

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pencarian Jalur Terpendek Pipa Transmisi Gas

Indonesia kaya akan sumber daya alam. Salah satunya adalah gas bumi. Sejak pertengahan tahun 1970-an, Indonesia dipandang berhasil dalam mengembangkan industri gas bumi dengan menjadi pengeksport LNG (*Liquified Natural Gas* /gas alam cair) terbesar di dunia selain mengeksport gas ke Singapura dan Malaysia melalui pipa transmisi. Berbeda jauh dengan keberhasilan tersebut, pengembangan industri gas bumi di dalam negeri sangat jauh tertinggal. Hal ini ditunjukkan dengan minimnya infrastruktur gas bumi yang ada saat ini dan masih rendahnya pemakaian gas bumi, terutama oleh rumah tangga, di Indonesia.

Infrastruktur gas bumi di Indonesia ditandai dengan ruas transmisi yang sangat pendek, berdiri sendiri, dan tidak membentuk hubungan interkoneksi. Distribusi gas masih terbatas di beberapa kota dan kompleks industri dengan kapasitas penyaluran gas yang sangat kecil dibanding dengan negara-negara tujuan eksport LNG Indonesia.

Pulau Jawa, sebagai pusat kegiatan di Indonesia, akan mengalami krisis energi parah pada 1-2 dekade mendatang bila infrastruktur untuk memasok energi ke pulau ini tidak disiapkan dari sekarang. Gas bumi menjadi pilihan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi Pulau Jawa, yang mengkonsumsi sekitar 70% konsumsi energi di Indonesia, karena ketersediaannya yang cukup besar di pulau-pulau lain di Indonesia dan nilai ekonominya yang tinggi untuk menggantikan

BBM yang saat ini dipakai berlebihan oleh masyarakat dan industri-industri meskipun harganya melambung tinggi (harga minyak mentah dunia mencapai US\$147 pada tahun 2008 (Akbar, 2009)).

Konsumsi gas bumi di Pulau Jawa hingga tahun 1990-an masih kecil. Gas bumi dipasok dari lapangan gas Cimalaya (Cirebon) melalui pipa transmisi ke pabrik Kujang, pabrik baja Krakatau Steel, pabrik semen Cibinong serta kebutuhan gas di kota Bogor dan Jakarta. Pada tahun 1993, konsumsi gas di Pulau Jawa meningkat, ditandai dengan dipasoknya gas bumi oleh perusahaan minyak ARCO dari lapangan di laut Jawa bagian barat ke pembangkit PLN di kawasan Jakarta. Pada tahun 1994, pasokan ke pembangkit tenaga listrik di kawasan Surabaya, PGN dan Petrokimia Gresik di Jawa Timur dilakukan lagi oleh ARCO dari sumber gas bumi di daerah Pagerungan (Selat Madura). Diperkirakan pada tahun 2005-2025 permintaan gas di Pulau Jawa tumbuh dari sekitar 1000 MMCFD menjadi 5500 MMCFD (juta kaki kubik per hari). Sekitar 2/3 permintaan tersebut berada di Jawa Barat, 1/4 di Jawa Timur dan sisanya di Jawa Tengah.

Permintaan gas bumi yang tinggi tersebut tidak dapat dipenuhi dengan mengandalkan sumber-sumber gas yang ada di Pulau Jawa sendiri. Cadangan gas bumi yang ditemukan di Pulau Jawa tidak cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan Pulau Jawa yang sedemikian besar sementara kemampuan produksi dari lapangan-lapangan gas yang ada sudah menurun. Blok Cepu adalah salah satu lapangan gas yang cadangannya dapat diproduksi di masa yang akan datang.

Kekurangan gas bumi di Pulau Jawa dapat diatasi dengan mengembangkan alternatif pengangkutan gas bumi dari berbagai sumber gas yang tersebar di seluruh Indonesia. Cadangan gas bumi tersebut terdapat di Sumatera (selatan-tengah), Kalimantan (timur), Natuna, Sulawesi (selatan) dan Papua (barat). Pengangkutan gas ini menggunakan pipa-pipa transmisi (Nugroho, 2006).

Panjang pipa transmisi yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan jarak antara suatu kota dengan kota lain dan faktor-faktor lain. Kedua faktor ini diberi bobot untuk menentukan faktor mana yang lebih dititikberatkan ketika akan membangun pipa transmisi gas.

Pembangunan pipa transmisi gas ini memakan biaya yang besar (Charles, 2009). Untuk meminimalkan biaya yang harus dikeluarkan, dibutuhkan suatu perhitungan yang dapat meminimalkan panjang pipa yang dibutuhkan. Hal ini dikenal sebagai masalah jalur terpendek atau *Shortest Path Problem* dimana jalur terpendek yang dimaksud adalah panjang pipa terpendek yang dibutuhkan untuk menyalurkan gas dari sumber ke tujuan.

Dalam penelitian ini, kota-kota yang terlibat dalam pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas merupakan suatu **pemisalan** atau **asumsi** peneliti. Hal ini dikarenakan tidak mudah untuk mengambil data langsung ke lapangan karena akan membutuhkan izin pemerintah. Namun, *constraint-constraint* yang digunakan, yaitu tidak hanya mempertimbangkan faktor jarak, keharusan untuk melewati kota-kota tertentu, dan tidak semua kota terhubung, merupakan ketentuan yang memang digunakan ketika akan membangun pipa transmisi gas.

Pemisalan atau asumsi untuk sumber gas yang digunakan dalam penelitian ini adalah Natuna sedangkan tujuan transmisi gas adalah Surabaya. Ketika mengalirkan gas dari Natuna ke Surabaya, jalur pipa akan melewati beberapa kota tertentu (Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya). Ketiga hal ini merupakan **constraints jalur terpendek** pada penelitian ini, yaitu kota awal (Natuna) ditentukan, kota akhir (Surabaya) ditentukan, dan keharusan untuk melewati kota-kota tertentu.

Selain ketiga *constraints* tersebut, terdapat *constraint* jalur terpendek lain yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu semua kota yang terlibat dalam pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas ini tidak saling terhubung. Artinya, setiap kota (simpul) tidak memiliki sisi ke setiap kota lainnya.

Constraint jalur terpendek terakhir dalam penelitian ini adalah pertimbangan yang digunakan untuk membangun pipa transmisi tidak hanya mempertimbangkan jarak. Umumnya, pencarian jalur terpendek hanya mempertimbangkan jarak. Semakin dekat jarak kota x dengan kota y semakin besar peluang kota y untuk terpilih. Dalam penelitian ini, ditambahkan faktor-faktor lain yang menjadi pertimbangan, yaitu faktor regulasi dan faktor konstruksi.

Faktor regulasi misalnya apakah pipa transmisi tersebut akan melewati daerah padat penduduk atau hutan lindung. Jika melewati maka semakin kecil peluang daerah tersebut untuk dilewati pipa transmisi karena akan membahayakan keselamatan penduduk. Faktor konstruksi misalnya apakah pipa transmisi akan

melewati sungai atau laut atau darat. Jika melewati sungai atau laut maka biaya yang dibutuhkan akan lebih besar dibanding jika pipa tersebut melewati daratan.

Faktor-faktor tersebut disebut faktor f . Nilai faktor f ini ditentukan oleh *engineer* yang akan membangun pipa gas. Dalam penelitian ini, nilai faktor f **diasumsikan** berada pada interval 0 hingga 100. Semakin besar nilai faktor f semakin layak daerah tersebut untuk dilewati pipa gas.

Kedua pertimbangan tersebut (jarak dan faktor lain) diberi bobot. Umumnya, bobot yang lebih besar diberikan ke faktor lain. Artinya, walaupun jarak suatu kota x dengan kota y dekat tetapi melewati daerah padat penduduk, maka kecil kemungkinan jalur tersebut akan dipilih.

3.2 Data Koordinat Geografis

Data yang dibutuhkan dalam pencarian jalur terpendek adalah data koordinat geografis setiap kota. Tabel 3.1 pada halaman berikut menunjukkan data koordinat geografis dari kota-kota yang bisa dilewati oleh pipa transmisi dari Natuna ke Surabaya yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel 3.1 ini hanya menunjukkan sebagian data koordinat geografis yang digunakan. Data koordinat geografis yang lengkap yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 3.1. Data ini diambil dari situs www.mapsofworld.com.

Tabel 3. 1 *Data Koordinat Geografis Kota*

(www.mapsofworld.com, 2009)

No urut	Nama kota	Latitude				Longitude			
		D	M	S	Arah	D	M	S	Arah
1	Kep Natuna	4 ⁰	0'	0''	N	108 ⁰	15'	0''	E
2	Matak	3 ⁰	18'	0''	N	106 ⁰	16'	0''	E
3	Jemaja	3 ⁰	5'	0''	N	105 ⁰	45'	0''	E
4	Bintan	1 ⁰	0'	0''	N	104 ⁰	0'	0''	E
5	Pekanbaru	0 ⁰	30'	0''	N	101 ⁰	15'	0''	E

Data ini diubah dengan menghilangkan nama kota dan mengganti arah latitude dan arah longitude menjadi +1 atau -1. Untuk arah latitude, +1 jika arah latitude adalah N atau -1 jika arah latitude adalah S. Untuk arah longitude, +1 jika arah longitude adalah E atau -1 jika arah longitude adalah W. Hasil perubahan dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini. Penjelasan mengenai perubahan nilai ini dapat dilihat pada sub bab 2.4 Sistem Koordinat Geografis.

Tabel 3. 2 *Data Koordinat Geografis dengan Perubahan*

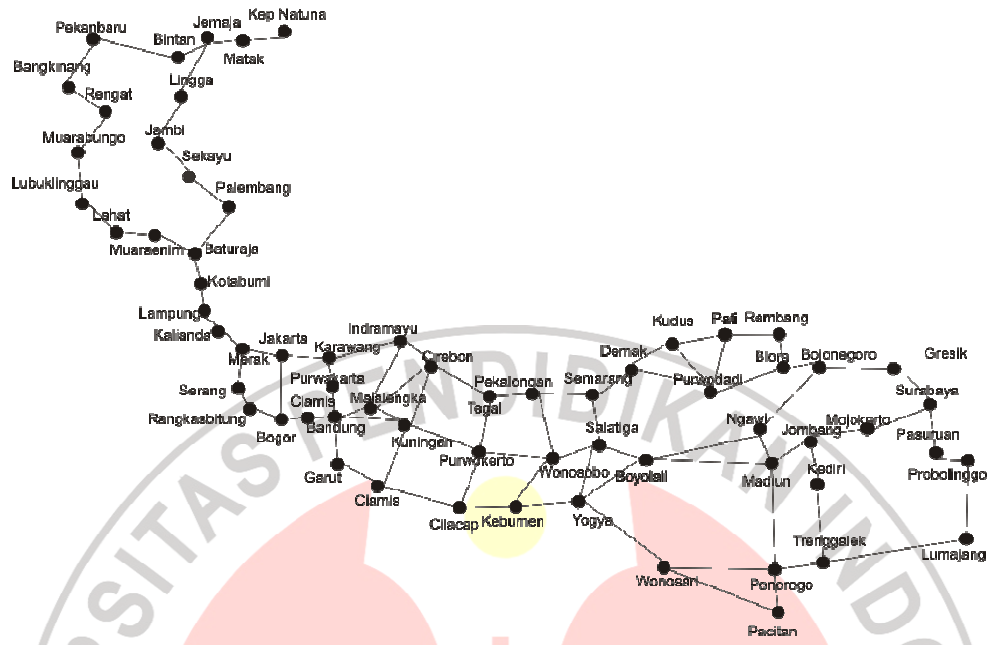
No urut	Latitude				Longitude			
	D	M	S	Arah	D	M	S	Arah
1	4	0	0	+1	108 ⁰	15'	0''	+1
2	3	18	0	+1	106 ⁰	16'	0''	+1
3	3	5	0	+1	105 ⁰	45'	0''	+1
4	1	0	0	+1	104 ⁰	0'	0''	+1
5	0	30	0	+1	101 ⁰	15'	0''	+1

3.3 Representasi Masalah

Untuk merepresentasikan masalah pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas dari Natuna ke Surabaya ini, digunakan graf, matriks ketetanggaan, dan matriks faktor lain.

3.3.1 Graf Pipa Transmisi Gas

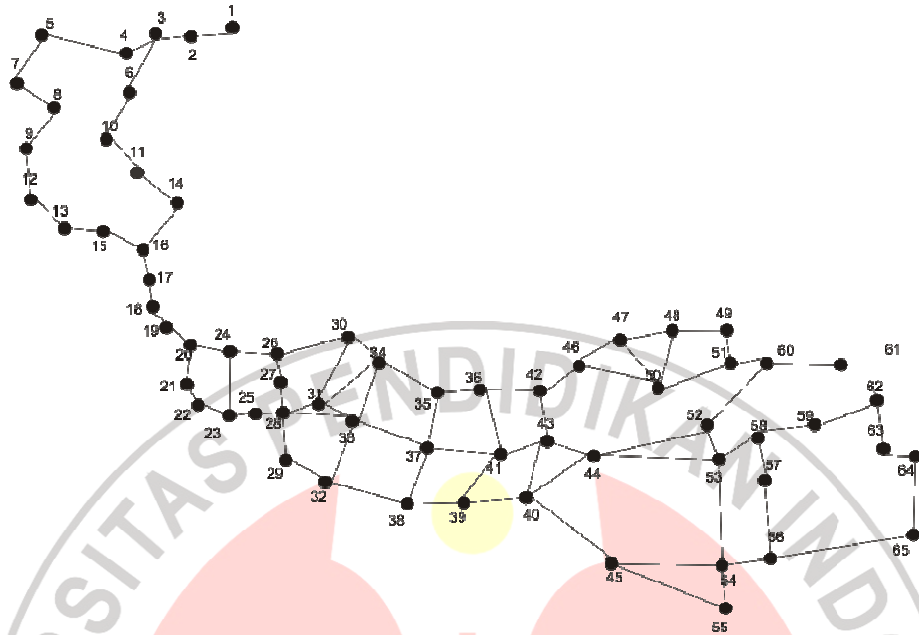
Graf pipa transmisi gas ini dibuat berdasarkan data koordinat geografis pada sub bab 3.2. Kota-kota pada Tabel 3.1 direpresentasikan melalui simpul-simpul graf yang ditempatkan berdasarkan letak aslinya sesuai dengan gambar peta Pulau Sumatera, Provinsi Banten, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Jawa Tengah, dan Provinsi Jawa Timur, yang terdapat pada ATLAS INDONESIA & DUNIA Edisi Propinsi-Propinsi Terbaru karangan Arkola (Arkola). Pembangunan pipa yang mungkin dilakukan direpresentasikan melalui sisi-sisi pada graf. Penentuan kemungkinan pembangunan pipa ini dilakukan oleh *engineer* yang akan membangun pipa transmisi gas. Dalam penelitian ini, penentuan kemungkinan pembangunan pipa yang digunakan merupakan suatu **pemisalan** atau **asumsi**. Gambar 3.1 pada halaman berikut menunjukkan graf pipa transmisi gas dari Natuna ke Surabaya.



Gambar 3.1 Graf Pipa Transmisi Gas

3.3.2 Matriks Ketetangaan Graf Pipa Transmisi Gas

Untuk membuat matriks ketetangaan dari graf pipa transmisi gas, graf yang ada pada Gambar 3.1 di ubah menjadi graf seperti pada Gambar 3.2 pada halaman berikut. Perubahannya adalah nama setiap kota diubah menjadi nomorurut berdasarkan Tabel 3.1.



Gambar 3. 2 *Graf Pipa Tranmisi Gas (nomor urut)*

Matriks ketetangaan bernilai 1 jika terdapat sisi antara suatu simpul dengan simpul lainnya atau bernilai 0 jika tidak terdapat sisi antara suatu simpul dengan simpul lainnya. Matriks ketetangaan ini berukuran $n \times n$ dimana n adalah jumlah kota yang terlibat dalam pencarian jalur terpendek. Dalam penelitian ini n adalah 65 sehingga matriks ketetangaan yang digunakan berukuran 65×65 . Penentuan ketetangaan ini dilakukan oleh *engineer* yang akan membangun pipa transmisi gas. Dalam penelitian ini, penentuan ketetangaan yang digunakan merupakan suatu **pemisalan** atau **asumsi**. Tabel 3.3 pada halaman berikut menunjukkan matriks ketetangaan berdasarkan graf pada Gambar 3.2. Matriks ketetangaan yang lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.2.

Tabel 3. 3 *Matriks Ketetangaan*

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0	1	0	1	0
4	0	0	1	0	1
5	0	0	0	1	0

3.3.3 Matriks Faktor Lain

Matriks faktor lain menyimpan nilai kelayakan (nilai faktor f) pembangunan pipa antara suatu kota dengan kota lainnya (kelayakan sisi). Matriks faktor lain mirip dengan matriks ketetangaan kecuali nilai elemen matriks menunjukkan kelayakan pembangunan pipa antara suatu kota dengan kota lainnya. Nilai-nilai ini merupakan ketentuan dari *engineer* yang akan membangun pipa transmisi gas. Dalam penelitian ini, nilai faktor lain yang digunakan merupakan sebuah **pemisalan** atau **asumsi**. Pemisalan yang dimaksud adalah bahwa nilai-nilai faktor lain ini ditentukan oleh penulis. Penulis membuat ketentuan bahwa nilai faktor lain berada pada interval $[0, 100]$. Nilai 0 memiliki arti bahwa kemungkinan pembangunan pipa transmisi gas (ditunjukkan oleh matriks ketetangaan) tidak layak untuk dilaksanakan dikarenakan faktor lain (melewati daerah padat penduduk, melewati sungai, atau melewati hutan bakau). Sedangkan jika nilai faktor lain adalah 100 maka kemungkinan pembangunan pipa transmisi gas tersebut sangat layak untuk dilaksanakan. Cara penentuan nilai faktor lain yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 3.3.

Tabel 3.4 di bawah ini menunjukkan matriks faktor lain untuk graf pada Gambar 3.2. Matriks faktor lain yang lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.4.

Tabel 3. 4 *Matriks Faktor Lain*

	1	2	3	4	5
1	0	50	0	0	0
2	50	0	50	0	0
3	0	50	0	50	0
4	0	0	50	0	75
5	0	0	0	75	0

3.4 Model yang Dikembangkan

Untuk menyelesaikan masalah pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas dari Natuna ke Surabaya, algoritma *MAX-MIN Ant System* (MMAS) dimodifikasi pada beberapa bagian. Modifikasi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. *Tabulist* awal setiap semut berisi kota sumber gas.

Pada awalnya algoritma MMAS diimplementasikan pada kasus TSP sehingga pada awal algoritma semut-semut ditempatkan secara acak pada kota-kota yang ada sehingga *tabulist* awal setiap semut berisi kota yang ditempati semut. Sedangkan untuk studi kasus pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas dalam penelitian ini, kota awal atau kota berangkat semut telah ditentukan sebelumnya, yaitu kota sumber gas, sehingga *tabulist* awal setiap semut berisi kota sumber gas.

2. Pembangunan tur

- a. Pada awalnya algoritma MMAS diimplementasikan pada kasus TSP sehingga kota keberangkatan dan kota tujuan semut harus sama sedangkan untuk studi kasus pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas dalam penelitian ini, ketika semut k berada pada kota yang sama dengan kota tujuan maka proses pencarian jalur terpendek dihentikan (tidak perlu kembali ke kota sumber gas karena yang akan dibentuk adalah jalur bukan sirkuit).
- b. Untuk kota-kota yang harus dilewati pipa transmisi gas, ketika semut k berada pada kota yang salah satu kemungkinan kota yang bisa dikunjunginya adalah kota yang harus dilewati (misalnya kota y) maka secara otomatis semut akan memilih kota y untuk dikunjungi berikutnya.
3. Nilai η (eta) merupakan nilai informasi heuristik. Nilai η pada pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas dalam penelitian ini mempertimbangkan jarak dan faktor lain sehingga rumus nilai eta menjadi seperti persamaan (3.1) di bawah ini.

$$\eta = \frac{a\left(\frac{1}{d}\right) + b(f)}{a + b} \dots\dots\dots (3.1)$$

d adalah jarak dan f adalah nilai faktor lain. a dan b merupakan bobot untuk menentukan faktor mana yang lebih mempengaruhi pertimbangan pembangunan pipa transmisi gas. Jika $a < b$ maka faktor lain lebih menjadi pertimbangan ketika *engineer* akan merancang pembangunan pipa transmisi gas.

4. Nilai τ (tho) menunjukkan jumlah feromon pada sisi. Untuk membatasi jumlah feromon pada sisi ditentukan nilai τ_{max} dan τ_{min} . Nilai τ_{max} dan τ_{min} ditentukan melalui persamaan (3.2) dan (3.3) di bawah ini.

$$\tau_{max} = \frac{1}{1-\rho} * \frac{1}{L^{best}} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{2n} \dots\dots\dots (3.3)$$

(Stutzle dan Dorigo, 2010)

Selama iterasi berlangsung, nilai τ_{max} dan τ_{min} akan berubah. Jika nilai $\tau_{ij} < \tau_{min}$ maka nilai τ_{ij} sekarang adalah τ_{min} dan jika nilai $\tau_{ij} > \tau_{max}$ maka nilai τ_{ij} sekarang adalah τ_{max} .

5. Jalur yang akan dihitung panjangnya hanya jalur-jalur yang memiliki kota awal, kota tujuan, dan kota-kota yang harus dilewati. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya jalur atau tur semut yang memenuhi *constraints* yang telah ditentukan yang akan dipertimbangkan sebagai jalur terpendek pipa transmisi gas.

Algoritma *MAX-MIN Ant System* untuk pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas secara lengkap dapat dilihat pada halaman berikut.

```
/*langkah 1: inisialisasi*/
```

```
L+ = 1000000
```

```
 $\tau_{max} = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{L^+}$ 
```

```
For setiap sisi (i,j) do
```

```
     $\tau_{ij} = \tau_{max}$ 
```

```
Endfor
```

```
/*langkah 2: isi tabulist awal*/
```

```
For k=1 to m do
```

```
    tabulist(k,1) = kota sumber
```



Gambar 3. 3 Algoritma MMAS untuk Pencarian Jalur Pipa Transmisi Gas (1)

```
/*perbarui tho max dan tho min*/
```

$$\tau_{max} = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{\min L_k}$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{2n}$$

```
/*update  $\tau_{ij}$ */
```

```
For i=1 to n
```

```
  For j=1 to n
```

```
    If  $\tau_{ij} > \tau_{max}$  then
```

$$\tau_{ij} = \tau_{max}$$

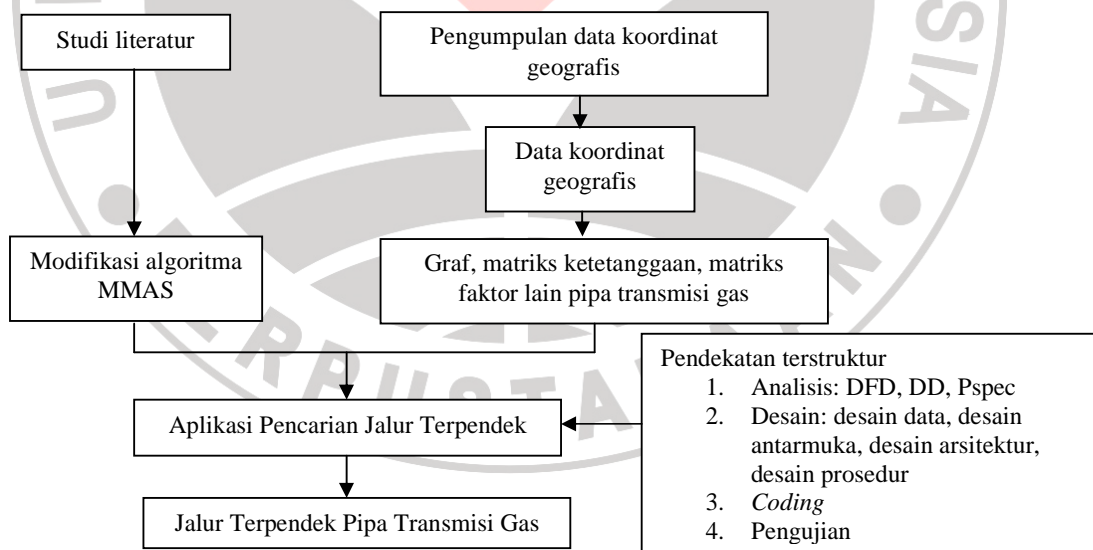
```
    Elseif  $\tau_{ij} < \tau_{min}$  then
```

$$\tau_{ij} = \tau_{min}$$

Gambar 3. 4 *Algoritma MMAS untuk Pencarian Jalur Pipa Transmisi Gas (2)*

3.5 Desain Penelitian

Berdasarkan penjelasan pada sub bab 3.1, 3.2, dan 3.3, dan 3.4 disusun desain penelitian seperti Gambar 3. 3 di bawah ini.



Gambar 3. 5 *Desain Penelitian*

Penjelasan gambar:

1. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari dan memahami teori-teori yang digunakan, yaitu masalah jalur terpendek, algoritma *Ant Colony Optimization*, algoritma *Ant System*, algoritma *MAX-MIN Ant System*, *Travelling Salesman Problem*, sistem koordinat geografis, dan perhitungan jarak menggunakan koordinat geografis.
2. Pengumpulan data-data mengenai sumber daya alam gas yang ada di Indonesia beserta pemanfaatan gas oleh pemerintah, industri, dan masyarakat Indonesia, diperoleh melalui internet.
3. Data koordinat geografis kota-kota yang ada di Indonesia diambil dari situs www.mapsofworld.com.
4. Graf, matriks ketetanggaan, dan matriks faktor lain digunakan untuk merepresentasikan masalah pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas. Penjelasan graf, matriks ketetanggaan, dan matriks faktor lain terdapat pada sub bab 3.3.
5. Algoritma MMAS dimodifikasi atau disesuaikan dengan kebutuhan pencarian jalur terpendek pipa transmisi gas. Penjelasan algoritma terdapat pada sub bab 3.4.
6. Aplikasi Pencarian Jalur Terpendek (APJT) pipa transmisi gas merupakan nama perangkat lunak yang dikembangkan.
7. Metode pendekatan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan terstruktur dengan model proses sekuensial linier. Pendekatan terstruktur lebih menekankan pada aliran data.

Model sekuensial linier mengusulkan sebuah pendekatan pengembangan perangkat lunak yang sistematis dan sekuensial mulai dari *system level* dan terus maju ke analisis, desain, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan (Pressman, 2001: 28).

Model sekuensial linier memiliki beberapa aktivitas, yaitu sebagai berikut.

a. 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 *Context Diagram*, *Data Flow Diagram* (DFD), kamus data (*data dictionary*), dan spesifikasi proses (*process specification*).

b. Desain

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

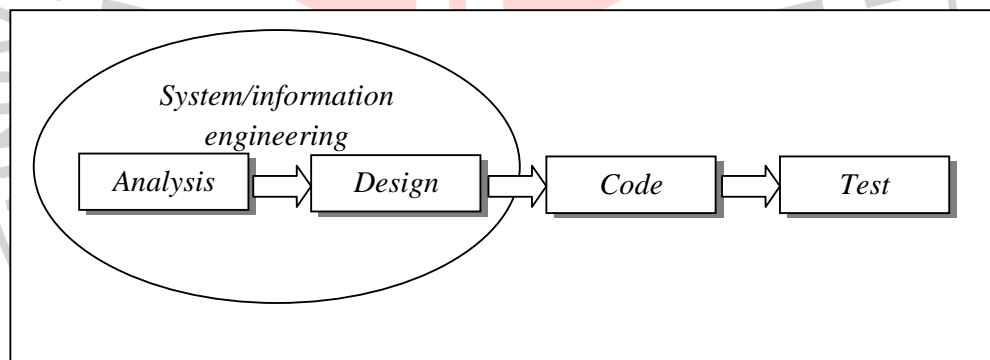
c. *Coding*

Coding atau implementasi merupakan penerjemahan hasil desain ke dalam bahasa yang dimengerti oleh komputer. Dalam penelitian ini digunakan MATLAB 7.6.

d. 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 *black box testing*.

Tahapan-tahapan pada model sekuensial liner ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini



Gambar 3. 6 Model Sekuensial Linier

(Pressman, 2001: 29)

8. Jalur terpendek pipa transmisi gas merupakan output perangkat lunak dan hasil penelitian.