



OPTIMASI JARINGAN IRIGASI PERPIPAAN BERDASARKAN KARAKTERISTIK HIDRAULIS DAN BIAYA DI PERTANIAN LAHAN KERING

PIPE IRRIGATION NETWORK OPTIMIZATION BASED ON HYDRAULIC AND COST CHARACTERISTIC IN DRY LAND AGRICULTURE

Oleh:

Iman Muhardiono^{1)✉}, Budi Kartiwa¹⁾, Adang Hamdani¹⁾, Nani Heryani¹⁾

¹⁾Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi (Balitklimat), Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No. 1A Bogor 16111, Jawa Barat

Komunikasi Penulis, email: imanmuhardiono@pertanian.go.id

Naskah ini diterima pada 22 Mei 2020; revisi pada 22 Juni 2020;
disetujui untuk dipublikasikan pada 21 September 2020

ABSTRACT

In dry lands, limited annual rainfall rate as well as its uneven temporal and spatial distribution causes a heavy constraint on agricultural activities. Utilization of proper irrigation method can overcome these limitations so that water demand can be fulfilled in an efficient and effective manner. Currently, pipe irrigation has been widely used to improve irrigation efficiency and crop productivity. However, in practice, the designs which had been made usually not yet optimum and efficient so that the expected discharge output can be excessive or less than expected. Therefore, design optimization is required by considering hydraulic characteristics and costs. The research was conducted to obtain optimal pipe irrigation network design through scenario analysis of pipe dimensions based on hydraulic modeling in the EPANET 2.0 application. The research was conducted in South Lampung Regency with a research block area of 1 ha. The analysis was conducted in 15 scenarios of irrigation networks with different combination of pipe diameter. The results showed that the simulated pipe diameter combination scenario can give varying results for the cost component and the hydraulic conditions of water in the pipe. The best combination is Scenario 7 with a combination of main pipe with a diameter of 48 mm and a sub-main pipe with a diameter of 22 mm which can optimally fulfill the plant water requirement at a relatively economical cost.

Keywords: *pipe irrigation, optimization, dry land, cost, EPANET*

ABSTRAK

Curah hujan tahunan yang rendah di lahan kering, serta keterbatasan dan atau ketidakseimbangan sebarannya secara temporal dan spasial, menyebabkan usaha tani di lahan kering sangat terbatas. Penggunaan metode irigasi yang tepat guna diperlukan untuk menjawab permasalahan keterbatasan pemenuhan air agar pemakaiannya lebih efisien dan efektif. Dewasa ini, teknologi irigasi perpipaan pada lahan kering sudah banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi irigasi dan produktivitas tanaman. Namun demikian dalam pelaksanaannya, desain yang dibuat masih belum optimal dan efisien sehingga keluaran debit yang diharapkan dapat berlebih atau sangat kurang dari yang diharapkan. Optimasi desain diperlukan dengan mempertimbangkan karakteristik hidraulik dan biaya. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan desain jaringan irigasi pipa yang optimal melalui analisis skenario dimensi pipa berdasarkan pemodelan hidraulik pada perangkat lunak EPANET 2.0. Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Lampung Selatan dengan luas area blok penelitian 1 ha. Rangkaian jaringan irigasi pipa dibuat sebanyak 15 skenario, dimana variabel diameter pipa dibuat berbeda tiap skenarionya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario kombinasi diameter pipa yang disimulasikan dapat memberikan hasil yang bervariasi terhadap komponen biaya dan kondisi hidraulik air dalam pipa. Kombinasi terbaik adalah Skenario 7 dengan kombinasi pipa utama berdiameter 48 mm dan pipa sub-utama berdiameter 22 mm dapat memenuhi kebutuhan air tanaman secara optimal dengan biaya yang relatif ekonomis.

Kata kunci: *irigasi pipa, optimasi, lahan kering, biaya, EPANET*

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan kering seluas 144,47 juta Ha atau 75,60% dari luas daratan Indonesia. Lahan kering dataran rendah mencakup areal dominan, seluas 111,33 juta ha atau 77,06% dari total luas lahan kering, sisanya berupa dataran tinggi sekitar 33,14 juta ha (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, 2014). Dari total luas lahan kering di Indonesia, sekitar 99,65 juta ha (68,98%) merupakan lahan potensial untuk pertanian, serta sekitar 29,39 juta ha (29,50%) potensial untuk tanaman pangan lahan kering. Curah hujan tahunan yang rendah di lahan kering, serta keterbatasan dan atau ketidakseimbangan sebarannya secara temporal dan spasial, menyebabkan usahatani di lahan kering sangat terbatas. Kelangkaan air merupakan merupakan faktor pembatas utama untuk budi daya tanaman di lahan kering.

Pola pertanian lahan kering di Indonesia hingga saat ini masih banyak mengadopsi sistem pemenuhan air tanaman yang bersumber dari air hujan. Tanpa menggunakan teknologi penerapan irigasi hemat air, sistem pertanian di lahan kering beresiko tinggi terhadap kegagalan produksi akibat kekeringan. Pada lahan kering, irigasi untuk pemenuhan kebutuhan air tanaman sangat penting. Pada umumnya penerapannya masih bersifat tradisional, dimana sistem distribusi dan penggunaannya masih belum memperhatikan keseimbangan antara jumlah air dengan kebutuhan air tanaman (Haryati, 2014). Irigasi dengan teknologi hemat air (*supplementary*) bertujuan untuk memenuhi kebutuhan air pada volume, waktu, dan jarak interval yang tepat, dimana air harus dapat diberikan sebelum mencapai batas bawah kadar air. Air hanya diberikan ke tanaman sesuai dengan kebutuhan air tanaman pada setiap fase pertumbuhan tanaman seperti fase vegetatif (pertumbuhan tanaman), fase generatif, dan fase pemasakan.

Sumber air di lahan kering pada umumnya terletak lebih rendah dari lahan target irigasi, sehingga untuk memanfaatkan potensi air perlu menaikkan air menggunakan pompa untuk kemudian didistribusikan ke lahan menggunakan saluran terbuka atau tertutup (pipanisasi). Pemanfaatan pompa irigasi untuk padi sawah menghasilkan nilai efisiensi distribusi air (Ed) hingga 90% dengan efisiensi aplikasi (Ea) untuk SRI 98%-99% dan sawah konvensional 83-76% (Fajar, Purwanto, & Tarigan, 2016).

Efisiensi pemberian air antara lain erat hubungannya dengan sifat fisik tanah dari media tanam. Hasil penelitian Wijaya & Rivai (2018) tentang pemberian irigasi tetes pada tanaman sawi

menunjukkan bahwa pemberian air pada tanah bertekstur liat lebih efisien dibandingkan lempung dan liat berpasir. Dalam meningkatkan produktivitas hasil pertanian dengan air terbatas dapat diatasi dengan penggunaan irigasi mikro. Irigasi mikro dapat menjadi pilihan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering. Sistem irigasi ini hanya mengaplikasikan air di sekitar perakaran tanaman.

Irigasi mikro cocok diterapkan pada lahan kering, berpasir, berbatu, atau sukar didatarkan. Irigasi mikro sendiri terdiri atas beberapa jenis antara lain irigasi tetes, irigasi subsurface, irigasi mini sprinklers dan mikro sprayer. Penggunaan sistem irigasi mikro dalam penerapannya tidak membutuhkan lahan yang besar, serta dapat memanfaatkan sumber air yang seadanya. Menurut Amuddin & Sumarsono (2015) dengan menggunakan sistem irigasi tetes, penggunaan pompa air untuk penyiraman tanaman cabe sangat efisien dan hemat bila dibandingkan sistem saluran terbuka serta dapat menekan biaya operasional tenaga kerja. Pada penelitian tanaman cabai, teknik irigasi *subsurface* memberikan nilai efisiensi penggunaan air paling tinggi ($0,78 \text{ kg/m}^3$) dibandingkan teknik gelontor ($0,73 \text{ kg/m}^3$), curah ($0,62 \text{ kg/m}^3$), dan tetes ($0,60 \text{ kg/m}^3$) (Haryati, 2014). Namun penerapan dengan menggunakan teknik irigasi hemat air pada tanaman pangan utamanya padi masih sangat jarang, hal ini disebabkan oleh anggapan resiko kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan di lahan sawah.

Sistem penyediaan air melalui perpipaan memiliki efektifitas dalam memenuhi kebutuhan air tanaman, namun sistem yang dibangun juga memerlukan perencanaan yang baik agar dapat meminimalisir kegagalan sistem dan berujung pada kebutuhan pembiayaan. Apabila sistem struktur pipa dan faktor kendalanya (tekanan air dan kecepatan) dapat diketahui, maka desain optimal dapat diekspresikan dalam bentuk diameter pipa yang meminimalkan biaya total (Yoo, Lee, Sadollah, & Kim, 2015). Jaringan irigasi apabila dirancang, dipasang, dipelihara dengan tepat, maka dapat menjadi investasi pertanian yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun desain jaringan irigasi pipa optimal melalui pemodelan hidraulis jaringan irigasi menggunakan perangkat lunak EPANET 2.0. Pada studi ini jaringan pipa optimal adalah nilai biaya total yang paling minimum dan memenuhi nilai hidraulis yang aman.

II. METODOLOGI

2.1. Lokasi Studi

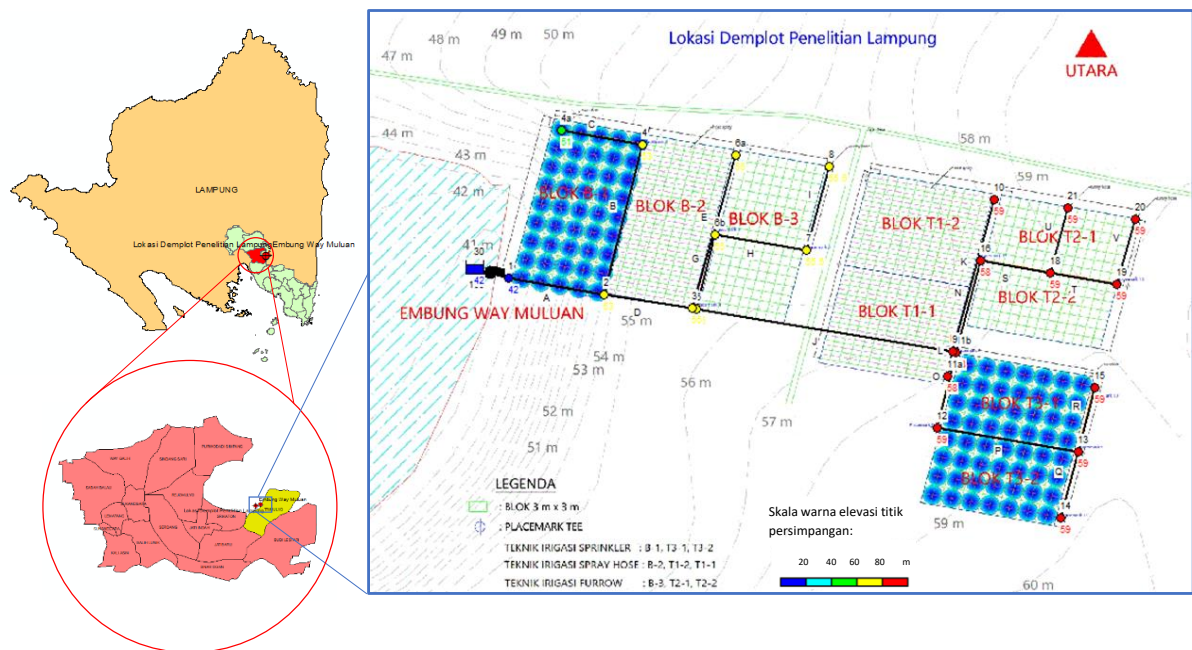
Penelitian mengambil studi kasus di lahan kering pada lahan tegakan tanaman tahunan, di Desa Trimulyo, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan, pada Januari s.d. Desember 2019. Lokasi bersebelahan dengan embung Way Muluan, sebagai sumber air untuk penyiraman. Penelitian Desain Instalasi Perpipaan dilaksanakan pada lahan demplot tumpang sari padi dan jagung di bawah tegakan karet dan sengon seluas 1,2 ha, yang terbagi ke dalam blok-blok pemberian irigasi bertekanan (*sprinkler* dan kabut/*spray hose*) dan irigasi gravitasi (saluran terbuka/*furrow*), namun dalam studi ini *outlet* hanya dibatasi hingga level jaringan pipa utama. Desain tata letak jaringan pipa irigasi ini disajikan pada Gambar 1.

2.2. Tata Letak Sistem Jaringan Irigasi

Perencanaan kebutuhan air tanaman dihitung berdasarkan metode FAO dimana pada lahan kering padi gogo memerlukan 900 mm/musim (Dariah & Heryani, 2017) sedangkan untuk tanaman jagung memerlukan 500 mm/musim

(Doorenbos & Pruitt, 1977). Dengan demikian, satuan kebutuhan air untuk padi gogo (umur 120 hari/musim) adalah 0,88 l/s/ha dan jagung (umur 100 hari/musim) adalah 0,579 l/s/ha. Jaringan utama pipa dirancang untuk dapat mengairi blok tanaman yang memiliki luas total 1 ha. Untuk meningkatkan reliabilitas sistem, debit untuk desain kapasitas jaringan diasumsikan dua kali kebutuhan debit lahan.

Kebutuhan debit air (l/s) pada setiap titik yang berada pada tiap jenis sistem irigasi (*sprayhose*, *furrow*, dan *sprinkler*) disesuaikan dengan data kebutuhan air untuk jenis perlakuan tanaman. Pada penelitian ini titik 4a (*sprinkler*) sebesar 0,2 l/s, titik 6a (*sprayhose*) sebesar 0,2 l/s, titik 8 (*furrow*) sebesar 0,2 l/s, titik 10 (*sprayhose*) sebesar 0,3 l/s, titik 11 (*sprayhose*) sebesar 0,1 l/s, titik 14 dan 15 (*sprinkler*) sebesar 0,2 l/s, titik 20 dan 21 (*furrow*) sebesar 0,2 l/s seperti pada Tabel 1. Elevasi setiap titik ditentukan berdasarkan kondisi topografi lahan dimana berada pada rentang ketinggian 41 s.d. 55 mdpl, reservoir diasumsikan berada pada ketinggian 42 mdpl karena *inlet* pompa berada pada elevasi tersebut.



Gambar 1 Tata Letak Teknik Irigasi Mikro di Desa Trimulyo, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan

Tabel 1 Debit Kebutuhan Blok Jaringan Irigasi

Irigasi	Blok (Titik)	Jenis Tanaman	Luas Blok (m ²)	Jumlah (m ²)	Luas Blok (Ha)	Jumlah (Ha)	Debit lahan (l/s)	Jumlah debit lahan (l/s)	Debit desain jaringan (l/s)	
Spray hose	B2 (6a)	Padi	734,4	1.377	0,073	0,1377	0,064	0,10	0,20	
		Jagung	642,6		0,064		0,037			
	T1-2 (10)	Padi	1.120,0	2.100	0,112	0,21	0,097	0,15	0,31	
		Jagung	980,0		0,098		0,057			
	T1-1 (11a)	Padi	373,3	700	0,037	0,07	0,032	0,05	0,10	
	Jagung	326,7	0,033		0,019					
Sprinkler	B1 (4a)	Padi	734,4	1.377	0,073	0,1377	0,064	0,10	0,20	
		Jagung	642,6		0,064		0,037			
	T3-1 (15)	Padi	733,3	1.375	0,073	0,1375	0,064	0,10	0,20	
		Jagung	641,7		0,064		0,037			
		T3-2 (14)	Padi	733,3	1.375	0,073	0,1375	0,064	0,10	0,20
		Jagung	641,7	0,064		0,037				
	B3 (8)	Padi	734,4	1.377	0,073	0,1377	0,064	0,10	0,20	
	Jagung	642,6	0,064		0,037					
Furrow	T2-1 (20)	Padi	733,3	1.375	0,073	0,1375	0,064	0,10	0,20	
		Jagung	641,7		0,064		0,037			
		T2-2 (21)	Padi	733,3	1.375	0,073	0,1375	0,064	0,10	0,20
		Jagung	641,7	0,064		0,037				
Jumlah			12.431,0	12.431,0	1,243	1,243	0,911	0,911	1,822	

2.3. Analisis Jaringan Irigasi

Analisis jaringan irigasi dilakukan menggunakan EPANET 2.0 melalui tahapan sebagai berikut:

1. Desain layout jaringan irigasi dan skematisasi pada perangkat lunak EPANET 2.0 (analisis simulasi pipa menggunakan persamaan Hazen-William)
2. Pengisian data pada tata letak jaringan seperti titik (kebutuhan debit, elevasi), diameter dan panjang pipa, kapasitas pompa, tampungan, koefisien kekasaran, serta koefisien kehilangan tinggi tekan.
3. Simulasi pada 15 skenario kombinasi jaringan perpipaan
4. Rekapitulasi hasil analisis terhadap parameter hidraulik jaringan perpipaan (tekanan, debit, kecepatan aliran) yang dihubungkan dengan parameter biaya pipa
5. Perbandingan hasil skenario pipa terbaik serta penarikan kesimpulan

Pemanfaatan teknologi simulasi pemodelan saluran tertutup pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak EPANET 2.0. Penelitian Al Amin (2011) membandingkan analisis sistem jaringan pipa manual (metode Hardy Cross dan Newton Raphson) serta komputer (EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0) menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antar metode. Namun demikian, EPANET 2.0 memberikan kemudahan, kesederhanaan, dan memodelkan jaringan pipa yang tidak terbatas.

Perencanaan hidraulik untuk menentukan kinerja efisien irigasi pipa dengan menggunakan EPANET 2.0 lebih baik dibandingkan perhitungan manual (Lasol, Suharnoto, Ridwan, & Joubert, 2014). Perangkat lunak ini dapat menampilkan simulasi hidraulik dan parameter kualitas air pada jaringan saluran tertutup (pipa). Komponen yang termasuk dalam jaringan yakni, pipa, titik simpul antar pipa (*node*), pompa, katup, serta tangki air (*reservoir*). Pada prinsipnya, EPANET 2.0 memudahkan perancang untuk mengidentifikasi kondisi aliran air yang ada pada pipa, kondisi tekanan setiap titik, serta konsentrasi bahan kimia yang berada dalam pipa selama periode pengaliran tertentu. Prinsip dasar perhitungan hidraulika pipa pada EPANET 2.0 menggunakan formula Hazen-Williams yang dirumuskan sebagai berikut (Rossman, 2000):

$$h_L = Aq^B \dots\dots\dots (1)$$

$$A = 4,72C^{-1,85}d^{-4,87}L \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- h_L : head loss pada pipa
- q : debit
- A : koefisien resistansi
- B : laju eksponensial
- C : koefisien kekasaran pipa Hazen Williams
- d : diameter pipa
- L : panjang pipa

Simulasi jaringan irigasi dibuat menjadi 15 skenario yang terdiri dari kombinasi diameter pipa sebagaimana pada Tabel 2.

Efisiensi terhadap pembiayaan dengan mengoptimalkan sistem jaringan serta diameter ukuran pipa merupakan metode yang banyak digunakan beberapa tahun belakangan ini (Yoo *et al.*, 2015). Elemen kunci dalam memodelkan jaringan distribusi air yakni mendapatkan solusi paling baik dari persamaan non-linear, dimana EPANET 2.0 menggunakan iterasi Newton telah cukup efisien dalam menyelesaikannya (Burger, Sitzenfrei, Kleidorfer, & Rauch, 2016). Pada penelitian ini, pencapaian efisiensi perlakuan teknik irigasi menyempurnakan informasi untuk mengoptimalkan faktor pembiayaan. Perbedaan diameter pipa dan panjang pipa dalam setiap 113 skenario mempengaruhi biaya pemasangan, material, dan pemeliharaan. Fungsi pembatas kendala yang digunakan adalah tekanan dan kecepatan pipa. Nilai tekanan minimum dan maksimum setiap titik yang dipersyaratkan yakni 10 m dan 25 m, dan nilai kecepatan yang dipersyaratkan yakni 0,01 dan 2,5 m/s. Apabila nilai tekanan (t) dan kecepatan (v) melebihi nilai maksimum atau kurang dari minimum maka air tidak dapat terdistribusi dengan sempurna.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi Jaringan Irigasi

Pada penelitian ini, desain teknik irigasi dibagi ke dalam 3 (tiga) jenis blok perlakuan yakni *sprinkler*, *sprayhose*, dan *furrow*. Simulasi dalam EPANET 2.0 dilakukan pada pipa utama dan sub utama. Diameter pipa menjadi faktor yang berhubungan terhadap laju aliran dan kehilangan tinggi tekan yang terjadi. Pada kecepatan aliran yang sama, semakin besar diameter pipa maka semakin kecil kehilangan tinggi tekan. Namun demikian, pemilihan pipa pada diameter yang besar akan memerlukan biaya yang lebih besar pula. Biaya optimal yang didapatkan merupakan hasil pemilihan diameter pipa yang memberikan pertimbangan terbaik antara biaya pemasangan, material, dan pemeliharaan. Setiap pipa memiliki panjang (L) yang berbeda (Gambar 2) namun memiliki nilai koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams yang sama 100 (pipa PVC). Biaya biaya pemasangan, biaya material, dan biaya pemeliharaan enam jenis ukuran diameter pipa yang paling banyak tersedia di pasaran terdapat pada Tabel 3.

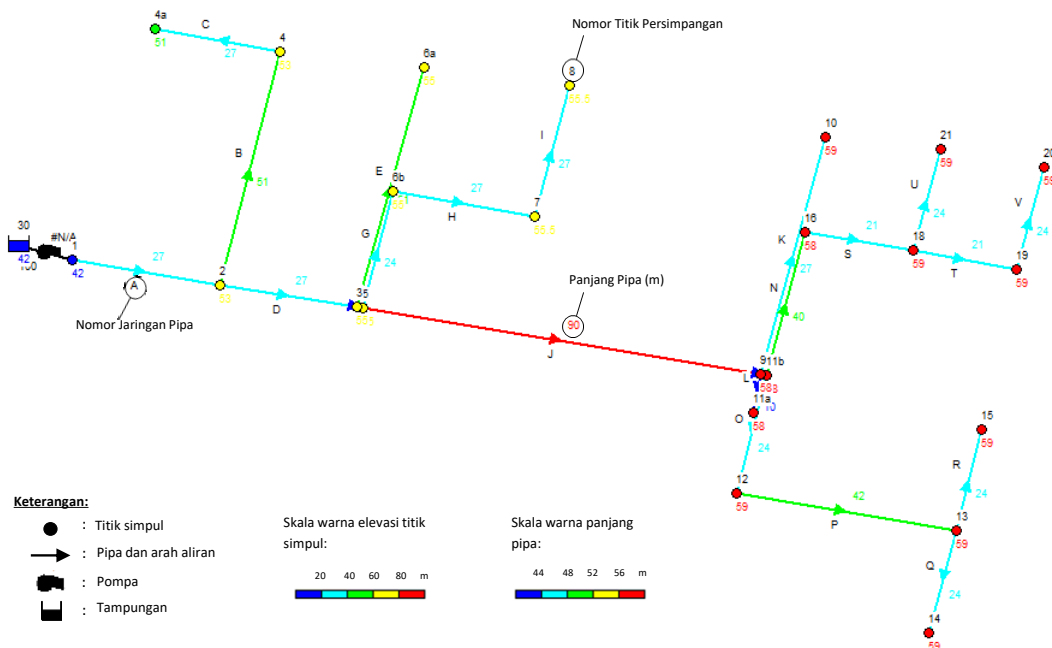
Tabel 2 Skenario Kombinasi Pipa

Skenario	Diameter		
	Pipa Utama (A,D,F,G,J,L,M,N,O,P,S,T)	Pipa Sub-Utama (I,K,H,U,V)	Pipa Sub-Utama (B,C,E,R,Q)
Skenario 1	60	48	48
Skenario 2	60	32	32
Skenario 3	60	26	26
Skenario 4	60	22	22
Skenario 5	48	32	32
Skenario 6	48	26	26
Skenario 7	48	22	22
Skenario 8	32	26	26
Skenario 9	32	22	22
Skenario 10	26	22	22
Kontrol 1	60	60	60
Kontrol 2	48	48	48
Kontrol 3	32	32	32
Kontrol 4	26	26	26
Kontrol 5	22	22	22

Tabel 3 Biaya Pipa Berdasarkan Diameter

Diameter Pipa		Biaya Material	Biaya Pemasangan	Biaya Pemeliharaan
mm	inch	Harga (Rp/m)	Harga (Rp/m)	Harga (Rp/m)
22	0,50	5.825	35.116	5.267
26	0,75	7.925	35.116	5.267
32	1,00	10.825	35.116	5.267
42	1,25	16.200	35.116	5.267
48	1,50	18.600	35.116	5.267
60	2,00	23.800	35.116	5.267

Sumber: Harga Satuan Lampung Selatan Tahun 2019



Gambar 2 Skematisasi Jaringan Pipa pada Perangkat Lunak EPANET

Biaya pemasangan serta pemeliharaan pada setiap meter diasumsikan sama, namun untuk biaya material mengikuti harga satuan daerah pada tahun penelitian dilaksanakan termasuk biaya pompa. Hasil rekapitulasi (Tabel 4) dapat diambil kesimpulan sementara bahwa dari segi biaya pipa dengan ukuran diameter paling kecil paling ekonomis yakni skenario Kontrol 5 (pipa diameter 22 mm seluruhnya). Namun secara operasional manfaat belum dapat dibuktikan bahwa pipa dengan diameter tersebut bisa dipergunakan secara baik secara hidraulika berdasarkan parameter-parameternya. Untuk mengidentifikasi hal ini, analisis dilakukan menggunakan simulasi perangkat lunak EPANET 2.0.

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan saat pemberian air irigasi dijalankan bersamaan untuk melihat dinamika parameter air ketika mengalir memenuhi seluruh jaringan pipa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi diameter pipa Skenario 1, Skenario 2, Skenario 3, Skenario 4, Skenario 5, Skenario 6, Skenario 7, Kontrol 1, dan Kontrol 2 dapat sukses berjalan yang ditandai tidak adanya tekanan pada pipa yang minus (-) (Tabel 5). Skenario 7 (Gambar 3) memberikan nilai tekanan air pipa pada setiap titik yang paling rendah dibandingkan dengan 8 skenario kategori sukses lainnya, hal ini menandakan kondisi yang

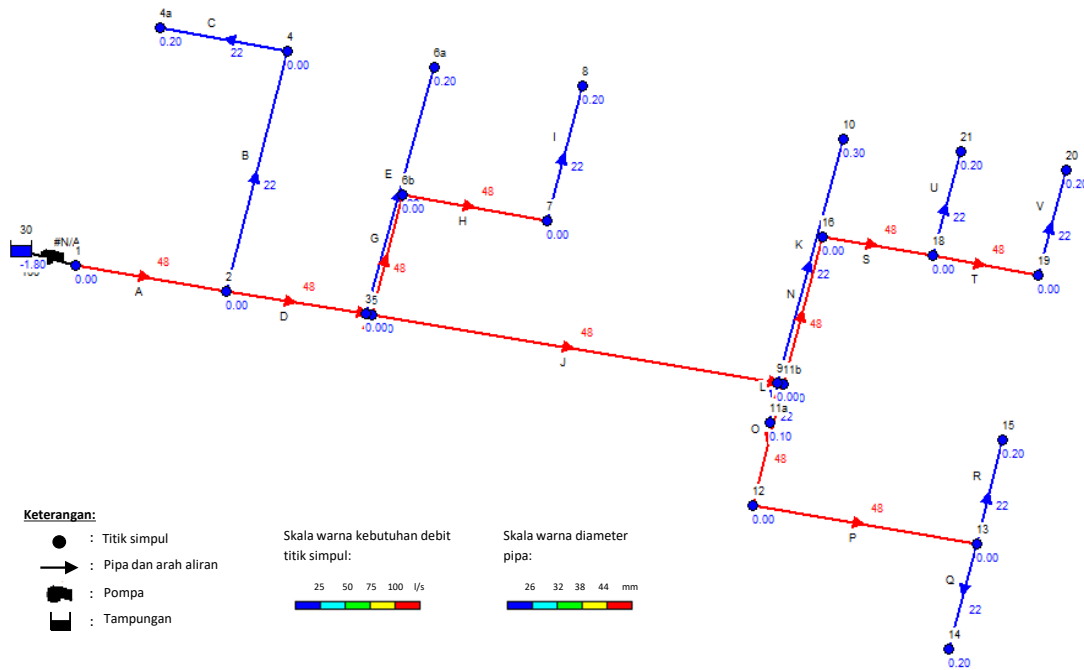
paling optimal sisi parameter air dalam pipa sehingga memberikan pedoman pemilihan diameter pipa yang sesuai dengan kondisi desain sistem yang digunakan. Namun apabila dihitung dari segi biaya pemeliharaan, Skenario 7 terlihat cukup tinggi dikarenakan pipa dengan ukuran lebih kecil memiliki laju pengendapan sedimen yang lebih besar dibandingkan diameter pipa yang lebih besar, sehingga perawatan menjadi lebih intensif. Hal tersebut didukung penelitian Herwindo & Rahmandani (2013) dimana semakin kecil ukuran pipa, sedimentasi yang terjadi pada kecepatan aliran yang sama akan semakin besar.

Instalasi pipa air bertekanan selalu mengalami penurunan tekanan fluida yang disebabkan adanya gesekan dengan pipa, perubahan luas penampang, belokan, katup yang disebut *Head Losses*. *Head Losses* menjadi faktor kerugian karena dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida dalam pipa (Pratama, Raharjo, & Suprpto, 2014). Semakin tinggi gaya dorong air maka semakin tinggi nilai *Head Losses* serta kecepatan aliran dalam pipa (Pradhana & Widodo, 2017). Dengan mengetahui kehilangan energi dalam instalasi perpipaan yang memanfaatkan pengaliran fluida sebagai media, maka efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan dan memperoleh keuntungan optimal.

Tabel 4 Hasil Rekapitulasi Biaya (C) Berdasarkan Skenario Diameter (D) Pipa

Skenario	Jumlah Ruas Setiap Diameter (mm) Pipa						Biaya Rp (1000)			
	22	26	32	48	60	Total	Material	Pemasangan	Pemeliharaan	Total
Skenario 1	0	0	0	10	12	22	17.370	22.474	3.638	43.482
Skenario 2	0	0	10	0	12	22	14.982	22.474	3.749	41.206
Skenario 3	0	10	0	0	12	22	13.716	22.474	3.800	39.990
Skenario 4	10	0	0	0	12	22	13.983	22.474	3.851	40.308
Skenario 5	0	0	10	12	0	22	13.549	22.474	3.872	39.896
Skenario 6	0	10	0	12	0	22	12.691	22.474	3.914	39.079
Skenario 7	10	0	0	12	0	22	12.069	22.474	4.002	38.545
Skenario 8	0	10	12	0	0	22	9.829	22.474	4.046	36.350
Skenario 9	10	0	12	0	0	22	9.208	22.474	4.097	35.779
Skenario 10	10	12	0	0	0	22	8.141	22.474	4.159	34.774
Kontrol 1	0	0	0	0	22	22	19.303	22.474	3.546	45.324
Kontrol 2	0	0	0	22	0	22	15.850	22.474	3.771	42.096
Kontrol 3	0	0	22	0	0	22	10.688	22.474	3.996	37.158
Kontrol 4	0	22	0	0	0	22	8.762	22.474	4.108	35.345
Kontrol 5	22	0	0	0	0	22	7.368	22.474	4.220	34.063

Sumber: Hasil analisa



Gambar 3 Tata Letak Jaringan pada Skenario 7

Pada Gambar 4 menunjukkan dinamika perubahan tekanan pada setiap titik simpul pada jaringan irigasi menerus dari titik 1 (hulu) ke titik 13 (hilir), tren menunjukkan semakin ke hilir aliran tekanan semakin menurun, serta kecepatan yang semakin menurun. Selain itu, diameter pipa yang lebih kecil memiliki nilai tekanan yang lebih tinggi. Adanya variasi kecepatan pada setiap diameter pipa diakibatkan adanya kehilangan energi akibat pengecilan penampang (*contraction*) sehingga mengakibatkan tumbukan antara partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi sehingga distribusi kecepatan pada suatu penampang pipa menjadi tidak seragam.

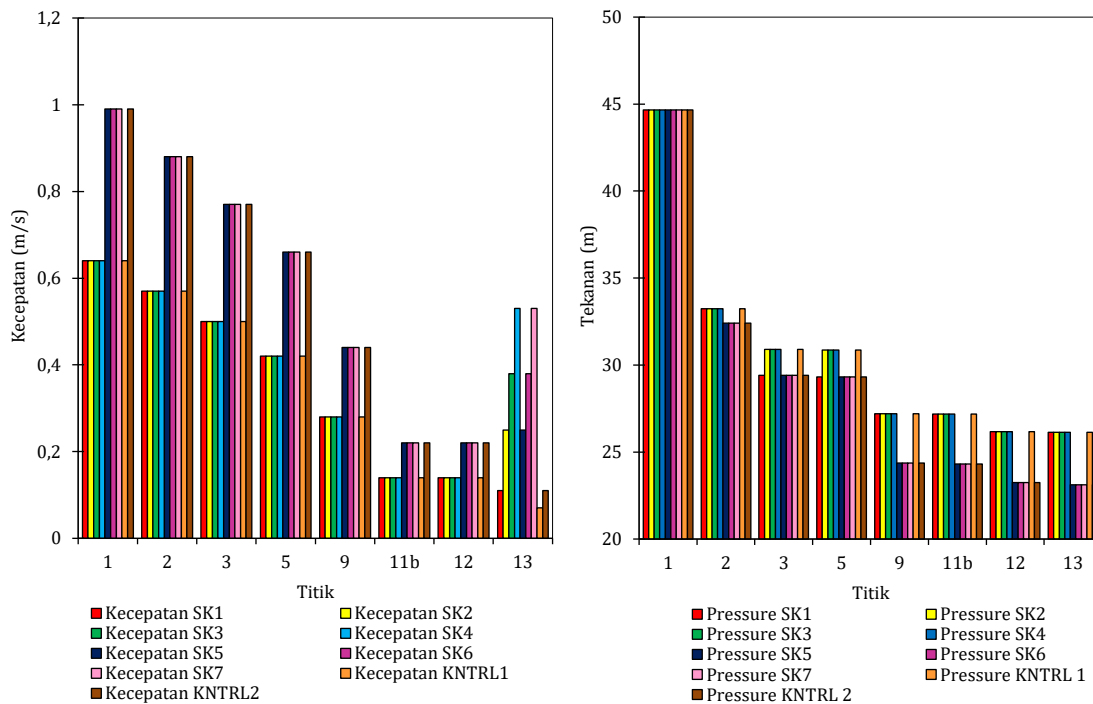
Selain itu, Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan debit (l/s) terhadap *head loss* (m/km) pada berbagai ukuran diameter pipa per skenarionya. Skenario 1,2,3,4 dan kontrol 1 memiliki diameter jaringan pipa utama 60 mm dibandingkan Skenario 5,6,7 dan kontrol 2 memiliki jaringan pipa utama 48 mm bila dilihat dari tren *head losses* (m/km). Pada debit yang sama diameter dan *head loss* berbanding terbalik dimana semakin kecil ukuran diameter pipa semakin besar *head losses*. Kecepatan yang dihasilkan dari simulasi, kecepatan air dalam pipa V_{maks} yang tercapai dari semua kombinasi yakni 1 m/s, dimana hasil tersebut masih dalam rentang yang

diperbolehkan. Batas tekanan maksimum pada setiap simpul titik distribusi pipa berkorelasi dengan kecepatan air dalam pipa. Berdasarkan SNI 7509:2011 (Badan Standarisasi Nasional, 2011), kecepatan minimum dalam pipa yang diperbolehkan (V_{min}) adalah 0,3 – 0,6 m/s dan kecepatan maksimum pada pipa PVC atau ACP (V_{maks}) adalah 3,0 – 4,5 m/s.

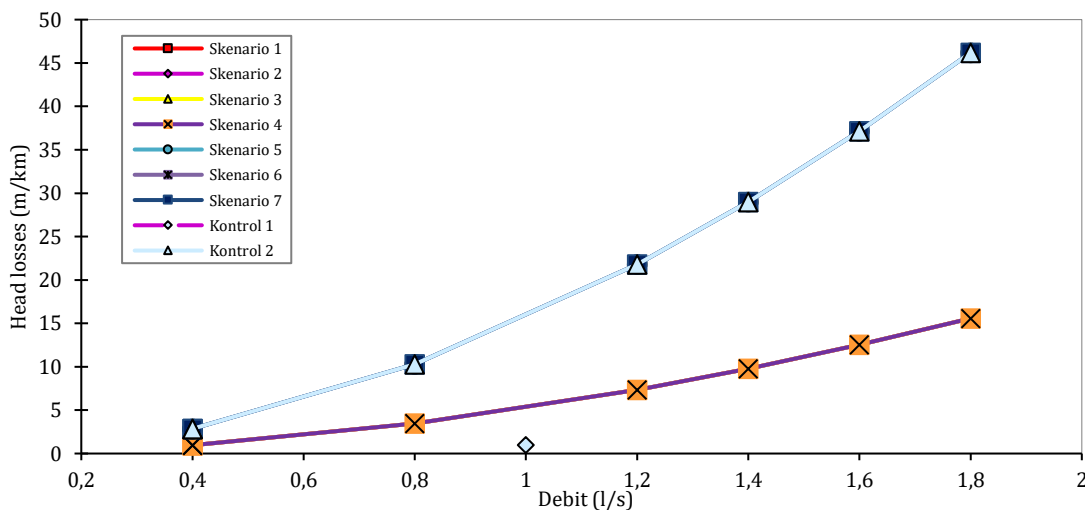
Tekanan pada titik simpul (Tabel 5) mengalami nilai negatif menunjukkan bahwa kombinasi sistem perpipaan tidak dapat mendistribusikan air hingga ke *outlet* yang dituju. Skenario 8, 9, 10,

Kontrol 3, 4, dan 5 merupakan kombinasi yang memiliki *negative pressure* sehingga tidak dapat dijadikan rekomendasi untuk instalasi.

Gambar 6 menunjukkan secara spasial pada sistem jaringan Skenario 7. Pada pipa 1 (bagian hulu) debit aliran 1,80 m/s, dan hingga jalur pipa P atau T debit kebutuhan 0,20 l/s dapat terpenuhi dan aman ditandai dengan tidak adanya *negative pressure*. Kecepatan aliran pada simpul akhir rata-rata dihasilkan 0,34 m/s dimana kondisi ini sangat optimal dan air terdistribusi dengan lancar.



Gambar 4 Grafik Tekanan Air (Pressure) dalam (m) pada Jalur Pipa Menerus di Skenario Terpilih

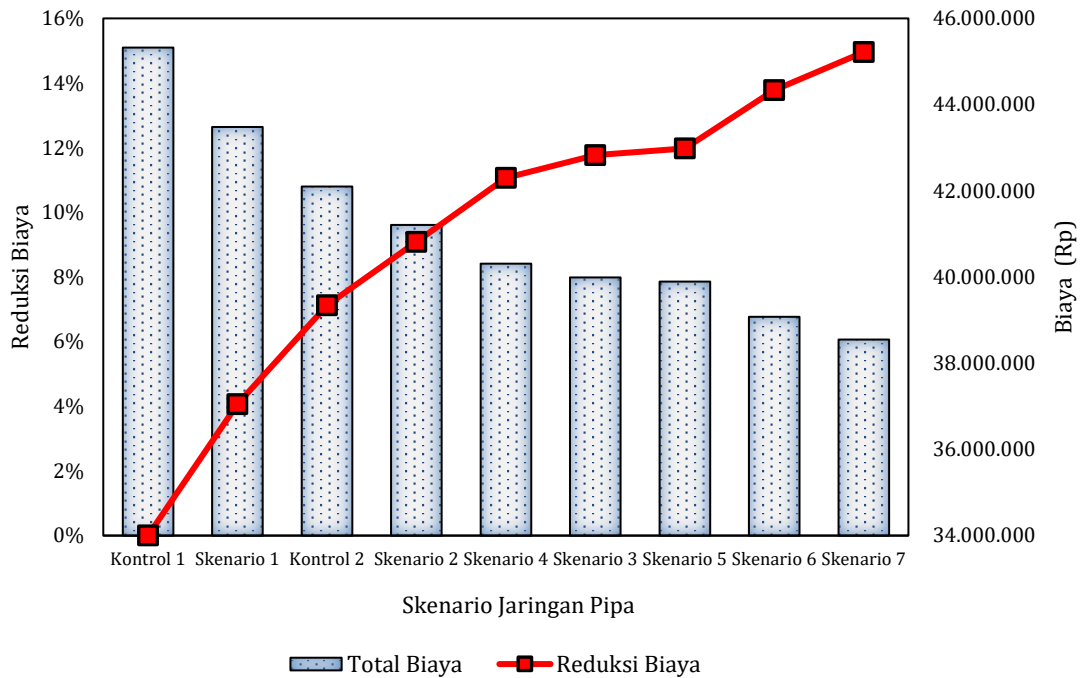


Gambar 5 Hubungan Debit (l/s) Terhadap *Head Losses* (m/km) pada Jalur Pipa Menerus di Berbagai Skenario Terpilih

Tabel 5 Hasil Simulasi Skenario Kombinasi Diameter Pipa Terhadap Tekanan Air Pipa

	Jaringan	ID	A	D	F	J	M	O	P	R
Skenario	Mulai	Titik	1	2	3	5	9	11b	12	13
	Akhir	Titik	2	3	5	9	11b	12	13	15
	Panjang	(m)	27	27	3	90	5	24	42	24
	Q	(l/s)	1,8	1,6	1,4	1,2	0,8	0,4	0,4	0,2
Skenario 1	D	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	48
	v	(m/s)	0,64	0,57	0,5	0,42	0,28	0,14	0,14	0,11
	HL	(m/km)	15,57	12,52	9,78	7,35	3,47	0,96	0,96	0,79
	p mulai	(m)	44,66	33,24	29,41	29,32	27,21	27,19	26,17	26,13
	p akhir	(m)	33,24	29,41	29,32	27,21	27,19	26,17	26,13	26,11
Skenario 2	D	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	32
	v	(m/s)	0,64	0,57	0,5	0,42	0,28	0,14	0,14	0,25
	HL	(m/km)	15,57	12,52	9,78	7,35	3,47	0,96	0,96	5,69
	p mulai	(m)	44,66	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13
	p akhir	(m)	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13	25,99
Skenario 3	D	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	26
	v	(m/s)	0,64	0,57	0,5	0,42	0,28	0,14	0,14	0,38
	HL	(m/km)	15,57	12,52	9,78	7,35	3,47	0,96	0,96	15,64
	p mulai	(m)	44,66	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13
	p akhir	(m)	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13	25,75
Skenario 4	D	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	22
	v	(m/s)	0,64	0,57	0,5	0,42	0,28	0,14	0,14	0,53
	HL	(m/km)	15,57	12,52	9,78	7,35	3,47	0,96	0,96	35,29
	p mulai	(m)	44,66	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13
	p akhir	(m)	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13	25,28
Skenario 5	D	(mm)	48	48	48	48	48	48	48	32
	v	(m/s)	0,99	0,88	0,77	0,66	0,44	0,22	0,22	0,25
	HL	(m/km)	46,18	37,13	29	21,79	10,29	2,85	2,85	5,69
	p mulai	(m)	44,66	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12
	p akhir	(m)	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12	22,99
Skenario 6	D	(mm)	48	48	48	48	48	48	48	26
	v	(m/s)	0,99	0,88	0,77	0,66	0,44	0,22	0,22	0,38
	HL	(m/km)	46,18	37,13	29	21,79	10,29	2,85	2,85	15,64
	p mulai	(m)	44,66	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12
	p akhir	(m)	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12	22,75
Skenario 7	D	(mm)	48	48	48	48	48	48	48	22
	v	(m/s)	0,99	0,88	0,77	0,66	0,44	0,22	0,22	0,53
	HL	(m/km)	46,18	37,13	29	21,79	10,29	2,85	2,85	35,29
	p mulai	(m)	44,66	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12
	p akhir	(m)	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12	22,28
Skenario 8	D	(mm)	32	32	32	32	32	32	32	26
	v	(m/s)	2,24	1,99	1,74	1,49	0,99	0,5	0,5	0,38
	HL	(m/km)	332,82	267,59	208,97	157,07	74,12	20,53	20,53	15,64
	p mulai	(m)	44,66	24,67	15,45	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04
	p akhir	(m)	24,67	15,45	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04	-5,42
Skenario 9	D	(mm)	32	32	32	32	32	32	32	22
	v	(m/s)	2,24	1,99	1,74	1,49	0,99	0,5	0,5	0,53
	HL	(m/km)	332,82	267,59	208,97	157,07	74,12	20,53	20,53	35,29
	p mulai	(m)	44,66	24,67	15,45	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04
	p akhir	(m)	24,67	15,45	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04	-5,89
Skenario 10	D	(mm)	26	26	26	26	26	26	26	22
	v	(m/s)	3,39	3,01	2,64	2,26	1,51	0,75	0,75	0,53
	HL	(m/km)	915,08	735,74	574,55	431,86	203,81	56,46	56,46	35,29
	p mulai	(m)	44,66	8,95	-12,91	-14,64	-56,5	-57,52	-59,88	-62,25
	p akhir	(m)	8,95	-12,91	-14,64	-56,5	-57,52	-59,88	-62,25	-63,09
Kontrol 1	D	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	60
	v	(m/s)	0,64	0,57	0,5	0,42	0,28	0,14	0,14	0,07
	HL	(m/km)	15,57	12,52	9,78	7,35	3,47	0,96	0,96	0,27
	p mulai	(m)	44,66	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13
	p akhir	(m)	33,24	30,9	30,87	27,21	27,19	26,17	26,13	26,12
Kontrol 2	D	(mm)	48	48	48	48	48	48	48	48
	v	(m/s)	0,99	0,88	0,77	0,66	0,44	0,22	0,22	0,11
	HL	(m/km)	46,18	37,13	29	21,79	10,29	2,85	2,85	0,79
	p mulai	(m)	44,66	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12
	p akhir	(m)	32,41	29,41	29,32	24,36	24,31	23,24	23,12	23,1
Kontrol 3	D	(mm)	32	32	32	32	32	32	32	32
	v	(m/s)	2,24	1,99	1,74	1,49	0,99	0,22	0,22	0,11
	HL	(m/km)	332,82	267,59	208,97	157,07	74,12	2,85	2,85	0,79
	p mulai	(m)	44,66	24,67	29,41	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04
	p akhir	(m)	24,67	29,41	14,82	-2,31	-2,68	-4,18	-5,04	-5,18
Kontrol 4	D	(mm)	26	26	26	26	26	26	26	26
	v	(m/s)	3,39	3,01	2,64	2,26	1,51	0,75	0,75	0,38
	HL	(m/km)	915,08	735,74	574,55	431,86	203,81	56,46	56,46	15,64
	p mulai	(m)	44,66	8,95	-12,91	-14,64	-56,5	-57,52	-59,88	-62,25
	p akhir	(m)	8,95	-12,91	-14,64	-56,5	-57,52	-59,88	-62,25	-62,62
Kontrol 5	D	(mm)	22	22	22	22	22	22	22	22
	v	(m/s)	4,74	4,21	3,68	3,16	2,1	1,05	1,05	0,53
	HL	(m/km)	2064,69	1660,05	1296,34	974,39	459,85	127,38	127,38	35,29
	p mulai	(m)	44,66	-22,09	-68,91	-72,8	-163,49	-165,79	-169,85	-175,2
	p akhir	(m)	-22,09	-68,91	-72,8	-163,49	-165,79	-169,85	-175,2	-176,05

Sumber: Hasil analisis



Gambar 7 Perbandingan Biaya Antar Skenario Pipa dan Reduksi Terhadap Kontrol

IV. KESIMPULAN

Skenario kombinasi diameter pipa yang disimulasikan dengan input debit dapat memberikan hasil yang bervariasi terhadap komponen biaya dan kondisi hidraulika air dalam pipa. Hasil simulasi Skenario 7 dengan kombinasi pipa diameter 48 mm sebanyak 12 buah, dan diameter 22 mm sebanyak 10 buah memberikan simulasi pembiayaan irigasi perpipaan yang paling ekonomis dan optimal secara hidraulik pada sistem desain jaringan irigasi di lokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balitklimat yang telah mendukung dalam pendanaan dan pelaksanaan kegiatan lapang. Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Asda, Bapak Budi Rahayu dan teman sejawat lainnya yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan lapang. Iman Muhardiono adalah "Kontributor utama" dari makalah ini

DAFTAR PUSTAKA

Al Amin, M. B. (2011). Komputasi Analisis Hidraulika Jaringan Pipa Air Minum. Diperoleh dari <https://repository.unsri.ac.id/8501/>

Amuddin, A., & Sumarsono, J. (2015). Rancang Bangun Alat Penyiraman Tanaman Dengan Pompa Otomatis Sistem Irigasi Tetes Pada Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 3(1), 95–101. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v3i1.8>

Badan Standardisasi Nasional. (2011). Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum (SNI No. 7509:2011).

Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. (2014). *Roadmap Penelitian dan Pengembangan Lahan Kering*. Jakarta, Indonesia: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.

Burger, G., Sitzenfrie, R., Kleidorfer, M., & Rauch, W. (2016). Quest for a new solver for EPANET 2. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(3), 04015065. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000596](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000596)

Dariah, A., & Heryani, N. (2017). Pemberdayaan lahan kering suboptimal untuk mendukung kebijakan diversifikasi dan ketahanan pangan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(3), 1–16.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.

Fajar, A., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2016). Efisiensi sistem irigasi pipa untuk mengidentifikasi tingkat kelayakan pemberian air dalam pengelolaan air irigasi. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 33–42. <https://doi.org/10.31028/ji.v7.i2.99-109>

Haryati, U. (2014). Teknologi irigasi suplemen untuk adaptasi perubahan iklim pada pertanian lahan kering. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 43–57.

- Herwindo, W., & Rahmandani, D. (2013). Kajian rancangan irigasi pipa sistem gravitasi. *Jurnal Irigasi*, 8(2), 126–137. <https://doi.org/10.31028/ji.v8.i2.126-137>
- Lasol, H. N., Suharnoto, Y., Ridwan, D., & Joubert, M. D. (2014). Evaluasi kinerja jaringan irigasi curah melalui simulasi hidrolis menggunakan EPANET 2.0. *Jurnal Irigasi*, 9(1), 51–62. <https://doi.org/10.31028/ji.v9.i1.51-62>
- Pradhana, R. Y., & Widodo, E. (2017). Analisa pengaruh variasi diameter pipa tekan PVC pada pompa rotari untuk kecepatan gaya dorong air. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 2(1), 37–43. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v2i1.846>
- Pratama, A. Y., Raharjo, W. D., & Suprpto, S. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran "Fluid Circuit System Experiment " untuk mengukur kerugian aliran fluida melalui fitting elbow dan tee pada mata kuliah Mekanika Fluida. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 3(2), 70–77.
- Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 Users Manual* (No. EPA/600/R-00/057). Ohio, USA: United States environmental Protection Agency.
- Wijaya, A., & Rivai, M. (2018). Monitoring dan kontrol sistem irigasi berbasis IoT menggunakan Banana Pi. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 288–292. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.31113>
- Yoo, D. G., Lee, H. M., Sadollah, A., & Kim, J. H. (2015). Optimal pipe size design for looped irrigation water supply system using harmony search: Saemangeum Project Area. *The Scientific World Journal*, 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/651763>