

KOMPUTERISASI PERHITUNGAN PARAMETER MARSHALL UNTUK RANCANGAN CAMPURAN BETON ASPAL

Deni Setiawan

Dosen Luar Biasa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Mahasiswa S2, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Parahyangan
e-mail: den9851@yahoo.com

ABSTRACT

Until now, calculation of Mashall test is done with manually by tables. There are some weakness if we do it with manually, like: much procedure must do, unaccuracy in calculation (human errors), and not efficient in time. For that purpose hence required existence of program to overcoming or minimizes errors. The purpose of this paper is to computerize the calculation of Marshall test by utilizing Borland Delphi 7.0 programming. By statistical analysis, the comparition result of calculation manually and with program is $t < t_{\alpha}$, this means that program calculation is acceptable. Programming result of this Marshall test required some retouchings like performance to draw graph and performance to print graph.

Keywords: Marshall, programming, Borland Delphi 7.0.

ABSTRAK

Selama ini perhitungan dan pengolahan hasil pengujian Marshall dilakukan secara manual dengan bantuan tabel. Perhitungan secara manual terdapat beberapa kelemahan di antaranya: banyaknya prosedur yang harus dilakukan, adanya ketidakteelitian dalam perhitungan akibat kesalahan manusia (*human error*), dan tidak efisien dalam waktu. Untuk itu maka diperlukan adanya program yang mengatasi atau memperkecil kesalahan yang timbul. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengkomputerisasikan perhitungan pengujian Marshall dengan mempergunakan bahasa program *Borland Delphi 7.0*. Perbandingan perhitungan secara manual dan perhitungan secara program secara uji statistik diperoleh hasil $t < t_{\alpha}$ ini membuktikan bahwa perhitungan secara program dapat diterima. Pemrograman hasil pengujian Marshall ini diperlukan beberapa penyempurnaan yaitu kemampuan untuk menggambar grafik dan kemampuan untuk mencetak grafik.

Kata kunci: *Marshall, programming, Borland Delphi 7.0.*

1. PENDAHULUAN

Kinerja beton aspal dapat diperiksa dengan mempergunakan alat pemeriksaan Marshall. Untuk saat ini prosedur pengujian mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D1559-76. Perhitungan volume dan pengolahan hasil uji Marshall ini dilakukan secara manual dalam bentuk tabel dan grafik, dengan demikian ada beberapa kelemahan di antaranya:

1. Banyaknya prosedur perhitungan yang harus dilakukan.
2. Adanya ketidakteelitian dalam perhitungan akibat kesalahan manusia (*human error*).
3. Tidak efisien dalam waktu.

Maka untuk mengatasi atau memperkecil kelemahan-kelemahan tersebut, perlu mengkomputerisasikan perhitungan selama proses pengujian Marshall, yaitu dengan menggunakan bahasa program Borland Delphi 7.0 yang berbasis visual di lingkungan Windows dan diproduksi oleh Microsoft. Penelitian ini dibatasi hanya untuk pemrograman perhitungan hasil pengujian dengan menggunakan alat Marshall untuk memperoleh kadar aspal optimum dan parameter Marshall lainnya dengan memasukkan data-data yang diperlukan.

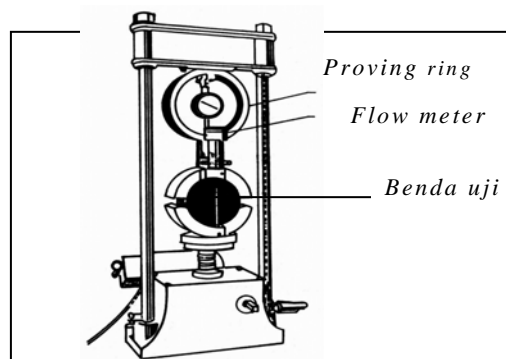
2. PENGUJIAN MARSHALL

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:
Penentuan berat volume benda uji.

1. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi keelehan plastis.
2. Pengujian keelehan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
3. Perhitungan Kuosien Marshall, adalah perbandingan antara stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA).
5. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh *U.S. Corps. Engineer*.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur keelehan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau ASTM D 1559-76.



Gambar 2.4 Alat Marshall.

Jadi, dari keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal, terlihat bahwa hanya nilai stabilitas dan *flow* yang ditentukan dengan mempergunakan alat Marshall, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji, dan perhitungan. Walaupun demikian, secara umum telah dikenali bahwa pengujian Marshall meliputi pengujian keenam butir di atas.

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi:

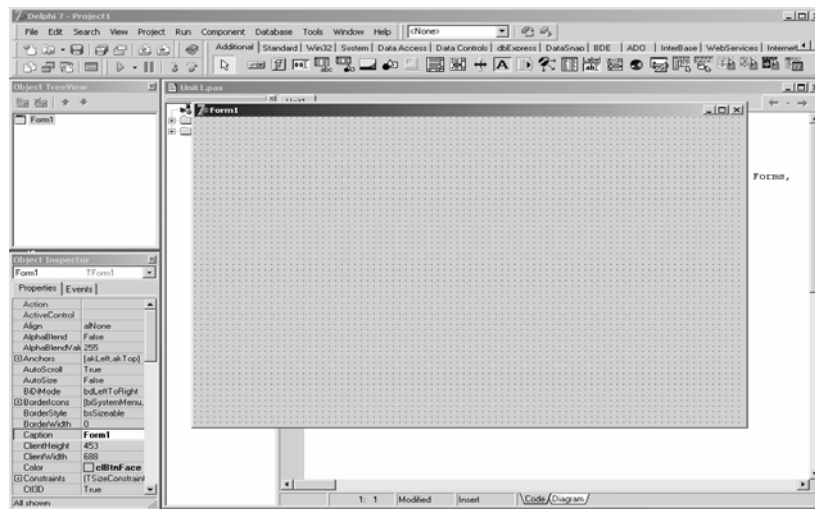
1. Persiapan benda uji.
2. Penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji.
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan sifat volumetrik benda uji.

3. KOMPUTERISASI

3.1 Borland Delphi 7

Bahasa pemrograman yang dipergunakan dalam Penelitian ini adalah mempergunakan *Borland Delphi 7* untuk selanjutnya dalam Penelitian ini disebut *Delphi*. *Delphi* merupakan bahasa pemrograman yang mempunyai cakupan kemampuan yang luas dan sangat canggih. Berbagai jenis aplikasi dapat dibuat dengan *Delphi*, termasuk aplikasi untuk mengolah teks, grafik, angka, *database* dan aplikasi *web*.

Untuk mempermudah pemrograman dalam membuat program aplikasi, *Delphi* menyediakan fasilitas pemrograman yang sangat lengkap. Fasilitas pemrograman tersebut dibagi dalam dua kelompok, yaitu *object* dan bahasa pemrograman. Secara ringkas, *object* adalah suatu komponen yang mempunyai bentuk fisik dan biasanya dapat dilihat (visual). *Object* biasanya dipakai untuk melakukan tugas tertentu dan mempunyai batasan-batasan tertentu. Sedangkan bahasa pemrograman secara singkat dapat disebut sebagai kumpulan text yang mempunyai arti tertentu dan disusun dengan aturan tertentu serta untuk menjalankan tugas tertentu. *Delphi* menggunakan struktur bahasa pemrograman Object Pascal yang sudah dikenal di kalangan pemrogram. Gabungan dari *object* dan bahasa pemrograman ini sering disebut sebagai bahasa pemrograman berorientasi *object* atau *Object Oriented Programming (OOP)*.



Gambar 3.1 Tampilan dasar *Delphi*.

3.2 Konsep Umum Program

Sistem pemrograman perhitungan hasil pengujian *Marshall* ini, sistem pemrogramannya mempergunakan *database*. Hal ini disebabkan karena data yang diolah saling terkait satu dengan lainnya.

Untuk mempermudah pemrograman dan pengolahan data maka dipergunakan operasi dalam bentuk tabel seperti yang dilakukan dalam pengoperasian program *Excel*. Sedangkan untuk pengolahan fungsi regresi dipergunakan fasilitas bahasa *Pascal* yang telah disediakan oleh *Delphi*.

3.2.1 Data Masukan

Data masukan untuk program ini dibagi menjadi dua yaitu:

1. Data masukan untuk tabel perhitungan hasil pengujian Marshall.

Sebagai data masukan untuk tabel perhitungan hasil pengujian Marshall antara lain:

- a. Berat jenis bulk, G_{sb} .
- b. Berat jenis aspal.
- c. Kalibrasi *proving ring*.
- d. Persentase berat aspal terhadap total agregat.
- e. G_{mm} .
- f. Berat benda uji di udara.
- g. Berat benda uji dalam air.
- h. Berat benda uji kering permukaan.
- i. Isi benda uji.

- j. Bacaan dial.
 - k. *Flow* (kelelehan).
2. Data masukan untuk menampilkan grafik hasil perhitungan.
Sebagai data masukan untuk menampilkan grafik antara lain:
- a. Koefisien fungsi regresi.
Koefisien fungsi regresi diperoleh dari hasil perhitungan program.
 - b. Syarat batas.
Syarat batas diperoleh dari ketentuan dari tabel sifat campuran beton aspal.

3.2.2 Proses Data

Proses data dalam program untuk tabel perhitungan hasil pengujian Marshall adalah sebagai berikut:

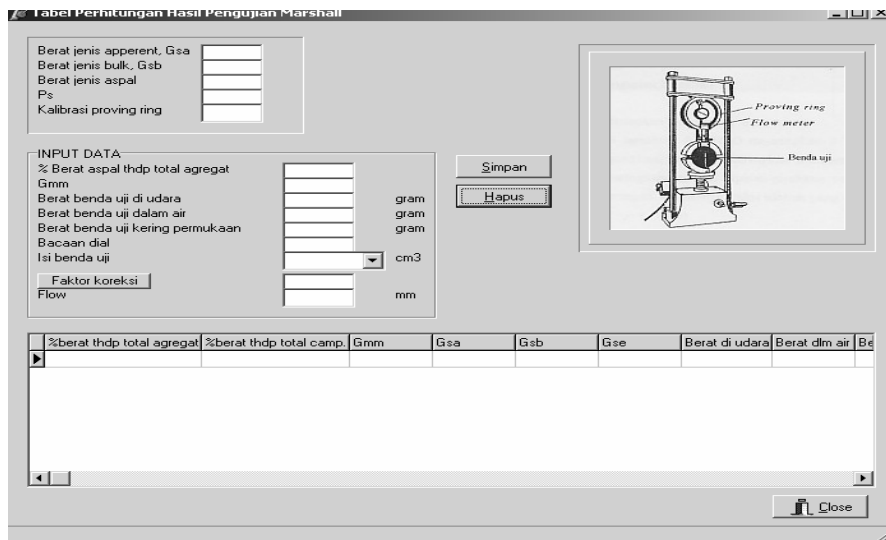
1. $B = \frac{A}{100 + A} \times 100$
2. $D = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$
3. $H = G - F$
4. $I = \frac{E}{H}$
5. $J = 100 \times \frac{(D - G_{sb})}{(G_{se} \times G_{sb})} \times \text{Berat jenis aspal}$
6. $K = A - \left(\frac{K}{100} \right) \times P_s$
7. $L = 100 - \frac{J \times P_s}{G_{sb}}$
8. $M = 100 \times \frac{C - I}{G_{sb}}$
9. $N = \frac{100(L - M)}{M}$
10. $R = Q \times \text{kalibrasi } \textit{proving ring}$.
11. $S = R \times \text{faktor koreksi}$.

dengan:

A = Persen berat aspal terhadap total agregat.

B = Persen berat aspal terhadap total campuran

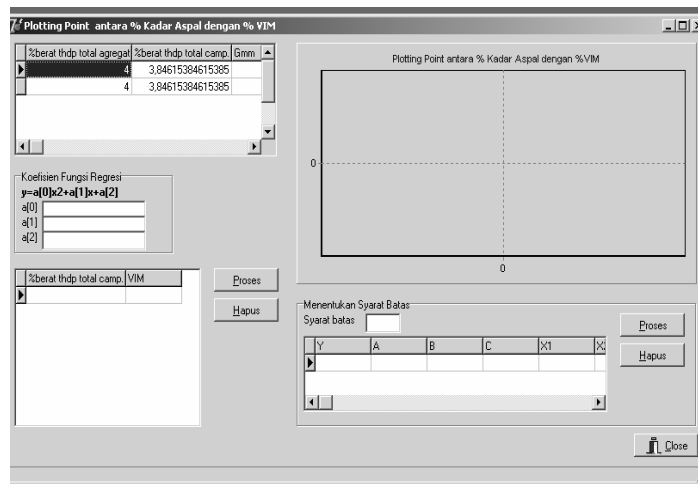
- C = G_{mm} .
- D = G_{se}
- E = Berat benda uji di udara.
- F = Berat benda uji dalam air.
- G = Berat benda uji kering permukaan.
- H = Volume *bulk*.
- I = Berat jenis *bulk*, Gmb.
- J = Pba.
- K = Pbe.
- L = VMA.
- M = VIM.
- N = VFA.
- O = Bacaan dial.
- P = Justifikasi kg.
- Q = Stabilitas Marshall.
- R = *Flow* (kelelehan).
- S = *Marshall Quotient*.



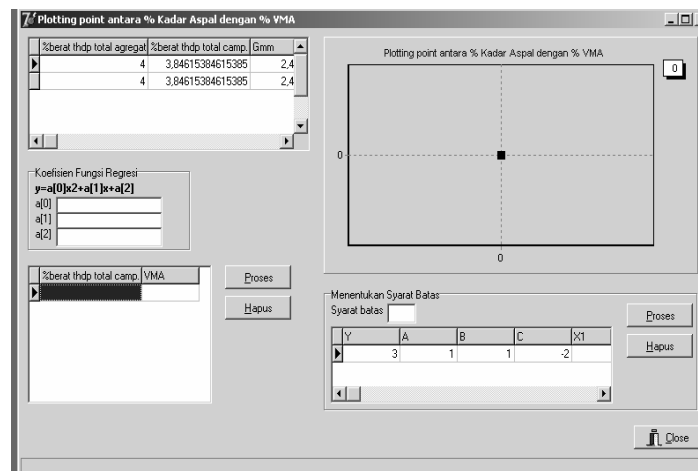
Gambar 3.2 Tampilan tabel perhitungan hasil pengujian Marshall.

3.2.3 Data Keluaran

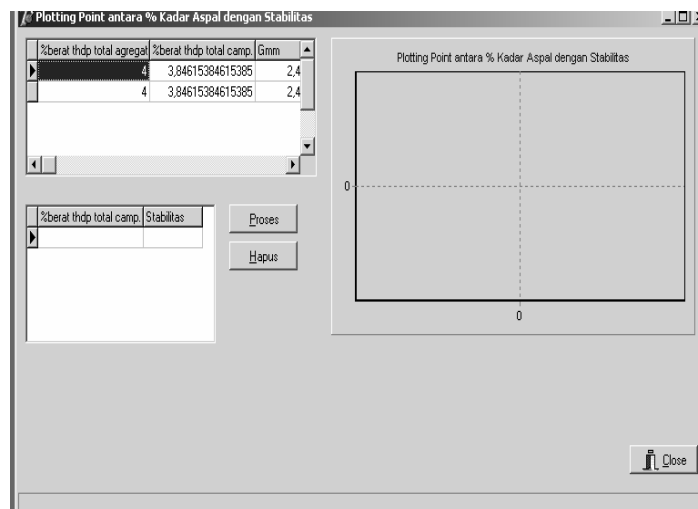
Yang menjadi data keluaran dari program perhitungan hasil pengujian Marshall adalah ditampilkan dalam hasil eksekusi program sebagai berikut:



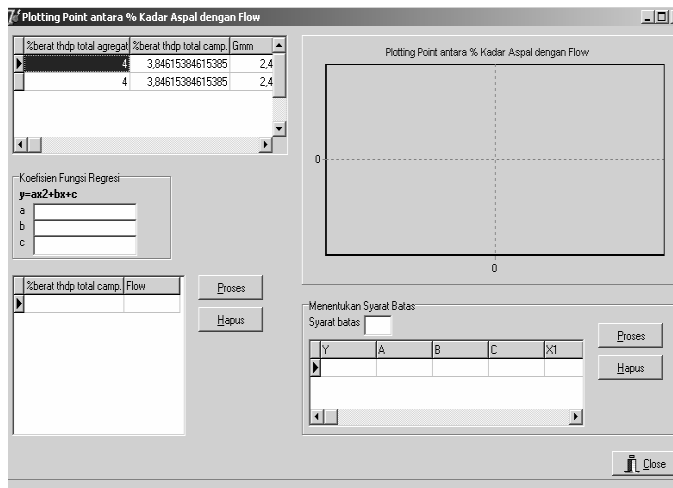
Gambar 3.3 Plotting point antara % kadar aspal terhadap % VIM.



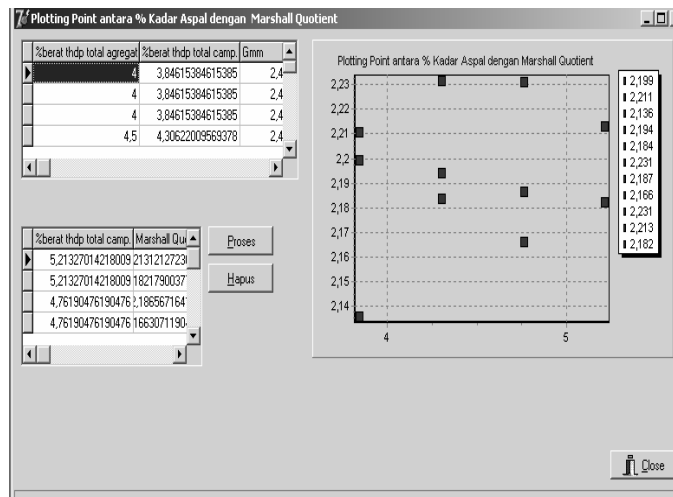
Gambar 3.4 Plotting point antara % kadar aspal terhadap % VMA.



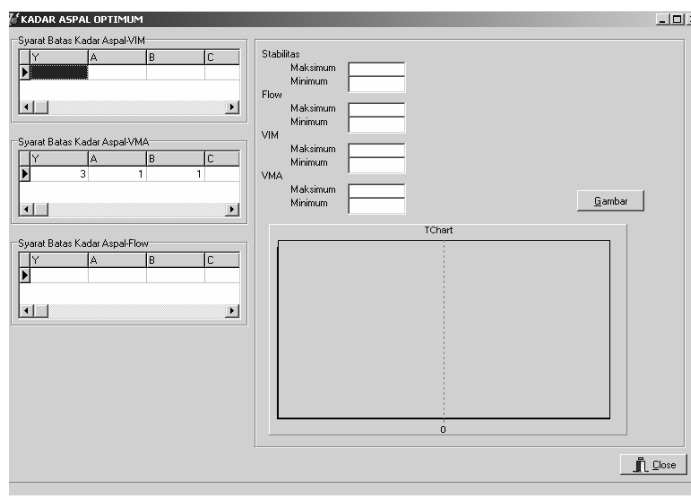
Gambar 3.5 Plotting point antara % kadar aspal terhadap stabilitas.



Gambar 3.6 *Plotting point* antara % kadar aspal terhadap *flow* (Kelelehan).



Gambar 3.7 *Plotting point* antara % kadar aspal terhadap *Marshall Quotient*.



Gambar 3.8 Grafik kadar aspal optimum.

3.3 Algoritma Program

Algoritma adalah urutan langkah-langkah logis penyelesaian masalah yang disusun secara sistematis.

1. Algoritma tabel perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - a. Tentukan berat jenis apperent (G_{sa}), berat jenis bulk (G_{sb}), berat jenis aspal, P_s , kalibrasi *proving ring*, % berat aspal terhadap agregat, G_{mm} , berat benda uji di udara, berat benda uji dalam air, berat benda uji kering permukaan, isi benda uji, bacaan dial, dan *flow* (kelelehan).
 - b. Lakukan proses penyimpanan dan pengolahan data dalam bentuk tabel *database*.
 - c. Akhiri program.
2. Algoritma perhitungan regresi polinomial.
 - a. Tentukan jumlah data n , serta titik data x_i dan y_i .
 - b. Lakukan inisialisasi koefisien persamaan simultan.
 - c. Selesaikan persamaan simultan dengan metode yang telah diberikan untuk mendapatkan harga koefisien persamaan.
 - d. Tulis hasil perhitungan.
 - e. Akhiri program.
3. Algoritma perhitungan *plotting point* antara % kadar aspal dengan % VIM.
 - a. Ambil data % berat aspal terhadap total campuran dan % VIM dari tabel perhitungan hasil perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - b. Masukkan koefisien fungsi regresi dari hasil program.
 - c. Lakukan perhitungan dengan persamaan $y = a[0]x^2 + a[1]x + a[2]$, dimana $a[0]$, $a[1]$, $a[2]$ adalah koefisien fungsi regresi, x adalah data % berat aspal terhadap total campuran, dan y adalah % VIM.
 - d. Plot titik x dan y .
 - e. Tentukan syarat batas.
 - f. Lakukan perhitungan dengan mempergunakan rumus abc untuk mendapatkan hasil x_1 dan x_2 .
 - g. Akhiri program.
4. Algoritma perhitungan *plotting point* antara % kadar aspal dengan % VMA.
 - a. Ambil data % berat aspal terhadap total campuran dan % VMA dari tabel perhitungan hasil perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - b. Masukkan koefisien fungsi regresi dari hasil program.

- c. Lakukan perhitungan dengan persamaan $y = a[0]x^2 + a[1]x + a[2]$, dimana $a[0]$, $a[1]$, $a[2]$ adalah koefisien fungsi regresi, x adalah data % berat aspal terhadap total campuran, dan y adalah % VMA.
 - d. Plot titik x dan y .
 - e. Tentukan syarat batas.
 - f. Lakukan perhitungan dengan mempergunakan rumus abc untuk mendapatkan hasil x_1 dan x_2 .
 - g. Akhiri program.
5. Algoritma perhitungan *plotting point* antara % kadar aspal dengan stabilitas.
 - a. Ambil data % berat aspal terhadap total campuran dan stabilitas dari tabel perhitungan hasil perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - b. Masukkan koefisien fungsi regresi dari hasil program.
 - c. Lakukan perhitungan dengan persamaan $y = a[0]x^2 + a[1]x + a[2]$, dimana $a[0]$, $a[1]$, $a[2]$ adalah koefisien fungsi regresi, x adalah data % berat aspal terhadap total campuran, dan y adalah berat volume.
 - d. Plot titik x dan y .
 - e. Akhiri program.
 6. Algoritma perhitungan *plotting point* antara % kadar aspal dengan *flow* (kelelehan).
 - a. Ambil data % berat aspal terhadap total campuran dan *flow* dari tabel perhitungan hasil perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - b. Masukkan koefisien fungsi regresi dari hasil program.
 - c. Lakukan perhitungan dengan persamaan $y = a[0]x^2 + a[1]x + a[2]$, dimana $a[0]$, $a[1]$, $a[2]$ adalah koefisien fungsi regresi, x adalah data % berat aspal terhadap total campuran, dan y adalah *flow*.
 - d. Plot titik x dan y .
 - e. Tentukan syarat batas.
 - f. Lakukan perhitungan dengan mempergunakan rumus abc untuk mendapatkan hasil x_1 dan x_2 .
 - g. Akhiri program.
 7. Algoritma perhitungan *plotting point* antara % kadar aspal dengan *Marshall Quotient*.
 - a. Ambil data % berat aspal terhadap total campuran dan *Marshall Quotient* dari tabel perhitungan hasil perhitungan hasil pengujian Marshall.
 - b. Masukkan koefisien fungsi regresi dari hasil program.

- c. Lakukan perhitungan dengan persamaan $y = a[0]x^2 + a[1]x + a[2]$, dimana $a[0]$, $a[1]$, $a[2]$ adalah koefisien fungsi regresi, x adalah data % berat aspal terhadap total campuran, dan y adalah berat volume.
 - d. Plot titik x dan y .
 - e. Akhiri program.
8. Algoritma perhitunga grafik kadar aspal optimum.
 - a. Masukkan data nilai maksimum dan minimum dari data syarat batas.
 - b. Plot data pada gambar grafik.
 - c. Akhiri program.

4. ANALISIS HASIL PROGRAM

4.1 Contoh Perhitungan

1. Berat jenis *bulk*, G_{sb} = 2,538
2. Berat jenis aspal = 1,03
3. P_s = 96
4. Berat jenis *apparent*, G_{sa} = 2,644
5. % Berat aspal terhadap total agregat (A) = 4 %.
6. % Berat aspal terhadap total campuran (B) = $\frac{A}{100 + A} \cdot 100$
= 3,846 %.
7. $G_{mm}(C) = 2,443$.
8. $G_{sc}(D) = \frac{G_{sb} + P_s}{2}$
= 2,591
9. Berat benda uji di udara (E) = 1089,1 gram.
10. Berat benda uji dalam air (F) = 614 gram.
11. Berat benda uji kering permukaan (G) = 1123,9 gram.
12. Volume *bulk* (H) = $G - F$
= 1123,9 - 614
= 509,9 cm^3
13. Berat jenis bulk, $G_{mb}(I) = \frac{E}{H}$
= 2,136 gr/ml.
14. Kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori agregat, $P_{ab}(J)$

$$= 100 \frac{D - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times \text{berat jenis aspal}$$

$$= 0,83 \%$$

15. Kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, P_{ae} (K)

$$= A - \left(\frac{J}{100} \right) \times P_s$$

$$= 3,20 \%$$

16. VMA (L)

$$= 100 - \frac{I \times P_s}{G_{sb}}$$

$$= 19,2 \%$$

17. VIM (M)

$$= 100 \times \frac{C - I}{C}$$

$$= 12,6 \%$$

18. VFA (N)

$$= \frac{100(L - M)}{L}$$

$$= 34,6 \%$$

19. Bacaan dial (O)

$$= 61 \text{ div}$$

20. Justifikasi kg (P)

$$= Q \times \text{kalibrasi } \textit{proving ring}$$

$$= 716,010 \text{ kg}$$

21. Stabilitas Marshall (Q)

$$= R \times \text{faktor koreksi}$$

$$= 687,4 \text{ kg}$$

22. *Flow* (R)

$$= 3 \text{ mm}$$

23. *Marshall Quotient* (S)

$$= \frac{Q}{R}$$

$$= 229,1 \text{ kg/mm}$$

4.2 Hasil Perhitungan dengan Program

Hasil perhitungan dengan menggunakan program ditampilkan dalam bentuk Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Pengujian Marshall.

%berat thdp total camp.	Gse	Volume bulk	Gmb	Pab	Pae	VMA	VIM	VFA	Stabilitas Marshall	Flow	Marshall Quotient
3,8461538	2,591	509,9	2,1359	0,83014	3,20306	19,2091	12,5702	34,5610	687,37142	3	229,12380
3,8461538	2,591	500,1	2,2105	0,83014	3,20306	16,3855	9,51461	41,9327	642,29788	2,5	256,91915
3,8461538	2,591	500,4	2,1994	0,83014	3,20306	16,8060	9,96969	40,6779	425,73363	2,5	170,29345
4,3062200	2,591	499	2,2314	0,83014	3,70306	15,5947	7,98091	48,8232	766,25011	2,5	306,50004
4,3062200	2,591	503	2,1836	0,83014	3,70306	17,4015	9,95060	42,8175	721,17657	2,5	288,47063
4,3062200	2,591	503,7	2,1947	0,83014	3,70306	16,9831	9,49448	44,0945	800,05526	2,5	320,02210
4,7619047	2,591	500	2,2312	0,83014	4,20306	15,6047	7,34219	52,9489	946,54425	4	236,63606
4,7619047	2,591	509,9	2,1663	0,83014	4,20306	18,0593	10,0370	44,4215	1019,7887	3,5	291,36821
4,7619047	2,591	509,2	2,1865	0,83014	4,20306	17,2929	9,19571	46,8239	924,00748	3	308,00249
5,2132701	2,591	503,9	2,1821	0,83014	4,70306	17,4589	8,73362	49,9762	597,22435	3	199,07478
5,2132701	2,591	503	2,2131	0,83014	4,70306	16,2885	7,43951	54,3267	783,15268	2,5	313,26107
5,2132701	2,591	498,7	2,2273	0,83014	4,70306	15,7487	6,84269	56,5510	918,37329	3	306,12443
5,6603773	2,591	495,3	2,2731	0,83014	5,20306	14,0172	4,28767	69,4115	912,73910	2,5	365,09564
5,6603773	2,591	488	2,2454	0,83014	5,20306	15,0641	5,45297	63,8016	839,49460	2,5	335,79784
5,6603773	2,591	496,3	2,2617	0,83014	5,20306	14,4496	4,76897	66,9959	845,1288	3,5	241,46537
6,1032863	2,591	501,6	2,2408	0,83014	5,70306	15,2404	4,96906	67,3956	839,49460	3	279,83153
6,1032863	2,591	499,7	2,2357	0,83014	5,70306	15,4329	5,18484	66,4040	726,81076	3,5	207,66021
6,1032863	2,591	500,6	2,2383	0,83014	5,70306	15,3356	5,07574	66,9023	815,78405	3	271,92801
6,5420560	2,591	500,6	2,2674	0,83014	6,20306	14,2324	3,18193	77,6431	974,71521	3	324,90507
6,5420560	2,591	497,5	2,2554	0,83014	6,20306	14,6864	3,69438	74,8448	1162,0521	2,5	464,82084
6,5420560	2,591	498,7	2,2572	0,83014	6,20306	14,6186	3,61789	75,2515	1047,9597	2,5	419,18388

4.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Perhitungan dengan Program

4.3.1 Perhitungan Uji t untuk VMA

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu_1 > \mu_2$$

Jumlah data = 21

$$\bar{Y}_1 = \frac{187,2000}{21} = 8,910 \%$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{187,0842}{21} = 8,909 \%$$

$$S_1^2 = \frac{n \times \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2}{n_1(n_1 - 1)}$$

$$= 76,598$$

$$S_2^2 = \frac{n \times \sum Y_2^2 - (\sum Y_2)^2}{n_2(n_2 - 1)}$$

$$= 76,324$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= 76,461$$

$$S_p = 8,744$$

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$= 0,0004$$

$$\alpha = 0,05$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$= 40$$

$$t_\alpha = 1,684$$

$$t = 0,0004$$

Karena $t < t_\alpha$, maka H_0 diterima, sehingga disimpulkan bahwa hasil perhitungan secara program dapat diterima.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan program.

VMA			
Manual		Program	
Y_1	Y_1^2	Y_2	Y_2^2
19,2	368,64	19,2091	368,9895
16,4	268,96	16,3855	268,4846
16,8	282,24	16,8060	282,4416
15,6	243,36	15,5947	243,1947
17,4	302,76	17,4015	302,8122
17,0	289,00	16,9831	288,4257
15,6	243,36	15,6047	243,5067
18,1	327,61	18,0593	326,1383
17,3	299,29	17,2929	299,0444
17,5	306,25	17,4589	304,8132
16,3	265,69	16,2885	265,3152
15,7	246,49	15,7487	248,0216
14,0	196,00	14,0172	196,4819
15,1	228,01	15,0641	226,9271
14,4	207,36	14,4496	208,7909
15,2	231,04	15,2404	232,2698
15,4	237,16	15,4329	238,1744
15,3	234,09	15,3356	235,1806
14,2	201,64	14,2324	202,5603
14,7	216,09	14,6864	215,6903
14,6	213,16	14,6186	213,7035
$\Sigma = 187,2$	$\Sigma = 3197,16$	$\Sigma = 187,0842$	$\Sigma = 3193,1661$

4.3.2 Perhitungan Uji t untuk VIM

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu_1 > \mu_2$$

Jumlah data = 21

$$\bar{Y}_1 = \frac{102,2}{21} = 4,867 \%$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{102,22852}{21} = 4,868 \%$$

$$S_1^2 = \frac{n \times \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2}{n_1(n_1 - 1)}$$

$$= 23,715$$

$$S_2^2 = \frac{n \times \sum Y_2^2 - (\sum Y_2)^2}{n_2(n_2 - 1)}$$

$$= 23,698$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= 23,707$$

$$S_p = 4,869$$

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$= -0,0007$$

$$\alpha = 0,05$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$= 40$$

$$t_\alpha = 1,684$$

$$t = -0,0007$$

Karena $t < t_\alpha$, maka H_0 diterima, sehingga disimpulkan bahwa hasil perhitungan secara program dapat diterima.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan program.

VIM			
Manual		Program	
Y_1	Y_1^2	Y_2	Y_2^2
12,6	158,80	12,57020	158,0099
9,5	90,25	9,51461	90,5278
10,0	100,00	9,96969	99,39472
8,0	64,00	7,98091	63,69492
10,0	100,00	9,95060	99,01444
9,5	90,25	9,49448	90,14515
7,3	53,29	7,34219	53,90775
10,0	100,00	10,03700	100,7414
9,2	84,64	9,19571	84,56108
8,7	75,69	8,73362	76,27612
7,4	54,76	7,43951	55,34631
6,8	46,24	6,84269	46,82241
4,3	18,49	4,28767	18,38411
5,5	30,25	5,45297	29,73488
4,8	23,04	4,76897	22,74307
5,0	25,00	4,96906	24,69156
5,2	27,04	5,18484	26,88257
5,1	26,01	5,07574	25,76314
3,2	10,24	3,18193	10,12468
3,7	13,69	3,69438	13,64844
3,6	12,96	3,61789	13,08913
$\Sigma = 102,2$	$\Sigma = 971,68$	$\Sigma = 102,22852$	$\Sigma = 971,61959$

4.3.3 Perhitungan Uji t untuk VFA

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu_1 > \mu_2$$

Jumlah data = 21

$$\bar{Y}_1 = \frac{501,2}{21} = 23,867 \%$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{501,404}{21} = 23,876 \%$$

$$S_1^2 = \frac{n \times \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2}{n_1(n_1 - 1)}$$

$$= 560,251$$

$$S_2^2 = \frac{n \times \sum Y_2^2 - (\sum Y_2)^2}{n_2(n_2 - 1)}$$

$$= 553,590$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= 556,921$$

$$S_p = 23,599$$

Tabel 4.3 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan program.

VFA			
Manual		Program	
Y ₁	Y ₁ ²	Y ₂	Y ₂ ²
34,6	1197,2	34,5610	1194,46
41,9	1755,6	41,9327	1758,35
40,7	1656,5	40,6779	1654,69
48,8	2381,4	48,8232	2383,70
42,8	1831,8	42,8175	1833,34
44,0	1936,0	44,0945	1944,32
52,9	2798,4	52,9489	2803,59
44,4	1971,4	44,4215	1973,27
46,8	2190,2	46,8239	2192,48
50,0	2500,0	49,9762	2497,62
54,3	2948,5	54,3267	2951,39
56,6	3203,6	56,5510	3198,02
69,4	4816,4	69,4115	4817,96
63,8	4070,4	63,8016	4070,64
67,0	4489,0	66,9959	4488,45
67,4	4542,8	67,3956	4542,17
66,4	4409,0	66,4040	4409,49
66,9	4475,6	66,9023	4475,92
77,6	6021,8	77,6431	6028,45
74,8	5595,0	74,8448	5601,74
75,3	5670,1	75,2515	5662,79
Σ = 501,2	Σ = 23167	Σ = 501,404	Σ = 23187,21

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$= -0,0012$$

$$\alpha = 0,05$$

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$= 40$$

$$t_\alpha = 1,684$$

$$t = -0,0012$$

Karena $t < t_\alpha$, maka H_0 diterima, sehingga disimpulkan bahwa hasil perhitungan secara program dapat diterima.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pemrograman perhitungan hasil pengujian Marshall dengan mempergunakan program Delphi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan hasil uji statistik diperoleh bahwa $t < t_\alpha$, maka perbedaan perhitungan antara manual dan program tidak signifikan, sehingga program dapat dipergunakan.
2. Kesalahan perhitungan dengan mempergunakan manual dapat diminimalisasikan dengan mempergunakan program.
3. Waktu yang dibutuhkan untuk menghitung dapat diperkecil, sehingga waktu jadi efisien.

5.2 Saran

Dari hasil pemrograman perhitungan hasil pengujian Marshall dengan mempergunakan program Delphi dapat disampaikan saran sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pemrograman, dapat diberikan saran bahwa program ini diperlukan beberapa penyempurnaan yaitu kemampuan untuk menggambar grafik dan kemampuan untuk mencetak grafik.
2. Perlu pengembangan untuk modifikasi program untuk beton aspal tidak masif.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO (1990), *Standard Specifications For Transportation Material And Methods of Sampling and Testing*, Part II, "Test", Fifteenth Edition, Washington, D.C.
2. Alam, M. Agus J., *Mengolah Database dengan Borland Delphi 7*, Elex Media Komputindo.

3. Ardiansyah, *Membangun Sistem Komputerisasi Laboratorium*, Elex Media Komputindo.
4. Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian Dan Pengembangan PU, Standar Nasional Indonesia, *Metode Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, SNI 06-2489-1991; SK SNI M-578-1990-03*.
5. Kadir, Abdul, *Dasar Pemrograman Delphi 5.0*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
6. MADCOMS., *Pemrograman Borland Delphi 7(Jilid 1)*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
7. MADCOMS., *Pemrograman Borland Delphi 7(Jilid 2)*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
8. Nasution, Amrinsyah & Zakaria, Hasballah, *Metode Numerik dalam Ilmu Rekayasa Sipil*, Penerbit ITB Bandung
9. Sukirman, Silvia (2004), *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta.
10. Sukirman, Silvia (1997), *Perkerasan Lentur Jalan Raya* ., Penerbit NOVA.
11. Yuliquartiningsih, Deasy, *Perbandingan Indeks Perendaman antara Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Penetrasi 60 dan Aspal Penetrasi 80*, Tugas Akhir, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
12. Zuhri, Zainudin, *Dasar-dasar Pemrograman Visual dengan Delphi 6.0*, Penerbit GRAHA ILMU.