

PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PANAS

1. PENDAHULUAN	1
2. JENIS PERALATAN PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PANAS	1
3. PENGKAJIAN PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PANAS.....	12
4. PELUANG EFISIENSI ENERGI.....	15
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	15
7. REFERENSI.....	17

1. PENDAHULUAN

Bagian ini secara ringkas menjelaskan tentang keistimewaan pemanfaatan kembali limbah panas.

Limbah panas adalah panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar atau reaksi kimia, yang kemudian “dibuang” ke lingkungan dan tidak diguna ulang untuk tujuan ekonomis dan bermanfaat. Fakta yang penting adalah bukan masalah jumlah panasnya, namun lebih kepada “nilai” nya. Mekanisme untuk memanfaatkan kembali panas yang tidak digunakan tergantung pada suhu gas panas yang terbuang dan ekonominya.

Sejumlah besar gas buang panas dihasilkan dari boiler, kiln, oven dan tungku. Jika panas terbuang dapat dimanfaatkan kembali maka sejumlah bahan bakar primer dapat dihemat. Energi yang hilang dalam limbah gas tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan kembali. Tetapi banyak panas yang dapat dimanfaatkan dan dalam bab ini akan disampaikan secara garis besar cara-cara untuk meminimalkan kehilangan tersebut.

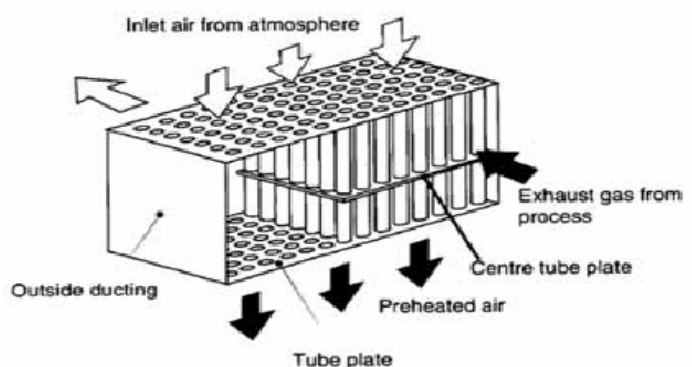
2. JENIS PERALATAN PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PANAS

Bagian ini menjelaskan berbagai peralatan komersial yang dapat digunakan untuk memanfaatkan kembali limbah panas dan untuk penerapan dan penggunaan lainnya.

2.1 *Recuperators*

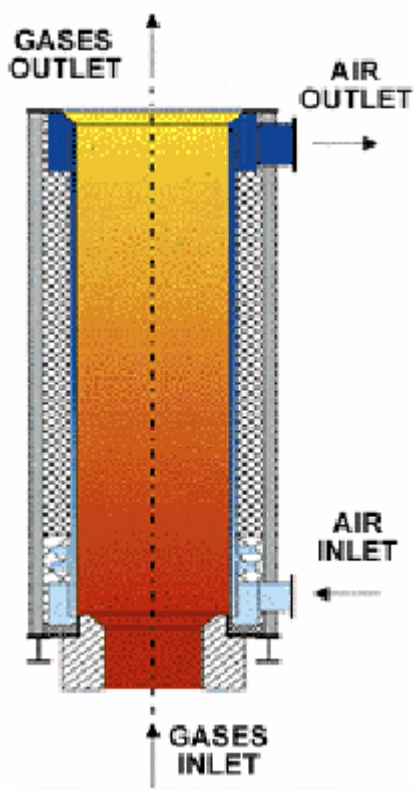
Pada *recuperator*, pertukaran panas terjadi diantara gas buang dan udara melalui dinding keramik atau logam. Saluran atau pipa-pipa membawa udara pembakaran untuk diberi pemanasan awal, sementara disisi lainnya terdapat aliran limbah panas. *Recuperator* untuk memanfaatkan kembali limbah panas dari gas buang diperlihatkan pada Gambar 1.

2.1.1 *Recuperator* radiasi logam



Gambar 1. Pemanfaatn Kembali Limbah Panas dengan menggunakan *Recuperator* (SEAV, 2004)

Susunan sederhana untuk sebuah *recuperator* adalah *recuperator* radiasi logam, yang terdiri dari dua buah pipa logam dengan panjang konsentris seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



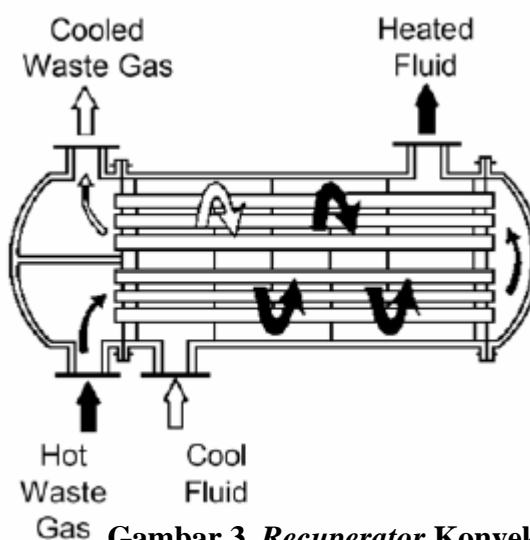
Bagian dalam pipa membawa gas buangan panas sementara bagian luarnya membawa udara pembakaran dari atmosfer ke lubang masuk udara (*air inlet*) burner tungku. Gas panas didinginkan oleh udara pembakaran yang masuk, yang kemudian membawa energi tambahan menuju ruang pembakaran. Ini adalah energi, yang tidak perlu dipasok oleh bahan bakar; sebagai akibatnya, lebih sedikit bahan bakar yang dibakar untuk beban tungku tertentu. Penghematan bahan bakar juga berarti pengurangan pada jumlah udara pembakaran dan oleh karena itu kerugian cerobong dikurangi tidak hanya oleh penurunan suhu gas cerobong tapi juga oleh pembuangan lebih sedikitnya gas buang. Pada *Recuperator* radiasi, perpindahan panas dari gas panas ke permukaan bagian dalam pipa berlangsung secara radiasi. Udara dingin dalam pipa, hampir tidak memancarkan radiasi infra merah sehingga hanya perpindahan panas secara konveksi yang terjadi pada udara yang masuk. Seperti yang diperlihatkan dalam diagram, dua aliran gas biasanya sejajar/ paralel, walaupun akan lebih sederhana dan perpindahan panasnya akan lebih efisien jika alirannya berlawanan arah (atau aliran *counterflow*). Alasan penggunaan aliran paralel adalah bahwa *recuperators* seringkali melayani fungsi tambahan sebagai pendingin saluran yang membawa gas-gas pembuangan dimana hal ini juga dapat memperpanjang umur alat.

Gambar 2. Recuperator Radiasi Logam (Hardtech Group)

2.1.2 Recuperator konvektif

Susunan *recuperator* kedua yang umum disebut *recuperator* konvektif jenis pipa. Seperti terlihat dalam gambar, gas panas mengalir melalui sejumlah pipa paralel berdiameter kecil, sementara udara yang dipanaskan masuk ke *shell* disekitar pipa dan melewati pipa panas satu atau berkali-kali pada arah normal terhadap sumbunya.

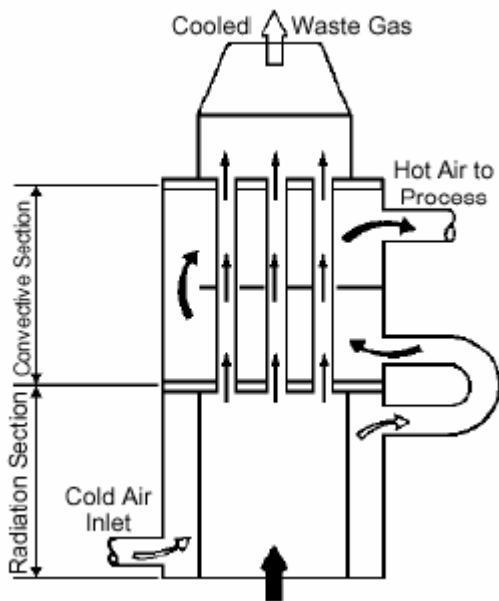
Jika pipa diberi *baffle* untuk membiarkan gas melewatinya dua kali, penukar panasnya disebut *recuperator* dua *pass*/ lintasan, jika digunakan dua buah *baffles*, disebut *recuperator* tiga *pass*/lintasan dll. Walaupun pemberian *baffle* meningkatkan biaya penukar panas dan penurunan tekanan pada jalur udara pembakaran, namun upaya ini akan meningkatkan efektifitas pertukaran panas. *Recuperator* jenis *shell and tube* umumnya lebih kompak dan memiliki efektifitas lebih tinggi daripada *recuperator* radiasi, sebab area



Gambar 3. Recuperator Konvektif (Reay, D.A., 1996)

perpindahan panasnya lebih besar karena penggunaan sejumlah banyak pipa dan *pass*/ lintasan gas.

2.1.3 Recuperator hibrid



Gambar 4. *Recuperator* hibrid
(Reay, D.A., 1996)

dibuat dari ubin dan disambungkan dengan semen tahan api, tetapi siklus panas menyebabkan keretakan sambungan dan cepat terjadi kerusakan pipa-pipa. Perkembangan selanjutnya diperkenalkan berbagai macam pipa pendek silicon karbida, yang dapat disambung dengan sil fleksibel yang terletak pada *headers* udara.

Rancangan terdahulu memiliki pengalaman laju kebocoran dari 8 hingga 60 persen. Rancangan baru sekitar dua tahun belakangan dengan suhu pemanasan awal udaranya sebesar 700°C, laju kebocoran lebih rendah.

2.2 Regenerators

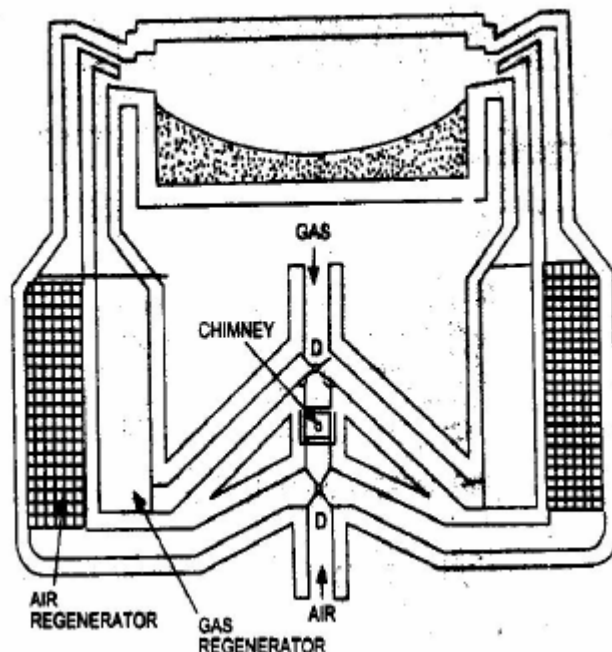
Regenerators cocok untuk kapasitas yang besar dan telah digunakan secara luas dalam tungku peleleh baja dan kaca. Terdapat hubungan penting antara ukuran *regenerator*, waktu diantara

Untuk efektivitas perpindahan panas yang maksimum, digunakan *recuperator* hibrid. Alat ini merupakan perpaduan rancangan radiasi dan konveksi, dengan bagian radiasi yang bersuhu tinggi diikuti oleh bagian konveksi (lihat Gambar 4).

Alat ini lebih mahal daripada *recuperator* radiasi logam, namun ukurannya lebih kecil.

2.1.4 Recuperator keramik

Kekurangan *recuperator* logam untuk pemanfaatan kembali panas adalah berkurangnya umur lapisan jika suhu masuk melebihi 1100°C. Untuk mengatasi pembatasan suhu *recuperator* logam, telah dikembangkan *recuperator* pipa keramik yang dapat digunakan untuk transfer panas gas buang sampai 1550 °C dan memanaskan awal udara sampai 815 °C. *Recuperator* keramik terdahulu

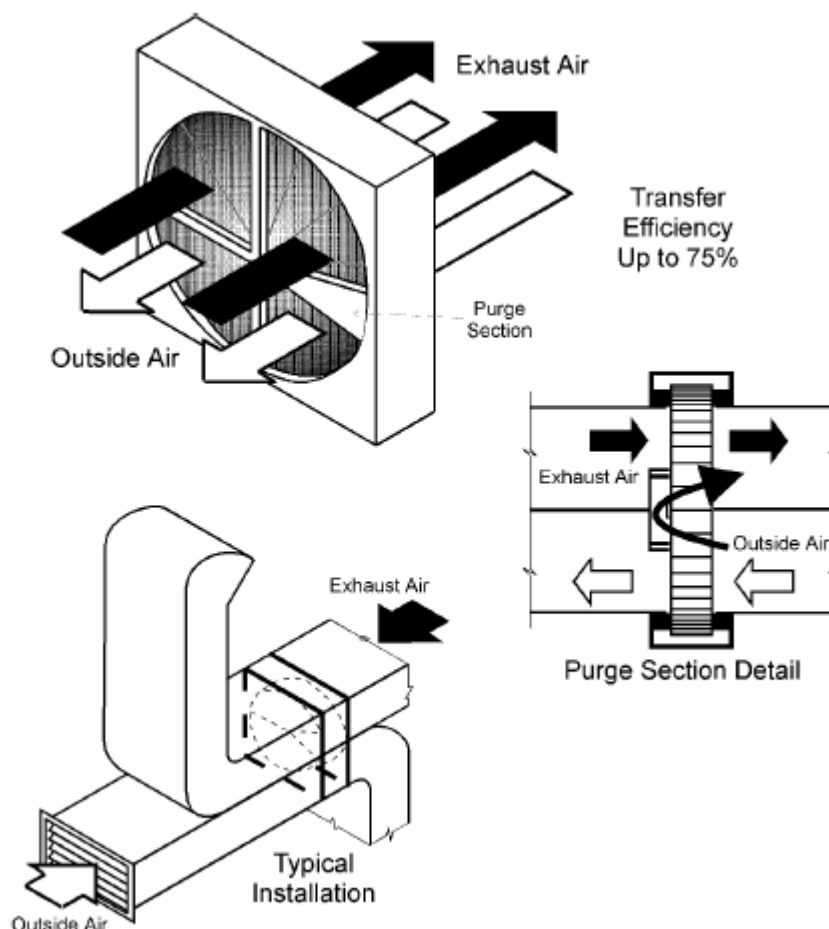


Gambar 5. *Regenerator*
(Departemen Batubara, India, 1985)

pembalikan/sirkulasi, ketebalan batu bata, konduktivitas batu bata dan perbandingan penyimpanan panas batu bata. Dalam sebuah *regenerator*, waktu diantara pembalikan/sirkulasi merupakan aspek penting. Jangka waktu yang lama bisa berarti penyimpanan panas yang lebih tinggi dan dengan begitu berarti biaya yang lebih tinggi pula. Juga jangka waktu panjang bagi pembalikan menghasilkan suhu rata-rata pemanasan yang lebih rendah dan sebagai akibatnya menurunkan ekonomi bahan bakar. Penumpukan debu dan pembentukan kerak pada permukaan tungku tua menurunkan efisiensi perpindahan panas. Kehilangan panas dari dinding *regenerator* dan kebocoran udara masuk pada bagian gas dan kebocoran keluar pada bagian udara dapat menurunkan perpindahan panas.

2.3 Heat Wheels

Heat wheel diterapkan untuk pemanfaatan kembali limbah panas bersuhu rendah hingga menengah.



Gambar 6. Heat Wheel
(SADC, 1999)

Merupakan cakram berpori yang sangat besar, dibuat dengan bahan yang memiliki kapasitas panas tinggi yang baik, berputar diantara dua saluran yang berdampingan: satunya merupakan saluran gas dingin, yang lainnya saluran gas panas. Sumbu saluran terletak sejajar/ paralel dan pada partisi antara dua saluran. Begitu cakram berputar perlahan, panas *sensible* (kandungan air yang mengandung panas laten) ditransfer ke cakram oleh udara panas dan, begitu cakram berputar, dari cakram ke udara dingin. Efisiensi keseluruhan perpindahan

panas *sensible* untuk *regenerator* jenis ini dapat mencapai setinggi 85 persen. *Heat wheels* telah dibangun dengan diameter sebesar 21 meter dengan kapasitas udara mencapai 1130 m³ / menit.

Variasi dari *heat wheel* adalah *regenerator* berputar yaitu yang merupakan sebuah silinder yang berputar mengitari aliran gas dan udara buang. *Wheel* pemanfaat kembali panas atau energi merupakan *regenerator* panas gas yang berputar, yang dapat mentransfer panas dari gas keluar ke gas yang masuk.

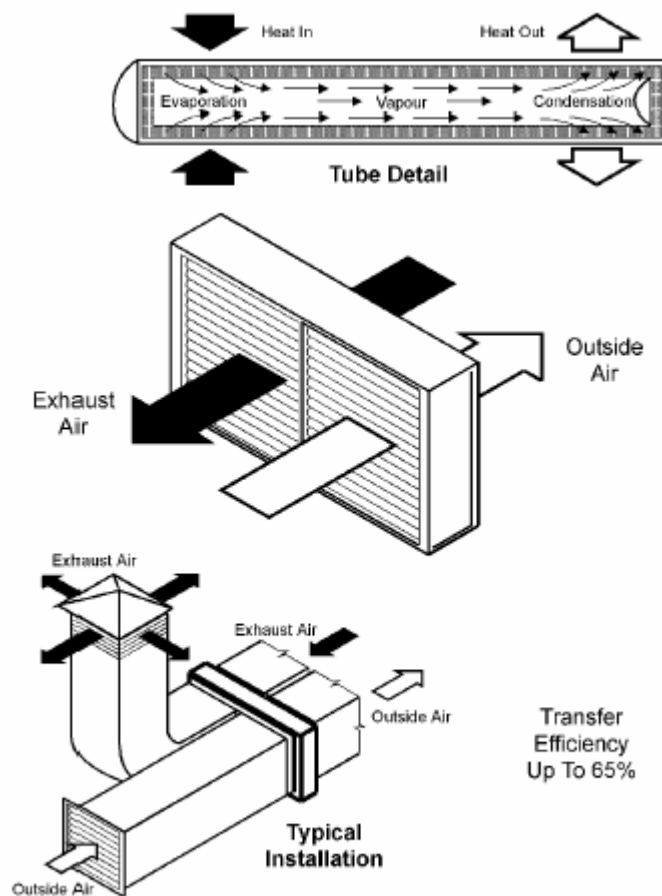
Penerapan utama dari *heat wheel* adalah menukar panas antara masa udara yang besar yang memiliki perbedaan suhu yang kecil. Sistem pemanasan dan ventilasi dan pemanfaatan kembali panas dari pengering udara pembuangan merupakan penerapannya yang khas.

2.4 Pipa Panas

2.4.1 Deskripsi

Sebuah pipa panas dapat mentransfer energi panas hingga 100 kali tembaga, merupakan konduktor yang paling terkenal. Dengan kata lain, pipa panas merupakan sistem penyerap dan penghantar energi panas yang tidak memiliki bagian yang bergerak dan dengan begitu hanya memerlukan perawatan yang minimal.

Pipa panas terdiri dari tiga elemen – sebuah wadah yang ditutup rapat, struktur pipa kapiler dan fluida kerja. Struktur pipa kapiler disusun secara integral menjadi permukaan dalam dari pipa wadah dan ditutup rapat pada kondisi vakum. Energi panas yang diterapkan ke permukaan luar pipa panas berada dalam kesetimbangan dengan uapnya begitu pipa wadah ditutup rapat pada kondisi vakum. Energi panas yang diterapkan ke permukaan luar pipa panas mengakibatkan fluida kerja dekat permukaan menguap secara tiba-tiba. Kemudian uap yang terbentuk menyerap panas laten penguapan



Gambar 7. Pipa Panas
(SADC, 1999)

dan bagian pipa panas ini menjadi daerah penguapan. Uap kemudian berjalan menuju ujung pipa yang lain dimana energi panas dibuang dan menyebabkan uap mengembun menjadi cair lagi, oleh karena itu menghentikan panas laten pengembunan. Bagian dari pipa panas ini bekerja layaknya seperti daerah pengembun/ *condenser*. Cairan yang terembunkan kemudian mengalir balik ke daerah penguapan. Gambar 7 memperlihatkan pipa panas.

2.4.2 Kinerja dan keuntungan

Penukar pipa panas (HPHE) merupakan sistem pemanfaat panas yang ringan dan kompak. Alat ini sebetulnya tidak memerlukan perawatan mekanis; karena tidak terdapat bagian yang bergerak yang dapat rusak. Alat ini juga tidak memerlukan masukan tenaga untuk pengoperasiannya dan bebas dari sistem air pendingin dan pelumasan. Alat ini juga membutuhkan daya fan lebih rendah dan meningkatkan efisiensi panas sistem secara keseluruhan. Sistem pemanfaatan panas pipa panas mampu beroperasi pada suhu 315°C dengan kemampuan pengambilan panasnya dari 60% hingga 80%.

2.4.3 Penerapan khusus

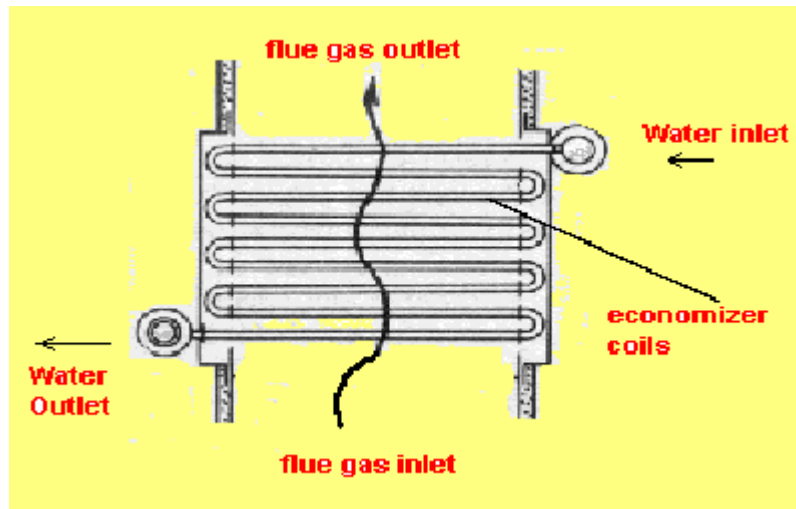
Pipa panas diterapkan pada industri, sebagai berikut:

- Proses Pemanasan Ruang: Penukar panas pipa panas menghantarkan energi panas dari proses pembuangan gas untuk pemanasan bangunan. Udara yang diberi pemanasan awal dapat dicampurkan bila perlu. Kebutuhan akan tambahan peralatan pemanasan untuk menghantarkan udara *make up* yang dipanaskan akan berkurang secara drastis atau ditiadakan.
- Proses ke Proses: Penukar panas pipa panas memanfaatkan energi limbah panas dari proses pembuangan dan menghantarkan energi ini ke udara proses yang masuk. Jadi udara yang masuk menjadi hangat dan dapat digunakan untuk proses yang sama/ proses lain dan dengan demikian, mengurangi pemakaian energi proses.
- Penerapan HVAC:
 - Pendinginan: Penukar panas pipa panas memberi pendinginan awal udara segar dalam bangunan pada musim panas dan dengan demikian mengurangi tonase total pendinginan, terpisah dari penghematan operasional sistem pendinginan. Energi panas dipasok yang diambil dari buangan dingin dan dihantarkan ke pasokan udara segar yang panas.
 - Pemanasan: Proses diatas dibalik selama musim salju untuk memanaskan awal udara segar.
- Penerapan lainnya di industri-industri adalah:
 - Pemanasan awal udara pembakaran boiler
 - Pemanfaatan kembali limbah panas dari tungku
 - Pemanasan ulang udara segar untuk pengering udara panas
 - Pemanfaatan kembali limbah panas dari peralatan penghilangan bau katalitis
 - Guna ulang limbah panas tungku sebagai sumber panas untuk oven lainnya
 - Pendinginan ruangan tertutup dengan udara luar
 - Pemanasan awal air umpan boiler dengan pemanfaatan kembali limbah panas dari gas buang dalam *economizers* pipa panas.
 - Pengeringan, *curing* dan oven pemanggang
 - Reklamasi buangan steam
 - Kiln bata tahan api (pemanfaatan sekunder)
 - Tungku *reverberatory* (pemanfaatan sekunder)

- Sistem pemanasan, ventilasi dan AC

2.5 Economizers

Dalam sistem boiler, sebuah *economizer* dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan boiler. Dengan kata lain, dalam sebuah pemanas awal udara, limbah panas digunakan untuk memanaskan udara pembakaran. Dalam kedua kasus tersebut, terdapat penurunan permintaan bahan bakar boiler.

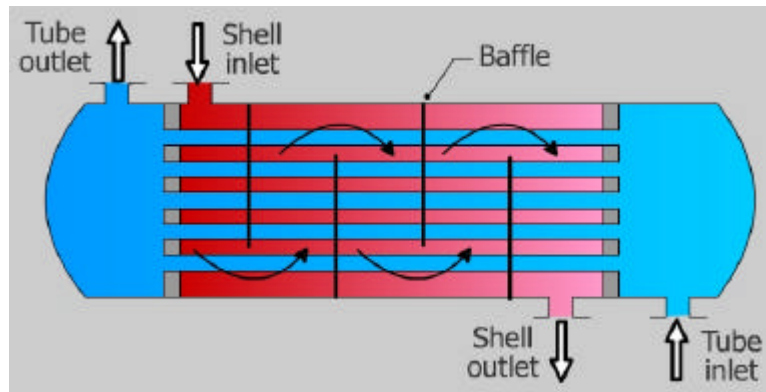


Gambar 8. Economizer
(Biro Efisiensi Energi, 2004)

Untuk setiap penurunan 220 °C suhu gas buang dengan melewati ke *economizer* atau ke pemanas awal, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler. Atau, untuk setiap kenaikan 60 °C suhu air umpan melalui *economizer*, atau kenaikan 200 °C suhu udara pembakaran melalui pemanas awal udara, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler.

2.6 Penukar Panas Jenis *Shell and Tube*

Bila media yang mengandung limbah panas adalah cairan atau uap yang memanaskan cairan lainnya, maka harus digunakan penukar panas jenis *shell and tube* karena kedua jalur harus ditutup rapat untuk mendapatkan tekanan fluida masing-masing. *Shell* terdiri dari sekumpulan pipa, dan biasanya terdapat *baffle* didalamnya, untuk mengarahkan fluida dalam *shell* melewati pipa berkali-kali. *Shell* lebih lemah dari pada *tube*, sehingga fluida yang bertekanan tinggi disirkulasikan dalam *tubes* sementara fluida yang bertekanan rendah mengalir melalui *shell*. Bila uap yang mengandung limbah panas, biasanya mengembun, menyerahkan panas latennya ke cairan yang sedang dipanaskan, maka uap harus melewati *shell*. Jika diusahakan kebalikannya, pengembunan uap didalam pipa paralel yang berdiameter kecil akan menyebabkan ketidakstabilan aliran. Penukar panas *tube and shell* tersedia dalam berbagai ukuran standar dengan banyak ragam kombinasi *tubes* dan *shell*nya. Penukar panas *shell and tube* digambarkan dalam Gambar 9 dibawah ini.

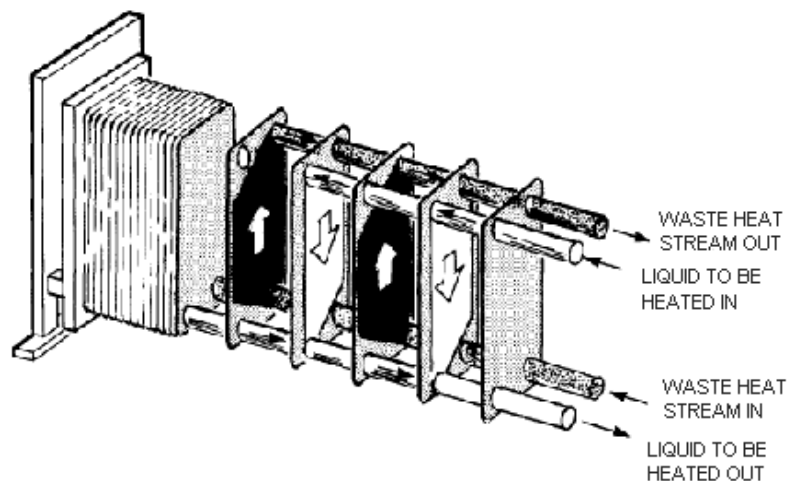


Gambar 9. Penukar Panas jenis Shell & Tube
(King Fahad University of Petroleum & Minerals, 2003)

Penerapan yang umum dilakukan untuk penukar panas *shell and tube* adalah pemanasan cairan dengan panas yang dikandung oleh kondensat dari sistem pendinginan dan sistem AC; kondensat dari proses steam; pendingin dari pintu tungku, *grates* dan penyangga pipa, pendingin dari mesin-mesin, kompresor udara, *bearing*, dan pelumas; dan kondensat dari proses destilasi.

2.7 Penukar Panas Plat

Harga merupakan faktor utama pada penggunaan alat penukar panas permukaan terutama jika perbedaan suhunya tidak terlalu besar. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah alat penukar panas plat, yang terdiri dari serangkaian plat paralel terpisah membentuk lintasan aliran yang tipis. Setiap plat dipisahkan dari yang berikutnya dengan gasket dan aliran panas melintas secara paralel melalui plat-plat alternatif sementara cairan yang dipanaskan melintas secara paralel diantara plat-plat panas. Untuk memperbaiki perpindahan panas maka pelat-pelat dibentuk bergelombang.



Gambar 10. Penukar Panas Jenis Pelat
(Canada Agriculture and Agri-Food)

Cairan panas yang melintasi bagian bawah *head* dialirkan keatas melintas diantara setiap plat genap sementara cairan dingin pada bagian puncak *head* dialirkan turun diantara plat-plat ganjil. Bila arah fluida panas & dingin berlawanan, susunannya digambarkan sebagai aliran berlawanan arah *counter current*. Penukar panas jenis plat diperlihatkan pada Gambar 10.

Penerapannya di industri adalah:

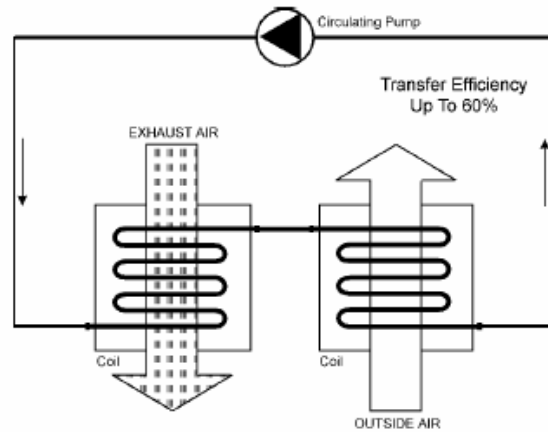
- Pada *plant* pasteurisasi pengemasan susu
- *Plant* penguapan pada industri makanan

2.8 Pemanas dengan Koil yang Memutar

Pemanas dengan Koil yang Memutar prinsipnya sama persis dengan pemanas pipa panas. Panas dari fluida panas dipindahkan ke fluida yang lebih dingin melalui fluida antara yang dikenal sebagai Fluida Pemindah Panas. Satu koil dari *loop* tertutup dipasang pada aliran panas sementara yang lainnya pada aliran dingin. Sirkulasi fluida ini dilakukan dengan pompa sirkulasi.

Akan lebih bermanfaat jika fluida panas dan dingin ditempatkan berjauhan dan tidak mudah didatangi.

Penerapannya di industri adalah pemanfaatan kembali panas dari ventilasi, AC dan pemanfaatan kembali panas bersuhu rendah.

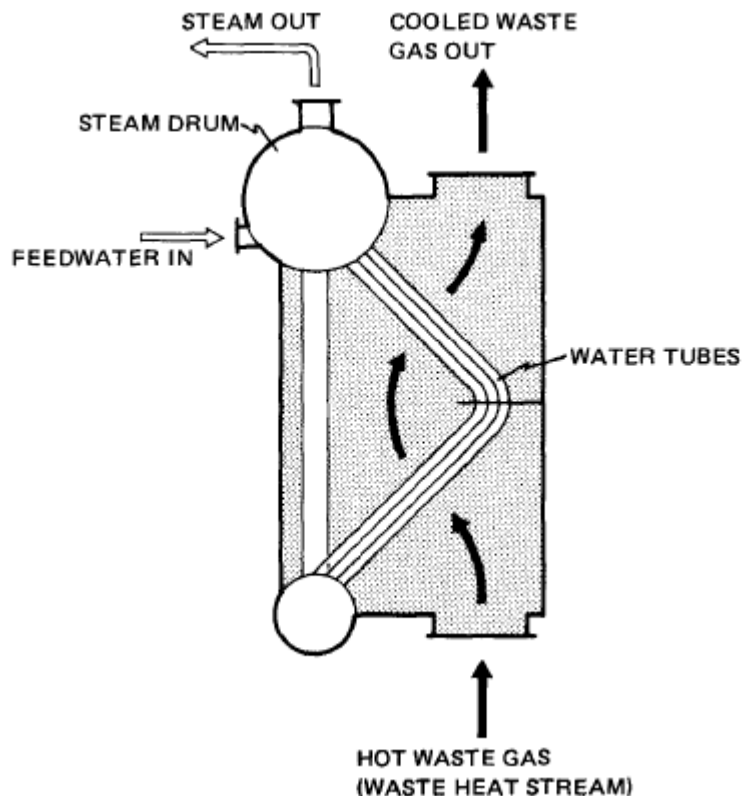


Gambar 11. Pemanas dengan Koil yang Memutar
SADC , 1999

2.9 Pemanfaatn Kembali Limbah Panas untuk Boiler

Boiler limbah panas biasanya merupakan boiler pipa air dimana gas panas yang keluar dari turbin gas, insinerator, dll. dilewatkan sejumlah pipa paralel yang berisikan air. Air menguap dalam pipa dan dikumpulkan dalam sebuah drum steam, yang kemudian steam digunakan sebagai steam pemanas atau proses.

Karena gas buangan biasanya memiliki kisaran suhu *medium* dan dalam rangka menghemat tempat, maka dibuat boiler yang lebih kompak menggunakan pipa air berbentuk seperti sirip/ pipih untuk meningkatkan area perpindahan panas yang efektif di bagian gasnya. Gambar 12 memperlihatkan sebuah drum lumpur, satu set pipa dimana gas panas membuat lintasan ganda, dan sebuah drum steam yang mengumpulkan steam yang dihasilkan diatas permukaan air. Tekanan dan kapasitas

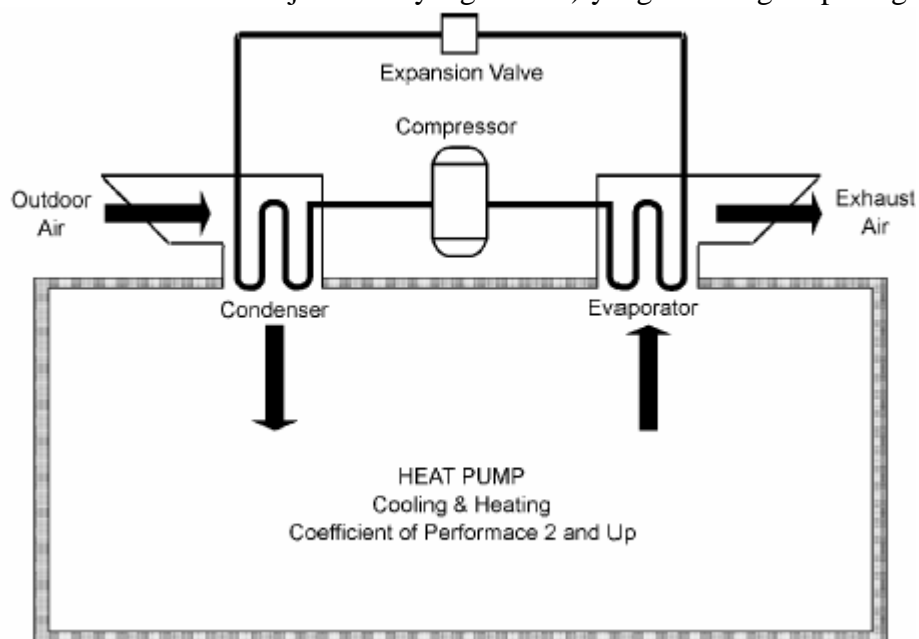


Gambar 12. Boiler Dua Lintasan Pipa Air Pemanfaatn Limbah Panas
(Canada Agriculture and Agri-Food)

steam yang dihasilkan tergantung pada suhu limbah panas. Tabel steam memberikan tabulasi hubungan antara tekanan dan suhu jenuhnya. Jika limbah panas dalam gas buang tidak mencukupi untuk menghasilkan jumlah steam proses yang diperlukan, maka ditambahkan sebuah *burner* tambahan, yang membakar bahan bakar dalam boiler limbah panas atau sebuah *after-burner* dimana gas buang ditambahkan. Boiler limbah panas dibuat dengan kapasitas dari 25 m³ hingga 30.000 m³ /menit gas buang.

2.10 Pompa Panas

Dalam berbagai opsi komersial yang sudah didiskusikan sebelumnya, limbah panas dipindahkan dari fluida panas ke fluida yang bersuhu lebih rendah. Panas harus mengalir “turun bukit” secara spontan, yakni dari sistim yang bersuhu tinggi ke yang bersuhu lebih rendah. Bila energi dipindahkan atau diubah bentuk secara berulang-ulang, maka energinya akan semakin berkurang untuk digunakan. Pada akhirnya, energi memiliki intensitas yang rendah (dari suhu medium menjadi suhu yang rendah) yang tidak lagi dapat digunakan.



Gambar 13. Susunan Pompa Panas
(SADC, 1999)

Sudah menjadi aturan umum dalam operasi industri bahwa fluida dengan suhu kurang dari 120°C (atau, lebih baik, 150°C untuk memberi batas aman), ditetapkan sebagai batas bagi pemanfaatan kembali limbah panas sebab resiko pengembunan untuk cairan yang korosif. Walau demikian, dengan makin naiknya harga bahan bakar, maka limbah panas tersebut dapat digunakan secara ekonomis untuk pemanasan ruangan dan penggunaan suhu rendah lainnya. Sangat memungkinkan untuk membalik arah aliran energi secara spontan dengan menggunakan sistim termodinamika yang dikenal dengan pompa panas.

Kebanyakan pompa panas bekerja dengan prinsip siklus kompresi uap. Dalam siklus ini, bahan yang bersirkulasi dipisahkan secara fisik dari aliran sumber (limbah panas, dengan suhu T_{in}) dan pengguna (panas yang digunakan dalam proses, T_{out}), dan diguna ulang secara siklus, oleh karena itu disebut ‘siklus tertutup’. Dalam pompa panas, terjadi proses berikut:

- Dalam *evaporator*, panas diambil dari sumber panas untuk mendidihkan bahan yang disirkulasi;
- Kompresor memampatkan bahan yang disirkulasi, sehingga meningkatkan suhu dan tekanannya. Uap bersuhu rendah dimampatkan oleh sebuah kompresor, yang memerlukan kerja dari luar. Kerja dilakukan terhadap uap akan menaikkan suhu dan tekanannya ke tingkat dimana energinya siap untuk digunakan.
- Panas diantarkan ke kondensor;
- Tekanan bahan yang disirkulasi (fluida kerja) menurun dan kembali ke kondisi *evaporator* dalam klep penutup, dimana siklus berulang lagi.

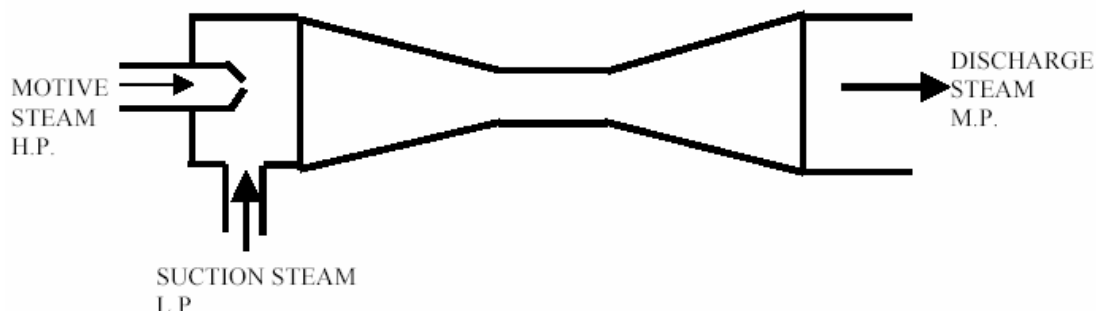
Pompa panas dikembangkan sebagai sistim pemanas ruangan dimana energi bersuhu rendah dari udara ambien, air, atau tanah dinaikkan hingga suhu sistim pemanas dengan pemampatan/kompresi menggunakan sebuah kompresor yang digerakkan oleh motor listrik. Susunan dari pompa panas diperlihatkan dalam gambar 13.

Pompa panas memiliki kemampuan untuk meng- *upgrade* panas ke nilai lebih dari dua kali lipat dari energi yang dipakai oleh peralatan. Potensi penerapan pompa panas makin bertambah dan terdapat pertambahan jumlah industri yang telah mendapatkan manfaat dari pemanfaatan ulang limbah panas kualitas rendah dengan cara meng- *upgrade* nya dan menggunakannya dalam aliran proses utama.

Penerapan pompa panas sangat menjanjikan bila kemampuan pemanasan dan pendinginannya dapat dipadukan. Salah satu contohnya adalah sebuah pabrik plastik dimana air dingin/ *chilled water* digunakan untuk mendinginkan mesin pencetak injeksi/ *injection-moulding*, sementara keluaran panas dari pompa panas digunakan untuk pemanasan pabrik atau kantor. Contoh lain dari pemasangan pompa panas adalah pengeringan produk, menjaga udara yang kering untuk penyimpanan dan untuk pengeringan udara bertekanan.

2.11 Thermo-compressor

Dalam beberapa kasus, penggunaan steam yang bertekanan sangat rendah dan diguna ulang dalam bentuk air setelah diembunkan, merupakan opsi yang lebih baik daripada tidak diguna ulang. Dalam beberapa kasus, memampatkan steam bertekanan rendah menggunakan steam yang bertekanan sangat tinggi dan mengguna ulang sebagai steam bertekanan menengah adalah layak. Energi utama dalam steam adalah dalam nilai panas latennya, dan dengan demikian maka kompresi panas akan memberikan peningkatan besar dalam pemanfaatan kembali limbah panas.



Gambar 14. Thermo-compressor

Thermo-compressor merupakan peralatan sederhana yang dilengkapi dengan sebuah nosel dimana *steam* tekanan tinggi HP dipercepat menjadi fluida berkecepatan tinggi. Hal ini menarik *steam* tekanan rendah LP dengan transfer momentum dan kemudian mengkompresi kembali dalam sebuah venturi divergen. Gambar *thermo compressor* diperlihatkan dalam Gambar 14.

Alat ini secara khusus digunakan dalam *evaporators* dimana *steam* yang mendidih dikompresikan kembali dan digunakan sebagai *steam* pemanas.

3. PENGKAJIAN PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PANAS

Bagian ini menerangkan tentang cara mengkaji potensi pemanfaatan kembali limbah panas dan beberapa contoh-contohnya.

3.1 Menentukan Kualitas Limbah Panas

Bila melakukan pemanfaatan kembali limbah panas, kualitas limbah panas harus dipertimbangkan terlebih dahulu.

Tergantung pada jenis proses, limbah panas dapat dibuang pada berbagai suhu mulai dari air dingin hingga limbah gas bersuhu tinggi dalam tungku industri atau kiln. Biasanya, suhu yang lebih tinggi setara dengan lebih tingginya kualitas pemanfaatan panas dan biaya efektivitas yang lebih besar pula. Dalam berbagai studi pemanfaatan kembali limbah panas, yang terpenting adalah bahwa terdapat banyak penggunaan bagi panas yang dimanfaatkan kembali. Contoh-contoh khusus dari penggunaan ini adalah pemanasan awal udara pembakaran, pemanasan ruangan, atau pemanasan awal air umpan boiler atau air proses. Dengan pemanfaatan kembali panas yang bersuhu tinggi, dapat digunakan sistem bertingkat, supaya jumlah panas dimanfaatkan kembali maksimal. Satu contoh dari teknik pemanfaatan kembali limbah panas ini adalah dimana tingkat suhu yang tinggi digunakan untuk pemanasan awal udara dan tingkatan suhu rendah digunakan untuk pemanasan air umpan proses atau pembangkitan *steam*.

3.1.1 Kualitas dan potensi penggunaan

Dalam mempertimbangkan potensi untuk memanfaatkan kembali panas, penting untuk dicatat seluruh sumber-sumber limbah yang memungkinkan dan kualitas serta kemungkinan-kemungkinan penggunaannya (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Sumber dan Kualitas Limbah Panas

No	Sumber Limbah panas	Kwalitas limbah panas dan kemungkinan penggunaannya
1	Panas dalam gas buang	Makin tinggi suhu maka makin besar nilai potensi untuk pemanfaatan kembali panasnya.
2	Panas dalam aliran uap	Seperti pada panas dalam gas buang, namun bila terjadi pengembunan maka panas laten juga dimanfaatkan.
3	Panas hilang secara konveksi & radiasi dari peralatan luar ruangan.	Mutu rendah – jika dikumpulkan, dapat digunakan untuk pemanasan ruangan atau pemanasan awal udara.
4	Kehilangan panas dalam air	Mutu rendah – penggunaan yang berguna jika panas

	pendingin	ditukar dengan air segar yang masuk
5	Kehilangan panas dalam pembuatan <i>chilled water</i> atau pada pembuangan <i>chilled water</i>	1. Mutu tinggi jika dapat digunakan untuk mengurangi kebutuhan refrigerasi 2. Mutu rendah jika unit refrigerasi yang digunakan dalam bentuk Pompa Panas
6	Panas yang tersimpan dalam produk yang meninggalkan proses	Kualitas tergantung pada suhu
7	Panas dalam efluen gas & cairan yang meninggalkan proses	Buruk, jika tercemar berat & dengan demikian memerlukan penukar panas campuran

3.1.2 Potensi pemanfaatan kembali untuk berbagai proses industri

Limbah panas dapat dimanfaatkan kembali dari berbagai proses industri. Perbedaannya terletak pada suhu limbah panas yang tinggi, menengah dan rendah.

Tabel 2 memperlihatkan suhu limbah gas dari peralatan proses industri pada kisaran suhu tinggi. Seluruh hasil tersebut berasal dari proses pembakaran bahan bakar secara langsung.

Tabel 2. Suhu Limbah Panas pada Kisaran Suhu Tinggi dari Berbagai Sumber

Jenis Peralatan	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
Tungku pemurnian Nikel	1370 – 1650
Tungku pemurnian Aluminium	650 – 760
Tungku pemurnian Seng	760 – 1100
Tungku pemurnian Tembaga	760 – 815
Tungku pemanasan Baja	925 – 1050
Tungku <i>reverberatory</i> Tembaga	900 – 1100
Tungku <i>open hearth</i>	650 – 700
Kiln semen (Proses kering)	620 – 730
Tungku peleleh kaca	1000 – 1550
<i>Plant</i> hidrogen	650 – 1000
Insinerator limbah padat	650 – 1000
Insinerator asap	650 – 1450

Tabel 3 memperlihatkan suhu limbah gas dari peralatan proses dalam kisaran suhu *medium*. Hampir seluruh limbah panas dalam kisaran suhu ini berasal dari pembuangan unit proses pembakaran langsung.

Tabel 3. Suhu Limbah Panas pada Kisaran Suhu Medium dari Berbagai Sumber

Jenis Peralatan	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
Pembuangan steam boiler	230 – 480
Pembuangan turbin gas	370 – 540
Pembuangan mesin <i>reciprocating</i>	315 – 600
Pembuangan mesin <i>reciprocating</i> (muatan <i>turbo</i>)	230 – 370
Tungku perlakuan panas	425 – 650
Oven pengering & pemanggang	230 – 600
<i>Catalytic crackers</i>	425 – 650
Sistim pendinginan tungku <i>annealing</i>	425 – 650

Tabel 4 memperlihatkan daftar beberapa sumber panas dalam kisaran suhu rendah. Pada kisaran ini, biasanya tidak praktis untuk dimanfaatkan, kecuali jika terdapat kebutuhan steam

bertekanan rendah. Limbah panas bersuhu rendah mungkin berguna sebagai tambahan untuk pemanasan awal.

Tabel 4. Suhu Limbah Panas pada Kisaran Suhu Rendah dari Berbagai Sumber

Sumber	Suhu °C
Kondensat steam proses	55-88
Air pendingin dari:	32-55
Pintu tungku	
<i>Bearing</i>	32-88
Mesin Las	32-88
Mesin cetak injeksi/ <i>injection molding</i>	32-88
Tungku <i>annealing</i>	66-230
<i>Forming dies</i>	27-88
Kompresor udara	27-50
Pompa	27-88
Mesin pembakaran <i>internal</i>	66-120
Kondensor AC dan refrigerasi	32-43
Kondensor penyuling cairan	32-88
Oven pengering, pemanggang dan <i>curing</i>	93-230
Cairan proses panas	32-232
Padatan proses panas	93-232

3.2 Menentukan Jumlah Limbah Panas

Dalam berbagai situasi pemanfaatan kembali panas, penting untuk mengetahui jumlah panas yang dapat dimanfaatkan kembali dan juga penggunaannya.

Panas total yang berpotensi dapat dimanfaatkan kembali dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

Dimana,

Q adalah kandungan panas dalam kkal

V adalah laju alir bahan dalam m³/jam

ρ adalah masa jenis gas buang dalam kg/m³

C_p adalah panas jenis bahan dalam kKal /kg oC

ΔT adalah perbedaan suhu dalam oC

Contoh

Sebuah pabrik kertas besar mengidentifikasi sebuah peluang untuk menghemat uang dengan cara memanfaatkan kembali panas dari air limbah yang panas. Buangan air limbah dari operasi berkisar 10000 kg/jam pada suhu 75^oC. Daripada membuang air ini ke saluran, diputuskan untuk memberi pemanasan awal terhadap 10000 kg/jam air dingin yang masuk yang memiliki suhu rata-rata tahunan 20^oC, dengan melintaskan air ini melalui penukar panas yang alirannya berlawanan arah/ *counterflow* dengan pembilasan balik otomatis untuk mengurangi penyumbatan. Berdasarkan faktor pemanfaatan kembali panas 58% dan jam operasi 5000 jam per tahun, penghematan panas tiap tahunnya (Q) adalah:

$$Q = m \times \eta \times C_p \times \Delta T$$

Dimana,

Q adalah kandungan panas dalam kkal

m adalah laju alir massa

C_p adalah panas jenis bahan dalam kkal/kg °C, dalam hal ini adalah air

ΔT adalah perbedaan suhu dalam °C

η adalah faktor pemanfaatan kembali

Jadi, untuk contoh ini

$$m = 1000 \text{ kg/jam} = 10000 \times 5000 \text{ kg/tahun} = 50000000 \text{ kg/tahun}$$

$$C_p = 1 \text{ kKcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = (75 - 20)^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$$

$$\eta = \text{Faktor Pemanfaatan Kembali Panas} = 58\% \text{ atau } 0,58$$

Perhitungan Q adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 50000000 \times 1 \times 55 \times 0,58 \\ &= 1595000000 \text{ kKcal/tahun} \end{aligned}$$

Nilai kalori kotor (GCV minyak) = 10.200 kKcal/kg

Penghematan minyak = 159500000 / 10200 = 156372 liter

Harga minyak = 0,35 US\$/liter

Penghematan keuangan = 54730 US\$/tahun

4. PELUANG EFISIENSI ENERGI

Area untuk pemanfaatan kembali limbah yang potensial tergantung pada proses industri, yang tercakup dalam modul peralatan energi lainnya.

5. DAFTAR PERIKSA OPSI

Opsi yang paling penting untuk memaksimalkan efisiensi energi bila menerapkan pemanfaatan kembali limbah panas adalah:

- Memanfaatkan kembali panas dari gas buang, air pendingin mesin, pembuangan mesin, limbah steam bertekanan rendah, pembuangan oven pengering, *blowdown boiler*, dll.
- Memanfaatkan kembali panas dari insinerator *off-gas*.
- Memanfaatkan limbah panas untuk pemanasan bahan bakar minyak, pemanasan air umpan boiler, pemanasan udara luar, dll.
- Memanfaatkan limbah panas dari *chiller* untuk memanaskan awal air panas.
- Menggunakan pompa panas.
- Memanfaatkan absorpsi refrigerasi.
- Memanfaatkan *thermal wheels*, sistim berputar-ulang, sistim pipa panas, dan penukar udara ke udara.

Opsi-opsi untuk memanfaatkan kembali limbah panas dicakup dalam modul peralatan energi lainnya.

6. LEMBAR KERJA

Bagian ini memperlihatkan lembar kerja berikut:

- Daftar pertanyaan Pemanfaatan Kembali Panas
- Matriks Peralatan dan Penerapan Pemanfaatan Kembali Limbah Panas

Lembar Kerja 1. Daftar Pertanyaan Pemanfaatan Kembali Panas

1. Dari peralatan mana anda ingin memanfaatkan kembali panas? Oven, tungku, dll.

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| • Oven | • Kiln |
| • Gas Buang | • Tungku Peleleh |
| • Pengering | • Boiler |
| • Oven Pemanggang | • Mesin <i>Die Cast</i> |
| • Tungku | • <i>Cupola</i> |
| • Pengering Cat | • Udara Buangan |
| | • Lainnya (Sebutkan) |

2. Aliran Panas:

- a. Pada suhu berapa buangan panas meninggalkan alat ini?
- b. Berapa jumlah buangan panas ini?

3. Apakah gas buangan panas ini bersih (gas alam, propan, bahan bakar minyak no.2) atau apakah mengandung pencemar atau bahan yang dapat menyebabkan korosi seperti sulfur, klorida, dll.?

Bersih:	Kotor:
Pembuangan dari:	Pembuangan dari dan/atau mengandung
_____ Udara	_____ Bahan Bakar Minyak
_____ Gas Alam	_____ Batu bara
_____ Propan	_____ Sulfur _____%
_____ Bahan Bakar Minyak	_____ Klorida _____%
_____ Listrik	_____ Uap Cat _____%
_____ Lainnya	_____ Lainnya _____%

4. Aliran Dingin:

Suhu Fluida Masuk	⁰ C	
Volume Fluida Masuk	⁰ C	
Suhu Fluida Keluar yang Dikehendaki	⁰ C	
Energi yang dimanfaatkan kembali	kJ/jam	
Aliran yang Tersedia	L/detik	

5. Biaya Bahan Bakar: (USD/kg)

6. Jam Operasi

Lembar Kerja 2. Matrik Peralatan dan Penerapan Pemanfaatan Kembali Limbah Panas

Peralatan Pemanfaatan Kembali Panas	Kisaran Suhu	Sumber	Penggunaan
<i>Recuperator Radiasi</i>	H	Pembuangan insinerator atau boiler	Pemanasan awal udara pembakaran
<i>Recuperator Konvektif</i>	M-H	Perendaman atau oven <i>annealing</i> , tungku peleleh, <i>afterburners</i> , insinerator gas, burner pipa radian, tungku pemanas ulang	Pemanasan awal udara pembakaran
Tungku Regenerator	H	Tungku peleleh Kaca dan Baja	Pemanasan awal udara pembakaran
<i>Heat Wheel</i> Logam	L-M	Oven pengering dan <i>curing</i> , pembuangan boiler	Pemanasan awal udara pembakaran, pemanas awal ruangan
<i>Heat Wheel</i> Keramik	M-H	Pembuangan Insinerator atau Boiler yang besar	Pemanasan awal udara pembakaran
<i>Regenerator</i> pipa Bersirip	L-M	Pembuangan Boiler	Pemanas awal air <i>makeup</i> boiler
Regenerator jenis <i>Shell & tube</i>	L	Kondensat refrigeran, limbah steam, kondensat destilasi, pendingin dari mesin, kompresor udara, <i>bearing</i> dan pelumas	Aliran cairan yang memerlukan pemanasan
Pipa Panas	L-M	Pengeringan, oven <i>curing</i> dan pemanggang, Limbah steam, pengering udara, Kiln dan tungku <i>Reverberatory</i>	Pemanasan awal udara pembakaran, pemanasan awal air <i>makeup</i> boiler, Pembangkitan <i>steam</i> , air panas domestik, pemanasan ruangan
Boiler limbah panas	M-H	Pembuangan dari turbin gas, mesin <i>reciprocating</i> , insinerator dan tungku	Pembangkitan air panas atau steam

7. REFERENSI

Agriculture and Agri-Food Canada, Departmental Electronic Publications. *Heat Recovery for Canadian Food and Beverage Industries*. 2001.

www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/images/5181e_pic85.gif and www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/5181-0007_e.html

Department of Coal, Government of India. *Coal and Industrial Furnaces – Efficient Utilization*. 1985

Hardtech Group. www.hardtech.es/hgg_tt_hrt.0.html

King Fahad University of Petroleum & Minerals. 2003.

http://faculty.kfupm.edu.sa/me/antar/Shell_Tube/classes/Shell-and-tube.jpg

Petroleum Conservation Research Association (PCRA), Ministry of Petroleum. *Fuel Economy in Furnaces and Waste heat recovery*. Industrial Booklet 5. 1998. www.pcra.org

Reay, D.A. and Span, F.N. *Heat Recovery Systems*. 1979.

Reay, D.A. *Low Temperature Waste Heat Recovery in the Process Industry*. Good Practice Guide No. 141. 1996.

SADC Energy Sector. *Module 15. Heat Recovery Systems*. Developed as part of the SADC Industrial Energy Management Project for the Canadian International Development Agency. www.siemp.co.zw/manuals/htm 1999.

Sustainable Energy Authority of Victoria (SEAV), Australia. *Best Practice Design, Technology and Management, Module 5*. 2004.

www.seav.vic.gov.au/ftp/advice/business/info_sheets/HeatRecoveryInfo_0_a.pdf

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

Hak cipta:

Hak cipta © United Nations Environment Programme (year 2006)

Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.

Disclaimer:

This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.

Disclaimer:

Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek "Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini