

ANALISIS HIDROLIKA JARINGAN IRIGASI PIPA BERTEKANAN (STUDI KASUS DI DESA CIKURUBUK BUAH DUA SUMEDANG)

HYDRAULIC ANALYSIS OF PRESSURIZED PIPE IRRIGATION NETWORK (CASE STUDY IN CIKURUBUK VILLAGE, BUAH DUA SUMEDANG)

Dadang Ridwan¹⁾, Dadan Rahmandani²⁾

^{1,2)} Staf Balai Irigasi Pusat Litbang Sumber Daya Air, Balitbang Kementerian PU
E-Mail: dankridwan@gmail.com

Diterima: 16 September 2014; Disetujui: 2 Februari 2015

ABSTRAK

Penggunaan jaringan pipa pada sistim irigasi dimasa mendatang, dapat dijadikan alternatif untuk mengatasi kehilangan air di jaringan irigasi. Namun demikian, penerapan jaringan pipa untuk irigasi belum banyak dikaji secara mendalam, terutama dalam aspek hidrolikanya. Kehilangan energi akibat gesekan, belokan, perubahan penampang, dan lain-lain seringkali menjadi kendala, sehingga kecepatan aliran air semakin lemah dan mengecil. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung perencanaan hidrolika jaringan irigasi pipa, terutama dalam penerapan jaringan irigasi pipa di Desa Cikurubuk, Kecamatan Buahdua, Sumedang. Metode yang digunakan adalah analisis data skunder, dan difokuskan kepada analisis hidrolika jaringan irigasi pipa bertekanan dengan prinsip persamaan kontinuitas dan teorema bernouli. Dari hasil penelitian didapat bahwa debit yang dibutuhkan untuk tanaman padi terbesar adalah sebesar 0,913 l/s/ha. Dimensi pipa untuk ruas BC-BS3 diperoleh 4-6 inci dan untuk ruas BC-BK4-13 adalah 2-4 inci. Jenis aliran air yang masuk pada jaringan pipa merupakan jenis aliran "Turbulen", dengan kehilangan energi gesekan (major losses) masing-masing sebesar 11,21 m, dan 14,42 m. Sementara kehilangan tinggi lokal (minor losses), ruas saluran utama BC - BBS3 adalah sebesar 5,21 m, dan ruas BC-BK4-13 adalah 5,38 m. Kecepatan aliran 0,83-1,35 m/s, sehingga jaringan pipa selain mampu membawa sedimen dengan ukuran butir 0.018 mm, juga cukup aman dari kerusakan jaringan.

Kata kunci: Jaringan pipa, sistim irigasi, kehilangan air, hidrolika, kehilangan energi, aliran tertekan

ABSTRACT

The use of pipelines in irrigation systems in the future, can be used as an alternative to overcome the loss of water in the irrigation network. Nevertheless, the implementation of pipelines for irrigation has not been studied in depth, especially in the aspect hidrolikanya. Energy loss due to friction, bends, changes in cross-section, and others are often an obstacle, so that the speed of the water flow gets weaker and smaller. This study was conducted to analyze the planning of irrigation pipe network hydraulics, particularly in the application of irrigation pipe networks in Cikurubuk Village, District Buah dua, Sumedang. The method used is secondary data analysis, and focused on the analysis of network hydraulics pressurized irrigation pipes on the principle of continuity equation and theorem bernouli. From the results obtained that discharge is needed for the largest rice crop amounted to 0.913 l/s/ha. Pipe dimensions to segment BC - BS3 gained 4-6 inches and to segment BC - YB4 - 13 is 2-4 inches. Types of incoming water flow in pipelines is a kind of flow "Turbulent", with major losses respectively 11.21 m, and 14.42 m. While the minor losses is main channel segment BC - BBS3 amounted to 5.21 m, and the segment BC - YB4 - 13 is 5.38 m. Flow rate of 0.83 to 1.35 m/s, so that in addition to pipeline capable of carrying sediment with a grain size of 0.018 mm, is also quite safe from tissue damage.

Keywords: Pipelines, irrigation systems, water loss, hydraulics, loss of energy, pipe flow

PENDAHULUAN

Irigasi pipa adalah sistem irigasi yang menggunakan bahan pipa sebagai media pendistribusiannya (Ridwan D, 2013). Irigasi pipa merupakan alternatif teknologi aplikasi irigasi yang mampu meningkatkan nilai efisiensi irigasi lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi permukaan dengan menggunakan saluran terbuka. Dengan sistem irigasi pipa kehilangan air disepanjang saluran akibat kebocoran, rembesan dapat ditekan. Penerapan irigasi pipa dewasa ini tepat untuk diterapkan, sebagai upaya dalam mengatasi permasalahan air yang dari waktu ke waktu semakin terbatas karena semakin banyak dan beragamnya pengguna air, yang tidak seimbang dengan kemampuan pasokan air yang dari waktu ke waktu semakin menurun dengan tingkat ketidak pastian yang tinggi. Hal tersebut juga diperparah oleh rusaknya daerah aliran sungai serta perubahan iklim global (*Global Climate Change*).

Dalam merencanakan jaringan pipa perlu memperhatikan beberapa parameter utama. Menurut Klaas Dua K.S.Y (2009), parameter utama yang perlu ditentukan dalam perencanaan jaringan pipa antara lain meliputi: penentuan tinggi tekan, penentuan debit aliran dan penentuan diameter pipa. Namun disamping ketiga parameter tersebut masih terdapat parameter penting lainnya yang perlu diperhatikan dalam perencanaan jaringan pipa antara lain pemilihan jenis dan mutu bahan pipa itu sendiri. Hal tersebut akan sangat terkait dengan hasil rancangan jaringan pipa yang optimal, baik dari umur teknis maupun sisi ekonomis. Perencanaan jaringan pipa dapat menerapkan persamaan kontinuitas dan teorema Bernoulli dengan mempertimbangkan kehilangan energi. Kehilangan energi ini dapat berakibat pada semakin kecilnya nilai tinggi tekan, sehingga kecepatan aliran menjadi rendah, dan akhirnya dapat berpengaruh terhadap besar kecilnya debit yang terjadi di *outlet* atau titik pengambilan.

Maksud kajian ini adalah melakukan analisis hidrolika pada jaringan irigasi pipa bertekanan, dengan tujuan mendapatkan hasil rancangan jaringan irigasi pipa yang optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena adanya pompa (Nurfadilah A, 2013). Dalam perjalanannya, fluida bergerak mengalami

kehilangan energi. Kehilangan energi ini dapat berakibat pada semakin kecilnya nilai tinggi tekan, sehingga kecepatan aliran menjadi rendah, dan akhirnya kebutuhan debit di *outlet* tidak dapat terpenuhi.

Kehilangan tinggi tekan dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang secara umum dibagi atas kehilangan tinggi tekan karena tahanan oleh permukaan pipa dan karena tahanan oleh karena bentuk pipa. Sehingga tekanan total, di perhitungkan berdasarkan persamaan : $hL = h_f + h_m$, dimana : hL , adalah kehilangan tinggi total (m); h_f , kehilangan tinggi karena tahanan oleh permukaan pipa (m) dan h_m , kehilangan tinggi karena tahanan oleh bentuk pipa. Garis kemiringan hidraulik merupakan garis yang dibentuk oleh komponen $z + h$. Garis ini juga disebut dengan garis piezometrik, karena garis ini mewakili elevasi air yang sebenarnya pada pipa seandainya air mengalir pada penampang saluran terbuka. Garis berikutnya adalah garis kemiringan energi yang merupakan kumulatif dari komponen z , h , dan $v^2/2g$. Garis ini menentukan mengalir tidaknya air dalam pipa dimana air mengalir dari titik dengan tinggi energi yang lebih besar dari titik lainnya. Douglas (1986) dalam Klaas, Dua K.S.Y (2009) menyebut tahanan h_f , sebagai kehilangan tinggi utama (*major losses*) dan h_m sebagai kehilangan tinggi lokal (*minor losses*). Walaupun menggunakan teorema Bernoulli untuk kondisi ideal tanpa gesekan (*frictionless*), setiap pipa memiliki tahanan gesekan terhadap gerak air (*frictional resistance*) oleh karena kekasaran pipa. Sedangkan kehilangan tinggi lokal disebabkan oleh gangguan lokal terhadap aliran normal dalam pipa, seperti : lubang masuk dan keluar dari dalam pipa, perubahan bentuk penampang tiba-tiba (penyempitan dan pembesaran), belokan pipa, halangan (sekat, pintu air), perlengkapan pipa (sambungan, katup, percabangan, dll).

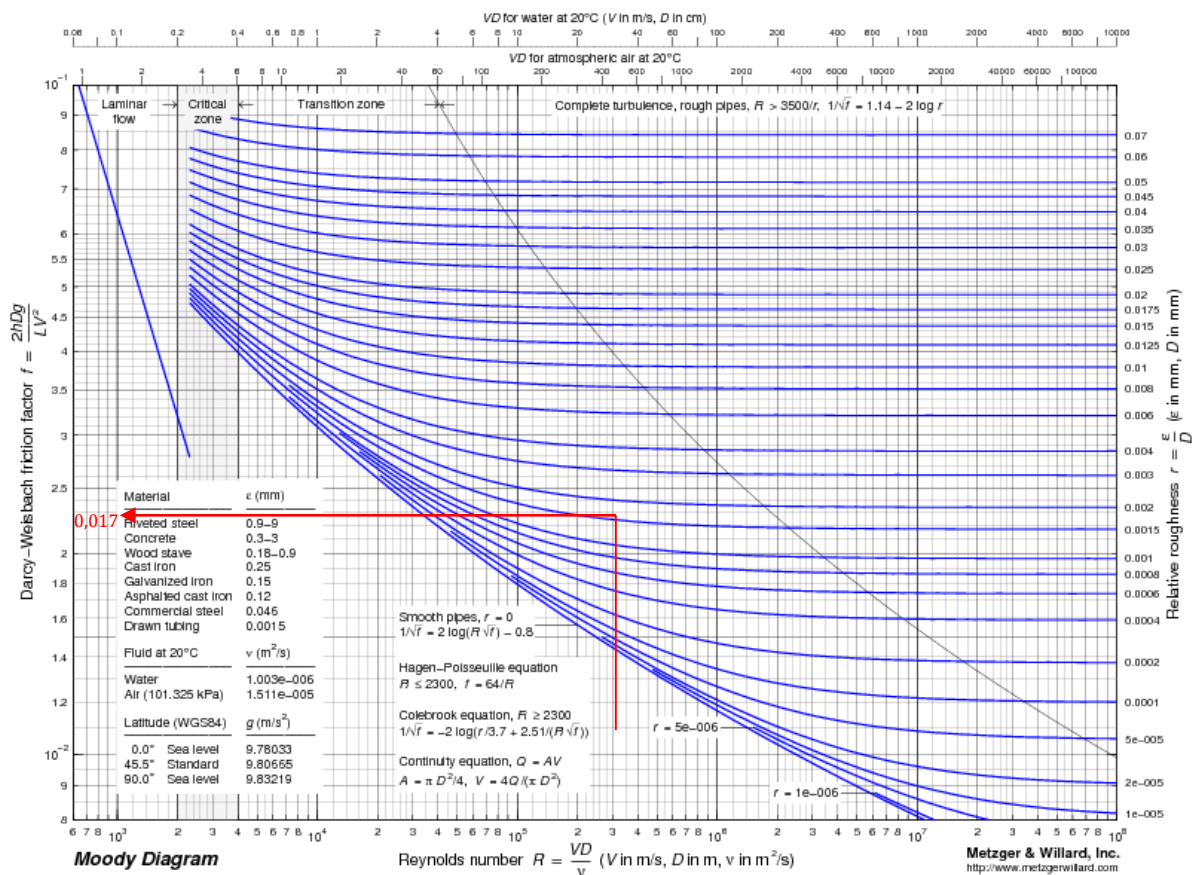
Kehilangan Tinggi Utama (*major losses*)

Persamaan yang digunakan untuk menentukan kehilangan tinggi tekan adalah persamaan Darcy-Weisbach. Persamaan dasarnya adalah sebagai berikut (KLaas, Dua K.S.Y, 2009) : $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ dimana: h_f , adalah kehilangan tinggi karena tahanan oleh permukaan pipa; f merupakan koefisien gesekan Darcy-Weisbach yang nilainya ditentukan oleh bilangan Reynold (Re) ; L panjang pipa dalam satuan m; V adalah kecepatan aliran (m/det); g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2); D adalah diameter pipa (m) yang mana $D = 4 R_h$; R_h adalah radius hidraulik dalam m, yang merupakan perbandingan antara luas penampang pipa (A); dan (P)

merupakan panjang keliling basah (P). Apabila diketahui komponen debit, Q dan luas permukaan pipa A, maka persamaan di atas menjadi: $hf = \frac{8.f.L.Q^2}{\pi^2.g.D^5}$. Untuk menentukan nilai f digunakan persamaan dengan kriteria bilangan Reynold (Re). Saat aliran fluida memenuhi saluran, gaya gravitasi tidak mempengaruhi pola aliran. Parameter kapilaritas yang dalam penerapannya tidak berpengaruh, sehingga gaya yang diperhitungkan adalah gaya inersia dan gesekan fluida oleh karena kekentalannya. Bilangan Reynolds merupakan perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya kekentalan, yang dikenalkan oleh Osborne Reynolds (1882) dan dikembangkan oleh Lord Rayleigh (1892). Dalam menentukan nilai koefisien gesek, f selain ditentukan oleh bilangan R, juga dipengaruhi oleh kekasaran mutlak ϵ ($\epsilon = 0.05$ mm dari bahan PVC) dan diameter pipa (D) yang digunakan. Koefisien gesek (f) dapat ditentukan berdasarkan hubungan antara R dan $\frac{\epsilon}{D}$, dengan menggunakan "Diagram Moody", seperti pada Gambar 3.

Untuk pipa bundar yang penuh dialiri cairan nilai L kemudian diganti dengan diameter pipa (D) sehingga persamaan menjadi : $R = \frac{V.D}{\nu}$, dimana: R bilangan Reynolds; V kecepatan aliran (m/s); D diameter pipa (m), ν merupakan kekentalan kinematik dalam m^2/s , yang ditentukan oleh suhu; ρ rapat massa fluida dalam kg/m^3 ; V kecepatan aliran (m/s), g merupakan percepatan gravitasi m/s^2 ; dan μ adalah kekentalan absolut dalam $kg/m.s$ atau $N.s/m^2$. Dengan bilangan Reynolds ini dapat menentukan sifat pengaliran di pipa. Jenis aliran berdasarkan nilai Bilangan Reynolds, seperti pada tabel 1.

Swamee dalam Klaas, Dua K.S.Y (2009), menjabarkan ν korelasinya dengan suhu, T sebagai berikut: $\nu = 1,792 \times 10^{-6} \left(1 + \left[\frac{T}{25} \right]^{1.165} \right)^{-1}$, dimana: ν adalah kekentalan kinematik (m^2/s); dan T adalah suhu ($^{\circ}C$). Nilai ϵ adalah tinggi kekasaran mutlak yang nilainya dapat dilihat pada tabel 2.



Sumber : Bruce R. Munson, Donald F.Young, Theodore H. Okishi Mekanika Fluida, Erlangga (2002)

Gambar 1 Penentuan Nilai f

Tabel 1 Jenis aliran berdasarkan nilai Bilangan Reynolds

Jenis Aliran	Nilai Bilangan Reynolds (Re)
Laminer	<2100
Transisi	2100<Re<4000
Turbulen	>4000

Sumber : Klaas, Dua K.S.Y. 2009

Tabel 2 Koefisien kekasaran mutlak

Bahan	Nilai ε dalam mm
Kuningan, timah, gelas, semen yang diaduk secara sentrifugal,	0.0015
Baja yang diperdagangkan atau besi tempa, pipa baja yang di las	0.046
Polyvinil Cloride (PVC)	0.05
Besi cor diaspal	0.12
Besi berlapis seng (galvanisir)	0.15
Besi cor	0.26
Papan dari kayu	0.18 – 0.9
Beton	0.3 - 3

Sumber : Klaas, Dua K.S.Y., 2009

Nilai koefisien gesekan *Darcy-Weisbach* dapat ditentukan dengan persamaan empiris. Untuk aliran turbulen ($R > 4000$) dapat digunakan persamaan. (Klaas, Dua K.SY, 2009): $f = 1,325 \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{R\sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$ Sedangkan untuk aliran laminer ($R < 2000$), persamaan Hagen-poiseuille dapat digunakan: $f = \frac{64}{R}$. Penentuan nilai koefisien *Darcy-Weisbach* dapat ditentukan dengan dua cara yaitu: Metode Diagram Moody dan Metode Empiris.

Kehilangan Tinggi Lokal (*Minor Losses*)

Kehilangan tinggi lokal disebabkan karena berbagai faktor pada pipa. Kehilangan tinggi total merupakan penjumlahan dari kehilangan tinggi karena faktor-faktor tersebut yang pada setiap pipa tidak sama.

1 Lubang Masuk Pipa (*Entrance*)

Kehilangan tinggi (h_m) pada lubang masuk pipa adalah sebagai berikut: $h_m = km \frac{v^2}{2g}$, dimana: V adalah kecepatan aliran (m/det); g percepatan gravitasi (m/s^2); dan km koefisien kehilangan.

2 Lubang Keluar (*Outlet*)

Bagian keluar pipa (*outlet*) juga mengakibatkan hilangnya energi. Persamaan yang digunakan untuk menentukan kehilangan tinggi pada lubang ke luar pipa (h_m) menggunakan persamaan: $h_m = km \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$, dimana: V_1 adalah kecepatan aliran di pipa bagian hulu dalam m/s, V_2 adalah kecepatan aliran di pipa bagian hilir dalam m/det. km merupakan koefisien kehilangan yang diterangkan sebagai berikut: $km = 4.5 \frac{D}{d} - 3,5$.

3 Lubang Keluar Aliran Tenggelam (*Submerged Discharge*)

Kehilangan tinggi pada lubang ke luar aliran tenggelam adalah sebagai berikut: $hf = km \frac{v^2}{2g}$, dimana: h_m , kehilangan tinggi pada lubang masuk pipa (m) ; v adalah kecepatan keluar; km adalah koefisien kehilangan.

4 Perubahan Bentuk Penampang Tiba-Tiba

Perubahan bentuk tiba-tiba terdiri dari penyempitan dan pembesaran, dengan persamaan sebagai berikut:

1) Penyempitan Tiba-Tiba (*Sudden Contraction*)

Menggunakan persamaan : $h_m = km \frac{(V_2-V_1)^2}{2g}$,

dimana : h_m = kehilangan tinggi pada penyempitan tiba-tiba dalam m; (km) = koefisien kehilangan, merupakan fungsi dari D_2/D_1 ; (D_1) = Diameter pipa hulu dalam m dan (D_2) adalah diameter pipa hilir dalam m.

2) Pembesaran Tiba-Tiba (*Sudden Expansion*)

Menggunakan persamaan : $h_m = \frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$,

dimana : h_m = kehilangan tinggi pada lubang masuk pipa (m); (V_1) kecepatan aliran di pipa hulu (m/s); (V_2) = kecepatan aliran di pipa hilir (m/s) dan g adalah percepatan gravitasi (m/s²).

5 Perubahan Bentuk Penampang Bertahap

1 Penyempitan Bertahap

Menggunakan persamaan: $h_m = km \frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$,

dimana : h_m , adalah kehilangan tinggi pada lubang masuk pipa dalam m dan km adalah koefisien kehilangan, $km = 0,315 \alpha c^{1/3}$; L merupakan panjang bagian transisi. $\alpha c^{1/3}$ = sudut kontraksi (dalam radian) yang dijabarkan sebagai berikut = $2 \tan^{-1} \left(\frac{D_1-D_2}{2.L} \right)$.

2 Pembesaran Bertahap

Kehilangan tinggi pada pembesaran bertahap menggunakan persamaan $h_m = km \frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$. Koefisien kehilangan (km), menggunakan persamaan $km = \left[\frac{0,25}{\alpha_e^3} \left(1 + \frac{0,6}{r^{1,67}} \left\{ \frac{\pi-\alpha_e}{\alpha_e} \right\} \right)^{0,533r-2,6} \right]^{-0,5}$, dimana: r adalah rasio pembesaran (dalam radian) = $2 \tan^{-1} \left(\frac{D_2-D_1}{2.L} \right)$, dan L merupakan panjang bagian transisi.

6 Belokan Pipa dan Pipa Lengkung

1) Belokan Pipa

Menggunakan persamaan $h_m = kb \frac{(V)^2}{2g}$, dimana:

(h_m) adalah kehilangan tinggi pada belokan pipa dalam m; (V) kecepatan aliran di pipa dalam m/s dan (g) adalah percepatan gravitasi dalam m/s²; (kb) adalah koefisien kehilangan pada belokan pipa, merupakan fungsi jenis dinding dan α sebagaimana terlihat pada tabel 4.

2) Pipa Lengkung

Untuk pipa lengkung digunakan persamaan berikut ini: $h_m = km \frac{(V)^2}{2g}$, dimana: (h_m) = kehilangan tinggi pada pipa lengkung dalam m; V kecepatan aliran di pipa dalam m/s ; dan g percepatan gravitasi dalam m/s² ; D diameter pipa; R radius belokan; α sudut belokan terhadap bidang horisontal (harga α seperti pada Tabel 4) .

7 Halangan

1) Saringan (Trashrack)

Saringan *trashrack* digunakan pada bagian saluran sebelum sipon atau gorong-gorong untuk menyaring dan menangkap sampah agar tidak masuk saluran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kehilangan tinggi ht adalah sebagai berikut: $h_m = c \frac{(V)^2}{2g}$ dan $k_m = \beta \frac{(s)^{4/3}}{b} \sin \delta$, dimana: ht , adalah kehilangan tinggi pada saringan dalam m; k_m , koefisien kehilangan; β , koefisien jeruji (*grating*); s tebal jeruji; b , jarak antar jeruji (m) dan δ sudut jeruji terhadap bidang horisontal.

2) Tirai/Sekat

Persamaan kehilangan tinggi hc yang digunakan sama dengan yang digunakan pada kehilangan tinggi pada penyempitan tiba-tiba. Nilai koefisien kehilangan kc , merupakan fungsi dari A_2/A_1 sebagaimana terlihat dalam tabel 5.

8 Perlengkapan pipa (*pipe fittings*)

Persamaan kehilangan tinggi yang diakibatkan oleh perlengkapan pipa (*pipe fittings*) adalah menggunakan persamaan $h_m = km \frac{(V)^2}{2g}$

Tabel 3 Koefisien kehilangan untuk penyempitan tiba-tiba

D_2 / D_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h_m	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01

1											
h_m	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01

Sumber : Klaas, Dua K.S.Y., 2009

METODOLOGI

Kajian menggunakan metode analisis dari data primer dan data skunder yang diperoleh dari tim balai irigasi, serta melengkapi data-data dengan bantuan Google Earth mencakup data luas layanan global dan elevasi. Pembahasan difokuskan kepada analisis hidrolika jaringan irigasi pipa bertekanan dengan prinsip persamaan kontinuitas, dengan formula : Hazen William dan Darcy Weisbach. Analisis hidrolika dirancang per masing-masing ruas, dari mulai bangunan pengambilan (*capturing*) sampai ke boks bagi paling hilir. Dalam penentuan dimensi saluran pipa, diperhitungkan dari kebutuhan air maksimum tanaman padi berdasarkan simulasi pola dan jadwal tanam yang paling memberikan luas layanan minimum terbesar oleh air irigasi yaitu awal tanam MT-I mulai tanggal 16

Nopember, MT-II tanggal 1 April dan MT-III tanggal 1 Agustus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Mencari Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan untuk tanaman padi pada masa pertumbuhan terbesar dimana dengan $Etc = Kc \times Eto = 1,1 \times 3,36 = 3,69$ mm/hari. Nilai perkolasi 2 mm/hari, penggantian lapisan air 2,2 mm/hari, dan perhitungan nilai curah hujan efektif 0 mm/hari, dimana pada periode tersebut tidak terjadi hujan. Diperoleh $NFR = (Etc + P) - Re + WLR = (3,69 + 2) - 0 + 2,2 = 7,89$ mm/hari. Debit yang dibutuhkan (*Demand Requiremen/DR*) untuk masa pertumbuhan padi adalah : $DR = NFR / (e \times 8,64) = 7,89 / (1 \times 8,64) = 0,913$ l/s/ha.

Tabel 4 Koefisien kehilangan pada belokan pipa

Dinding	α				
	15	30	45	60	90
Halus	0,042	0,130	0,236	0,471	1,129
Kasar	0,062	0,165	0,320	0,684	1,265

Sumber : Klaas, Dua K.S.Y., 2009

Tabel 5 koefisien kehilangan untuk tirai

A2/A1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
kc	225,900	47,770	17,150	7,801	3,755	1,796	0,797	0,290	0,060	0,0

Sumber : Klaas, Dua K.S.Y., 2009

Tabel 6 Koefisien Kehilangan untuk Perelengkapan Pipa

Jenis Perlengkapan Pipa	km
Katup Terbuka :	
Bola	10
- Pintu	0,2
- Swing-check	2
- Sudut	2
- Fogt	0,8
Tikungan Balik :	1,5
Siku	
- Elbow 90°	1,5
- Elbow 45°	0,4
Bentuk T :	
- Aliran Induk	0,9
- Aliran Cabang	2

dimana : h_m , kehilangan tinggi pada perlengkapan pipa dalam m; V kecepatan aliran ; g percepatan gravitasi dalam m/s^2 ; dan k_m merupakan koefisien sebagaimana terlihat pada tabel 6.

Perhitungan Dimensi Pipa

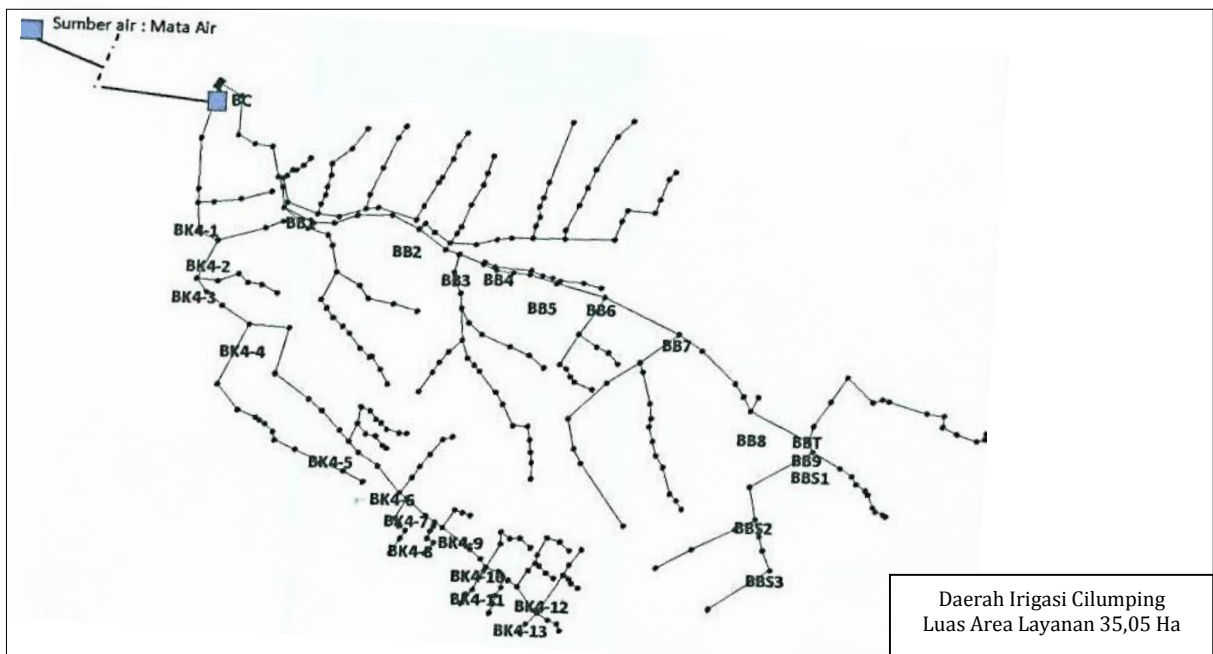
Penentuan dimensi pipa, dianalisis per masing-masing ruas dan sub-ruas, dari mulai BC sampai dengan BBS3, seperti tampak pada *layout* dan sekema jaringan Gambar 1 dan 2, dengan parameter perencanaan adalah sebagai berikut: (i) Debit air tersedia pada bangunan pengambilan adalah 40 l/s; (ii) Kebutuhan air maksimum (DR) adalah sebesar 0,913 l/s/ha (iii) Luas lahan irigasi 35,05 Ha (iii) debit air yang dibutuhkan (Q_{md}) 32,02 l/s; (iv) Q_{md} masuk saluran utama ruas BC-B9 (26,90 ha) sebesar 24,56 l/s (v) Q_{md} masuk saluran utama ruas BC-BK4-12 (8,15 ha) adalah 7,44 l/s; (vi) ketinggian lokasi bangunan pengambilan 583 m dpl; (vii) ketinggian muka air normal (MAN) pada bangunan pengambilan (*capturing*) adalah 0,5 m (viii) jenis pipa yang digunakan adalah jenis PVC dengan kekasaran pipa (C) sebesar 140; (ix) beda tinggi antara bangunan pengambilan dan bangunan bagi di bagian paling hilir (BB9)+71 m; (x) dan jarak antara bangunan pengambilan dan BB9 adalah 964.6 m.

Sebagai tahap awal, pendekatan penentuan dimensi pipa diperhitungkan berdasarkan besarnya kapasitas pipa pengambilan, menggunakan persamaan Hazen-William $Q_p = 0,279 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54}$, dimana $Q_p = Q_{md}$. Kapasitas pengambilan pada saluran utama ruas BC-B9 adalah : $Q_{md1} = 24.56 \text{ l/s} = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$, dan pada saluran utama BC-BK4-13 : $Q_{md2} = 7,44 \text{ l/s}$ atau sebesar 0.0074 m^3/s .

Proses penentuan dimensi pipa di tunjukan seperti contoh perhitungan pada sub ruas BC-BB 1. Penentuan dimensi pipa pada sub ruas lainnya dapat dilihat pada tabel 6. Jaringan pipa sub-ruas BC-BB1 memiliki jarak 194.8 m, dengan elevasi BC yang berada pada ketinggian +583 m dan BB1 berada pada +567 m. Sehingga memiliki beda tinggi (Δh) sebesar 16 m, dan kemiringan saluran (*slope*), adalah: $S = 0.08$. Dengan persamaan $Q_{md1} = Q_{P1}$, diperoleh dimensi pipa seperti Lampiran 1.

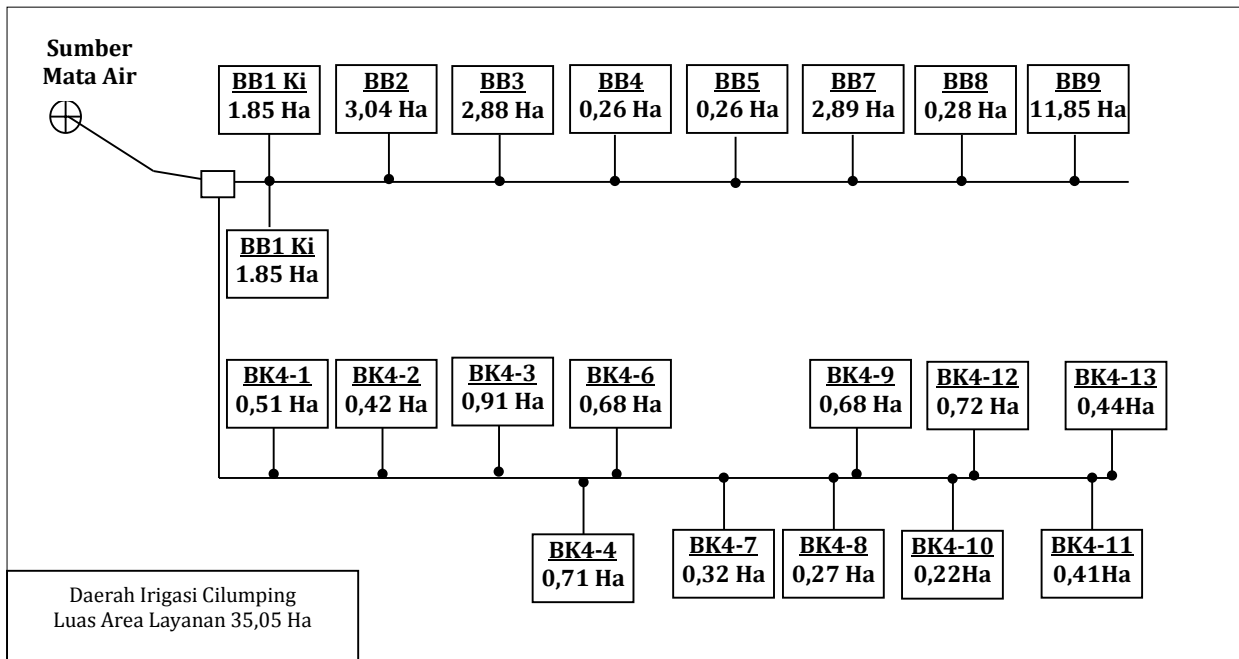
Kecepatan Aliran

Kondisi aliran air pada jaringan pipa dapat mempengaruhi terhadap fungsi dan kinerja dari jaringan itu sendiri. Kecepatan aliran yang diperlukan adalah kecepatan aliran yang mampu membawa material (sedimen) yang dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi dalam jaringan pipa, dan diperlukan kecepatan aliran yang tidak menyebabkan kerusakan pada jaringan pipa itu sendiri. Dalam RSN1 T-01-2003 Tatacara Perencanaan Plumbing, kecepatan aliran air dalam pipa perlu dijaga pada kecepatan 0,9 - 1,2 m/s dengan batas maksimum kurang dari 2 m/s. Menurut Klaas Dua K.S.Y, 2009 menyatakan bahwa kecepatan air pada jaringan distribusi pipa pada umumnya adalah sekitar 1,5 m/s. Dalam penentuan dimensi pipa dipertahankan dengan kecepatan 0,3 - 1,5 m/s. Hasil rancangan diameter pipa hasil perhitungan dan dipertahankan pada kecepatan 0,3-1,5 m/s seperti Lampiran 1.



Sumber : Data Lapangan

Gambar 2 Layout Jaringan Irigasi Perpipaan



Sumber : Data Lapangan

Gambar 3 Skema Jaringan Irigasi Perpipaan

Berdasarkan hasil penentuan dimensi pipa pada Lampiran 1, menunjukkan bahwa penentuan dimensi hasil perhitungan berdasarkan persamaan Hazen-William dengan $Q_p = Q_{md}$, kecepatan aliran air pada ruas BC - BBS3 adalah antara 0,846-3,05 m/s dan ruas BC - BK4-13 adalah 1,46-4,21 m/s terdapat pada beberapa bagian ruas yang mempunyai nilai kecepatan aliran lebih dari > 2 m/s, hal ini menunjukkan bahwa pada bagian tersebut meskipun kecepatan aliran mampu membawa sedimen dengan ukuran butir 0.018 mm, namun rawan terhadap kerusakan jaringan. Diakibatkan kecepatan aliran yang melebihi daripada kecepatan aliran maksimum yang diizinkan. Oleh karenanya diameter pipa yang telah diperhitungkan diperbesar. Kecepatan aliran pada ruas BC-BBS3 menjadi 0,83-1,35 m/s, dan BC - BK4-13 antara 0,52-1,38 m/s.

Berdasarkan kecepatan aliran yang diperoleh dengan kemiringan aliran minimum pada kedua ruas jaringan lebih dari 3%, aliran air dalam jaringan pipa selain mampu membawa sedimen dengan ukuran butir 0.018 mm, juga cukup aman dari kerusakan jaringan. Aliran air irigasi dapat mengalir dengan cepat tanpa terhalang oleh sedimen, dikarenakan kecepatan aliran cukup menjamin terjadinya pembersihan sendiri (*self cleaning*) pada saluran. Hal tersebut sesuai dengan menurut Bochari (2012) bahwa

kemiringan saluran pipa air koto harus baik, disarankan lebih besar dari atau sama dengan 2%, agar drainase lancar tanpa halangan, dan Soeparman dan Suparmin, (2002), dalam Maryanto (2011), bahwa kemiringan aliran harus cukup agar menjamin berlangsungnya pembersihan sendiri (*self cleaning*) pada saluran. Kecepatan alirannya bervariasi antara 0,6 m/detik sampai 0,75 m/detik pada aliran yang penuh. Di daerah tropis kecepatan yang dianjurkan 0,9 m/detik.

Kehilangan Tinggi Tekanan

1) Kehilangan Tinggi Tekanan Utama (*Major Losses*)

Perhitungan kehilangan tinggi tekan utama (*Major Losses*) disajikan dalam Lampiran 2. Dari hasil perhitungan rata-rata besarnya bilangan Reynold, $R > 4000$. Melihat kriteria yang dikenalkan oleh Osborne Reynold (1882) dan dikembangkan oleh Lord Rayleigh (1892), jenis aliran air yang masuk pada jaringan pipa merupakan jenis aliran "*Turbulen*". Dengan dapat ditentukannya jenis aliran oleh bilangan R, menunjukkan bahwa terdapat kepentingan relatif antara efek inersia dan efek viskositas dalam gerakan fluida. Dari tabel perhitungan terlihat bahwa total major losses untuk saluran utama adalah ruas (BC-BS3), $H_f = 11,21$ m, dan ruas (BC-BK4-13), adalah sebesar 14,42 m.

2) Kehilangan Tinggi Tekanan Lokal (Minor Losses)

Kehilangan energi lokal memperhitungkan berbagai faktor pada pipa, yang meliputi: lubang masuk pipa (*entrance*), lubang keluar (*outlet*), belokan pipa, perlengkapan pipa (*fitting*) seperti katup, *elbow*, sambungan, aliran tenggelam (*submerged discharge*), perubahan bentuk tiba-tiba berupa penyempitan & pelebaran, serta halangan (*trashrack*). Perhitungan tinggi tekan lokal (*minor losses*) disajikan pada Lampiran 3. Total kehilangan tinggi tekan lokal (*minor losses*), ruas saluran utama BC - BBS3 adalah sebesar 5,21 m, dan ruas BC-BK4-13 adalah 5,38 m.

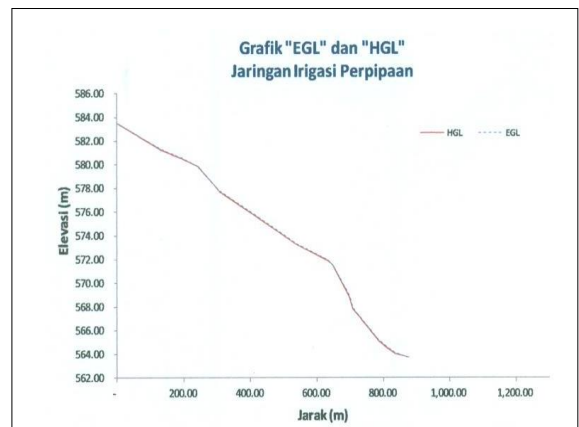
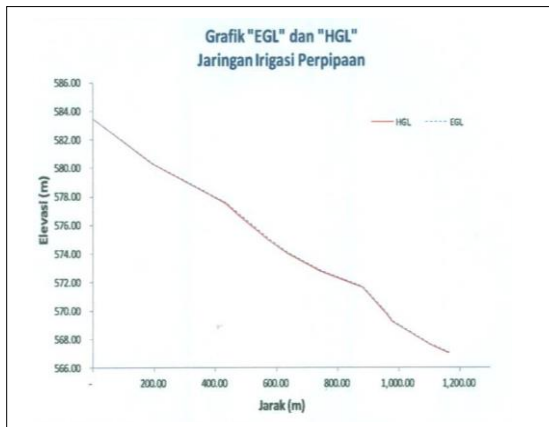
Tinggi Garis Energi (Energi Grade Line) dan Tinggi Garis Hidrolik (Hidraulik Grade Line)

Energi grade line (EGL) dan hidraulik grade line (HGL) dicari berdasarkan persamaan bernoulli : $\left[\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right] - \left[\frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right] - hf = 0$. Untuk

perhitungan sub ruas yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 4. Apabila dilihat dari EGL dan HGL, suplai air pipa yang masuk ke lahan dipastikan dapat mengalir sampai *outlet* terjauh. Gambaran kondisi EGL, HGL dan HS seperti gambar di bawah ini.

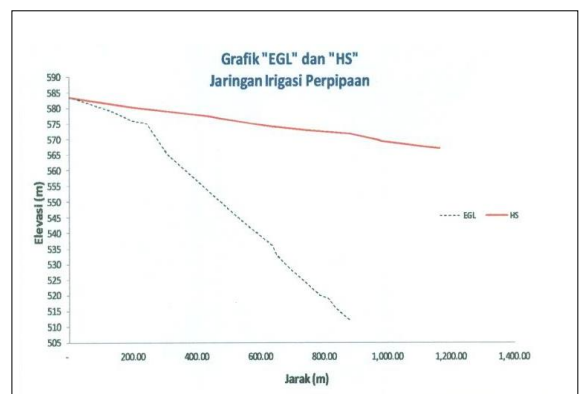
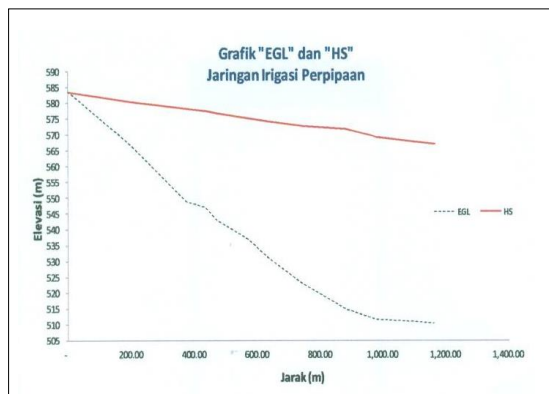
Berdasarkan hasil perhitungan total *head loss* di sepanjang saluran utama ruas BC-BBS3 dengan beda tinggi 73 m adalah sebesar 16,42 m. Tinggi tekan yang tersisa di sekitar bangunan BBS3 setelah dikurangi *head loss* adalah sebesar 56,6 m (5,5 bar). Ruas BC-BK4-13 dengan beda tinggi 71,5 m, dan total *headloss* 19,8 m memiliki tinggi tekan yang tersisa adalah sebesar 51,7 m (5,07 bar).

Berdasarkan, tinggi tekan yang ada diperlukan jenis pipa PVC tipe AW dengan kemampuan tekanan kerja sampai 10 kg/cm² (9,1 bar), sehingga jaringan irigasi pipa mampu menahan tekanan operasi yang ditimbulkan.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 4 Grafik Kondisi EGL dan HGL Ruas BC-BBS3 dan Ruas BC-BK4-13



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 5 Grafik Kondisi HGL dan HS Ruas BC-BC-BBS3 dan Ruas BC-BC-BK4-13

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan bahasan disimpulkan sebagai berikut:

Kebutuhan air maksimum untuk mengairi luasan lahan 35,05 Ha adalah 32,02 l/s, dengan NFR sebesar 0,913 l/s/Ha.

Rancangan kebutuhan air di desain berdasarkan operasi irigasi dengan sistim irigasi menerus (*continous flow*).

Kondisi aliran dalam pipa adalah turbulen, dapat mengalir secara gravitasi, cukup aman terhadap pengendapan sedimen dan tekanan yang berlebihan.

Dengan rata-rata kecepatan dengan kemiringan aliran air yang ada lebih dari 3%, aliran air irigasi dapat mengalir dengan cepat tanpa terhalang oleh sedimen, kecepatan aliran cukup menjamin terjadinya pembersihan sendiri (*self cleaning*).

Jaringan irigasi pipa direncanakan menggunakan jenis pipa PVC dengan tipe AW yang mampu menahan tekanan operasi sebesar 10 kg/cm².

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Irigasi. 2012. Model Fisik Penerapan Jaringan Irigasi Perpipaan. Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bekasi.
- BSN. 2003. RSN1 T-01-2003 Tatacara Perencanaan Plumbing. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Bochari. 2012. Bahan Ajar Menggambar Rekayasa. Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB. UMB. Jakarta.
- Bruce R. Munson, 2002. Donald F. Young, Theodore H. Okishi Mekanika Fluida. 2002. Erlangga. Jakarta.
- Direktorat Jendral Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. 1986. Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01. Jakarta.
- Dharmasetiawan, Martin. 2004. "Sistem Perpipaan Distribusi Air Minum. Ekamitra Engineering. Jakarta.
- Klaas, Dua K.S.Y. 2009. Desain Jaringan Pipa Prinsip Dasar dan Aplikasi. Mandar Maju. Bandung.
- Nurfadilah A. 2013. Analisa Perhitungan Debit Dan Kehilangan Tinggi Tekanan (Head Loss) Pada Sistem Jaringan Pipa Daerah Layanan PDAM Tirtanadi Cabang Sunggal. *Jurnal Teknik Sipil USU Volume 2 No 2. Medan.*
- Ridwan D. 2013. Studi Efisiensi Alokasi Air dan Jaringan Irigasi Perpipaan di Desa Cikurubuk Kecamatan Buah Dua Kabupaten Sumedang. ITB. Bandung.
- Maryanto. 2011. Perencanaan Jaringan Pipa Lateral Air Kotor Di Surakarta (Studi Kasus Di Jalan Kapten Adi Sumarmo Dan Jalan Letjendsutoyo). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Lampiran 1 Penentuan Dimensi Pipa

No	Ruas/Sub-ruas Saluran	Luas Layanan (A) Ha	Debit (Qmd)		Panjang (L) (m)	Elevasi		Beda Tinggi (m)	Kemiringan (S)	Koef. Keba- saran	Diameter hasil perhitungan (D)		Kecepatan (V)		Diameter yang digunakan (inchi)	Debit (Qp)		Kecepatan (V) m/det	Kontrol Kecepatan V Jalu sedimen k _{tm} = 0.3-2 m/det	
			L/det	M ³ /det		Hulu (m)	Hilir (m)				m	mm	inchi	m/det		M ³ /det	L/det			
I Saluran Pipa Utama BC-BB9																				
	BC1	35.05	12.00	0.032	194.8	583	567	16	0.08	140.0	0.26	0.101	101.29	3.99	3.049	6	0.072	71.91	1.35	...okl
1	BC1 - BB1	26.90	24.56	0.0246	178.85	567	549	18	0.10	140.0	0.29	0.091	90.91	3.58	3.179	6	0.080	80.26	1.13	...okl
2	BB1 - BB2	22.59	20.62	0.021	62.01	549	547	2	0.03	140.0	0.16	0.109	108.7	4.28	1.924	6	0.043	43.41	0.98	...okl
3	BB2 - BB3	19.55	17.85	0.018	35.07	547	543	4	0.11	140.0	0.31	0.079	78.956	3.11	3.112	5	0.053	53.16	1.20	...okl
4	BB3 - BB4	16.67	15.22	0.015	98.75	543	537	6	0.06	140.0	0.22	0.089	89.297	3.52	2.394	5	0.038	37.83	1.18	...okl
5	BB4 - BB5	16.41	14.98	0.015	64.3	537	531	6	0.09	140.0	0.28	0.081	81.023	3.19	2.838	5	0.048	47.70	1.16	...okl
6	BB5 - BB6	16.02	14.63	0.015	108.38	531	523	8	0.07	140.0	0.24	0.083	82.959	3.27	2.538	5	0.042	42.03	1.08	...okl
7	BB6 - BB7	15.02	13.71	0.014	137.75	523	515	8	0.06	140.0	0.22	0.080	80.345	3.16	2.185	5	0.037	36.92	0.87	...okl
8	BB7 - BB8	12.13	11.07	0.011	84.64	515	512	3	0.04	140.0	0.16	0.088	88.132	3.47	1.774	4	0.016	15.73	1.34	...okl
9	BB8 - BB9	11.85	10.82	0.011	14.69	512	511.6	0.4	0.03	140.0	0.14	0.087	87.451	3.44	1.531	4	0.014	13.64	1.13	...okl
10	BB9 - BBS1	10.07	9.19	0.009	119.33	511.6	511	0.6	0.01	140.0	0.06	0.120	119.78	4.72	0.750	4	0.005	5.48	1.04	...okl
11	BBS1 - BBS2	9.25	8.45	0.008	64.67	511	510.5	0.5	0.01	140.0	0.07	0.100	100.37	3.95	0.846	4	0.007	6.91	0.83	...okl
12	BBS2 - BBS3	7.33	6.69	0.007																...okl
Varia-rata																				
1.11																				
II Saluran Pipa Utama BC-BK4-14																				
1	BC1 - BK4-1	8.15	7.44	0.007	131.85	583	579	4	0.03	140.0	0.15	0.079	86	3.39	1.908	4	0.014	14.46	0.92	...okl
2	BK4-1 - BK4-2	7.64	6.98	0.007	63.48	579	576	3	0.05	140.0	0.19	0.070	76	2.99	2.206	4	0.018	18.37	0.86	...okl
3	BK4-2 - BK4-3	7.22	6.59	0.007	46.49	576	575	1	0.02	140.0	0.13	0.081	85	3.35	1.463	4	0.012	12.01	0.81	...okl
4	BK4-3 - BK4-4	6.31	5.76	0.006	66.55	575	565	10	0.15	140.0	0.36	0.052	55	2.17	3.273	3	0.016	16.10	1.26	...okl
5	BK4-4 - BK4-5	5.12	4.67	0.005	231.37	565	544	21	0.09	140.0	0.27	0.053	57	2.24	2.611	3	0.012	12.26	1.03	...okl
6	BK4-5 - BK4-6	4.41	4.03	0.004	95.93	544	536	8	0.08	140.0	0.26	0.051	57	2.24	2.698	3	0.012	11.71	0.88	...okl
7	BK4-6 - BK4-7	3.73	3.40	0.003	12.53	536	533	3	0.24	140.0	0.46	0.038	39	1.54	3.079	3	0.021	20.70	0.75	...okl
8	BK4-7 - BK4-8	3.06	2.79	0.003	48.03	533	528	5	0.10	140.0	0.29	0.042	46	1.81	2.503	2	0.005	4.55	1.38	...okl
9	BK4-8 - BK4-9	2.74	2.50	0.003	12.44	528	527	1	0.08	140.0	0.26	0.043	47	1.85	2.253	2	0.004	3.95	1.23	...okl
10	BK4-9 - BK4-10	2.47	2.25	0.002	76.08	527	520	7	0.09	140.0	0.28	0.040	47	1.85	2.772	2	0.004	4.25	1.11	...okl
11	BK4-10 - BK4-11	1.79	1.63	0.002	25.91	520	519	1	0.04	140.0	0.17	0.042	47	1.85	1.551	2	0.003	2.66	0.81	...okl
12	BK4-11 - BK4-12	1.57	1.43	0.001	23.64	519	516	3	0.13	140.0	0.33	0.031	43	1.69	4.204	2	0.005	5.06	0.71	...okl
13	BK4-12 - BK4-13	1.16	1.06	0.001	43.51	516	512	4	0.09	140.0	0.28	0.030	41	1.61	3.438	2	0.004	4.25	0.52	...okl
Varia-rata																				
0.94																				

Sumber : Hasil Perhitungan

Lampiran 2 Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Utama (Major Losses) pada Saluran Utama

No	Ruas/Sub-ruas Saluran	A (ft ²)	Q (ft ³ /det)	L (m)	S (%)	Diameter Pipa (D)		V (m/det)	Suhu (T) (°C)	viskositas (ν) (m ² /det)	Bilangan Reynold (Re)	Jenis Aliran	Koefisien Kehilangan (K)		Major Losses (hf)=L (L/D)(V ² /2g) (m)	
						(inchi)	(m)						(mm)	σ/D (mm)		
Qmd total = 32 ft ³ /det A total = 35.05 Ha																
I Saluran Pipa Utama BC-BB9																
1	BC1 - BB1	26.90	24.56	194.8	0.08	6.00	0.152	1.35	20	1.0118E-06	202,894	TURBULEN	0.05	0.0003	0.017	2.01
2	BB1 - BB2	22.59	20.62	178.9	0.10	6.00	0.152	1.13	20	1.0118E-06	170,386	TURBULEN	0.05	0.0003	0.018	1.38
3	BB2 - BB3	19.55	17.85	62.0	0.03	6.00	0.152	0.98	20	1.0118E-06	147,456	TURBULEN	0.05	0.0003	0.017	0.34
4	BB3 - BB4	16.67	15.22	35.1	0.11	5.00	0.127	1.20	20	1.0118E-06	150,881	TURBULEN	0.05	0.0004	0.019	0.39
5	BB4 - BB5	16.41	14.98	98.8	0.06	5.00	0.127	1.18	20	1.0118E-06	148,527	TURBULEN	0.05	0.0004	0.0193	1.07
6	BB5 - BB6	16.02	14.63	64.3	0.09	5.00	0.127	1.16	20	1.0118E-06	144,997	TURBULEN	0.05	0.0004	0.0192	0.66
7	BB6 - BB7	15.02	13.71	108.4	0.07	5.00	0.127	1.08	20	1.0118E-06	135,946	TURBULEN	0.05	0.0004	0.0195	0.99
8	BB7 - BB8	12.13	11.07	137.8	0.06	5.00	0.127	0.87	20	1.0118E-06	109,789	TURBULEN	0.05	0.0004	0.0198	0.84
9	BB8 - BB9	11.85	10.82	84.6	0.04	4.00	0.102	1.34	20	1.0118E-06	134,068	TURBULEN	0.05	0.0005	0.02	1.51
10	BB9 - BB51	10.07	9.19	14.7	0.03	4.00	0.102	1.13	20	1.0118E-06	113,930	TURBULEN	0.05	0.0005	0.02	0.19
11	BB51 - BB52	9.25	8.45	119.3	0.01	4.00	0.102	1.04	20	1.0118E-06	104,652	TURBULEN	0.05	0.0005	0.021	1.37
12	BB52 - BB53	7.33	6.69	64.7	0.01	4.00	0.102	0.83	20	1.0118E-06	82,930	TURBULEN	0.05	0.0005	0.021	0.46
Luas layanan												TOTAL			11.21	
II Saluran Pipa Utama BC-BK4-13																
1	BC - BK4-1	8.15	7.44	131.85	0.03	4.00	0.102	0.92	20	1.01E-06	92,207	TURBULEN	0.00005	0.0005	0.021	1.17
2	BK4-1 - BK4-2	7.64	6.98	63.48	0.05	4.00	0.102	0.86	20	1.01E-06	86,437	TURBULEN	0.00005	0.0005	0.0205	0.48
3	BK4-2 - BK4-3	7.22	6.59	46.49	0.02	4.00	0.102	0.81	20	1.01E-06	81,685	TURBULEN	0.00005	0.0005	0.0215	0.33
4	BK4-3 - BK4-4	6.31	5.76	66.55	0.15	3.00	0.076	1.26	20	1.01E-06	95,187	TURBULEN	0.00005	0.0007	0.021	1.49
5	BK4-4 - BK4-5	5.12	4.67	231.37	0.09	3.00	0.076	1.03	20	1.01E-06	77,220	TURBULEN	0.00005	0.0007	0.024	3.90
6	BK4-5 - BK4-6	4.41	4.03	95.93	0.08	3.00	0.076	0.88	20	1.01E-06	66,510	TURBULEN	0.00005	0.0007	0.022	1.10
7	BK4-6 - BK4-7	3.73	3.40	12.53	0.24	3.00	0.076	0.75	20	1.01E-06	56,252	TURBULEN	0.00005	0.0007	0.0205	0.10
8	BK4-7 - BK4-8	3.06	2.79	48.03	0.10	2.00	0.051	1.38	20	1.01E-06	69,218	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.023	2.11
9	BK4-8 - BK4-9	2.74	2.50	12.44	0.08	2.00	0.051	1.23	20	1.01E-06	61,977	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.023	0.44
10	BK4-9 - BK4-10	2.47	2.25	76.08	0.09	2.00	0.051	1.11	20	1.01E-06	55,867	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.024	2.27
11	BK4-10 - BK4-11	1.79	1.63	25.91	0.04	2.00	0.051	0.81	20	1.01E-06	40,481	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.0248	0.42
12	BK4-11 - BK4-12	1.57	1.43	23.64	0.13	2.00	0.051	0.71	20	1.01E-06	35,503	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.025	0.30
13	BK4-12 - BK4-13	1.16	1.06	43.51	0.09	2.00	0.051	0.52	20	1.01E-06	26,225	TURBULEN	0.00005	0.0010	0.026	0.31
Luas layanan												TOTAL			14.42	

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 3 Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Lokal (Minor Losses) pada Saluran Utama

No	Ruang/Subruang Saluran	D		A	Q	V	Lubang Masuk ke Pipa		Lubang Keluar Pipa (Outlet)		Bekalan Pipa		Halangan (Traverse)		Perlonggaran Pipa (Pipe Fitting)						Penyederhanaan		TOTAL hm					
		m	inchi				hm ₁	hm ₂	hm = km · (V ₁ ² /2g)	hm = 4.5 D / (3.5 · V)	hm = kb · (V ² /2g)	hm = km · (V ² /2g)	hm = km · (V ² /2g)	km = β · (L _h /D) · (V ² /2g)	Σ	Katup		Elbow		Tee		k		hm				
																Σ	km	hm	Σ	km	hm				Σ	km	hm	Σ
Qmd total = 32 lt/det A total = 35.05																												
Saluran Pipa Utama BC-8B53																												
1	BK1	6	0.152	0.018	24.56	1.35	0.5	0.046	1.000	0.002	6	0.236	0.1091	0.0660	0.0061	1	1	0.092	5	1.5	0.694	1	0.9	2	0.166	-	-	1.12
2	B81	6	0.152	0.018	20.62	1.13	-	-	-	-	6	0.236	0.0770	-	-	1	1	0.065	5	1.5	0.489	1	0.9	2	0.117	-	-	0.75
3	B82	6	0.152	0.018	17.85	0.98	-	-	-	-	6	0.236	0.0231	-	-	1	1	0.049	2	1.5	0.147	1	0.9	2	0.088	0.002	-	0.31
4	B83	5	0.127	0.013	15.22	1.20	-	-	-	-	5	0.236	0.0174	-	-	1	1	0.074	1	1.5	0.110	1	0.9	2	0.133	-	-	0.33
5	B84	5	0.127	0.013	14.98	1.18	-	-	-	-	5	0.236	0.0674	-	-	1	1	0.071	4	1.5	0.428	1	0.9	2	0.128	-	-	0.70
6	B85	5	0.127	0.013	14.63	1.16	-	-	-	-	5	0.236	0.0161	-	-	1	1	0.068	1	1.5	0.102	1	0.9	2	0.122	-	-	0.31
7	B86	5	0.127	0.013	13.71	1.08	-	-	-	-	5	0.236	0.0141	-	-	1	1	0.06	1	1.5	0.090	1	0.9	2	0.108	-	-	0.27
8	B87	5	0.127	0.013	11.07	0.87	-	-	-	-	5	0.236	0.0276	-	-	1	1	0.039	3	1.5	0.175	1	0.9	2	0.070	0.003	-	0.31
9	B88	4	0.102	0.008	10.82	1.34	-	-	-	-	4	0.236	0.0214	-	-	1	1	0.091	1	1.5	0.136	1	0.9	2	0.164	-	-	0.41
10	B89	4	0.102	0.008	9.19	1.13	-	-	-	-	4	0.236	0.0155	-	-	1	1	0.066	1	1.5	0.098	1	0.9	2	0.118	-	-	0.30
11	B85-1	4	0.102	0.008	8.45	1.04	-	-	-	-	4	0.236	0.0131	-	-	1	1	0.055	1	1.5	0.083	1	0.9	2	0.100	-	-	0.25
12	B85-2	4	0.102	0.008	6.69	0.83	-	-	-	-	4	0.236	0.0082	-	-	1	1	0.035	1	1.5	0.052	1	0.9	2	0.063	0.500	0.017	0.16
																							TOTAL		5.21			
Saluran Pipa Utama BC-8K4-13																												
1	BK1	4	0.102	0.008	7.44	0.92	-	-	3.250	0.663	4	0.236	0.0406	-	-	1	1	0.04	3	1.5	0.193	1	0.9	2	0.0774	-	-	1.02
2	BK4-1	4	0.102	0.008	6.98	0.86	-	-	-	-	4	0.236	0.0357	-	-	1	1	0.04	2	1.5	0.113	1	0.9	2	0.0680	-	-	0.25
3	BK4-2	4	0.102	0.008	5.59	0.81	-	-	-	-	4	0.236	0.0318	-	-	1	1	0.03	4	1.5	0.202	1	0.9	2	0.0607	0.0032	-	0.33
4	BK4-3	3	0.076	0.005	5.76	1.26	-	-	-	-	3	0.236	0.0576	-	-	1	1	0.08	3	1.5	0.366	1	0.9	2	0.1466	-	-	0.65
5	BK4-4	3	0.076	0.005	4.67	1.03	-	-	-	-	3	0.236	0.0379	-	-	1	1	0.05	5	1.5	0.402	1	0.9	2	0.0965	-	-	0.59
6	BK4-5	3	0.076	0.005	4.03	0.88	-	-	-	-	3	0.236	0.0281	-	-	1	1	0.04	2	1.5	0.119	1	0.9	2	0.0716	-	-	0.26
7	BK4-6	3	0.076	0.005	3.40	0.75	-	-	-	-	3	0.236	0.0201	-	-	1	1	0.03	4	1.5	0.171	1	0.9	2	0.0512	0.1543	0.0044	0.27
8	BK4-7	2	0.051	0.002	2.79	1.38	-	-	-	-	2	0.236	0.0457	-	-	1	1	0.10	1	1.5	0.145	1	0.9	2	0.1744	-	-	0.46
9	BK4-8	2	0.051	0.002	2.50	1.23	-	-	-	-	2	0.236	0.0367	-	-	1	1	0.08	3	1.5	0.349	1	0.9	2	0.1398	-	-	0.60
10	BK4-9	2	0.051	0.002	2.25	1.11	-	-	-	-	2	0.236	0.0298	-	-	1	1	0.06	3	1.5	0.284	1	0.9	2	0.1136	-	-	0.49
11	BK4-10	2	0.051	0.002	1.63	0.81	-	-	-	-	2	0.236	0.0156	-	-	1	1	0.03	2	1.5	0.099	1	0.9	2	0.0596	-	-	0.21
12	BK4-11	2	0.051	0.002	1.43	0.71	-	-	-	-	2	0.236	0.0120	-	-	1	1	0.03	2	1.5	0.076	1	0.9	2	0.0459	-	-	0.16
13	BK4-12	2	0.051	0.002	1.06	0.52	-	-	-	-	2	0.236	0.0066	-	-	1	1	0.01	2	1.5	0.042	1	0.9	2	0.0250	-	-	0.09
																							TOTAL		5.38			

Sumber: Hasil Perhitungan

