

# Hitungan Diameter Pipa pada Sistem Penyediaan Air Minum sederhana

## *Pipe Diameter Calculation on Simple Drinking Water System*

Wahyu Widiyanto

*Prodi Teknik Sipil Unsoed*

*Abstract— Drinking water sector is one of the public services which is connected tightly to poverty decrease. A small community water supply is more suitable if it uses a simple system which does not need sophisticated planning and construction. Nevertheless, hydraulics calculation should be always conducted accurately because it will influence water supply performance. In this case, pipe hydraulics needs more overview because system reliability depends on pipe capacity.*

*This study discusses two methods of pipe diameter calculation at a simple drinking water supply system. For planning assistance, Directorate General Cipta Karya-Public Work Ministry issued Technical Guideline Book for Simple Drinking Water Construction in 2007. One of its chapters discusses about a method to find pipe diameter based on several tables available, but it is not given an explanation about basic theory of the tables so there is a doubt for planners. For the reason, comparison between the use of the tables (Juknis Method) and Darcy-Weisbach Formula to calculate pipe diameter will be discussed. Data from 5 villages in Kebumen Regency will be utilized to support analysis.*

*The result of procedure for making comparison shows that there is no significant difference (less than 4%) between the result of calculation by Darcy-Weisbach Formula and Juknis Method with accurate interpolation. Both of the methods can be applied with its advantages and disadvantages. It is suggested that Darcy-Weisbach Formula is always implemented to re-check toward pipe diameter which is available in the market and will be used in the system.*

*Keywords— pipe diameter, drinking water, simple system*

### PENDAHULUAN

Pipa merupakan bagian yang vital dan mahal pada suatu sistem penyediaan air minum. Oleh karena itu, perencanaan jaringan pipa khususnya perhitungan diameter dan panjang pipa menjadi hal yang harus dikerjakan dengan teliti dan akurat. Hal ini tidak hanya berlaku pada jaringan air minum berskala besar tetapi juga perlu diterapkan pada sistem penyediaan air minum sederhana.

Sistem Penyediaan Air Minum yang biasa disingkat SPAM adalah satu kesatuan sistem fisik (teknik) dan non-fisik dari prasarana dan sarana air minum (Permen 18, 2007). Adapun SPAM Sederhana adalah sistem penyediaan air minum yang bukan membentuk jaringan perpipaan yang rumit, dapat dikerjakan dan pada umumnya mampu dikerjakan oleh masyarakat secara mandiri serta memiliki teknologi yang relatif sederhana (Juknis, 2009).

Kewajiban pemerintah dalam pemenuhan hak-hak dasar manusia, seperti air minum, mendorong pemerintah untuk memfasilitasi pembangunan dan pengembangan SPAM khususnya bagi masyarakat perdesaan yang kebanyakan merupakan masyarakat dengan tingkat pelayanan SPAM terendah. Sesuai dengan data Badan Pusat Statistik (BPS), cakupan pelayanan SPAM di perdesaan hanya 8% (Juknis, 2007). Selain itu, pemerintah juga terpacu untuk mencapai

target Millennium Development Goals (MDGs) tahun 2015, yang salah satu sarannya adalah menurunkan separuh proporsi penduduk yang belum terlayani fasilitas air minum.

Salah satu kebijakan nasional yang berkaitan dengan pembangunan air minum adalah program Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat atau populer disingkat Pamsimas. Secara umum tujuan yang ingin dicapai dalam pembangunan air minum berbasis masyarakat adalah terwujudnya kesejahteraan masyarakat melalui pengelolaan pelayanan air minum yang berkelanjutan.

Berkaitan dengan hal tersebut Departemen Pekerjaan Umum sedang dan akan mengembangkan program Pamsimas yang menjangkau 5.000 desa atau 6 juta jiwa. Pada akhir 2009 akses air minum melalui pipanisasi diharapkan mencapai 70,7 juta jiwa atau 30 persen dari penduduk Indonesia (Republika Online, 2006 dalam Masduqi, 2008).

Pamsimas merupakan kegiatan penyediaan air minum dan sanitasi berbasis masyarakat yang dananya berasal dari kontribusi masyarakat, pemerintah daerah, pemerintah pusat dan Bank Dunia. Kegiatan ini didukung oleh Departemen Pekerjaan Umum sebagai executing agency bersama dengan Departemen Dalam Negeri dan Departemen Kesehatan.

Pamsimas merupakan kelanjutan dari kegiatan sebelumnya, yaitu Water Supply and Sanitation for Low Income Communities Project (WSLIC). Lokasi kegiatan

ditetapkan berdasarkan empat kriteria, yaitu termasuk desa miskin, rendahnya ketersediaan air minum dan sanitasi, tingginya kejadian penyakit terkait air, dan belum menerima bantuan sejenis dalam dua tahun terakhir (TPP Pamsimas, 2009). Pemerintah menargetkan 15 provinsi, 110 kabupaten/kota, dan 4.466 desa/kelurahan untuk proyek ini termasuk program replikasi 506 desa. Dengan demikian Pamsimas diharapkan mampu mencakup 4.466 desa dari 36.000 desa tertinggal yang memiliki keterbatasan terhadap sarana air minum dan sanitasi (TPP Pamsimas, 2009).

Untuk mendukung program-program tersebut di atas, banyak pihak telah berkontribusi dengan perannya masing-masing. Salah satu aspek yang sangat penting untuk dapat tercapainya penyediaan air minum yang layak adalah tersedianya fasilitas-fasilitas yang diperlukan dalam SPAM secara memadai.

Fasilitas-fasilitas pada suatu sistem penyediaan air minum dapat dikelompokkan menjadi 3 unit yaitu unit produksi, unit distribusi dan unit pelayanan. Unit produksi, merupakan bagian dimana air diperoleh dan diolah. Sumber-sumber yang biasa dimanfaatkan sebagai air baku adalah mata air, sungai, danau, air tanah dan air hujan. Jika air yang berasal dari sumber memiliki kualitas yang kurang baik maka dapat ditingkatkan kualitasnya dengan membuat unit pengolah seperti Saringan Pasir Lambat (SPL) atau Instalasi Pengolahan Air Sangat Sederhana (IPASS). Unit distribusi bertugas menyalurkan air dari sumber menuju pengguna. Sistem pengaliran yang umum dipilih adalah aliran melalui pipa. Sedangkan unit pelayanan adalah bagian dimana air dapat diambil oleh pengguna. Pelayanan ini dapat berupa sambungan rumah atau hidran umum. Pada sistem sederhana, hidran umum lebih sering digunakan.

Kajian ini menitik beratkan pada unit kedua dari suatu SPAM yaitu penyaluran air dari sumber ke pengguna, khususnya akan dibahas hitungan untuk mendapatkan diameter pipa. Tahap ini sangat penting mengingat beberapa alasan di antaranya yaitu bahwa cukup banyak proporsi biaya yang dibelanjakan untuk unit ini dan kehandalan SPAM sangat tergantung pada bagian ini. Selain itu, fasilitas lain seperti hidran umum telah dibuat secara fabrikasi sehingga telah tersedia ukuran-ukuran hidran standar dan siap pakai. Sebagai contoh, hidran umum (HU) yang banyak dipakai adalah hidran berbahan fiberglass dengan volume 1 m<sup>3</sup>, 2 m<sup>3</sup> dan 3 m<sup>3</sup>.

Dalam kaitan dengan pengembangan air minum, pemerintah melalui Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum telah menerbitkan buku berjudul Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana pada tahun 2007. Buku ini berperan penting karena ditujukan sebagai pedoman penyusunan program kegiatan dari

tingkat pusat sampai tingkat masyarakat. Dalam artikel ini, buku tersebut selanjutnya disingkat sebagai Buku Juknis. Salah satu bagian penting dari Buku Juknis adalah petunjuk tentang tahap-tahap hitungan diameter pipa. Tabel-tabel disediakan untuk membantu hitungan tersebut. Namun masalah yang dihadapi oleh perencana adalah adanya keraguan terhadap tabel-tabel yang tersedia karena tidak diberi penjelasan mengenai dasar teori, rumus yang dipakai maupun asal-usul dari tabel tersebut. Oleh karena itu dalam makalah ini akan dibahas penggunaan tabel tersebut dan dibandingkan dengan Rumus Darcy-Weisbach.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Data yang Digunakan

Untuk analisis hitungan diameter pipa air minum dipakai data perencanaan dari 5 desa di wilayah Kabupaten Kebumen (peta ada pada lampiran). Kelima desa dimaksud adalah Desa Pucangan Kecamatan Sadang, Desa Bonosari dan Desa Kedungjati Kecamatan Sempor, serta Desa Geblug dan Desa Pakuran Kecamatan Buayan.

Kebutuhan air minum yang diperlukan untuk suatu daerah pelayanan terutama ditentukan berdasarkan dua parameter yaitu jumlah penduduk dan tingkat konsumsi air. Dalam hal jumlah penduduk, perlu dihitung proyeksi penduduk untuk 10 tahun mendatang karena umur perencanaan SPAM biasanya diambil 10 tahun. Hitungan proyeksi penduduk bisa memakai metode geometri maupun aritmatika yang menghasilkan proyeksi yang tidak jauh berbeda. Dalam kajian ini dipakai metode geometri dengan rumus:

$$P = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1)$$

dengan P: jumlah penduduk pada tahun proyeksi; P<sub>0</sub>: jumlah penduduk pada tahun awal tinjauan; r: tingkat pertumbuhan penduduk; dan n: jumlah tahun.

TABEL 1 JUMLAH DAN PROYEKSI PENDUDUK

Nama Desa	Jumlah Penduduk Tahun 2009	Proyeksi Tahun 2019
Pucangan	3.707	4.095
Bonosari	2.452	2.709
Kedungjati	2.917	3.222
Geblug	1.352	1.493
Pakuran	1.949	2.153

Kebutuhan air total dihitung berdasarkan jumlah pemakai air yang telah diproyeksikan untuk 10 tahun mendatang. Sedangkan tingkat pelayanan ditentukan sebanyak 70% dari jumlah penduduk. Sesuai Buku Juknis, kebutuhan air minum ditetapkan sebanyak 30 liter/orang/hari, faktor pengaliran 1,1 dan faktor kehilangan air (kebocoran) sebanyak 20%. Kebutuhan total ini dipakai untuk mengetahui apakah sumber air

yang dipilih dapat digunakan. Tabel 2 berikut ini menunjukkan kebutuhan air untuk kelima desa.

TABEL 2 KEBUTUHAN AIR PENDUDUK

Nama Desa	Kebutuhan Air Total (m <sup>3</sup> /hari)
Pucangan	114
Bonosari	75
Kedungjati	89
Geblog	41
Pakuran	60

Dari hasil survei debit terhadap sumber air di lima desa diperoleh besar debit antara 1 sampai dengan 2 liter/detik. Hal ini perlu dievaluasi apakah mencukupi untuk pelayanan air minum di desa-desa yang bersangkutan.

TABEL 3 DEBIT SUMBER AIR DIBANDINGKAN KEBUTUHAN

Nama Desa	Sumber Air	Debit Sumber (l/d)	Kebutuhan Th. 2019		Keterangan
			(m <sup>3</sup> /hr)	(l/d)	
Pucangan	Sungai/kali Kemiri Kalikayan	2,0	114	1,314	Mencukupi
Bonosari	Mata air Jatirumput	1,1	75	0,869	Mencukupi
Kedungjati	Mata air Igir Gadung & Mbuyut Saringan	1,9	89	1,034	Mencukupi
Geblog	Mata air Kedung Gong	1,0	41	0,479	Mencukupi
Pakuran	Mata air Kaligede	1,8	60	0,691	Mencukupi

Dari Tabel 3 di atas dapat diketahui bahwa sumber air mampu mencukupi kebutuhan air minum di masing-masing desa. Penduduk yang dilayani adalah 70% dari jumlah penduduk pada tahun 2019. Walaupun mencukupi untuk jumlah penduduk desa pada tahun tersebut, tetapi berdasarkan survei lapangan diperoleh informasi bahwa tidak semua bagian desa berada pada kondisi kritis air minum. Sebagai prioritas penanganan, tentunya dipilih dusun-dusun yang kritis. Beberapa dusun telah diidentifikasi dan dapat digolongkan kritis. Dusun-dusun ini selanjutnya menjadi prioritas untuk ditangani. Tabel di bawah ini memperlihatkan dusun-dusun yang kritis akan air minum.

TABEL 4 DUSUN-DUSUN KRITIS

Nama Desa	Dusun Kritis
Pucangan	Kalikayan & Kemiri
Bonosari	Masaran & Bleber
Kedungjati	Sebagian Desa Kedungjati
Geblog	Geblog
Pakuran	RT 02/05, RT 03/04, RT 03/01, RT 02/01

Untuk selanjutnya hitungan hidraulika perpipaan khususnya hitungan diameter pipa didasarkan pada jalur pipa menuju dusun-dusun kritis tersebut di atas. Survei jalur dan letak bangunan-bangunan pelayanan telah dibicarakan dengan pihak desa. Sehingga analisis hidraulika menyesuaikan dengan jalur dan letak fasilitas-fasilitas yang telah disetujui desa. Debit rencana menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kebutuhan pada Tabel 2 mengingat hanya penduduk di dusun kritis saja yang diprioritaskan akan dilayani.

TABEL 5 DEBIT RENCANA MASING-MASING DESA

No.	Desa	Jalur Pipa ke-	Debit Rencana Aliran Pipa (liter/detik)
1	Pucangan	Kalikayan	0,44
		Kemiri	0,30
2	Bonosari	Masaran	0,30
		Bleber	0,57
3	Kedungjati	Kedungjati-1	0,16
		Kedungjati-2	0,30
4	Geblog	Geblog	0,50
5	Pakuran	RT 02/05 & RT 03/04	0,44
		RT 03/01 & RT 02/01	0,30

Analisis hidraulika dilakukan untuk mendapatkan beberapa masukan terhadap desain. Dalam kajian ini aspek hidraulika hanya akan dibatasi tentang penentuan diameter pipa. Diameter pipa merupakan ukuran yang sangat penting karena akan menentukan apakah debit yang dibutuhkan dapat dilewatkan dengan aman. Diameter yang terlalu kecil dari yang dibutuhkan akan menimbulkan kecepatan aliran yang tinggi yang dapat merusak pipa. Sebaliknya diameter yang terlalu besar dari yang seharusnya akan menyebabkan pemborosan. Bagan alir dari awal analisis hingga diperoleh diameter pipa yang sesuai dapat dilihat pada lampiran.

#### B. Cara Juknis

Buku Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana (Buku Juknis) memberi pedoman untuk menentukan diameter pipa dengan cara membaca tabel yang telah disediakan. Untuk selanjutnya, dalam kajian ini cara tersebut disingkat sebagai Cara Juknis. Tabel dimaksud dapat dilihat pada lampiran (Tabel A dan B).

Untuk dapat menentukan diameter pipa, terlebih dulu harus diketahui debit yang akan dialirkan dan kemiringan hidraulis dari sistem yang ditinjau. Tentu survei yang seksama perlu dilakukan untuk mendapatkan besarnya debit dan kemiringan yang dimaksud. Walaupun umumnya nilai proyek untuk suatu perencanaan air minum sederhana relatif kecil tetapi survei yang menyangkut debit sumber dan topografi daerah yang akan dilayani harus dijalankan dengan

tidak asal-asalan. Karena kedua parameter tersebut akan menentukan kondisi sistem penyediaan air.

Kemiringan hidraulik dapat dihitung secara mudah dengan rumus sebagai berikut:

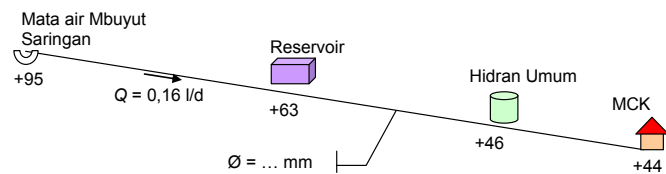
$$I = \frac{H_A - H_B}{L} \dots\dots\dots(2)$$

dengan I adalah gradien hidraulik, HA elevasi sumber air, HB elevasi titik akhir pipa transmisi ditambah 20 meter dan L adalah panjang pipa transmisi utama.

Untuk kondisi dimana terdapat perbedaan tinggi yang besar (lebih dari 100 meter) antara sumber air dan titik terendah maka diperlukan bak pelepas tekan. Dengan adanya bak pelepas tekan maka kemiringan hidraulik akan mengecil.

Apabila debit dan kemiringan hidraulik didapatkan maka diameter pipa dapat dibaca dengan mudah pada tabel A atau B dalam lampiran. Tabel A diperuntukkan bagi pipa PVC sedangkan Tabel B disediakan untuk pipa galvanis.

Berikut ini diberikan analisis hitungan diameter pipa dari Mata Air Mbuyut Saringan menuju daerah layanan di Desa Kedungjati Kecamatan Sempor. Sistem pipa dari mata air ini merupakan yang paling sederhana dibanding dusun-dusun yang lain. Ketersediaan air dari sumber dapat mencukupi kebutuhan (lihat Tabel 3). Debit yang dibutuhkan untuk dialirkan dari Mata Air Mbuyut Saringan menuju daerah layanan di Desa Kedungjati adalah sebesar 0,16 liter/detik (Tabel 5). Sistem pipa dari mata air Mbuyut Saringan menuju daerah layanan dapat digambarkan seperti di bawah ini.



Gambar 1 Sketsa sistem pipa dari mata air Mbuyut Saringan.

Untuk aliran dari Mata Air Mbuyut Saringan diperoleh data: elevasi sumber air = +95; elevasi akhir transmisi = +44; elevasi akhir transmisi ditambah 20 m = +64; panjang pipa = 874 m. Maka diperoleh kemiringan hidraulik  $I = (95-64)/874 = 0,0355$ . Dengan  $I = 0,0355$  dan  $Q = 0,16$  l/d kemudian dibaca tabel A (lampiran) sehingga diperoleh diameter pipa  $\varnothing = 20,5$  mm.

Untuk pipa transmisi di dusun-dusun lain dihitung dengan langkah yang sama seperti cara hitungan pipa dari mata air Mbuyut Saringan.

### C. Cara Rumus Darcy-Weisbach

Ada beberapa persamaan yang biasa digunakan untuk menghitung aliran dalam pipa. Persamaan Darcy-Weisbach paling sering digunakan dalam aliran fluida

secara umum. Untuk aliran air dengan viskositas yang relatif tidak banyak berubah, persamaan Hazen William sesuai untuk dipakai (Triatmadja, 2009). Selain itu juga ada Persamaan Colebrook White yang dipandang sebagai persamaan yang sangat akurat untuk hitungan aliran dalam pipa (Hofkes, 1983). Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri.

Dalam makalah ini hanya akan ditinjau rumus Darcy-Weisbach dan akan dibandingkan penggunaannya dengan Cara Juknis. Cara Juknis dalam hal ini yang dimaksud adalah penentuan diameter pipa dengan berdasarkan tabel yang ada dalam Buku Juknis. Sedangkan rumus Darcy-Weisbach merupakan rumus yang cukup tua karena dikemukakan pada tahun 1845. Walaupun demikian rumus tersebut banyak direkomendasikan untuk dipakai karena beberapa kelebihan yang dimiliki. Bentuk rumus Darcy-Weisbach dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(3)$$

dengan hf: kehilangan tenaga mayor/primer; f: koefisien gesek; L: panjang pipa; D: diameter pipa; V: kecepatan aliran dan g: percepatan gravitasi.

Dalam perencanaan sistem penyediaan air minum, parameter debit (Q) lebih populer dibandingkan kecepatan aliran. Oleh karena itu persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$Q = \frac{\pi \sqrt{2gH}}{4 \left( \frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} + \dots \right)^{1/2}} \dots\dots\dots(4)$$

Ketinggian tempat atau beda tinggi disimbolkan dengan H sedangkan L adalah panjang pipa. Baik ketinggian maupun kebutuhan panjang pipa dapat diperoleh dari survei lapangan.

Permasalahan yang agak rumit muncul saat menentukan harga koefisien gesek f. Ini karena f merupakan fungsi kecepatan, sebaliknya kecepatan aliran tergantung pada f. Dengan kata lain, kecepatan dan harga f harus dicoba-coba sehingga merupakan pasangan yang cocok dalam hitungan.

Pada kuliah tentang pengaliran dalam pipa, umumnya permasalahan disederhanakan. Harga f telah ditentukan sebelumnya dan bukan kekasaran pipa. Dengan demikian mahasiswa hanya dihadapkan pada permasalahan menghitung kehilangan energi serta keseimbangan massa saja.

Pada praktek yang sesungguhnya f tidak diketahui sebelumnya sehingga perencanaan harus menghitung f berdasarkan sifat pipa dan aliran (Triatmadja, 2009). Cara yang sudah banyak dikenal untuk mencari harga f adalah dengan Grafik Moody. Namun dengan hadirnya komputer yang telah tersebar luas, cara hitungan

dengan memakai rumus menjadi lebih populer. Dalam kajian ini  $f$  dihitung dengan rumus Swamee dan Jain sebagai berikut ini.

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \dots\dots\dots (5)$$

dengan  $k$ : kekasaran pipa;  $D$ : diameter pipa; dan  $Re$ : bilangan Reynolds.

Selanjutnya hitungan dilakukan dengan cara coba banding (iterasi). Ukuran diameter pipa dicoba-coba (trial and error) sedemikian hingga diperoleh debit sesuai yang dibutuhkan.

TABEL 6 COBA BANDING DIAMETER PIPA

Transmisi dari Sumber	$D$ (m)	$H$ (m)	$L$ (m)	$f$	$Q$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q$ (l/d)
Mbuyut Saringan	0,0205	31	874	0,060	0,00016	0,16
Igir Gadung	0,0320	8	727	0,048	0,00030	0,30

Harga  $H$  dalam tabel adalah selisih elevasi antara sumber air dan akhir transmisi. Namun dalam hal ini titik akhir transmisi telah ditambah 20 meter sebagai keamanan sesuai Buku Juknis.

**D. Perbandingan Hasil Hitungan**

Dalam Buku Juknis tidak dijelaskan apakah angka-angka dalam tabel-tabel yang tersedia merupakan hasil hitungan dari rumus-rumus yang biasa digunakan untuk aliran dalam pipa misalnya Rumus Darcy-Weisbach, Hazen William, Colebrook White atau yang lain. Petunjuk dalam Buku Juknis yang menyediakan tabel untuk membantu hitungan sangat sesuai bagi perencana yang sedang menyelesaikan sebuah perencanaan air minum karena langkah-langkah hitungan menjadi cukup singkat. Namun bagi para insinyur yang akrab dengan rumus aliran dalam pipa, hal ini sering menimbulkan rasa ragu apakah diameter yang ditentukan berdasarkan tabel telah sesuai dengan kebutuhan. Sehingga beberapa perencana memilih memeriksa kembali dengan salah satu rumus yang telah dikenal.

Tabel 7 di bawah ini menyajikan perbandingan antara penentuan diameter pipa dengan Cara Juknis dan berdasar rumus Darcy-Weisbach. Diameter yang diperoleh dengan Cara Juknis diperoleh dari interpolasi secara teliti terhadap angka-angka pada tabel Buku Juknis.

TABEL 7 PERBANDINGAN DIAMETER PIPA CARA JUKNIS DAN RUMUS DARCY WEISBACH

Transmisi dari Sumber Air	Cara Juknis (mm)	Rumus Darcy Weisbach (mm)	Perbedaan (%)
Pipa Utama ke Dusun Kalikayan	28,68	29,5	2,8
Pipa Utama ke Dusun Kemiri	36,02	36,5	1,3
Pipa Utama ke Dusun Masaran	37,37	37,5	0,4
Pipa Utama ke Dusun Bleber	40,76	41,0	0,6
Mbuyut Saringan	20,11	20,5	1,9
Igir Gadung	32,18	32,0	-0,5
Sumber air Kedung Gong - BPT	27,40	28,5	3,9
BPT - Akhir Transmisi	31,67	32,5	2,5
Pipa Utama ke RT 02/05 & RT 03/04	32,43	32,6	0,5
Pipa Utama ke RT 03/01 & RT 02/01	29,65	30,0	1,2

Bila dibandingkan antara Cara Juknis dengan cara Rumus Darcy-Weisbach terdapat perbedaan walaupun relatif kecil yaitu di bawah 4%. Perbedaan dapat terjadi karena kemungkinan tabel dalam Buku Juknis disusun tidak berdasar Rumus Darcy-Weisbach. Bahkan ada kemungkinan bahwa tabel tersebut diperoleh dengan Rumus Manning atau Rumus Chezy dengan menetapkan harga koefisien kekasaran pipa tertentu. Hal ini mengingat parameter dalam tabel merupakan parameter yang diperlukan dalam Rumus Manning atau Chezy. Mengingat kembali bahwa Rumus Manning dapat ditulis sebagai:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

dan Rumus Chezy :

$$Q = AC\sqrt{RI} \dots\dots\dots (7)$$

dengan  $Q$ : debit;  $A$ : luas tampang aliran;  $R$ : jari-jari hidraulik;  $I$  kemiringan garis energi/kemiringan pipa;  $n$ : koefisien Manning; dan  $C$ : koefisien Chezy.

Apabila benar bahwa tabel tersebut didasarkan pada Rumus Manning atau Chezy maka hal ini merupakan bukti kehandalan kedua rumus tersebut karena selain biasa dipakai untuk saluran terbuka ternyata juga cocok untuk aliran dalam saluran tertutup atau aliran dalam pipa. Kecocokan ini diukur dengan selisih hasil penentuan diameter yang relatif kecil jika dibandingkan dengan Rumus Darcy-Weisbach. Rumus Darcy-Weisbach sendiri diyakini dan dibuktikan dengan pengalaman merupakan rumus yang sangat mantap dipakai untuk hitungan aliran dalam pipa.

Dalam prakteknya lebih sering seorang perencana air minum sederhana menentukan diameter secara kasar dengan membaca tabel dan tidak menginterpolasinya secara teliti. Interpolasi yang teliti memakan waktu cukup lama dan hasilnya tidak jauh beda dengan

bacaan kasar. Oleh karena itu membaca tabel dengan cara kasar sering dianggap lebih efektif.

Tabel 8 merupakan hasil dari suatu percobaan dengan melibatkan 2 orang asistant engineer yang diberi tugas untuk menghitung diameter pipa. Satu orang ditugasi untuk menentukan diameter berdasarkan tabel dalam Buku Juknis (Cara Juknis) sedangkan yang lain menghitung dengan rumus Darcy-Weisbach.

TABEL 8 PERBEDAAN HASIL PENENTUAN DIAMETER PIPA

Transmisi dari Sumber Air	Cara Juknis (mm)	Rumus Darcy Weisbach (mm)	Perbedaan (%)
Pipa Utama ke Dusun Kalikayan	29,5	29,5	0,0
Pipa Utama ke Dusun Kemiri	36,5	36,5	0,0
Pipa Utama ke Dusun Masaran	35,0	37,5	6,7
Pipa Utama ke Dusun Bleber	35,0	41,0	14,6
Mbuyut Saringan	20,0	20,5	2,4
Igir Gadung	32,0	32,0	0,0
Sumber air Kedung Gong - BPT	29,0	28,5	-1,8
BPT - Akhir Transmisi	32,0	32,5	1,5
Pipa Utama ke RT 02/05 & RT 03/04	35,0	32,6	-7,4
Pipa Utama ke RT 03/01 & RT 02/01	30,0	30,0	0,0

Terlihat tidak terlalu ada perbedaan dari hasil kedua cara. Walaupun demikian ada selisih yang relatif besar (14%) pada salah satu hasil penentuan diameter yaitu untuk transmisi ke Dusun Bleber. Perbedaan yang relatif besar juga terdapat pada pipa transmisi ke dusun Masaran dan ke RT 02/05 dan 03/04 masing-masing sebesar 6,7% dan -7,4%. Seperti kebanyakan tabel atau grafik yang ditujukan sebagai alat bantu hitung suatu parameter dalam bidang teknik sipil, keterbatasan yang dimiliki adalah seringnya terjadi perbedaan hasil bacaan antara satu orang dengan yang lain. Dengan ketersediaan alat bantu komputer yang makin mudah dan murah sebenarnya banyak tabel atau grafik yang dapat dikemas dalam bentuk perangkat lunak sehingga lebih akurat dalam pembacaan.

Dari segi waktu yang dibutuhkan untuk menghitung diameter pipa, tidak terlalu ada perbedaan antara Cara Juknis dan Rumus Darcy-Weisbach. Dalam kasus ini, hitungan diameter dibantu dengan spreadsheet. Waktu yang dibutuhkan sedikit lebih lama untuk membuat format hitungan atau implementasi Rumus Darcy-Weisbach ke dalam spreadsheet. Tetapi begitu format siap maka dapat digunakan dengan sangat cepat dan jangkauan trial and error yang lebih luas. Sedangkan Cara Tabel masih memiliki kelemahan yaitu angka-

angka yang ditampilkan terbatas pada bentuk diskret sehingga seringkali harus dilakukan interpolasi untuk memperoleh suatu angka yang tepat. Namun demikian, pada akhirnya angka-angka yang diperoleh baik dengan Cara Juknis maupun rumus akan dibulatkan menjadi angka diameter pipa yang ada di pasaran.

Setelah diameter disesuaikan dengan pipa yang tersedia di pasaran seharusnya diperiksa kembali apakah diameter terpilih mampu mengalirkan debit. Selain itu juga perlu diperiksa terhadap kecepatan aliran yang akan terjadi, karena ada batas minimal dan maksimal agar tidak terjadi endapan dalam pipa juga sebaliknya tidak terjadi kehilangan energi yang terlalu besar. Dalam kajian ini batas kecepatan aliran yang diizinkan diambil 0,25 – 1,0 meter/detik sesuai dengan kriteria Cipta Karya.

TABEL 9 DIAMETER AKHIR PIPA DISESUAIKAN DENGAN PIPA DI PASARAN

Desa	Transmisi dari Sumber	Diameter	
		Hasil Hitungan (mm)	Diameter Terpakai (inch)
Pucangan	Pipa Utama ke Dusun Kalikayan	29,5	1,25"
	Pipa Utama ke Dusun Kemiri	36,5	1,50"
Bonosari	Pipa Utama ke Dusun Masaran	37,5	1,50"
	Pipa Utama ke Dusun Bleber	41	1,75"
Kedungjati	Mbuyut Saringan	20,5	1,00"
	Igir Gadung	32	1,25"
Geblug	Kedung Gong	28,5	1,25"
		32,5	1,50"
Pakuran	Pipa Utama ke RT 02/05 & RT 03/04	32,6	1,50"
	Pipa Utama ke RT 03/01 & RT 02/01	30	1,25"

Diameter pipa terpakai atau terpilih yang telah ditentukan dan disesuaikan dengan pipa yang tersedia di pasaran selanjutnya perlu diperiksa kembali kecocokannya terhadap debit yang akan dilewatkan dan kecepatan yang disyaratkan. Dalam hal ini Rumus Darcy-Weisbach memiliki keunggulan karena dapat digunakan untuk pengecekan kembali. Sedangkan Tabel Buku Juknis tidak memiliki kemampuan untuk dipakai memeriksa hal tersebut. Di sinilah pentingnya rumus aliran pipa perlu tetap dilibatkan dalam perencanaan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

- 1) Diperoleh hasil yang relatif tidak jauh beda (perbedaan di bawah 4%) antara cara pembacaan dengan tabel dalam Buku Petunjuk Teknis

*Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana (Cara Juknis) dan Rumus Darcy-Weisbach.*

- 2) *Kelebihan Cara Juknis adalah mudah dalam penggunaannya. Sedangkan kekurangannya adalah waktu yang dibutuhkan relatif lama untuk interpolasi terhadap angka-angka dalam tabel agar hasilnya mendekati hasil Rumus Darcy-Weisbach. Sebaliknya, bacaan secara kasar beresiko ada perbedaan cukup besar.*
- 3) *Bagi perencana yang terbiasa dengan Rumus Darcy-Weisbach dapat menerapkannya untuk perencanaan pipa SPAM sederhana karena memiliki keunggulan dibanding tabel dimana selain akurat juga dapat digunakan untuk pemeriksaan ulang diameter pipa terpakai.*
- 4) *Tabel dalam Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana (Buku Juknis) sangat membantu tenaga perencana yang bukan seorang ahli hidraulika.*

#### B. Saran

- 1) *Langkah-langkah hitungan dalam Buku Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana (Buku Juknis) perlu diperjelas lagi.*
- 2) *Selain dengan rumus Darcy-Weisbach tabel-tabel hitungan aliran pipa dalam Buku Juknis perlu*

*diperiksa dan dibandingkan juga dengan rumus Hazen William dan Colebrook White.*

- 3) *Apabila ternyata tabel diameter pipa didasarkan pada rumus Manning atau Chezy maka perlu dikaji ulang nilai kekasaran pipa untuk disesuaikan dengan ketersediaan pipa yang telah berkembang di pasaran saat ini.*

#### DAFTAR PUSTAKA

- Brater, E.F., 1996, Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydraulic Engineering Problems, McGraw Hill, Boston
- Hofkes, E.H., 1983, Small Community Water Supplies, John Wiley & Sons, Chicester.
- \_\_\_\_\_, 2007, Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Sederhana, Ditjen Ciptakarya PU, Jakarta.
- Masduqi, A., Endah, N., Soedjono, E.S., 2008, Sistem Penyediaan Air Bersih Perdesaan Berbasis Masyarakat: Studi Kasus HIPPAM di DAS Brantas Bagian Hilir, Seminar Nasional Pascasarjana VIII-ITS, Surabaya
- Tim Persiapan Program Pamsimas, 2009, Pedoman Pelaksanaan Pamsimas di Tingkat Masyarakat, Central Project Management Unit, Jakarta.
- Tim Persiapan Program Pamsimas, 2009, Pedoman Pengelolaan Program Pamsimas, Central Project Management Unit, Jakarta.
- Tim Penyusun RPIJM, 2007, Buku Panduan Pengembangan Air Minum Rencana Program Investasi Jangka Menengah, Ditjen Ciptakarya PU, Jakarta.
- Triatmadja, R., 2009, Hidraulika Sistem Jaringan Perpipaan Air Minum, Beta Offset, Yogyakarta.
- \_\_\_\_\_, 2007, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penye-lenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, Jakarta.