

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tahapan Umum Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat dua tahapan utama penelitian sebagai kerangka analisis permasalahan kajian. Tahapan penelitian tersebut adalah tahapan eksperimental dan analitik. Tahapan eksperimental mengandung disain dan penentuan data dan variabel penelitian, penentuan peralatan penelitian dan metode pengambilan data. Dalam tahapan analitik memuat disain variabel data dan analisis, model yang digunakan dan penetapan validasi hasil. Adapun secara umumnya tahapan diberikan secara terperinci dalam diagram alir di bawah ini (Gambar 4.1):

4.2 Data dan Variabel Penelitian

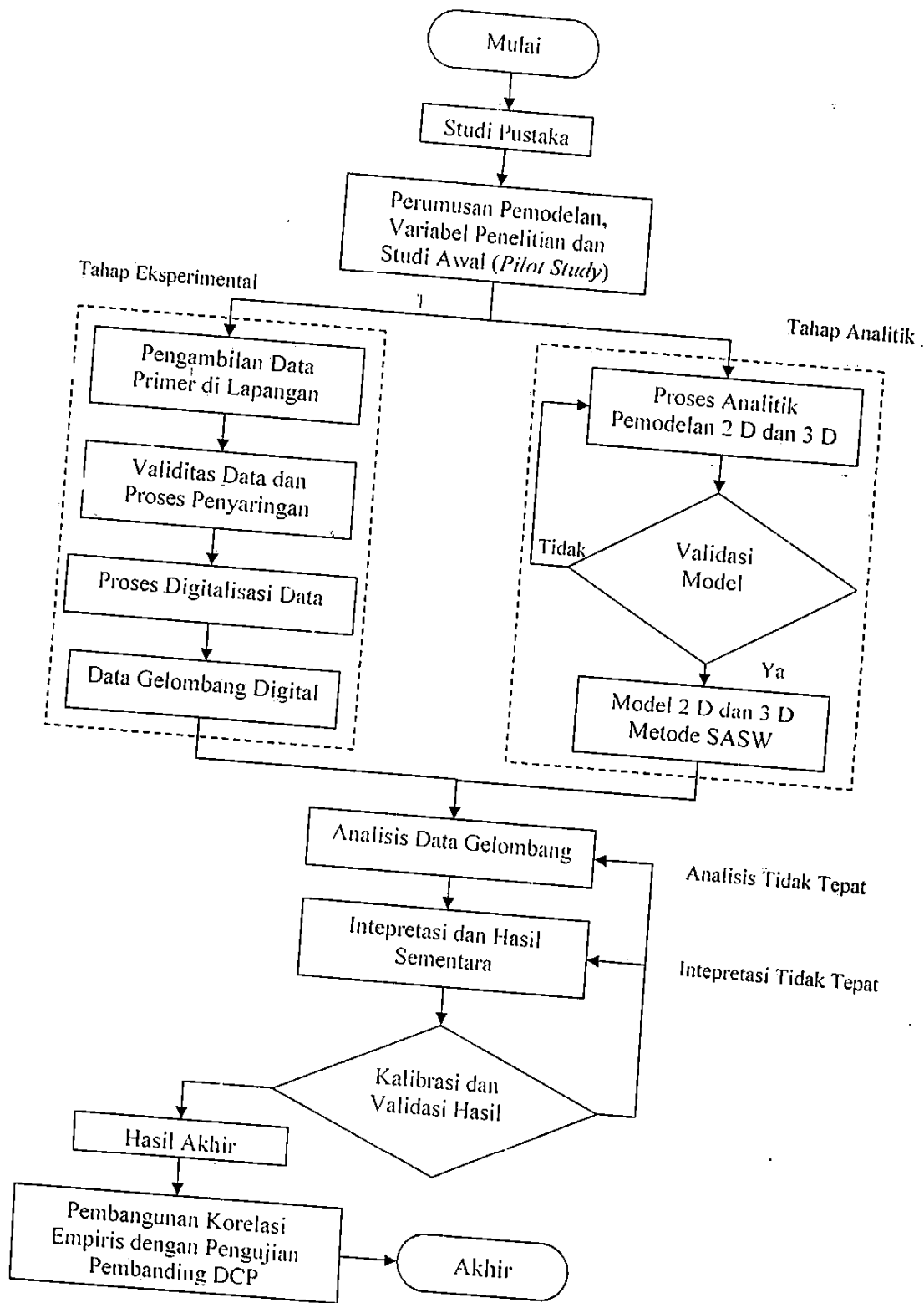
Data dan variabel dalam penelitian ini terbagi sesuai dua tahapan metode penelitian yang dijalankan, yaitu :

4.2.1. Tahapan Eksperimental

Tahapan penelitian eksperimental yang dilaksanakan memuat data dan variabel yang akan dikaji dalam penelitian sebagai berikut :

a. *Data primer*, meliputi :

1. Data analog gelombang permukaan (*surface wave*) dan tubuh (*body wave*) yang diukur secara langsung di lapangan.
2. Data jarak diantara sensor yang ditetapkan menurut frekuensi gelombang yang diinginkan.
3. Data frekuensi, berat dan bentuk sumber gelombang yang menghasilkan data gelombang yang diukur.
4. Data parameter suhu di permukaan dan di dalam lapisan aspal perkerasan jalan



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

- b. *Data Sekunder*, meliputi data *as drawing* setiap lapisan konstruksi perkerasan jalan dan data material penyusun perkerasan jalan.

4.2.2. Tahapan pemodelan

Tahapan pemodelan 3 D metode SASW dilaksanakan dengan variabel data yang bersifat kualitatif dan algoritma yang digunakan telah dituliskan dalam Tinjauan Pustaka. Adapun variabel yang digunakan untuk pemodelan adalah:

1. Nilai konstanta $Lame$,
2. Data berat jenis bahan,
3. Data tebal lapisan struktur perkerasan jalan,
4. Data modulus geser bahan,
5. Data beban yang digunakan untuk menghasilkan gelombang,
6. Data nomor dan mode gelombang yang dimodelkan,
7. Data frekuensi gelombang yang dihasilkan,
8. Data kecepatan gelombang geser (V_s) dan primer (V_p) yang diasumsikan untuk model.

Data-data di atas diperoleh dari set up pengukuran penganalisis spektrum dan data seismik analog yang dihasilkan dalam pengukuran. Sebagian lainnya merupakan nilai yang diasumsikan sesuai dengan kondisi perkerasan di lapangan.

4.3. Teknik Pengumpulan Data

Di dalam tahapan eksperimental diperlukan pengumpulan data primer untuk mendapatkan data analog gelombang. Teknik pengumpulan data primer disusun sebagai berikut :

4.3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada pada perkerasan jalan jenis perkerasan lentur. Lokasi penelitian akan dipilih yang mewakili jalan provinsi dan jalan nasional di Indonesia.

Tahap analisis dan pemodelan hasil dilakukan di laboratorium.

4.3.2 Alat dan Bahan untuk Metode SASW

a. Sumber Mekanik Gelombang

Sumber mekanik gelombang yang digunakan untuk pengujian digunakan yang mampu menghasilkan tenaga gelombang permukaan Rayleigh pada rentang frekuensi yang diperlukan dalam pengukuran. Dalam penelitian ini digunakan jenis sumber sementara (*transient source*), yang serupa dengan sumber pukulan mekanik seperti palu ringan, bola baja, palu kayu, palu yang besar dan pemberat yang dijatuhkan. Untuk menghasilkan frekuensi tinggi dalam penelitian ini, digunakan sumber gelombang berupa bola baja (*steel ball bearing*) dengan ukuran diameter 11.8, 15.8, 18.9, 22 dan 25.1 mm dengan berat 5, 15, 30, 45 dan 65 g. manakala berat palu yang digunakan untuk julat frekuensi yang rendah ialah 0.19, 0.58, 1.1, 1.92 dan 4.87 kg. Penggunaan sumber gelombang yang sama tidak selalu menghasilkan frekuensi yang sama pada semua lokasi karena dipengaruhi oleh bahan dan berat palu yang digunakan serta kekakuan profil bahan pada lokasi pengujian. Oleh itu, beberapa percobaan ketukan/pukulan untuk jenis dan berat sumber gelombang yang digunakan dalam studi ini perlu dijalankan terlebih dahulu.

b. Sensor

Dalam penelitian ini digunakan sensor jenis akselerometer piezoelektrik yang berkemampuan menangkap getaran dari frekuensi rendah 10 Hz hingga frekuensi tinggi (20 kHz). Wilayah frekuensi ini boleh digunakan untuk mendeteksi profil perkerasan sehingga lapisan tanah dasar. Akselerometer yang digunakan bagi penelitian ini adalah piezoelektrik simetri tunggal DJB model A/123/E dengan rentang reaksi frekuensi $\pm 5\%$ pada 1.2 hingga 20 kHz.

c. Penganalisis Spektrum

Penganalisis spektrum merupakan peralatan osiloskop dan perekam data sinyal analog ke digital melalui metode FFT. Peralatan penganalisis spektrum terdiri dari satu unit akuisisi (*acquisition unit*) yang dihubungkan kepada komputer "notebook" melalui kartu PC. Dalam penelitian ini digunakan unit akuisisi *Harmonie* 01dB berspesifikasi IEC 651-804 tipe 1. Unit *Harmonie* berukuran 110 x 35 x 220 mm dengan berat 700 grams yang dipasangkan dengan empat saluran input analog dari sensor dan satu saluran output untuk kartu PC standar (PCMCIA) pada komputer. Sebuah software *Harmonie dBFA 32* disediakan dalam bentuk CD-ROM yang dapat diinstal pada komputer.

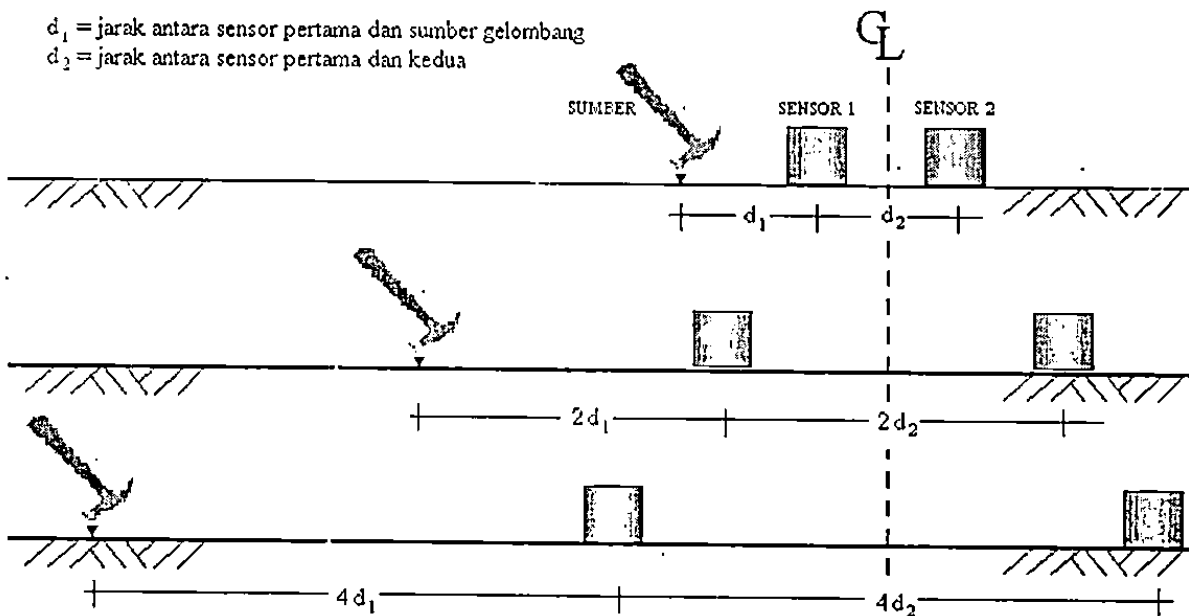
menjalankan analisis FFT dengan frekuensi sampel hingga 51.4 kHz dan spektrum frekuensi hingga 3200 garis.

4.3.3 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur yang digunakan untuk melakukan pengukuran analisis spektrum gelombang permukaan di lapangan adalah mengikut urutan sebagai berikut:

1. Menentukan satu set jarak sensor (d) yang terdiri dari beberapa ukuran jarak di antara sensor yang berbeda dan pengukuran jarak dari letak sumber gelombang dengan sensor terdekat. Nilai jarak ini kemudiannya dilebarkan secara berganda, biasanya dimulai dengan jarak yang terpendek (Gambar 4.2). Dalam setiap konfigurasinya, jarak antara sensor pertama dan sumber gelombang ditentukan sama dengan jarak sensor pertama dan kedua (d_2). Perubahan jarak sensor ini bertujuan untuk memperoleh seluruh wilayah panjang gelombang yang dirancang.

d_1 = jarak antara sensor pertama dan sumber gelombang
 d_2 = jarak antara sensor pertama dan kedua

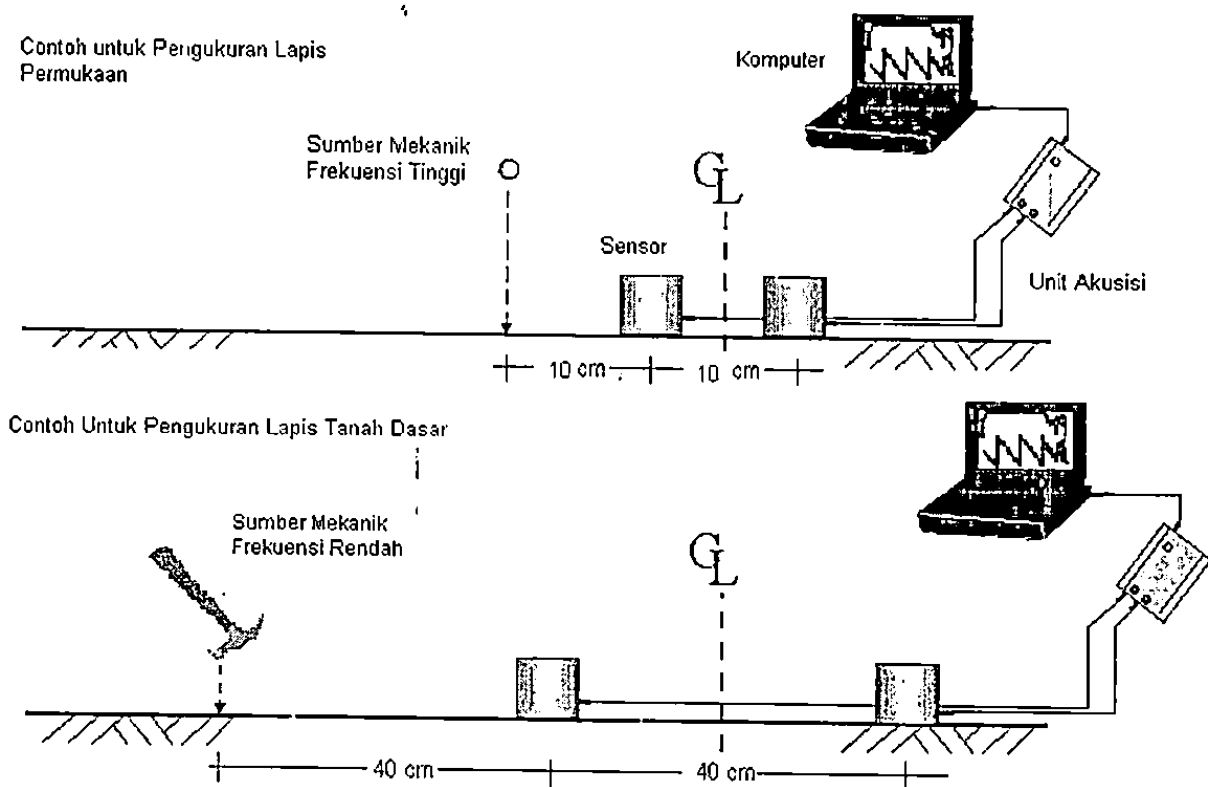


Gambar 4.2. Penentuan letak sensor dan sumber gelombang dalam pengukuran

2. Memilih sebuah sumber gelombang dan sepasang sensor yang tepat untuk setiap wilayah frekuensi yang telah ditentukan. Nilai frekuensi yang dihasilkan oleh sesuatu sumber bergantung kepada bentuk dan berat sumber gelombang tersebut (Matthews et al. 1996; Dandji 2004).

pergerakan gelombang dalam wilayah frekuensi yang diperlukan dalam sesuatu pengukuran, beberapa set berat dan bentuk sumber gelombang perlu digunakan bagi memperoleh isyarat yang baik.

3. Mengukur dan menentukan garis tengah imajiner dalam susunan sensor. Seterusnya dua sensor dengan spesifikasi yang sama, diletakkan dalam satu garis lurus di atas permukaan lapisan yang telah diukur mengikut konfigurasi titik tengah sensor (Gambar 4.3). Sensor juga harus terlekat secara baik agar dapat mendeteksi pergerakan gelombang dengan jelas dan tidak terdapat gangguan pada perpindahan fase akibat reaksi yang berbeda dari sensor. Seterusnya penganalisis spektrum diatur untuk menunjukkan operasi spektrum tenaga, fungsi perpindahan atau spektrum tenaga silang dan fungsi koheren.



Gambar 4.3. Konfigurasi Titik Tengah Sensor dalam pengukuran

4. Menghasilkan gelombang dari sumber gelombang pada permukaan media yang memberikan reaksi menegak pada kedua sensor. Penghasilan dan perekaman gelombang dilakukan secara berurutan. Untuk menghasilkan gelombang...

domain frekuensi. Rata-rata sinyal yang diperoleh melalui pengulangan pengukuran dapat menghilangkan pengaruh gangguan acak (*random noise*) dan sinyal yang tidak jelas pada proses perekaman data (Nazarian 1984; Karl 1989).

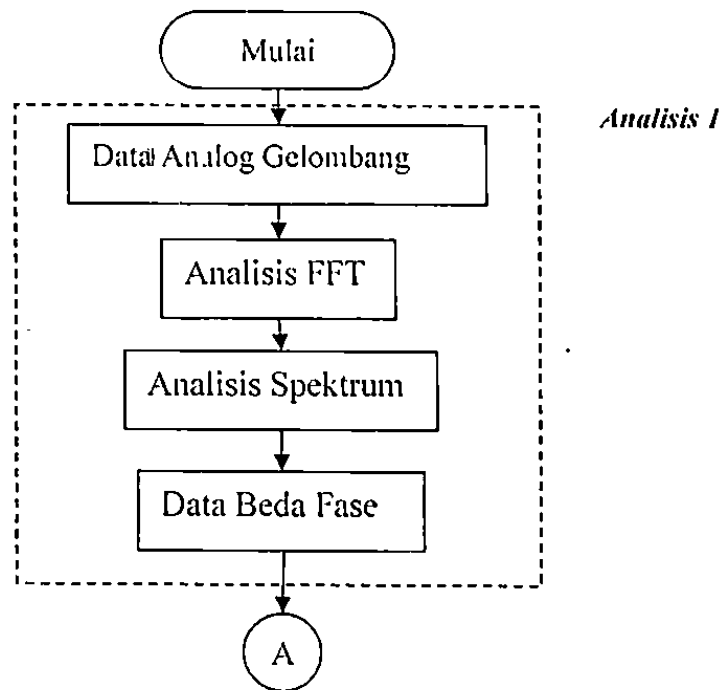
5. Menghitung kecepatan fase secara kasar menggunakan beberapa nilai frekuensi daripada spektrum fase yang diukur oleh penganalisis spektrum di lapangan. Cara ini dilakukan untuk membandingkan kecepatan fase dari hasil penganalisis spektrum dengan nilai asumsi awal. Tahapan ini dijalankan bagi mengontrol hasil spektrum fase dan nilai kecepatan supaya sesuai dengan media yang diukur. Untuk mendapatkan hasil resolusi yang baik bagi kurva penyebaran lapangan, hasil spektrum fase tertutup (*unwrapping*) sebaiknya mempunyai dua hingga empat siklus (Joh 1996).
6. Mengubah kedudukan sensor yang disesuaikan dengan jarak pengesan dan sensor yang telah ditetapkan pada tahap pertama. Kemudian tahap dua hingga enam di atas diulangi sehingga pengujian dilakukan bagi semua jarak pengesan. Dalam kajian SASW ke atas profil perkerasan, penggunaan konfigurasi pengukuran profil depan (*forward profile measurement*) saja dapat dijalankan bagi keseluruhan jarak sensor. Pada titik yang sama setelah pengujian SASW, dilakukan pengujian *dynamic cone penetrometer* (DCP) guna mendapatkan daya dukung tanah dalam nilai DCP atau pun nilai korelasi CBR lapangan. Gambar 4.4 menunjukkan dokumentasi pengambilan data di Jalan Nasional Piyungan, Yogyakarta menggunakan metode SASW.

4.4. Analisis dan Interpretasi Data

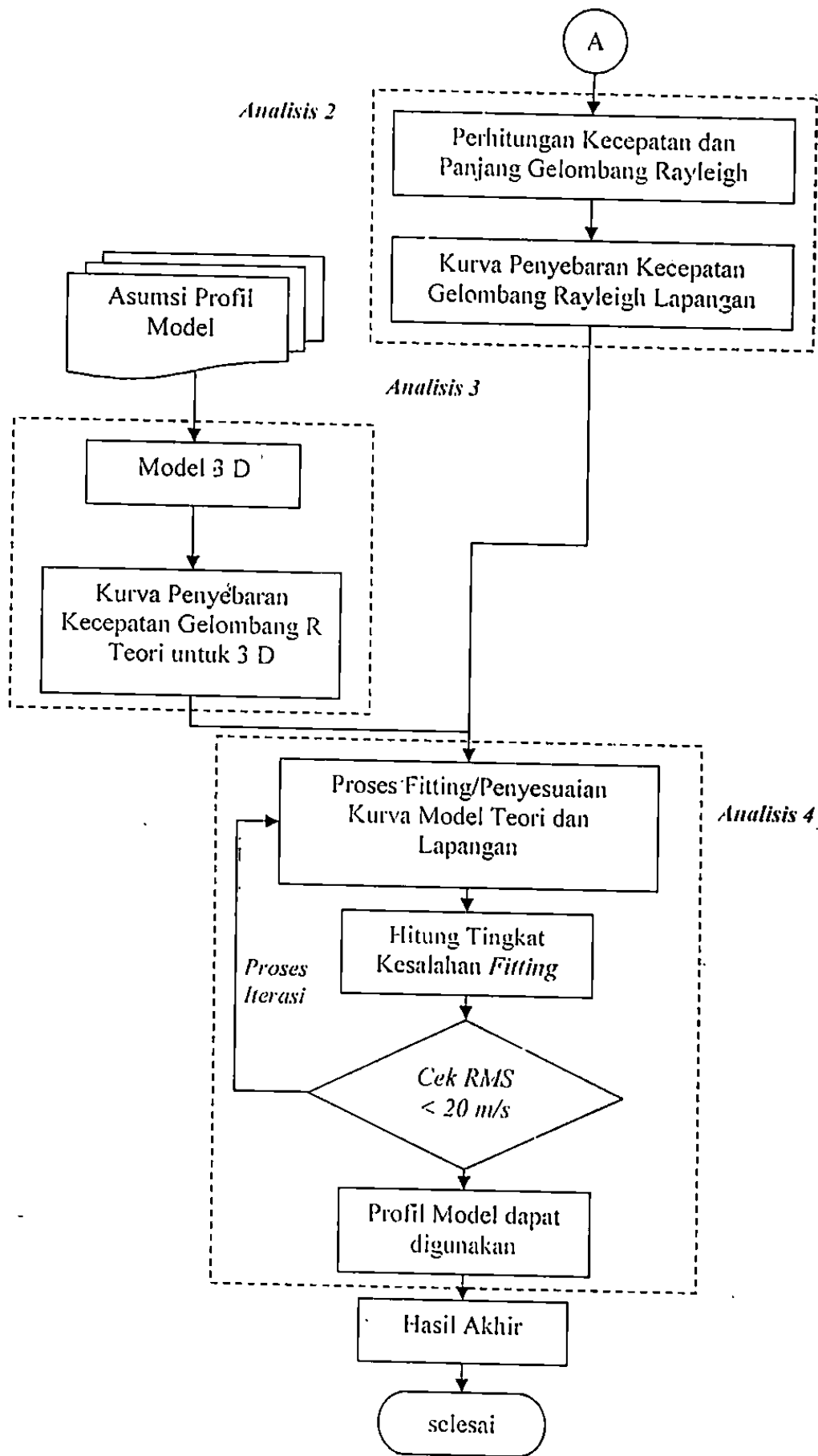
Metode analisis dan penafsiran data merupakan bagian dari tahapan penelitian analitik (Gambar 4.1) yang dijabarkan dalam diagram Alir. Pada Tahap 4.1 (Gambar 4.1) yang



Gambar 4.4. Implementasi konfigurasi pengukuran SASW lapangan di atas permukaan perkerasan di Jalan Nasional Piyungan (dokumentasi riset)



Gambar 4.5. Diagram alir proses analisis data hasil pengukuran SASW



Penjelasan metode analisis tersebut di Gambar 4.5. dijelaskan dalam bagian di bawah ini.

4.4.1 Analisis 1

Dalam tahapan ini data digital gelombang ditransformasikan kepada domain frekuensi menggunakan algoritma Cooley-Tukey atau FFT (*fast Fourier transform*). Untuk memperlancar kegiatan transformasi ini software *Mathlab* dan *dBFA 32* digunakan sebagai perangkat lunak pengotomatik analisis data. Setelah dianalisis dalam domain frekuensi, data gelombang ditampilkan dalam fungsi spektrum-auto *density* (*autospectral density*), fungsi perpindahan (*transfer function*) dan fungsi koheren (*coherence function*). Dari spektrum koheren dapat ditunjukkan wilayah frekuensi sinyal yang baik, sehingga proses penyaringan (*filtering*) dan penentuan rentang frekuensi reaksi gelombang dilaksanakan dalam tahap ini. Apabila rentang frekuensi dapat ditentukan, melalui spektrum fungsi pindahan, data beda fase bisa diturunkan dalam bentuk spektrum terbuka. Data beda fase ini yang dihasilkan ini selanjutnya digunakan untuk analisis kedua.

4.4.2 Analisis 2

Dalam tahapan ini, kecepatan gelombang Rayleigh dapat dihitung dengan algoritma sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan 10 sampai dengan Persamaan 22. Kecepatan gelombang dapat ditentukan berdasarkan nilai waktu pergerakan gelombang (t) dan jarak (d) di antara sensor. Panjang gelombang juga dapat ditentukan berdasarkan nilai jarak di antara sensor dan nilai beda fasenya. Selanjutnya data kecepatan dan panjang/frekuensi gelombang Rayleigh dipetakan dalam kurva yang disebut sebagai kurva penyebaran lapangan (*experimental dispersion curve*). Kurva ini seterusnya dijadikan panduan iterasi dalam proses inverse di tahap analisis ke-4.

4.4.3 Analisis 3

Dalam analisis ini, 3 D digunakan untuk menghasilkan kurva penyebaran kecepatan gelombang secara teori. Asumsi profil awal dilakukan dengan menganggap parameter-parameter kecepatan gelombang, tebal lapisan, rasio pelemahan dan berat jenis bahan suatu profil struktur perkerasan jalan. Untuk memodelkan diperlukan software

matematik yang memudahkan dalam pekerjaan dan proses pemodelan misalnya *Mathlab* atau *WinSASW* versi 2.

4.4.4 Analisis 4

Setelah kurva teori 3 D dapat dimodelkan, dilakukan proses penyesuaian/*fitting*. Proses penyesuaian model 3 D ini dilakukan terhadap kurva penyebaran kecepatan lapangan. Apabila nilai pengukur kesalahan penyesuaian melalui metode RMS (*Root Mean Square*, RMS) masih tinggi ($> 20\%$) dilakukan proses iterasi dengan mengubah parameter asumsi model. Proses iterasi ini dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan algoritma optimasi metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood method*) yang diusulkan oleh Joh (1996). Jika nilai RMS sudah $< 20\%$ maka proses iterasi dihentikan dan profil model yang dihasilkan merupakan representasi dari profil struktur perkerasan jalan. Data profil seperti kecepatan gelombang geser dan tebal lapisan seterusnya dapat digunakan untuk mendapatkan parameter evaluasi bahan perkerasan jalan berupa modulus elastisitas dan geser.

4.5. Validasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini disimpulkan setelah melalui proses validitas hasil yang dilakukan pada model dan hasil akhir. Hasil penelitian disimpulkan sebagai penelitian kuantitatif dengan menampilkan hasil perolehan daya dukung tanah dasar dari pengujian SASW. Korelasi empiris dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian SASW dengan pengujian DCP.

Setiap hasil pengujian, analisis dan persamaan korelasi empiris yang diperoleh divaliditas menggunakan ujian statistik dasar (diantaranya: nilai rata-rata, nilai tengah, koefisien