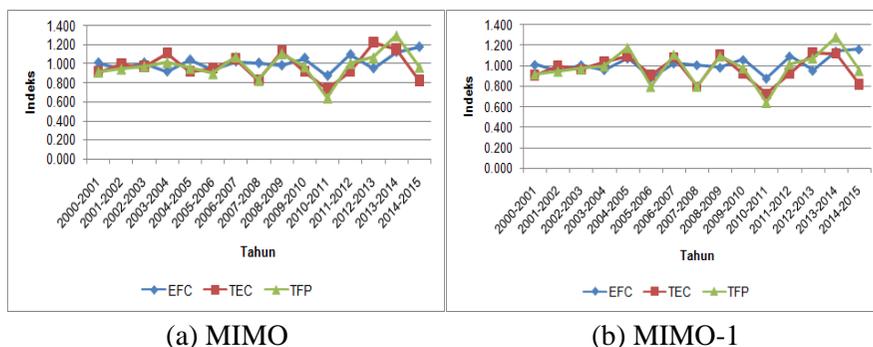


**Gambar 26 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)**

Berdasarkan model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM dan DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM-1, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik dengan pendekatan MIMO dan MIMO-1 menunjukkan ketidakstabilan dengan tren yang positif. Pola pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dari kedua model ini memiliki kemiripan. Rata-rata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  berdasarkan pendekatan MIMO dan MIMO-1 masing-masing sebesar 0,968 dan 0,969. Indeks  $TFPAT_{Pangan}$  tertinggi terjadi pada tahun 2013/2014 dengan nilai secara berurutan adalah sebesar 1,296 dan 1,279, sementara indeks terendah berlangsung pada periode tahun 2010/2011 dengan besaran nilai masing-masing adalah 0,642 dan 0,874. Di sisi lain, rerata pertumbuhan indeks  $EFC_{Pangan}$  adalah sebesar 1,007. Indeks paling tinggi berlangsung pada tahun 2014/2015 dengan besaran nilai secara berurutan adalah 1,177 dan 1,162. Sementara itu, indeks paling rendahnya bernilai 0,872 dan 0,874 yang terjadi pada tahun 2010/2011.

Rerata pertumbuhan indeks  $TEC_{Pangan}$  dengan merujuk kepada pendekatan MIMO dan MIMO-1 secara berurutan adalah sebesar 0,961 dan 0,962. Pertumbuhan indeks paling tinggi berlangsung pada periode 2012/2013 dengan besaran nilai masing-masing adalah 1,222 dan 1,128,

sementara pertumbuhan indeks paling rendah terjadi pada tahun 2010/2011 dengan nilai masing-masing sebesar 0,736 dan 0,728. Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik banyak faktor MIMO dan MIMO-1 di wilayah Timor Barat selama periode 2000–2015 disajikan pada gambar berikut.



**Gambar 27 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)**

Pada periode tahun 2000 hingga 2015, jika dilihat dengan merujuk kepada model DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM dan DEA-MI-PAT-BFR-PGN-MIM-1, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dan  $EFC_{Pangan}$  di wilayah Timor Barat mengalami peningkatan, sedangkan indeks  $TEC_{Pangan}$  mengalami hal yang sebaliknya. Pendekatan MIMO-1 ini memperlihatkan bahwa persentase peningkatan dan penurunan indeksnya lebih rendah dibandingkan dengan pendekatan MIMO.

Pada pendekatan MIMO dan MIMO-1, indeks berantai  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik banyak faktor mengalami peningkatan dengan besaran nilai secara berurutan adalah 5,45% dan 3,83%. Indeks  $EFC_{Pangan}$  juga mengalami peningkatan masing-masing sebesar 16,65% dan 15,16%. Sementara itu, indeks yang satu-satunya mengalami penurunan adalah  $TEC_{Pangan}$ , yakni sebesar 9,68% dan 9,81%. Peningkatan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  ini lebih mungkin dipengaruhi oleh peningkatan indeks  $EFC_{Pangan}$ , yang merepresentasikan peningkatan efisiensi petani dalam menggunakan air dalam proses produksi bahan pangan. Indeks berantai pertumbuhan  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik banyak faktor MIMO dan

MIMO-1 di wilayah Timor Barat tahun 2000–2015 diperincikan pada tabel 20 berikut.

**Tabel 20 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (2)**

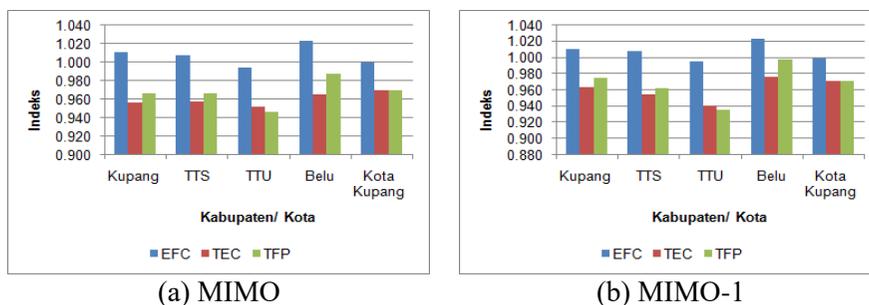
Tahun	EFC <sub>Pangan</sub>		TEC <sub>Pangan</sub>		TFPAT <sub>Pangan</sub>	
	MIMO	MIMO-1	MIMO	MIMO-1	MIMO	MIMO-1
2000/2001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,940	0,940	1,099	1,099	1,033	1,032
2002/2003	0,998	0,998	1,064	1,062	1,062	1,059
2003/2004	0,909	0,949	1,221	1,147	1,109	1,089
2004/2005	1,031	1,062	1,011	1,209	1,043	1,285
2005/2006	0,936	0,869	1,046	1,000	0,979	0,869
2006/2007	1,015	1,015	1,154	1,193	1,171	1,212
2007/2008	0,997	0,997	0,906	0,875	0,904	0,872
2008/2009	0,972	0,972	1,242	1,226	1,208	1,192
2009/2010	1,049	1,049	1,008	1,017	1,058	1,067
2010/2011	0,864	0,866	0,810	0,803	0,700	0,696
2011/2012	1,085	1,083	1,011	1,024	1,097	1,109
2012/2013	0,943	0,943	1,344	1,244	1,164	1,173
2013/2014	1,115	1,131	1,266	1,236	1,413	1,398
2014/2015	1,167	1,152	0,903	0,902	1,055	1,038

Sumber: Data diolah

Berdasarkan model MIMO dan MIMO-1, pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> tertinggi dengan besaran nilai MIMO dan MIMO-1 sama-sama 0,988 terjadi di Kabupaten Belu. Di samping itu, pertumbuhan indeks EFC<sub>Pangan</sub> untuk kedua model tersebut adalah sebesar 1,023. Selain itu, Kabupaten Belu juga menunjukkan pertumbuhan indeks TEC<sub>Pangan</sub> paling tinggi dengan nilai besaran 0,976 berdasarkan model MIMO-1. Sementara itu, pertumbuhan indeks TEC<sub>Pangan</sub> tertinggi berdasarkan model MIMO adalah Kota Kupang dengan besaran nilai 0,970.

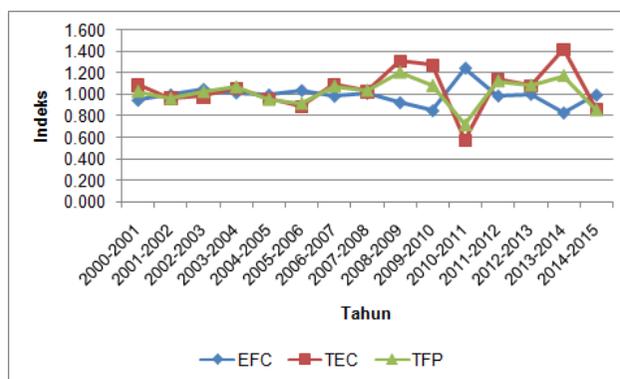
Kabupaten Timor Tengah Utara adalah kabupaten dengan rerata pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> dan EFC<sub>Pangan</sub> paling rendah. Di sisi lain, rerata pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> dan EFC<sub>Pangan</sub> tertinggi berada di Kabupaten Belu, sedangkan rerata pertumbuhan TEC<sub>Pangan</sub> tertinggi ada pada Kota Kupang. Pernyataan ini mengindikasikan bahwa petani di Kabupaten Belu lebih efisien dalam memanfaatkan air, sedangkan petani di Kota Kupang lebih unggul dalam pengoperasian teknologi manajemen air guna meningkatkan produktivitas tanaman pangan.

Berikut adalah gambar yang menunjukkan pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik banyak faktor MIMO dan MIMO-1 di wilayah Timor Barat pada setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat dalam kurun waktu 15 tahun (dari tahun 2000 sampai 2015).



**Gambar 28 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3)**

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dengan merujuk kepada model DEA-MI-PAT-FT-PGN-SIS di wilayah Timor Barat dapat dilihat pada gambar 29 berikut.



**Gambar 29 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4)**

Rata-rata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  mencapai 1,014, dengan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 0,986 dan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 1,028. Xin & Qin (2011) menyatakan bahwa kondisi seperti ini memperlihatkan bahwa

peningkatan TFP lebih dipengaruhi oleh pertumbuhan teknologi produksi dibandingkan dengan peningkatan efisiensi penggunaan air.

Pada tahun 2008/2009, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal SISO mencapai nilai tertinggi sebesar 1,208, sedangkan pada tahun 2010/2011 mengalami pertumbuhan terendah dengan besaran nilai 0,716. Indeks  $EFC_{Pangan}$  tertinggi terjadi pada tahun 2010/2011 dengan nilai 1,239, sementara nilai terendahnya sebesar 0,830 pada tahun 2013/2014. Untuk indeks  $TEC_{Pangan}$ , pertumbuhan tertinggi sebesar 1,416 yang berlangsung pada tahun 2013/2014, sedangkan pertumbuhan terendah tercatat pada tahun 2010/2011 dengan nilai pertumbuhan sebesar 0,578.

Indeks berantai pertumbuhan  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal SISO di wilayah Timor Barat periode tahun 2000-2015 disajikan dalam tabel 21 berikut.

**Tabel 21 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (3)**

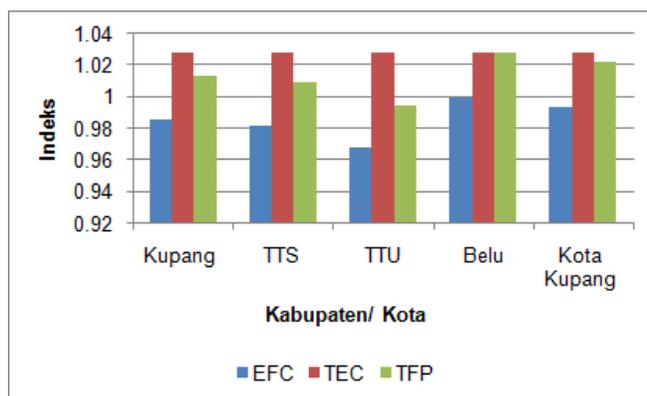
Tahun	$EFC_{Pangan}$	$TEC_{Pangan}$	$TFPAT_{Pangan}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	1,052	0,888	0,934
2002/2003	1,106	0,901	0,996
2003/2004	1,071	0,972	1,040
2004/2005	1,051	0,881	0,926
2005/2006	1,094	0,813	0,890
2006/2007	1,038	1,008	1,047
2007/2008	1,068	0,945	1,009
2008/2009	0,977	1,201	1,173
2009/2010	0,899	1,172	1,053
2010/2011	1,310	0,531	0,696
2011/2012	1,041	1,051	1,095
2012/2013	1,058	0,997	1,055
2013/2014	0,877	1,301	1,142
2014/2015	1,050	0,792	0,832

Sumber: Data diolah

Dari tabel di atas, terlihat bahwa terjadi penurunan sebesar 16,84% pada indeks  $TFPAT_{Pangan}$  yang disebabkan oleh peningkatan pada indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 4,97% dan penurunan pada indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 20,77%. Indeks  $TFPAT_{Pangan}$  yang mengalami penurunan ini

mengindikasikan adanya penurunan kapasitas petani dalam mengelola air guna memproduksi tanaman pangan di wilayah Timor Barat selama waktu penelusuran berlangsung.

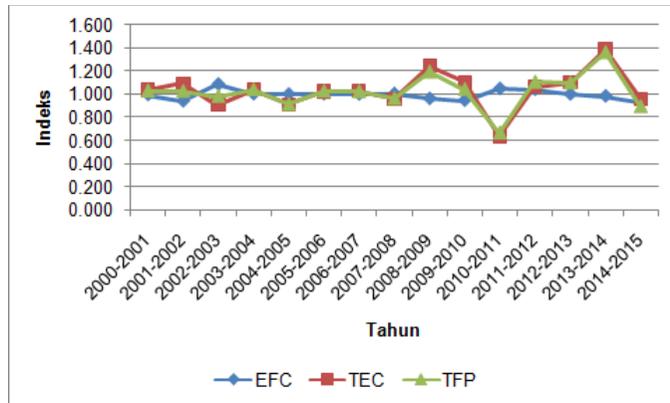
Gambaran rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal SISO setiap kabupaten/kota di wilayah Timor Barat tahun 2000-2015 dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 30 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (5)**

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  sangat beragam dengan adanya perbedaan nilai terendah sebesar 0,994 di Kabupaten Timor Tengah Utara dan tertinggi sebesar 1,028 di Kabupaten Belu. Indeks  $EFC_{Pangan}$  juga bervariasi, dari 0,968 di Kabupaten Timor Tengah Utara hingga 1,000 di Kabupaten Belu. Sementara itu, pertumbuhan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 1,028 dan tidak menunjukkan keberagaman di setiap wilayah. Selama periode ini, petani di Kabupaten Belu menunjukkan efisiensi penggunaan air yang lebih baik dalam produksi pangan. Di samping itu, teknologi produksi pangan juga mengalami peningkatan yang merata di seluruh kabupaten/kota. Perubahan pada pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  kemungkinan besar dipengaruhi oleh efisiensi penggunaan air oleh petani.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  berdasarkan model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIS dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 31** Pertumbuhan Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (6)

Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal MISO adalah sebesar 1,014 dengan koefisien variansi 15%. Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dan  $TEC_{Pangan}$  paling tinggi bernilai masing-masing sebesar 1,363 dan 1,388 yang berlangsung pada tahun 2013/2014. Sementara itu, tahun 2010/2011 menjadi periode terjadinya pertumbuhan terendah untuk kedua indeks ini dengan nilai masing-masing secara berurutan adalah sebesar 0,667 dan 0,637. Di sisi lain, indeks  $EFC_{Pangan}$  menunjukkan pertumbuhan tertinggi sebesar 1,085 pada tahun 2002/2003, sedangkan pertumbuhan terendahnya tercatat pada tahun 2014/2015 dengan nilai sebesar 0,930.

Pertumbuhan indeks berantai  $TFPAT_{Pangan}$  pada periode tahun 2000-2015 di wilayah Timor Barat berdasarkan pendekatan MISO dapat dilihat perinciannya pada tabel 22 berikut.

**Tabel 22** Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (4)

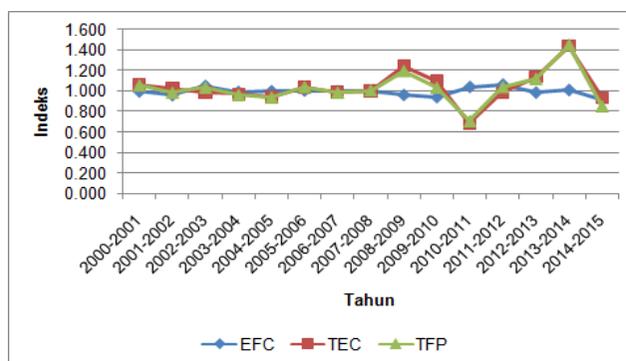
Tahun	$EFC_{Pangan}$	$TEC_{Pangan}$	$TFP_{Pangan}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,945	1,055	0,997
2002/2003	1,092	0,875	0,955
2003/2004	1,008	1,002	1,010
2004/2005	1,005	0,881	0,886
2005/2006	1,008	0,988	0,996
2006/2007	1,005	0,990	0,995

Tahun	EFC <sub>Pangan</sub>	TEC <sub>Pangan</sub>	TFP <sub>Pangan</sub>
2007/2008	1,008	0,928	0,935
2008/2009	0,966	1,199	1,158
2009/2010	0,951	1,066	1,013
2010/2011	1,053	0,614	0,647
2011/2012	1,046	1,026	1,074
2012/2013	1,005	1,061	1,066
2013/2014	0,988	1,338	1,322
2014/2015	0,936	0,927	0,867

Sumber: Data diolah

Pada tahun 2014/2015, indeks TFPAT<sub>Pangan</sub>, EFC<sub>Pangan</sub>, dan TEC<sub>Pangan</sub> mengalami penurunan dengan besaran masing-masing secara berurutan adalah 13,30%, 6,44%, dan 7,33%. Persentase yang dimiliki indeks EFC<sub>Pangan</sub> dan TEC<sub>Pangan</sub> hampir seimbang sehingga berkontribusi terhadap penurunan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub>.

Rerata pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> non-parametrik faktor tunggal MISO di setiap kabupaten/kota dapat diperhatikan pada gambar 32 berikut.

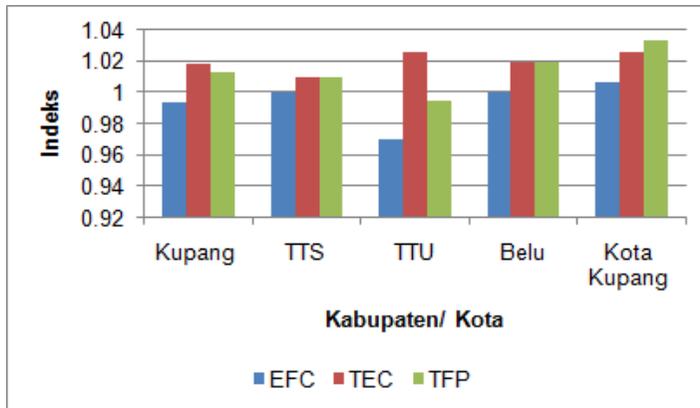


**Gambar 32 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (7)**

Pertumbuhan indeks TFPAT<sub>Pangan</sub> sangat beragam dengan rentang nilai di antara 0,995 di Kabupaten Timor Tengah Utara sampai 1,033 di Kota Kupang. Lalu, untuk pertumbuhan indeks EFC<sub>Pangan</sub> beragam dari sebesar 0,970 di Kabupaten Timor Tengah Utara sampai 1,007 di Kota Kupang. Kemudian, pertumbuhan indeks TEC<sub>Pangan</sub> juga bervariasi dari sebesar 0,970 di Kabupaten Timor Tengah Selatan hingga 1,026 di

Kabupaten Timor Tengah Utara dan Kota Kupang. Kota Kupang secara pribadi memiliki tingkat pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan petani di Kota Kupang dalam mengelola air untuk produksi pangan lebih baik jika dibandingkan dengan petani di kabupaten lainnya.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  berdasarkan model DEA-MI-PAT-FT-PGN-MIM di wilayah Timor Barat dapat diperhatikan pada gambar 33 di bawah ini.



**Gambar 33 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (8)**

Dalam kurun tahun 2000–2015, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  mengalami ketidakstabilan, terutama setelah tahun 2007/2008. Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  adalah sebesar 1,104 dengan pertumbuhan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 0,994 dan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 1,020. Untuk pertumbuhan indeks tertinggi, pada tahun 2013/2014 indeks  $TFPAT_{Pangan}$  dan  $TEC_{Pangan}$  mencapai nilai tertinggi dengan masing-masing bernilai 1,456 dan 1,433. Sementara itu, pertumbuhan terendahnya berlangsung pada tahun 2010/2011 dengan besaran nilai masing-masing secara berurutan adalah 0,707 dan 0,680. Di sisi lain, indeks  $EFC_{Pangan}$  mencapai pertumbuhan tertinggi pada tahun 2011/2012 dengan nilai sebesar 1,061 dan mengalami perubahan indeks terendah sebesar 0,916 pada tahun 2014/2015.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal MIMO di wilayah Timor Barat selama 2000–2015, dengan tahun dasar 2000 (indeks = 1), ditampilkan pada tabel berikut.

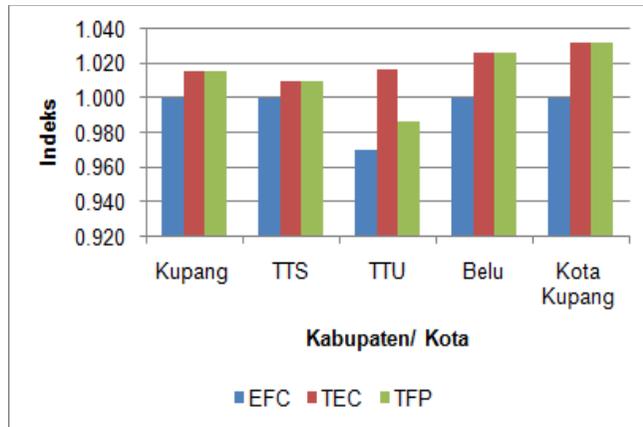
**Tabel 23 Indeks Berantai Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (5)**

Tahun	$EFC_{Pangan}$	$TEC_{Pangan}$	$TFPAT_{Pangan}$
2000/2001	1,000	1,000	1,000
2001/2002	0,964	0,968	0,933
2002/2003	1,052	0,932	0,981
2003/2004	0,996	0,916	0,912
2004/2005	1,003	0,887	0,889
2005/2006	1,009	0,977	0,986
2006/2007	1,003	0,932	0,935
2007/2008	1,010	0,943	0,953
2008/2009	0,967	1,172	1,133
2009/2010	0,946	1,035	0,979
2010/2011	1,043	0,643	0,670
2011/2012	1,065	0,924	0,985
2012/2013	0,990	1,071	1,060
2013/2014	1,014	1,354	1,373
2014/2015	0,920	0,879	0,808

Sumber: Data diolah

Pada 2014/2015, indeks  $TFPAT_{Pangan}$ ,  $EFC_{Pangan}$ , dan  $TEC_{Pangan}$  mengalami penurunan masing-masing sebesar 19,16%, 8,03%, dan 12,10%. Penurunan indeks  $EFC_{Pangan}$  dan  $TEC_{Pangan}$  berdampak langsung pada penurunan indeks  $TFPAT_{Pangan}$ . Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan petani dalam menggunakan air dan teknologi produksi masih belum bisa meningkatkan produksi pangan secara optimal selama periode tersebut.

Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  non-parametrik faktor tunggal MIMO di setiap kabupaten/kota ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 34 Total Faktor Produktivitas Air untuk Tanaman Pangan di Wilayah Semi-Arid Tahun 2000-2015 (9)**

Dari gambar tersebut, terlihat bahwa pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  berkisar antara 0,986 di Kabupaten Timor Tengah Utara hingga 1,032 di Kota Kupang. Indeks  $EFC_{Pangan}$  bervariasi dari 0,970 di Kabupaten Timor Tengah Utara hingga 1,000 di Kota Kupang dan Kabupaten Belu. Sementara itu, indeks  $TEC_{Pangan}$  berada dalam rentang 1,010 di Kabupaten TTS hingga 1,032 di Kota Kupang. Selain itu, melalui gambar di atas, Kota Kupang memiliki catatan pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  terbaik. Meskipun kontribusinya terhadap produksi pangan paling kecil, petani di Kota Kupang memiliki kapasitas yang lebih baik dalam mengelola air untuk produksi pangan dibandingkan petani di kabupaten lain.

# BAB 8

## EPILOG: BAGAIMANA PENGARUH TINGKAT PRODUKTIVITAS AIR UNTUK TANAMAN PANGAN DALAM MENJAGA KETAHANAN PANGAN DI WILAYAH SEMI-ARID?

Setelah menelusuri perkiraan produktivitas air untuk tanaman pangan di wilayah semi-arid secara komprehensif pada bab-bab sebelumnya, pada bab terakhir ini akan dijabarkan kembali inti dari setiap penelusuran yang telah berhasil dilakukan. Produktivitas air untuk tanaman pangan di wilayah semi-arid, khususnya di wilayah Timor Barat, menjadi upaya penting yang digunakan sebagai solusi dari persoalan krisis air dan pangan di wilayah beriklim kering ini.

Secara fisik, produktivitas air untuk tanaman padi ( $PAT_{Padi}$ ) memiliki rerata sebesar 0,459 kg beras/ $m^3$ , sedangkan untuk tanaman jagung ( $PAT_{Jagung}$ ) mencapai 0,729 kg pipilan/ $m^3$  atau setara dengan 0,457 kg beras/ $m^3$ . Secara keseluruhan, produktivitas air untuk tanaman pangan ( $PAT_{Pangan}$ ) memiliki rerata mencapai 0,458 kg beras/ $m^3$ . Meskipun nilai  $PAT_{Padi}$  dan  $PAT_{Jagung}$  masih ada di dalam nilai fisik rentang global, tetapi nilai ini masih termasuk rendah. Hal yang menarik dari perhitungan ini adalah bahwa daerah dengan rata-rata produktivitas air tertinggi tidak selalu berasal dari wilayah dengan produksi tinggi. Dalam kasus ini, Kota Kupang dan Kabupaten Timor Tengah Utara menjadi daerah dengan rerata nilai produktivitas air untuk tanaman tertinggi.

Selanjutnya, dengan mengacu kepada pendekatan faktor tunggal non-parametrik, pertumbuhan indeks total faktor produktivitas tanaman padi ( $TFPAT_{Padi}$ ) lebih tinggi daripada pendekatan banyak faktor. Rata-rata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  menggunakan pendekatan faktor tunggal non-parametrik itu sendiri mencapai 1,017 dan dipengaruhi oleh

pertumbuhan indeks efisiensi ( $EFC_{Padi}$ ) sebesar 0,990 serta indeks teknologi produksi ( $TEC_{Padi}$ ) sebesar 1,027. Namun, selama tahun 2000 sampai 2015, indeks  $TFPAT_{Padi}$  mengalami penurunan sebesar 37,38% dengan peningkatan  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,69%, dan penurunan  $TEC_{Padi}$  sebesar 37,81%. Dalam pendekatan banyak faktor non-parametrik, rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  adalah sebesar 0,963 dengan pengaruh dari indeks  $EFC_{Padi}$  yang rata-ratanya sebesar 0,991 dan pertumbuhan indeks  $TEC_{Padi}$  sebesar 0,972. Selama periode yang sama, indeks  $TFPAT_{Padi}$ , indeks  $EFC_{Padi}$ , dan indeks  $TEC_{Padi}$  mengalami penurunan yang masing-masing sebesar 35,47%, 2,58%, dan 33,77%.

Di sisi lain, untuk tanaman jagung, pertumbuhan indeks total faktor produktivitas ( $TFPAT_{Jagung}$ ) berdasarkan pendekatan non-parametrik faktor tunggal lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan banyak faktor. Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  faktor tunggal non-parametrik adalah 1,017 yang dipengaruhi oleh  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,990 dan  $TEC_{Padi}$  sebesar 1,027. Dalam kurun tahun 2000–2015, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  meningkat sebesar 5,01% dengan penurunan indeks efisiensi ( $EFC_{Jagung}$ ) sebesar 14,89% dan peningkatan  $TFC_{Jagung}$  sebesar 23,38%. Dalam pendekatan banyak faktor non-parametrik, rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  ialah sebesar 0,960 yang dipengaruhi oleh rerata dari pertumbuhan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 1,007 dan rerata pertumbuhan indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 0,953. Selama periode tahun yang sama, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  mengalami peningkatan sebesar 8,11% karena adanya pengaruh dari meningkatnya indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 16,65% dan penurunan indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 7,51%.

Berikutnya adalah bahasan tentang produktivitas air untuk tanaman pangan secara keseluruhan. Mengacu kepada pendekatan faktor tunggal non-parametrik SISO, MISO, dan MIMO, rerata pertumbuhan indeks total faktor produktivitas air untuk tanaman pangan ( $TFPAT_{Pangan}$ ) memperlihatkan nilai yang setara, yaitu sebesar 1,014. Indeks efisiensi ( $EFC_{Pangan}$ ) dan indeks teknologi produksi ( $TEC_{Pangan}$ ) dalam pendekatan faktor tunggal non-parametrik SISO masing-masing sebesar 0,986 dan 1,028. Sementara itu, dalam pendekatan MISO dan MIMO, indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 0,994 dan  $TEC_{Pangan}$  sebesar 1,020. Selama periode tahun 2000–2015,  $TFPAT_{Pangan}$  berdasarkan pendekatan SISO mengalami penurunan sebesar 16,84% karena terjadinya penurunan indeks  $EFC_{Pangan}$

sebesar 20,77% dan peningkatan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 4,97%. Di sisi lain, dalam pendekatan MISO,  $TFPAT_{Pangan}$  turun 13,30% disebabkan oleh terjadinya penurunan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 7,33% dan  $TEC_{Pangan}$  sebesar 6,44%. Lalu, pendekatan MIMO menunjukkan penurunan  $TFPAT_{Pangan}$  sebesar 8,03% karena turunnya indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 12,10% dan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 19,16%.

Rata-rata pertumbuhan indeks total faktor produktivitas tanaman pangan ( $TFPAT_{Pangan}$ ) dalam pendekatan banyak faktor non-parametrik menunjukkan variasi yang berbeda, dengan nilai masing-masing sebesar 0,960 untuk MISO, 0,968 untuk MIMO, dan 0,969 untuk MIMO-1. Pertumbuhan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan indeks efisiensi ( $EFC_{Pangan}$ ) yang reratanya meningkat menjadi 0,992 (MISO), 1,007 (MIMO), dan 1,007 (MIMO-1). Selain itu, pertumbuhan  $TFPAT_{Pangan}$  juga dipengaruhi oleh indeks teknologi produksi ( $TEC_{Pangan}$ ) yang reratanya mencapai 0,968 (MISO), 0,961 (MIMO), dan 0,962 (MIMO-1). Pada periode tahun 2000–2015, pendekatan MISO mencatat penurunan  $TFPAT_{Pangan}$  sebesar 13,61% yang terjadi akibat kenaikan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 22,08% dan penurunan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 28,42%. Di sisi lain, pendekatan MIMO menunjukkan peningkatan  $TFPAT_{Pangan}$  sebesar 5,45% yang dipengaruhi oleh kenaikan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 16,65% dan penurunan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 9,68%. Kemudian, mengacu kepada pendekatan MIMO-1, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  mengalami peningkatan sebesar 3,83% karena adanya peningkatan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 15,16% dan penurunan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 9,81%.

Rata-rata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  berdasarkan model DEA-MI-PAT-FT adalah sebesar 1,017 yang dipengaruhi oleh rerata pertumbuhan indeks efisiensi ( $EFC_{Padi}$ ) sebesar 0,990 dan indeks teknologi produksi ( $TEC_{Padi}$ ) sebesar 1,027. Selama periode tahun 2000 hingga 2015, indeks  $TFPAT_{Padi}$  mengalami penurunan sebesar 37,38%, peningkatan  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,69%, dan penurunan  $TEC_{Padi}$  sebesar 37,81%. Sementara itu, pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  berdasarkan pendekatan non-parametrik faktor tunggal menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan multi-faktor. Rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  mencapai 1,017 yang dipengaruhi oleh rata-rata pertumbuhan indeks efisiensi ( $EFC_{Jagung}$ ) sebesar 0,990 dan indeks teknologi produksi ( $TEC_{Jagung}$ ) sebesar 1,027. Dalam kurun waktu 15 tahun, yakni dari tahun

2000 sampai 2015, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  mengalami peningkatan sebesar 5,01%, penurunan pada indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 14,89%, dan peningkatan indeks  $TEC_{Jagung}$  yang mencapai 23,38%

Rerata pertumbuhan indeks total faktor produktivitas air untuk tanaman pangan ( $TFPAT_{Pangan}$ ) berdasarkan pendekatan SISO, MISO, dan MIMO memperlihatkan nilai yang sama, yaitu 1,014. Pada pendekatan SISO, rerata pertumbuhan indeks efisiensi ( $EFC_{Pangan}$ ) sebesar 0,986, sedangkan indeks teknologi produksi ( $TEC_{Pangan}$ ). Di sisi lain, pada pendekatan MISO dan MIMO, rerata pertumbuhan indeks  $EFC_{Pangan}$  adalah 0,994 dan  $TEC_{Pangan}$  sebesar 1,020. Dalam kurun tahun 2000 sampai 2015,  $TFPAT_{Pangan}$  pada pendekatan SISO mengalami penurunan sebesar 16,48% yang disebabkan oleh terjadinya penurunan pada indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 20,77% dan peningkatan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 4,97%. Pada kurun waktu tahun 2000 sampai 2015,  $TFPAT_{Pangan}$  pada pendekatan SISO mengalami penurunan sebesar 16,84% yang disebabkan oleh turunnya indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 20,77% dan meningkatnya indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 4,97%. Pada pendekatan MISO,  $TFPAT_{Pangan}$  mengalami penurunan sebesar 13,30% yang disebabkan oleh penurunan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 7,33% dan  $TEC_{Pangan}$  sebesar 6,44%. Lalu, pada pendekatan MIMO,  $TFPAT_{Pangan}$  mengalami penurunan sebesar 8,03% yang dipengaruhi oleh turunnya indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 12,10% dan  $TEC_{Pangan}$  sebesar 19,16%.

Pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Padi}$  berdasarkan model DEA-MI-PAT-BFR memiliki rata-rata sebesar 0,963 yang dipengaruhi oleh rerata pertumbuhan indeks  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,991 dan rerata pertumbuhan indeks  $TEC_{Padi}$  sebesar 0,972. Selama periode tahun 2000–2015, indeks  $TFPAT_{Padi}$  mengalami penurunan sebesar 35,47%, indeks  $EFC_{padi}$  juga menurun sebesar 2,58%, dan  $TEC_{Padi}$  pun turut mengalami penurunan sebesar 33,77%. Sementara itu, rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Jagung}$  mencapai 0,960 dengan dipengaruhi oleh rerata pertumbuhan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 1,007 dan  $TEC_{Jagung}$  sebesar 0,953. Dalam periode yang sama, indeks  $TFPAT_{Jagung}$  mengalami peningkatan sebesar 8,11% karena adanya pengaruh dari peningkatan indeks  $EFC_{Jagung}$  sebesar 16,65% dan penurunan dari indeks  $TEC_{Jagung}$  sebesar 7,51%.

Berdasarkan pendekatan banyak faktor non-parametrik, rerata pertumbuhan indeks  $TFPAT_{Pangan}$  bervariasi, yaitu sebesar 0,960 untuk

MISO, sebesar 0,968 untuk MIMO, dan sebesar 0,969 untuk MIMO-1. Pertumbuhan ini sendiri dipengaruhi oleh dua rerata pertumbuhan indeks, yaitu  $EFC_{Pangan}$  dan  $TEC_{Pangan}$ . Untuk pertumbuhan indeks  $EFC_{Pangan}$ , rerata berdasarkan pendekatan MISO adalah sebesar 0,992, pendekatan MIMO sebesar 1,007, dan pendekatan MIMO-1 sebesar 1,007 juga. Sementara itu, untuk pertumbuhan indeks  $TEC_{Pangan}$  setiap pendekatan memiliki rata-rata secara berurutan adalah sebesar 0,968, sebesar 0,961, dan sebesar 0,962. Selama tahun 2000–2015, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  pendekatan MISO mengalami penurunan sebesar 13,61% yang diakibatkan adanya peningkatan indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 22,08% dan penurunan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 28,41%. Sementara itu, untuk pendekatan MIMO dan MIMO-1, indeks  $TFPAT_{Pangan}$  mengalami peningkatan secara berurutan sebesar 5,45% dan 3,83%. Peningkatan ini dipengaruhi oleh kenaikan pada indeks  $EFC_{Pangan}$  sebesar 16,65% dan 15,16% serta penurunan indeks  $TEC_{Pangan}$  sebesar 9,68% dan 9,81%.

Mengacu kepada nilai terendah dari  $EFC_{Padi}$  sebesar 0,990 dan  $EFC_{Jagung}$  sebesar 0,991, produktivitas air untuk tanaman padi ( $PAT_{Padi}$ ) masih bisa ditingkatkan sebesar 1% tanpa perlu menaikkan jumlah volume air ( $CWU_{Padi}$ ). Hal yang sama berlaku untuk tanaman jagung ( $PAT_{Jagung}$ ) yang juga berpotensi dapat ditingkatkan sebesar 1% tanpa penambahan volume air ( $CWU_{Jagung}$ ). Sementara itu, dengan nilai indeks  $EFC_{Pangan}$  terendah sebesar 0,986, produktivitas air untuk tanaman pangan secara keseluruhan bisa ditingkatkan 1,40% tanpa harus menambahkan volume air ( $CWU_{Pangan}$ ). Produktivitas air untuk tanaman ( $PAT$ ) ini dapat ditingkatkan melalui menaikkan pertumbuhan indeks total faktor produktivitas air untuk tanaman ( $TFPAT$ ) dengan memprioritaskan komponen indeks teknologi produksi ( $TEC$ ). Di sisi lain, indeks efisiensi ( $EFC$ ) harus tetap dipertahankan dan ditingkatkan dengan mempertimbangkan faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi. Pengembangan teknologi produksi ( $TEC$ ) tanaman pangan juga harus diarahkan pada elemen keberlanjutan dengan memanfaatkan teknologi berbasis kearifan lokal serta penggunaan masukan organik.

Dari uraian hasil yang telah diperoleh, dapat dikatakan bahwa produktivitas air untuk tanaman pangan secara keseluruhan berkontribusi pada ketahanan pangan dengan cara meningkatkan hasil panen tanpa menambahkan jumlah air yang digunakan. Peningkatan hasil panen ini

dilakukan melalui penggunaan teknologi pertanian yang bersifat berlanjut dan berbasis kearifan lokal serta berbahan organik.

Di samping itu, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penyelidikan terkait produktivitas air untuk tanaman ke depannya. Pertama, penyelidikan pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman pangan penting untuk dilakukan pada wilayah lain di Indonesia. Hal ini bertujuan agar informasi tentang kondisi pertanian Indonesia bersifat komprehensif dan general. Kedua, penyelidikan pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman juga bisa dilakukan terhadap tanaman pangan lainnya, tanaman perkebunan, dan tanaman obat agar sektor pertanian semakin bisa memanfaatkan air secara efisien. Ketiga, terkait informasi yang digunakan dalam penyelidikan, para penelaah sistem pertanian dapat menyertakan panel data harga berdasarkan harga konstan guna meminimalisasikan pengaruh inflasi. Terakhir, untuk komponen yang digunakan pada pendekatan banyak faktor sebisa mungkin lebih bervariasi, baik dari komponen pengaruh maupun komponen hasil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abro ZA, Alemu BA, Hanjra MA. 2014. Policies for Agricultural Productivity Growth and Poverty Reduction in Rural Ethiopia. *World Development* 59: 461–474.
- Ahearn M, Yee J, Ball E, dan Nehring R. 1998. Agricultural Productivity in the United States. *The U.S. Agriculture Information Bulletin*, Washington, DC.
- Ahmad NH dan Deni SM. 2013. Homogeneity Test on Daily Rainfall Series for Malaysia. *Matematika* 29 (1c): 141-150.
- Alauddin M dan Sharma BR. 2013. Inter-district Rice Water Productivity Differences in Bangladesh: An Empirical Exploration and Implications. *Ecological Economics* 93: 210–218.
- Alauddin M, Amarasinghe UA, Sharma BR. 2014. Four Decades of Rice Water Productivity in Bangladesh: A Spatio-Temporal Analysis of District Level Panel Data. *Economic Analysis and Policy* 44: 51–64.
- Ali MH. 2010. *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management: Volume 1*. Springer, New York.
- Ali MH dan Mubarak S. 2017. Effective Rainfall Calculation Methods for Field Crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture* 7(1): 1-12.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)*. Food and Agriculture Organisation, Rome.
- Allen RG, Pereira LS, Smith M, Raes D, Wright JL. 2005. *FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce/January/February* 2005.
- Alviya I. 2011. Efficiency and Productivity of Indonesian Wood Processing in the Period 2004-2007 with Non Parametric Approach Data Envelopment Analysis. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 8(2): 122 – 138.

- Amarasinghe UA, Sharma BR, Aloysius N, Scott C, Smakhtin V, de Fraiture C. 2005. Spatial Variation in Water Supply and Demand Across River Basins of India (Research Report 83). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Amarasinghe UA, Shah T, Singh OP. 2007. Changing Consumption Patterns: Implications on Food and Water Demand in India (IWMI Research Report 119). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Amarasinghe UA dan Smakhtin V. 2014. Water Productivity and Water Footprint: Misguided Concepts or Useful Tools in Water Management and Policy ?, *Water International* 2014. DOI: 10.1080/02508060.2015.986631
- Ashton JK. 2000. Total Factor Productivity Growth and Technical Change in The Water and Sewerage Industry. *The Service Industries Journal* Vol 20.
- Ayensu E. 1985. Africa. Dalam Goodin JR and Northington DK (ed.), *Plant Resources of Arid and Semi-Arid Lands: A Global Perspective*. Academic Press Inc, London.
- Barker R, Dawe D, Inocencio A. 2003. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture: A Water-productivity Framework for Understanding and Action. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Barkley A dan Barkley PW. 2013. *Principles of Agricultural Economics*. Routledge, Abingdon, Oxon.
- Barron J, Tharme RE, Herrero M. 2013. Drivers and Challenges for Food Security. Dalam Boelee E (ed.), *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. CAB International, London.
- Bastiaanssen W, Ahmad MD, Tahir Z. 2003. Upscaling Water Productivity in Irrigated Agriculture Using Remote-sensing and GIS Technologies. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Bastiaanssen W dan Steduto P. 2017. The Water Productivity Score (WPS) at Global and Regional Level: Methodology and First Results from

- Remote Sensing Measurements of Wheat, Rice and Maize. *Science of The Total Environment* 575: 595–611. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.032.
- Blatchford ML, Karimi P, Bastiaanssen WGM, Nouri H. 2018. From Global Goals to Local Gains-A Framework for Crop Water Productivity. *ISPRS Int. J. Geo-Inf* (7): 414. Doi:10.3390/ijgi7110414.
- Becker J, Bernhold T, Beverungen D, Kaling N, Knackstedt R, Lellek V, Rauer HP. 2012. Construction of productivity models a tool-supported approach in the area of facility management. *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures* 7 (1): 28-41.
- Boelee E, Scherr SJ, Pert PL, Barron J, Finlayson M, Descheemaeker K, Milder JC, Fleiner R, Nguyen-Khoa S, Barchiesi S, Bunting SW, Tharme RE, Khaka E, Coates D, Solowey EM, Lloyd GJ, Molden D, Cook S. 2013. Management of Water and Agroecosystems. Dalam Boelee E (ed.), *Landscapes for Sustainable Food Security: Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. CAB International, London.
- Bowen WT. 2003. Water Productivity and Potato Cultivation. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- BPS Provinsi NTT. 2001. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2000*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2002. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2001*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2002*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2003*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2004*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2006. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2005*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2007. *Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2006*. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.

- \_\_\_\_\_. 2008. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2007. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2009. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2008. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2010. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2009. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2011. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2010. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2012. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2011. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2013. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2012. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2014. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2013. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2014. Sensus Pertanian 2013 Hasil Pencacahan Lengkap Provinsi Nusa Tenggara Timur. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2015. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2014. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2016. Nusa Tenggara Timur Dalam Angka 2015. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- \_\_\_\_\_. 2016. Profil Padi Jagung Kedelai. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- Brar SK, Mahal SS, Brar AS, Vashist KK, Sharma N, Buttar GS. 2012. Transplanting Time and Seedling Age Affect Water Productivity, Rice Yield and Quality in North-West India. *Agricultural Water Management* 115: 217–222.
- Brauman KA, Siebert S and Foley JA. 2013. Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security—a global analysis. *Environ. Res. Lett.* 8 (2013):24-30. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024030.
- Buishand TA. 1982. Some Methods for Testing The Homogeneity of Rainfall Records. *Journal of Hydrology* 58: 11-27.
- \_\_\_\_\_. 1984. Tests for Detecting a Shift in The Mean of Hydrological Time Series. *Journal of Hydrology* 73: 51-69.

- Cai X, Sharma BR, Matin MA, Sharma D, Gunasinghe S. 2010. An Assessment of Crop Water Productivity in The Indus and Ganges River Basins: Current Status and Scope for Improvement (IWMI Research Report 140). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Cai X, Yang YE, Ringler C, Zhao J, You L. 2011. Agricultural Water Productivity Assessment for the Yellow River Basin. *Agricultural Water Management* 98: 1297-1306.
- Cai X & Rosegrant MW. 2003. World Water Productivity: Current Situation and Future Options. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Cao X, Wang Y, Wu P, Zhao X, Wang J. 2015a. An Evaluation of The Water Utilization and Grain Production of Irrigated and Rain-Fed Croplands in China. *Science of the Total Environment* 529: 10-20.
- Cao X, Wang Y, Wu P, Zhao X. 2015b. Water Productivity Evaluation for Grain Crops in Irrigated Regions of China. *Ecological Indicators* 55: 107-117.
- Chandio AA, Jiang Y, Gessesse AT, Dunya R. 2017. The Nexus of Agricultural Credit, Farm Size and Technical Efficiency in Sindh, Pakistan: A Stochastic Production Frontier Approach. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2017)-Accepted paper.
- Chang HS dan Zepeda L. 2001. Agricultural Productivity for Sustainable Food Security in Asia and The Pacific: The Role of Investment. Dalam Zepeda L (ed.), *Agricultural Investment and Productivity in Developing Countries* (FAO Economic and Social Development Paper No. 148). Food and Agriculture Organization, Rome.
- Chapagain AK dan Hoekstra AY. 2010. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Rice from Both a Production and Consumption Perspective (Report Series No. 40). UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Choudhury BU, Bouman BAM, Singh AK. 2007. Yield and Water Productivity of Rice–Wheat on Raised Beds at New Delhi, India. *Field Crops Research* 100: 229–239.
- Coelli TJ dan Rao DSP. 2003. Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 93 Countries, 1980-

2000. Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Paper Series No. 02/2003. University of Queensland, Australia.
- Coelli TJ, Rao DSP, Battese GE. 1998. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- \_\_\_\_\_. 2005. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis Second Edition. Springer Business Media Inc, New York, USA.
- Colman D dan Young T. 1989. Principles of Agricultural Economics: Markets and Prices In Less Developed Countries. Cambridge University Press, The United Kingdom.
- Comin D. 2006. Total factor productivity. New York University and NBER, New York USA.
- Creswell JW. 2014. Research Design: A Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Approaches-4<sup>th</sup> edition. SAGE Publications Inc, London.
- Das D. 2009. Factor hoarding and productivity: Experience from indian manufacturing. Dalam Lee JD, Heshmati A (ed), Productivity, efficiency, and economic growth 13 in the Asia Pacific Region. Physica-Verlag A Springer Company Springer, Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-7908-2072-0.
- Debertin DL. 2012. Agricultural Production Economics Second Edition. Pearson Education, Upper Saddle River, N.J. USA.
- Del Gatto M, Di Liberto A, Petraglia C. 2011. Measuring productivity. *Journal of Economic Surveys* 25 (5): 952–1008. doi: 10.1111/j.1467-6419.2009.00620.x.
- Destane NG. 1978. FAO Irrigation And Drainage Paper 25: Effective Rainfall in Irrigated Agricultural. Food and Agriculture Organisation, Rome.
- Devkota M, Gupta RK, Martius C, Lamers JPA, Devkota KP, Sayre KD, Vlek PLG. 2015. Soil Salinity Management on Raised Beds with Different Furrow Irrigation Modes in Salt-Affected Lands. *Agricultural Water Management* 152: 243–250.
- Doolan DM dan Froelicher ES. 2009. Using an Existing Data Set to Answer New Research Questions: A Methodological Review.

- Research and Theory for Nursing Practice: An International Journal 23(3). DOI: 10.1891/1541-6577.23.3.203.
- Echevarria C. 1998. A Three-Factor Agricultural Production Function: The Case of Canada. *International Economic Journal* 12(3) Autumn 1998.
- Edreiraa JIR, Guilpart N, Sadras V, Cassman KG, van Ittersum MK, Schil RLM, Grassini P. 2018. Water productivity of rainfed maize and wheat: A local to global perspective. *Agricultural and Forest Meteorology* 259 (2018): 364–373.
- FAO. 2012. *Coping with Water Scarcity: An Action Framework for Agriculture and Food Security* (FAO Water Reports 38). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fazri M, Siregar H, Nuryartono N. 2017. Efisiensi teknis, pertumbuhan teknologi dan total faktor produktivitas pada industri menengah dan besar di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan* 6 (1): 1-20.
- Frees EW. 2004. *Longitudinal and Panel Data: Analysis and Applications for the Social Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fuglie KO. 2004. Productivity Growth in Indonesian Agriculture, 1961–2000, *Bulletin of Indonesian Economic Studies* 40(2): 209-225. DOI:10.1080/0007491042000205286.
- Fuglie KO. 2010. Sources of Growth in Indonesian Agriculture. *Journal of Productivity Analysis* 33: 225-240. DOI 10.1007/s11123-009-0150-x.
- Gadanakis Y, Bennett R, Park J, Areal FJ. 2015. Improving Productivity and Water Use Efficiency: A Case Study of Farms in England. *Agricultural Water Management* 160: 22–32.
- Gautam M dan Yu B. 2015. Agricultural Productivity Growth and Drivers: a Comparative Study of China and India. *China Agricultural Economic Review* 7(4): 573 – 600.
- Giordano M, Turrall H, Scheierling SM, Tréguer DO, McCornick PG. 2017. Beyond “More Crop per Drop”: Evolving Thinking on Agricultural Water Productivity (IWMI Research Report 169). International Water Management Institute (IWMI)-The World Bank, Colombo, Sri Lanka. DOI:10.5337/2017.202.

- Global Water Partnership. 2000. *Towards Water Security: A Framework for Action*. Stockholm, Sweden.
- Greenhoot AF dan Dowsett CJ. 2012. *Secondary Data Analysis: An Important Tool for Addressing Developmental Questions*. *Journal of Cognition and Development*. January 2012.
- Goodridge P. 2007. *Methods Explained: Index Numbers, Economic & Labour Market Review*. Palgrave Macmillan; *Office for National Statistics* 1(3): 54-57.
- Hashim MAA, Siam N, Al-Dosari A, Asl-Gaadi KA, Patil VC, Tola EHM, Rangaswamy M, Samdani MS. 2012. *Determination of Water Requirement and Crop Water Productivity of Crops Grown in the Makkah Region of Saudi Arabia*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6(9): 196-206.
- Hellegers PJGJ, Soppe R, Perry CJ, Bastiaanssen WGM. 2009. *Combining Remote Sensing and Economic Analysis to Support Decisions that Affect Water Productivity*. *Irrigation Science* 27: 243–25.
- Hidayat A. 2012. *Penjelasan Lengkap Berbagai Jenis Variabel Penelitian*. <https://www.statistikian.com>. Tanggal akses 29 Juni 2020.
- Hoang VN dan Coelli TJ. 2011. *Measurement of Agricultural Total Factor Productivity Growth Incorporating Environmental Factors: A Nutrients Balance Approach*. *Journal of Environmental Economics and Management* 62: 462–474.
- Hurlin C. 2010. *Panel Data Econometrics: Presentation*. University of Geneva.
- Idtesis. 2012. *Pengertian dan Jenis Metode Deskriptif*. <https://www.idtesis.com>. Tanggal akses 29 Juni 2020.
- Irmak S. 2015. *Interannual Variation in Long-Term Center Pivot-Irrigated Maize Evapotranspiration and Various Water Productivity Response Indices. II: Irrigation Water Use Efficiency, Crop WUE, Evapotranspiration WUE, Irrigation-Evapotranspiration Use Efficiency, and Precipitation Use Efficiency*. *J. Irrig. Drain Eng.*, 141(5): 401-409.
- Jensen ME. 1968. *Water Consumption by Agricultural Plants. Water Deficit and Plant Growth, Volume 2*. Academic Press Inc, New York.

- Jiang Y, Xu X, Huang Q, Huo Z, Huang G. 2015. Assessment of Irrigation Performance and Water Productivity in Irrigated Areas of the Middle Heihe River Basin Using a Distributed Agro-Hydrological Model. *Agricultural Water Management* 147: 67-80.
- \_\_\_\_\_. 2016. Optimizing Regional Irrigation Water Use by Integrating a Two-Level Optimization Model and an Agro-Hydrological Model. *Agricultural Water Management* 178: 76-88.
- Karimi P, Molden D, Bastiaanssen W. 2011. Mapping Crop Water Productivity in The Nile Basin through Combined Use of Remote Sensing and Census Data. ICID 21<sup>st</sup> International Congress on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran 15-23 October.
- Kayatz B, Harris F, Hillier J, Adhya T, Dalinf C, Nayak D, Green RF, Smith P, Dangour AD. 2019. "More Crop Per Drop": Exploring India's Cereal Water Use Since 2005. *Science of the Total Environment* 673: 207-217.
- Kijne JW, Barker R, Molden D. 2003. Improving Water Productivity in Agricultural: Editors' Overview. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Kneip A and Simar L. 1996. A general framework for frontier estimation with panel data. *The Journal of Productivity Analysis* 7 (1996): 187-212.
- Kumalaningsih S. 2012. *Metodologi Penelitian*. Universitas Brawijaya Press, Malang – Indonesia.
- Kumar M dan Basu P. 2008. Perspectives of Productivity Growth in Indian Food Industry: a Data Envelopment Analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management* 57(7): 503-522.
- Kusumastuti D. 2007. *Analisis Total Faktor Produktivitas Pada Industri Tanaman Pangan Di Indonesia Periode 1985 – 2004*. Skripsi. Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi Dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor.
- Leander R. dan Buishand TA. 2004. *Inventory and Homogeneity Analysis of Long Daily Precipitation Records*. KNMI-publication, The Netherlands.

- Lee DJ dan Zepeda L. 2001. Agricultural Productivity and Natural Resource Depletion. Dalam Zepeda L (ed.), FAO Economic and Social Development Paper No.148: Agricultural Investment and Productivity in Developing Countries. FAO,Rome.
- Lin MI, Lee YD, Ho TN. 2011. Applying integrated DEA/AHP to Evaluate the Economic Performance of Local Governments in China. *European Journal of Operational Research* 209: 129-140.
- Lynne GD. 1978. Issues and Problems in Agricultural Water, Demand Estimation From Secondary Data Sources. *Southern Journal of Agricultural Economics* December.
- Machek O dan Špička J. 2013. Measuring Performance Growth of Agricultural Sector: A Total Factor Productivity Approach. *International Journal of Economics and Statistics* Issue 4, Volume 1.
- Maheshwari V, Manwani DT, Banerjee S. 2014. In search of a suitable productivity measurement model for SMEs with special emphasis on systems approach. *International Journal of Engineering and Management Research* 4(3): 200-207.
- Mahajan G, Bharaj TS, Timsina J. 2009. Yield and Water Productivity of Rice as Affected by Time of Transplanting in Punjab, India. *Agricultural Water Management* 96: 525-532.
- Makurira H, Savenije HHG, Uhlenbrook S, Rockström J, Senzanje A. 2011. The Effect of System Innovations on Water Productivity in Subsistence Rainfed Agricultural Systems in Semi-Arid Tanzania. *Agricultural Water Management* 98: 1696-1703.
- Malamassam D. 2009. Metode Penelitian. Modul Pembelajaran Mata Kuliah. Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanudin, Ujung Pandang.
- Manos B, Chatzinikolaou P, Kiomourtzi F. 2013. Sustainable Optimization of Agricultural Production. *APCBEE Procedia* 5: 410-415.
- Matebua A, Shibabawb M. 2015. Partial and total productivity measurement models for garment manufacturing firms. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 9 (3): 167 – 176.
- Maulana M. 2004. Peranan Luas Lahan, Intensifikasi Pertanian, dan Produktivitas Sebagai Sumber Pertumbuhan Padi Sawah di Indonesia 1980-2001. *Jurnal Agro Ekonomi* 22(1): 74-95.

- Mdemu MV, Rodgers C, Vlek PLG, Borgadi JJ. 2009. Water Productivity (WP) In Reservoir Irrigated Schemes In The Upper East Region (UER) of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth* 34: 324-328.
- Molyneux N, da Cruz GR, Williams RL, Andersen R, Turner NC. 2012. Climate Change and Population Growth in Timor Leste: Implications for Food Security. *AMBIO* 4: 823-840. DOI 10.1007/s13280-012-0287-0.
- Molden D, Vithanage M, de Fraiture C, Faures JM, Finlayson M, Gordon L, Molle F, Peden D, Stentiford D. 2011. Water Availability and Its Use in Agriculture. Dalam Wilderer P (ed.), *Treatise on Water Science*, Vol. 4: 707-732. Academic Press, Oxford.
- Molden D, Rust HM, Sakthivadivel R, Makin I. 2003. A Water Productivity Framework for Understanding and Action. Dalam Kijne JW, Barker R, and Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Molden D, Sakthivadivel R, Habib Z. 2001. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia (Research Report 49). International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
- Molden D. 1997. Accounting for Water Use and Productivity (SWIM Paper 1). International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Molden D, Frenken K, Barker R, de Fraiture C, Mati B, Svendsen M, Sadoff C, Finlayson CM. 2007. Trends in Water and Agricultural Development in Agriculture: Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan-International Water Management Institute, London-Colombo.
- Myers, RH. 2009. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Third Edition. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Nangia V, de Fraiture C, Turrall H. 2008. Water Quality Implications of Raising Crop Water Productivity. *Agricultural Water Management* 95: 825-835.
- Nazir M. 1988. *Metode Penelitian*. Penerbit Ghalia, Jakarta.

- Nikmah A, Fauziyah E dan Rum M. 2013. Analisis Produktivitas Usahatani Jagung Hibrida di Kabupaten Sumenep. *Jurnal Agriekonomika* Volume 2 Nomor 2, Oktober 2013.
- Nishimizu M dan Page JM. 1982. total factor productivity growth, technological progress and technical efficiency change: Dimensions of productivity change in Yugoslavia, 1965-78. *The Economic Journal* 92 (December 1982): 920-936.
- Nurjati E, Fahmi I, Jahroh S. 2018. Analisis Efisiensi Produksi Bawang Merah Di Kabupaten Pati Dengan Fungsi Produksi Frontier Stokastik Cobb-Douglas (Analyzing the Efficiency of Shallot Production in Pati Regency Using the Cobb-Douglas Stochastic Frontier Production Function). *Jurnal Agro Ekonomi* 36(1): 55-69. DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/jae.v36n1.2018.55-69>
- O'Donnell CJ. 2011. The sources of productivity change in the manufacturing sectors of the U.S. economy. Centre for efficiency and productivity analysis, the University of Queensland, Brisbane 4072, Australia.
- \_\_\_\_\_. 2018. *Productivity and efficiency analysis*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, Singapore.
- Ogundari K. 2013. Crop Diversification and Technical Efficiency in Food Crop Production. *International Journal of Social Economics* 40(3): 267-287.
- Oweis TY dan Hachum AY. 2003. Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa. Dalam Kijne JW, Barker R, and Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Palanisami KSS, Ranganathan CR, Ramesh T. 2006. *Water Productivity at Different Scales under Canal, Tank and Well Irrigation Systems*. Centre for Agricultural and Rural Development Studies (CARDS) Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore.
- Patwardhan AS, Nieber JL, and Johns EL. 1990. Effective Rainfall Estimation Methods. *J. Irrig. Drain Eng.* 116(2): 182-193.
- Phengphaengsy F dan Okudaira H. 2008. Assessment of Irrigation Efficiencies and Water Productivity in Paddy Fields in the Lower Mekong River Basin. *Paddy Water Environment* 6:105-114.

- Piggin C. 2003. The Role of *Leucaena* in Swidden Cropping and Livestock Production in Nusa Tenggara Timur Province, Indonesia. Dalam da Costa H, Piggin C, da Cruz CJ and Fox JJ (ed.), *Agriculture: New Directions for a New Nation — East Timor (Timor-Leste)*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Priyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Zifatama Publishing, Sidoarjo.
- Prayoga A. 2010. Produktivitas dan efisiensi teknis usahatani padi organik lahan sawah (*Productivity and farm technical efficiency of lowland organic rice*). *Jurnal Agro Ekonomi* 28 (1): 1 – 19.
- Raes D. 2012. *The ETo Calculator Evapotranspiration from a Reference Surface Reference Manual Version 3.2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division, Rome, Italy.
- Ramaila M, Mahlangu S and du Toit D. 2011. Agricultural productivity in South Africa: Literature review. Directorate: Economic Services Production Economics Unit, South Africa.
- Rao DSP, O'donnell CJ, Battese GE. 2004. *Metafrontier Functions for the Study of Interregional Productivity Differences*. Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper Series No. 01/2003. University of Queensland, Australia.
- Rencana Tata Ruang Provinsi NTT Tahun 2010-2030.
- Rittenberg L dan Tregarthen TD. 2011. *Principles of Economics*. Flat World Knowledge. Rockstorm J, Barron J, Fox P. 2003. Water Productivity In Rain-Fed Agriculture: Challenges and Oppurtunities for Smallholder Farmers in Drought Prone Tropical Agroecosystems. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Røhr PC dan Killingveit Å. 2003. Rainfall Distribution on the Slopes of Mt. Kilimanjaro. *Hydrological Sciences –Journal-des Sciences Hydrologiques* 48(1) February 2003.
- Runtunuwu E, Syahbuddin H, Ramadhani F, Apriyana Y, Sari K, Nugroho WT. 2013. Tinjauan Waktu Tanam Tanaman Pangan di Wilayah

- Timur Indonesia (Review of food crop planting time in Eastern Indonesia). *Pangan* 22(1): 1-10.
- Said M, Qomariyah S, Solichin. 2015. Analisis Perubahan Iklim (Hujan) Di Kawasan Kabupaten Boyolali. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Maret: 149-154.
- Salih M dan Ahmed AG. 1994. The Impact of Indigenous Knowledge and Traditional Coping Strategies on the Desertification Process. Paper presented at the IDRC-sponsored workshop on "Indigenous knowledge and desertification in Africa". Cairo, January.
- Santos M dan Fragoso M. 2013. Precipitation Variability in Northern Portugal: Data Homogeneity Assessment and Trends in Extreme Precipitation Indices. *Atmospheric Research* 131: 34-45.
- Scheierling SM, Treguer DO, Booker JF, Decker E. 2014. How to Assess Agricultural Water Productivity? Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. Policy Research Working Paper 6982. The World Bank, Washington DC.
- Scheierling SM dan Tréguer DO. 2018. Beyond Crop per Drop: Assessing Agricultural Water Productivity and Efficiency in a Maturing Water Economy. *International Development in Focus*. World Bank, Washington, DC. DOI:10.1596/978-1-4648-1298-9.
- Seckler D, Molden D, Sakthivadivel R. 2003. The Concept of Efficiency in Water Resources Management and Policy. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Serraj R, Bidinger FR, Chauhan YS, Seetharama N, Nigam SN, Saxena NP. 2003. Management of Drought in ICRISAT Cereal and Legume Mandate Crops. Dalam Kijne JW, Barker R, Molden D (ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, London.
- Sharma B, Molden D Cook S. 2015. Water Use Efficiency In Agriculture: Measurement, Current Situation and Trends. Dalam Drechsel P, Heffer P, Magen H, Mikkelsen R, Wichelns D (ed.), *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*, First Edition. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International

Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI), Paris, France.

- Simar L. 1992. Estimating efficiencies from frontier models with panel data: a comparison of parametric, non-parametric and semi-parametric methods with bootstrapping. *The Journal of Productivity Analysis* 3: 171-203.
- Singh R, van Dam JC, Feddes RA. 2006. Water Productivity Analysis of Irrigated Crops in Sirsa District, India. *Agricultural Water Management* 82: 253-278.
- Soemarno MS. 2012. Prinsip-Prinsip Pemodelan Sistem. Bahan Kajian Mata Kuliah Metil Tanah. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Sprague LA, Oelsner GP, Argue DM. 2017. Challenges with Secondary Use of Multi-Source Water-Quality Data in the United States. *Water Research* 110: 252-266.
- Studeto P, Kijne JW, Hanjra MA, Bindraban PS. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. Dalam Molden D (ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan-International Water Management Institute, London-Colombo.
- Suresh A. 2013. Technical Change and Efficiency of Rice Production in India: A Malmquist Total Factor Productivity Approach. *Agricultural Economics Research Review* Vol. 26 (Conference Number): 109-118.
- \_\_\_\_\_. 2015. Efficiency of Agricultural Production in India: An Analysis Using Non-Parametric Approach. *Indian Journal of Agricultural Economics* Vol. 70, No. 4 Oct-Dec 2015.
- Tan KG, Rao K, Rajan R. 2015. How Productive is The Agricultural Sector Across Indian States?. *International Journal of Development Issues* 14(3): 231-248.
- Teixeira AHC dan Bassoi LH. 2009. Crop water productivity in semi-arid regions: From field to large scales. *Annals of Arid Zone* 48(3): 1-13.
- Thomas MJ. 1984. The meaning of marketing productivity analysis. *Marketing Intelligence & Planning* 2 (2):13 – 28. <http://dx.doi.org/10.1108/eb045697>.

- Todaro MP dan Smith SC. 2012. *Economic Development Twelfth Edition*. Pearson Education Inc, New Jersey, USA.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 Tentang Pangan.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization). 2009. *Water in a Changing World: The United Nations World Water Development Report 3*. UNESCO Publishing and Earthscan, Paris dan London.
- Usman M, Liedl R, Shahid MA. 2014. Managing Irrigation Water by Yield and Water Productivity Assessment of a Rice-Wheat System Using Remote Sensing. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 140(7): 04014022.
- Vaidyanathan A dan Sivasubramaniyan K. 2004. Efficiency of Water Use in Agriculture. *Economic and Political Weekly* 39(27): 2989-2996.
- Van den Broeck J, Cunningham SA, Eeckels R, Herbst K. 2005. Data Cleaning: Detecting, Diagnosing, and Editing Data Abnormalities. *PLoS Med* 2(10): e267.
- Vial LK, Lefroy RDB, Fukai S. 2015. Application of Mulch Under Reduced Water Input to Increase Yield and Water Productivity of Sweet Corn in a Lowland Rice System. *Field Crops Research* 171: 120-129.
- Weatherspoon DD, Steele-Adjognon M, Niyitanga F, Dushimumuremyi JP, Naseem A, Oehmke J. 2017. Food Expenditure Patterns, Preferences, Policy, and Access of Rwandan Households. *British Food Journal* 119(6): 1202-1215. DOI: 10.1108/BFJ-09-2016-0408.
- World Food Programme (WFP). 2015. *Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan (FSVA) Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2015*. Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, Dewan Ketahanan Pangan, Kementerian Pertanian and World Food Programme (WFP), Jakarta.
- World Water Council. 2000. *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*. Earthscan Publications, London.
- Xin XF dan Qin F. 2011. Decomposition of Agricultural Labor Productivity Growth and Its Regional Disparity in China. *China Agricultural Economic Review* 3(1): 92 – 100.

- Xu L. 2012. Theoretical and Empirical Studies of Productivity Growth in the Agricultural Economics-Cases of China and the United States. *Physics Procedia* 24: 145 – 148.
- Xue C, Yang X, Bouman BAM, Deng W, Zhang Q, Yan W, Zhang T, Rouzi A, Wang H. 2008. Optimizing Yield, Water Requirements, and Water Productivity of Aerobic Rice for the North China Plain. *Irrig Sci* 26: 459–474.
- Yang Y, Cui Y, Bai K, Luo T, Dai J, Wang W, Luo Y. 2019. Short-term Forecasting of Daily Reference Evapotranspiration Using the Reduced-set Penman-Monteith Model and Public Weather Forecasts. *Agricultural Water Management* 211: 70-80.
- Yao S dan Li H. 2010. Agricultural Productivity Changes Induced by the Sloping Land Conversion Program: An Analysis of Wuqi County in the Loess Plateau Region. *Environmental Management* 45: 541-550.
- Goshu YY, Kitaw D, Matebu A. 2017. Development of productivity measurement and analysis framework for manufacturing companies. *Journal of Optimization in Industrial Engineering* 22 (2017): 1-13. DOI: 10.22094/joie.2017.274.
- Zepada L. 2001. Agriculture Investment, Production Capacity and Productivity. Dalam Zepada L (ed.), *Agricultural Investment and Productivity in Developing Countries* FAO Economic and Social Development Paper No.148. FAO, Rome.
- Zheng H, Bian Q, Yin Y, Ying H, Yang Q, Cui Z. 2018. Closing Water Productivity Gaps to Achieve Food and Water Security for a Global Maize Supply. *Scientific Reports Journal*, 2018.

# GLOSARIUM

<b>Istilah</b>	<b>Definisi</b>
<i>Ahuklean</i>	: Kearifan lokal budidaya jagung oleh petani di bagian selatan Kabupaten Belu, untuk mengatasi bajir dan kegagalan panen. Penanaman jagung pada lubang tugal dengan kedalaman 25-30 cm, selama pertumbuhan jagung tidak diberikan pengairan, dilaksanakan pada musim kemarau pada bulan Juli – Nopember dengan memanfaatkan tanah berlempung di pinggiran sungai dan atau pada lahan bekas aliran sungai (meander).
<i>Data envelopment analysis (DEA)</i>	: Merupakan model <i>frontier</i> non parametrik menggunakan teknik program linier untuk estimasi produksi terbaik relatif berdasarkan data masukan dan keluaran yang tersedia.
Data sekunder	: Merupakan data yang telah dikumpulkan atau dipublikasi oleh instansi atau individu selain peneliti.
Evapotranspirasi acuan (ET <sub>o</sub> )	: Merupakan nilai evaporasi dan transpirasi berdasarkan pertumbuhan rumput yang menutupi tanah pada ketinggian 8-15 cm yang tumbuh dengan baik dan cukup air dan dinyatakan dalam satuan mm/hari.
Evapotranspirasi tanaman (ET <sub>c</sub> )	: Merupakan nilai evaporasi dan transpirasi dari tanaman yang tumbuh dan berproduksi secara optimal pada kondisi iklim tertentu dan dinyatakan dalam satuan mm/hari.
Faktor tunggal	: Memperhatikan faktor input volume penggunaan air konsumtif tanaman
Indeks berantai	: Merupakan perbandingan indeks secara berpasangan dari tahun ke tahun berdasarkan tahun dasar tertentu.

Indeks Pembangunan Manusia (IPM)	: Merupakan indikator kualitas manusia yang dibentuk dari tiga dimensi dasar yaitu umur panjang, pengetahuan dan standar hidup layak.
Jumlah petani (PET)	: Merupakan jumlah petani yang menanam tanaman pangan utama dan dinyatakan dalam satuan orang/tahun.
Luas panen (LPN)	: Merupakan luasan tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur dan dinyatakan dalam satuan hektar/tahun.
Luas tanam (LT)	: Merupakan jumlah luasan tanaman dan dinyatakan dalam satuan hektar/tahun.
<i>Malmquist index</i> (MI)	: Merupakan indeks untuk mengukur perubahan produktivitas antar waktu dan mendekomposisi perubahan total faktor produktivitas (TFPC) menjadi komponen perubahan efisiensi (EFC) dan komponen perubahan teknologi produksi (TEC).
Banyak faktor	: Memperhatikan faktor input luas panen (LPN), jumlah petani (PET) dan pengeluaran petani (PENG).
<i>Multiple inputs – multiple outputs</i> (MIMO)	: Merupakan pendekatan sistim dengan komponen lebih dari satu variabel masukan dan lebih dari satu variabel keluaran.
<i>Multiple inputs- single output</i> (MISO)	: Merupakan pendekatan sistim dengan komponen lebih dari satu variabel masukan dan satu variabel keluaran.
Non parametrik	: Metode yang tidak mensyaratkan sebaran parameter populasi dan sampel data (bebas sebaran).
Panel data	: Merupakan data yang diperoleh dari pengamatan terhadap satu atau beberapa variabel pada selang waktu tertentu.
Parametrik	: Metode yang mensyaratkan sebaran populasi dan sampel data berdistribusi normal.

- Pengeluaran petani (PENG) : Merupakan jumlah pengeluaran petani tanaman pangan utama, terdiri dari jumlah pengeluaran rata-rata perkapita untuk makanan, barang dan jasa serta barang tahan lama dan dinyatakan dalam satuan jutaan rupiah/tahun.
- Penggunaan air tanaman (*Crop Consumptive Water Use = CWU*) : Merupakan volume penggunaan air untuk konsumtif tanaman. Hasil perkalian antara luas lahan terhadap nilai minimal evapotranspirasi tanaman dan curah hujan efektif pada musim penghujan ditambah evapotranspirasi pada musim kemarau dan dinyatakan dalam satuan m<sup>3</sup>.
- Pertumbuhan ekonomi kabupaten/kota (PERTEKO) : Merupakan laju pertumbuhan ekonomi tahunan kabupaten/kota di Wilayah Timor barat yang dinyatakan dalam persen/tahun.
- Total faktor produktivitas air untuk tanaman (TFPAT) : Merupakan pertumbuhan produktivitas air untuk tanaman yang dipengaruhi oleh perubahan efisiensi (EFC) dan perubahan teknologi produksi (TEC).
- Efisiensi (EFC) : Merupakan perubahan nilai produksi terhadap produksi relatif terbaik (*frontier*) pada teknologi produksi yang digunakan.
- Teknologi produksi (TEC) : Merupakan perubahan nilai produksi akibat penggunaan sejumlah input. Perubahan positif meningkatkan produksi relatif terbaik (*frontier*) sedangkan perubahan negatif menurunkan produksi relatif terbaik (*frontier*).
- Polikultur : Sistem budidaya pertanian pada sebidang tanah dengan menanam berbagai jenis tanaman.
- Produksi jagung : Merupakan produksi jagung yang dinyatakan dalam satuan kg pipilan/tahun.
- Produksi padi : Merupakan produksi beras yang dinyatakan dalam satuan kg beras/tahun.
- Produksi pangan : Merupakan produksi pangan utama yang disetarakan produksi beras, merupakan hasil

	agregasi produksi padi dan jagung berdasarkan perbandingan harga konsumen beras dan jagung dan dinyatakan dalam satuan kg beras/tahun.
Produktivitas air untuk tanaman (PAT)	: Merupakan produksi tanaman setiap penggunaan air tanaman dan dinyatakan dalam satuan $\text{kg/m}^3$ .
Rasio presipitasi- evapotranspirasi (RPE)	: Merupakan rasio jumlah curah hujan terhadap jumlah evapotranspirasi.
<i>Single input-single output</i> (SISO)	: Merupakan pendekatan sistim dengan komponen satu variabel masukan dan satu variabel keluaran.
Tanaman pangan	: Merupakan tanaman pangan utama terdiri dari padi dan jagung.
Wilayah Timor Barat	: Merupakan wilayah yang terletak dibagian barat Pulau Timor, secara administratif merupakan bagian dari Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia
<i>Yield</i>	: Produksi tanaman per satuan luas lahan (ton/ha)

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Peninjauan Konsistensi Data Iklim Metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS)

Stasiun:Klimatologi Lasiana Kota Kupang		Komponen: Curah Hujan	
Rata-Rata Tahunan ( <i>Average Annual Rainfall</i> ) (Santos & Fragoso, 2013; Said et al., 2015)			
Data	Yt	SK (Yt-Ybar)	SKK I SK/SY I
1	181	50	1.997
2	127	-3	0.138
3	108	-22	0.880
4	108	-22	0.880
5	108	-22	0.880
6	108	-23	0.897
7	145	15	0.585
8	108	-23	0.903
9	166	35	1.387
10	160	29	1.159
11	133	2	0.090
12	142	11	0.433
13	101	-30	1.177
14	160	29	1.147
15	118	-13	0.510
16	117	-13	0.534
<b>Total</b>	<b>2090</b>		
<b>Rataan</b>	<b>131</b>		
<b>Standar Deviasi</b>	<b>25.256</b>		
<b>Koefisien Variansi (%)</b>	<b>19.332</b>		
<b>Maksimum</b>			<b>1.997</b>
<b>RAPS Hitung (Maks SKK/Sqrt-n)</b>			<b>0.499</b>
<b>RAPS Tabel ( 90%)</b>			1.080
<b>RAPS Tabel ( 95%)</b>			<b>1.188</b>
<b>Hasil Pengujian</b>	<b>RAPS Hit &lt; RAPS Tabel (95%)</b>		<b>Konsisten</b>

### Stasiun: Pos Pengamatan Hujan Soe (Kabupaten TTS)

<b>Komponen: Curah Hujan</b>			
Rata-Rata Tahunan ( <i>Average Annual Rainfall</i> ) (Santos & Fragoso, 2013; Said <i>et al.</i> ,2015)			
<b>Data</b>	<b>Yt</b>	<b>SK (Yt-Ybar)</b>	<b>SKK I SK/SY I</b>
1	215	33	0.881
2	219	37	1.001
3	171	-11	0.300
4	227	45	1.198
5	171	-11	0.287
6	169	-13	0.360
7	196	14	0.378
8	171	-11	0.296
9	166	-16	0.421
10	133	-49	1.306
11	230	48	1.299
12	216	34	0.921
13	141	-41	1.105
14	220	38	1.026
15	161	-21	0.571
16	105	-77	2.058
<b>Total</b>	<b>2911</b>		
<b>Rataan</b>	<b>182</b>		
<b>Standar Deviasi</b>	<b>37.264</b>		
<b>Koefisien Variansi (%)</b>	<b>20.482</b>		
<b>Maksimum</b>			<b>2.058</b>
<b>RAPS Hitung (Maks SKK/Sqrt-n)</b>			<b>0.514</b>
<b>RAPS Tabel ( 90%)</b>			1.080
<b>RAPS Tabel ( 95%)</b>			<b>1.188</b>
<b>Hasil Pengujian</b>	<b>RAPS Hit &lt; RAPS Tabel (95%)</b>		<b>Konsisten</b>

<b>Stasiun: Pos Pengamatan Hujan Kefamenanu (Kabupaten TTU)</b>			
<b>Komponen: Curah Hujan</b>			
Rata-Rata Tahunan ( <i>Average Annual Rainfall</i> ) ( Santos & Fragoso, 2013; Said <i>et al.</i> ,2015)			
<b>Data</b>	<b>Yt</b>	<b>SK (Yt-Ybar)</b>	<b>SKK I SK/SY I</b>
1	85	-46	1.827
2	86	-45	1.774
3	81	-50	1.969
4	93	-38	1.510
5	70	-61	2.418
6	78	-53	2.098
7	163	32	1.271
8	170	40	1.568
9	104	-27	1.068
10	51	-79	3.147
11	82	-49	1.943
12	119	-11	0.451
13	201	70	2.773
14	163	32	1.275
15	99	-31	1.240
16	89	-42	1.669
<b>Total</b>	<b>1731</b>		
<b>Rataan</b>	<b>108</b>		
<b>Standar Deviasi</b>	<b>42.746</b>		
<b>Koefisien Variansi (%)</b>	<b>39.511</b>		
<b>Maksimum</b>			<b>3.147</b>
<b>RAPS Hitung (Maks SKK/Sqrt-n)</b>			<b>0.787</b>
<b>RAPS Tabel ( 90%)</b>			1.080
<b>RAPS Tabel ( 95%)</b>			<b>1.188</b>
<b>Hasil Pengujian</b>	<b>RAPS Hit &lt; RAPS Tabel (95%)</b>		<b>Konsisten</b>

<b>Stasiun: Pos Pengamatan Hujan Atambua (Kabupaten Belu)</b>			
<b>Komponen: Curah Hujan</b>			
Rata-Rata Tahunan ( <i>Average Annual Rainfall</i> ) ( Santos & Fragoso, 2013); Said <i>et al.</i> ,2015)			
<b>Data</b>	<b>Yt</b>	<b>SK (Yt-Ybar)</b>	<b>SKK I SK/SY I</b>
1	185	55	2.169
2	124	-6	0.247
3	200	69	2.733
4	137	7	0.262
5	82	-48	1.919
6	88	-43	1.688
7	145	14	0.562
8	196	65	2.568
9	121	-10	0.385
10	127	-4	0.144
11	171	40	1.598
12	205	75	2.954
13	144	13	0.526
14	131	0	0.011
15	131	1	0.024
16	95	-35	1.398
<b>Total</b>	<b>2283</b>		
<b>Rataan</b>	<b>143</b>		
<b>Standar Deviasi</b>	<b>39.015</b>		
<b>Koefisien Variansi (%)</b>	<b>27.345</b>		
<b>Maksimum</b>			<b>2.954</b>
<b>RAPS Hitung (Maks SKK/Sqrt-n)</b>			<b>0.739</b>
<b>RAPS Tabel ( 90%)</b>			1.080
<b>RAPS Tabel ( 95%)</b>			<b>1.188</b>
<b>Hasil Pengujian</b>	<b>RAPS Hit &lt; RAPS Tabel (95%)</b>		<b>Konsisten</b>

**Lampiran 2. List Program Model Data Envelopment Analysis-Malmquist Indeks (DEA-MI-PAT) Menggunakan Program DEAP Versi 2.1.**

**Lampiran 2A. List Program Model Data Envelopment Analysis-Malmquist Indeks Faktor Tunggal (Model DEA-MI-PAT-FT)**

1. *List Program Model DEA-MI-PAT-FT Versi Single input – single output (SISO)*

pNP-data.txt	DATA FILE NAME
pNP-out.txt	OUTPUT FILE NAME
5	NUMBER OF FIRMS
16	NUMBER OF TIME PERIODS
1	NUMBER OF OUTPUTS
1	NUMBER OF INPUTS
1	0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED
1	0=CRS AND 1=VRS
2	0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA, 3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)

2. *List Program Model DEA-MI-PAT-FT Versi Multiple inputs – multiple outputs (MIMO)*

m1NP-dat.txt	DATA FILE NAME
m1NP-out.txt	OUTPUT FILE NAME
5	NUMBER OF FIRMS
16	NUMBER OF TIME PERIODS
1	NUMBER OF OUTPUTS
2	NUMBER OF INPUTS
1	0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED
1	0=CRS AND 1=VRS
2	0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA, 3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)

**Lampiran 2B. List Program Model Data Envelopment Analysis-Malmquist Indeks Banyak Faktor (Model DEA-MI-PAT-BFR)**

1. *List Program Model DEA-MI-PAT-BFR Versi Single input – single output (SISO)*

pNP-data.txt                    DATA FILE NAME  
 pNP-out.txt                    OUTPUT FILE NAME

5            NUMBER OF FIRMS  
 16          NUMBER OF TIME PERIODS  
 1            NUMBER OF OUTPUTS  
 3            NUMBER OF INPUTS  
 1            0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED  
 1            0=CRS AND 1=VRS  
 2            0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA,  
               3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)

2. *List Program Model DEA-MI-PAT-BFR Versi Multiple inputs – single output (MISO)*

fNP-data.txt                    DATA FILE NAME  
 fNP-out.txt                    OUTPUT FILE NAME

5            NUMBER OF FIRMS  
 16          NUMBER OF TIME PERIODS  
 1            NUMBER OF OUTPUTS  
 3            NUMBER OF INPUTS  
 1            0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED  
 1            0=CRS AND 1=VRS  
 2            0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA,  
               3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)

3. *List Program Model DEA-MI-PAT-BFR Versi Multiple inputs – multiple outputs (MIMO) m1NP-dat.txt    DATA FILE NAME*

1.    m1NP-dat.txt            DATA FILE NAME  
       m1NP-out.txt            OUTPUT FILE NAME

5            NUMBER OF FIRMS  
 16          NUMBER OF TIME PERIODS  
 2            NUMBER OF OUTPUTS  
 6            NUMBER OF INPUTS  
 1            0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED  
 1            0=CRS AND 1=VRS  
 2            0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA,  
               3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)



**Jonathan E. Koehuan** sejak tahun 1997 bekerja sebagai dosen tetap Pada Program Studi S1 Mekanisasi Pertanian Universitas Kristen Artha Wacana (UKAW). Lahir di Kupang, 31 Juli 1970. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Teknologi Pertanian (STP) pada tahun 1995 dari Institut Teknologi Indonesia (ITI) Serpong. Meraih gelar Magister Pertanian (MP) dari Program Pasca Sarjana Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada-Jogjakarta pada tahun 2002 dan mendapatkan gelar Doktor Teknologi Industri Pertanian dari Universitas Brawijaya-Malang pada tahun 2021.

Selain beraktivitas sebagai dosen, penulis juga bekerja sebagai konsultan dan pengamat Pembangunan Teknik pertanian, lingkungan dan perubahan iklim.

**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**  
Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581  
Telp/Fax : (0274) 4533427  
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)  
📖 Penerbit Deepublish  
📱 @penerbitbuku\_deepublish  
🌐 [www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)



Kategori : Pertanian

ISBN 978-634-01-0589-6



9 786340 105896