

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Jaringan pipa air terdiri dari pipa-pipa yang saling terhubung yang memungkinkan terjadinya aliran air dalam keadaan tunak dari satu atau lebih titik suplai kepada satu atau lebih titik penyerahan. Jaringan pipa distribusi dapat dipikirkan sebagai sebuah graf terhubung dengan busur-busur graf merepresentasikan segmen-segmen pipa dan titik-titik simpul graf merepresentasikan titik-titik percabangan pipa serta sebagian lagi menyatakan titik-titik suplai dan titik-titik penyerahan. Model tunak aliran air pada jaringan pipa distribusi air dalam penelitian ini dibangun dengan mengadaptasikan model tunak aliran gas alam pada jaringan pipa distribusi gas alam yang pertama kali dikemukakan oleh Stoner. Dengan menuliskan persamaan kekontinuan aliran air pada masing-masing titik simpul graf akan diperoleh sebuah sistem persamaan tak linear yang melibatkan tekanan pada masing-masing titik simpul. Dengan demikian masalah menentukan distribusi tekanan pada suatu jaringan pipa distribusi secara matematika menjadi masalah menentukan akar suatu sistem persamaan tak linear.

Dalam menyelesaikan permasalahan menentukan akar suatu sistem persamaan tak linier dalam menentukan distribusi tekanan pada suatu jaringan pipa. Pada penelitian ini dikemukakan suatu teknik yang memanfaatkan *Algoritma Particle Swarm Optimization*.

3.1 Model jaringan pipa distribusi air

Jaringan pipa distribusi terdiri atas sejumlah pipa yang menghubungkan N titik simpul. Pada sebagian dari titik-titik simpul besarnya tekanan diketahui, sedangkan untuk sisanya besarnya tekanan akan dihitung. Air mengalir melalui suatu segmen pipa karena adanya perbedaan *head* pada kedua ujung pipa. Titik simpul merepresentasikan titik percabangan pipa ataupun titik masuk/keluar aliran air ke/dari jaringan. Untuk penyederhanaan, disini diasumsikan sistem berada dalam keadaan aliran tunak, kondisi isothermal, pompa dan *control valves* tidak dijumpai pada jaringan.

Sebuah segmen pipa yang menghubungkan dua titik simpul i dan j , memiliki panjang L_{ij} dan diameter D_{ij} . Untuk model aliran dalam penelitian ini digunakan persamaan Hazen-Williams, yang merupakan persamaan aliran air yang paling umum dipakai. Disamping karena kemudahan penggunaannya, persamaan ini cukup baik untuk menghitung kehilangan tekanan pipa dengan diameter besar (Mott). Walaupun persamaan Hazen-Williams merupakan persamaan yang populer digunakan di USA dan disebagian besar negara lain, pemakaiannya perlu memperhatikan batasan-batasan untuk berlakunya persamaan yang diturunkan secara empiris ini (lihat American Water Works Association, Bombardelli et.al, Walski). Persamaan aliran diberikan oleh persamaan (2.15) (dalam *U.S. Customary System*)

$$Q_{ij} = 0.4329 C_h D_{ij}^{2.63} \left(\frac{1}{L_{ij}} \left(\frac{P_i - P_j}{\gamma} + z_i - z_j \right) \right)^{0.54} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan Q_{ij} menyatakan besarnya laju alir air pada segmen pipa yang menghubungkan titik-titik simpul i dengan j dengan satuan ft^3/s , p_i dan p_j masing-masing menyatakan tekanan di titik-titik simpul i dan j dengan satuan lb/ft^2 yang memiliki elevasi z_i dan z_j dengan satuan ft, untuk nilai γ sebesar $62.4 \text{ lb}/\text{ft}^3$. L_{ij} dan D_{ij} menyatakan panjang dan diameter pipa dari simpul i ke j dengan satuan ft.

Dengan menggunakan analogi Hukum Kirchoff untuk arus listrik dalam rangkaian listrik pada aliran air dalam pipa distribusi, kita mendapatkan bahwa jumlah aljabar banyaknya air yang masuk dan keluar dari sebuah titik simpul sama dengan nol. Sehingga untuk sebuah titik simpul m yang bertetangga dengan titik-titik simpul j dan k diperoleh

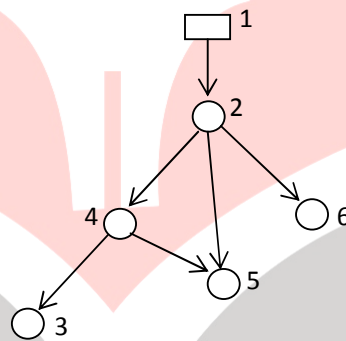
$$f_m = Q_{jm} + Q_{mk} + Q_{N_m} = 0 \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan Q_{N_m} adalah laju alir air yang keluar atau masuk kedalam jaringan distribusi melalui titik simpul m . Sedangkan Q_{jm} dan Q_{mk} masing-masing memiliki ekspresi serupa dengan persamaan (3.1) Untuk jaringan yang memiliki N titik simpul akan terdapat N persamaan serupa dengan persamaan (2.3). Gambar 3.1 memperlihatkan sebuah jaringan pipa distribusi air yang memiliki 6 buah titik simpul. Air dialirkan dari titik simpul 1 (reservoir) kepada 5 buah titik penyerahan. Sebagai contoh untuk titik simpul nomor persamaan (3.2) menjadi

$$f_4 = Q_{24} - Q_{34} - Q_{45} = 0 \dots\dots\dots (3.3)$$

Memanfaatkan persamaan (3.1) ke dalam persamaan (3.3) diperoleh

$$\begin{aligned}
 f_4 &= 0.4329 C_k D_{24}^{2.63} \left(\frac{1}{L_{24}} \left(\frac{p_2 - p_4}{y} + z_2 - z_4 \right) \right)^{0.54} \\
 &= 0.4329 C_k D_{24}^{2.63} \left(\frac{1}{L_{34}} \left(\frac{p_3 - p_4}{y} + z_3 - z_4 \right) \right)^{0.54} \\
 &= 0.4329 C_k D_{45}^{2.63} \left(\frac{1}{L_{45}} \left(\frac{p_4 - p_5}{y} + z_4 - z_5 \right) \right)^{0.54} \dots\dots\dots (3.4)
 \end{aligned}$$



Gambar 3.1 Skema Jaringan 6 Titik

Dengan cara yang sama diperoleh persamaan serupa dengan persamaan (3.4) untuk masing-masing titik simpul pada jaringan distribusi dalam Gambar 3.1

$$f_1 = Q_{N1} - Q_{12} = 0$$

$$f_2 = Q_{12} - Q_{24} - Q_{26} - Q_{2N} = 0$$

$$f_3 = Q_{43} - Q_{3N} = 0$$

$$f_5 = Q_{25} + Q_{45} - Q_{5N} = 0$$

$$f_6 = Q_{26} - Q_{6N} = 0$$

Karena terdapat 6 persamaan, ini menghasilkan sebuah sistem persamaan tak linear untuk keadaan tunak pada jaringan distribusi air pada gambar 3.1. Jika nilai masing-masing peubah bebas pada sistem persamaan tersebut adalah

sedemikian rupa sehingga masing-masing f_i nilainya menjadi (atau dekat) nol, maka sistem jaringan pipa distribusi tersebut dikatakan berada dalam kesetimbangan.

Sistem persamaan yang dihasilkan memuat peubah yang terdiri dari tekanan pada titik simpul (p_i), laju alir air keluar/masuk ke dalam jaringan melalui titik simpul (QN_i), diameter(dalam) pipa (D_{ij}), elevasi titik simpul (z_i) serta panjang segmen pipa (L_{ij}). Pada jaringan pipa distribusi yang sudah terpasang maka diameter pipa dan panjang segmen pipa beserta elevasi titik-titik simpul jaringan pipa besarnya sudah tertentu. Sehingga jika kita memiliki N titik simpul, maka sistem persamaan akan memiliki $2N$ peubah (yaitu p_i dan QN_i , $i = 1, 2, \dots, N$). Dengan demikian dimungkinkan untuk menggunakan N persamaan yang dimiliki untuk menghitung nilai N peubah dari $2N$ peubah yang dimiliki. N peubah yang nilainya dihitung ini dikenal sebagai peubah bebas (*state variables*), sedangkan sisanya, juga sebanyak N diberi nilai tertentu (*decision variables*) sehingga sistem persamaan tersebut dapat diselesaikan. Sistem terakhir ini sudah dalam bentuk sistem persamaan tak linear dengan N persamaan dan N peubah. Selanjutnya paling tidak satu dari QN_i berupa peubah bebas dan satu dari p_i nilainya diketahui sebagai tekanan referensi untuk sistem jaringan tersebut.

3.2 Penyelesaian Model

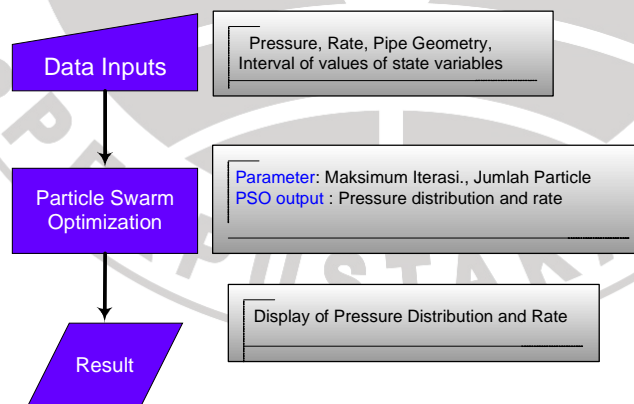
Dalam sistem jaringan pipa distribusi air akan terdiri dari ratusan titik simpul untuk jaringan pipa primer dan sekundernya (dengan diameter pipa besar). Ini menghasilkan sistem persamaan tak linear yang terdiri atas ratusan persamaan

dengan ratusan peubah bebas yang berupa tekanan pada titik-titik simpul jaringan. Untuk mengatasinya dalam penelitian ini digunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Dalam penelitian ini Algoritma PSO digunakan untuk mencari tekanan dari sistem persamaan tak linear $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$ yang diperoleh dari sistem jaringan pipa distribusi air. Sebagai fungsi *fitness* digunakan

$$F(\mathbf{x}) = |f(\mathbf{x})| \text{ dengan } |f(\mathbf{x})| = \text{abs}(f_1(\mathbf{x}) + f_2(\mathbf{x}) + \dots + f_N(\mathbf{x}))$$

Jadi didekat akar persamaan $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$ diharapkan nilai dari fungsi *fitness* akan dekat dengan 0. Dengan demikian masalah mencari akar $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$ mula-mula dibawa menjadi masalah mencari \mathbf{x} yang meminimumkan $F(\mathbf{x})$. Hasilnya, yang diperoleh dengan Algoritma PSO, tekanan di setiap titik jaringan pipa bisa diketahui. Gambar 3.2 berikut menunjukkan langkah-langkah penentuan distribusi tekanan pada jaringan pipa distribusi air dengan memanfaatkan Algoritma PSO.



Gambar 3.2 Langkah-langkah penentuan distribusi tekanan pada jaringan pipa distribusi air dengan memanfaatkan Algoritma PSO

Adapun untuk algoritma PSO untuk menentukan tekanan pada jaringan

pipa secara lengkap dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

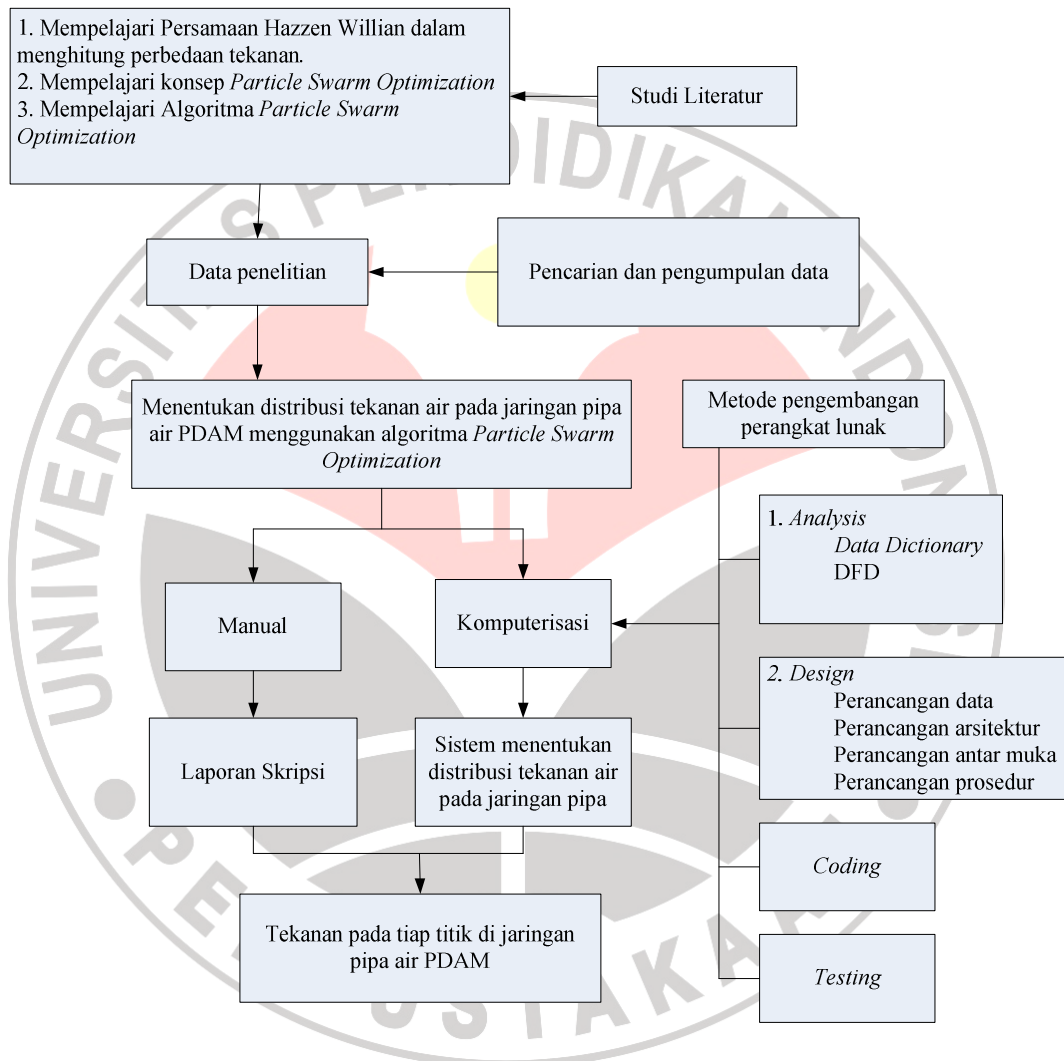
```
// Inialisai posisi partikel dan kecepatan awal
for I = 1 to jumlah partikel n do
  for J = 1 to jumlah dimensi m do
    X[I][J] = batas bawah + (batas atas - batas bawah) * jumlah random
    V[I][J] = 0
  enddo
enddo
// Initialize global dan local
fitness_gbest = inf;
for I = 1 to jumlah partikel n do
  fitness_lbest[I] = inf
enddo
// Pengulangan sampai konvergen
for k = 1 to jumlah iterasi t do
  // evaluate fungsi setiap partikel particle
  fitness_X = evaluate_fitness(X)
  // Update local bests
  for I = 1 to jumlah partikel n do
    if (fitness_X[I] < fitness_lbest[I])
      fitness_lbest[I] = fitness_X[I]
      for J = 1 to jumlah dimensi m do
        X_lbest[I][J] = X[I][J]
      enddo
    endif
  enddo
  // Update global best
  [min_fitness, min_fitness_index] = min(fitness_X)
  if (min_fitness < fitness_gbest)
    fitness_gbest = min_fitness
    for J = 1 to jumlah dimensi m do
      X_gbest[J] = X(min_fitness_index,J)
    enddo
  endif
  // Update posisi dan kecepatan partikel
  for I = 1 to jumlah partikel n do
    for J = 1 to jumlah dimensi m do
      R1 = random
      R2 = random
      V[I][J] = w*V[I][J]
        + C1*R1*(X_lbest[I][J] - X[I][J])
        + C2*R2*(X_gbest[J] - X[I][J])
      X[I][J] = X[I][J] + V[I][J]
    enddo
  enddo
enddo
```

Gambar 3.3 Algoritma PSO untuk menentukan distribusi tekanan pada jaringan

pipa Air

3.3. Desain Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis melakukan tahapan kegiatan dan untuk lebih jelas bisa dilihat di bagan dibawah ini :



Gambar 3.4. *Desain Penelitian*

Pertama-tama penulis melakukan pengumpulan dan mempelajari beberapa konsep yang akan digunakan dalam penelitian, setelah dipelajari penulis melakukan pencarian dan pengumpulan data penelitian yang akan digunakan

dalam menentukan distribusi tekanan air pada pipa jaringan air PDAM. Tahap selanjutnya penulis melakukan penulisan laporan dan pembuatan sistem menentukan distribusi tekanan air pada jaringan pipa menggunakan metode pengembangan perangkat lunak (*Analysis, Design, Coding, Testing*). Setelah laporan dan sistem selesai dibuat, maka penelitian selesai dilaksanakan.

Metode pengembangan perangkat lunak yang digunakan dalam pembangunan sistem menentukan distribusi tekanan air pada jaringan pipa air ini adalah model *sequensial linier*. Model *sequensial linier* ini adalah paradigma rekayasa perangkat lunak yang paling luas dipakai dan paling tua. Tetapi kritik dari paradigma tersebut telah menyebabkan dukungan aktif untuk mempertanyakan kehandalannya.

Sequensial linier mengusulkan sebuah pendekatan kepada perkembangan perangkat lunak yang sistematis dan sekuensial yang mulai pada tingkat dan kemajuan sistem pada seluruh analisis, desain, kode, pengujian, dan pemeliharaan.

Model *sequensial linier* melingkupi aktivitas – aktivitas sebagai berikut :

1) Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan sistem (fungsional dan non fungsional), kebutuhan pengguna, kebutuhan informasi, dan kebutuhan antarmuka eksternal. Untuk memodelkan sistem, pada tahap analisis ini digunakan *data flow* diagram (DFD), kamus data (*data dictionary*), dan spesifikasi proses (*process specification*).

2) Desain

Tahap desain berfungsi untuk mengtranslasikan spesifikasi kebutuhan perangkat lunak dari tahap analisis, menjabarkan bagaimana perangkat lunak dapat berfungsi, dan menjabarkan bagaimana spesifikasi perangkat lunak diimplementasikan. Tahap desain meliputi perancangan data, perancangan arsitektur dan perancangan antarmuka. *Tool* yang digunakan adalah *structure chart* untuk memodelkan perancangan arsitektur dan *dialog chart* untuk memodelkan perancangan antarmuka.

3) Coding

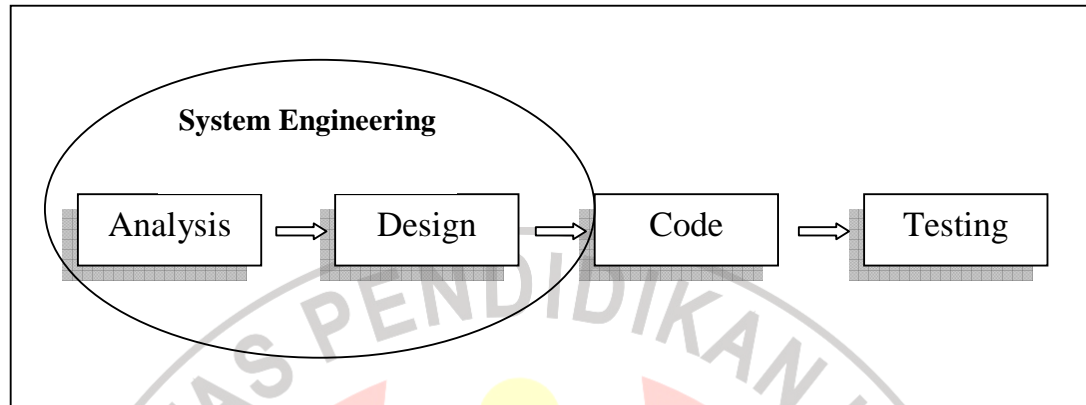
Coding atau implementasi merupakan penerjemahan hasil desain ke dalam bahasa yang dimengerti oleh komputer. Dalam penelitian ini digunakan MATLAB 6.5

4) Pengujian

Semua fungsi-fungsi perangkat lunak diuji coba dengan tujuan agar perangkat lunak bebas dari *error* dan hasil perangkat lunak harus sesuai dengan kebutuhan-kebutuhan yang didefinisikan pada tahap analisis. Dalam penelitian ini digunakan *white box* dan *black box testing*.

Tahapan-tahapan pada model sekuensial linier ini dapat dilihat pada

Gambar 3.5 di bawah ini



Gambar 3.5. *Model Sequensial Linier*

(Sumber : Roger S.Pressman, Rekayasa Perangkat Lunak Pendekatan Praktisi Buku Satu.2002. h.37)