

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Energi air

Setiap benda / zat mempunyai energi atau dengan kata lain setiap benda mempunyai kemampuan untuk melakukan kerja, begitu juga air mempunyai energi. Energi air merupakan salah satu dasar Hidrolika Perpipaan.

Untuk memberi gambaran yang mudah mengenai pengertian energi bisa diperhatikan contoh berikut ini :

- a. Sebuah batu kita lempar ke atas sehingga dapat menempuh jarak dengan kecepatan tinggi, yang berarti batu tersebut mempunyai energi kecepatan karena bila mengenai kaca jendela dapat memecahkannya, berarti dapat melakukan kerja.
- b. Setelah batu tersebut menempuh ketinggian tertentu akan kembali jatuh atau bergerak turun yang berarti batu tersebut mempunyai energi ketinggian karena bila mengenai kaca yang ada di bawah bisa pecah, berarti dapat melakukan kerja.

Sama dengan contoh di atas, maka air juga dapat mempunyai bentuk energi kecepatan dan energi ketinggian. Air merupakan zat berbentuk cairan, maka air juga dapat ditekan di dalam pipa, maka air juga mempunyai bentuk energi tekanan, karena bila tekanannya lebih besar dari kekuatan pipa dapat memecahkan pipa, berarti dapat melakukan kerja. Dengan begitu air mempunyai 2 (dua) bentuk energi yakni :

- 1) Energi kecepatan (energi kinetik)
- 2) Energi ketinggian (energi potensial)

Secara matematika besarnya energi tersebut dinyatakan sebagai berikut :

1) Energi kecepatan (kinetik) :  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  .....(2.1)

Keterangan :

$E_k$  = energi kinetik (joule)

$m$  = massa (kg)

$v$  = kecepatan aliran (m/s)

2) Energi ketinggian (potensial) :  $E_p = mgh$  .....(2.2)

Keterangan :

$E_p$  = energi potensial (joule)

$m$  = massa (kg)

$g$  = percepatan gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = ketinggian (m)

## 2.2. Persamaan Bernoulli

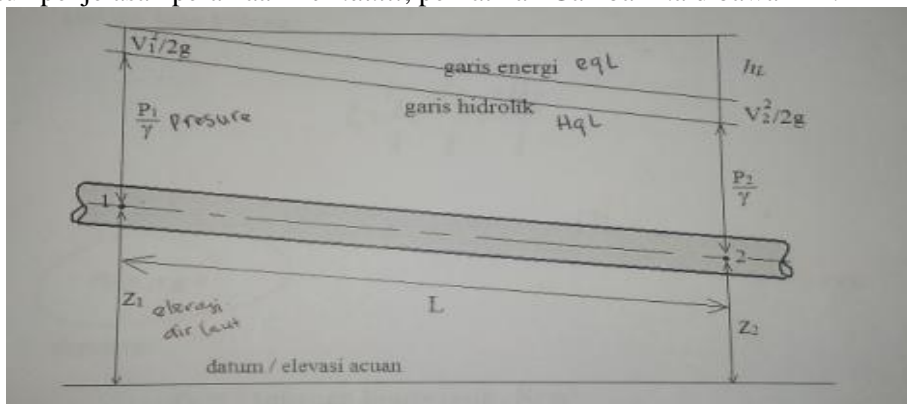
Persamaan Bernoulli merupakan persamaan yang berkaitan dengan aliran air (aliran bertekanan maupun terbuka) yang menghubungkan besarnya air pada dua titik atau lebih. Persamaan Bernoulli ditulis sebagai berikut:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- Z = elevasi suatu titik tinjauan (m)
- P = tekanan fluida (N/m<sup>2</sup>)
- V = kecepatan aliran (m/s)
- h<sub>L</sub> = kehilangan energi sepanjang aliran (m)

Untuk penjelasan persamaan Bernoulli, perhatikan Gambar 2.a dibawah ini:



**Gambar 2.a** Skema Persamaan Bernoulli pada Aliran Dalam Pipa (Masduqi, 2012)

P1 adalah tinggi tekanan/pressure head (dalam satuan m) dan v<sup>2</sup>/2g adalah tinggi kecepatan/ velocity head (dalam satuan m). Garis yang menghubungkan tinggi tekanan pada titik yang berbeda disebut garis hidrolik dan garis yang menghubungkan tinggi kecepatan pada titik yang berbeda disebut garis energi. Perbedaan garis energi antara dua titik sepanjang aliran L disebut headloss (kehilangan energi).

Persamaan Bernoulli digunakan untuk menggambarkan tinggi garis energi dan hidrolik. Dengan diketahuinya garis energi dan garis hidrolik, maka dapat diketahui arah aliran air. Air akan mengalir dari titik yang mempunyai energi atau tekanan yang lebih besar menuju ke titik yang mempunyai energi atau tekanan yang lebih kecil.

## 2.3 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan salah satu persamaan dasar pada hidrolika yang berkaitan dengan pengaliran air (aliran bertekanan maupun terbuka). Persamaan ini menyatakan bahwa suatu pengaliran tidak akan berubah debitnya selama tidak ada input maupun output lain. Perubahan luas penampang aliran tidak

mempengaruhi debit (lihat Gambar 2.b). Persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

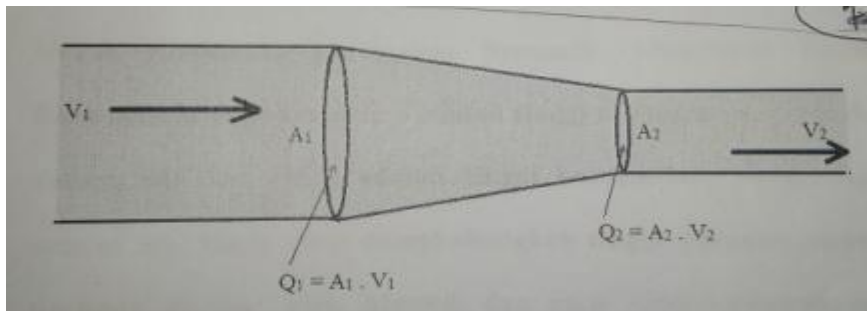
- Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/s)
- A = luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan aliran (m/s)

Dalam penjabarannya, volume aliran air bisa dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = Q \cdot t \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- V = kecepatan aliran (m/s)
- Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/s)
- t = durasi waktu pengujian (*second*)



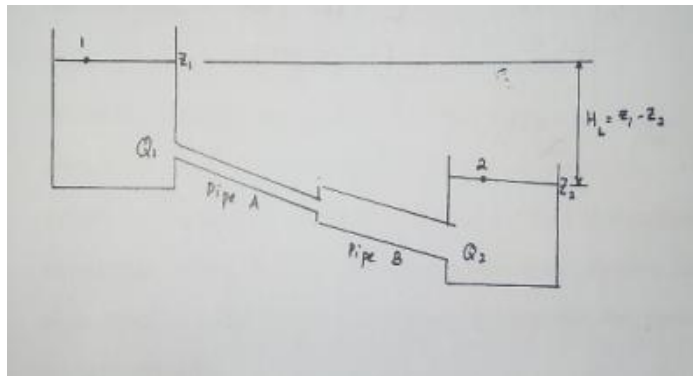
**Gambar 2.b** Skema Persamaan Kontinuitas pada Aliran Dalam Pipa (Masduqi, 2012)

## 2.4 Aliran dalam Pipa Kompleks

### 2.4.1 Pipa Seri

Bila dua pipa atau lebih dengan diameter atau kekasaran yang berbeda disambungkan memanjang dalam satu jalur, maka disebut perpipaan seri. Dalam pipa seri, total kehilangan energi adalah jumlah dari masing-masing *minor loss* dan semua *friction losses*. Debit yang mengalir pada sistem pipa seri adalah sama sepanjang aliran. Perhatikan Gambar 2.c debit air yang mengalir di pipa A adalah sama dengan debit air di pipa B.

$$Q_A = Q_B \dots \dots \dots (2.6)$$

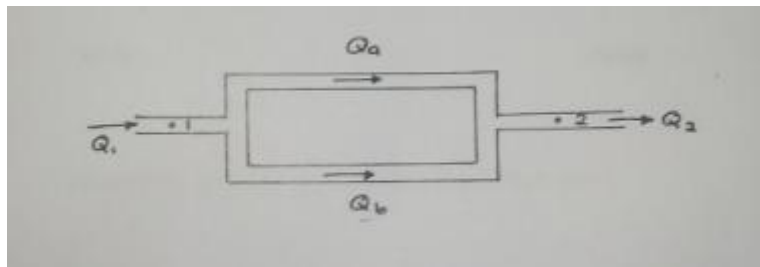


**Gambar 2.c** Rangkaian Pipa Seri (Masduqi, 2012)

### 2.4.2 Pipa Paralel

Kombinasi dari dua atau lebih pipa yang disambungkan diantara dua titik sehingga aliran terbagi pada sambungan pertama dan bergabung kembali pada sambungan kedua disebut pipa paralel. Headloss di antara sambungan adalah sama untuk semua pipa. Pembagian debit air pada sistem di atas adalah:

$$Q_1 = Q_A + Q_B = Q_2 \dots \dots \dots (2.7)$$



**Gambar 2.d** Rangkaian Pipa Paralel (Masduqi, 2012)

## 2.5 Tekanan dalam Aliran

### 2.5.1 Tekanan Hidrolika

Pada air yang relatif diam dalam sebuah bak, terjadi sebuah gaya yang ditimbulkan oleh berat air itu sendiri. Gaya ini disebut dengan gaya hidrostatis. Gaya hidrostatis dipengaruhi oleh massa air dan percepatan gravitasi. Massa air pada suatu luasan bidang tertentu tergantung pada volume dikalikan dengan densitas. Volume adalah luas bidang dikalikan dengan kedalaman. Makin besar kedalamannya, maka makin besar pula volume dan massa air. Akibat adanya gaya hidrostatis, maka akan timbul tekanan pada suatu titik tinjauan tertentu. Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya persatuan luas bidang:

$$P_H = \frac{F_H}{A} = \frac{\rho v g}{A} = \frac{\rho A \cdot g}{A} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$p_H = \rho g h \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

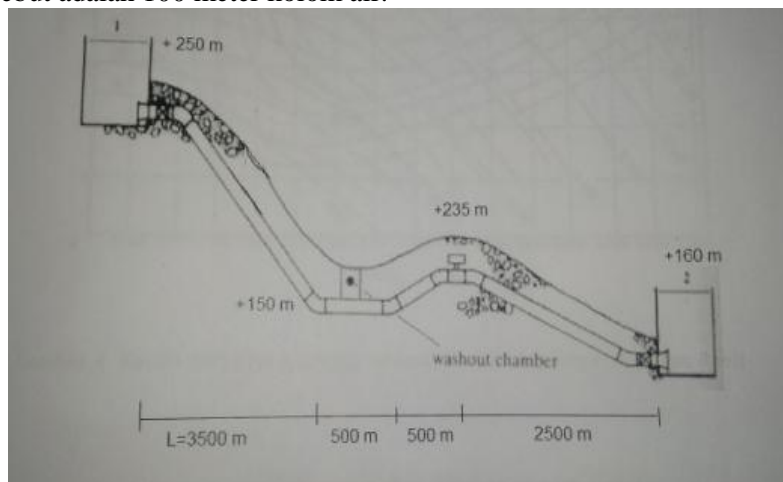
Keterangan:

- $p_H$  = tekanan hidrostatik (N/m<sup>2</sup>)
- $F_H$  = gaya hidrostatik (N)
- $A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)
- $v$  = volume air (m<sup>3</sup>)
- = densitas air (kg/s<sup>2</sup>)
- $g$  = percepatan gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)
- $h$  = kedalaman titik tinjauan dari permukaan air (m)

Persamaan 2.8 memperlihatkan bahwa tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh kedalaman suatu titik, maka tekanan hidrostatik pada titik tersebut makin besar. Besarnya nilai tekanan tersebut adalah tekanan relatif terhadap tekanan atmosfer.

### 2.5.2 Tekanan pada Aliran dalam Pipa

Pada dasarnya, tekanan air dalam pipa dapat dijelaskan juga dengan tekanan hidrostatika, namun berat air yang menghasilkan gaya hidrostatika bukanlah air yang berada di atas suatu titik dalam pipa. Perhatikan Gambar 2.e, tekanan air dalam pipa elevasi +150, terjadi karena air pada titik tersebut terhubung dengan air pada elevasi yang lebih tinggi (+250). Akibatnya, pada titik elevasi +150 seakan-akan menerima beban air setinggi 100 meter. Jadi besarnya tekanan di titik tersebut adalah 100 meter kolom air.



**Gambar 2.e** Ilustrasi Penyebab Tekanan Air Dalam Pipa (Masduqi, 2012)

### 2.6 Manajemen Tekanan

Tekanan berhubungan dengan kebocoran, semakin tinggi tekanan, semakin tinggi kebocoran. Menurunkan tekanan berdampak langsung dengan penurunan kebocoran. Pengelolaan tekanan merupakan salah satu cara penurunan kebocoran

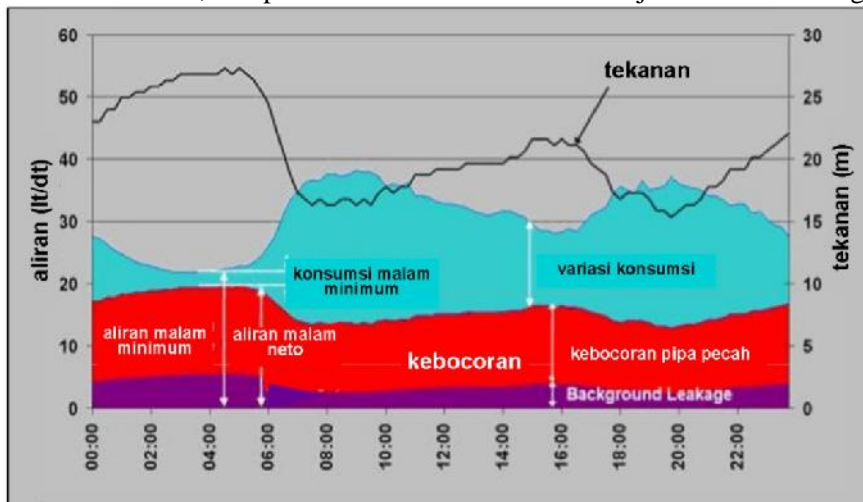
---

yang paling murah dan efektif. Pengelolaan tekanan bisa mengurangi frekuensi pipa pecah, karena fluktuasi tekanan yang ekstrim, dan bisa memperpanjang umur pipa. Memahami hubungan tekanan dan kebocoran dalam sistem jaringan distribusi merupakan kunci untuk mengendalikan tingkat kehilangan air. Dengan mengurangi tekanan, secara signifikan volume kebocoran air bisa diturunkan.

Tekanan maximum dan variasi tekanan (untuk jam pelayanan “*intermittent*”), sangat erat hubungannya dengan pipa pecah, oleh karena itu, menstabilkan tekanan atau pengendalian tekanan sangat penting dalam sistem dengan tekanan rendah. Sebagian besar tekanan di Indonesia umumnya rendah, dan pengaliran tidak 24 jam (*intermittent*), apakah tidak perlu menaikkan tekanan di jaringan distribusi? Apabila tekanan rendah, volume kebocoran memang rendah, tetapi *intermittent supply* banyak kerugiannya:

- Merugikan kesehatan masyarakat, karena infiltrasi air tanah yang tercemar dan bila tekanan dalam pipa kurang, akan mencemari air dalam pipa, sehingga menimbulkan resiko.
- Frekuensi kebocoran yang pasti lebih tinggi.
- Penurunan umur asset (jaringan pipa)
- Air terbuang percuma lebih banyak

Gambar 2.f menyatakan hubungan tekanan dan kebocoran untuk suatu DMA yang diamati menggunakan alat ukur aliran dan tekanan selama 24 jam. Luas bidang yang berwarna biru menggambarkan volume konsumsi air pelanggan dalam DMA yang bervariasi selama 24 jam. Luas bidang yang berwarna merah menunjukkan volume kebocoran fisik yang terjadi. Garis hitam menunjukkan tekanan selama 24 jam. Konsumsi tertinggi terjadi pada pagi hari jam 08:00 sampai dengan jam 10:00. Konsumsi terendah terjadi pada lewat tengah malam hari, dari jam 02:00 sampai dengan jam 04:00. Sebaliknya, pada saat konsumsi tertinggi tekanan akan terendah, dan pada saat konsumsi terendah terjadi tekanan tertinggi.



**Gambar 2.f** Hubungan Antara Tekanan Dengan Kebocoran

Pada wilayah dimana pelanggan rumah tangga (domestik) merupakan bagian terbesar, akan terjadi pola semacam ini, mengikuti kegiatan pelanggan. Pada saat pagi hari dari jam 02:00 sampai dengan jam 04:00, dimana tidak terdapat kegiatan pelanggan, konsumsi air akan sangat minimum, disebut aliran malam minimum (AMM). Apabila bisa diketahui konsumsi pada saat itu (dari jam 02:00 sampai dengan jam 04:00, misal dengan membaca meter pelanggan), katakan konsumsi malam minimum (KMM), maka AMM dikurangi KMM kita sebut aliran malam neto (AMN). KMM adalah identik dengan kebocoran fisik wilayah distribusi yang diamati, yang terdiri dari kebocoran terlaporkan dan kebocoran tak terlaporkan.

## 2.7 Analisa Regresi

Pengertian analisis regresi merupakan salah satu analisis yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain. Dalam analisis regresi, variabel yang mempengaruhi disebut *independent variable* (variabel bebas) dan variabel yang dipengaruhi disebut *dependent variable* (variabel terkait). Jika dalam persamaan regresi hanya terdapat satu variabel bebas dan satu variabel terkait, maka disebut sebagai persamaan regresi sederhana, sedangkan jika variabel bebasnya lebih dari satu, maka disebut sebagai persamaan regresi berganda.

Analisa korelasi merupakan suatu analisis untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara dua variabel. Tingkat hubungan tersebut dapat dibagi menjadi 3 kriteria, yaitu mempunyai hubungan positif, hubungan negative dan tidak mempunyai hubungan. Analisa sederhana digunakan untuk mengetahui seberapa jauh perubahan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terkait. Dalam analisis regresi sederhana, pengaruh suatu variabel bebas terhadap variabel terkait dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$Y = a + bx \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

- Y = Variabel terikat
- x = Variabel bebas
- a = Konstanta
- b = Nilai koefisien regresi

Nah, perlu diingat bahawa data yang kita gunakan dalam memperkirakan nilai koefisien ini merupakan sekelompok sampel bukan populasi. Oleh karena itu, dikenallah benda-benda bernama *condence interval* dan *p-value* yang digunakan untuk mengetahui apakah parameter yang digunakan untuk memprediksi y ( nilai a dan b ) itu signifikan atau hanya kebetulan saja.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengevaluasi model (fungsi) yang sudah dihasilkan. Intinya kita ingin melihat seberapa jauh model yang kita hasilkan cocok dengan data yang tersedia. Berdasarkan ilmu statistik, ada dua metode yang secara umum dilakukan untuk mengevaluasi model yang dihasilkan yaitu :

- *Residual Standart Error (RSE)*
- *Root Mean Squared Error RMSE)*

### 2.7.1 Residual Standart Error (RSE)

*Residual Standart Error (RSE)* adalah estimasi simpangan baku (*standart deviation*). Rumus dari RSE dapat dituliskan sebagai berikut :

$$RSE = \sqrt{\frac{1}{n-2} RSS} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

$\hat{y}_i$  = Prediksi nilai y ke-i berdasarkan model yang telah dibuat

n-2 = Derajat kebebasan

Dengan mengestimasi nilai  $\hat{y}_i$  dan  $n-2$ , maka kita sudah membuang dua derajat kebebasan. Artinya, semakin banyak parameter yang digunakan maka semakin banyak pula nilai *error* yang dikompensasi.

### 2.7.2 Root Mean Squared Error (RMSE)

*Root Mean Squared Error (RMSE)* digunakan untuk mengevaluasi model regresi linier. Cara ini juga dikenal dengan nama *Root Mean Squared deviation (RMSD)*. Seperti dapat diperkirakan dari namanya, RMSE atau RMSD dihitung dengan mengkuadratkan *error (predicted-observed)* dibagi dengan jumlah data (rata-rata) lalu diakarkan. Secara matematis, rumusnya ditulis sebagai berikut :

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P-a)^2}}{P_{max}-P_{min}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

n = Jumlah data masukan

P = Nilai aktual

a = Nilai hasil prediksi

Pmax = Nilai maksimum data aktual

Pmin = Nilai minimum data aktual

## 2.8 Soundsens

*Soundsens* adalah kinerja tinggi, *noise-noise* multi titik sistem korelasi yang menggabungkan, kemudahan penggunaan dengan yang baru standar dalam kinerja *pinpoint* yang bocor. Sistem terdiri dari polong korelasi yang sangat sensitif dan terkoneksi sendiri, yang merekam sejumlah data sampel pada saat pengujian ketika ditempatkan di jaringan.





Gambar 2.g Soundsens

*Soundsens correlator* polong benar-benar tahan air, bertenaga baterai dan akan membutuhkan perawatan minimal selama lima tahun. Perangkat lunak *Windows* yang khusus mudah dan cepat prosesnya data ini di download melalui program atau software *RADCOM Technologies Ltd*, yang memberikan data lokasi yang sangat akurat untuk menunjukkan kebocoran pada area pengujian.

Alat ini merupakan kombinasi desain sensor khusus untuk pengambilan sampel data dan penyimpanan data. Perangkat lunak pengolah data memberikan tingkat kinerja yang tinggi, menggunakan kecepatan dan efektivitas multi- titik penyebaran.

Kumpulan kumparan *correlator soundsens* dapat dibawa ke lokasi di tiga ukuran *carry case*, mengandung 2, 6 atau 12 polong masing-masing. Sejumlah kasus dapat dihubungkan bersama untuk memungkinkan survei berskala besar. Fitur antara lain sebagai berikut :

- Korelasi multi-titik otomatis
- Deteksi kebocoran kinerja tinggi
- Mudah penyebaran
- Beberapa korelasi cepat dengan cepat tutup area yang luas
- Pemrosesan lanjutan dan laporan perangkat lunak
- Pemeliharaan bebas selama 5 tahun
- Pemasangan fleksibel 2 sampai lebih 36 korelasi polong
- Penyerahan segera atau berjangka waktu untuk pekerjaan malam yang tidak dijaga
- Alat yang sangat sensitif dengan digital penyaringan untuk memungkinkan hasil yang luar biasa selama hari kerja

### **2.8.1 Deploymen/ Penyebaran**

Korelasi polong diprogram dalam tas mereka untuk segera atau penempatan berjangka waktu. Mereka kemudian melekat secara magnetis perlengkapan jaringan yang tersedia untuk penyebaran langsung, data gathering dimulai setelah preset Interval, unitnya saat itu diunduh dan diproses. Dilokasi yang lebih sulit malam pekerjaan mungkin diperlukan Itu penebang dikirim dan dimulaimengumpulkan data pada waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Mereka kemudian dikumpulkan pengolahan keesokan harinya.

### 2.8.2 Download

Data mudah di download melalui antar muka kasus korelasi analisis dan dapat dicapai dengan menggunakan sebuah laptop PC di lapangan atau saat kembali ke PC kantor.

### 2.8.3 Survei Pengolahan

Daerah bisa disurvei dengan cepat dan mudah. Perangkat lunaknya secara otomatis membandingkan nilai hasil daerah yang menarik dan menunjukkan sebuah skematik pipa yang canggih. Perangkat lunak dengan cepat dan otomatis saling mengkorelasikan semua sensor ke *komprehensif* yang mencakup besar daerah survei dalam hitungan detik

### 2.8.4 Desain Lanjutan (*Advanced Design*)

Sistem *soundsens* bisa jadi disuplai dua atau lebih korelator polong dengan sebuah antarmuka unit yang terkandung dalam paket tas jinjing. Desain pemenang penghargaan memiliki produk revolusioner yang bisa menghemat 400% dari waktu yang biasanya dibutuhkan untuk mencari kebocoran yang siap untuk diperbaiki. Tiga atau lebih korelator polong yang digunakan bisa menemukan kebocoran di kompleks jaringan pipa yang saling berhubungan dimana cara tradisional tidak bisa menyelesaikan posisi yang tepat. Digital sikuit *accelerometer* dan matematis yang canggih memberikan sinyal yang bagus bahkan dalam aplikasi yang sulit sekalipun seperti material *non-logam* dan diameter pipa jaringan yang besar.

### 2.8.5 Fitur Lanjutan

Selain fungsi yang terkait dengan kebocoran cara tradisional, *soundsens* memiliki banyak fitur canggih yang akan diapresiasi dengan tidak berpengalaman dan pengguna berpengalaman sama, seperti:

- Tingkat korelasi otomatis berjalan dengan kode warna untuk cepat mengidentifikasi hasil terbaik.
- Pengukuran kecepatan otomatis menggunakan beberapa posisi korelasi polong. Pengukuran kecepatan bisa cepat diatur dan yang terpenting untuk akurasi saat pipa dengan karakteristik tidak pasti.
- Penyaringan otomatis PC, memiliki kekuatan pemrosesan dan memungkinkan berbagai rentang filter menjadi otomatis dipindai untuk memilih yang memberikan hasil terbaik.

### 2.8.6 Penunjukan (*Pinpointing*)

Operator memasukan rincian pipa dengan cepat dan mudah, kemudian perangkat lunak *soundsens* akan otomatis menghitung akurasi posisi kebocoran. Skema pipa bisa langsung di klik dan di gambar sesuai posisi pipa dan korelator polong, ditumpangkan diatas peta *impor* jika diperlukan.

### 2.8.7 Detail Analisa

Grafik korelasi tradisional bisa dilihat antara yang dipilih operator memiliki keamanan korelasi analisis berganda dan kemampuan untuk grafik *superimpose* untuk korelasi dari sensor yang berbeda untuk mendeteksi hasilnya.

### 2.8.8 High Performance

Teknologi sensor terbaru, dengan *digitilisasi* dan penyimpanan data sampling rate yang tinggi serta langsung transfer untuk pemrosesan dalam memberikan tingkat kinerja deteksi kebocoran. Pemrosesan PC menyediakan kemudahan penggunaan, kecepatan analisa dan beberapa model grafik untuk memaksimalkan kinerja, seperti berikut:

- Analisa frekuensi dengan tampilan koherensi, jika filter manual override diperlukan dan sinyal frekuensi dapat ditampilkan ke pemilihan bantu operator.
- Sinyal audio dari yang dipilih dapat diputar ulang untuk meningkatkan kepercayaan pengguna.

### 2.8.9 Spesifikasi Teknis *SoundSens*

Sensor Input	Analog	Internal Accelerometer to pickup audible noise in pipeline
		Frequency range from 1 to 2,750 Hz
	Attachment of logger/sensor	Signal resolution from 12 bit A to D converter Powerful magnetic coupling to attach Correlator Pod to pipework/valve
Logging Features	Memory	Recording 650,000 readings. (memory expandable to 1.35 million readings on request) Individual measurements can be pre-programmed into a series of 32 separate recordings
	Sample Rate	1 to 5.5 KHz user adjustable (4.8 KHz default)
	Delayed start	Either start at a nominated time, or after set delay period
	Logger ID	Factory set Logger ID number Also user can enter another logger Identity number to simplify recognition for operators
	Clock	On board 24 hour real time clock with date facility.
	Software	Compatible with Radcom "SoundSens" analysis software
Communications	Serial Comms	4 pin MIL connector for RS232 communications via an interface unit to laptop PC, or desktop PC at 115,200 Baud
	Serial Cable to PC	9 pin D extension cable supplied, to connect interface unit to PC Also can be used to connect one Interface unit "in cascade" to an other Interface unit for large scale Correlator Pod applications
	Cable to Pods	The Interface unit is supplied with glanded cables and 4 Pin Military connectors to fit Correlator Pod Loggers.
Physical	Construction	Correlator Pod: Die-cast aluminum enclosure, powdercoat spray painted Carry Case: Rugged construction with aluminum cladding
	Dimensions and Weight	Individual Correlator Pod: 1.54 lb, 6.3" H incl Magnet x 2.6" Diam 2 Pod Case: 10.1 lb empty, 13.2 lb including 2 pods, 14.5" W x 12.6" D x 5.9" H 6 Pod Case: 17.6 lb empty, 26.4 lb including 6 pods, 15.9" W x 12.2" D x 12.2" H 12 Pod Case: 30.8 lb empty, 49.5 lb including 12 pods, 23.8" W x 16.1" D x 12.2" H
	Temperature	+14° to +122°F (Operating)
	Ingress protection	Individual Correlator Pods: IP68 submersible
	Power	Correlator pod has Lithium-ion cell operational for 5 years under normal operating conditions. Carry Case interface unit contains NiCad battery which typically requires charging monthly or less. 240 /110v switch mode charger supplied in kit with mains lead.

Gambar 2.h Spesifikasi Teknis *SoundSens*