

EVALUASI DAN PENGEMBANGAN JARINGAN IRIGASI RAWA PASANG SURUT TERHADAP POLA OPERASI PINTU AIR D.I.R PEMATANG LIMAU KABUPATEN SERUYAN

Hairin Noor¹ Suhardjono² Tri Budi Prayogo²

¹Staf Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Seruyan

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Email: hrnsda.99@gmail.com

ABSTRAK: Kabupaten Seruyan Propinsi Kalimantan Tengah secara umum memiliki lahan dan air yang cukup tersedia. Daerah Irigasi Rawa (D.I.R) Pematang Limau dipengaruhi oleh muka air pasang surut yang terjadi pada Sungai Seruyan. Pada musim hujan, muka air meningkat akibat air pasang dan curah hujan. Sementara di musim kemarau lahan menjadi kering. Untuk itu perlu dilakukan pengaturan pola operasi pintu air. Untuk mengetahui profil aliran di saluran primer digunakan *software* HEC-RAS 5.0.1 pada kondisi kering. Simulasi dilakukan dengan: (1) simulasi debit air pasang tanpa pintu air, (2) simulasi pintu air (*existing*), (3) simulasi dengan merubah lebar pintu air saluran primer dari 1 m menjadi 1,5 m dan (4) merubah koefisien *Manning* dari 0,027 menjadi 0,018. Dari beberapa simulasi yang dibuat, simulasi kedua menunjukkan elevasi muka air tertinggi pada *cross section* 1-12, namun tidak mampu menggenangi lahan yang berada di kanan atau kiri *cross section* 10-12. Langkah penanganan selanjutnya dengan menutup pintu air pada saluran primer ketika puncak debit pasang. Berdasarkan hasil perhitungan, kedalaman genangan pada lahan sebesar 0,001 m atau 1 mm jika secara bersamaan, sedangkan jika dilakukan secara bergilir 0,015 m atau 1,5 cm. Hasil perhitungan genangan yang terjadi akibat hujan 0,061 m atau 6,1 cm, sedangkan hasil perhitungan di saat pasang dan bersamaan terjadinya hujan diperoleh 0,062 m atau 6,2 cm. Alternatif terakhir untuk mengatasi kekeringan adalah dengan sistem pompanisasi. Hasil perhitungan dengan lama operasi pompa 10 jam/hari selama 6 hari, untuk kedalaman genangan (y) 5 cm, maka kebutuhan unit pompa sebesar 12 buah.

Kata kunci: Pasang surut, irigasi, pintu air, rawa.

ABSTRACT. *Seruyan District in Central Kalimantan generally has sufficient land and water. The Swamp Irrigation Area (S.I.A) in Pematang Limau is influenced by the tidal waters that occur in Seruyan river. In the rainy season, the water levels increase due to high tide and rainfall. While in dry season the land becomes dry. Therefore, it is necessary to adjust the operation pattern of the sluice gate. To find out waterflow profile of the primary channel, it's used software HEC-RAS 5.0.1 under dry conditions. The simulation is done in four conditions, such as: (1) simulation based on input of tidal water discharge without sluice gate, (2) simulation with existing sluice gate, (3) simulation by widening the main channel of sluice gate from 1 meter to 1.5 meters, and (4) change the Manning coefficient from 0.027 to 0.018. From several simulations, the second simulation shown the highest water level elevation in the cross section 1-12, but is not able to inundate the land on the right and left cross section 10-12. The next step is closing the sluice gate at the tidal peak discharge. Based on the calculation the depth of inundation on the land of 0.001 meters or 1 millimeter if it is simultaneously, whereas in rotation 0.015 meters or 1.5 centimeters. The result of the calculation of inundation that occurred due to rain 0.061 meters or 6.1 centimeters, while at on the water tide and simultaneous occurrence of rain obtained 0.062 meters or 6.2 centimeter. The last alternative is with pumping system. The calculation results with the duration of pump operation 10 hours / day for 6 days, the depth of the inundation (y) 5 centimeters, then the needs of pump unit are 12 units.*

Keywords: *Tidal, irrigation, sluice gate, swamp.*

Latar Belakang

Secara umum lahan dan air untuk pertanian di Kabupaten Seruyan Propinsi Kalimantan Tengah cukup tersedia, tetapi potensi yang ada tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan optimal. Dengan meningkatnya kebutuhan penduduk terhadap kebutuhan pangan menuntut pemerintah melakukan upaya intensifikasi dan ekstensifikasi pertanian. Peta jaringan D.I.R Pematang Limau disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta jaringan D.I.R Pematang Limau

Identifikasi Masalah

Teridentifikasi permasalahan yang terjadi pada D.I.R Pematang Limau adalah sebagai berikut:

1. Daerah Irigasi Rawa (D.I.R) Pematang Limau memiliki permasalahan ketika musim kemarau mengalami kekurangan air dan ketika musim hujan mengalami kelebihan air.
2. Menurunnya fungsi saluran primer dengan panjang saluran \pm 4,5 kilometer, hal ini terjadi akibat tidak berfungsinya pintu air yang ada di saluran primer dan setiap saluran sekunder belum memiliki pintu air.
3. Pada kondisi *existing* lebar pintu air yang ada di saluran primer tidak maksimal, sehingga berpotensi menghambat debit air pasang masuk dan saluran primer bagian hulu (*upstream*) tidak sepenuhnya terisi.

Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas dapat dirumuskan masalah penelitian ini, yaitu:

1. Sejauh mana pengaruh elevasi muka air di hulu saluran primer terhadap dimensi *existing* saluran primer dan pintu air ?
2. Bagaimana alternatif penanganan di saat terjadi kekurangan air atau terjadi kelebihan air sebagai akibat pengaruh fluktuasi muka air pasang surut pada saluran primer ?

3. Bagaimana rekomendasi alternatif sistem saluran primer dan pintu air untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di daerah studi ?

Batasan Masalah

Batasan masalah pada studi ini dibuat agar tidak menyimpang dari pokok bahasan, antara lain:

1. Pemodelan fluktuasi muka air pasang surut menggunakan bantuan *software* HEC-RAS versi 5.0.1.
2. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan tinggi elevasi muka air pasang tanpa pintu air dan dengan ada pintu air, untuk mengetahui zona mana saja yang mengalami kekurangan air serta zona mana saja yang mengalami kelebihan air.
3. Penelitian ini tidak membahas masalah kualitas air ataupun sedimentasi yang terjadi pada saluran primer.

Tujuan Penelitian

Studi ini bertujuan untuk:

1. Melakukan analisa pengaruh elevasi muka air di hulu saluran primer terhadap dimensi *existing* saluran primer dan pintu air.
2. Melakukan analisa dan alternatif penanganan di saat terjadi kekurangan air atau terjadi kelebihan air sebagai akibat pengaruh fluktuasi muka air pasang surut pada saluran primer.
3. Memberikan rekomendasi sistem saluran primer dan pintu air untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di daerah studi.

TINJAUAN PUSTAKA

Reklamasi rawa adalah upaya meningkatkan fungsi dan pemanfaatan rawa untuk kepentingan masyarakat luas. Reklamasi daerah rawa juga merupakan salah satu bentuk ekstensifikasi pertanian yang dilakukan dengan membuka, memanfaatkan serta melestarikan rawa sebagai sumber daya alam bagi kesejahteraan kehidupan manusia.

Tujuan pengembangan lahan rawa melalui reklamasi (Suhardjono dkk., 2010) adalah:

1. Pengembangan produktifitas pangan khususnya beras.
2. Memperluas lahan persawahan yang sudah semakin berkurang.
3. Menyediakan lahan pertanian dan meningkatkan pendapatan bagi para transmigran.

4. Menunjang pengembangan wilayah produktif serta meningkatkan penghasilan petani.
5. Mendukung program ketahanan dan keamanan terutama di daerah pesisir serta perbatasan.

Konsep pengembangan lahan rawa dilakukan secara bertahap dalam rangka pengembangan sumber daya air di Indonesia dengan fungsi budidaya. Kriteria pengembangan lahan rawa sebagai kawasan budidaya (Anonim, 2008) adalah:

1. Kawasan yang secara teknis dapat dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya.
2. Kawasan yang dapat meningkatkan perkembangan pembangunan lintas sektor dan sub sektor kegiatan ekonomi sekuturnya.
3. Kawasan yang apabila digunakan untuk budidaya akan meningkatkan pendapatan nasional dan daerah.
4. Kawasan yang apabila digunakan untuk budidaya tidak mengganggu fungsi lingkungan dan pelestarian sumber daya alam.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam menyelesaikan studi ini, di antaranya: Debit limpasan permukaan menggunakan Metode Rasional dengan persamaan (Suhardjono, 2015: 104):

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \tag{1}$$

dengan:

- Q = debit limpasan rencana (m³/detik).
- C = koefisien limpasan (tak berdimensi).
- I = intensitas hujan pada durasi yang sama dengan waktu konsentrasi dan periode ulang hujan tertentu (mm/jam).
- A = luas daerah pengaliran (hektar).

Koefisien limpasan (C) ditentukan dengan menggunakan Rumus Koefisien Limpasan Tertimbang atau C equivalent, dengan persamaan (Suripin, 2004: 81):

$$C_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{2}$$

dengan:

- C_{eq} = koefisien limpasan ekuivalen.
- C_i = koefisien limpasan sub-sub DAS/sub-sub DPS.

A_i = luas masing-masing sub DAS/sub DPS.

Perhitungan intensitas curah hujan dengan Rumus *Mononobe* (Suripin, 2004: 67-68): sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \tag{3}$$

dengan:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- t = lamanya hujan (jam)
- R₂₄ = curah hujan maksimum harian (mm, selama 24 jam)

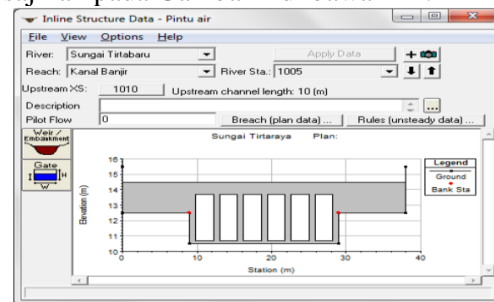
Persamaan energi digunakan sebagai dasar perhitungan, diberikan oleh persamaan berikut ini (Chow, 1997: 243):

$$h_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = h_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + z_2 + h_f + h_e \tag{4}$$

dengan:

- g = percepatan gravitasi (m/dtk)
- h_f = kehilangan tinggi akibat gesekan (m)
- h_e = kehilangan tinggi akibat perubahan penampang (m)
- U = kecepatan rerata (m/dtk)
- α = koefisien distribusi kecepatan
- z = ketinggian dari datum (m)
- h = kedalaman air (m)

Adapun contoh pintu air pada saluran disajikan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Contoh pintu air pada saluran
Sumber: Istiarto (2014: 7)

BAHAN DAN METODE

Bahan

Data yang diperlukan untuk mendukung penyelesaian penelitian ini adalah:

1. Peta tata guna lahan
Peta untuk mengetahui tata guna lahan di lokasi studi DIR. Pematang Limau yang berada di kecamatan Seruyan Hilir, peta

dimaksud diperoleh dari Citra Satelit Google Earth 2016, peta diperlukan untuk mengetahui nilai koefisien pengaliran di wilayah studi.

2. Data curah hujan
Data curah hujan harian maksimum didapat dari stasiun curah di sekitar wilayah studi, yaitu: Stasiun Kantor Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Seruyan dan Stasiun Kantor Pengamat Pengamat Pengairan Seruyan Hilir Timur. Data curah hujan yang tersedia mulai tahun 2005 s/d 2016.
3. Data Topografi
Data topografi lahan diperlukan untuk melakukan perhitungan luasan daerah pengaliran yang berpengaruh terhadap debit rancangan, peta ini diperoleh dari Citra Satelit Google Earth 2016 dengan bantuan *ArcMap* Versi 10.3.
4. Data sistem tata air
Sistem tata air digunakan sebagai dasar untuk membuat pemodelan, data tersebut terdiri dari:
 - Data saluran irigasi (*existing*)
Pengukuran data penampang memanjang (*long section*) dan penampang melintang (*cross section*) dilakukan.
 - Data pintu air (*existing*)
Pengukuran dimensi pintu air untuk melakukan pemodelan hambatan debit air pasang terhadap tinggi elevasi muka air di bagian hulu (*upstream*) yang berpengaruh terhadap kedalaman genangan pada lahan.
5. Data pasang surut
 - Data fluktuasi pasang surut
Data pasang surut diperoleh dengan melakukan pengamatan selama 16 hari pada tahun 2017. Lokasi di saluran primer DAS Seruyan yang terletak $03^{\circ} 36'39''$ dan $112^{\circ} 55'50''$.
 - Data debit pasang
Data debit pasang digunakan untuk membuat pemodelan. Data ini diperoleh

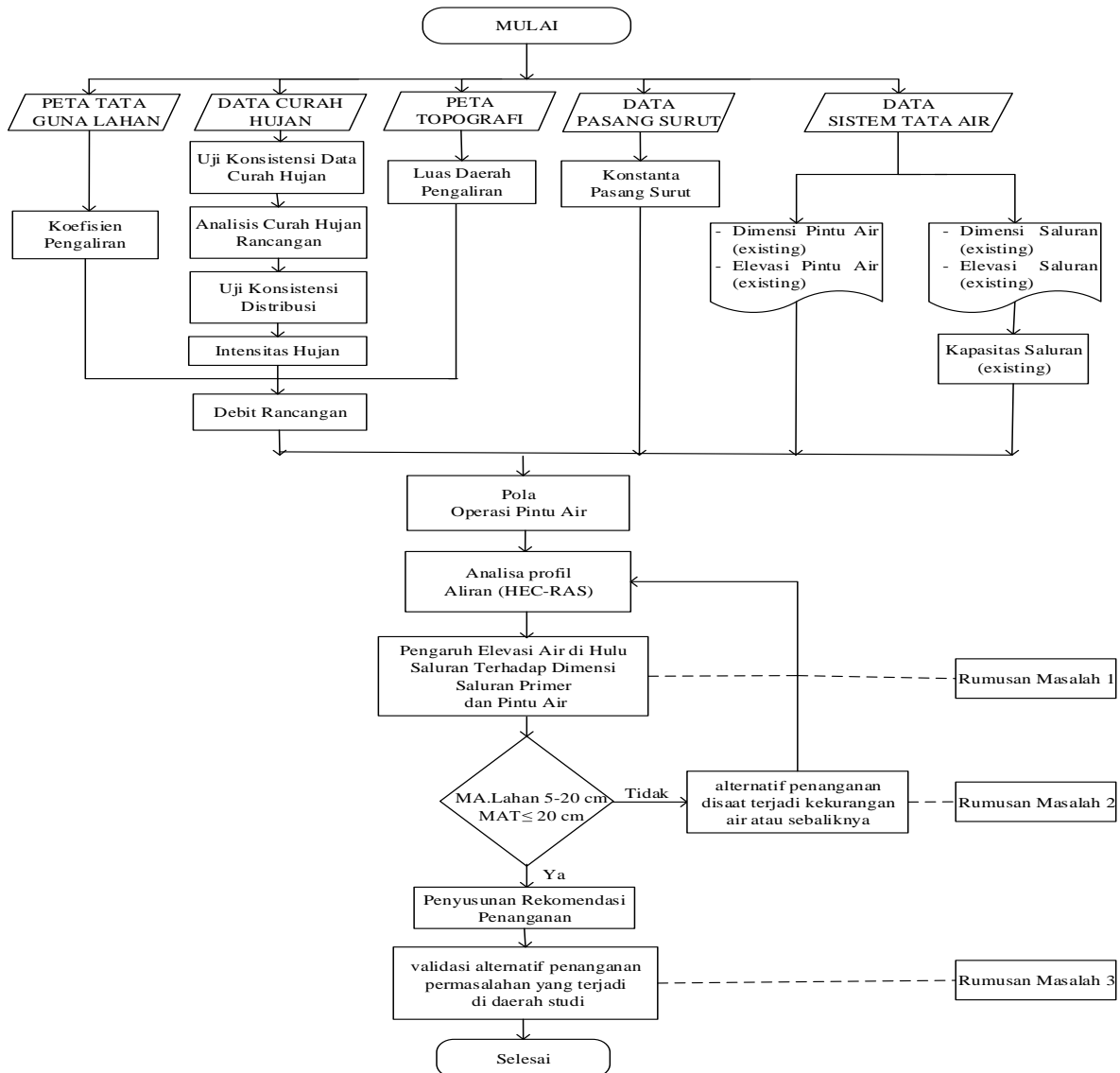
dengan melakukan pengukuran langsung di saluran primer DIR. Pematang Limau.

Metode

Berdasarkan data yang tersedia maka langkah selanjutnya untuk menyelesaikan kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung curah hujan curah harian maksimum tahunan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan debit air akibat curah hujan di wilayah *catchment area*.
2. Melakukan uji konsistensi/kesesuaian data curah hujan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).
3. Menghitung curah hujan dengan metode Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Person tipe III.
4. Melakukan uji kesesuaian distribusi secara vertikal *Chi Kuadrat* dan Uji Kesesuaian distribusi secara horizontal *Smirnov Kolmogorov*.
5. Menghitung intensitas hujan dengan Mononobe
6. Menentukan koefisien pengaliran (C), yaitu: perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air hujan yang turun di daerah tersebut.
7. Menghitung luas daerah pengaliran saluran pada setiap saluran sekunder dengan menggunakan bantuan *ArcMap* Versi 10.3
8. Menghitung debit rancangan dengan metode Rasional.
9. Mengevaluasi kapasitas saluran sekunder, pada saat musim hujan dengan curah hujan harian maksimum rerata.
10. Menghitung konstanta pasang surut metode *Least Square* dengan menggunakan bantuan aplikasi Pasut UGM.
11. Memodelkan profil memanjang (*long section*) saluran primer dengan bantuan HEC-RAS 5.01 kondisi pasang pada saat tidak terjadi hujan.

Adapun diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Uji Konsistensi Data

Uji Konsistensi menggunakan data dari stasiun CH. PUPR dan P2SHT I. Hasil Uji Konsistensi metode RAPS (*Rescale Adjusted Partial Sums*) pada kedua stasiun tersebut nilai $Q/(n^{0.5}) < Q/(n^2)$ artinya data hujan konsisten.

Perhitungan Curah Hujan Rerata

Perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan di beberapa titik menggunakan rerata Aljabar. Adapun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Curah Hujan Harian Rerata

No.	Tahun	Bulan	Tanggal	Sta. PUPR (mm)	Sta. P2SHT (mm)	Rerata (mm)	CH. Maks
1	2007	1	24	132	47	90	146
		6	4	120	171	146	
2	2008	8	31	120	32	76	92
		8	8	52	131	92	
3	2009	3	17	152	-	76	76
		1	23	-	77	38	
4	2010	3	12	96	-	48	88
		10	30	80	96	88	
5	2011	10	27	97	55	76	76
		4	24	-	83	41	
6	2012	4	5	138	64	101	101
		10	16	-	118	59	
7	2013	8	6	85	-	42	56
		4	14	27	85	56	
8	2014	6	15	140	-	70	76
		6	14	-	153	76	
9	2015	6	7	97	-	49	55
		1	31	-	109	55	
10	2016	11	16	113	-	56	61
		3	29	5	117	61	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Perhitungan Curah Hujan Rancangan

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan empat distribusi, yaitu: Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson tipe III disajikan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Rekapitulasi Hujan Rancangan

Tr	Normal (mm)	Log Normal (mm)	Gumbel (mm)	Log Person tipe III (mm)
2	82,59	79,22	79,972	76,472
5	105,12	101,61	111,984	100,395
10	116,92	115,75	133,178	117,883
25	128,45	131,48	159,957	142,228
50	137,57	145,41	179,824	162,393
100	145,08	157,98	199,543	183,610
200	151,78	170,13	219,191	206,560

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Uji Kesesuaian Distribusi

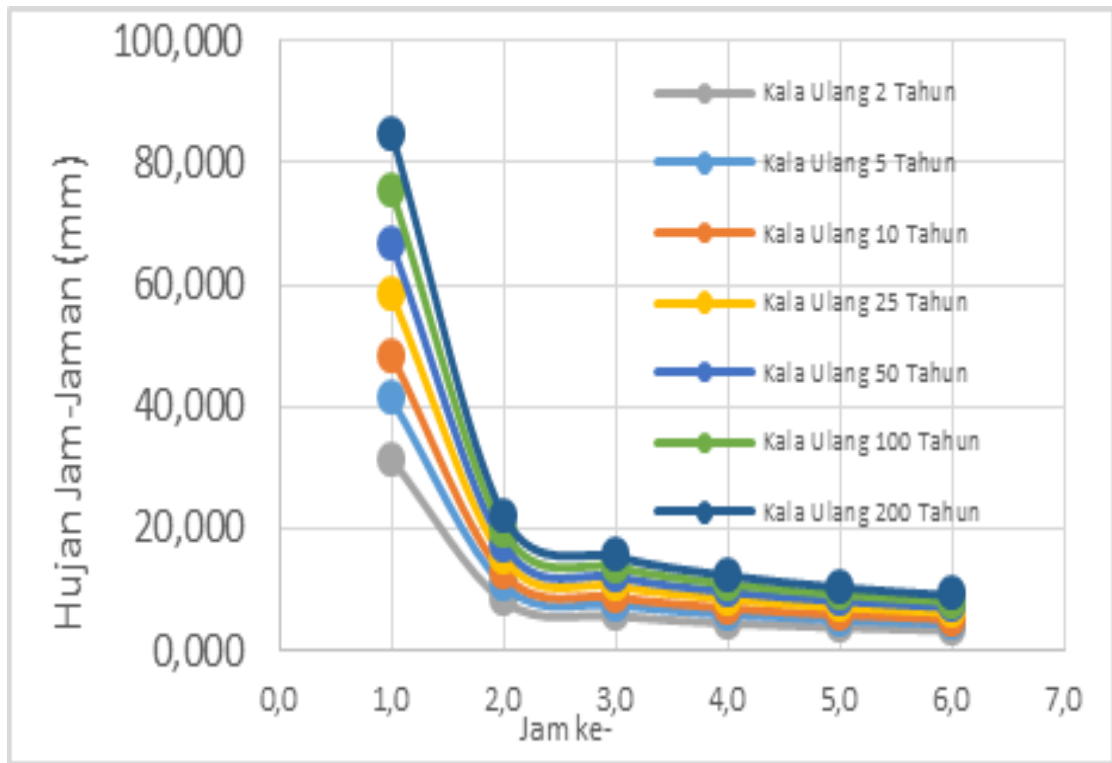
Uji kesesuaian distribusi dilakukan terhadap empat distribusi, yaitu: Distribusi

Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson tipe III.

- Uji *Smirnov-Kolmogorov*
Berdasarkan tabel kritis Uji *Smirnov-Kolmogorov*, untuk $n = 10$, dan $\alpha = 5\%$ diperoleh $\Delta_{cr} = 0,41$ dan $\Delta_{maks} = 0,009$. Karena $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, maka dis-tribusi Log Pearson tipe III hipotesa diterima.
- Uji *Chi-Square*
Berdasarkan tabel harga *Chi-Square* (X^2) untuk $d^k=1$ dan $\alpha = 5\%$ diperoleh $X^2 = 3,84$ dan $X^2_{hitung} = 0,4$. Karena $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$, maka distribusi Log Pearson tipe III yang diterima.

Distribusi Hujan Jam-Jaman

Analisa distribusi hujan jam-jaman dilakukan dengan menggunakan metode Mononobe, dengan durasi hujan selama 6 jam. Adapun grafik distribusi hujan disa-jikan pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Distribusi Hujan Netto Jam-Jaman

Evaluasi Saluran Sekunder (existing)

Evaluasi untuk mengetahui kondisi existing saluran mampu menampung/tidak jika

sewaktu waktu terjadi hujan. Adapun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Perhitungan kapasitas saluran

No	Saluran	ΣA	C	Intensitas Hujan	Q Hujan	Q Eksisting Sekunder	Q Total	Kondisi
		(Km^2)		(mm/jam)	(m^3/dt)	(m^3/dt)	(m^3/dt)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)=(7-6)	(9)
1	Saluran Sekunder Kanan 3	0,268	0,750	11,788	0,658	2,666	2,008	Memadai
2	Saluran Sekunder Kanan 4	0,274	0,750	12,907	0,737	2,891	2,153	Memadai
3	Saluran Sekunder Kanan 5	0,254	0,750	11,788	0,625	2,045	1,420	Memadai
4	Saluran Sekunder Kanan 6	0,239	0,750	12,907	0,644	2,654	2,010	Memadai
5	Saluran Sekunder Kanan 7	0,362	0,750	11,788	0,889	2,555	1,666	Memadai
6	Saluran Sekunder Kanan 8	0,304	0,750	11,788	0,747	1,996	1,249	Memadai
7	Saluran Sekunder Kanan 9	0,363	0,750	12,907	0,978	2,665	1,687	Memadai
8	Saluran Sekunder Kanan 10	0,232	0,750	12,907	0,624	2,856	2,232	Memadai
9	Saluran Sekunder Kanan 11	0,141	0,750	18,535	0,547	2,233	1,687	Memadai
10	Saluran Sekunder Kanan 12	0,089	0,750	18,535	0,343	1,953	1,610	Memadai
1	Saluran Sekunder Kiri 3	0,121	0,750	11,788	0,297	2,398	2,102	Memadai
2	Saluran Sekunder Kiri 4	0,147	0,750	12,907	0,395	2,858	2,463	Memadai
3	Saluran Sekunder Kiri 5	0,143	0,750	11,788	0,352	2,889	2,537	Memadai
4	Saluran Sekunder Kiri 6	0,147	0,750	11,788	0,362	2,798	2,437	Memadai
5	Saluran Sekunder Kiri 7	0,112	0,750	12,907	0,302	2,867	2,564	Memadai
6	Saluran Sekunder Kiri 8	0,125	0,750	11,788	0,308	2,867	2,558	Memadai
7	Saluran Sekunder Kiri 9	0,205	0,750	12,907	0,551	2,817	2,265	Memadai
8	Saluran Sekunder Kiri 10	0,166	0,750	12,907	0,446	3,276	2,830	Memadai
9	Saluran Sekunder Kiri 11	0,134	0,750	18,535	0,517	3,832	3,315	Memadai
10	Saluran Sekunder Kiri 12	0,121	0,750	18,535	0,467	3,565	3,098	Memadai
Jumlah total					10,790	54,680	43,890	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari hasil perhitungan pada Tabel 3 debit hujan kala ulang 10 tahun keseluruhan saluran sekunder yang ada mampu menampung debit hujan di saat tanaman padi sedang proses penyiangan.

Adapun hasil perhitungan genangan lahan akibat hujan disajikan pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Genangan lahan akibat hujan

No.	Saluran	Debit hujan (m^3/dt)	Debit 6 jam (m^3)	DPSal (m^2)	Genangan (m)
1	2	3	4	5	6=4/5
1	Saluran Sekunder Kanan 3	0,66	14.221,08	267.876,00	0,053
2	Saluran Sekunder Kanan 4	0,74	15.928,91	274.031,00	0,058
3	Saluran Sekunder Kanan 5	0,62	13.493,62	254.173,00	0,053
4	Saluran Sekunder Kanan 6	0,64	13.908,72	239.277,00	0,058
5	Saluran Sekunder Kanan 7	0,89	19.207,56	361.804,00	0,053
6	Saluran Sekunder Kanan 8	0,75	16.138,63	303.996,00	0,053
7	Saluran Sekunder Kanan 9	0,98	21.127,77	363.469,00	0,058
8	Saluran Sekunder Kanan 10	0,62	13.471,66	231.758,00	0,058
9	Saluran Sekunder Kanan 11	0,55	11.807,35	141.447,00	0,083
10	Saluran Sekunder Kanan 12	0,34	7.419,05	88.877,00	0,083
11	Saluran Sekunder Kiri 3	0,30	6.404,84	120.645,00	0,053
12	Saluran Sekunder Kiri 4	0,40	8.532,80	146.793,00	0,058
13	Saluran Sekunder Kiri 5	0,35	7.598,37	143.127,00	0,053
14	Saluran Sekunder Kiri 6	0,36	7.812,00	147.151,00	0,053
15	Saluran Sekunder Kiri 7	0,30	6.528,72	112.316,00	0,058
16	Saluran Sekunder Kiri 8	0,31	6.658,02	125.414,00	0,053
17	Saluran Sekunder Kiri 9	0,55	11.905,22	204.810,00	0,058
18	Saluran Sekunder Kiri 10	0,45	9.635,55	165.764,00	0,058
19	Saluran Sekunder Kiri 11	0,52	11.164,84	133.750,00	0,083
20	Saluran Sekunder Kiri 12	0,47	10.096,19	120.948,00	0,083
Jumlah			233.064,92	3.947.431,00	0,061

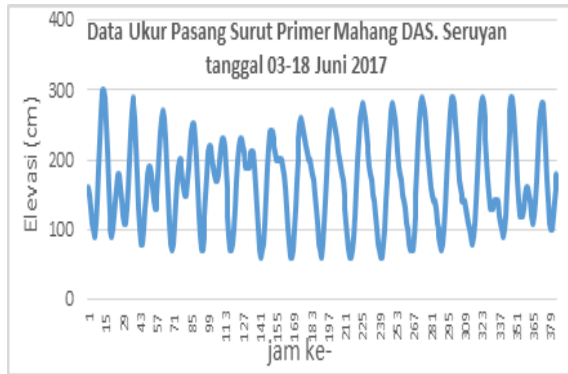
Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan perhitungan genangan pada lahan akibat hujan diperoleh tinggi genangan rata-rata sebesar 0,061 m.

Pasang Surut

Saluran primer D.I.R Pematang Limau bermuara pada DAS Seruyan yang merupakan

intake dari wilayah studi. Berikut adalah grafik data pasang surut yang disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik data pasang surut

Konstanta pasang surut diperoleh dengan menggunakan Metode *Least Square*. Berdasarkan data ukur pasang surut selang satu jam selama 16 hari. Hasil perhitungan konstanta pasang surut disajikan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Konstanta Pasang Surut

A (cm) g ⁰	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
	-	3,59	8,18	4,30	3,69	2,98	0,93	1,91	5,37	2,23
	170,09	52,07	8,18	14,60	3,75	62,56	31,57	18,58	0,08	0,22

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

$$F = \frac{K1+O1}{M2+S2} = \frac{(3,69+2,98)}{(3,59+8,18)} = 0,85$$

Pasang surut campuran condong ke ganda (*semi diurnal dominant*).

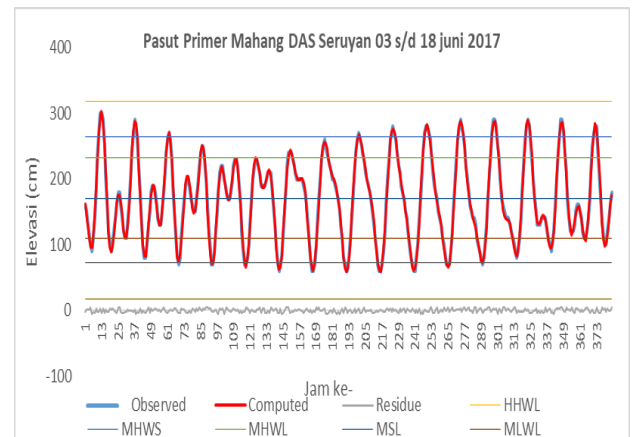
Adapun data elevasi-elevasi penting pasang surut di wilayah studi disajikan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Elevasi-Elevasi Penting Pasang Surut

No	Keterangan	Pengamatan Elevasi (cm)	Peramalan Elevasi (cm)
1.	Highest High Water Level (HHWL)	317,2	317,2
2.	Mean High Water Spring (MHWS)	264,0	264,0
3.	Mean High Water Level (MHWL)	231,3	231,3
4.	Mean Sea Level (MSL)	170,1	170,1
5.	Mean Low Water Level (MLWL)	109,6	109,6
6.	Mean Low Water Spring (MLWS)	73,0	73,0
7.	Lowest Low Water Level (LLWL)	17,1	17,5

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Adapun grafik prediksi pasang surut yang terjadi di wilayah studi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva pasang surut saluran primer DAS Seruyan

Pengukuran Debit Pasang

Pengukuran debit saluran primer D.I.R Pematang Limau dilakukan pada tanggal 14 Juni 2017 dengan menggunakan alat *current meter*.

Analisa Profil Aliran

Pada studi ini analisis hidrolika dilakukan dengan menggunakan *software* program HEC-RAS 5.0.1.

Penyusunan Model Hidrolika

Langkah-langkah dalam penyelesaian analisis hidrolik dengan menggunakan

program HEC-RAS 5.0.1 ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat file *new project*
Langkah pertama pemodelan adalah membuat direktori file *new project*.
2. Peniruan geometri saluran
Langkah kedua adalah membuat peniruan geometri saluran primer dengan memasukan data-data geometri.
3. Peniruan hidrolika (syarat batas)
Langkah ketiga adalah memasukan data-data aliran yang diperlukan analisis hidrolik aliran, dalam studi ini menggunakan aliran tidak permanen (*unsteady flow*).
4. Hitungan hidrolika
Langkah keempat dilakukan setelah semua data telah dimasukan baik berupa data geometri saluran, jenis aliran dan syarat

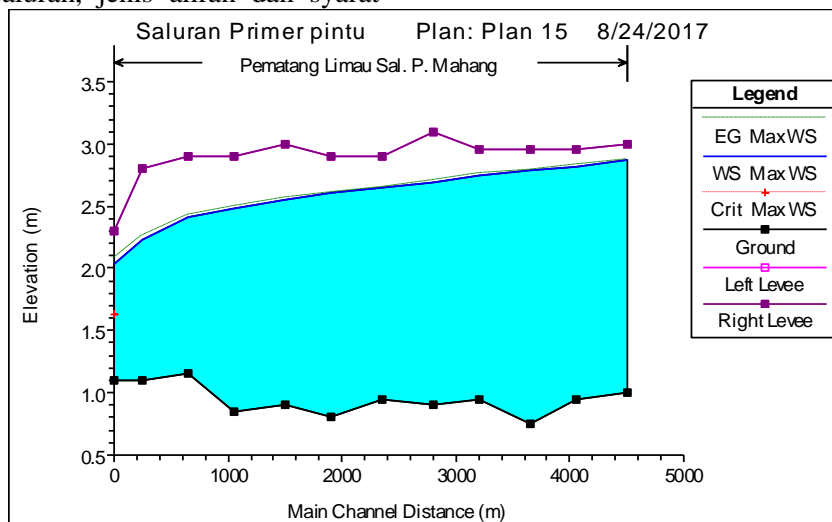
batas dimasukan, perhitungan hidrolik *unsteady flow* dapat dilakukan.

5. Presentasi hasil hitungan
Setelah berhasil melakukan perhitungan hidrolik dengan menjalankan program aliran tidak permanen (*unsteady flow*).

Pembahasan

Hasil analisa hidrolik aliran tidak permanen (*unsteady flow*). Berikut ini hasil proses empat simulasi, yaitu:

- a). Simulasi pertama
Simulasi saluran primer tanpa pintu air. Adapun profil aliran hasil simulasi disajikan pada Gambar 7, sedangkan data hasil simulasinya disajikan pada Tabel 7.



Gambar 7. Profil aliran *long section* saluran primer

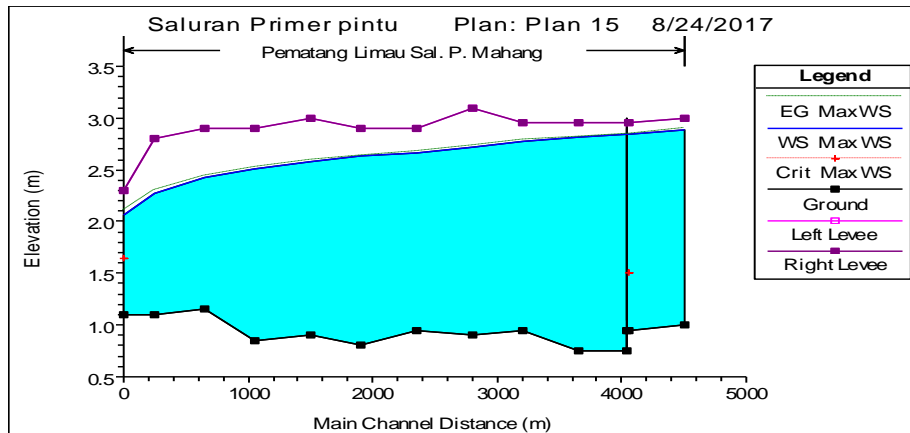
Tabel 7. Data hasil simulasi *long section*

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	7.26	1	2.87	2.88	0.00012	0.47	15.54	10.95	0.13
2	6.87	0.95	2.82	2.83	0.00009	0.42	16.31	10.95	0.11
3	6.54	0.75	2.78	2.79	0.00007	0.38	17.23	10.98	0.10
4	6.16	0.95	2.75	2.76	0.00008	0.35	17.41	15.01	0.10
5	5.86	0.9	2.70	2.71	0.00015	0.50	11.82	9.55	0.14
6	5.56	0.95	2.64	2.65	0.00011	0.40	13.77	11.78	0.12
7	5.22	0.8	2.60	2.61	0.00007	0.34	15.23	11.89	0.10
8	4.96	0.9	2.55	2.57	0.00015	0.47	10.47	8.68	0.14
9	4.74	0.85	2.49	2.5	0.00016	0.46	10.2	9.42	0.14
10	4.54	1.15	2.41	2.42	0.00022	0.51	8.89	9.39	0.17
11	4.37	1.1	2.24	2.26	0.00056	0.73	5.97	7.15	0.26
12	4.28	1.1	2.03	2.07	0.00100	0.84	5.07	7.95	0.34

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

b). Simulasi kedua
 Simulasi saluran primer dengan pintu air (*existing*). Adapun profil aliran hasil simulasi disajikan pada Gambar 8,

sedangkan data hasil simulasinya disajikan pada Tabel 8.



Gambar 8. Profil aliran *long section* saluran primer

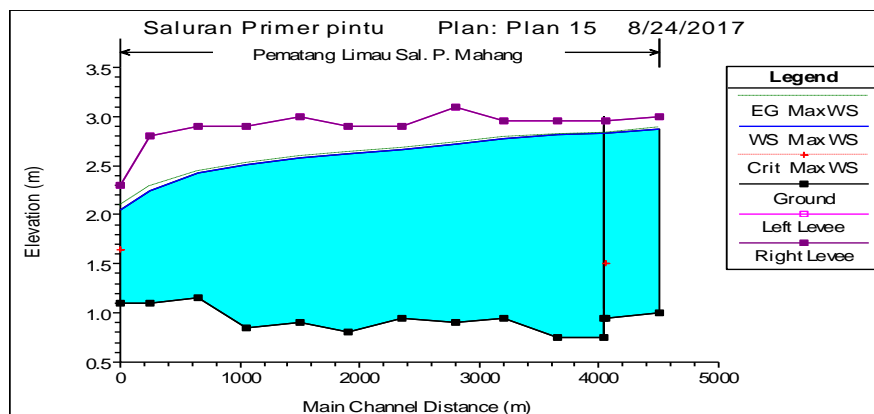
Tabel 8. Data hasil simulasi *long section*

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	7.26	1	2.89	2.9	0.00011	0.46	15.75	10.98	0.12
2	6.85	0.95	2.84	2.85	0.000084	0.41	16.57	10.98	0.11
3	6.85	0.75	2.81	2.82	0.000087	0.39	17.59	13.2	0.11
4	6.41	0.95	2.78	2.78	0.000083	0.36	17.82	15.28	0.11
5	6.07	0.9	2.72	2.74	0.000156	0.50	12.07	9.61	0.14
6	5.75	0.95	2.67	2.68	0.000108	0.41	14.07	11.84	0.12
7	5.40	0.8	2.63	2.64	0.000069	0.35	15.53	11.95	0.1
8	5.13	0.9	2.58	2.59	0.00015	0.48	10.67	8.73	0.14
9	4.89	0.85	2.51	2.52	0.000158	0.47	10.42	9.47	0.14
10	4.69	1.15	2.43	2.44	0.000222	0.51	9.11	9.44	0.17
11	4.51	1.1	2.27	2.29	0.000537	0.73	6.18	7.21	0.25
12	4.42	1.1	2.06	2.1	0.001002	0.88	5.03	7.3	0.34

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

c). Simulasi ketiga
 Membuat lebar pintu menjadi 1,5 m dari sebelumnya 1 m. Adapun profil

aliran hasil simulasi disajikan pada Gambar 9, sedangkan data hasil simulasinya disajikan pada Tabel 9.



Gambar 9. Profil aliran *long section* saluran primer

Tabel 9. Data hasil simulasi *long section*

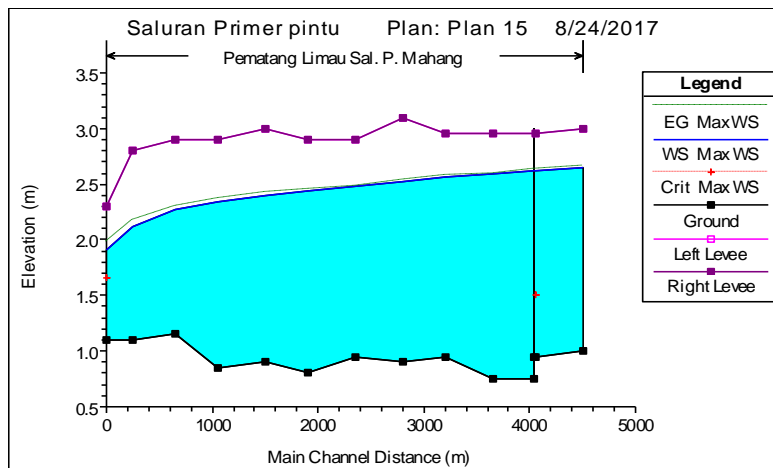
River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	7.26	1	2.87	2.88	0.00011	0.46	15.61	10.96	0.12
2	6.86	0.95	2.83	2.83	0.00009	0.42	16.38	10.96	0.11
3	6.86	0.75	2.81	2.82	0.00009	0.39	17.58	13.19	0.11
4	6.42	0.95	2.78	2.78	0.00008	0.36	17.81	15.27	0.11
5	6.08	0.9	2.72	2.74	0.00016	0.50	12.06	9.61	0.14
6	5.77	0.95	2.67	2.67	0.00011	0.41	14.05	11.83	0.12
7	5.41	0.8	2.63	2.63	0.00007	0.35	15.51	11.95	0.1
8	5.14	0.9	2.58	2.59	0.00015	0.48	10.65	8.73	0.14
9	4.91	0.85	2.51	2.52	0.00016	0.47	10.38	9.46	0.14
10	4.70	1.15	2.42	2.44	0.00023	0.52	9.06	9.43	0.17
11	4.53	1.1	2.25	2.28	0.00057	0.75	6.07	7.18	0.26
12	4.44	1.1	2.05	2.09	0.00100	0.85	5.2	8.03	0.34

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

d). Simulasi keempat

Merubah kekasaran *manning* semula 0.027 menjadi 0,018 dengan dimensi pintu air *existing*. Adapun profil aliran hasil

simulasi disajikan pada Gambar 10, sedangkan data hasil simulasinya disajikan pada Tabel 10.



Gambar 10. Profil aliran *long section* saluran primer

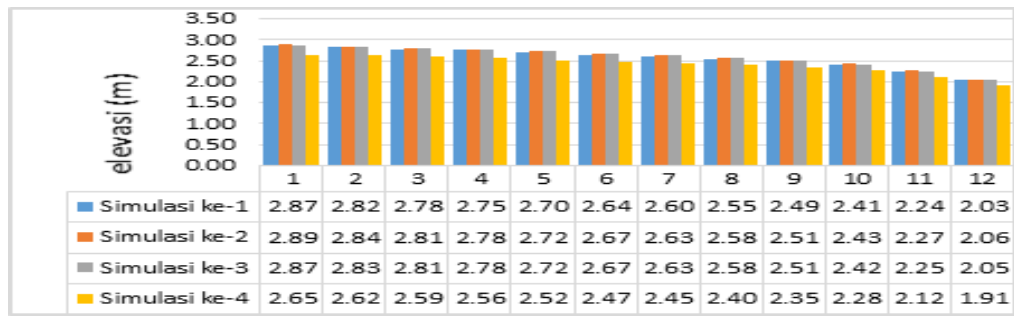
Tabel 10. Data hasil simulasi *long section*

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	7.26	1.00	2.65	2.66	0.00008	0.55	13.19	10.58	0.16
2	6.93	0.95	2.62	2.63	0.00006	0.49	14.20	10.63	0.13
3	6.93	0.75	2.59	2.60	0.00005	0.46	15.09	10.67	0.12
4	6.59	0.95	2.56	2.57	0.00005	0.44	15.02	12.55	0.13
5	6.32	0.90	2.52	2.54	0.00012	0.62	10.14	9.15	0.19
6	6.03	0.95	2.47	2.49	0.00009	0.51	11.83	11.45	0.16
7	5.72	0.80	2.45	2.46	0.00005	0.43	13.39	11.51	0.13
8	5.48	0.90	2.40	2.42	0.00012	0.60	9.17	8.34	0.18
9	5.26	0.85	2.35	2.36	0.00013	0.59	8.91	9.11	0.19
10	5.06	1.15	2.28	2.30	0.00019	0.66	7.69	9.13	0.23
11	4.88	1.10	2.12	2.17	0.00047	0.94	5.17	6.92	0.35
12	4.77	1.10	1.91	1.99	0.00100	1.20	3.99	6.76	0.50

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari keempat proses simulasi model hidrolis tersebut di atas dibuat perbandingan

elevasi yang disajikan pada Gambar 11. di bawah ini.



Gambar 11. Perbandingan elevasi long section

Berdasarkan Gambar 11 simulasi kedua menunjukkan elevasi muka air tertinggi pada cross section 1-12.

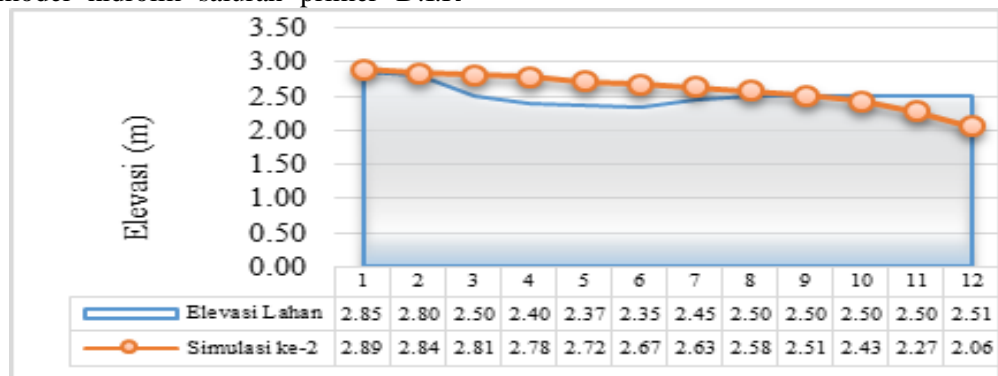
Pematang Limau, yang dibagi menjadi dua parameter, yaitu:

Adapun grafik kedua parameter tersebut disajikan pada gambar 12 s/d 13 di bawah ini.

Evaluasi Simulasi (existing)

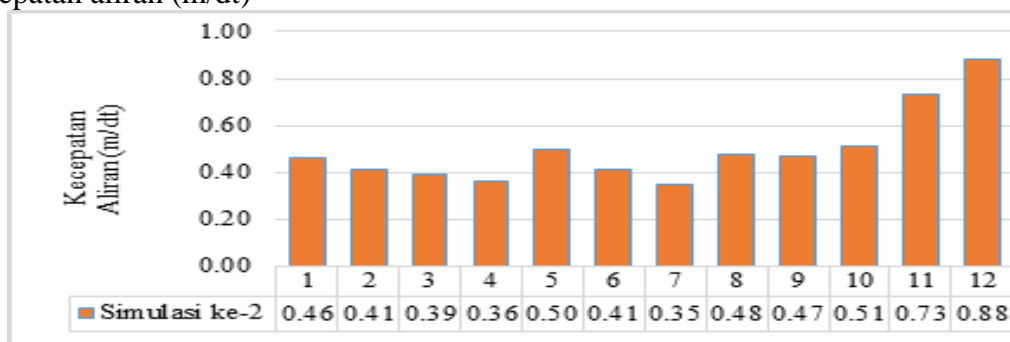
Evaluasi dilakukan pada hasil simulasi kedua model hidrolis saluran primer D.I.R

(1) Elevasi muka air profil memanjang (long section)



Gambar 12. Grafik perbandingan elevasi

(2) Kecepatan aliran (m/dt)



Gambar 13. Grafik kecepatan aliran

Berdasarkan gambar grafik kecepatan aliran pada cross section 5, 8, 9, 10, 11 dan 12 mengalami peningkatan, hal ini disebabkan pada cross section tersebut mengalami penyempitan, yaitu lebar atas (top width) saluran primer lebih kecil dibandingkan dengan cross section 1, 2, 3, 4, 6, dan 7. Secara keseluruhan lebar saluran sudah tidak sama akibat runtuh-nya talud saluran dan penampang saluran sudah tidak berbentuk trapesium. Lebar atas masing-masing saluran dapat dilihat pada Gambar 9 data hasil simulasi long section.

Perhitungan Genangan Akibat Pasang dan Hujan

Perhitungan genangan pada lahan berdasarkan hasil simulasi kedua pada saluran

primer, dengan asumsi saluran sekunder tersisi penuh. Adapun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Perhitungan genangan akibat pasang

No	Nama Saluran	A' (m ²)	Panjang (m)	Volume (m ³)	DPSal (m ²)	Genangan (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) =(4)x(5)	(6)	(7)=(5)/(6)
1	Sekunder 3	0,99				
		1,49	450	671,25	388.521,0	0,002
2	Sekunder 4	1,99				
		2,14	400	856,67	420.824,0	0,002
3	Sekunder 5	2,29				
		2,39	450	1076,25	397.300,0	0,003
4	Sekunder 6	2,49				
		1,99	450	896,25	386.428,0	0,002
5	Sekunder 7	1,49				
		1,24	400	496,67	474.120,0	0,001
6	Sekunder 8	0,99				
		0,99	450	446,25	429.410,0	0,001
7	Sekunder 9	0,99				
		0,99	400	396,67	568.279,0	0,001
8	Sekunder 10	0,99				
		0,99	400	396,67	397.522,0	0,001
9	Sekunder 11	0,99				
		0,94	250	235,42	275.197,0	0,001
10	Sekunder 12	0,89				
		0,89	200	178,33	209.825,0	0,001
Jumlah Volume				5.650,42	3.947.426,0	0,001

Sumber: hasil perhitungan. 2017

Dari hasil tabulasi perhitungan pada Tabel 10. Genangan akibat pasang, diperoleh tinggi genangan rerata sebesar 0,001 m atau 1 mm.

Perhitungan Genangan Akibat Pasang dan Hujan

Perhitungan ini berdasarkan hasil simulasi kedua bersamaan dengan terjadinya hujan diperoleh dari Tabel 11. Adapun hasil perhitungan disajikan pada pada tabel 12 di bawah ini.

Tabel 12. Genangan akibat pasang dan hujan

No.	Saluran	Genangan (m)		Total Genangan (m)
		Akibat Hujan	Akibat Pasang	
(1)	(2)	(3)	(4)	(4)=(3)+(4)
1	Sekunder 3	0,053	0,002	0,055
2	Sekunder 4	0,058	0,002	0,060
3	Sekunder 5	0,053	0,003	0,056
4	Sekunder 6	0,058	0,002	0,060
5	Sekunder 7	0,053	0,001	0,054
6	Sekunder 8	0,053	0,001	0,054
7	Sekunder 9	0,058	0,001	0,059
8	Sekunder 10	0,058	0,001	0,059
9	Sekunder 11	0,083	0,001	0,084
10	Sekunder 12	0,083	0,001	0,084
Rata-rata		0,061	0,001	0,062

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari hasil tabulasi perhitungan pada Tabel 12. Genangan akibat pasang dan hujan, di-peroleh tinggi genangan rerata sebesar 0,062 m atau 6,2 cm.

Rencana Penanganan

Berdasarkan hasil dan evaluasi yang dilakukan, maka langkah-langkah penanganannya adalah sebagai berikut:

Pola Operasi Pintu Air

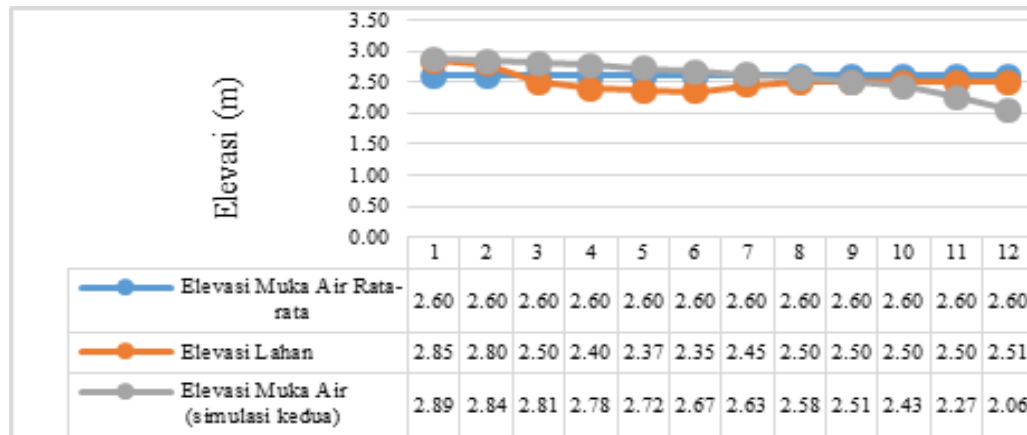
Pengaturan pola operasi buka/tutup pintu air, yaitu menutup pintu air ketika debit

puncak pasang masuk, serta membuat rekomendasi setiap saluran sekunder dibuat pintu air dan ketika proses pasang berlangsung pintu air tersebut ditutup. Langkah ini dilakukan agar debit pasang yang masuk saluran primer tidak kembali ke sungai sehingga membuat elevasi muka air menjadi rata-rata dan elevasi muka air pada *cross section* 10-12 meningkat. Ada-pun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 13, sedangkan grafik beda elevasi pada Gambar 18 di bawah ini.

Tabel 13. Perbandingan elevasi

No.	Elevasi Lahan	Elevasi Muka Air Rata-rata	Elevasi Muka Air (simulasi kedua)	Beda elevasi	Beda elevasi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4)-(2)	(6)=(3)-(2)
1	2,850	2,599	2,890	0,040	-0,251
2	2,800	2,599	2,840	0,040	-0,201
3	2,500	2,599	2,810	0,310	0,099
4	2,400	2,599	2,780	0,380	0,199
5	2,370	2,599	2,720	0,350	0,229
6	2,350	2,599	2,670	0,320	0,249
7	2,450	2,599	2,630	0,180	0,149
8	2,500	2,599	2,580	0,080	0,099
9	2,500	2,599	2,510	0,010	0,099
10	2,500	2,599	2,430	-0,070	0,099
11	2,500	2,599	2,270	-0,230	0,099
12	2,550	2,599	2,060	-0,490	0,049

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017



Gambar 14. Beda elevasi muka air

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 13. Perbandingan elevasi dan Gambar 14. Beda elevasi muka air. Kondisi ini menggambarkan muka air rerata mampu melampaui elevasi lahan namun tidak maksimal, rata-rata tinggi genangan hanya 0,001 m atau 1 mm.

Pembagian Air Pasang Bergiliran

Perhitungan genangan pada lahan berdasarkan hasil simulasi kedua, dengan asumsi saluran sekunder tersisi penuh. Adapun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan genangan (bergiliran)

No	Nama Saluran	A' (m ²)	Pan-jang (m)	Volume (m ³)	DPSal (m ²)	Genangan (m)	
						Bersa-maan	Gilir-an
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)x(4)	(6)	(7)=(5/6)	(8)
1	Sekunder 3	0,99					
		1,49	450	671,25	388.521,00	0,002	0.01
2	Sekunder 4	1,99					
		2,14	400	856,67	420.824,00	0,002	0.01
3	Sekunder 5	2,29					
		2,39	450	1076,25	397.300,00	0,003	0.01
4	Sekunder 6	2,49					
		1,99	450	896,25	386.428,00	0,002	0.01
5	Sekunder 7	1,49					
		1,24	400	496,67	474.120,00	0,001	0.01
6	Sekunder 8	0,99					
		0,99	450	446,25	429.410,00	0,001	0.01
7	Sekunder 9	0,99					
		0,99	400	396,67	568.279,00	0,001	0.01
8	Sekunder 10	0,99					
		0,99	400	396,67	397.522,00	0,001	0.01
9	Sekunder 11	0,99					
		0,94	250	235,42	275.197,00	0,001	0.02
10	Sekunder 12	0,89					
		0,89	200	178,33	209.825,00	0,001	0.03
Jumlah Volume				5650,42	3947.426,0	0,001	0.015

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Perhitungan Irigasi Pompa

Irigasi pompa merupakan alternatif terakhir ketika proses pemanfaatan air pasang tidak dapat memenuhi kebutuhan air pada lahan. (Kalsim, 2001: 19)

$$q = \sum \frac{A \times y}{R \times T} \times \frac{1000}{36} = 27,78 \times \sum \frac{394,74 \times 5}{6 \times 10} = 913,83 \text{ L/dt}$$

dengan:

- A : 394,74 Ha
- y : 5, 10, 15 dan 20cm
- R : 6 hari
- T : 10 jam/hari

Perhitungan dengan kedalaman (y) 5 cm diperoleh q sebesar 913,83 L/dt atau 0,91 m³/dt. Untuk memperoleh jumlah kebu-tuhan pompa dengan asumsi kapasitas pompa per unit sebesar 0,077 m³/dt.

$$\text{maka} = \frac{0,91}{0,077} = 11,92 \text{ atau } 12 \text{ unit}$$

Tabel 15. Lama operasi pompa

No.	Kedalaman (cm)	Hari Operasi
1	5	6
2	10	12
3	15	18
4	20	24

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari hasil tabulasi perhitungan pada Tabel 15 lama operasi pompa berdasarkan kedalaman genangan yang diperlukan.

Pengembangan D.I.R Pematang Limau

Pengembangan dilakukan, yaitu: membuat pintu air di setiap saluran sekunder sebanyak 19 buah dan memperbaiki pintu air pada saluran primer dan sekunder masing-masing sebanyak 1 unit serta menyediakan pompa air sebanyak 12 unit.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil evaluasi menunjukkan elevasi muka air saluran primer pada *cross section* 10-12 berada di bawah elevasi lahan, sehingga lahan yang berada disisi kanan/ kiri tidak tergenangi.
 - a. Dari keempat proses simulasi model hidrolik dilakukan pada saluran primer, simulasi kedua menunjukkan elevasi muka air tertinggi pada *cross section* 1-12, maka dapat disimpulkan pintu air *existing* yang ada masih ideal, dengan catatan perlu adanya perbaikan agar berfungsi sebagaimana mestinya.
 - b. Berdasarkan hasil perhitungan di saat kondisi hujan tidak terjadi pasang, saluran sekunder *existing* secara keseluruhan mampu menampung atau mendrainasi jika debit air hujan tersebut tidak dibutuhkan, sedangkan jika air hujan dibutuhkan dari hasil perhitungan diperoleh kedalaman genangan pada lahan sebesar 0,061 m.
 - c. Berdasarkan hasil simulasi di saat kondisi pasang bersamaan terjadinya hujan diperoleh kedalaman genangan pada lahan sebesar 0,062 m.
2. Alternatif penanganan untuk menaikkan elevasi muka air pada saluran primer *cross section* 10-12, yaitu:
 - a. Dari hasil perhitungan rata-rata muka air terhadap elevasi di bagian hulu/ujung saluran diperoleh angka elevasi 2,60 m dan kedalaman genangan pada lahan sebesar 0,001 m. Untuk memaksimal genangan dilakukan sistem giliran terhadap masing-masing petak lahan diperoleh 0,015 m.
 - b. Perlu dilakukan pengaturan pola operasi pintu air dengan menutup pintu air pada saluran primer ketika debit puncak air pasang yang masuk ke saluran dan menutup pintu-pintu air pada saluran sekunder agar proses pemerataan elevasi muka air dapat berjalan.
 - c. Alternatif terakhir untuk menaikkan tinggi genangan pada lahan antara 5-15 cm kondisi kemarau atau tidak terjadi hujan dalam jangka waktu lama perlu dilakukan pompanisasi. Jika tinggi genangan yang diinginkan 5 cm dengan lama operasi 10 jam/hari selama 6 hari, maka jumlah unit pompa yang dibutuhkan berjumlah 12 unit.
3. Adapun rekomendasi alternatif penanganan, yaitu: memperbaiki pintu air pada saluran primer/sekunder, membuat pintu air untuk saluran sekunder yang belum memiliki pintu air sebanyak 19 buah dan menyediakan pompa air sebanyak 12 unit untuk mengatasi musim kering.

Saran

Berdasarkan hasil kajian pada studi ini, disarankan kepada pihak terkait, yaitu: Balai Wilayah Sungai Kalimantan II, antara lain:

1. Perlu adanya kajian lanjutan untuk mengetahui pengaruh hambatan air yang terjadi dari muara saluran primer pada DAS Seruyan hingga persimpangan atau titik nol pada studi ini.
2. Membuat pintu air disetiap saluran sekunder dengan tujuan untuk menahan debit air hujan keluar ataupun menahan debit air pasang ketika muka air di lahan sudah terpenuhi.
3. Mengatur pola operasi pintu air agar semua jaringan irigasi bisa di aliri dengan cara melakukan giliran bukaan pintu air.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Rawa Pantai. Pengelolaan Rawa di Indonesia, Buku, 278 halaman.
- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga.

- <http://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/2015/10/program-aplikasi-pasang-surut/> diakses tanggal 17-07-2017.
- Istiarto. 2014. Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS Jenjang Lanjut: Gates. UGM. Yogyakarta.
- Kalsim, Dedi K. 2001. Irigasi Pompa. Bagian Teknik Tanah dan Air, Fateta IPB.
- Suhardjono. dkk. 2010. Reklamasi Daerah Rawa Untuk Pengembangan Persawahan. Citra Malang.
- Suhardjono. 2015. Buku Ajar Drainase Perkotaan Jurusan Teknik Pengairan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.