

# MODEL NUMERIS UNTUK MENGHITUNG KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Muhammad Arafat<sup>1)</sup>, Mudjiatko<sup>2)</sup>, Andy Hendri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : muhammadarafat33@gmail.com

## ABSTRACT

*Analysis of irrigation water requirements by using a manual analysis model will make calculations longer, repetitive simulations and calculations will require high accuracy and require a relatively long time. We need the fastmodel, the fastmodel is a numerical model where repetitive calculations and repetitive simulations will be faster. What is the numerical model for calculating the needs of irrigation water with a variety of patterns and optimal planting time that is valid in solving the problem of need for comprehensive irrigation water. Result of rain data calculation was validated with several tests, by testing Outlier Test, Calculation of Effective Rainfall, Calculation of Evapotranspiration, and water requirements. It was found that numerical model for calculating the needs of irrigation water with validation and obtained results that were not much different. Optimal irrigation water requirements which use a small amount of channel water.*

*Keywords : analysis of irrigation water needs, numerical models, calculation validation*

## PENDAHULUAN

Dalam perencanaan kebutuhan irigasi pemerintah biasa menggunakan model analisis secara manual dimana hasilnya berupa tabel, dan grafik. Perhitungan dengan menggunakan model manual sangat lama ketika melakukan bermacam simulasi dan perhitungan secara berulang-ulang. Sehingga dibutuhkan suatu metode yang cepat, dimana metode tersebut adalah metode numeris. Model numeris merupakan suatu model pendekatan yang disusun berdasarkan data yang didapatkan dari lapangan atau dari hasil suatu penelitian dan menggambarkan kinerja suatu proses, akan tetapi model numeris tidak akan mempunyai arti apabila penyelesaiannya diselesaikan dalam waktu relative lama. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan waktu penyelesaian yang cepat maka software sebagai alat bantu yang sangat diperlukan (Sasongko, 2010).

Penelitian menggunakan model numerik dilakukan oleh Debach (2011) menganalisa untuk peningkatan efisiensi pintu dengan model numeris. menunjukkan bahwa untuk meningkatkan ketahanan sistem irigasi maka membutuhkan optimalisasi dan tolak ukur cara kerja seperti

ambang pintu irigasi dan jumlah irigasi. Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui bahwa model numerik merupakan cara yang cepat dan menghasilkan nilai yang akurat untuk mengoptimalkan suatu pekerjaan seperti menggunakan parameter operasional. Bagaimanapun pekerjaan yang kecil telah dipengaruhi untuk menginvestigasi hubungan antara penjadwalan irigasi, ambang pintu irigasi dan jumlah irigasi.

Permasalahan pada penelitian ini yaitu simulasi kebutuhan air irigasi dengan manual membutuhkan waktu yang lama dan tingkat error yang tinggi. sedangkan model numeris maka perhitungan lebih cepat, simulasi lebih banyak dan hasilnya dapat diketahui lebih cepat. Sehingga permasalahannya bagaimana model numeris untuk menghitung kebutuhan air irigasi dengan variasi pola dan waktu tanam yang optimal yang valid dalam menyelesaikan masalah kebutuhan air irigasi secara konferhensif berdasarkan Kriteria Perencanaan (KP).

Tujuan dari penelitian ini adalah : membuat model numeris untuk menghitung kebutuhan air irigasi dengan pola dan waktu tanam yang optimal.

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- a. Simulasi kebutuhan air irigasi dengan cepat
- b. Sebagai sumber referensi bagi penelitian sejenis, dan
- c. Sumbangan informasi kepada para pengambil kebijakan dalam peningkatan produksi pertanian serta meningkatkan kesejahteraan petani.

### **Model Numeris**

Model numeris merupakan suatu model pendekatan yang disusun berdasarkan data yang didapatkan dari lapangan atau dari hasil suatu penelitian. Model tersebut dapat menggambarkan kinerja dari suatu proses, akan tetapi model numeris tidak akan mempunyai arti apabila tidak ada penyelesaiannya atau diselesaikan dalam waktu relatif lama. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan waktu penyelesaian yang relative cepat, maka komputer sebagai alat bantu akan sangat diperlukan (Sasongko, 2010).

### **Pemeriksaan Data**

#### **1. Uji Keangghahan**

Data hujan yang diketahui tidak panggah harus dikoreksi terlebih dahulu. Penyelidikan ketidakpanggahan data pada satu seri data hujan dapat diselidiki dengan menggunakan metode lengkung massa ganda (Soemarto, 1999).

#### **2. Pemeriksaan Adanya *Outlier***

*Outlier* adalah data dengan nilai jauh diantara data–data yang lain. Keberadaan outlier biasanya mengganggu pemilihan jenis distribusi frekuensi untuk suatu sampel data.

### **Uji Kecocokan**

#### **1. Uji Smirnov Kolgomorov**

Uji kecocokan Smirnov Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut (Suripin, 2004).

#### **2. Uji Chi-Kuadrat**

Uji Chi–Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$ , yang dapat dihitung dengan rumus berikut (Suripin, 2004).

### **Analisa Frekuensi**

Analisa frekuensi dilakukan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas (Triatmodjo, 2009).

### **Analisa Statistik**

Secara umum dapat dikatakan bahwa metode statistik adalah prosedur yang digunakan dalam pengumpulan, perhitungan, penyajian, analisa dan penafsiran data. Analisa statistik tersebut antara lain adalah sebagai berikut : Rata-rata Hitung, Standar Deviasi, Koefisien Variasi ( $C_v$ ), Koefisien Skewness ( $C_s$ ), Pengukuran Kurtosis ( $C_k$ ),

### **Curah Hujan Efektif**

Curah hujan efektif adalah bagian dari keseluruhan curah hujan yang secara efektif tersedia untuk kebutuhan tanaman (Tanga, 2007).

### **Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi adalah peristiwa berubahnya air menjadi uap ke udara bergerak dari permukaan tanah, permukaan air dan penguapan melalui tanaman. Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak, maka evapotranspirasi itu disebut evapotranspirasi potensial (Dirjen Dikti, 1997).

### **Kebutuhan Air Tanaman**

Kebutuhan air irigasi netto ( $NFR$ ) dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi ( $Etc$ ) dan perkolasi ( $P$ ) pada suatu lahan pertanian, semakin besar nilai  $Etc$  dan  $P$  maka kebutuhan air tinggi. Nilai  $NFR$  adalah

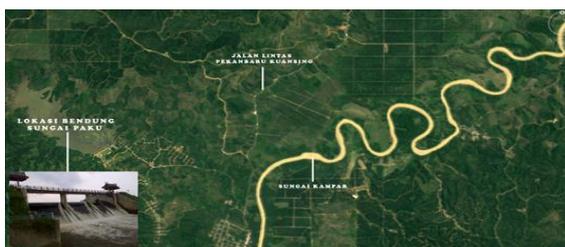
jumlah total evapotranspirasi dan perkolasi dikurang dengan jumlah total curah hujan efektif ( $Re$ ) dan Water Level Requirements/penggantian lapisan air ( $WLR$ ). Apabila  $NFR$  bernilai negatif (-) artinya curah hujan efektif dapat memenuhi kebutuhan air tanaman, namun apabila  $NFR$  bernilai positif (+) artinya curah hujan efektif tidak dapat memenuhi kebutuhan air tanaman sehingga diperlukan jumlah air tambahan yang berasal dari saluran irigasi. Pada perhitungan kebutuhan air palawija nilai  $WLR$  tidak diperhitungkan, karena pada saat persiapan lahan palawija tidak memerlukan proses pergantian air.

Umur tanaman atau stadia pertumbuhan tanaman sangat mempengaruhi besarnya kebutuhan air di lahan pertanian. Hal ini tercermin dalam nilai koefisien tanaman ( $Kc$ ) yang terdapat dalam persamaan Penman. Pengetahuan mengenai koefisien tanaman ( $Kc$ ) akan membantu dan mempermudah dalam menghitung kebutuhan air oleh tanaman (Tanga, 2007).

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Studi Kasus

Lokasi studi kasus pada penelitian ini berada di Desa Sei Paku Kecamatan Kampar Kiri Kabupaten Kampar. Data yang digunakan data hujan dan data klimatolog. Dalam penelitian ini sebagai contoh perhitungan menggunakan data hujan Lipat Kain dan data klimatologi Kota Baru. Daerah Irigasi Sei Paku ini berada  $\pm 75$  Km dari kota Pekanbaru, lebih tepatnya berada di Desa Sei Paku Kecamatan Kampar Kiri Kabupaten Kampar dengan posisi koordinat bendung  $00^{\circ} 03' 32,6''$  LU dan  $101^{\circ} 10' 30,1''$  BT. Lokasi bendung Sei Paku dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Embung Sei Paku  
(Sumber : Google Earth 2017)

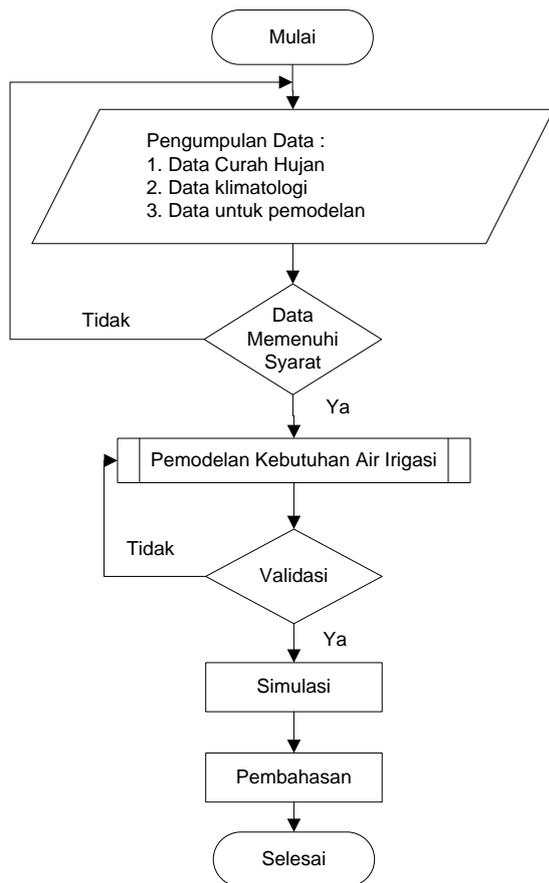
### Data Penelitian

Data pada penelitian ini hanya data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan tinjauan kepustakaan dan instansional dari instansi–instansi terkait, untuk data sekunder yang digunakan pada penelitian ini sebagai contoh perhitungan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Sumatra III Propinsi Riau. Data sekunder yang digunakan meliputi letak geografis, data hidrologi, dan data meteorologi. Adapun penjelasan dari data yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Letak geografis irigasi di Sei Paku,
2. Data hidrologi yaitu data curah hujan 14 tahun terakhir dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2013 yaitu stasiun hujan Lipat Kain,
3. Data klimatologi 14 tahun terakhir dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2013 dari stasiun Koto Baru Kecamatan Kampar Kiri, Kabupaten Kampar yang akan dipergunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial.

### Prosedur Penelitian

Tahap-tahap penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, proses pemodelan, simulasi, dan pembahasan. Secara umum dituangkan ke dalam diagram alir penelitian, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tahap-tahap pemodelan kebutuhan air irigasi terdiri :

### 1. Input Data

Penginputan data pada pemodelan ini menggunakan data hujan dan data klimatologi. Data yang diinput maksimum 14 (Empat Belas) tahun. Untuk rumus dan ketentuan-ketentuan yang lain sudah ada dalam program.

### 2. Proses Data

Data yang sudah diinput akan melalui beberapa proses, proses tersebut diantara lain: Klimatologi, Curah Hujan, Uji distribusi, Analisa Curah Hujan, Hujan Efektif, Evapotranspirasi, dan Kebutuhan Air.

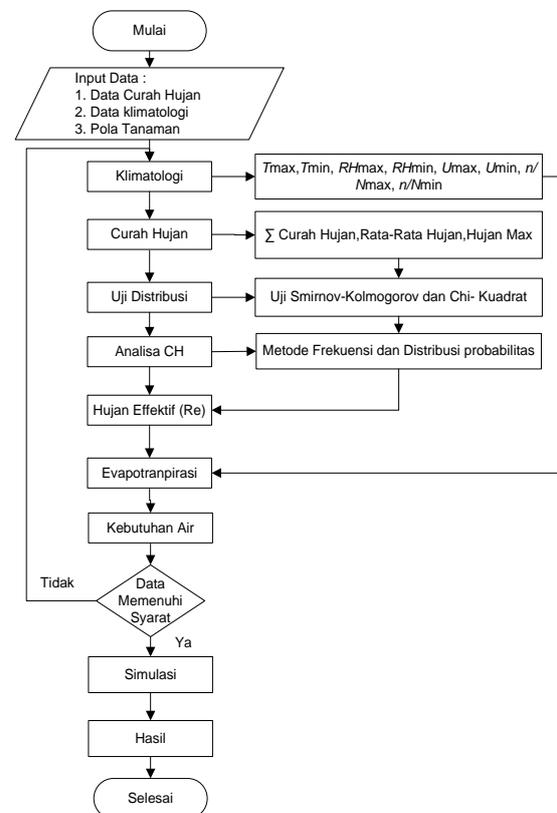
### 3. Validasi

Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah program yang dibuat sudah benar dengan rumus yang ada dengan cara membandingkan perhitungan menggunakan excel dan menggunakan macro excel.

### 4. Simulasi

Simulasi disini dilakukan untuk mengetahui dibulan apa pola tanam efektif untuk menanam padi atau palawija, sehingga kebutuhan air yang ada bisa dipergunakan dengan sebaiknya. Dengan simulasi ini, akan memberikan informasi pola dan waktu tanam yang optimal. Perhitungan kebutuhan air tanaman yang dilakukan pada penelitian ini dengan enam simulasi, yaitu Padi-Padi-Padi, dan Padi-Padi-Palawija, Padi-Padi-Bero.

secara umum dituangkan ke dalam diagram alir tahap pemodelan kebutuhan air irigasi, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahap Pemodelan Kebutuhan Air Tanaman

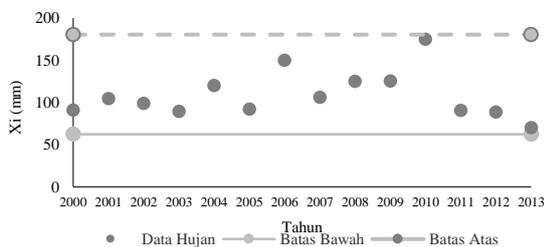
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisa Data Hujan

Sebelum data curah hujan digunakan dalam penelitian, maka terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan kebenaran dan kelengkapan data curah hujan tersebut. Pengujian data hujan yang dilakukan pada stasiun Lipat Kain meliputi pengujian kekonsistensian/kepanggaan (memerlukan

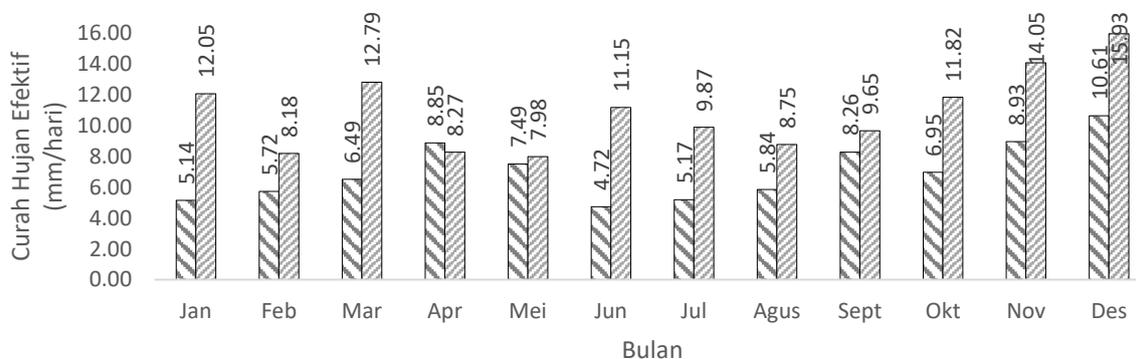
stasiun hujan lainnya yang terdekat sebagai referensi), batasan maksimum dan minimum nilai data (uji *outlier*).

Setelah data Stasiun Lipat Kain dapat dinyatakan homogen maka selanjutnya dilakukan pengujian *outlier* yang bertujuan untuk melihat apakah data hujan maksimum dan minimum Stasiun Lipat Kain berada pada interval batas maksimum dan minimum yang diperbolehkan. Berdasarkan hasil pengujian *outlier* Stasiun Lipat Kain dengan validasi yang dapat dilihat pada Gambar 4, batas maksimum yang diperbolehkan sebesar 180,4252 mm dan batas minimum yang diperbolehkan sebesar 62,3362 mm. Dari data curah hujan Stasiun Lipat Kain, diperoleh bahwa nilai curah hujan rata-rata harian maksimum data hujan pada Stasiun Lipat Kain sebesar 175,00 mm dan nilai curah hujan rata-rata harian minimumnya sebesar 70,00 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data curah hujan Stasiun Lipat Kain berada pada interval yang diperbolehkan tanpa harus mengalami perbaikan data terlebih dahulu.



Gambar 4. Grafik Uji Outlier

## 2. Analisa Curah Hujan Efektif (*Re*)



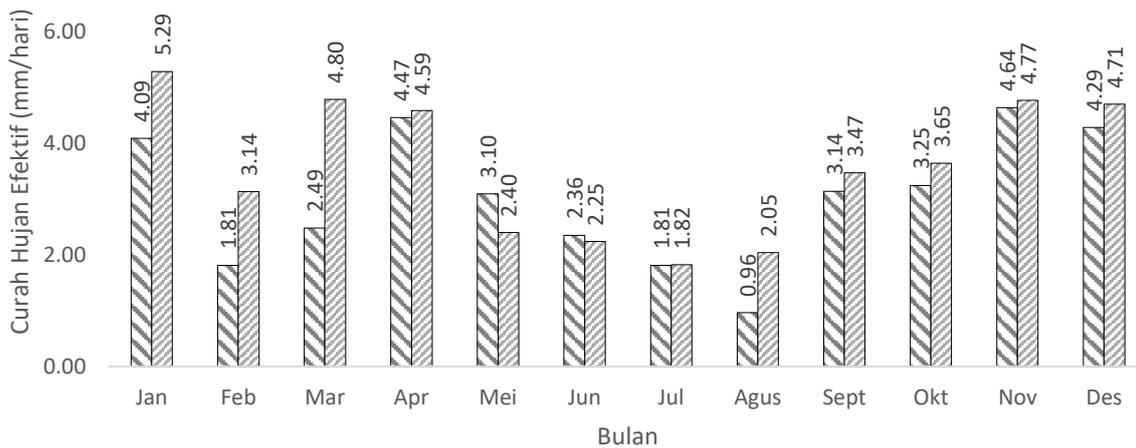
Gambar 5. Curah Hujan Efektif (*Re*) Periode I dan Periode II Tanaman Padi

Perhitungan curah hujan efektif (*Re*) tanaman padi dan palawija dimulai dari bulan November, dilakukan dengan mengambil nilai 80 persen dari nilai hujan rencana kala ulang 5 tahunan (didapat dengan distribusi frekuensi Log Person III). Sedangkan untuk perhitungan *Re* palawija dilakukan dengan mengambil nilai 50 persen dari nilai hujan rencana kala ulang 5 tahunan

Curah hujan efektif tanaman padi maksimum terjadi pada bulan desember periode II sebesar 15,93 mm/hari, curah hujan efektif tanaman padi minimum terjadi pada bulan juni periode I sebesar 4,72 mm/hari. Nilai *Re* menunjukkan tanaman padi dimana nilai tersebut akan digunakan untuk perencanaan pola dan jadwal tanam. Untuk jadwal tanam padi pada curah hujan terbesar digunakan untuk masa tanam dan curah hujan terkecil untuk masa panen, dan curah hujan efektif periode I dan periode II dapat dilihat pada Gambar 5.

Curah hujan efektif tanaman palawija maksimum terjadi pada bulan Januari periode I sebesar 5,29 mm/hari, curah hujan efektif tanaman palawija minimum terjadi pada bulan Agustus periode I sebesar 0,96 mm/hari. Nilai  $Re$  menunjukkan tanaman palawija dimana nilai tersebut akan

digunakan untuk perencanaan pola dan jadwal tanam. Untuk jadwal tanam palawija pada curah hujan terbesar digunakan untuk masa tanam dan curah hujan terkecil untuk masa panen, dan curah hujan efektif periode I dan Periode II dapat dilihat pada Gambar 6.

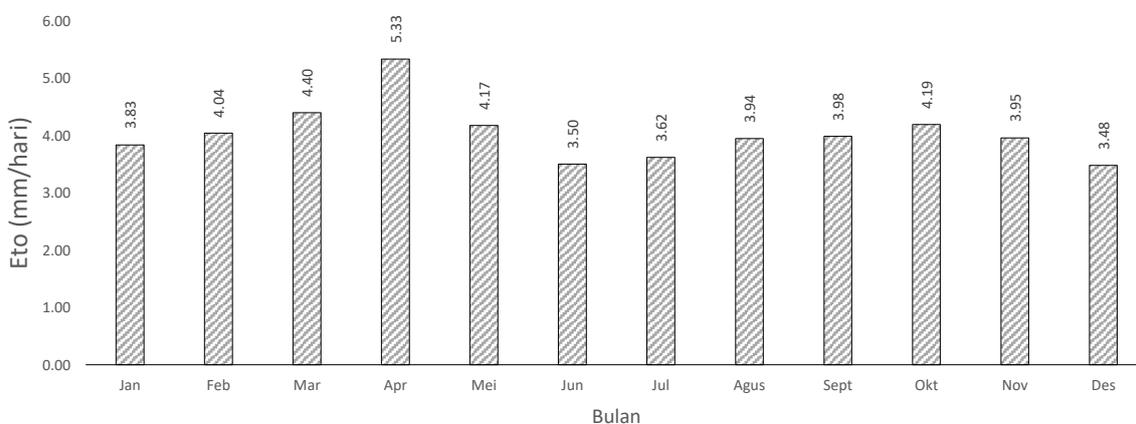


Gambar 6. Curah Hujan Efektif ( $Re$ ) Periode I dan Periode II Tanaman Palawija

### 3. Perhitungan Evapotranspirasi Metode Penman Modifikasi

Nilai evapotranspirasi ( $Eto$ ) harian di asumsikan telah mewakili semua nilai  $Eto$  harian pada satu bulan yang sama. Nilai  $Eto$  maksimum terjadi pada bulan April sebesar 5,88 mm/hari. Faktor yang mempengaruhi besar evapotranspirasi diantaranya

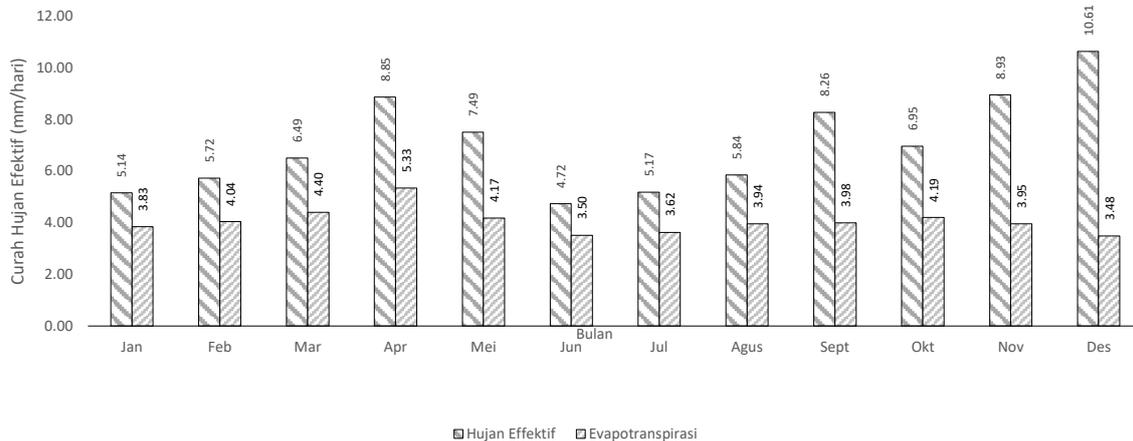
temperatur, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan penyinaran matahari. Sedangkan evapotranspirasi minimum terjadi pada bulan Desember sebesar 3,90 mm/hari. Besar kecilnya evapotranspirasi yang terjadi, akan berpengaruh terhadap kebutuhan air tanaman. Nilai evapotranspirasi dapat dilihat pada Gambar 7.



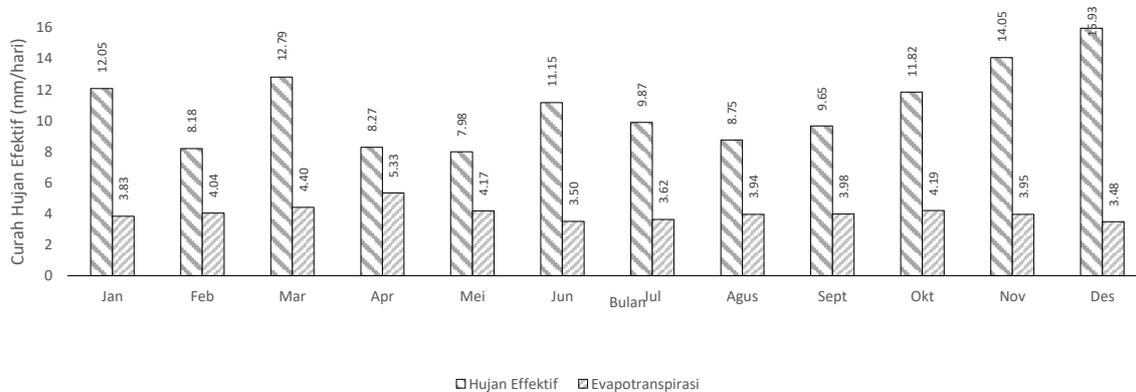
Gambar 7. Evapotranspirasi ( $Eto$ ) Metode Penman Modifikasi

Adapun hasil perhitungan nilai curah hujan efektif ( $R_e$ ) tanaman padi pada Daerah Irigasi Sei Paku dibandingkan dengan nilai evapotranspirasi maka dapat diketahui pada bulan apa saja yang tidak bisa ditanami padi. Dengan demikian untuk menanam padi dapat dilakukan pada setiap

bulan. Karena penguapan yang terjadi pada evapotranspirasi lebih kecil daripada curah hujan efektif. Oleh karena itu dapat mengatur berbagai macam pola tanam padi. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Perbandingan Curah Hujan Efektif ( $R_e$ ) Periode I Tanaman Padi dengan Evapotranspirasi

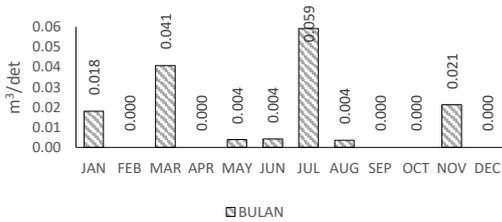


Gambar 9. Perbandingan Curah Hujan Efektif ( $R_e$ ) Periode II Tanaman Padi dengan Evapotranspirasi

#### 4. Analisa Kebutuhan Air Tanaman

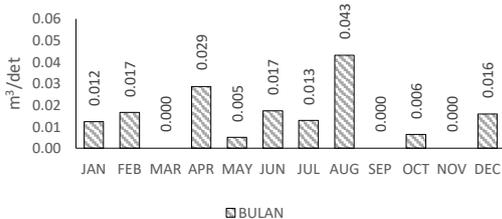
Berdasarkan perhitungan kebutuhan air tanam dengan metode FAO (Tabel 2.26), kebutuhan air tanaman di Daerah Irigasi Sei Paku dilakukan simulasi setiap periode pada tiap bulan. Dengan pola tanam padi-padi-padi dengan luas tanam 80 Ha, jenis tanah tekstur sedang, waktu penyediaan lahan 30 hari, kedalaman ( $S$ ) 250 mm, dan standar varietas Unggul FAO, dan didapat

hasil yang optimal dan waktu yang optimal dibulan November periode I dengan kebutuhan air yang sedikit. Kebutuhan air yang terbesar terdapat pada saat persiapan lahan pada bulan Juli sebesar  $0,059 \text{ m}^3/\text{det}$ . Kebutuhan air akan semakin berkurang seiring pertumbuhan tanaman hingga masa panen dan curah hujan efektif cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kebutuhan Air Rencana Awal Padi-Padi-Padi November Periode I

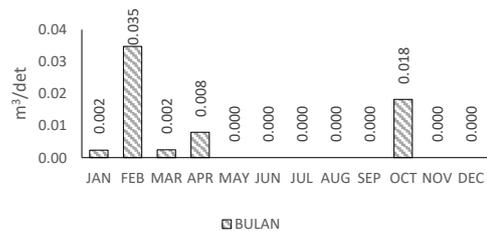
Berdasarkan perhitungan kebutuhan air tanam dengan metode FAO, kebutuhan air tanaman di Daerah Irigasi Sei Paku dilakukan simulasi setiap periode pada tiap bulan. Dengan pola tanam padi-padi-palawija dengan luas tanam 80 Ha, jenis tanah tekstur sedang, waktu penyediaan lahan 30 hari, kedalaman (*S*) 250 mm, dan standar varietas Unggul FAO, dan didapat hasil yang yang optimal dan waktu yang optimal dibulan Maret periode II dengan kebutuhan air yang sedikit. kebutuhan air yang terbesar terdapat pada saat persiapan lahan pada bulan Agustus sebesar 0.043 m<sup>3</sup>/det. Kebutuhan air akan semakin berkurang seiring pertumbuhan tanaman hingga masa panen dan curah hujan efektif untuk pola ini tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, sehingga dibutuhkan air dari saluran. Dan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Kebutuhan Air Rencana Awal Padi-Padi-Palawija Maret periode II

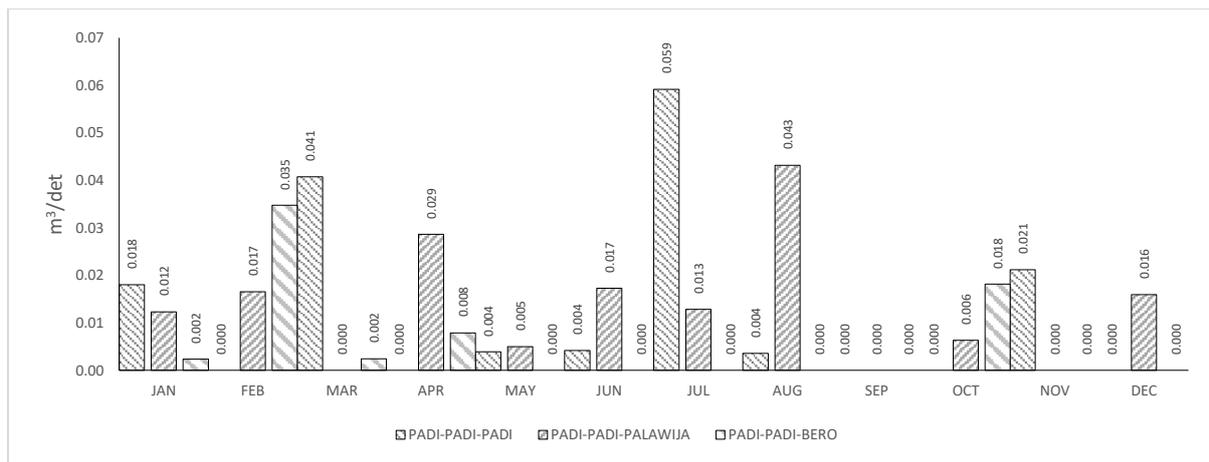
Berdasarkan perhitungan kebutuhan air tanam dengan metode FAO, kebutuhan air tanaman di Daerah Irigasi Sei Paku dilakukan simulasi setiap periode pada tiap bulan. Dengan pola tanam padi-padi-beroo dengan luas tanam 80 Ha, jenis tanah tekstur sedang, waktu penyediaan lahan 30 hari, kedalaman (*S*) 250 mm, dan standar varietas Unggul FAO, dan didapat hasil

yang yang optimal dan waktu yang optimal dibulan Oktober periode I dengan kebutuhan air yang sedikit. Kebutuhan air yang terbesar terdapat pada saat persiapan lahan pada bulan Februari sebesar 0.035 m<sup>3</sup>/det. Kebutuhan air akan semakin berkurang seiring pertumbuhan tanaman hingga masa panen dan curah hujan efektif cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. dan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kebutuhan Air Rencana Awal Padi-Padi-Bero Oktober Periode I

Berdasarkan perhitungan kebutuhan air tanam dengan metode FAO, kebutuhan air tanaman di Daerah Irigasi Sei Paku dilakukan simulasi setiap periode pada tiap bulan. Dengan pola tanam padi-padi-padi, padi-padi-palawija, padi-padi-beroo dengan luas tanam 80 Ha, jenis tanah tekstur sedang, waktu penyediaan lahan 30 hari, kedalaman (*S*) 250 mm, dan standar varietas Unggul FAO, dan didapat hasil yang yang optimal dengan komoditas dan waktu yang optimal di pola tanam padi-padi-beroo pada bulan Oktober periode I dengan kebutuhan air yang sedikit. kebutuhan air yang terkecil terdapat pada simulasi padi-padi-beroo dengan awal waktu tanam bulan Oktober periode I, dan curah hujan efektif cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Komoditas yang banyak dan waktu tanam yang optimal pada simulasi padi-padi-beroo dengan awal tanam bulan Oktober periode I membutuhkan air pada bulan Januari sebesar 0,012 m<sup>3</sup>/det, bulan Februari sebesar 0,035 m<sup>3</sup>/det, bulan Maret sebesar 0,002 m<sup>3</sup>/det, bulan April sebesar 0,08 m<sup>3</sup>/det, dan bulan Oktober sebesar 0,018 m<sup>3</sup>/det. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Kebutuhan Air Optimal Pola Tanam Padi-Padi-Bero

## KESIMPULAN

Hasil Model Numeris Analisis Kebutuhan Air Tanaman dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Kebutuhan air irigasi yang dihitung dengan melakukan validasi antara model manual dan dihitung dengan model numeris dan didapat hasil yang tidak jauh berbeda. Maka model tersebut valid untuk dilakukan simulasi berikutnya.
2. Simulasi yang dihasilkan padi-padi-padi, padi-padi-palawija, dan padi-padi-bero, bahwa simulasi yang optimal ada pada padi-padi-bero. Kebutuhan air yang terkecil dengan awal waktu tanam bulan oktober periode I, simulasi ini sangat minim membutuhkan air pada saluran. Dikarenakan curah hujan efektif pada masa tanam sangat besar dan memenuhi pada pola tanam dan bulan tersebut.

Hasil simulasi kebutuhan air tanaman menunjukkan penggunaan air terbesar pada penyiapan lahan, pada masa tanam kebutuhan air berangsur-angsur turun.

## SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan adalah penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan lebih banyak variasi pola tanam, memperhitungkan efisiensi saluran, dan menentukan optimalisasi kebutuhan air tanaman secara langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Debach, S., Lazarovitch, N., Simunek, J., Shani, U. 2011. *Numerical Investigation of Irrigation Scheduling based on soil water status*. Springer-Verlag.
- Sasongko, S.B. 2010. *Metode Numerik dengan Scilab*. Yogyakarta: Andi Offset
- Soemarto, C.D, 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta. Erlangga
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Tanga, F.A. 2007. *Studi Peningkatan/Optimalisasi Daerah Irigasi (Di) Lagare, Kabupaten Nabire Propinsi Papua*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil Teknologi Bandung (ITB) Jurusan Teknik Sipil.
- Triatmodjo, B. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta. Beta Offset