



ANALISIS STATIK TEGANGAN PIPA PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR KARTINI YOGYAKARTA

Edy Karyanta, Budi Santoso, Hana Subhiyah

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

ANALISIS STATIK TEGANGAN PIPA PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR KARTINI YOGYAKARTA. Analisis tegangan statik pada sistem pendingin sekunder reaktor Kartini Yogyakarta telah dilakukan. Analisa dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi akibat beban sustain dan beban ekspansi. Gabungan beban sustain dan beban termal yang bekerja secara bersamaan dapat menimbulkan pergeseran, puntiran, momen dan tegangan pada sistem perpipaan. Tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tidak boleh melebihi batasan-batasan yang diijinkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tegangan statik pada sistem perpipaan pendingin sekunder reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa menuju cooling tower. Hasil analisis tegangan dari sistem perpipaan ini akan digunakan sebagai data awal untuk dilakukan analisis dinamik. Dari hasil analisa static dengan bantuan perangkat lunak CAESAR II menunjukkan bahwa tegangan perpipaan system pendingin sekunder Reaktor Kartini jalur pompa ke cooling tower masih di bawah batasan yang diijinkan.

Kata Kunci : Tegangan pipa, Reaktor Kartini Yogyakarta, CAESAR II

ABSTRACT

STATIC STRESS ANALYSIS OF THE SECONDARY COOLANT PIPING SYSTEM IN REACTOR KARTINI YOGYAKARTA. Static stress analysis on the secondary coolant piping system of the reactor Kartini Yogyakarta has been done. The analyzes were performed to determine the stresses caused by the sustain load and expand load. Both at sustain load and thermal load are working simultaneously can cause a displacement, rotation, torque and stress on the piping system. The stresses that occur in the piping system shall not exceed the allowable limits. The results of the stress analysis of piping systems will be used as the initial data for the dynamic analysis and evaluation of aging. The purpose of this study was to analyze the static stress on the secondary cooling system piping at the reactor Kartini Yogyakarta from the pump into cooling tower. From the results of static analysis with the help of software CAESAR II show that the stress in the secondary coolant piping system of the reactor Kartini Yogyakarta on the route from the pump to the cooling tower is still below the allowable limits.

Keywords: Pipe stress, Kartini Reactor Yogyakarta, CAESAR II

1. PENDAHULUAN

Reaktor Kartini Yogyakarta adalah reaktor nuklir jenis TRIGA (*Training, Research, Isotop, General Atomic*s) yang merupakan salah satu dari tiga reaktor nuklir di Indonesia. Bagian utama dari reaktor Kartini Yogyakarta yaitu teras reaktor, penukar panas dan menara pendingin yang masing-masing bagian tersebut dihubungkan oleh sistem perpipaan.



Sistem perpipaan reaktor Kartini Yogyakarta terdiri dari sistem perpipaan primer dan sistem perpipaan sekunder. Sistem perpipaan primer berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dari kolam reaktor ke penukar panas, sedangkan sistem perpipaan sekunder berfungsi untuk mensirkulasikan air dari penukar panas ke menara pendingin. Semua sistem perpipaan didesain untuk mampu menahan semua beban yang bekerja baik beban statik maupun baban dinamik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan pipa pada sistem pendingin sekunder reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa ke *Cooling Tower* yang di akibatkan oleh beban statik dengan perangkat lunak CAESAR II. Hasil dari analisis ini dapat digunakan sebagai data awal untuk analisis dinamik berkenaan dengan terjadinya gempa di Yogyakarta.

2. TEORI

2.1 Analisa Statik

Kemampuan sistem perpipaan untuk menahan semua beban sehingga tidak menimbulkan kegagalan disebut sebagai fleksibilitas sistem perpipaan. Suatu sistem perpipaan harus didesain fleksibel untuk menghindari pergerakan pipa akibat *thermal expansion* atau *thermal contraction*. Pergerakan pipa akibat dari *thermal expansion* atau *thermal contraction* dapat menyebabkan terjadinya tegangan yang berlebihan atau *overstress* maupun *fatigue*, pada *pipe support*, terjadinya kebocoran sambungan pada *flanges* atau pada *Valves*, terjadi kerusakan material pada *Nozzle Equipment (Pump, Tank, Pressure Vessel, Heat Exchanger, dll)* dan terjadinya *Vibration* dan resonansi^[1].

Perubahan suhu zat cair yang berada di dalam pipa akan menyebabkan terjadinya pemuaian atau pengkerutan. Suhu, berat pipa, berat zat cair di dalam pipa dan tekanan di dalam pipa dapat mengakibatkan timbulnya gaya yang bereaksi pada seluruh bagian pipa terutama pada ujung koneksi^[2].

Analisa statik memperhitungkan beban *sustain* dan beban termal yang akan menimpa pipa secara perlahan sehingga sistem perpipaan memiliki cukup waktu untuk menerima, bereaksi dan mendistribusikan beban ke seluruh sistem perpipaan sampai tercapainya keseimbangan.

Beban operasi adalah beban yang terjadi pada sistem perpipaan selama operasi yang meliputi beban *sustain* dan beban termal. Beban *sustain* yaitu beban akibat berat pipa, berat fluida, tekanan dalam pipa, tekanan luar, pengaruh angin dan gempa, serta beban dari salju yang menimpa pipa. Beban *thermal* adalah beban yang ditimbulkan



akibat ditahannya *expansion* atau gerakan suatu pipa yang mengalami pemuaian ataupun pengkerutan akibat temperatur dari fluida yang mengalir didalamnya. Penahanan (*restriction*) yang diberikan dapat berupa *Anchor* yang tersambung ke peralatan (*equipment*)^[2].

Tegangan yang diijinkan dalam desain dan rumus perhitungan tegangan pipa mengacu pada standard ASME (American Society of Mechanical Engineering) atau data dari vendor. Apabila dari analisa yang dilakukan didapatkan hasil sesuai dengan disyaratkan yang maka sistem perpipaan tersebut dapat diterima untuk kondisi operasi.

Tegangan yang terjadi pada beban *sustain* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} \leq 1.0Sh \quad (1)^{[3]}$$

Tegangan akibat adanya tekanan, berat, beban *occasional* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} + \frac{0.75iM_b}{Z} \leq 1.0KSh \quad (2)^{[3]}$$

Tegangan akibat thermal ekspansi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_e = 1000 \left(\frac{iM_0}{Z} \right) \leq S_a + f(S_h + S_L) \quad (3)^{[3]}$$

Beban operasi yaitu tegangan akibat gabungan beban *sustain* dan beban ekspansi termal dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{is} + S_e = \frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} + \frac{0.75iM_c}{Z} \leq (S_h + S_e) \quad (4)^{[3]}$$

Tegangan yang diakibatkan oleh adanya pergeseran S_e dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_e = ((S_h)^2 + 4(S_t)^2)^{1/2} \quad (5)^{[3]}$$

Batas tegangan yang diijinkan S_A dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (6)^{[3]}$$



dengan:

- D_0 : Diameter luar pipa, mm
- P : Tekanan dari dalam pipa, kg/mm^2
- t_n : Tebal minimum dinding pipa, mm
- i : Faktor intensifikasi tegangan
- Z : Seksi modulus pipa, mm^3
- M_a : Resultan momen pada kondisi sustain, kg-mm
- M_b : Resultan momen pada kondisi ekspansi, kg-mm
- M_c : Resultan momen pada kondisi *occasional*, kg-mm
- S_b : Tegangan *bending*, kg/mm^2
- S_c : Tegangan melingkar, kg/mm^2
- S_t : Tegangan torsi, kg/mm^2
- S_a : *Allowable stress range*, kg/mm^2
- f : *stress range reduction factor*

2.2. Perangkat lunak CAESAR

Perangkat lunak CAESAR merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat menganalisis tegangan yang terjadi pada suatu sistem perpipaan. Perangkat lunak CAESAR dapat mengevaluasi respon struktural dan tekanan dari sistem perpipaan dengan kode dan standar internasional.

3. METODOLOGI

Struktur perpipaan dimodelkan dengan perangkat lunak CAESAR II dengan masukan data dari gambar isometrik, informasi proses, spesifikasi material pipa dan *equipment* yang digunakan, dokumen spesifikasi perancangan *equipment*, standar yang digunakan dan *catalog* untuk: pipa, *valve elbow*, *flange*, *tee* dan data *equipment* dari vendor.

Setelah semua data yang diperlukan lengkap, maka sistem pemipaan dapat dimodelkan dengan perangkat lunak CAESAR II. Data yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak CAESAR II meliputi node, dimensi pipa, arah *routing* pipa, besaran pengukuran, komponen perpipaan, jenis material pipa, temperatur, tekanan fluida, densitas fluida maupun densitas isolasi pipa. CAESAR II mempunyai fasilitas operasi

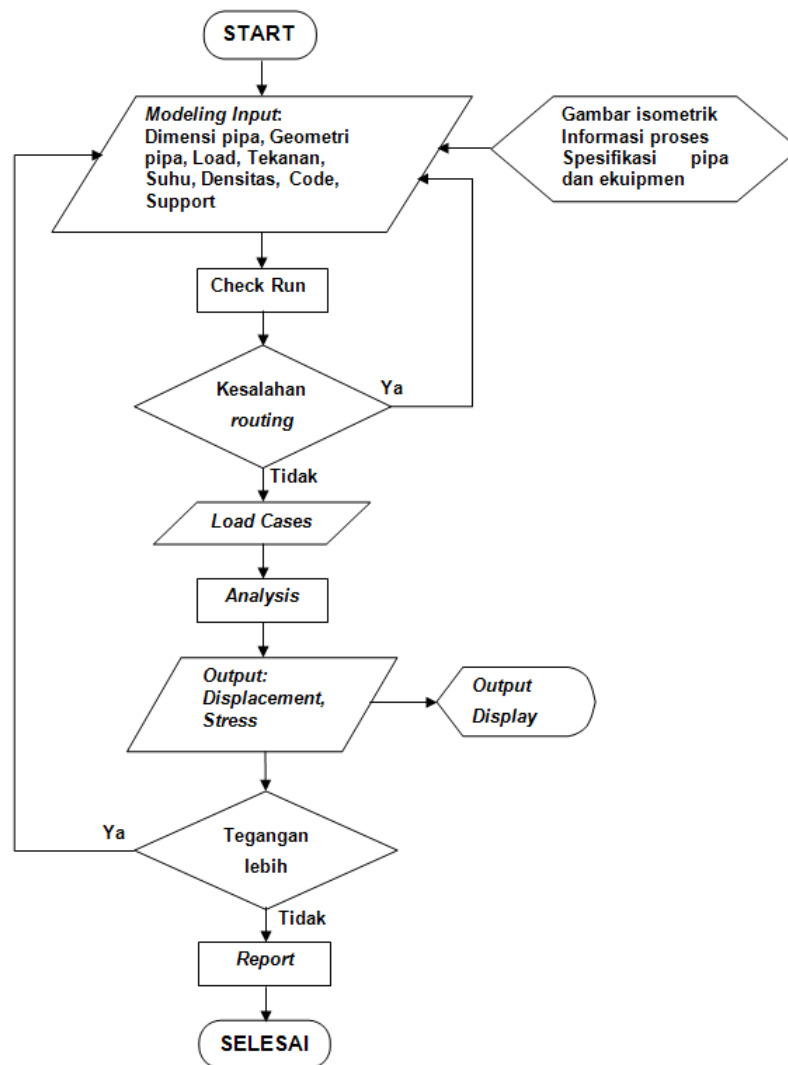


untuk mengecek *routing* pipa dengan mode operasi "*ceck run*", apabila ada kesalahan *routing* pipa maka dapat dilakukan perbaikan model. Apabila tidak ada kesalahan *routing* maka dapat dilanjutkan memasukkan kombinasi pembebanan dengan mode "*load case*". Kombinasi pembebanan berupa gabungan antara berat komponen perpipaan, tekanan dan temperatur pada keadaan tidak operasi, operasi maupun pada keadaan *hydrotest*. Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis tegangan perpipaan, apabila tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan maka dapat dilakukan pemeriksaan data masukan, dan apabila tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diijinkan maka dapat dilakukan pencetakan *report*.

Kondisi operasi sebagai data input CAESAR adalah sebagai berikut:

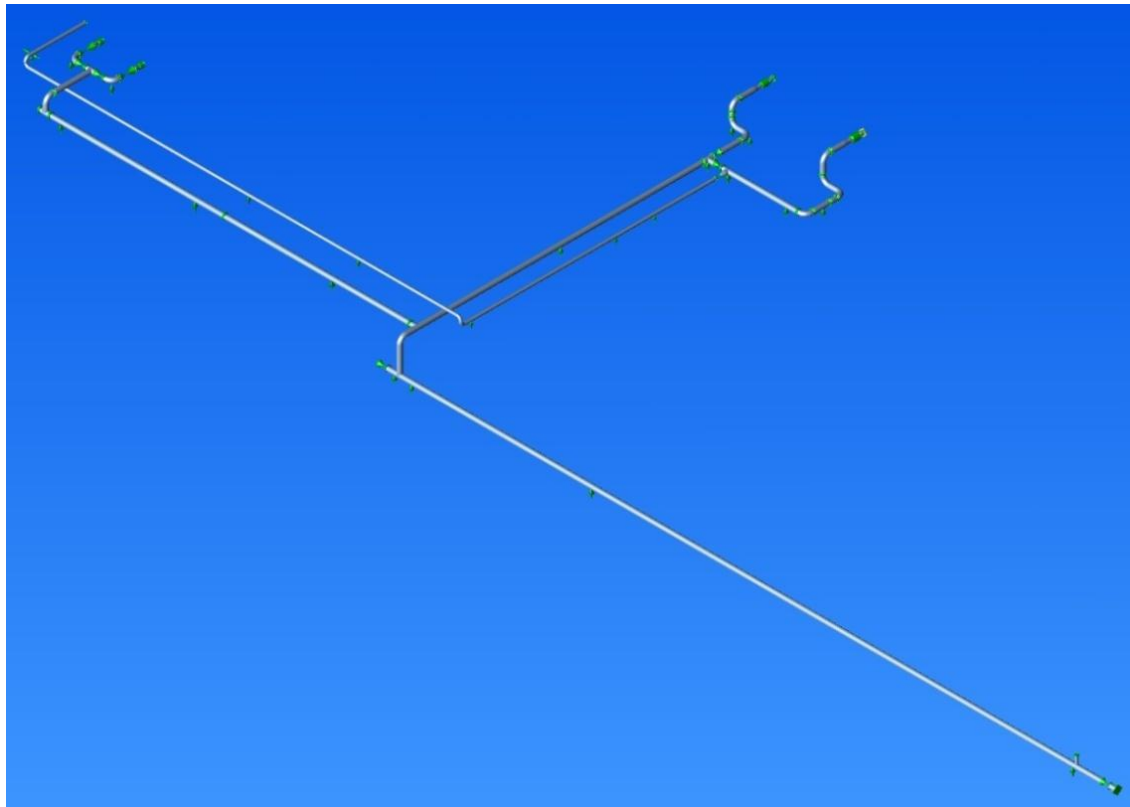
Tekanan desain	:	0.538 kg/cm ²
Suhu desain	:	38 °C
Diameter pipa	:	73.0250 mm
Ketebalan pipa	:	5.1562 mm
Material pipa ASME	:	(102)A53B
E modulus axial	:	2.0741 x 10 ⁶ kg/cm ²
Densitas fluida	:	1000 kg/m ³
Code	:	ASME B31.1

Blok diagram alir analisa tegangan pipa seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram alir analisa tegangan pipa

Berdasarkan semua data yang diaplikasikan pada sistem perpipaan baik *node*, dimensi, jenis komponen pipa, temperatur, tekanan fluida, jenis material pipa, densitas pipa maupun densitas fluida kemudian dilakukan pemodelan. Pemodelan sistem perpipaan pendingin reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa ke *Cooling Tower* dengan perangkat lunak CAESAR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan perpipaan sistem pendingin reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa ke *Cooling Tower*

Tahap selanjutnya adalah melakukan kalkulasi dan evaluasi terhadap tegangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan batas tegangan yang diijinkan.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tegangan pipa untuk pergeseran dan rotasi statik pada sistem perpipaan pendingin reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa ke *Cooling Tower* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pergeseran dan rotasi

Case	Max/Min/Node	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	RX (°)	RY (°)	RZ (°)
Sustain	Max	0.473	0.312	0.094	0.0247	0.0252	0.1104
	Node	780	1420	1380	710	780	1400
Sustain	Min	-0.729	-1.085	-0.32	-0.0553	-0.014	-0.2982
	Node	118	50	90	720	1349	1390

Dari Tabel 1 dapat dilihat nilai pergeseran (D) maksimum dan minimum serta rotasi (R) maksimum dan minimum. Pergeseran yang terjadi masih sangat kecil sehingga sistem perpipaan tersebut tidak perlu ada penambahan penyangga.



Gaya yang terjadi pada *restrain* untuk pembebanan operasi dan *sustain* seperti ditunjukkan pada Tabel.2.

Tabel 2. *Restrain Summary*

NODE	Load Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	NODE	Load Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)
170	1 (OPE)	89	-1660	-126	855	1 (OPE)	36	-1895	567
	2 (OPE)	190	-1660	-213		2 (OPE)	-102	-1896	560
	3 (SUS)	1	-1659	-1		3 (SUS)	52	-1859	-245
330	1 (OPE)	252	-890	89	900	1 (OPE)	-360	-1212	-50
	2 (OPE)	250	-891	95		2 (OPE)	-344	-1148	17
	3 (SUS)	2	-892	2		3 (SUS)	-405	-1424	-136
340	1 (OPE)	106	-1828	-538	940	1 (OPE)	-525	-1769	78
	2 (OPE)	471	-1819	-275		2 (OPE)	-522	-1783	116
	3 (SUS)	3	-1798	21		3 (SUS)	-336	-1694	14
390	1 (OPE)	-309	-2200	-583	950	1 (OPE)	-378	-1261	21
	2 (OPE)	-500	-2214	-438		2 (OPE)	-383	-1276	3
	3 (SUS)	4	-2236	-93		3 (SUS)	-163	-1278	13
469	1 (OPE)	-2	-145	-44	1119	1 (OPE)	-238	-2162	-603
	2 (OPE)	-5	-169	-50		2 (OPE)	-319	-2085	-538
	3 (SUS)	28	-113	19		3 (SUS)	12	-2329	35
479	1 (OPE)	-144	-1275	-354	1249	1 (OPE)	-554	-2528	517
	2 (OPE)	-175	-1248	-331		2 (OPE)	-702	-2587	331
	3 (SUS)	-56	-1310	-59		3 (SUS)	22	-2388	-48
700	1 (OPE)	-3	-36	10	1330	1 (OPE)	1	-59	0
	2 (OPE)	-1	-35	10		2 (OPE)	1	-59	1
	3 (SUS)	11	-38	1		3 (SUS)	0	-59	-0
710	1 (OPE)	3	-723	217	1380	1 (OPE)	-151	-583	87
	2 (OPE)	24	-725	216		2 (OPE)	-271	-1017	141
	3 (SUS)	-18	-721	5		3 (SUS)	0	0	0
720	1 (OPE)	138	-656	141	1390	1 (OPE)	-1375	-4593	87
	2 (OPE)	132	-656	146		2 (OPE)	-1372	-4592	123
	3 (SUS)	119	-653	-0		3 (SUS)	185	-4523	27
750	1 (OPE)	103	-354	26	1400	1 (OPE)	-3147	-10490	-53
	2 (OPE)	95	-348	43		2 (OPE)	-3146	-10490	-72
	3 (SUS)	-108	-362	4		3 (SUS)	10	-10526	-14
760	1 (OPE)	-318	-1061	-3		1 (OPE)	-557	-2045	258
	2 (OPE)	60	-1073	8	1460	2 (OPE)	-454	-1662	206
	3 (SUS)	-315	-1051	-7		3 (SUS)	575	-2538	437
790	1 (OPE)	44	-737	216					
	2 (OPE)	-179	-730	126					
	3 (SUS)	223	-743	0					

Pada kondisi operasi 1 berlaku temperatur 29⁰C sedangkan pada kondisi operasi 2 berlaku temperatur 38⁰C. Gaya-gaya yang terjadi merupakan beban yang ditanggung oleh *support* dan data ini dapat digunakan untuk evaluasi penyangga dan dudukannya.

Tegangan yang terjadi akibat beban *sustain* dan operasi ditunjukkan pada Tabel.3.



Tabel 3. *Stress Summary*

Node	Case	Code Stress (kg/cm ²)	Allowable (kg/cm ²)	Ratio
1410	<i>Sustain</i>	1014	1202.2	84.3 %
1370	Expantion (T29 ⁰ C)	355.5	2701.4	13.2 %
1370	Expantion (T38 ⁰ C)	482.7	2701.4	17.9 %

Dari Tabel 3 di atas pada node 1410 untuk beban sustain dapat diketahui bahwa tegangan yang terjadi sebesar 1014 kg/cm² atau 84.3 % dari tegangan yang diijinkan sedangkan pada node 1370 untuk case ekspansi pada suhu 29⁰C terjadi tegangan sebesar 355.5 kg/cm² atau 13.2 % dari tegangan yang diijinkan dan 482.7 kg/cm² atau 17.9 % dari tegangan yang diijinkan sehingga sistem perpipaan tersebut masih aman.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa tegangan perpipaan sistem pendingin sekunder reaktor Kartini Yogyakarta jalur pompa ke *Cooling Tower* dengan software CAESAR untuk pembebanan *sustain* maupun ekspansi masih di bawah tegangan maksimum yang diijinkan sehingga sistem perpipaan tersebut cukup aman untuk dioperasikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. SAM KANNAPAN, PE. Introduction to Pipe Stress Analysis, John Wiley & Sans, New York, 1985.
2. <http://pipestress2009.wordpress.com/2008/04/09/pengantar-dynamic-analysis-pada-caesar-ii/> diunduh pada tanggal 10 Oktober 2012.
3. Anonymous, The American Society of Mechanical Engineer, ASME B31.1 Power Piping, ASME International, 2002.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Berapa ratio yang masih diizinkan? (DIAN FITRI)
2. Analisa statik dihubungkan dengan gempa tidak ada substansinya. Analisa akan cocok kalau dipakai untuk analisa dinamik (gempa)? (BAMBANG GALUNG)



-
3. Persamaan code yang dipakai tahun berapa? Karena persamaan code semakin baru, cenderung tidak konservatif, padahal Reaktor Kartini dikonstruksi tahun 1979, seharusnya pakai code tahun 1979? (BAMBANG GALUNG)

Jawaban

1. Batasan tegangan yang diizinkan untuk beban sustain 1202.2 kg/cm^2 dan untuk beban expansion 2701.4 kg/cm^2
2. Analisa statik ini adalah langkah awal untuk melakukan analisa dinamik pada tahap selanjutnya.
3. Persamaan code yang dipakai tahun 2002. Akan dikaji ulang dengan code tahun 1979 apabila diperlukan.