

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistim Distribusi Steam

Sistim distribusi steam merupakan hubungan penting antara pembangkit steam dan pengguna steam. Terdapat berbagai macam metoda untuk membawa steam dari pusat sumber ke titik penggunaan. Pusat sumber mungkin berupa ruang boiler atau pengeluaran dari *plant* kogenerasi. Boiler dapat menggunakan bahan bakar primer, atau boiler limbah panas yang menggunakan gas buang dari proses bersuhu tinggi, mesin- mesin atau bahkan insinerator. Apapun sumbernya, sistim distribusi steam yang efisien adalah penting untuk pemasokan steam dengan kualitas dan tekanan yang benar ke peralatan yang menggunakan steam. Pemasangan dan perawatan sistim steam merupakan hal penting dan harus sudah dipertimbangkan mulai tahap perancangan.

Diperlukan suatu pemahaman mengenai dasar sirkuit steam atau ‘loop kondensat dan steam. Ketika steam mengembun didalam proses, kondensat dialirkan kembali kedalam pipa suplai air boiler. Kondensat memiliki volum yang sangat kecil dibandingkan dengan steam, dan hal ini menyebabkan penurunan tekanan, yang membuat steam mengalir melalui pipa-pipa.

Steam yang dihasilkan pada boiler harus dibawa melalui pipa kerja ke titik dimana energi panasnya diperlukan. Pada awalnya hanya terdapat satu atau lebih pipa utama, atau ‘saluran pipa steam’, yang membawa steam dari boiler kearah plant yang menggunakan steam. Pipa-pipa cabang yang lebih kecil membawa steam ke masing- masing peralatan.

Ketika kran isolasi boiler utama (kadang kala disebut kran ‘mahkota’) dibuka, steam dengan segera melintas dari boiler menuju dan sepanjang saluran pipa steam ke titik pada tekanan rendah. Pipa kerja pada mulanya lebih dingin daripada steam, sesampai panas dipindahkan dari steam ke pipa. Udara disekitar pipa-pipa juga sebelumnya lebih dingin dari steam, kemudian pipa kerja akan mulai memindahkan panas steam ke udara.

Steam yang berkontak dengan pipa yang lebih dingin akan mulai mengembun dengan segera. Pada saat start-up, laju kondensasi akan berada pada nilai maksimumnya, hal ini merupakan waktu dimana terjadi perbedaan suhu yang maksimum antara steam dan pipa kerja. Laju kondensasi ini biasanya disebut 'beban permulaan'. Begitu pipa kerja telah dihangatkan, perbedaan suhu antara steam dan pipa kerja menjadi minimal, namun kondensasi akan terjadi karena pipa kerja masih terus memindahkan panas ke udara sekitar. Laju kondensasi ini disebut 'beban berjalan'.

Hasil dari kondensasi (kondensat/embun) jatuh ke bagian bawah pipa dan dibawa oleh aliran steam yang dibantu oleh gaya gravitasi, karena sudut kemiringan pada saluran pipa steam dibuat diatur turun pada arah aliran steam. Kondensat kemudian harus dikeluarkan dari berbagai titik strategis pada saluran pipa steam.

Ketika kran pada pipa steam yang melayani bagian plant yang menggunakan steam dibuka, steam mengalir dari sistim distribusi masuk ke plant dan terjadi lagi kontak dengan permukaan yang lebih dingin. Steam kemudian memindahkan energinya dan menghangatkan peralatan dan produk (beban permulaan), dan, bila telah mencapai suhunya, pemindahan panas berlanjut ke proses (beban berjalan).

Sekarang terdapat pasokan steam yang sinambung dari boiler untuk mencukupi beban terhubung dan untuk menjaga pasokan ini, harus dihasilkan steam yang lebih banyak lagi. Untuk memenuhi kebutuhan ini, dibutuhkan air yang lebih banyak (dan bahan bakar untuk memanaskan air ini) untuk dipasok ke boiler sebagai air make up yang sebelumnya sudah diuapkan menjadi steam. Kondensat yang terbentuk dalam pipa distribusi steam dan dalam peralatan proses dapat dipakai sebagai pasokan sebagai air umpan panas boiler. Kondensat harus dikeluarkan dari ruang steam, namun kondensat ini juga merupakan komoditi yang sangat berharga yang tidak boleh dibiarkan untuk menjadi limbah. Mengembalikan seluruh kondensat ke tangki umpan boiler akan menutup loop energi steam, dan harus dilakukan bila memungkinkan.

Distribusi tekanan steam dipengaruhi oleh sejumlah faktor, dan dibatasi oleh:

- a. Tekanan kerja maksimum yang aman bagi boiler
- b. Tekanan minimum yang diperlukan pada plant

Ketika steam melewati pipa distribusi, maka steam tidak dapat menghindari kehilangan tekanannya karena :

- a. Tahanan gesekan/ friksi didalam pipa.
- b. Kondensasi/pengembunan yang terjadi didalam pipa ketika panas pindahkan ke lingkungan.

Oleh karena itu pada saat menentukan tekanan distribusi awal, harus ada kelonggaran untuk kehilangan tekanan ini.

Satu kilogram steam pada tekanan yang lebih tinggi mempunyai volum lebih kecil dari pada pada tekanan rendah. Jadi, jika steam dibangkitkan dalam boiler pada tekanan tinggi dan didistribusikan pada tekanan yang tinggi pula, maka ukuran saluran pipa distribusi akan menjadi lebih kecil. Pembangkitan dan pendistribusian steam pada tekanan tinggi memberikan tiga keuntungan yang cukup penting:

- a. Kapasitas penyimpanan panas pada boiler meningkat, membantu boiler lebih efisien dalam menangani beban yang berfluktuasi, meminimalkan resiko terbentuknya steam basah dan kotor.
- b. Diperlukan saluran pipa steam yang lebih kecil, sehingga biaya investasinya untuk pipa, flens, bahan penunjang, bahan isolasi dan buruh lebih rendah.
- c. Saluran pipa steam yang lebih kecil berarti biaya isolasi lebih rendah.

Pada sistim distribusi tekanan tinggi, diperlukan penurunan tekanan steam pada setiap zona atau titik penggunaan pada sistim untuk menyesuaikan dengan tekanan maksimum yang diperlukan penggunaannya. Penurunan tekanan tersebut juga akan menghasilkan steam yang lebih kering pada titik penggunaan.

Komponen penting pada sistim distribusi:

- a. Pipa-pipa
- b. Titik pengeluaran
- c. Jalur cabang

2.2 Pipa-pipa

Bagian ini menjelaskan tentang pipa kerja pada sistim steam

2.2.1 Bahan pipa

Pipa sistim steam biasanya dibuat dari baja karbon ANSI B 16.9 A106. Bahan yang sama juga dapat digunakan untuk jalur kondensat, walaupun pipa tembaga lebih disukai oleh beberapa industri. Untuk saluran pipa steam lewat jenuh yang bersuhu tinggi, ditambahkan bahan campuran seperti chromium dan molybdenum untuk memperbaiki kuat tarik dan resistansi terhadap golakan pada suhu tinggi. Biasanya pipa dipasok dengan panjang 6 meter.

2.2.2 Ukuran saluran pemipaan

Tujuan dari sistim distribusi steam adalah untuk memasok steam pada tekanan yang benar sampai ke titik penggunaan. Ukuran saluran pemipaan merupakan faktor penting.

Pipa kerja yang berlebih ukurannya berarti:

- a. Pipa, kran, sambungan akan lebih mahal daripada yang diperlukan.
- b. Akan terjadi biaya pemasangan yang lebih tinggi, termasuk pekerjaan pendukung, isolasi.
- c. Pada pipa steam akan terbentuk kondensat dengan volum yang lebih besar karena lebih besarnya kehilangan panas, sehingga akan diperlukan lebih banyak steam trap, kalau tidak maka steam basah akan terkirimkan ke titik penggunaan.

Pipa kerja yang kekecilan berarti:

- a. Tekanan yang lebih rendah akan tersedia pada titik penggunaan. Hal ini akan menghalangi kinerja peralatan karena hanya tersedia steam dengan tekanan yang lebih rendah.
- b. Terdapat resiko kekurangan steam.
- c. Terdapat resiko lebih besarnya erosi, hantaman air dan kebisingan karena meningkatnya kecepatan steam.

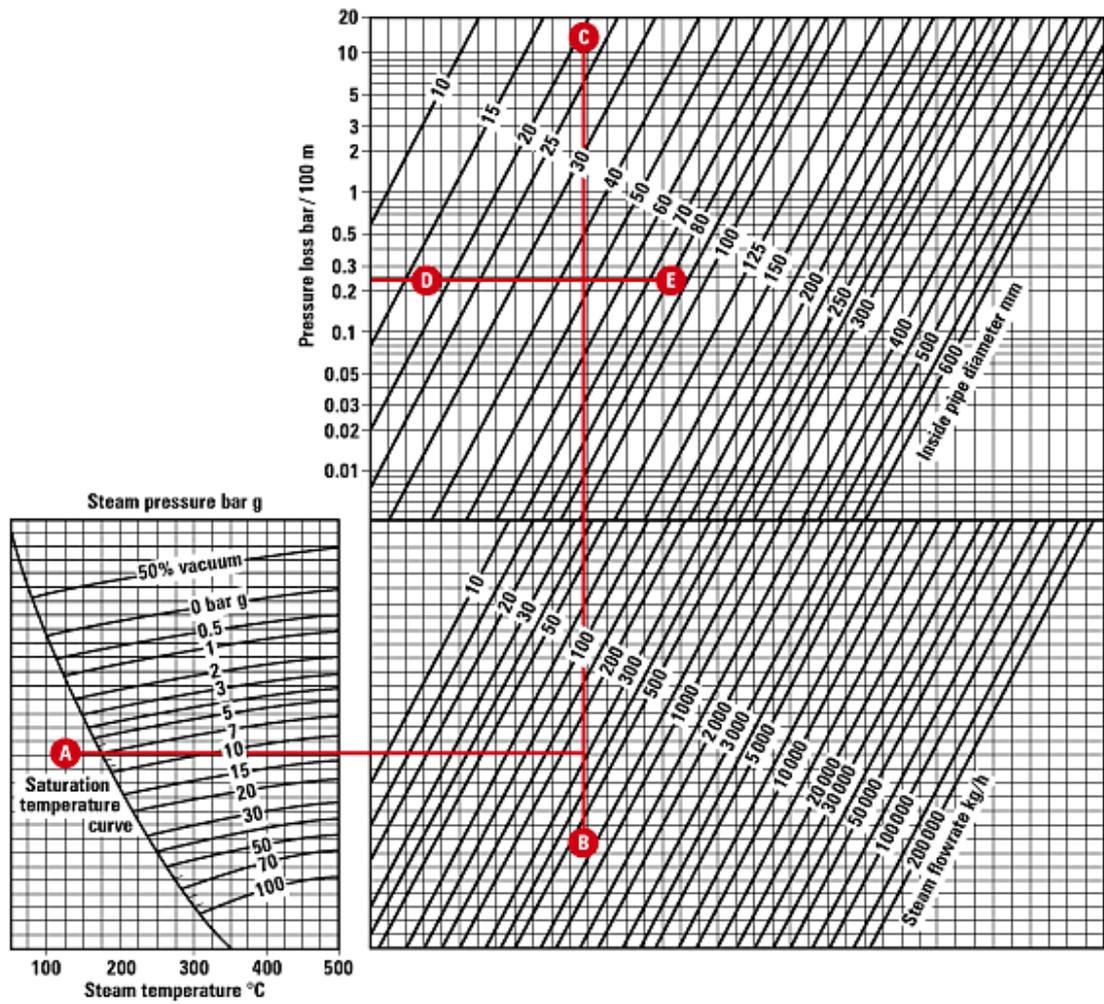
Ukuran saluran pipa yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan penurunan tekanan dan kecepatan yang akan dijelaskan dibawah ini.

1. Ukuran pipa berdasarkan penurunan tekanan

Penurunan tekanan melalui sistem distribusi merupakan pertimbangan penting. Dalam prakteknya, akan ada keseimbangan antara ukuran pipa dan kehilangan tekanan, baik pada pipa air atau pipa steam. Penurunan tekanan, sebaiknya tidak boleh lebih dari 0.1 bar/50 m. Ukuran pipa dapat dihitung dengan menggunakan grafik dalam Gambar 1. Bagi yang lebih menyukai tabel sebagai pengganti grafik dapat menggunakan Tabel 1 untuk menentukan ukuran pipa.

Menentukan ukuran pipa berdasarkan penurunan tekanan dengan menggunakan nomogram dalam Gambar 1:

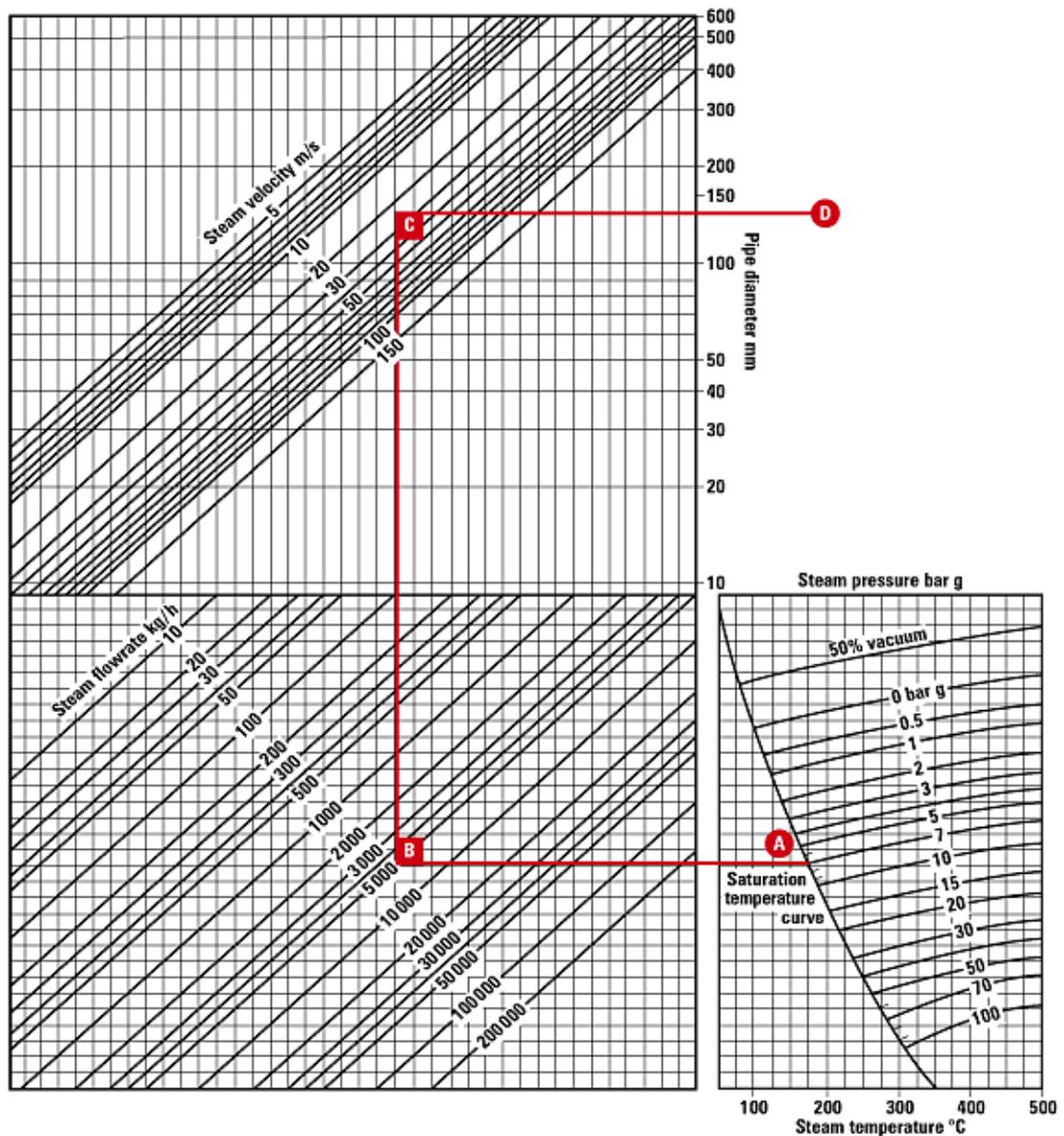
- a. Pilih titik pada garis steam jenuh pada tekanan 7 bar g, dan beri tanda Titik A.
- b. Dari titik A, gambar garis horizontal ke laju alir steam 286 kg/h, dan tandai dengan Titik B.
- c. Dari titik B, gambar sebuah garis tegak lurus ke arah puncak nomogram (Titik C).
- d. Gambar sebuah garis horizontal dari 0,24 bar/100 m pada skala kehilangan tekanan (Garis DE).
- e. Titik pertemuan garis DE dan BC menunjukkan ukuran pipa yang diperlukan. Dalam kasus ini, jika pipa 40 mm ukurannya terlalu kecil, dapat digunakan pipa 50 mm.



Gambar 1. Grafik Ukuran Saluran Pe mipa an Steam – dengan pendekatan penurunan tekanan (Spirax Sarco)

Tabel 1. Kapasitas Pemipaan Steam Jenuh dalam kg/jam untuk Berbagai Kecepatan pipa schedule 40 (Spirex Sarco)

Pressure bar g	Velocity m/s	Pipe size (nominal)										
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
		Actual inside pipe diameter Schedule 40										
		15.80	20.93	26.64	35.04	40.90	52.50	62.70	77.92	102.26	128.20	154.05
Pipeline capacity kg/h												
0.4	15	9	15	25	43	58	95	136	210	362	569	822
	25	14	25	41	71	97	159	227	350	603	948	1 369
	40	23	40	66	113	154	254	363	561	965	1 517	2 191
0.7	15	10	18	29	51	69	114	163	251	433	681	983
	25	17	30	49	85	115	190	271	419	722	1 135	1 638
	40	28	48	78	136	185	304	434	671	1 155	1 815	2 621
1	15	12	21	34	59	81	133	189	292	503	791	1 142
	25	20	35	57	99	134	221	315	487	839	1 319	1 904
	40	32	56	91	158	215	354	505	779	1342	2 110	3 046
2	15	18	31	50	86	118	194	277	427	735	1 156	1 669
	25	29	51	83	144	196	323	461	712	1 226	1 927	2 782
	40	47	82	133	230	314	517	737	1 139	1 961	3 083	4 451
3	15	23	40	65	113	154	254	362	559	962	1 512	2 183
	25	38	67	109	188	256	423	603	931	1 603	2 520	3 639
	40	61	107	174	301	410	676	964	1 490	2 565	4 032	5 822
4	15	28	50	80	139	190	313	446	689	1 186	1 864	2 691
	25	47	83	134	232	316	521	743	1 148	1 976	3 106	4 485
	40	75	132	215	371	506	833	1 189	1 836	3 162	4 970	7 176
5	15	34	59	96	165	225	371	529	817	1 408	2 213	3 195
	25	56	98	159	276	375	619	882	1 362	2 347	3 688	5 325
	40	90	157	255	441	601	990	1 411	2 180	3 755	5 901	8 521
6	15	39	68	111	191	261	430	613	947	1 631	2 563	3 700
	25	65	114	184	319	435	716	1 022	1 578	2 718	4 271	6 167
	40	104	182	295	511	696	1 146	1 635	2 525	4 348	6 834	9 867
7	15	44	77	125	217	296	487	695	1 073	1 848	2 904	4 194
	25	74	129	209	362	493	812	1 158	1 788	3 080	4 841	6 989
	40	118	206	334	579	788	1 299	1 853	2 861	4 928	7 745	11 183
8	15	49	86	140	242	330	544	775	1 198	2 063	3 242	4 681
	25	82	144	233	404	550	906	1 292	1 996	3 438	5 403	7 802
	40	131	230	373	646	880	1 450	2 068	3 194	5 501	8 645	12 484
10	15	60	105	170	294	401	660	942	1 455	2 506	3 938	5 686
	25	100	175	283	490	668	1 101	1 570	2 425	4 176	6 563	9 477
	40	160	280	453	785	1 069	1 761	2 512	3 880	6 682	10 502	15 164
14	15	80	141	228	394	537	886	1 263	1 951	3 360	5 281	7 625
	25	134	235	380	657	896	1 476	2 105	3 251	5 600	8 801	12 708
	40	214	375	608	1 052	1 433	2 362	3 368	5 202	8 960	14 082	20 333



Gambar 2. Grafik Ukuran Pemipaan Steam – dengan pendekatan kecepatan (Spirax Sarco)

2. Ukuran saluran pemipaan berdasarkan kecepatan

Kecepatan merupakan faktor penting dalam pengukuran pipa. Biasanya, digunakan kecepatan 25 sampai 40 m/detik untuk steam jenuh. Besaran 40 m/detik harus dianggap sebagai batas ekstrim, diatas besaran ini, maka akan terjadi kebisingan dan erosi terutama jika steamnya basah. Pada jalur pemipaan yang lebih panjang, sering dilakukan pembatasan kecepatan pada 15 m/detik untuk

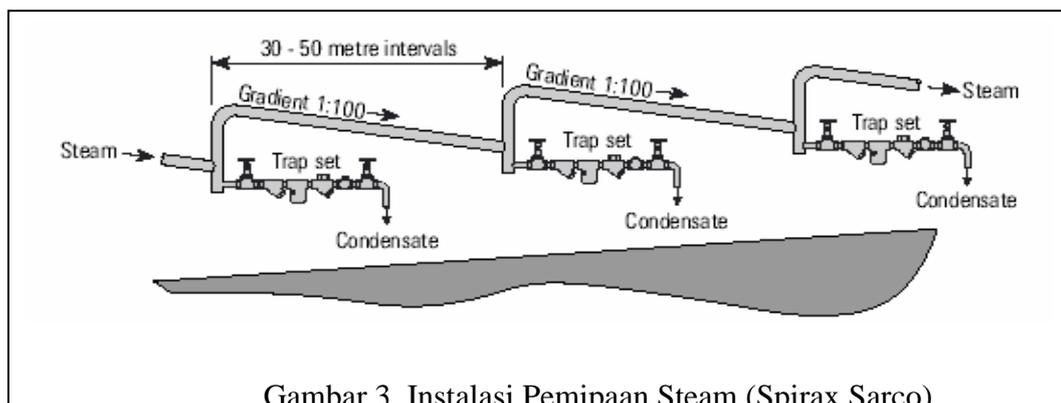
menghindarkan penurunan tekanan. Direkomendasikan bahwa saluran pemipaan yang panjangnya diatas 50 m selalu diperiksa penurunan tekanannya, tanpa memandang kecepatannya.

Steam lewat jenuh dapat dianggap sebagai gas kering karena tidak membawa kadar air. Sebagai akibatnya tidak ada kesempatan bagi terjadinya erosi pipa karena suspensi tetesan air, dan kecepatan steam dapat mencapai 50 sampai 70 m/detik jika penurunan tekanannya mengijinkan.

Ukuran pipa yang berdasarkan pendekatan kecepatan untuk steam jenuh dan lewat jenuh dapat dihitung dengan menggunakan nomogram seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2. Bagi yang lebih menyukai tabel sebagai pengganti grafik dapat menggunakan Tabel 1 untuk menentukan ukuran pipa.

2.2.3 Tata Letak Pemipaan

Standar Eropa EN45510, Bagian 4.12 menyatakan bahwa bila memungkinkan, saluran pipa steam harus dipasang dengan penuruna n/ slope tidak kurang dari 1:100 (turun 1 m untuk setiap 100 m), kearah aliran steam. Sudut kemiringan ini akan menjamin bahwa gravitasi, dan juga aliran steam, akan membantu pergerakan kondensat menuju titik pengeluaran dimana kondensat akan



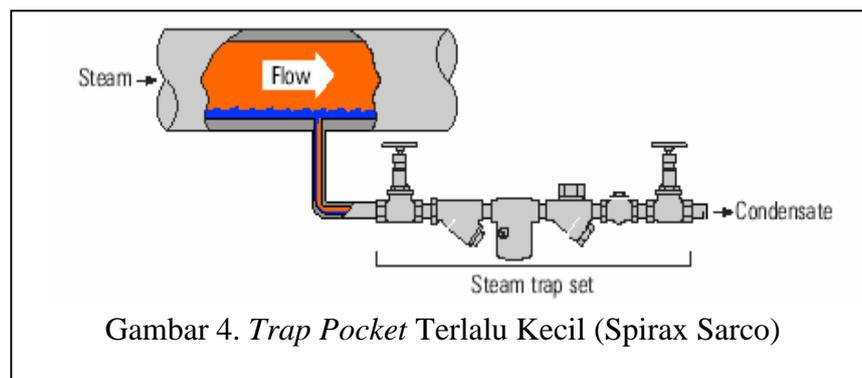
Gambar 3. Instalasi Pemipaan Steam (Spirax Sarco)

2.3 Titik Pengeluaran/Pengurasan

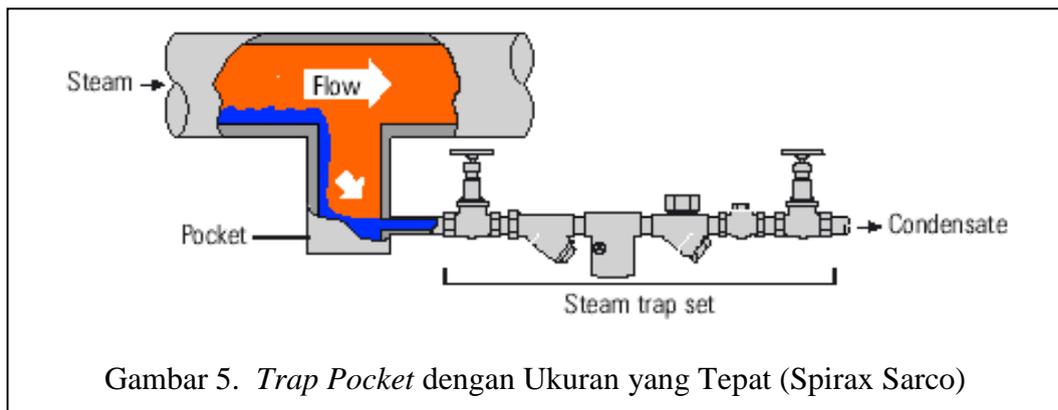
Titik pengurasan/ pengeluaran harus menjamin bahwa kondensat dapat mencapai steam trap. Titik-titik pengeluaran kondensat harus dipertimbangkan dengan baik pada saat perencanaan. Pertimbangan harus juga diberikan pada kondensat yang tertinggal dalam saluran pipa steam pada saat operasi dimatikan,

dimana aliran steam mati. Gravitasi akan menjamin bahwa air (kondensat) akan berjalan sepanjang pipa miring dan mengumpul pada titik terendah pada sistim. Oleh karena itu *steamtraps* harus diletakkan pada titik -titik terendah pada sistim tersebut.

Sejumlah besar kondensat akan terbentuk dalam saluran pipa steam pada kondisi *start-up* sehingga titik -titik pengeluaran kondensat dibuat untuk setiap panjang pipa 30m sampai 50m, dan juga pada titik terendah seperti pada bagian terbawah aliran pipa. Dalam operasi yang normal, steam mengalir sepanjang saluran pipa pada kecepatan sampai mencapai 145 km/jam, menarik kondensat bersamaan dengannya. Gambar 4 memperlihatkan sebuah pipa pengeluaran 15 mm tersambung langsung ke bagian bawah saluran pipa.



Walau pipa 15 mm memiliki kapasitas yang cukup, namun tidak memungkinkan untuk menangkap banyak kondensat yang bergerak sepanjang saluran pipa pada kecepatan tinggi. Susunan ini tidak akan efektif. Penyelesaian yang lebih baik untuk pembuangan kondensat diperlihatkan dalam Gambar 8. Jalur *trap* harus paling sedikit 25 sampai 30 mm dari bagian bawah *pocket* untuk saluran pipa steam sampai 100 mm, dan paling sedikit 50 mm untuk saluran pipa yang lebih besar. Hal ini memberi ruang dibawah untuk pengendapan kotoran dan kerak. Kotoran dan kerak dapat dengan mudahnya dihilangkan jika bagian bawah *pocket* disesuaikan dengan flens yang dapat dipindahkan atau kran *blowdown*.



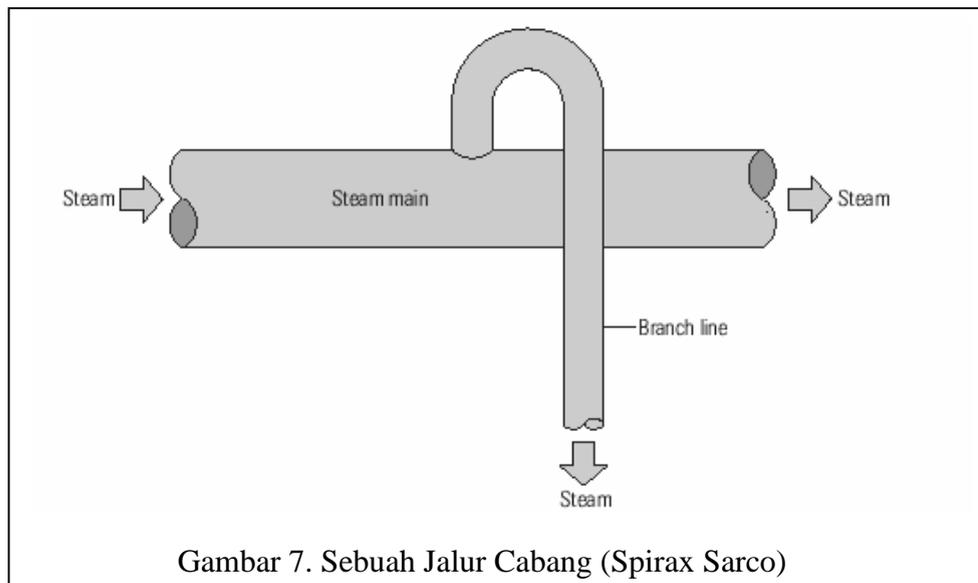
Ukuran *pocket* pengeluaran yang direkomendasikan ditunjukkan dalam Gambar 6 dibawah.

Mains diameter - D	Pocket diameter - d_1	Pocket depth - d_2
Up to 100 mm nb	$d_1 = D$	Minimum $d_2 = 100$ mm
125 - 200 mm nb	$d_1 = 100$ mm	Minimum $d_2 = 150$ mm
250 mm and above	$d_1 \geq D/2$	Minimum $d_2 = D$

Gambar 6. Ukuran *Pocket* Pengeluaran yang Direkomendasikan (Spirax Sarco)

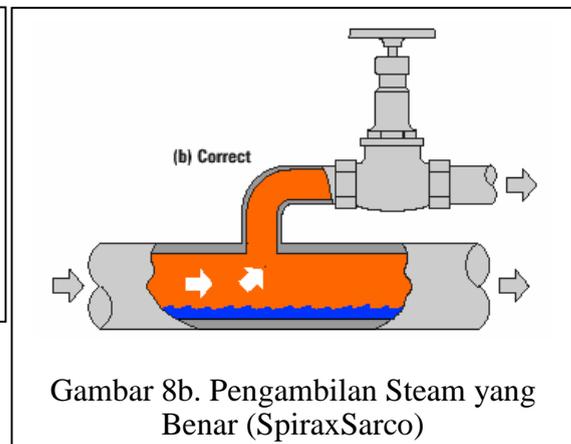
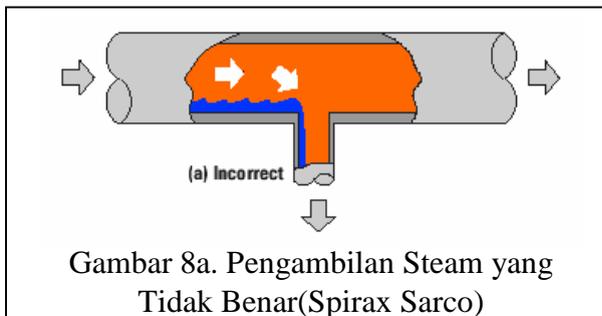
2.4 Jalur Cabang

Jalur cabang biasanya lebih pendek dari pipa saluran utama steam. Oleh karena itu, sebagaimana aturan umum, selama panjang jalur cabang tidak lebih dari 10 meter, dan tekanan dalam pipa saluran cukup, maka memungkinkan untuk memperkirakan pipa tetap pada kecepatan 25 sampai 40m/detik, dan tidak perlu khawatir terhadap penurunan tekanannya.



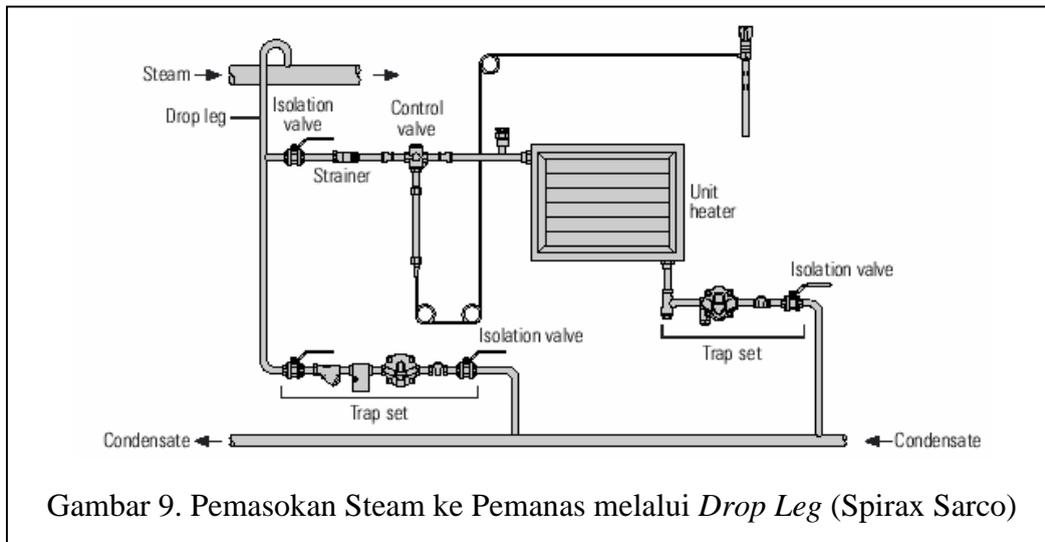
2.4.1 Sambungan jalur cabang

Sambungan jalur cabang diambil dari bagian atas pipa utama karena membawa steam yang paling kering (Gambar 7). Jika sambungan diambil dari samping, atau bahkan yang lebih parah dari bagian bawah (seperti dalam Gambar 8a), maka kondensat atau kotoran pada pipa utama akan terbawa steam pada cabang, sehingga akan diperoleh steam yang sangat basah dan kotor yang akan mencapai peralatan, dan hal ini akan mempengaruhi kinerja dalam jangka pendek dan panjang. Kran pada Gambar 8b harus ditempatkan sedekat mungkin ke titik pengambilan untuk meminimalkan penghamparan kondensat pada jalur cabang, jika pabrik mungkin dimatikan untuk jangka waktu panjang.



2.4.2 Drop leg

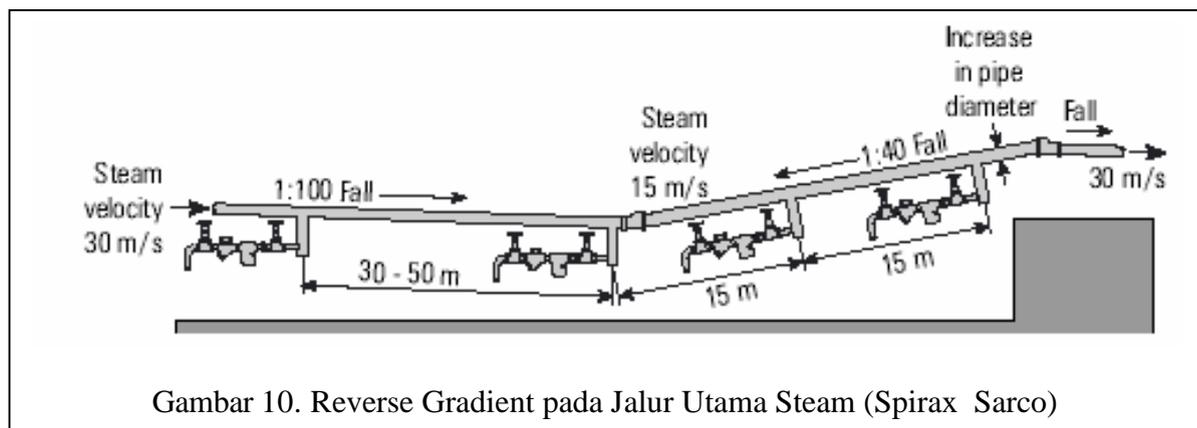
Titik-titik yang rendah akan juga terjadi dalam jalur cabang. Yang paling umum adalah *drop leg* dekat dengan kran atau kran pengendali (Gambar 9). Kondensat dapat menumpuk pada bagian hulu kran yang ditutup, dan kemudian didorong kedepan dengan steam ketika kran terbuka lagi – sehingga titik pengeluaran yang digabung dalam satu set dengan *steam trap* digunakan pada steam sebelum menuju penyaring *strainer* dan kran kendali.



Gambar 9. Pemasakan Steam ke Pemanas melalui *Drop Leg* (Spirax Sarco)

2.4.3 Landasan dan Pembuangan yang Menanjak

Terdapat banyak kejadian ketika pipa saluran steam harus melintasi tanah yang menanjak, atau penggunaan dimana kontur lokasi membuat tidak dapat memasang pipa dengan penurunan 1:100. Dalam situasi demikian, kondensat harus didorong untuk dapat turun melawan aliran steam. Caranya adalah dengan memberikan kecepatan steam yang rendah tidak lebih dari 15m/detik, mengatur jalur pada kemiringan tidak kurang dari 1:40, dan memasang jarak titik-titik pengeluaran tidak lebih dari 15 meter (lihat Gambar 10). Tujuannya adalah untuk mencegah terbentuknya lapisan kondensat pada bagian bawah p



Gambar 10. Reverse Gradient pada Jalur Utama Steam (Spirax Sarco)

2.5 Isolasi saluran pipa steam

Isolasian merupakan bagian penting dalam penghematan energi pada sistim steam.

2.5.1 Tujuan isolasian

Isolasi panas ditandai dengan konduktivitas panasnya yang rendah dan oleh karena itu mampu menjaga panas tertahan didalam atau diluar sistim dengan mencegah perpindahan panas dari lingkungan luar. Bahan-bahan isolasinya berpori dan mengandung sejumlah besar sel-sel udara yang tidak aktif. Sejumlah besar energi bisa hilang tanpa menggunakan isolasi atau jika isolasinya tidak efisien atau pemasangannya tidak benar.

Isolasi panas dapat menurunkan kehilangan panas, memberikan keuntungan sebagai berikut:

- a. Penurunan pemakaian bahan bakar
- b. Pengendalian proses yang lebih baik dengan mencapai suhu proses pada tingkatan yang konstan
- c. Pencegahan korosi dengan menjaga permukaan terbuka sistim pendinginan diatas titik embun
- d. Perlindungan terhadap peralatan dari bahaya kebakaran
- e. Peredaman terhadap getaran

Disamping itu kondisi kerja para karyawan menjadi lebih baik karena isolasi melindungi mereka dari kotak langsung dengan permukaan panas dan panas radian dan sebab isolasi dapat mengurangi tingkat kebisingan.

2.5.2 Tipe-tipe isolasi

Isolasi dapat diklasifikasikan berdasarkan pada tiga kisaran suhu yang digunakan masingmasing:

1. Isolasi Suhu Rendah (sampai 90oC), yang digunakan untuk lemari es, sistim air panas dan dingin, tangki penyimpanan, dll. Bahan yang paling banyak digunakan

adalah gabus, kayu, magnesia 85 persen, serat mineral, polyurethane dan gabus putih EPS /expanded polystyrene.

2. Isolasi Suhu Menengah (90 – 325oC), yang digunakan dalam pemanasan suhu rendah dan peralatan pembangkit steam, jalur steam, saluran cerobong, dll. Bahan yang paling banyak digunakan adalah magnesia 85%, asbes, kalsium silikat dan serat mineral.
3. Isolasi Suhu Tinggi (325oC dan di atasnya), yang biasanya digunakan untuk boiler, sistem steam lewat jenuh, pemanggang oven, pengering dan tungku.

2.5.3 Pemilihan bahan-bahan isolasi

Faktor-faktor penting yang harus dipertimbangkan ketika memilih bahan-bahan isolasi adalah:

- a. Suhu operasi sistem
- b. Jenis bahan bakar yang sedang dibakar
- c. Ketahanan bahan terhadap panas, cuaca dan kondisi yang merugikan
- d. Konduktivitas panas bahan
- e. Diffusivitas panas bahan
- f. Kemampuan bahan bertahan pada berbagai kondisi, seperti kejutan panas, getaran dan serangan bahan kimia
- g. Ketahanan bahan terhadap nyala/api
- h. Daya tembus/permeabilitas bahan
- i. Biaya total, termasuk pembelian, pemasangan dan perawatan

Tabel 2 Bahan-bahan isolasi untuk berbagai penggunaan

Tipe Isolasi	Penggunaan
<p>Polystyrene Isolator organik yang dibuat dengan polimerisasi styrene.</p>	<p>Cocok untuk suhu rendah (-167°C sampai 82°C). Terutama digunakan dalam ruangan dingin dan beton penahan struktur bangunan.</p>
<p>Polyurethane Dibuat dengan cara mereaksikan isocyanides dan alkohol. Dibuat dalam lempeng sinambung atau dibusakan di tempat.</p>	<p>Cocok untuk suhu rendah (-178°C sampai 4°C). Digunakan terutama di ruangan dingin, transportasi yang diberi pendingin, lemari pembeku, lantai, pipa pendinginan dan isolasi fondasi.</p>
<p>Rockwool (Serat Mineral) Dibuat dengan melelehkan basalt dan arang dalam sebuah kubah pada suhu sekitar 1500°C. Digunakan sebagai bahan pengikat berbasis phenol.</p>	<p>Cocok untuk suhu sampai 820°C. Digunakan untuk mengisolasi oven industri, penukaran panas, pengering, boiler dan pipa.</p>
<p>Glasswool (Fiberglass) Dibentuk dari pengikatan serat fiberglass panjang dengan resin thermo setting membentuk selimut dan bats, papan semi kaku, papan kaku dengan destilasi tinggi dan dibentuk seperti bagian pipa.</p>	<p>Cocok untuk suhu sampai 540°C. Digunakan untuk isolasi oven industri, penukar panas, pengering, boiler dan pipa.</p>
<p>Kalsium silikat Dibuat dari bahan kalsium silikat anhidrat yang diperkuat dengan pengikat non-asbes.</p>	<p>Cocok untuk suhu sampai 1050°C. Digunakan untuk mengisolasi dinding tungku, kotak pemadam, refraktori, lining gas buang dan boiler.</p>
<p>Serat keramik Dibuat dari alumina dengan kemurnian</p>	<p>Cocok untuk suhu sampai 1430°C. Digunakan untuk mengisolasi tungku</p>

tinggi dan butiran silika dilelehkan dalam suatu tungku listrik dan dihembus dengan gas berkecepatan tinggi menjadi benang halus yang ringan.	dan back-up kiln refraktor, kotak pemadam, perbaikan tungku isolasi kumparan penginduksi.
---	---

2.5.4 Isolasian jalur steam dan kondensat

Penting untuk mengisolasi pipa saluran steam dan kondensat sebab mereka merupakan sumber kehilangan panas yang utama melalui radiasi panas dari saluran pipa. Bahan isolasi yang cocok adalah gabus, glass wool, rock wool dan asbes. Flens juga harus diisolasi sebab jika tidak terbungkus kehilangan panasnya setara dengan saluran pipa yang tidak diisolasi sepanjang 0,6 m (SEAV, 2005). Flens serigkali tidak diisolasi untuk memudahkan memeriksa kondisinya. Penyelesaiannya adalah dengan memasang pembungkus isolasi yang mudah dilepas, yang dapat dipindahkan ketika melakukan pengecekan.

2.6 Glasswool (Fiberglass)

Glasswool merupakan bahan isolasi yang terbuat dari serat kaca disusun menggunakan pengikat menjadi tekstur yang mirip dengan wol. Proses perangkap banyak kantong kecil udara antara kaca, dan ini kantong udara kecil mengakibatkan tinggi sifat isolasi termal.

Glasswool diproduksi dalam gulungan atau dalam lempengan, dengan sifat termal dan mekanik yang berbeda. Hal ini juga dapat diproduksi sebagai bahan yang dapat disemprotkan atau diterapkan di tempat, di permukaan yang akan terisolasi (<http://indonesian.rock-wool-insulation.com>).

2.6.1 Jenis Glasswool

a. Dewan Glasswool

Tungkin glasswool stabil dan seragam bertekstur serat kaca anorganik terikat bersama oleh larut dalam air dan tahan api resin non termoset, memiliki suhu layanan max hingga 540°C

Tungkin glasswool papan suhu tinggi dimaksudkan untuk digunakan dalam struktur konstruksi industri dimana membutuhkan termal dan insulasi dengan ketahanan suhu tinggi hingga 540 ° C. seperti pembangkit listrik, pabrik petrokimia dan sebagainya.

Tabel 3 Spesifikasi Dewan Glasswool

Kepadatan (Kg/m ³)	Toleransi	Thermal	Layanan	Serat	Resistance
		Konduktivitas Pengurangan 24°C W/(m/k)	Suhu (°C)	Diameter (mm)	Air (%)
12	± 2	<= 0,038	>= 350	5-8	<= 1,0
20	± 2	<= 0,037			
24	± 2	<= 0,035	>= 350	5-8	<= 1,0
28					
32	± 2	<= 0,034	>= 350	5-8	<= 1,0
36					

b. Selimut Glasswool

Tungkin glasswool selimut dihadapkan dengan jaringan kaca hitam terbuat dari selimut glasswool fleksibel dilaminasi dengan jaringan kaca hitam (BGT). Tungkin glasswool selimut dihadapkan dengan jaringan kaca hitam dimaksudkan untuk digunakan dalam komersial, institusional, industri dan perumahan konstruksi sebagai isolasi termal dan akustik pemanas AC dan interior dual-suhu pekerjaan

saluran, peralatan penanganan udara dan ventilasi yang beroperasi pada kecepatan udara up to 30 m/s (6000 fpm) dan suhu to 121 °C. Hal ini juga digunakan sebagai pengobatan yang efisien penyerapan suara dinding dan langit-langit, kandang akustik, ruang genset, rajin dan lain-lain.

Tabel 4 Spesifikasi Selimut Glasswool

Kepadatan (Kg/m ³)	Toleransi	Thermal	Layanan	Serat	Resistance
		Konduktivitas Pengurangan 24°C W/(m/k)	Suhu (°C)	Diameter (mm)	Air (%)
11	+ 2	<= 0,04	>= 350	5-8	<= 1,0
12		<= 0,039			
16	± 2	<= 0,037	>= 350	5-8	<= 1,0
20		<= 0,035			
24	± 3	<= 0,035	>= 350	5-8	<= 1,0
28		<= 0,035			
32					

c. Ubin langit-langit glasswool

Tungkin glasswool pipa penutup terdiri dari baik-baik saja, stabil dan seragam bertekstur serat kaca anorganik terikat bersama oleh larut dan tahan api resin thermosetting non-air. Hal ini bebas dari serat kasar dan ditembak karena komposisi mineralnya, dituangkan dalam bagian one-piece dan dibuat dengan jahitan tunggal.

Tungkin glasswool pipa penutup dimaksudkan untuk digunakan dalam konstruksi komersial, institusional, industri dan perumahan.

Tabel 5 Spesifikasi Ubin Langit-langit Glaawool

Kepadatan (Kg/m ³)	Toleransi	Thermal	Layanan Suhu (°C)	Serat Diameter (mm)	Resistance Air (%)
		Konduktivitas Pengurangan 24°C W/(m/k)			
12	± 2	≤ 0,038			
24					
32	± 2	≤ 0,035			
36					
48	± 6	≤ 0,033	≥ 350	5-8	≤ 1,0
60					
64	± 6	≤ 0,032			
80					

2.7 HHV dan LHV

Nilai Panas (Nilai Pembakaran) atau HV (Heating Value) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H₂O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H₂O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H₂O yang terbentuk sebagai cairan. Berarti ada 2 macam Nilai Pembakaran yaitu Nilai Pembakaran Atas (NPA) atau HHV dan Nilai Pembakaran Bawah (NPB) atau LHV.

1. NPA atau HHV adalah :

Yaitu Nilai Pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berebentuk cairan

2. NPB atau LHV adalah:

Yaitu Nilai Pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk gas.

Prinsip pembakaran bahan bakar sejatinya adalah reaksi kimia bahan bakar dengan oksigen (O). Kebanyakan bahan bakar mengandung unsur Karbon (C), Hidrogen (H) dan Belerang (S). Akan tetapi yang memiliki kontribusi yang penting terhadap energi yang dilepaskan adalah C dan H. Masing-masing bahan bakar mempunyai kandungan unsur C dan H yang berbeda-beda.

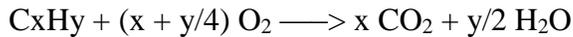
Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran lengkap (complete combustion) dan pembakaran tidak lengkap (incomplete combustion). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO₂, seluruh unsur H menghasilkan H₂O dan seluruh S menghasilkan SO₂. Sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang dikandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO₂. Keberadaan CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung secara tidak lengkap.

Jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran dinyatakan sebagai entalpi pembakaran yang merupakan beda entalpi antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. Entalpi pembakaran ini dapat dinyatakan sebagai Higher Heating Value (HHV) atau Lower Heating Value (LHV). HHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam wujud cair sedangkan LHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam bentuk uap.

Pada umumnya pembakaran tidak menggunakan oksigen murni melainkan memanfaatkan oksigen yang ada di udara. Jumlah udara minimum yang diperlukan untuk menghasilkan pembakaran lengkap disebut sebagai jumlah udara teoritis (atau stoikiometrik). Akan tetapi pada kenyataannya untuk pembakaran lengkap udara yang dibutuhkan melebihi jumlah udara teoritis. Kelebihan udara dari jumlah udara teoritis disebut sebagai excess air yang umumnya dinyatakan dalam persen. Parameter yang sering digunakan untuk mengkuantifikasi jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran tertentu adalah rasio udara-bahan bakar. Apabila pembakaran lengkap terjadi ketika jumlah udara sama dengan jumlah udara teoritis maka pembakaran disebut sebagai pembakaran sempurna.

Nilai kalori merupakan nilai panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu zat pada suhu tertentu.

Reaksi pembakaran sempurna hydrocarbon seperti ini:



Sesuai definisinya, panas pembakaran dihitung seolah-olah reaktan dan hasil reaksi memiliki suhu yang sama. Biasanya kondisi standar yang dipakai untuk perhitungan nilai kalori adalah 25 °C dan 1 atm. Seperti kita tahu pada 25 °C dan 1 atm H₂O memiliki fase liquid, maka perhitungan HHV menganggap H₂O hasil pembakaran diembunkan menjadi fase liquid, sehingga selain panas didapat dari pembakaran, diperoleh pula energi dari panas pengembunan H₂O. Kalau perhitungan LHV itu menganggap bahwa H₂O tetap pada fase gas pada 25 °C. Jadi selisih antara HHV dan LHV adalah panas pengembunan H₂O pada suhu dan tekanan standar.

HHV dan LHV adalah notasi theoretical, hanya dipakai untuk indikasi dan tidak menunjukkan kondisi yang sebenarnya dalam praktek. Alasannya bahan bakar dan gas hasil pembakaran tidak pernah berada pada temperatur yang sama sesuai asumsi yang dipakai untuk perhitungan HHV dan LHV. Dalam praktek, energi yang bisa kita peroleh dari pembakaran bahan bakar akan selalu lebih kecil dari HHV atau LHV, karena ada energi dalam bentuk panas yang dibawa pergi oleh gas hasil pembakaran. Itulah sebabnya efisiensi semua mesin konversi energi (steam power plant, internal combustion engine, gas turbine) tidak pernah bisa 100 %.

Jadi HHV dan LHV sama sekali tidak ada hubungannya dengan fase dari bahan bakarnya, baik bahan bakar padat maupun cair, sama-sama punya HHV dan LHV. Kalau soal gampang atau susah nya membakar, juga tidak ada hubungannya dengan HHV dan LVH. Karena, pembakaran itu proses eksotermis, jadi tidak mengambil panas (energi) dari lingkungan justru memberikan panas ke lingkungan. Sebenarnya yang bisa dibakar itu adalah fase gas, kalau ada bahan bakar cair, maka harus terbentuk cukup uap di atas permukaannya supaya bisa memulai pembakaran. Kalau kita mulai dari temperatur ambient, untuk bahan bakar cair tertentu, misalnya diesel oil, mesti diberikan suhu yang cukup supaya tekanan uapnya cukup tinggi untuk membentuk fase

uap yang bisa dibakar (dari sinilah muncul istilah flash point). Tapi begitu sudah dibakar, panas dari pembakaran akan selalu menyediakan energi yang cukup untuk menghasilkan fase uap yang siap untuk dibakar.