

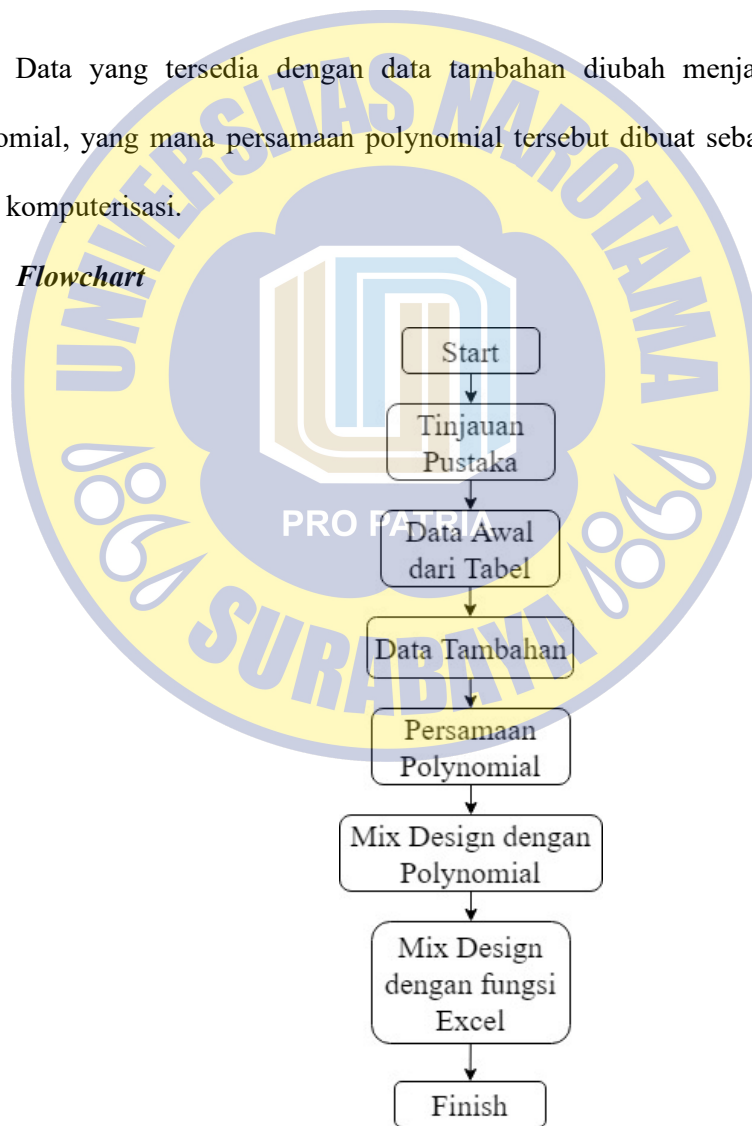
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Data yang ada pada metodologi penelitian ini dibatasi oleh data dari Tabel 2.1, Tabel 2.2, Tabel 2.3, Tabel 2.4, Tabel 2.5, dan Tabel 2.6. Bila ada data yang tidak tersedia, maka dibuatkan tabel tambahan berdasarkan tabel data yang sudah ada.

Data yang tersedia dengan data tambahan diubah menjadi persamaan polynomial, yang mana persamaan polynomial tersebut dibuat sebagai pengganti dalam komputerasi.

3.2. Flowchart

Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian

3.3. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang dilakukan adalah mempelajari SNI 7657 – 2012 tentang bagaimana prosedur atau tata cara pemilihan campuran untuk beton normal. Selain itu juga mempelajari interpolasi lagrange yang akan dipakai sebagai bantuan dalam perhitungan mencari data tambahan.

3.4. Data Awal Tabel Yang Tersedia

Data yang ada pada tabel SNI 7656 – 2012, yakni Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6, dikelompokkan masing – masing dan juga diurutkan. Angka - angka pada masing – masing tabel yang diurutkan digunakan sebagai data yang akan dibuat untuk persamaan polynomial.

3.5. Data Tambahan

Data yang ada atau variabel yang tidak tersedia dalam tabel, dibuatkan tabel sendiri dengan menggunakan interpolasi diantara data dalam tabel yang ada, baik secara baris atau secara kolom. Angka – angka yang didapat dari hasil interpolasi digunakan sebagai data yang akan dibuat untuk persamaan polynomial.

Pada Tabel 2.1, *slump* untuk 50-75, 100-125, 125-150 tidak disertakan, sehingga diperlukan tambahan data, untuk disisipkan di antaranya, data yang tidak tercantum diinterpolasi dengan metode interpolasi lagrange, Sebagai contoh beton tanpa tambahan udara dengan ukuran agregat 19 mm, data awal adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Contoh Data Awal Dari SNI Yang Akan Diinterpolasi

<i>Slump</i>	x	y (19 mm)
25-50	1	190
75-100	3	205
150-175	6	216

Dicari *slump* dengan ukuran 50-75, 100-125, 125-150 atau $x = 2, 4$ dan 5 .

Dengan menggunakan rumus umum interpolasi lagrange (Persamaan 2.14):

$$f(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)\dots(x_1-x_n)}y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)\dots(x-x_n)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)\dots(x_2-x_n)}y_2$$

$$+ \dots + \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_1)(x_n-x_2)\dots(x_n-x_{n-1})}y_n$$

Dari data di atas $n = 3$

$$f(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)}y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)}y_2 + \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_1)(x_3-x_2)}y_3$$

$$f(2) = \frac{(2-3)(2-6)}{(1-3)(1-6)}190 + \frac{(2-1)(2-6)}{(3-1)(3-6)}205 + \frac{(2-1)(2-3)}{(6-1)(6-3)}216 = 198$$

$$f(4) = \frac{(4-3)(4-6)}{(1-3)(1-6)}190 + \frac{(4-1)(4-6)}{(3-1)(3-6)}205 + \frac{(4-1)(4-3)}{(6-1)(6-3)}216 = 210$$

$$f(5) = \frac{(5-3)(5-6)}{(1-3)(1-6)}190 + \frac{(5-1)(5-6)}{(3-1)(3-6)}205 + \frac{(5-1)(5-3)}{(6-1)(6-3)}216 = 214$$

$f(2)$ = Merupakan data tambahan untuk *slump* 50-75 mm

$f(4)$ = Merupakan data tambahan untuk *slump* 100-125 mm

$f(5)$ = Merupakan data tambahan untuk *slump* 125-150 mm

Dari kesimpulan data yang didapatkan untuk ukuran agregat 19 mm adalah:

Tabel 3. 2. Contoh Hasil Data Awal Ditambah Data Hasil Interpolasi

Slump	x	y (19mm)
25-50	1	190
50-75	2	198
75-100	3	205
100-125	4	210
125-150	5	214
150-175	6	216

Dengan cara yang sama didapatkan data yang lain. Tabel 3.3 adalah penambahan dari Tabel 2.1 yang telah dimodifikasi.

Tabel 3.3. Perkiraan Kebutuhan Varian Air, Kadar Udara, Dan Agregat Maksimum Dalam *Slump*

Air (kg/m³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump	9.5	12.7	19	25	37.5	50	75	150
(mm)	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Beton tanpa penambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
50-75 ^{*)}	219	208	198	187	174	162	138	119
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
100-125 ^{*)}	235	222	210	198	186	174	151	-
125-150 ^{*)}	240	226	214	201	189	177	156	-
150-175	243	228	216	202	190	179	160	-
Banyak udara dalam beton (%)								
Udara	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Beton dengan penambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
50-75 ^{*)}	193	185	177	168	158	150	127	113
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
100-125 ^{*)}	209	199	190	180	170	162	139	-
125-150 ^{*)}	214	203	194	183	173	165	146	-
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat pemaparan (%)								
Ringan	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Sedang	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Berat	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Catatan: tanda ^{*)} merupakan data tambahan baru dari hasil Interpolasi Lagrange.

Tabel 2.5 Perkiraan awal berat beton segar, diperlukan revisi dari ACI 211.1-91 (reapproved 2002), dengan satuan lb/yd³, yang merupakan acuan dari SNI 7656:2012, dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. *First Estimate of Weight of Fresh Concrete*

Agg Max(inch)	First estimate	
	Non-air	Air
3/8	3840	3710
1/2	3890	3760
3/4	3960	3840
1	4010	3850
1 ½	4070	3910
2	4120	3950
3	4200	4040
6	4260	4110

Bila dikonversikan satuan lb/yd³ menjadi satuan kg/m³, dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Agg Max(mm)	Perkiraan awal	
	Tanpa	Dengan
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19.0	2345	2275
25.0	2380	2290
37.5	2410	2320
50.0	2445	2345
75.0	2490	2405
150.0	2530	2435

Pada Agg Max 37.5 mm, beton dengan tambahan udara, ada perbedaan dengan Tabel 2.5, dimana nilainya 2350, sehingga SNI 7656:2012, perlu dikoreksi menjadi 2320.

3.6. Persamaan Polynomial

Data – data yang ada dengan menggunakan rumus untuk mencari persamaan polynomial, dimasukkan satu persatu, sehingga setiap kolom pada masing – masing tabel, menjadi suatu persamaan polynomial. Pembuatan persamaan ini menggunakan metode *Least Square Fitting – Polynomial*, seperti pada Bab 2.7.

Tabel 3.1, (yang merupakan Tabel 2.1, dengan penambahan data), terbagi menjadi 3 kelompok.

Masing masing kelompok adalah sebagai berikut:

- 1) Beton tanpa tambahan udara, (Tabel 3.6.)
- 2) Beton dengan tambahan udara (Tabel 3.7.)
- 3) Kadar udara dalam beton (Tabel 3.8.)

Tabel 3.6. Beton Tanpa Tambahan Udara

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump	9.5	12.7	19	25	37.5	50	75	150
(mm)	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
50-75	219	208	198	187	174	162	138	119
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
100-125	235	222	210	198	186	174	151	-
125-150	240	226	214	201	189	177	156	-
150-175	243	228	216	202	190	179	160	-

Tabel 3. 7. Beton Dengan Tambahan Udara

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump	9.5	12.7	19	25	37.5	50	75	150
(mm)	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
50-75	193	185	177	168	158	150	127	113
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
100-125	209	199	190	180	170	162	139	-
125-150	214	203	194	183	173	165	146	-
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-

Tabel 3. 8. Kadar Udara Dalam Beton

Kadar Udara (%)								
Kadar udara	9.5	12.7	19	25	37.5	50	75	150
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Udara	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Ringan	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Sedang	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Berat	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Mencari Persamaan Polynomial, Rumus umum persamaan *least square fitting*

polynomial (persamaan 2.7).

$$f(x) = a_k x^k + a_{k-1} x^{k-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

Bila $k = 3$ dan $n = 8$ (dari tabel 3.9.b)

$$f(x) = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

a_3, a_2, a_1, a_0 dicari dengan persamaan simultan :

$$a_3 \sum_{i=1}^8 x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^8 x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^8 x_i + a_0 \delta = \sum_{i=1}^8 y_i \quad (3.1.a)$$

$$a_3 \sum_{i=1}^8 x_i^4 + a_2 \sum_{i=1}^8 x_i^3 + a_1 \sum_{i=1}^8 x_i^2 + a_0 \sum_{i=1}^8 x_i = \sum_{i=1}^8 x_i y_i \quad (3.1.b)$$

....

$$a_3 \sum_{i=1}^8 x_i^5 + a_2 \sum_{i=1}^8 x_i^4 + a_1 \sum_{i=1}^8 x_i^3 + a_0 \sum_{i=1}^8 x_i^2 = \sum_{i=1}^8 x_i^2 y_i \quad (3.1.c)$$

$$a_4 \sum_{i=1}^8 x_i^6 + a_3 \sum_{i=1}^8 x_i^5 + a_2 \sum_{i=1}^8 x_i^4 + a_1 \sum_{i=1}^8 x_i^3 + a_0 \sum_{i=1}^8 x_i^2 = \sum_{i=1}^8 x_i^3 y_i \quad (3.1.d)$$

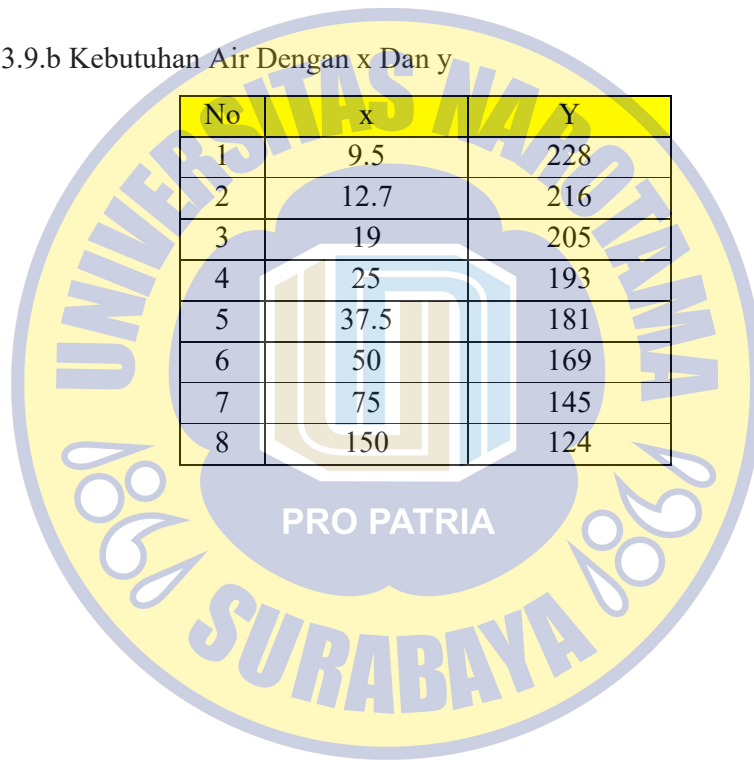
Sebagai contoh menggunakan data dari Tabel 3.6, dengan *slump* “75-100 mm”, yang telah di transpose (Tabel 3.9.a) dan (Tabel 3.9.b)

Tabel 3.9.a. Kebutuhan Air Dengan *Slump* “75-100”

No	AggMax	“75-100”
1	9.5	228
2	12.7	216
3	19	205
4	25	193
5	37.5	181
6	50	169
7	75	145
8	150	124

Tabel 3.9.b Kebutuhan Air Dengan x Dan y

No	x	Y
1	9.5	228
2	12.7	216
3	19	205
4	25	193
5	37.5	181
6	50	169
7	75	145
8	150	124



Tabel 3.10. Mencari Persamaan Polynomial Dengan Metode *Least Square Fitting*, Untuk Persamaan Pangkat 3

No	x	y	x ²	x ³	x ⁴	x ⁵	x ⁶	xy	x ² y	x ³ y
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	9.5	228	90.25	857.375	8145.0625	77378.09375	735091.89	2166	20577	195481.5
2	12.7	216	161.29	2048.383	26014.4641	330383.6941	4195872.91	2743.2	34838.64	442450.728
3	19	205	361	6859	130321	2476099	47045881.00	3895	74005	1406095
4	25	193	625	15625	390625	9765625	244140625.00	4825	120625	3015625
5	37.5	181	1406.25	52734.375	1977539.063	74157714.84	2780914306.64	6787.5	254531.25	9544921.875
6	50	169	2500	125000	6250000	312500000	15625000000.00	8450	422500	21125000
7	75	145	5625	421875	31640625	2373046875	177978515625.00	10875	815625	61171875
8	150	124	22500	3375000	506250000	75937500000	11390625000000.00	18600	2790000	418500000
8	378.7	1461	33268.79	3999999.133	546673269.6	78709854076	11587305547402.40	58341.7	4532701.89	515401449.1
n	Σx	Σy	Σx ²	Σx ³	Σx ⁴	Σx ⁵	Σx ⁶	Σx.y	Σx ² .y	Σx ³ .y

Catatan:

[4] = [2] ^2

[5] = [2] ^3

[6] = [2] ^4

[7] = [2] ^5

[8] = [2] ^6

[9] = [2] * [3]

[10] = [4] * [3]

[11] = [5] * [3]

f(x) = a3 x³ + a2 x² + a1 x + a0

Σy = a3 Σx³ + a2 Σx² + a1 Σx + a0 n

Σxy = a3 Σx⁴ + a2 Σx³ + a1 Σx² + a0 Σx

Σx²y = a3 Σx⁵ + a2 Σx⁴ + a1 Σx³ + a0 Σx²

Σx³y = a3 Σx⁶ + a2 Σx⁵ + a1 Σx⁴ + a0 Σx³

$$1461 = 3999999.13*a_3 + 33268.79*a_2 + 378.7*a_1 + 8*a_0$$

$$58341.7 = 546673269.59*a_3 + 3999999.133*a_2 + 33268.79*a_1 + 378.7*a_0$$

$$4532701.89 = 78709854075.63*a_3 + 546673269.6*a_2 + 3999999.133*a_1 + 33268.79*a_0$$

$$515401449.1 = 11587305547402.40*a_3 + 78709854076*a_2 + 546673269.6*a_1 + 3999999.133*a_0$$

Atau ditulis dalam bentuk matrix:

$$\begin{bmatrix} 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 & 8 \\ 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 \\ 7.87099 \times 10^{10} & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 \\ 1.15873 \times 10^{13} & 78709854076 & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1461 \\ 58341.7 \\ 4532701.89 \\ 5.15401 \times 10^8 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 & 8 \\ 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 \\ 7.87099 \times 10^{10} & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 \\ 1.15873 \times 10^{13} & 78709854076 & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1461 & 33268.79 & 378.7 & 8 \\ 58341.7 & 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 \\ 4532701.89 & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 \\ 5.15401 \times 10^8 & 78709854076 & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 3999999.13 & 1461 & 378.7 & 8 \\ 5.46673 \times 10^8 & 58341.7 & 33268.79 & 378.7 \\ 7.87099 \times 10^{10} & 4532701.89 & 3999999.13 & 33268.79 \\ 1.15873 \times 10^{13} & 5.15401 \times 10^8 & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 3999999.13 & 33268.79 & 1461 & 8 \\ 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 58341.7 & 378.7 \\ 7.87099 \times 10^{10} & 5.46673 \times 10^8 & 4532701.89 & 33268.79 \\ 1.15873 \times 10^{13} & 78709854076 & 5.15401 \times 10^8 & 3999999.13 \end{bmatrix}$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} 3999999.13 & 33268.79 & 378.7 & 1461 \\ 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 33268.79 & 58341.7 \\ 7.87099 \times 10^{10} & 5.46673 \times 10^8 & 3999999.13 & 4532701.89 \\ 1.15873 \times 10^{13} & 78709854076 & 5.46673 \times 10^8 & 5.15401 \times 10^8 \end{bmatrix}$$

$$\det[A] = 3.8983 \times 10^{22}$$

$$\det[A_3] = -1.66242 \times 10^{18}$$

$$\det[A_2] = 6.32983 \times 10^{20}$$

$$\det[A_1] = -8.88266 \times 10^{22}$$

$$\det[A_0] = 9.52298 \times 10^{24}$$

$$a_3 = \det[A_3]/\det[A] = -1.66242 \times 10^{18} / 3.8983 \times 10^{22} = -4.26447 \times 10^{-5}$$

$$a_2 = \det[A_2]/\det[A] = 6.32983 \times 10^{20} / 3.8983 \times 10^{22} = 0.016237428$$

$$a_1 = \det[A_1]/\det[A] = -8.88266 \times 10^{22} / 3.8983 \times 10^{22} = -2.278599273$$

$$a_0 = \det[A_0]/\det[A] = 9.52298 \times 10^{24} / 3.8983 \times 10^{22} = 244.2855808$$

$$f(x) = -0.0000426 * x^3 + 0.0162374 * x^2 - 2.2785993 * x + 244.2855808 \text{ (slump "75-100")}$$

$$\text{Mencari } r\text{-square} . R^2 = \Sigma[f(x)-y_{rt}]^2 / \Sigma[y-y_{rt}]^2$$

$$\text{Dimana : } y_{rt} = \Sigma y / n = 1461/8 = 182.625$$

Tabel 3.11. Mencari Hitungan Persamaan Fungsi x Pada Slump “75-100”

No	$a_3 * x^3$	$a_2 * x^2$	$a_1 * x$	a_0	$f(x)-y_{rt}$	$y - y_{rt}$
[1]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]
1	-0.036562481	1.465427854	-21.6466931	244.2855808	41.44275312	45.375
2	-0.087352634	2.618934722	-28.93821077	244.2855808	35.25395216	33.375
3	-0.292499848	5.861711418	-43.29338619	244.2855808	23.93640622	22.375
4	-0.666323097	10.14839234	-56.96498183	244.2855808	14.17766825	10.375
5	-2.248840452	22.83388277	-85.44747275	244.2855808	-3.201849588	-1.625
6	-5.330584776	40.59356937	-113.9299637	244.2855808	-17.00639823	-13.625
7	-17.99072362	91.33553109	-170.8949455	244.2855808	-35.88955719	-37.625
8	-143.925789	365.3421244	-341.789891	244.2855808	-58.71297474	-58.625

Tabel 3.12. Mencari Hasil R-square (R^2)

No	$[f(x)-y_{rt}]^2$	$[y - y_{rt}]^2$
[1]	[18]	[19]
1	1717.501786	2058.890625
2	1242.841143	1113.890625
3	572.9515426	500.640625
4	201.0062771	107.640625
5	10.25184079	2.640625
6	289.2175807	185.640625
7	1288.060315	1415.640625
8	3447.213403	3436.890625
Σ	8769.043888	8821.875

Catatan:

$$[12] = a_3 * [5]$$

$$[13] = a_2 * [4]$$

$$[14] = a_1 * [2]$$

$$[15] = a_0$$

$$[16] = [12] + [13] + [14] + [15] - y_{rt}$$

$$[17] = [3] - y_{rt}$$

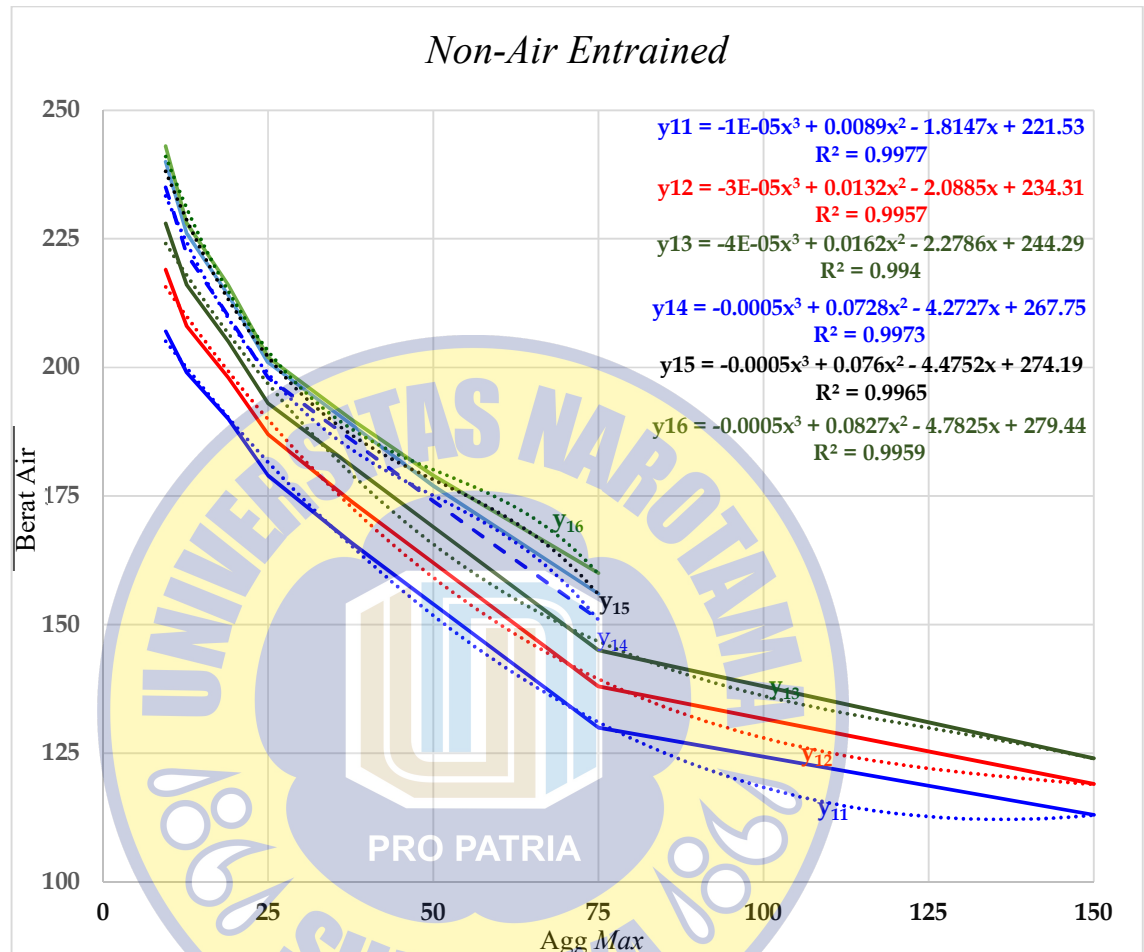
$$[18] = [16]^2$$

$$[19] = [17]^2$$

$$R^2 = \frac{\Sigma[f(x)-y_{rt}]^2}{\Sigma[y-y_{rt}]^2} = \frac{8769.043888}{8821.875} = 0.994011351$$

Dengan cara yang sama didapatkan fungsi polynomial yang lain.

Tabel 3.6 Untuk beton tanpa tambahan udara (*Non-air entrained*), dalam bentuk grafik diperlihatkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2. Agg Max vs Berat Air (Beton tanpa tambahan udara)

y_{11} , y_{12} , y_{13} , y_{14} , y_{15} , y_{16} , masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat

3), untuk *slump* (25-50), (50-75), (75-100), (100-125), (125-150), (150-175).

$$y_{11} = -0.0000111 * x^3 + 0.0089425 * x^2 - 1.8147174 * x + 221.533752 \quad (R^2=0.9977)$$

$$y_{12} = -0.0000291 * x^3 + 0.0131584 * x^2 - 2.088542 * x + 234.3143 \quad (R^2=0.9957)$$

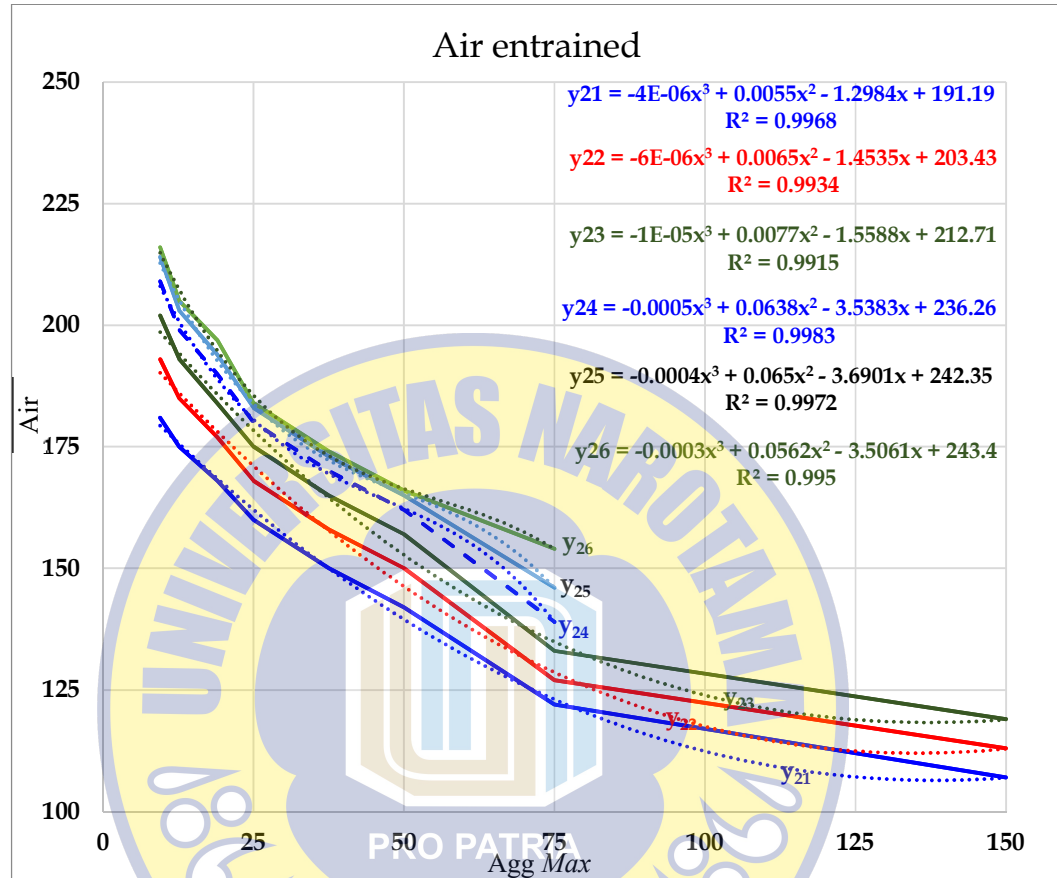
$$y_{13} = -0.0000426 * x^3 + 0.0162374 * x^2 - 2.2785993 * x + 244.2855808 \quad (R^2=0.9940)$$

$$y_{14} = -0.000488 * x^3 + 0.0728043 * x^2 - 4.272658 * x + 267.7511 \quad (R^2=0.9973)$$

$$y_{15} = -0.0004987 * x^3 + 0.076037 * x^2 - 4.475151 * x + 274.1917 \quad (R^2=0.9965)$$

$$y_{16} = -0.000536 * x^3 + 0.0827147 * x^2 - 4.7825228 * x + 279.4357583 \quad (R^2=0.9959)$$

Tabel 3.7 untuk beton dengan tambahan udara (*Air entrained*), dalam bentuk grafik diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Grafik *AggMax* vs Air (Beton dengan tambahan udara)

y_{21} , y_{22} , y_{23} , y_{24} , y_{25} , y_{26} , masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat 3), untuk *slump* (25-50), (50-75), (75-100), (100-125), (125-150), (150-175).

$$y_{21} = -0.0000038x^3 + 0.0054866x^2 - 1.2983588x + 191.1850543 \quad (R^2=0.9968)$$

$$y_{22} = -0.0000055x^3 + 0.0064939x^2 - 1.453547x + 203.4307 \quad (R^2=0.9934)$$

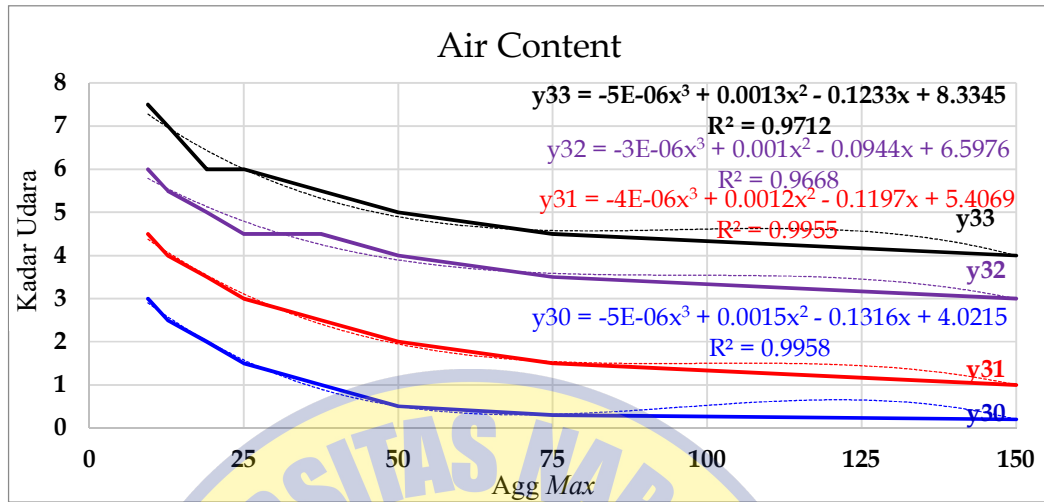
$$y_{23} = -0.0000097x^3 + 0.0076815x^2 - 1.558815x + 212.7070388 \quad (R^2=0.991)$$

$$y_{24} = -0.0004524x^3 + 0.0638114x^2 - 3.538278x + 236.2557 \quad (R^2=0.9983)$$

$$y_{25} = -0.000439x^3 + 0.064992x^2 - 3.690117x + 242.3494 \quad (R^2=0.9972)$$

$$y_{26} = -0.0003385x^3 + 0.0562362x^2 - 3.5060661x + 243.4023641 \quad (R^2=0.995)$$

Kadar udara (*air content*) dalam beton, dalam bentuk grafik diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4. AggMax vs Kadar Udara (%)

y_{30} , y_{31} , y_{32} , y_{33} masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat 3), untuk kadar udara (udara/*entrap*), (ringan/*mild*), (sedang/*moderat*), (berat/*extreme*)

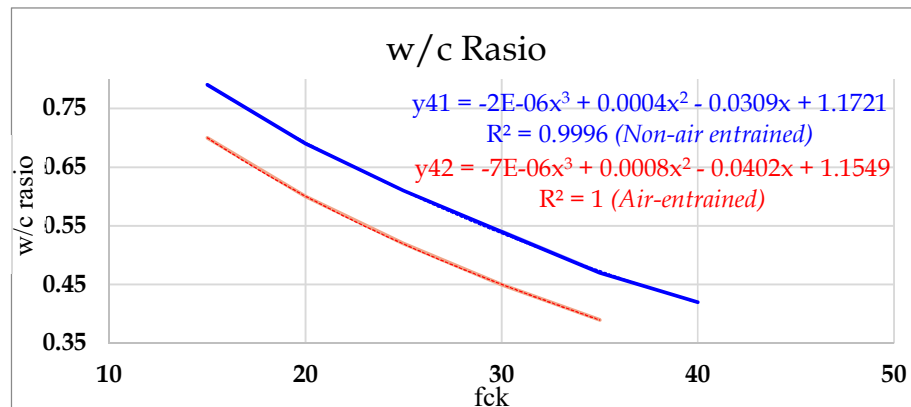
$$y_{30} = -0.0000052 * x^3 + 0.0014847 * x^2 - 0.1316092 * x + 4.0214712 \quad (R^2=0.9958)$$

$$y_{31} = -0.0000041 * x^3 + 0.0012139 * x^2 - 0.1196683 * x + 5.4068884 \quad (R^2=0.9955)$$

$$y_{32} = -0.0000034 * x^3 + 0.000977 * x^2 - 0.0943738 * x + 6.5976472 \quad (R^2=0.9668)$$

$$y_{33} = -0.0000046 * x^3 + 0.0013253 * x^2 - 0.1233447 * x + 8.3344736 \quad (R^2=0.9712)$$

Tabel 2.2. Water content ratio (w/c ratio), dalam bentuk grafik diperlihatkan pada gambar 3.5.



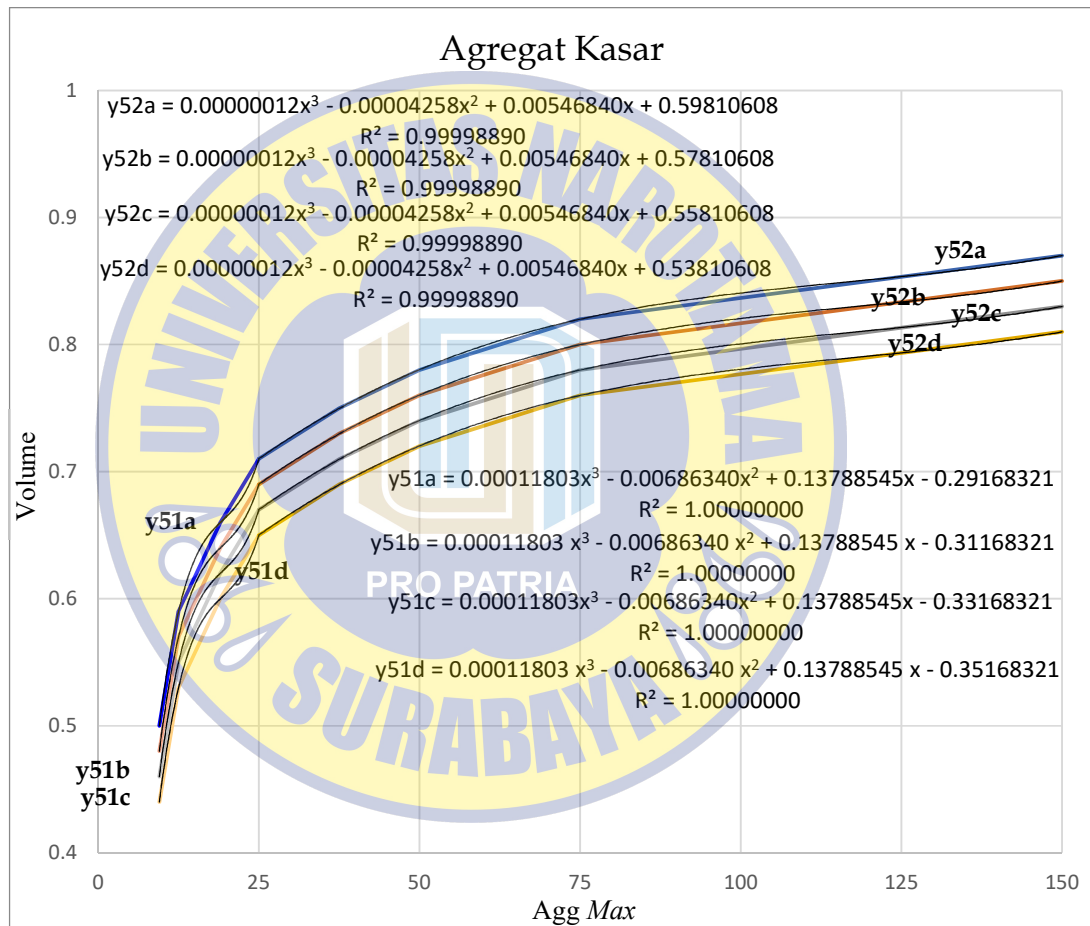
Gambar 3.5. fck vs w/c rasio

y_{41} , y_{42} masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat 3), untuk w/c rasio (tanpa udara), (dengan udara).

$$y_{41} = -0.0000022*x^3 + 0.0003905*x^2 - 0.0308968*x + 1.1721429 \quad (R^2=0.9996)$$

$$y_{42} = -0.0000067*x^3 + 0.0007571*x^2 - 0.0401905*x + 1.1548571 \quad (R^2=0.9999).$$

Tabel 2.4 Perkiraan berat agregat kasar dalam bentuk grafik diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6. Agg Max vs Volume agregat kasar

y_{51a} , y_{51b} , y_{51c} , y_{51d} , dan y_{52a} , y_{52b} , y_{52c} , y_{52d} masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat 3), untuk Volume agregat kasar.

Untuk agregat *Max* antara 9.5 mm sampai 25 mm menggunakan persamaan:

$$y_{51a} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + .1378855*x - .2916832 \quad (R^2 = 1)$$

$$y_{51b} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + .1378855*x - .3116832 \quad (R^2 = 1)$$

$$y_{51c} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + .1378855*x - .3316832 \quad (R^2 = 1)$$

$$y_{51d} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + .1378855*x - .3516832 \quad (R^2 = 1)$$

Untuk agregat *Max* antara 25 mm sampai dengan 150 mm menggunakan

persamaan:

$$y_{52a} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .5981061 \quad (R^2 = 0.99999)$$

$$y_{52b} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .5781061 \quad (R^2 = 0.99999)$$

$$y_{52c} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .5581061 \quad (R^2 = 0.99999)$$

$$y_{52d} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .5381061 \quad (R^2 = 0.99999)$$

Dimana:

a untuk Modulus kehalusan = 2.4

b untuk Modulus kehalusan = 2.6

c untuk Modulus kehalusan = 2.8

d untuk Modulus kehalusan = 3.0

Persamaan y_{51a} , y_{51b} , y_{51c} , y_{51d} dapat disederhanakan menjadi:

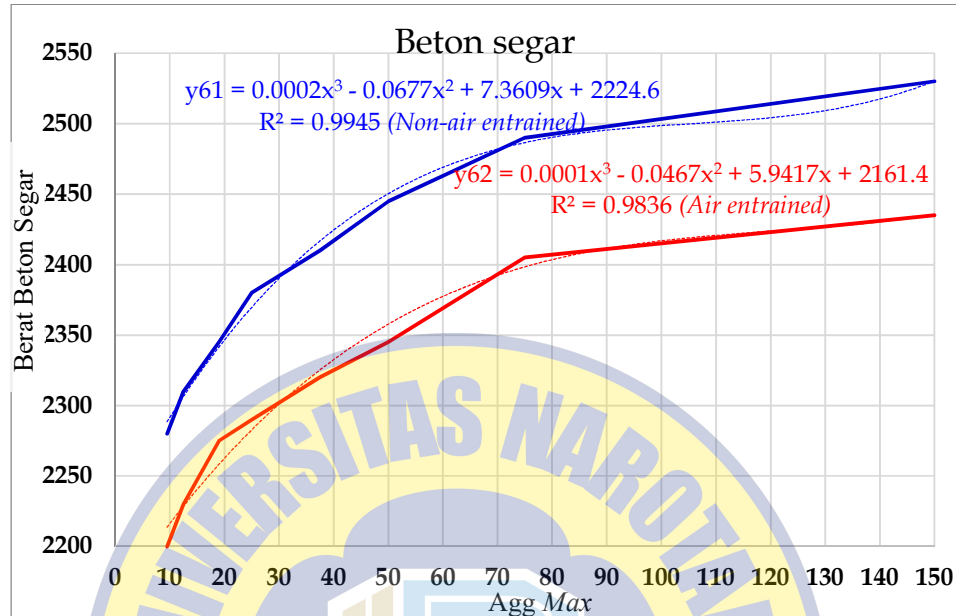
$$y_{51} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + .1378855*x - .051683 - 0.1(FM)$$

Persamaan y_{52a} , y_{52b} , y_{52c} , y_{52d} dapat disederhanakan menjadi:

$$y_{52} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .8381061 - 0.1(FM)$$

Dimana FM = Fineness Modulus (Modulus Kehalusan agregat halus)

Berat beton segar dari Tabel 3.5, diperlihatkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. AggMax vs Berat Beton Segar

y_{61} , y_{62} masing masing merupakan fungsi polynomial (pangkat 3), untuk berat beton segar (tanpa udara), (dengan udara).

$$y_{61} = + 2.14443E-04*x^3 - 6.765698E-02*x^2 + 7.360915*x + 2224.583 \quad (R^2 = 0.9945)$$

$$y_{62} = + 1.28711E-04*x^3 - 4.674232E-02*x^2 + 5.941731*x + 2161.381 \quad (R^2 = 0.9836)$$

3.7. *Mix Design* dengan Polynomial

Urutan langkah rancangan campur (*mix design*) menggunakan persamaan polynomial yang baru.

1. Mencari berat air.

Untuk beton tanpa tambahan udara (Tabel 3.6.) menggunakan persamaan polynomial:

a) *Slump* “25-50 mm”

$$y_{11} = - 0.0000111*x^3 + 0.0089425*x^2 - 1.8147174*x + 221.533752$$

$$(R^2=0.9977)$$

b) *Slump* “50-75 mm”

$$y_{12} = - 0.0000291*x^3 + 0.0131584*x^2 - 2.088542*x + 234.3143$$

$$(R^2=0.9957)$$

c) *Slump* “75-100 mm”

$$y_{13} = - 0.0000426*x^3 + 0.0162374*x^2 - 2.2785993*x + 244.2855808$$

$$(R^2=0.9940)$$

d) *Slump* “100-125 mm”

$$y_{14} = - 0.000488*x^3 + 0.0728043*x^2 - 4.272658*x + 267.7511$$

$$(R^2=0.9973)$$

e) *Slump* “125-150 mm”

$$y_{15} = - 0.0004987*x^3 + 0.076037*x^2 - 4.475151*x + 274.1917$$

$$(R^2=0.9965)$$

f) *Slump* “150-175 mm”

$$y_{16} = - 0.000536*x^3 + 0.0827147*x^2 - 4.7825228*x + 279.4357583$$

$$(R^2=0.9959)$$

Untuk beton dengan tambahan udara (tabel 3.7) menggunakan persamaan polynomial:

a) *Slump* “25-50 mm”

$$y_{21} = - 0.0000038*x^3 + 0.0054866*x^2 - 1.2983588*x + 191.1850543$$

$$(R^2=0.9968)$$

b) *Slump* “50-75 mm”

$$y_{22} = - 0.0000055*x^3 + 0.0064939*x^2 - 1.453547*x + 203.4307$$

$$(R^2=0.9934)$$

c) *Slump* “75-100 mm”

$$y_{23} = - 0.0000097*x^3 + 0.0076815*x^2 - 1.558815*x + 212.7070388$$

$$(R^2=0.991)$$

d) *Slump* “100-125 mm”

$$y_{24} = - 0.0004524*x^3 + 0.0638114*x^2 - 3.538278*x + 236.2557$$

$$(R^2=0.9983)$$

e) *Slump* “125-150 mm”

$$y_{25} = - 0.000439*x^3 + 0.064992*x^2 - 3.690117*x + 242.3494$$

$$(R^2=0.9972)$$

f) *Slump* “150-175 mm”

$$y_{26} = - 0.0003385*x^3 + 0.0562362*x^2 - 3.5060661*x + 243.4023641$$

$$(R^2=0.995)$$

Untuk mencari kadar udara (Tabel 3.8.) yang ada pada beton menggunakan persamaan polinomial:

a) Beton tanpa tambahan udara, banyak udara dalam beton (%)

$$y_{30} = - 0.0000052*x^3 + 0.0014847*x^2 - 0.1316092*x + 4.0214712$$

$$(R^2=0.9958)$$

b) Beton dengan tambahan udara, pemaparan ringan (%):

$$y_{31} = - 0.0000041*x^3 + 0.0012139*x^2 - 0.1196683*x + 5.4068884$$

$$(R^2=0.9955)$$

- c) Beton dengan tambahan udara, pemaparan sedang (%):

$$y_{32} = - 0.0000034*x^3 + 0.000977*x^2 - 0.0943738*x + 6.5976472$$

$$(R^2=0.9668)$$

- d) Beton dengan tambahan udara, pemaparan berat (%):

$$y_{33} = - 0.0000046*x^3 + 0.0013253*x^2 - 0.1233447*x + 8.3344736$$

$$(R^2=0.9712)$$

Dimana x = nominal agregat *Maximum*

2. Mencari w/c ratio (tabel 2.2) menggunakan persamaan polynomial:

- a) Beton tanpa tambahan udara :

$$y_{41} = - 0.0000022*x^3 + 0.0003905*x^2 - 0.0308968*x + 1.1721429$$

$$(R^2=0.9996)$$

- b) Mencari agregat beton tanpa tambahan udara:

$$y_{42} = - 0.0000067*x^3 + 0.0007571*x^2 - 0.0401905*x + 1.1548571$$

$$(R^2=0.9999)$$

Dimana x = fck

3. Perkiraan berat agregat kasar (tabel 2.4), menggunakan persamaan polynomial:

- a) Bila ukuran x antara 9.5 mm sampai 25 mm:

$$y_{51} = + 1.18027E-04*x^3 - 6.863402E-03*x^2 + 0.1378855*x - 0.051683 -$$

$$0.1*(FM)$$

- b) Bila ukuran x antara 25 mm sampai 150 mm:

$$y_{52} = + 1.21E-07*x^3 - 4.2577E-05*x^2 + 5.468405E-03*x + .8381061 -$$

$$0.1*(FM)$$

Dimana x = Nominal agregat *Maximum*, dan FM = Modulus kehalusan

agregat halus

4. Estimasi berat beton segar (tabel 3.5), menggunakan persamaan polynomial:

a) Beton tanpa tambahan udara

$$y_{61} = + 2.14443E-04*x^3 - 6.765698E-02*x^2 + 7.360915*x + 2224.583$$

b) Beton dengan tambahan udara

$$y_{62} = + 1.28711E-04*x^3 - 4.674232E-02*x^2 + 5.941731*x + 2161.381$$

Dimana x = nominal agregat *Maximum*.

3.8. *Mix design* dengan fungsi Excel

Secara manual, menggunakan tabel pada SNI 7656 – 2012, memang sangat cepat, tetapi akan kesulitan atau memakan waktu bila dimasukkan dalam komputer.

Komputer akan lebih familiar dengan rumus dibanding dengan tabel.

- a) Air_Content(Level, AggMax)
- b) WC_ratio(fck, Entrap)
- c) WC_Max(Entrap, Exposure, Tipe, Infl)
- d) WCP_Ratio(WCratio, WCMax)
- e) Wt_Fresh(Entrap, AggMax)
- f) Fv_(Fw, Gc, Gp)
- g) WCPv_Ratio(Fw, Gc, Gp, WCPratio)
- h) Wt_Water(Slump, Entrap, AggMax)
- i) Wt_FlyAsh(Fw, WtWater, WCPratio)
- j) Wt_Cement(Fw, WtWater, WCPratio)
- k) Wt_Coarse(FM, AggMax, DryRodCA)
- l) Wt_Fine(FM, WtFresh, WtWater, WtCoarse, WCPratio)
- m) Vol_Water(Slump, Entrap, AggMax)
- n) Vol_FlyAsh(Fw, Gc, Gp, WtWater, WCPratio)

- o) $\text{Vol_Cement}(Fw, Gc, Gp, WtWater, WCPratio)$
- p) $\text{Vol_Coarse}(Gca, FM, AggMax, DryRodCA)$
- q) $\text{Vol_Fine}(AirContent, VolWater, VolCement, VolFlyAsh, VolCoarse)$
- r) $\text{Wtv_Water}(Gw, VolWater)$
- s) $\text{Wtv_FlyAsh}(Gp, VolFlyAsh)$
- t) $\text{Wtv_Cement}(Gc, VolCement)$
- u) $\text{Wtv_Coarse}(Gca, VolCoarse)$
- v) $\text{Wtv_Fine}(GFA, VolFine)$
- w) $\text{WCor_Water}(WtWater, WtCoarse, WtFine, MoisCA, MoisFA, AbsCA, AbsFA)$
- x) $\text{WCor_FlyAsh}(WtFlyAsh)$
- y) $\text{WCor_Cement}(WtCement)$
- z) $\text{WCor_Coarse}(WtCoarse, MoisCA)$
- aa) $\text{WCor_Fine}(WtFine, MoisFA)$
- bb) $\text{WvCor_Water}(WtvWater, WtvCoarse, WtvFine, MoisCA, MoisFA, AbsCA, AbsFA)$
- cc) $\text{WvCor_FlyAsh}(Fw, Gc, Gp, WtWater, WCPratio)$
- dd) $\text{WvCor_Cement}(Fw, Gc, Gp, WtWater, WCPratio)$
- ee) $\text{WvCor_Coarse}(WtvCoarse, MoisCA)$
- ff) $\text{WvCor_Fine}(WtvFine, MoisFA)$

Masing masing fungsi, dapat dilihat pada lampiran (kode sumber / *source code*)