

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Chimney*

Chimney atau cerobong asap merupakan struktur yang berfungsi sebagai ventilasi pembuangan panas gas buang atau asap yang dihasilkan dari kompor, boiler, tungku, atau bahkan perapian ke luar menuju atmosfer. Cerobong asap biasanya tersusun secara vertikal atau mendekati vertikal, dalam arti sangat mendekati vertikal. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan apakah aliran gas telah mengalir dengan lancar atau belum.

Menurut sejarah, Roma menggunakan tabung di dalam tembok untuk menarik asap keluar dari toko roti tetapi cerobong asap nyata hanya muncul di Eropa utara pada abad ke-12. Cerobong asap industri menjadi umum di akhir abad 18. Contoh yang masih ada paling awal dari cerobong asap bahasa Inggris adalah di *Conisborough Perlu* di *Yorkshire* yang berasal dari 1185 AD.

Pada umumnya cerobong asap dapat dijumpai pada lokomotif uap dan bangunan-bangunan industri lain, kapal-kapal di Amerika Serikat pun dilengkapi dengan cerobong asap, atau yang lebih dikenal dengan istilah *stack*.

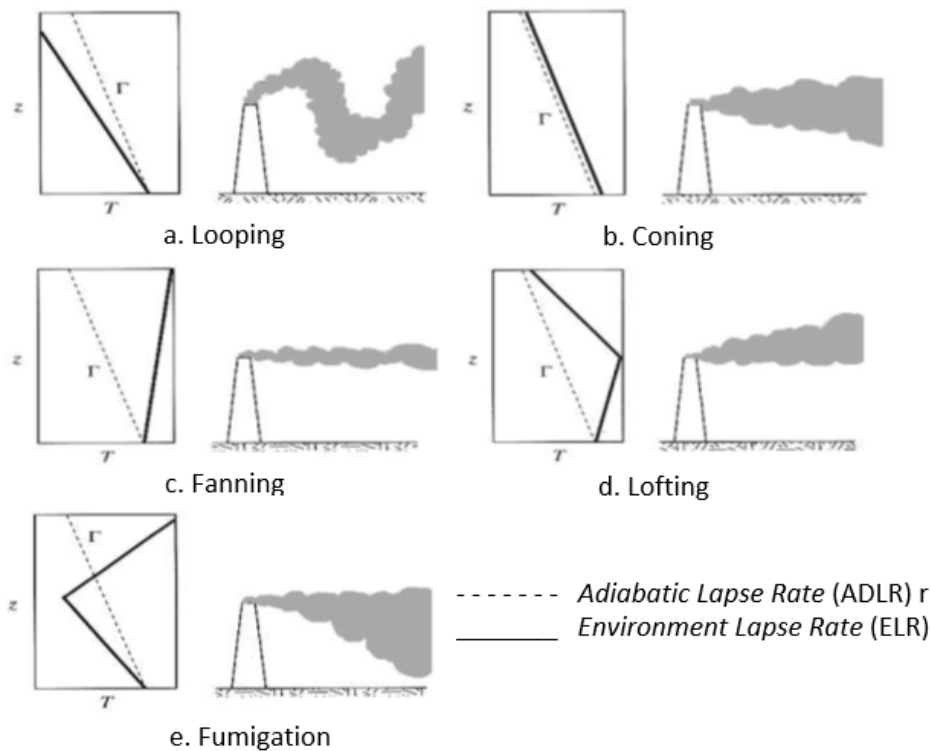


Gambar 2.1 *Chimney* Pada PLTU Paiton
Sumber : <http://www.ptpjb.com/index.php/id/>

Adapun fungsi dari tingginya pembangunan cerobong asap dimaksudkan untuk menarik tinggi-tinggi udara yang ada dan selanjutnya melenyapkan polutan-polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas sehingga dapat mengurangi konsentrasi polutan yang telah disesuaikan dengan batasan peraturan yang berlaku.

2.2 Dispersi Udara

Menurut Vesilind *et al.* (1994), dispersi udara merupakan suatu proses pergerakan udara yang terkontaminasi dari sumber emisi (*source of emission*) menyebar melalui suatu luas area wilayah tertentu untuk mereduksi konsentrasi gas polutan yang terkandung dalam udara terkontaminasi tersebut. Pergerakan atau penyebaran udara terkontaminasi terjadi secara vertikal maupun horizontal.



Gambar 2.2 Sebaran Polutan Udara Pada Berbagai Stabilitas Atmosfir
 Sumber : *Adapted from Masters, 1997*

a. Looping

- Terjadi bila penurunan suhu akibat ketinggian (*lapse rate*) besar sehingga terjadi kondisi labil yang kuat ($ELR > ADLR$).
- Atmosfir didominasi struktur olakan yang relatif besar disertai konveksi bebas.
- Disebabkan oleh ukuran olakan yang lebih besar dari diameter kepulan maka akibatnya transportasi kontaminan akan bergerak ke atas dan ke bawah pada alur yang berliku-liku.
- Transportasi yang tidak menentu tersebut dapat mengakibatkan kepulan yang relatif pekat dan belum mengalami pengenceran kontak dengan penerima pada jarak yang sangat pendek dari cerobong sehingga lokasi kontak konsentrasi kontaminan sesaatnya tinggi.

b. *Conning*

- Terjadi pada waktu siang atau malam pada semua musim.
- Karakteristik atmosfer berangin dan atau berawan pada kondisi stabil mendekati netral ($ELR = ADLR$).
- Tidak adanya turbulensi menyebabkan atmosfer hanya mengalami olakan konveksi paksaan kecil yang ditimbulkan oleh gesekan.
- Tidak adanya penguatan vertikal dari kondisi labil maka penyebaran vertikal dan lateral dari keputan hampir sama sehingga keputan berbentuk kerucut simetri.

c. *Fanning*

- Dicirikan atmosfer yang sangat stabil (*inversion condition*). Kondisi ideal terjadi pada daerah anti siklon terutama pada malam hari.
- Pada kondisi di mana turbulensi lemah atau tidak ada sama sekali, hanya ada sedikit gerakan pada keputan.
- Udara yang stabil menekan setiap gerakan pengadukan vertikal sehingga difusi vertikal kecil.
- Tidak adanya transportasi vertikal mengakibatkan konsentrasi kontaminan pada permukaan tanah sangat kecil kecuali cerobongnya rendah atau keputan tertutup angin yang mengarah ke topografi yang lebih tinggi di mana keputan akan bertemu dengan permukaan tanah.
- Keputan tipe *fanning* pada umumnya berpotensi menjadi bentuk keputan yang lebih berbahaya atau tipe fumigasi.

d. *Lofting*

- Tipe *lofting* merupakan kondisi dispersi kontaminan yang paling baik.
- Umumnya terjadi pada petang hari (*inversion below emission point*).
- Lapisan stabil di bawah keputan menghalangi transportasi ke bawah, sedangkan lapisan yang agak labil di atas mengakibatkan keputan terdispersi ke atas.
- Kondisi ini seringkali hanya transisi karena bila tinggi inversi melebihi tinggi efektif cerobong maka keputan akan berubah menjadi *fanning*.

e. *Fumigasi*

- Adalah kondisi kebalikan dari *lofting* (*inversion above emission point*).
- Pada *fumigasi* inversi di atas keputan menghalangi dispersi ke atas.
- Profil penurunan suhu di bawah inversi mengakibatkan terjadinya pencampuran vertikal sehingga keputan akan turun ke permukaan tanah.

2.3 Pencemaran Udara

Udara adalah salah satu elemen penunjang kehidupan di muka bumi. Tanpa udara, manusia dan hewan tidak bisa bernafas, tumbuhan pun tidak bisa melakukan fotosintesis. Pentingnya peran udara bagi kehidupan membuat kita harus menjaganya agar udara kita tidak tercemar. Pencemaran udara bisa berdampak pada kelangsungan hidup di ekosistem kita, oleh karena itu pengenalan seputar penyebab, dampak, dan penanggulangan pencemaran udara mutlak perlu kita lakukan agar kelangsungan generasi penerus kita di masa yang akan datang dapat tetap terjaga dan lestari.

Pengertian pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan atau mempengaruhi kesehatan manusia. Sedangkan pencemaran lingkungan hidup memiliki pengertian masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Menurut Soenarmo (1999), pencemaran merupakan hasil sampingan dari industrialisasi penghasil barang, dapat berupa padat, cair maupun gas, dan pencemaran udara adalah masuknya zat pencemar berupa partikel-partikel halus (debu, partikel halus, gas beracun atau toksit) ke dalam udara (atmosfer).

Sedangkan menurut Supriyono (1999), pencemaran udara diartikan terdapatnya bahan kontaminan dalam udara ambien yang diakibatkan dari aktivitas manusia

Pencemaran udara timbul akibat adanya sumber-sumber pencemaran, baik yang bersifat alami ataupun karena kegiatan manusia. Beberapa pengertian gangguan fisik seperti pencemaran suara, pencemaran panas, pencemaran radiasi dan pencemaran cahaya di anggap sebagai bagian dari pencemaran udara. Adapun karena sifat alami udara yang bisa menyebar tanpa batasan ruang, membuat dampak pencemaran udara bisa bersifat lokal, regional, maupun global.

2.3.1 Penyebab Pencemaran Udara

Secara alami, udara di atmosfer bumi merupakan gabungan dari gas nitrogen (78%), gas oksigen (21%), gas argon (sekitar 1 %), CO₂ (0,0035 %) dan uap air (sekitar 0,01 %). Komposisi komponen gas penyusun atmosfer ini bisa mengalami perubahan akibat polusi udara. Selain itu, beberapa penyebab pencemaran udara juga bisa dijelaskan oleh daftar berikut:

- Asap cerobong pabrik dan knalpot kendaraan bermotor, asap rokok, pembakaran, atau kebakaran hutan, membebaskan CO₂ dan CO ke udara.
- Asap vulkanik hasil dari aktivitas gunung berapi menebarkan partikel-partikel debu ke udara.
- Bahan radioaktif dari percobaan nuklir atau bom atom membebaskan partikel-partikel debu radioaktif ke udara.
- Asap pembakaran batu bara dari pembangkit listrik membebaskan partikel nitrogen oksida (NO₂), dan oksida sulfur (SO₂).
- *Chloro Fluoro Carbon* (CFC) dari kebocoran mesin pendingin, kulkas, dan AC mobil.

2.3.2 Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara menimbulkan banyak dampak merugikan. Dampak pencemaran udara tersebut, misalnya :

- Menurunnya kualitas udara untuk penafasan semua organisme, terutama manusia sehingga akan menurunkan derajat kesehatan masyarakat.
- Asap kebakaran hutan menyebabkan gangguan iritasi dan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA).
- Menyebabkan terjadinya keracunan akibat pengikatan CO₂ hasil dari pencemaran udara.
- Menyebabkan kebocoran lapisan ozon sehingga membuat keseimbangan ekosistem jadi terganggu akibat efek rumah kaca.
- Meningkatkan potensi penyakit kanker kulit, mata, dan katarak.
- Menyebabkan hujan asam karena oksida belerang dan oksida nitrogen hasil pembakaran batu bara yang ada ke udara bereaksi dengan uap air membentuk awan asam (asam sulfat, asam nitrat).



Gambar 2.3 Emisi Gas Cerobong Dari Hasil Kegiatan Industri

Sumber : <http://pollutionpollution.com>

Tabel 2.1 Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara Untuk Setiap Parameter Pencemar

Kategori	Rentang	Carbon Monoksida (CO)	Nitrogen (NO ₂)	Ozon O ₃	Sulfur Dioksida (SO ₂)	Partikulat
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat Kombinasi dengan SO ₂ (Selama 4 Jam)	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (Selama 4 Jam)	Tidak ada efek
Sedang	51 - 100	Perubahan kimia darah tapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak Sehat	101 - 199	Peningkatan pada <i>kardiovaskular</i> pada perokok yang sakit jantung	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlit yang berlatih keras	Bau, Meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya <i>kardiovaskular</i> pada orang bukan perokok yang berpenyakit jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan <i>bronchitis</i>	Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh pernafasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan <i>bronchitis</i>	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan <i>bronchitis</i>
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber : Lampiran III Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 Tanggal 21 November 1997

Baku mutu udara adalah ambang batas dari konsentrasi polutan yang dianggap tidak berbahaya bagi makhluk hidup. Standar kualitas udara ini disajikan dalam berat persatuan *volume* persatuan waktu serta telah tertuang pada surat Keputusan Menteri No. KEP-2/MENKLH/I/1988 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan yang dikeluarkan pada tanggal 19 Januari 1988 oleh Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan hidup.

Baku mutu udara ini dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu baku mutu udara ambien dan baku mutu udara emisi. Baku mutu udara ambien adalah batas konsentrasi yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar di udara, namun tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup. Sedangkan baku mutu emisi adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber pencemaran ke udara ambien.

Tabel 2.2 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
SO ₂ (Sulfur Dioksida)	1 Jam	900 µg / Nm ³	Pararosanalin	Spektrofotometer
	24 Jam	365 µg / Nm ³		
	1 Thn	60 µg / Nm ³		
CO (Karbon Monoksida)	1 Jam	30.000 µg / Nm ³	NDIR	NDIR Analyzer
	24 Jam	10.000 µg / Nm ³		
	1 Thn			
NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 Jam	400 µg / Nm ³	Saltzman	Spektrofotometer
	24 Jam	150 µg / Nm ³		
	1 Thn	100 µg / Nm ³		
O ₃ (Oksida)	1 Jam	235 µg / Nm ³	Chemiluminescent	Spektrofotometer
	1 Thn	50 µg / Nm ³		
HC (Hidro Karbon)	3 Jam	160 µg / Nm ³	Flamed Ionization	Gas Chromatografi
PM ₁₀ (Partikel < 10 mm)	24 Jam	150 µg / Nm ³	Gravimetric	Hi – Vol
PM _{2,5} (*) (Partikel < 2.5 mm)	24 Jam	65 µg / Nm ³	Gravimetric	Hi – Vol
	1 Thn	15 µg / Nm ³	Gravimetric	Hi – Vol
TSP (Debu)	24 Jam	230 µg / Nm ³	Gravimetric	Hi – Vol
	1 Thn	90 µg / Nm ³		
Pb (Timah Hitam)	24 Jam	2 µg / Nm ³	Gravimetric Ekstraktif Pengabuan	Hi – Vol AAS
	1 Thn	1 µg / Nm ³		
Dustfall (Debu Jatuh)	30 hari	10 Ton/km ² /Bulan (Pemukiman)	Gravimetric	Cannister
		10 Ton/km ² /Bulan (Industri)		
Total Fluorides (as F)	24 Jam	3 µg / Nm ³	Spesific Ion Electrode	Impinger atau Countinuous Analyzer
	90 hari	0,5 µg / Nm ³		
Flour Indeks	30 hari	40 µg / 100 cm ² dari kertas limed filter	Colourimetric	Limed Filter Paper
Khlorine & Khlorine Dioksida	24 Jam	150 µg / Nm ³	Spesific Ion Electrode	Imping atau Countinuous Analyzer
Sulphat Indeks	30 hari	1 mg SO ₃ / 100 cm ³ Dari Lead Peroksida	Colourimetric	Lead Peroxida Candle

CATATAN :

(*) PM_{2,5} mulai berlaku tahun 2002

Nomor 11 s/d 13 Hanya diberlakukan untuk daerah/kawasan Industri Kimia Dasar.

Contoh : - Industri Petrokimia

- Industri Pembuatan Asam Sulfat

Sumber : Lampiran Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, tentang Pengendalian Pencemaran Udara

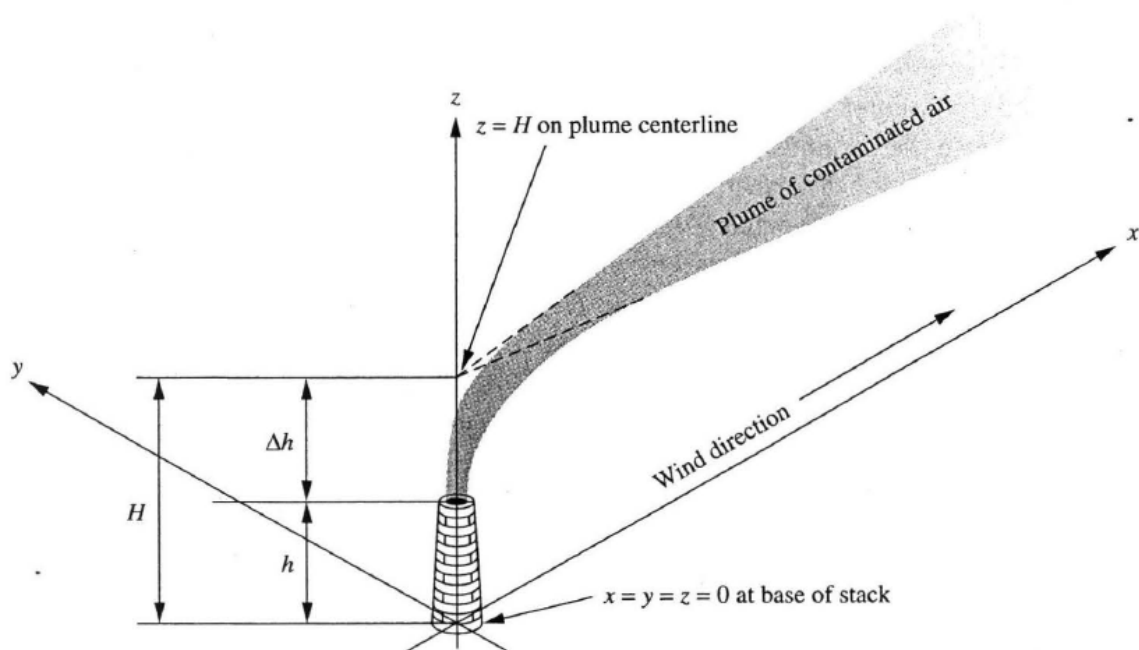
2.4. Plume Rise

Plume Rise (Δh) tinggi kepulan asap adalah gerakan keatas kepulan gas atau kenaikan polutan setelah keluar dari *chimney* hingga asap mengalir secara horizontal searah aliran angin, atau bisa juga sebagai selisih antara tinggi efektif (H) dengan tinggi fisik *chimney* (h) yang bergerak secara vertikal naik keluar dari *chimney* dan bercampur dengan udara di atmosfer. Kenaikan polutan terjadi akibat adanya momentum kecepatan gas secara vertikal maupun perbedaan suhu (*flue gas*) dengan udara ambien.

Pencampuran polutan dengan udara sekitar terjadi karena adanya pergolakan polutan akibat kecepatan awal polutan keluar dari *chimney* dan adanya momentum *buoyancy* (*self-induced turbulence*) dan akibat pergolakan udara di atmosfer (*atmospheric turbulence*). Semakin jauh polutan bergerak, maka polutan akan semakin bercampur dengan udara dan kecepatan polutan akan semakin berkurang dan kelamaan akan menghilang sehingga lintasan polutan semakin mendatar.

Faktor-Faktor yang mempengaruhi *Plume rise* :

- Kecepatan awal polutan saat keluar dari *chimney*.
- Suhu polutan saat keluar dari *chimney*.
- Kecepatan angin di atmosfer.
- Karakteristik cerobong asap.



Gambar 2.4 Sistem Koordinat and Tata Nama *Gaussian Plume Model*.

Sumber : *Air Pollution Control Engineering, 2nd Edition, Page : 126, Noel De Nevers*

Untuk menentukan besarnya kenaikan polutan yang keluar dari *chimney*, digunakan rumus perhitungan *Plume Rise* yang diajukan oleh Holland's dan Bridge, yaitu :

$$\Delta h = \frac{V_s D}{u} \left(1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P D \frac{(T_s - T_a)}{T_s} \right)$$

Keterangan :

- Δh : Plume Rise (m)
- V_s : Kecepatan Polutan Keluar dari Chimney (m/s)
- D : Diameter Atas Chimney (m)
- U : Kecepatan Angin (m/s)
- P : Tekanan Atmosfer (milibar)
- T_s : Temperatur Gas yang Keluar dari Chimney (K)
- T_a : Temperatur Udara Sekitar (K)

2.5 ANSYS Workbench

Ansys Workbench bersama dengan *project* lain dirancang untuk menyediakan ruang kerja yang lebih lengkap guna mengembangkan dan mengatur berbagai jenis program *computer* dengan dasar *Computer Aided Engineering* (CAE) dan membuatnya menjadi lebih mudah untuk digunakan.

Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan *Ansys Workbench* antara lain :

1. Model yang digambar dari beberapa *software* CAD dapat langsung di *import* ke *Ansys Workbench*.
2. Model yang telah dibuat dapat dikondisikan sesuai dengan jenis simulasi dengan menggunakan *Design Modeler*.
3. Simulasi FEA dapat dilakukan dengan baik
4. Pengimplementasian design yang dipilih dapat dilakukan untuk kondisi sebenarnya.

Di dalam *Ansys Workbench* sendiri terdapat beberapa modul yang disajikan antara lain :

1. Data-data *engineering*, misalnya data-data material yang digunakan berbagai aplikasi lain.
2. FE *modeler*, misalnya dapat mengimport model dari *software* lain seperti NASTRAN, ABAQUS, dan dapat divisualisasikan dengan metode *finite element*.
3. Memiliki fitur CFX-Mesh, yaitu dapat melakukan *meshing* yang tepat terhadap model dengan *basic Computational Fluid Dynamic* (CFD)

a. Langkah Permodelan *ANSYS Workbench*

1. *Preprocessing* (Proses Awal)

- Pendefinisian masalah
- Pemilihan tipe elemen untuk model yang dibuat
- Permodelan geometri dari benda kerja
- *Material properties* (memasukkan data material)
- *Meshing* (pembagian struktur menjadi elemen-elemen lebih kecil dan akurat)

2. *Solution* (Proses Solusi)

- Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*Type Solusi*)
- Memasukkan kondisi batas (*Boundary Condition*)
- Penyelesaian (*Solving*)

3. *General Post Processing* (Proses Pembacaan Hasil)

- *Plot Result*

Dengan menggunakan contour plot akan tampak distribusi tegangan atau variable lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan. Di sini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan atau variable yang terjadi.

- *List Result*

Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detail nilai perpindahan, tegangan, atau variable lain yang terjadi pada tiap node atau elemennya.

- *Animation*

Hasil dari analisa yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk simulasi (animasi)

b. Simulasi dengan *ANSYS Workbench*

Ansys Workbench menyediakan beberapa fasilitas yang dapat digunakan untuk menyimulasikan beberapa *project* dengan geometri yang dapat dibuat pada langkah-langkah sebelumnya. Terdapat beberapa tipe simulasi yang dapat dilaksanakan dengan *Ansys Workbench ini*, diantaranya antara lain :

1. *Structural*

Simulasi tipe *structural* ini dapat dilakukan terhadap struktur baik dalam bentuk 2D maupun 3D, secara spesifik tipe simulasi ini dapat dibagi lagi menjadi beberapa macam, yaitu :

- 1) *Static*, digunakan apabila beban yang diberikan terhadap struktur adalah beban statis. Parameter yang dapat dihasilkan dalam simulasi ini antara lain tegangan dan deformasi yang terjadi pada sebuah struktur akibat beban yang diberikan kepadanya.
- 2) *Sequenced*, digunakan apabila beban yang dikenakan pada struktur bervariasi atau dengan pengulangan beban.
- 3) *Fatigue*, digunakan untuk mendapatkan performa dari suatu struktur yang bekerja dalam kondisi terkena beban siklus sampai waktu tertentu.
- 4) *Frequency*, digunakan untuk mendapatkan frekuensi natural yang dimiliki oleh sebuah struktur yang telah dibuat
- 5) *Buckling*, digunakan untuk mengetahui karakteristik benda yang bekerja dengan deformasi yang besar akibat peningkatan beban yang tinggi.

2. *Thermal*

Tipe simulasi ini digunakan untuk mendapatkan karakteristik *thermal* pada sebuah struktur yang bekerja pada kondisi lingkungan *thermal*. Simulasi ini juga dapat digunakan untuk model 2D maupun 3D. Terdapat dua tipe simulasi yang dapat dilaksanakan dengan program ini, yaitu :

- 1) *Static*, digunakan jika beban *thermal* yang diberikan pada struktur adalah konstan dan tidak berubah menurut waktu. Simulasi ini dapat digunakan untuk mendapatkan distribusi *temperature* dan *flux* panas yang terjadi pada struktur.
- 2) *Transient*, digunakan apabila beban suhu yang diberikan bervariasi.

3. *Elektromagnetic*

Simulasi ini digunakan untuk mendapatkan karakteristik kemagnetan yang dimiliki oleh sebuah model setelah diberikan beban *electromagnet*. Simulasi ini hanya dapat digunakan untuk model 3D.

4. *Fluida*

Simulasi ini digunakan untuk mendapatkan karakteristik pengaruh *fluida* terhadap bentuk-bentuk bejana (*nozzle*, *diffuser*, dan lain-lain), pencampuran *fluida*, dan lain sebagainya.

