

# OPTIMASI PEMANFAATAN EMBUNG TLAMBAH DI KECAMATAN KARANG PENANG, KABUPATEN SAMPANG MADURA UNTUK JARINGAN IRIGASI DAN KEBUTUHAN AIR BAKU

Mohamad Fajrin Hernata<sup>(1)</sup>, Nadjadji Anwar<sup>(2)</sup> dan Nastasia Festy Margini<sup>(3)</sup>  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail : <sup>(1)</sup>[fajrin.nata@gmail.com](mailto:fajrin.nata@gmail.com); <sup>(2)</sup>[nadjadji@ce.its.ac.id](mailto:nadjadji@ce.its.ac.id); <sup>(3)</sup>[nastasia@ce.its.ac.id](mailto:nastasia@ce.its.ac.id)

**Abstrak**— Kecamatan Karang Penang merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Sampang-Madura yang selalu mengalami banjir dan kekeringan tiap tahunnya. Berdasarkan data tahun 2016, Kecamatan Karang Penang sendiri memiliki luas wilayah 84,25 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk 67.549 jiwa (BPS Sampang, 2016). Disisi lain peningkatan jumlah penduduk juga menuntut cukupnya ketersediaan air baku dan irigasi baik dimusim penghujan terlebih dimusim kemarau. Salah satu solusi untuk mengatasi kekeringan adalah pembangunan Embung Tambah di Kecamatan Karang- Penang, Sampang-Madura. Dimana embung tersebut memiliki volume tampungan sebesar 409.207 m<sup>3</sup>, dengan luas genangan air sebesar 0,98 ha. Sehubungan dengan adanya permasalahan dalam pemenuhan kebutuhan irigasi dan air baku, maka perlu adanya optimasi pemanfaatan Embung Tambah untuk kebutuhan irigasi dan air baku. Analisa awal yang dilakukan adalah menentukan debit inflow Operasi Embung Tambah yaitu debit hujan tersedia metode FJ Mock, di DAS Embung Tambah yang disesuaikan terhadap data hujan dari stasiun hujan yang berpengaruh menggunakan metode Poligon Thiessen. Selanjutnya debit inflow tersebut dibangkitkan selama tahun proyeksi minimal setengah umur operasi embung (Tahun 2016-2045) menggunakan metode Data Bangkitan Inflow Thomas-Fiering. Analisa berikutnya merupakan analisa debit outflow untuk kebutuhan air baku sesuai dengan jumlah penduduk yang diproyeksikan menggunakan metode Geometrik. Sedangkan untuk outflow kebutuhan irigasi disesuaikan dengan pola tanam eksisting. Kemudian dilanjutkan dengan evaluasi kondisi tampungan Embung Tambah yang mengacu pada pola operasi water balance inflow-outflow selama tahun proyeksi. Hasil evaluasi pola operasi/ water balance kondisi tampungan Embung Tambah selama tahun proyeksi untuk kebutuhan air baku (kondisi jam puncak sebesar 128,36 liter/detik) dan kebutuhan irigasi eksisting (padi sebesar 151,14 liter/detik; polowijo sebesar 5,86 liter/detik dan tembakau sebesar 31,56 liter/detik) menunjukkan rasio keandalan pemenuhan kebutuhan air tiap periode operasi embung sebesar 63,89%. Sehingga untuk meningkatkan rasio keandalan pemenuhan kebutuhan tersebut dilakukan optimasi melalui simulasi beberapa alternatif pola-tanam irigasi menggunakan program bantu POM-QM for Windows 3 metode Program Linier, dengan hasil terbaik pola tanam alternatif 2 (musim hujan : polowijo-tembakau, musim kemarau I : padi-tembakau, musim kemarau II : bero) yang menghasilkan keuntungan pertanian pertanian terbesar sebesar Rp 7.914.367.550, sehingga terjadi peningkatan keandalan sebesar 69,17%. Selain itu dilakukan juga opsi optimasi melalui simulasi penambahan kapasitas volume embung/ peninggian tubuh embung setinggi 7 m dengan hasil volume baru embung sebesar 1.177.143 m<sup>3</sup> dan luas genangan baru sebesar 1,74 ha, sehingga terjadi peningkatan rasio keandalan pemenuhan kebutuhan sebesar 84,54%.

**Kata Kunci** : air baku, debit inflow bangkitan, embung tambah, irigasi, kekeringan, optimasi, program linier, water balance

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan upaya pemerintah untuk mengatasi kekeringan yang terjadi di Sampang – Madura, maka Pemerintah Kecamatan Karang Penang membangun Embung Tambah yang memiliki luas wilayah tampungan 3,75 ha di Desa Tambah, Kecamatan Karang Penang, Sampang- Madura. (Keputusan Gubernur Jawa Timur, 2013)<sup>[1]</sup>. Sehubungan dengan permasalahan diatas terkait upaya mengatasi kekeringan di Kabupaten Sampang – Madura, perlu dilakukannya pengoptimasian tampungan Embung Tambah berdasarkan evaluasi simulasi pola pengoperasiannya/ reservoir operation untuk penyediaan air baku dan kebutuhan irigasi di Kecamatan Karang Penang selama tahun proyeksi.

### A. Rumusan Masalah

Dalam pengoptimasian kapasitas Embung Tambah di Kecamatan Karang Penang, Kabupaten Sampang- Madura terdapat rumusan masalah yang perlu dianalisa yaitu :

#### Permasalahan Utama :

Bagaimana optimasi pemanfaatan Embung Tambah terkait evaluasi pola operasi embung selama tahun proyeksi untuk kebutuhan air baku dan irigasi eksisting.

#### Detail Permasalahan :

1. Berapa debit hujan tersedia pada DAS Embung Tambah?
2. Berapa kebutuhan air baku Kecamatan Karang Penang, Sampang – Madura?
3. Berapa kebutuhan air irigasi Kecamatan Karang Penang berdasarkan pola tanam eksisting?

4. Bagaimanakah simulasi optimasi Embung Tambah untuk penyediaan air baku dan irigasi terkait evaluasi kondisi tampungan eksisting?

### B. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengoptimasian pemanfaatan Embung Tambah ini adalah sebagai berikut :

#### Tujuan Utama :

Mengetahui optimasi pemanfaatan Embung Tambah terkait evaluasi pola operasi embung selama tahun proyeksi untuk kebutuhan air baku dan irigasi eksisting.

#### Detail Tujuan :

1. Mengetahui debit hujan tersedia pada DAS Embung Tambah.
2. Mengetahui jumlah kebutuhan air baku Kecamatan Karang Penang, Sampang – Madura.
3. Mengetahui jumlah kebutuhan air irigasi Kecamatan Karang Penang berdasarkan pola tanam eksisting.
4. Mengetahui simulasi optimasi Embung Tambah untuk penyediaan air baku dan irigasi terkait evaluasi kondisi tampungan eksisting.

### C. Batasan Masalah

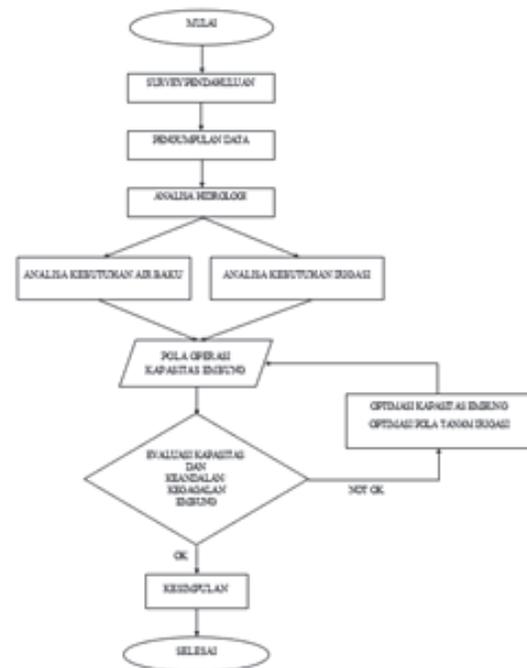
Dalam pengerjaan artikel ini diambil batasan masalah :

1. Tidak memperhitungkan struktur embung, scouring, serta analisa hidroliknya.
2. Tidak memperhitungkan rancangan anggaran biaya konstruksi dan keekonomisan biaya konstruksi.
3. Tidak memperhitungkan pengaruh pasang surut air pada sungai.
4. Tidak merencanakan sistem jaringan dan bangunan irigasi.
5. Tidak merencanakan kualitas air baku.

## II. METODOLOGI

Adapun tahapan pengerjaan artikel ini terdiri dari beberapa sub pokok bahasan yaitu pengumpulan data, analisa, evaluasi dan kesimpulan. Tahap Pengumpulan data merupakan survey pendahuluan terkait kondisi eksisting embung beserta referensi penunjang pengoperasian Embung Tambah. Sedangkan tahapan analisa merupakan perhitungan kebutuhan air baku dan irigasi eksisting warga Kecamatan Karang Penang. Setelah diketahui kebutuhan air baku dan irigasi eksisting, maka dilakukan evaluasi operasi embung terkait ketersediaan air ditampungannya selama masa operasi embung (melayani

kebutuhan air baku dan irigasi). Kemudian dilakukan pengoptimasian terkait peningkatan pelayanan embung (ketersediaan air), sehingga optimasi Embung Tambah sendiri merupakan tahap analisa pasca evaluasi kondisi embung eksisting, yang berupa optimasi pola tanam dan optimasi tampungan Embung Tambah. Diagram alir pengerjaan artikel dapat dilihat pada Gambar 1.

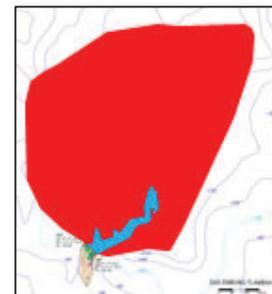


Gambar 1. Diagram Alir

## III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### A. Kondisi Hidrologi Eksisting

Penentuan daerah aliran sungai (DAS) Embung Tambah dilakukan berdasarkan pada peta topografi sekitar Embung Tambah. Detail DAS Embung Tambah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Detail DAS Embung Tambah (Arsir Merah). Diperoleh luasan DAS Embung Tambah  $601121 \text{ m}^2 = 60,11 \text{ ha}$ .

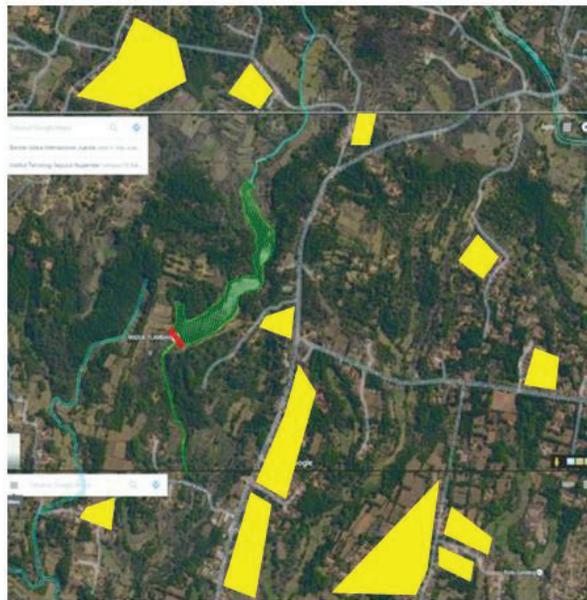
Penentuan curah hujan efektif dipengaruhi oleh luasan jatuhnya hujan di DAS Embung Tambah yang tercatat di stasiun hujan terdekat, sehingga

untuk nilai curah hujan efektif Embung Tambah diketahui dipengaruhi oleh 3 stasiun hujan terdekat, data stasiun hujan terdekat DAS Embung Tambah dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1:** Data Stasiun Hujan Terdekat DAS Embung Tambah [2]

Nama Stasiun	Sukobanah	Omben	Robatal
Kode Stasiun	7b	16	8a
Lintang Selatan	-8,8869	-7,1094	-7,6526
Bujur Timur	112,0632	113,3375	112,4978
Elevasi	23 mdpl	100 mdpl	102 mdpl
Tipe Alat	Biasa (MRG)	Biasa (MRG)	Biasa (MRG)
Pengelola	DPU Peng. Sampang	DPU Peng. Sampang	DPU Peng. Sampang
Desa	Kolla	Rapa Laok	Jalgung
Kecamatan	Modung	Omben	Robatal
Kabupaten	Sampang	Sampang	Sampang

Secara umum lokasi Embung Tambah terletak di wilayah perbukitan Sampang dengan elevasi  $\pm 100$  m, di Kecamatan Karang Penang, Sampang-Madura. Tata guna lahan disekitar Embung Tambah sendiri umumnya merupakan area persawahan, pemukiman (desa-desa kecil) dan beberapa sungai irigasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



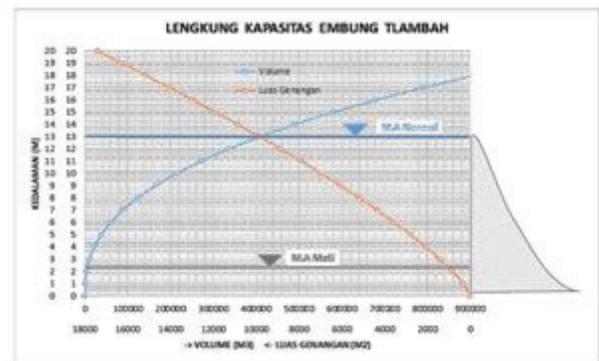
**Gambar 3.** Tata Guna Lahan Sekitar Embung (Arsir Hijau); Pemukiman (Arsir Kuning); Sungai (Garis Biru); Jalan (Garis Putih). [3]

Spesifikasi teknis bangunan Embung Tambah di Kecamatan Karang Penang, Sampang – Madura dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2:** Spesifikasi Teknis Embung Tambah [4]

NO	URAIAN	Tambah	NO	URAIAN	Tambah
1	Nama Kades	KH. Chotib, SPd.I	11	Tinggi (m)	13,00
2	No. HP	087 850 889 555	12	Lebar Pelimpah (m)	5,00
			13	Lebar puncak (m)	5,00
3	Letak :		14	Type Embung	Urugan tanah
	Dusun	Angsanah Barat	15	Lereng hulu miring	1 : 2,5
	Desa	Tambah	16	Lereng hilir miring	1 : 2
4	Kecamatan	Karangpenang	17	Sistem pengelak	Pipa
5	Koordinat		18	RTRW	sesuai
	S :	07°02' 10,0"	19	Estimasi Nilai Tanah	196.779.292
	E :	113° 22' 47,0"	20	Kelayakan	
6	Luas Embung (ha)	0,98		* Sosial Ekonomi	Layak
7	Vol Tampungan (m3)	409.207		* Lokasi	Layak
8	Jalan Masuk		21	Biaya (Rp)	3,00 milyar
	Lebar (m)	75,83	22	Manfaat	
	Panjang (m)	1173,00		* Air Baku	Ya
9	Luas DAS (Km2)	0,601		* Pertanian	Ya
10	Debit Banjir			* Mengurangi Banjir	kecil
	Q 25 :	7,781		* konservasi	kecil
	Q 50 :	8,777		* Perikanan	kecil
	Q100 :	9,769		* Wisata	kecil

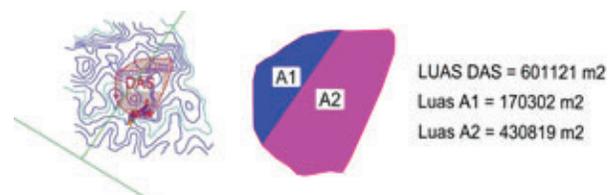
Sedangkan hubungan antara volume dan luasan terhadap kedalaman waduk disajikan pada kurva lengkung kapasitas Embung Tambah sebagai berikut.



**Gambar 4.** Lengkung Kapasitas Embung Tambah [4]

### B. Analisa Curah Hujan Efektif

Gambar 5 berikut merupakan hasil plot daerah pengaruh dari tiap stasiun hujan terdekat Embung Tambah, yang nantinya akan menentukan stasiun mana yang berpengaruh terhadap nilai curah hujan efektif di DAS Embung Tambah.



**Gambar 5.** Luas Daerah Pengaruh Stasiun Hujan Omben dan Robatal

Kemudian didapat data hujan tahun 2000-2015 dari stasiun hujan Robatal dan stasiun hujan Omben yang disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3:** Data Hujan 10 Harian Maksimum Tahun 2000 di Stasiun Hujan Omben [2]

Uraian	Hitungan	Satuan	Jan			Feb		
			I	II	III	I	II	III
1. Curah hujan (P)	data	mm/10 hari	51	74	27	35	76	139
2. Jumlah hari (h)	data	mm/10 hari	4	3	3	6	6	6

### C. Analisa Klimatologi (Evapotranspirasi)

Berikut ini contoh perhitungan evapotranspirasi Metode Penman Modifikasi<sup>[5]</sup> pada bulan Januari tahun 2015 :

- Data Klimatologi pada bulan Januari 2015 :
  - Suhu Rata – rata (T) = 27,45 °C
  - Penyinaran Matahari Rata – rata (n/N) = 52,3%
  - Kelembaban Relatif Rata – rata (RH) = 81,83%
  - Kecepatan Angin (U) = 124.08 km/hari
  - Derajat Penyinaran = 7° (sesuai lokasi Embung Tlambah)
  - Faktor refleksi permukaan air (a) = 0,75
- Perhitungan Evapotranspirasi Potensial :  
Eto (mm/hari)  

$$Eto = c \{ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_s - e_a) \}$$

$$Eto = 1,078 \{ 0,76 \times 1,207 + 0,233 \times 0,65 \times 6,653 \} = 2,011 \text{ m/hr, sehingga diperoleh rata-rata evapotranspirasi potensial sebagai berikut :}$$

**Tabel 4:** Rata Rata Evapotranspirasi Tahun 2011 - 2015

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
2011	1,679	1,456	0,580	2,717	2,139	0,046	2,316	5,091	2,921	2,806	2,303	1,496
2012	1,410	1,067	1,652	0,619	1,054	1,534	0,980	0,368	1,992	2,022	1,435	1,293
2013	2,586	2,243	2,828	1,795	2,230	2,710	2,156	1,544	3,168	3,198	2,611	2,469
2014	2,672	2,457	2,628	2,042	2,443	2,644	2,244	2,301	3,163	3,866	2,739	2,472
2015	2,011	1,956	2,072	1,943	2,116	1,884	2,074	2,476	2,961	3,073	2,422	2,083
Rata-rata Eto	2,071	1,836	1,952	1,823	1,996	1,764	1,954	2,356	2,841	2,953	2,302	1,963

### D. Analisa Klimatologi (Evapotranspirasi)

Berikut ini contoh perhitungan debit tersedia Metode FJ Mock<sup>[6]</sup> pada Stasiun Hujan Omben bulan Januari tahun 2015 :

- Data curah hujan pada bulan Januari 2015:
  - Jumlah hujan yang terjadi dalam satu tinjauan (P) = 42 mm/10 hari. (3 hari)
- Perhitungan evapotranspirasi terbatas :
  - Hasil dari evapotranspirasi rata-rata metode Penman pada bulan tinjauan = 20,715 mm/10 hari.
  - Banyaknya hari hujan yang diamati pada daerah itu sama dengan 18 hari.  $PF = (m/20) \times (18-h) = (0,4/20) \cdot (18- 3) = 0,3$  dimana daerah ladang pertanian (m) =

30%- 50% (sawah, ladang, kebun), sehingga :

- E = perbedaan evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas  

$$E = (Eto') \times (m/20) \times (18-h) = 20,715 \times 0,3 = 6,214 \text{ mm/10 hari. dan,}$$
- Et = evapotranspirasi terbatas  

$$Et = Eto' - E = 20,715 - 6,214 = 14,5 \text{ mm/10 hari.}$$

### 3. Perhitungan keseimbangan air (Water Balance) [7] :

- Perubahan kandungan air tanah,  $DS = P - Et$   
 $DS = 42 - 14,5 = 27,5 \text{ mm/10 hari, jika } P < Et \text{ maka } DS = 0.$
  - Aliran permukaan (hujan lebat) =  $PF \times P = 0,3 \times 42 = 12,6 \text{ mm/10 hari.}$
  - Kandungan air tanah =  $DS - (\text{baris 9}) = 27,5 - 12,6 = 14,9 \text{ mm/10 hari. sehingga Kapasitas kelembaban tanah/ Soil Moisture Capacity (SMC) = 200 + (baris 10) = 200 + 14,9 = 214,9 mm/ 10 hari, dimana 200 mm/10 hari merupakan kapasitas kelembaban tanah maksimum yang ditetapkan dari tipe tanaman penutup lahan dan tipe tanahnya dan air yang akan masuk ke permukaan tanah, yaitu = } DS = 27,5 \text{ mm/10 hari.}$
- ### 4. Perhitungan limpasan total (Total Run Off) :
- Infiltrasi =  $WS \times I = 27,5 \times 0,4 = 11.$
  - Base Flow (BF) =  $I - \Delta GS = 11 - (-4,1) = 15,1$ , jika  $I > \Delta GS$  maka  $BF = 0.$
  - Direct Run Off (DRO) =  $WS - I = 27,5 - 11 = 16,5.$
  - Storm Run Off (SRO) =  $(\text{baris 16}) \times P = 0,45 \times 42 = 18,9.$
  - Total Run Off (TRO) =  $(\text{baris 21}) + (\text{baris 22}) + (\text{baris 23}) = 15,1 + 16,5 + 18,9 = 50,499 \text{ mm/10 hari, pada Catchment area/ Luas DAS} = 0,42 \text{ km}^2,$
  - Sehingga Streamflow =  $\text{Luas DAS} \times \text{TRO} \times \text{jumlah hari hujan.}$

$$= (0,42 \cdot 1000000) \cdot \left( 50,499 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{(10,24 \cdot 3600)} \right) \cdot (3) = 0,074 \text{ m}^3/\text{detik.}$$

Berdasarkan data hujan dari tahun 2000 – 2015 pada stasiun hujan Omben maupun Robatal, diperoleh rekapan data perhitungan debit tersedia FJ Mock tiap tahunnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.

$$= \frac{((Q_{2000\text{Jan}P1} \times Q_{2000\text{Des}P3}) + \dots + (Q_{2015\text{Jan}P1} \times Q_{2015\text{Des}P3})) - (15 \cdot \bar{Q}_{2000\text{Jan}P1} \cdot \bar{Q}_{2015\text{Des}P3})}{Sd_{2000\text{Jan}P1} \cdot Sd_{2015\text{Des}P3} \cdot (15 - 1)}$$

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j} \cdot X_{i,j-1} - n \cdot \bar{X}_j \cdot \bar{X}_{j-1}}{Sd_j \cdot Sd_{j-1} \cdot (n - 1)}$$

**Tabel 5:** Rekap Perhitungan Debit Tersedia Tahun 2000-2015

No	Tahun	Jan			Feb			Mar		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2000	0,131	0,163	0,032	0,112	0,339	0,688	0,161	0,051	0,806
2	2001	0,000	0,000	0,000	0,538	0,209	0,239	0,000	0,000	0,000
3	2002	0,186	0,605	1,351	0,910	0,368	0,008	0,004	0,965	1,006
4	2003	0,675	0,142	0,286	1,130	1,366	0,009	0,329	0,307	0,008
5	2004	0,250	0,568	0,359	0,461	0,004	0,033	1,126	0,475	0,143
6	2005	0,010	0,032	0,017	0,000	0,546	0,032	0,425	0,009	0,807
7	2006	0,990	0,056	0,924	0,502	0,076	1,317	0,063	0,016	0,215
8	2007	0,039	0,025	0,077	0,246	1,651	0,594	0,443	0,846	0,259
9	2008	0,058	0,040	0,123	0,311	1,885	0,710	0,561	1,007	0,324
10	2009	0,039	0,025	0,077	0,246	1,651	0,594	0,443	0,846	0,259
11	2010	0,056	0,036	0,120	0,305	1,876	0,703	0,555	1,000	0,317
12	2011	0,216	0,027	0,010	0,007	0,007	0,005	0,012	0,145	0,037
13	2012	0,100	0,014	0,054	0,275	0,300	0,040	0,121	0,134	0,217
14	2013	0,053	0,041	0,153	0,184	0,033	0,065	0,373	0,364	0,202
15	2014	0,072	0,037	0,298	0,045	0,078	0,103	0,035	0,177	0,088
16	2015	0,131	0,475	0,277	0,939	0,590	0,143	0,138	0,642	0,956

Apr			Mei			Jun			Jul		
I	II	III									
0,140	0,114	0,313	0,036	0,088	0,008	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000
0,651	0,326	0,000	0,243	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,432	0,000	0,001	0,066	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,015	0,295	0,309	0,000	0,000	0,059	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,510	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,295	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
0,279	0,427	0,165	0,235	0,015	0,151	0,026	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
0,448	0,439	0,592	0,002	0,001	0,004	0,011	0,021	0,152	0,001	0,003	0,000
0,542	0,531	0,698	0,004	0,003	0,007	0,018	0,032	0,218	0,003	0,006	0,000
0,448	0,439	0,592	0,002	0,001	0,004	0,011	0,021	0,152	0,001	0,003	0,000
0,536	0,523	0,690	0,003	0,003	0,006	0,017	0,030	0,214	0,003	0,005	0,000
0,416	0,290	0,155	0,473	0,111	0,002	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000
0,170	0,081	0,030	0,099	0,004	0,001	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,374	0,546	0,019	0,014	0,290	0,300	0,422	0,094	0,010	0,117	0,020	0,001
0,066	0,171	0,310	0,093	0,033	0,002	0,028	0,036	0,001	0,001	0,003	0,006
0,340	0,495	0,226	0,119	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Agust			Sep			Okt			Nop			Des		
I	II	III												
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,166	0,329	0,189	0,550	0,044	0,094	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,462	0,737	0,206	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,541	0,000	0,000	0,462	0,737	0,206
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,028	0,045	0,006	0,007	0,281	0,470	0,058	0,433
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,470	0,225	0,483	0,410
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,185	0,366	0,646	0,000	0,000
0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,068	0,161	0,024	0,002	2,424	0,869	0,204
0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,106	0,202	0,037	0,005	2,720	1,009	0,285
0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,068	0,161	0,024	0,002	2,424	0,869	0,204
0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,102	0,196	0,034	0,005	2,709	1,000	0,259
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,474	0,083	0,220	0,078	0,091	0,231
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,005	0,024	0,090	0,327	0,058	0,551
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,052	0,044	0,028	0,241	0,579	0,153
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,617	0,130	0,326	1,033	0,410
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**E. Analisa Debit Inflow Realtime**

Adapun metode yang digunakan dalam bangkitan data debit inflow yaitu *Metode Bangkitan Debit Thomas-Fiering*<sup>[7]</sup>, dengan langkah sebagai berikut :

1. Mencari nilai rata-rata ( $\bar{X}$ ) debit tersedia tahun 2000-2015 pada bulan Januari Periode 1
2. Mencari nilai standard deviasi (Sd) debit tersedia tahun 2000-2015 bulan Januari Periode 1
3. Mencari nilai koefisien korelasi (rj) debit tersedia tahun 2000-2015 pada bulan Januari terhadap bulan Desember (bulan sebelumnya).

4. Mencari nilai koefisien regresi (bj) bulan januari :

$$bj = \frac{rj_{P1} \cdot Sd_{P2}}{Sd_{P1}}$$

5. Mencari nilai bilangan random (ti) tiap periode dan tiap tahun (proyeksi 30 tahun) :

$$(ti) = \sum_{i=12}^n (bilangan\ random)_i - 6$$

Dengan syarat : Standar deviasi bilangan random pada tahun ke-n  $\approx 1$ , Rata-rata bilangan random pada tahun ke-n  $\approx 0.6$ .

6. Mencari nilai debit inflow bangkitan Qjanuari tahun 2016 periode 1 :

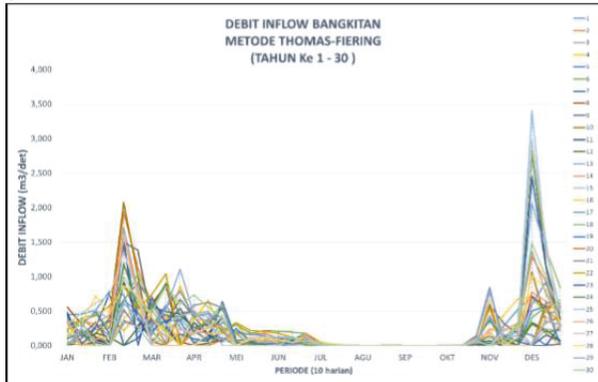
$$Q_{2016\text{Jan}P1} = Q_{2015\text{Jan}P1} + b_{2015\text{Jan}P1}(Q_{2015\text{Des}P3} - Q_{2015\text{Jan}P1}) + t_{2016\text{Jan}P1} \cdot Sd_{2015\text{Jan}P1} (1 - r_{2015\text{Jan}P1})^{0.5}$$

dengan syarat : jika Q inflow < 0, Q inflow pakai = 0. Sehingga diperoleh rekap data perhitungan debit inflow bangkitan 30 tahunan dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6:** Data Perhitungan Debit Inflow Bangkitan Tahun kel (2016)

Tahun ke	Bulan	Periode	rata-rata	Angka random	Standard Deviasi	Koef Korelasi	Koef regresi	Q Inflow	Inflow pakai (m <sup>3</sup> /dt)
1 (2016)	JAN	I	0,188	1,507	0,268	0,388	0,301	0,447	0,447
		II	0,143	1,321	0,208	0,094	0,167	0,455	0,455
		III	0,260	0,619	0,369	0,599	0,556	0,513	0,513
	FEB	I	0,388	1,090	0,343	0,527	1,115	0,785	0,785
		II	0,686	0,060	0,726	0,113	0,061	0,733	0,733
		III	0,330	-0,790	0,388	0,358	0,276	0,196	0,196
	MAR	I	0,299	-0,052	0,299	0,019	0,025	0,281	0,281
		II	0,436	0,659	0,389	0,389	0,341	0,584	0,584
		III	0,353	-0,403	0,340	0,226	0,134	0,263	0,263
	APR	I	0,335	-1,613	0,202	0,376	0,367	0,051	0,051
		II	0,298	-0,503	0,197	0,465	0,611	0,075	0,075
		III	0,256	0,805	0,259	0,589	0,297	0,336	0,336
	MEI	I	0,087	0,957	0,131	-0,327	-0,191	0,183	0,183
		II	0,040	-1,085	0,076	0,213	0,226	-0,001	0
		III	0,034	0,862	0,081	0,744	0,956	0,036	0,036
	JUN	I	0,036	0,243	0,104	0,900	0,637	0,044	0,044
		II	0,036	-1,751	0,073	0,191	0,216	-0,078	0
		III	0,048	0,461	0,083	-0,052	-0,018	0,089	0,089
	JUL	I	0,008	-0,474	0,029	-0,091	-0,016	-0,008	0
		II	0,003	-0,454	0,005	0,926	0,261	-0,001	0
		III	0,001	1,393	0,001	0,172	0,000	0,002	0,002
	AGU	I	0,000	-0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		II	0,000	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		III	0,001	1,327	0,002	0,000	0,000	0,004	0,004
	SEP	I	0,000	1,794	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		II	0,000	0,494	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		III	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	OKT	I	0,001	2,120	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002
		II	0,002	0,719	0,007	0,629	4,494	0,007	0,007
		III	0,040	-1,919	0,050	0,015	0,115	-0,060	0
NOV	I	0,196	-0,738	0,386	0,044	0,017	-0,087	0	
	II	0,071	1,223	0,153	-0,106	-0,121	0,287	0,287	
	III	0,120	1,105	0,176	0,232	1,397	0,523	0,523	
DES	I	0,819	-0,128	1,058	-0,420	-0,161	0,705	0,705	
	II	0,495	-0,364	0,406	0,709	0,330	0,484	0,484	
	III	0,261	0,979	0,189	0,122	0,173	0,473	0,473	

Grafik fluktuasi dari debit inflow bangkitan tahun 2016-2045 (selama tahun proyeksi 30 tahunan) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Fluktuasi Debit Bangkitan Tahun 2016 – 2045

**F. Analisa Debit Outflow Kebutuhan Air Baku**

Berdasarkan hasil sensus penduduk Kabupaten Sampang laju pertumbuhan penduduk di Sampang tahun 2000-2010 adalah 1,27, sehingga persamaan perhitungan proyeksi penduduk dengan menggunakan *Metode Geometrik*<sup>[8]</sup> menjadi seperti berikut :

$$P_n = P_o \times (1 + r)^n$$

$P_n$  = Proyeksi jumlah penduduk pada tahun ke-n

$P_o$  = Jumlah penduduk pada tahun pertama (Tahun 2012)

$$= 66825 \text{ jiwa}$$

$r$  = Laju pertumbuhan penduduk = 1,27% = 0,0127

$$P_n = 66825 \times (1 + 0,0127)^n$$

Proyeksi jumlah penduduk kecamatan karang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7: Proyeksi Jumlah Penduduk Kecamatan Karang

Tahun	n	Metode Geometrik	
		$P_n = 66825 \times (1 + 0,0127)^n$	Jiwa
2010	0	66825,00	
2011	1	67673,68	
2012	2	68533,13	
2013	3	69403,50	
2014	4	70284,93	
2015	5	71177,55	
2016	6	72081,50	
2017	7	72996,94	
2018	8	73924,00	
2019	9	74862,83	
2020	10	75813,59	
2021	11	76776,42	
2022	12	77751,48	
2023	13	78738,93	
2024	14	79738,91	
2025	15	80751,60	
2026	16	81777,14	
2027	17	82815,71	
2028	18	83867,47	
Tahun	n	Metode Geometrik	
		$P_n = 66825 \times (1 + 0,0127)^n$	Jiwa
2029	19	84932,59	
2030	20	86011,23	
2031	21	87103,57	
2032	22	88209,79	
2033	23	89330,05	
2034	24	90464,55	
2035	25	91613,45	
2036	26	92776,94	
2037	27	93955,20	
2038	28	95148,43	
2039	29	96356,82	
2040	30	97580,55	
2041	31	98819,82	
2042	32	100074,84	
2043	33	101345,79	
2044	34	102632,88	
2045	35	103936,32	

Berdasarkan perhitungan kebutuhan air baku untuk domestik dan non domestik<sup>[9]</sup> Kecamatan Karang Penang, Sampang-Madura, maka didapatkan total kebutuhan air baku selama tahun proyeksi 30 tahunan yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8: Jumlah Total Kebutuhan Air Baku

Tahun	RT (Lt/det)	HU (Lt/det)	Pendidikan (Lt/det)	Pasar (Lt/det)	Perkantoran (Lt/det)	Puskesmas (Lt/det)	Jumlah Total (Lt/det)
2010	37,90	6,96	1,68	0,28	0,053	0,09	46,97
2011	38,38	7,05	1,70	0,28	0,057	0,09	47,56
2012	38,87	7,14	1,72	0,29	0,061	0,09	48,16
2013	39,36	7,23	1,73	0,29	0,066	0,09	48,77
2014	39,86	7,32	1,75	0,29	0,072	0,09	49,39
2015	40,37	7,41	1,77	0,30	0,077	0,09	50,02
2016	40,88	7,51	1,79	0,30	0,084	0,09	50,65
2017	41,40	7,60	1,81	0,30	0,090	0,09	51,29
2018	41,92	7,70	1,82	0,31	0,097	0,09	51,95
2019	42,46	7,80	1,84	0,31	0,105	0,09	52,61
2020	43,00	7,90	1,86	0,32	0,114	0,09	53,28
2021	43,54	8,00	1,88	0,32	0,123	0,09	53,95
2022	44,10	8,10	1,90	0,32	0,133	0,09	54,64
2023	44,66	8,20	1,92	0,33	0,143	0,09	55,34
2024	45,22	8,31	1,94	0,33	0,155	0,09	56,04
2025	45,80	8,41	1,95	0,34	0,167	0,09	56,76
2026	46,38	8,52	1,97	0,34	0,180	0,09	57,48
2027	46,97	8,63	1,99	0,35	0,195	0,09	58,22
2028	47,56	8,74	2,01	0,35	0,210	0,09	58,97
2029	48,17	8,85	2,03	0,35	0,227	0,09	59,72
2030	48,78	8,96	2,05	0,36	0,245	0,09	60,49
2031	49,40	9,07	2,07	0,36	0,265	0,09	61,27
2032	50,03	9,19	2,10	0,37	0,286	0,09	62,06
2033	50,66	9,31	2,12	0,37	0,309	0,09	62,86
2034	51,31	9,42	2,14	0,38	0,334	0,09	63,67
2035	51,96	9,54	2,16	0,38	0,361	0,09	64,49
2036	52,62	9,66	2,18	0,39	0,389	0,09	65,33
2037	53,28	9,79	2,20	0,39	0,421	0,09	66,18
2038	53,96	9,91	2,22	0,40	0,454	0,09	67,04
2039	54,65	10,04	2,25	0,40	0,491	0,09	67,92
2040	55,34	10,16	2,27	0,41	0,530	0,09	68,80
2041	56,04	10,29	2,29	0,41	0,572	0,09	69,71
2042	56,76	10,42	2,31	0,42	0,618	0,09	70,62
2043	57,48	10,56	2,34	0,42	0,668	0,09	71,55
2044	58,21	10,69	2,36	0,43	0,721	0,09	72,50
2045	58,95	10,83	2,39	0,43	0,779	0,09	73,46

**G. Analisa Debit Outflow Kebutuhan Air Irigasi**

Berikut ini adalah contoh perhitungan curah hujan efektif pada bulan Januari periode 1<sup>[10]</sup> :

- Mengurutkan data curah hujan efektif gabungan dari Stasiun Hujan Omben dan Stasiun Hujan Robatal tahun 2000 – 2015 dari urutan terbesar hingga terkecil
- Menghitung Curah Hujan dengan peluang keandalan 80%.  
 $R_{80} = (n/5) + 1$  ;  $n$  = Jumlah data = 16, Sehingga  $R_{80} = (16/5) + 1 = 4,3 \approx 5$
- Dari data curah hujan yang telah diurutkan didapatkan 5 peringkat terbawah sebagai  $R_{80}$  nya.
- Menghitung curah hujan efektif, ( $Re$ ) tiap jenis tanaman :

- $Re_{padi} = (R_{80} \times 70\%) / 10 = (28,36 \times 0.70) / 10 = 1,99 \text{ mm/hari.}$

- Repolowijo :  
 $50\% Re_{80} \text{ Januari periode 1} = 0.50 \times 28,36 = 14,18 \text{ mm/hari.}$

$$Re_{polowijo} = fD (1,25 \times R_{50}^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,00095 \cdot E_{To}}$$

$$fD = 0,53 + (0,00016 \times 10^{-5} \times 0^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times 100^3) = 0.762$$

$$Re_{polowijo} = 0.762 \times (1,25 \times 109,62^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,00095} \times 62,14 = 49,775 \text{ mm/bulan} = 1,659 \text{ mm/hari}$$

- $Re_{tembakau}$  :  
 $50\% Re_{80} \text{ Januari periode } 1 = 0.50 \times 28,36 = 14,18 \text{ mm/hari.}$   
 $Re \text{ Januari} = 14,18 + 10,32 + 12,04 = 109,62 \text{ mm/hari}$   
 $Eto = 62,14 \text{ mm/bulan}$   
 $Asumsi Re_{tembakau} = 40\% \times Re \text{ januari} = 40\% \times 109,62 = 43,85 \text{ mm/bulan} = 1,462 \text{ mm/hari.}$

Curah hujan efektif untuk tanaman padi, polowijo dan tembakau masing-masing dapat dilihat pada Tabel 9, 10 dan 11.

**Tabel 9:** Curah Hujan Efektif untuk Tanaman Padi (Re Padi)

Hitungan	Jan			Feb			Mar		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	28,36	20,64	24,08	44,32	44,16	22,32	31,08	28,28	40,84
Re padi = 70% Rn (mm/hari)	1,9852	1,6512	1,9264	3,5456	3,5328	1,7856	2,4864	2,2624	3,2672

Hitungan	Apr			Mei			Jun		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	48,48	38,92	12,04	2,88	3,60	2,84	0,00	0,00	0,00
Re padi = 70% Rn (mm/hari)	3,8784	3,1136	0,9632	0,2504	0,288	0,2272	0	0	0

Hitungan	Jul			Agust			Sep		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Re padi = 70% Rn (mm/hari)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Hitungan	Okt			Nop			Des		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	44,64	33,72	43,20
Re padi = 70% Rn (mm/hari)	0	0	0	0	0	0,576	3,5712	2,6976	3,456

**Tabel 10:** Curah Hujan Efektif untuk Tanaman Polowijo (Re Polowijo)

Hitungan	Jan			Feb			Mar			Apr		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	28,36	20,64	24,08	44,16	44,16	22,32	31,08	28,28	40,84	38,92	12,04	12,04
50% Re80 (mm/ 10 hari)	14,18	10,32	12,04	22,08	22,08	11,16	15,54	14,14	20,42	19,46	6,02	6,02
Re bulan ke-n (mm/bul)	109,62			166,20			150,30		204,47		149,56	
Eto (mm/bulan)	62,14			58,58			54,70		54,70			
fD	0,762			0,762			0,762		0,762			
Re polowijo = (mm/bulan)	49,775			70,090			64,807		63,845			
Re polowijo (mm/hari)	1,659			2,336			2,160		2,128			

Hitungan	Mei			Jun			Jul			Agust		
	I	II	III									
Re 80% (mm/ 10 hari)	2,88	3,60	2,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50% Re80 (mm/ 10 hari)	1,44	1,80	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Re bulan ke-n (mm/bul)	13,98			0,00			0,00			0,00		
Eto (mm/bulan)	39,89			57,91			58,62			70,68		
fD	0,762			0,762			0,762			0,762		
Re polowijo = (mm/bulan)	6,997			0,000			0,000			0,000		
Re polowijo (mm/hari)	0,233			0,000			0,000			0,000		

Hitungan	Sep			Okt			Nop			Des		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	44,64	33,72	43,20
50% Re80 (mm/ 10 hari)	0	0	0	0	0	0	0	0	3,6	22,32	16,86	21,6
Re bulan ke-n (mm/bul)	0,00			0,00			10,80		36,72		182,34	
Eto (mm/bulan)	15,71			38,59			69,07		58,58			
fD	0,762			0,762			0,762		0,762			
Re polowijo = (mm/bulan)	0,000			0,000			5,274		76,486			
Re polowijo (mm/hari)	0,000			0,000			0,176		2,450			

**Tabel 11:** Curah Hujan Efektif untuk Tanaman Tembakau (Re Tembakau)

Hitungan	Jan			Feb			Mar		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	28,36	20,64	24,08	44,32	44,16	22,32	31,08	28,28	40,84
Re tembakau = 50%Rn (mm/10hari)	14,18	10,32	12,04	22,16	22,08	11,16	15,54	14,14	20,42
Re tembakau bulanan (mm/bulan)	43,85			66,48			60,12		
Re tembakau (mm/hari)	1,462			2,216			2,004		

Hitungan	Apr			Mei			Jun		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	48,48	38,92	12,04	2,88	3,60	2,84	0,00	0,00	0,00
Re tembakau = 50%Rn (mm/10hari)	24,24	19,46	6,02	1,44	1,8	1,42	0	0	0
Re tembakau bulanan (mm/bulan)	59,66			5,59			0,00		
Re tembakau (mm/hari)	1,989			0,186			0,000		

Hitungan	Jul			Agust			Sep		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Re tembakau = 50%Rn (mm/10hari)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Re tembakau bulanan (mm/bulan)	0,00			0,00			0,00		
Re tembakau (mm/hari)	0,000			0,000			0,000		

Hitungan	Okt			Nop			Des		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Re 80% (mm/ 10 hari)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	44,64	33,72
Re tembakau = 50%Rn (mm/10hari)	0	0	0	0	0	0	3,6	22,32	16,86
Re tembakau bulanan (mm/bulan)	0,00			0,00			4,32		72,94
Re tembakau (mm/hari)	0,000			0,000			0,144		2,431

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dipengerahui oleh evapotranspirasi potensial dan perkolasi dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1968). Berikut ini adalah contoh perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan pada bulan Januari:

- Kebutuhan air irigasi di tingkat sawah untuk penyiapan lahan<sup>[11]</sup>, IR. :  

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{(e^k - 1)} = \frac{4,28 \cdot e^{0,44}}{(e^{0,44} - 1)} = 11,97 \frac{mm}{hari}$$

$$= 1,384 \text{ lt/dt/ha}$$

Rekapitulasi perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12:** Perhitungan Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
1	Eto	mm/hari	2,07	1,84	1,99	1,82	2,00	1,76	1,94	1,76	2,84	2,94	3,30	1,86
2	Re - fD	mm/hari	-2,78	-2,97	-3,15	-3,01	-2,79	-3,04	-3,15	-2,79	-3,13	-3,35	-3,53	-2,16
3	Perkolasi	mm/hari	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
4	M - Eto + P	mm/hari	4,78	4,07	4,15	4,01	4,70	3,94	4,15	4,59	5,13	5,35	4,53	4,16
5	I	mm	31,08	29,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	20,00	31,00	30,00	31,00
6	S	mm	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
7	k - M f S	mm	0,44	0,39	0,43	0,40	0,43	0,39	0,43	0,47	0,51	0,54	0,45	0,43
8	IR = (M e <sup>k</sup> )/(e <sup>k</sup> -1)	mm/hari	11,97	12,48	11,90	12,14	11,93	12,10	11,90	12,15	12,78	13,54	12,44	11,61
		lt/dt/ha	1,384	1,443	1,375	1,403	1,378	1,398	1,375	1,404	1,477	1,489	1,293	1,378

Sehingga diperoleh total debit kebutuhan air untuk irigasi pola tanam eksisting dengan jenis tanaman padi, polowijo dan tembakau yaitu sebagai berikut: Kebutuhan air irigasi pola tanam eksisting dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13:** Kebutuhan Air Irigasi Pola Tanam Eksiting

Bulan	Periode	Q padi l/dt	Q polowijo l/dt	Q tembaka l/dt	Total Q Irigasi l/dt
Nov	I	0,00	0,00	0,00	0,00
	II	92,39	0,00	0,00	92,39
	III	88,70	0,00	0,00	88,70
Des	I	66,13	0,00	0,00	66,13
	II	71,72	-0,02	0,00	71,70
	III	66,87	0,02	0,00	66,89
Jan	I	147,05	1,00	0,00	148,04
	II	151,14	1,32	0,00	152,47
	III	50,11	1,64	0,00	51,75
Feb	I	47,55	1,08	0,00	48,63
	II	47,50	1,10	0,00	48,60
	III	80,13	1,00	0,00	81,13
Mar	I	66,99	1,05	0,00	68,04
	II	68,32	0,57	0,00	68,88
	III	32,30	0,29	0,00	32,58
Apr	I	0,05	0,00	0,00	0,05
	II	4,97	0,19	0,00	5,16
	III	18,09	0,51	0,00	18,60
Mei	I	0,00	4,20	0,00	4,20
	II	0,00	4,80	0,00	4,80
	III	0,00	5,37	0,00	5,37
Jun	I	0,00	5,83	0,00	5,83
	II	0,00	5,86	0,00	5,86
	III	0,00	5,68	0,00	5,68
Jul	I	0,00	5,57	0,00	5,57
	II	0,00	3,51	6,64	10,15
	III	0,00	1,40	11,95	13,35
Agu	I	0,00	0,00	20,56	20,56
	II	0,00	0,00	23,55	23,55
	III	0,00	0,00	26,46	26,46
Sep	I	0,00	0,00	31,36	31,36
	II	0,00	0,00	31,56	31,56
	III	0,00	0,00	30,35	30,35
Okt	I	0,00	0,00	28,67	28,67
	II	0,00	0,00	17,09	17,09
	III	0,00	0,00	9,09	9,09

**H. Evaluasi Water Balance Embung**

Setelah diperoleh debit inflow yang berupa data hujan dan debit outflow yang berupa data debit kebutuhan air baku dan irigasi pada bab sebelumnya, maka tahap analisa berikutnya adalah evaluasi kapasitas dan keandalan/ kegagalan embung yang mengacu pada analisa water balance Embung Tlambah sendiri selama tahun proyeksi<sup>[12]</sup>.

Rekapitulasi perhitungan *water balance* Embung Tlambah tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 14.

**Tabel 14:** Perhitungan Water Balance Embung Tlambah Tahun 2016

1	2	3	Inflow			Outflow				12	
			Jumlah hari	Debit hujan m3/dt	Debit hujan juta m3	Keb. Irigasi m3/dt	Keb. Irigasi juta m3	Keb. Air Baku m3/dt	Keb. Air Baku juta m3		Evaporasi m3/dt
Nov	I	10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nov	II	10	0,287	0,248	0,092	0,080	0,089	0,077	0,000	0,001	0,157
Nov	III	10	0,522	0,422	0,089	0,077	0,089	0,077	0,000	0,001	0,144
Nov	I	10	0,705	0,609	0,086	0,077	0,089	0,077	0,000	0,001	0,134
Nov	II	10	0,484	0,418	0,072	0,062	0,089	0,077	0,000	0,001	0,139
Nov	III	11	0,473	0,450	0,087	0,064	0,089	0,084	0,000	0,001	0,149
Nov	I	10	0,447	0,386	0,148	0,128	0,089	0,077	0,000	0,001	0,205
Nov	II	10	0,455	0,393	0,152	0,132	0,089	0,077	0,000	0,001	0,209
Nov	III	11	0,513	0,488	0,052	0,049	0,089	0,084	0,000	0,001	0,134
Nov	I	10	0,785	0,678	0,049	0,042	0,089	0,077	0,000	0,001	0,119
Nov	II	10	0,733	0,634	0,049	0,042	0,089	0,077	0,000	0,001	0,119
Nov	III	9	0,196	0,162	0,081	0,063	0,089	0,089	0,000	0,000	0,132
Nov	I	10	0,281	0,242	0,088	0,059	0,089	0,077	0,000	0,001	0,136
Nov	II	10	0,584	0,504	0,089	0,060	0,089	0,077	0,000	0,001	0,137
Nov	III	11	0,583	0,250	0,033	0,031	0,089	0,084	0,000	0,001	0,116
Nov	I	10	0,651	0,644	0,000	0,000	0,089	0,077	0,000	0,001	0,077
Nov	II	10	0,075	0,064	0,005	0,004	0,089	0,077	0,000	0,001	0,082
Nov	III	10	0,316	0,290	0,019	0,016	0,089	0,077	0,000	0,001	0,093
Nov	I	10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089	0,077	0,000	0,001	0,081
Nov	II	10	0	0,000	0,005	0,004	0,089	0,077	0,000	0,001	0,081
Nov	III	11	0,036	0,034	0,005	0,005	0,089	0,084	0,000	0,001	0,090
Nov	I	10	0,044	0,038	0,006	0,005	0,089	0,077	0,000	0,001	0,082
Nov	II	10	0	0,000	0,006	0,005	0,089	0,077	0,000	0,001	0,082
Nov	III	10	0,089	0,077	0,006	0,005	0,089	0,077	0,000	0,001	0,082
Nov	I	10	0	0,000	0,006	0,005	0,089	0,077	0,000	0,001	0,082
Nov	II	10	0,000	0,000	0,009	0,009	0,089	0,077	0,000	0,001	0,089
Nov	III	11	0,002	0,002	0,013	0,013	0,089	0,084	0,000	0,001	0,098
Nov	I	10	0,000	0,000	0,021	0,018	0,089	0,077	0,000	0,001	0,085
Nov	II	10	0,000	0,000	0,024	0,020	0,089	0,077	0,000	0,001	0,098
Nov	III	11	0,004	0,004	0,036	0,025	0,089	0,084	0,000	0,001	0,110
Nov	I	10	0,000	0,000	0,031	0,027	0,089	0,077	0,000	0,001	0,105
Nov	II	10	0,000	0,000	0,032	0,027	0,089	0,077	0,000	0,001	0,105
Nov	III	10	0,000	0,000	0,030	0,028	0,089	0,077	0,000	0,001	0,104
Nov	I	10	0,002	0,002	0,029	0,025	0,089	0,077	0,000	0,001	0,102
Nov	II	10	0,007	0,006	0,017	0,015	0,089	0,077	0,000	0,001	0,092
Nov	III	11	0	0,000	0,009	0,009	0,084	0,081	0,000	0,001	0,094

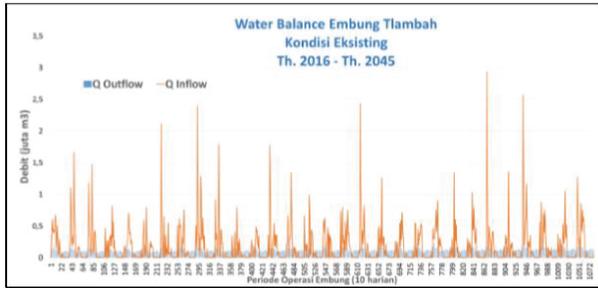
  

1	2	13	14	15	16	17	18
Bulan	Periode	I - O	Defisit	Excess	Tampungan embung	Kondisi Tampungan	Spill out
		juta m3	juta m3	juta m3	juta m3		juta m3
Nov	I	-0,077	-0,077	-	0,332	CUKUP	-
Nov	II	0,091	-	0,091	0,409	PENUH	0,091
Nov	III	0,298	-	0,298	0,409	PENUH	0,298
Nov	I	0,474	-	0,474	0,409	PENUH	0,474
Nov	II	0,279	-	0,279	0,409	PENUH	0,279
Nov	III	0,301	-	0,301	0,409	PENUH	0,301
Nov	I	0,181	-	0,181	0,409	PENUH	0,181
Nov	II	0,184	-	0,184	0,409	PENUH	0,184
Nov	III	0,354	-	0,354	0,409	PENUH	0,354
Nov	I	0,559	-	0,559	0,409	PENUH	0,559
Nov	II	0,514	-	0,514	0,409	PENUH	0,514
Nov	III	0,020	-	0,020	0,409	PENUH	0,020
Nov	I	0,107	-	0,107	0,409	PENUH	0,107
Nov	II	0,368	-	0,368	0,409	PENUH	0,368
Nov	III	0,134	-	0,134	0,409	PENUH	0,134
Nov	I	-0,033	-0,033	-	0,376	CUKUP	-
Nov	II	-0,017	-0,017	-	0,359	CUKUP	-
Nov	III	0,197	-	0,197	0,409	PENUH	0,197
Nov	I	0,077	-	0,077	0,409	PENUH	0,077
Nov	II	-0,081	-0,081	-	0,328	CUKUP	-
Nov	III	-0,056	-0,056	-	0,272	CUKUP	-
Nov	I	-0,044	-0,044	-	0,227	CUKUP	-
Nov	II	-0,082	-0,082	-	0,145	CUKUP	-
Nov	III	-0,005	-0,005	-	0,140	CUKUP	-
Nov	I	-0,082	-0,082	-	0,058	CUKUP	-
Nov	II	-0,086	-0,086	-	-0,028	KURANG	-
Nov	III	-0,095	-0,095	-	-0,123	KURANG	-
Nov	I	-0,095	-0,095	-	-0,218	KURANG	-
Nov	II	-0,098	-0,098	-	-0,316	KURANG	-
Nov	III	-0,106	-0,106	-	-0,422	KURANG	-
Nov	I	-0,105	-0,105	-	-0,527	KURANG	-
Nov	II	-0,105	-0,105	-	-0,631	KURANG	-
Nov	III	-0,104	-0,104	-	-0,735	KURANG	-
Nov	I	-0,100	-0,100	-	-0,835	KURANG	-
Nov	II	-0,086	-0,086	-	-0,921	KURANG	-
Nov	III	-0,094	-0,094	-	-1,015	KURANG	-

Keterangan :

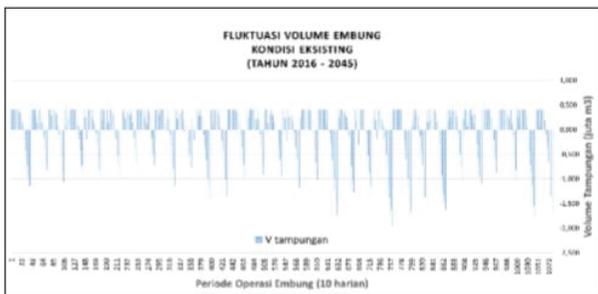
Kondisi tampungan meliputi :

- Tampungan embung < 0, maka “KURANG”
- 0 ≤ Tampungan embung ≤ Volume efektif, maka “CUKUP”
- Tampungan embung = Volume efektif, maka “PENUH”.



**Gambar 7.** Grafik Inflow – Outflow Embung Tambah Tahun 2016-2045

Berikut merupakan fluktuasi kondisi/ volume tampungan dari Embung Tambah selama tahun proyeksi optimasi :



**Gambar 8.** Grafik Fluktuasi Volume Embung Tambah Tahun 2016-2045

Jumlah periode terlayani terhadap kondisi tampungan Embung dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15:** Jumlah Periode Terlayani Terhadap Kondisi Tampungan Embung

Tampungan	Periode Terlayani	dalam Tahun
Kondisi Penuh	378	10,50
Kondisi Cukup	312	8,67
Kondisi Kurang	390	10,83
<b>Total</b>	<b>1080</b>	<b>30</b>

$$\begin{aligned} \%SUKSES &= \frac{\Sigma \text{Periode}_{\text{Penuh}} + \Sigma \text{Periode}_{\text{Cukup}}}{\Sigma \text{Periode}_{\text{Total}}} \\ &= \frac{378 + 312}{1080} = 63,89\% \end{aligned}$$

$$\%GAGAL = 1 - \%SUKSES = 36,11\%$$

Diperoleh jumlah periode yang terlayani sebesar 63,89% dari periode total (30 tahun), sehingga perlu dilakukan optimasi Embung Tambah terkait peningkatan pelayanannya sehingga sesuai dengan masa operasi embung yang kurang lebih 25 tahunan atau dengan nilai persentasi periode terlayani sebesar > 80%.

## I. Analisa Optimasi Pola Tanam

Berdasarkan hasil simulasi operasi Embung Tambah selama tahun proyeksi tahun 2016 – 2045, ada beberapa pertimbangan yang berpengaruh terkait pengoptimasian pola tanam irigasi Embung Tambah yaitu sebagai berikut :

1. Kondisi tampungan dan debit hujan (inflow) yang hanya mampu mengairi untuk kebutuhan air baku dan irigasi pada musim hujan dan kemarau 1 saja.
2. Debit hujan (inflow) pada musim hujan (November I – Februari III) umumnya berlebih sehingga terlimpas (spillout) begitu saja karena terbatasnya tampungan Embung Tambah.
3. Pola tanam eksisting untuk tanaman padi, polowijo dan tembakau belum optimum terhadap ketersediaan debit inflow yang hanya mengairi sampai musim kemarau 1 sehingga tanaman pada musim kemarau 2 kekurangan air.
4. Pemanfaatan tampungan Embung Tambah untuk air baku merupakan prioritas utama dibandingkan kebutuhan irigasi sehingga pola tanam yang diterapkan dapat diubah-ubah terkait ketersediaan air yang ada, terutama setelah terpenuhinya kebutuhan air baku.
5. Berdasarkan data rasio luas tanam BPS Sampang, untuk jenis tanaman tembakau memiliki syarat luas tanam  $\pm 67\%$  dari luas total lahan yang tersedia<sup>[13]</sup>.

Sehingga ditentukan solusi optimasi pola tanam yang dimaksud adalah mengutamakan kebutuhan air baku sebagai outflow, kemudian hasil limpasan/ spillout tampungan digunakan untuk mengairi kebutuhan irigasi yang telah ditentukan beberapa pola tanam alternatifnya sehingga sesuai kondisi debit tersedia. Perhitungan water balance Embung Tambah tahun 2016, dengan outflow kebutuhan air baku saja dan debit limpasan (spillout) yang terjadi digunakan untuk mengairi irigasi Kecamatan Karang Penang dapat dilihat pada Tabel 16.

**Tabel 16:** Debit Spillout Tahun 2016-2045

Tahun	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Spillout (lt/dt)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Debit air yang ada tidak bisa digunakan untuk mengairi semua lahan yang ada. Oleh sebab itu perlu dicari berapa luasan lahan optimal yang mampu diari dengan menggunakan model optimasi. Berikut ini merupakan persamaan – persamaan/ fungsi model optimasi<sup>[14]</sup> :

- a. Fungsi Tujuan :  
 Maksimalkan  $Z = Xp1 + Xp2 + Xp3 + Xw1 + Xw2 + Xw3 + Xt1 + Xt2 + Xt3$
- b. Fungsi Kendala :
  - Debit Tersedia :  
 $Xp1 + Xw1 + Xt1 \leq Q1$   
 $Xp2 + Xw2 + Xt2 \leq Q2$   
 $Xp3 + Xw3 + Xt3 \leq Q3$
  - Luas Lahan Irigasi :  
 $Xp1 + Xw1 + Xt1 \leq A$   
 $Xp2 + Xw2 + Xt2 \leq A$   
 $Xp3 + Xw3 + Xt3 \leq A$   
 $Xt1 + Xt2 + Xt3 \geq 0,67 A$
  - Non-negativity :  
 $Xp1, Xp2, Xp3, Xw1, Xw2, Xw3, Xt1, Xt2, Xt3 \geq 0$
- c. Keterangan :  
 $Xp1$  = Luas tanam Padi musim hujan (ha)  
 $Xp2$  = Luas tanam Padi musim kemarau 1 (ha)  
 $Xp3$  = Luas tanam Padi musim kemarau 2 (ha)  
 $Xw1$  = Luas tanam Polowijo musim hujan (ha)  
 $Xw2$  = Luas tanam Polowijo musim kemarau 1 (ha)  
 $Xw3$  = Luas tanam Polowijo musim kemarau 2 (ha)  
 $Xt1$  = Luas tanam Tembakau musim hujan (ha)  
 $Xt2$  = Luas tanam Tembakau musim kemarau 1 (ha)  
 $Xt3$  = Luas tanam Tembakau musim kemarau 2 (ha)

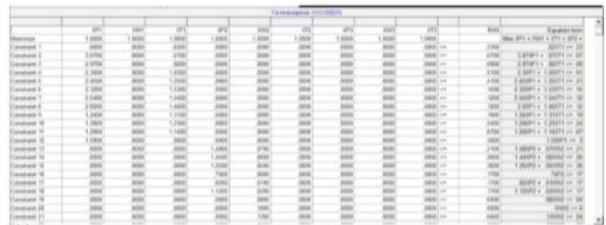
- Q1 = Debit tersedia irigasi musim hujan (lt/dt)
- Q2 = Debit tersedia irigasi musim kemarau 1 (lt/dt)
- Q3 = Debit tersedia irigasi musim kemarau 2 (lt/dt)
- A = Luas lahan tanam total (ha)

- d. Jumlah variabel = 9
- e. Jumlah constraints = 40
- f. Persamaan – persamaan tersebut digunakan untuk semua Alternatif Pola Tanam yang ada, adapun alternatif pola tanam yang ditentukan yaitu sebagai berikut :

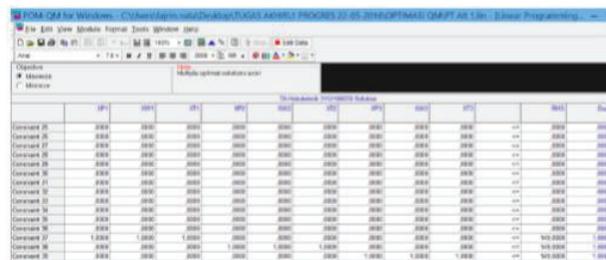
**Tabel 17:** Alternatif Pola Tanam (P = padi; W = polowijo; T = tembakau)

Alternatif	1	2	3	4	5	6
M. Hujan	PT	WT	PW	PT	PWT	PWT
M. Kemarau 1	PW	PT	PT	WT	WT	PWT
M. Kemarau 2	-BERO-	-BERO-	-BERO-	-BERO-	-BERO-	-BERO-

Persamaan – persamaan linier untuk Alternatif Pola Tanam 1 – 6 dimasukkan ke dalam tabel simplex untuk dilakukan iterasi dengan menggunakan program bantu POM- QM for Windows 3 seperti pada gambar dibawah ini :

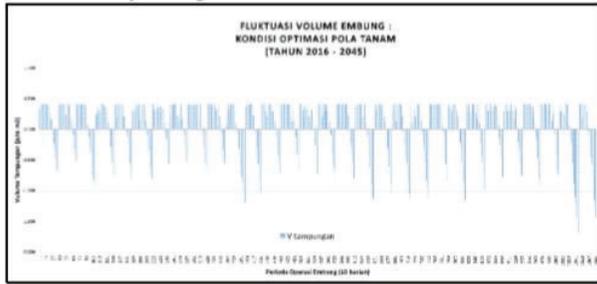


**Gambar 9.** Input Fungsi Pemodelan Pola Tanam Alternatif 1



**Gambar 10.** Output Fungsi Pemodelan Pola Tanam Alternatif 1.

Maka dipilih alternatif 2 sebagai alternatif pola tanam teroptimum karena memiliki keuntungan hasil pertanian yang terbesar. Sehingga dengan memanfaatkan limpasan air (spillout) di musim hujan untuk kebutuhan irigasi beserta pengoptimasian pola tanamnya, fluktuasi tampungan Embung Tlambah menjadi seperti terlihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Fluktuasi Volume Embung saat Optimasi Pola Tanam

Dengan persentase keandalan dan kegagalan pola operasi embung sebagai berikut :

**Tabel 18:** Jumlah Periode Terlayani Terhadap Kondisi Tampang Embung

Tampang	Periode Terlayani	dalam Tahun
Kondisi Penuh	426	11,83
Kondisi Cukup	321	8,92
Kondisi Kurang	333	9,25
<b>Total</b>	<b>1080</b>	<b>30</b>

$$\begin{aligned} \%SUKSES &= \frac{\Sigma \text{Periode}_{\text{penuh}} + \Sigma \text{Periode}_{\text{cukup}}}{\Sigma \text{Periode}_{\text{Total}}} \\ &= \frac{426 + 321}{1080} = 69,17\% \end{aligned}$$

$$\%GAGAL = 1 - \%SUKSES = 30,83\%$$

Sehingga persentase keandalan atau jumlah periode terlayani pada simulasi operasi embung saat kondisi optimasi pola tanam, meningkat dari 63,89% menjadi 69,17%.

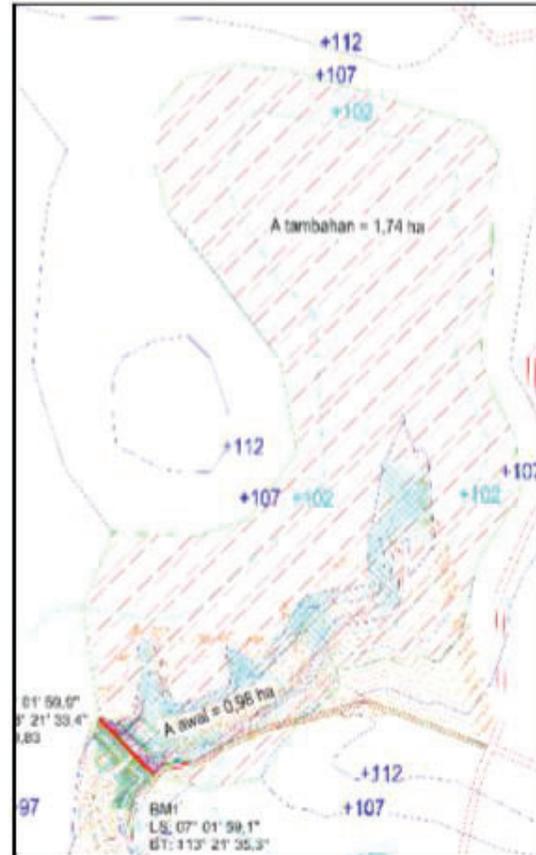
#### J. Analisa Optimasi Kapasitas Embung

Berdasarkan hasil simulasi operasi Embung Tlambah selama tahun proyeksi tahun 2016 – 2045, ada beberapa pertimbangan yang berpengaruh terkait pengoptimasian kapasitas Embung Tlambah<sup>[15]</sup> yaitu sebagai berikut :

1. Kondisi kontur atau topografi serta tata guna lahan di sekitar embung yang masih memungkinkan untuk penambahan volume embung dan luas genangannya.
2. Dengan adanya penambahan volume embung diharapkan kebutuhan air baku dan irigasi dapat dipenuhi secara bersamaan tanpa perlu memprioritaskan salah satu kebutuhan saja.

Ditentukan penambahan kapasitas Embung Tlambah dengan cara meninggikan tubuh embung setinggi 7 m hingga pada elevasi +107 m dan kedalaman 20 m, diperoleh volume efektif tampungan sebesar 1,142 juta m<sup>3</sup> dan luas

genangan 17396,6 m<sup>2</sup>. Sehingga perubahan luas genangan awal dan tinggi tubuh embung yang terjadi adalah sebagai berikut :



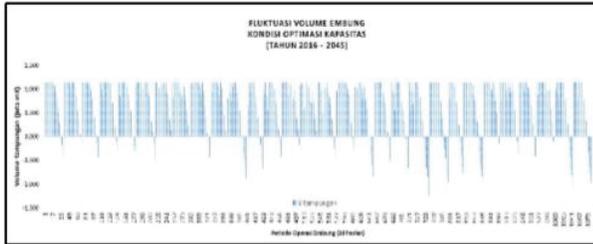
**Gambar 12.** Luas Genangan Tambahan Embung Kondisi Optimasi Kapasitas

#### Optimasi Kapasitas



**Gambar 13.** Tinggi Tanggul Tambahan Embung Kondisi Optimasi Kapasitas

Sehingga fluktuasi volume tampungan Embung Tambah selama tahun proyeksi menjadi seperti berikut :



**Gambar 14.** Fluktuasi Volume Embung saat Optimasi Kapasitas

Dengan persentase keandalan dan kegagalan pola operasi embung sebagai berikut :

**Tabel 19:** Jumlah Periode Terlayani Terhadap Kondisi Tampungan Embung

Tampungan	Periode Terlayani	dalam Tahun
Kondisi Penuh	378	10,50
Kondisi Cukup	535	14,86
Kondisi Kurang	167	4,64
<b>Total</b>	<b>1080</b>	<b>30</b>

$$\begin{aligned} \%SUKSES &= \frac{\Sigma \text{Periode}_{\text{Penuh}} + \Sigma \text{Periode}_{\text{Cukup}}}{\Sigma \text{Periode}_{\text{Total}}} \\ &= \frac{378 + 535}{1080} = 84,54\% \end{aligned}$$

$$\%GAGAL = 1 - \%SUKSES = 15,46\%$$

Sehingga persentase keandalan atau jumlah periode terlayani pada simulasi operasi embung saat kondisi optimasi pola tanam, meningkat dari 63,89% menjadi 84,54%.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan terkait perencanaan pengoptimasian Embung Tambah untuk kebutuhan air baku dan irigasi yaitu sebagai berikut :

1. Dari perhitungan bangkitan debit tersedia FJ Mock (inflow) selama tahun 2016-2045, didapatkan nilai debit tersedia terbesar 3,402 m<sup>3</sup>/detik dan debit tersedia terkecil adalah 0,001 m<sup>3</sup>/detik yang digunakan untuk kebutuhan air baku dan irigasi.
2. Dari perhitungan kebutuhan air baku di Kecamatan Karang Penang selama tahun 2016-2045, didapatkan besar kebutuhan air

baku pada kondisi normal sebesar 73,46 liter/detik; pada kondisi hari maksimum sebesar 84,48 liter/detik; dan pada kondisi jam puncak sebesar 128,36 liter/detik.

3. Dari perhitungan kebutuhan air irigasi di Kecamatan Karang Penang selama tahun 2016-2045, didapatkan besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk pola tanam eksisting (padi, polowijo dan tembakau) sebesar 152,47 liter/detik. Sedangkan untuk kebutuhan air maksimum untuk tiap jenis tanaman adalah sebagai berikut : padi sebesar 151,14 liter/detik; polowijo sebesar 5,86 liter/detik dan tembakau sebesar 31,56 liter/detik.
4. Dari analisa evaluasi pola operasi Embung Tambah selama tahun 2016-2045 untuk kebutuhan air baku dan irigasi kondisi eksisting yang mengacu pada analisa water balance embung, diperoleh rasio tingkat pelayanan atau pemenuhan kebutuhan air 10 harian selama tahun proyeksi dengan keandalan sebesar 63,89% dan kegagalan 36,11%. Sehingga dilakukan beberapa opsi pengoptimasian kapasitas Embung Tambah terkait peningkatan pemenuhan kebutuhan air embung sebagai berikut :

a) Pengoptimasian melalui simulasi beberapa pola tanam alternatif, dengan hasil optimasi teroptimum alternatif pola tanam 2, dengan intensitas tanam musim hujan : polowijo-tembakau, musim kemarau I : paditembakau, musim kemarau II : bero dan menghasilkan keuntungan hasil pertanian terbesar sebesar Rp 7.914.367.550. Sehingga rasio tingkat pemenuhan kebutuhan air meningkat dengan keandalan sebesar 69,17% dan kegagalan 30,83%.

b) Pengoptimasian melalui simulasi peninggian tubuh embung sehingga menambah kapasitas/ volume efektif dan luas genangan air embung. Adapun penambahan tinggi tubuh embung sebesar 7 meter sehingga muka air normal berubah pada elevasi +107 meter (elevasi muka air normal awal +100) dengan perubahan volume tampungan baru sebesar 1.177.143 m<sup>3</sup> dan luas genangan baru sebesar 1,74 ha. Sehingga rasio tingkat pemenuhan kebutuhan air meningkat dengan keandalan sebesar 84,54% dan kegagalan sebesar 15,46%, dengan prediksi lama penggenangan embung

sampai beroperasi normal selama 6 periode 10 harian. Terhitung sejak awal operasi embung pada bulan November I, Tahun 2016.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Berita Jatim (Surabaya). 2015. "Hujan dan Kemarau Sampang". 17 Maret.
- [2] Dinas Pekerjaan Umum Pengairan. 2015. Data Hujan Kabupaten Sampang Tahun 2000 – Tahun 2015. Sampang : Dinas Pekerjaan Umum Pengairan.
- [3] Google Maps, Januari. 2016. Pencitraan Sampang Embung Tlambah, <URL: <http://www.maps.google.com/sampang.html>>
- [4] Balai Besar Wilayah Sungai Brantas. 2015. Data Teknis Embung Tlambah. Surabaya : Balai Besar Wilayah Sungai Brantas.
- [5] Soewarno. 1991. Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Bandung : Bandung Nova.
- [6] Sudirman. 2002. Hidrologi dan Konservasi Tanah. Bandung : Badan Litbang Pertanian.
- [7] Tri Hartomo, Dimas. 2007. Tugas Akhir Evaluasi Pola Operasi Waduk Kedung Ombo Dengan Metode Simulasi. Semarang : Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata.
- [8] Mangkoediharjo, Sarwoko. 1985. Penyediaan Air Bersih. Jakarta : Erlangga.
- [9] Anwar, Nadjadji. 2012. Rekayasa Sumber Daya Air. Surabaya : Teknik Sipil ITS.
- [10] Suhardjono. 1994. Kebutuhan Air Tanaman. Malang : Institut Teknologi Nasional.
- [11] Departemen Pekerjaan Umum Pengairan. 1986. Standar Perencanaan Irigasi KP-01. Bandung : CV Galang Persada.
- [12] Prasetio, Andre. 2010. Tugas Akhir Perencanaan Pola Operasi Embung Bulung Untuk Kebutuhan Air Baku Desa Bulung Kabupaten Bangkalan. Malang : Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- [13] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sampang. 2015. Sampang Dalam Angka. Sampang : Badan Pusat Statistik.
- [14] Anwar, Nadjadji. 2001. Analisa Sistem Untuk Teknik Sipil. Surabaya : Teknik Sipil ITS.
- [15] Anonim. 1998. Petunjuk Teknis Pembuatan Embung. Jakarta : Direktorat Bina Rehabilitasi dan Pengembangan Lahan