

Pengenalan kepada peluang penjimatan tenaga bagi dandang dan penyebaran haba

Introducing energy savings opportunities in boilers and heat distribution

Garis panduan kecekapan tenaga dalam sektor makanan & minuman

Energy efficiency guidance for the food & beverage sector

Dandang dan penyebaran haba

Hampir semua subsektor dalam industri pemrosesan makanan dan minuman akan memerlukan sejenis pemanasan proses, sebagai contoh, untuk pempasteuran, pensterilan, penceluran, pengupasan, penyejatan, pembasuhan produk dan pembersihan ruang pembuatan dan peralatan. Tenaga haba yang diperlukan biasanya dibekalkan oleh dandang setempat untuk bekalan air panas atau stim pada pelbagai suhu dan tekanan berbanding pada keperluan proses.

Almost all of the sub-sectors in the food and beverage processing industry need some form of process heating for, for example, pasteurization, sterilization, blanching, peeling, evaporation, washing products and the cleaning of production halls and equipment. The required thermal energy is usually supplied by on-site boilers installed to supply hot water or steam at various temperatures and pressures depending on the process requirements.

Dalam sektor makanan dan minuman (F&B), haba juga diperlukan untuk pengubahan kanji kepada glukosa, tiang penyulingan, pengeluaran (*extraction*), pengeringan dan untuk membersihkan botol dan bekas yang digunakan dalam pembungkusan produk akhir. Berdasarkan keperluan proses, stim utiliti digunakan untuk pemanasan tidak langsung, stim pemasakan digunakan untuk proses kontak langsung, mana kala stim pembersihan digunakan dalam penghasilan produk organik. Keperluan air panas suhu rendah (cth. $<90^{\circ}\text{C}$) dan air panas suhu sederhana (cth. $<180^{\circ}$) biasanya dipenuhi menggunakan pengubah haba stim-ke-air atau dengan menggunakan dandang lain.

In the F&B sector, heat is also needed for the conversion of starch to glucose, distillation columns, extraction, drying and for cleaning of bottles, jars and cases used when packaging the final products. Depending on process requirements, plant (utility) steam will be used for indirect heating, culinary steam for direct-contact processes and pure (hygienic) steam used to produce organic products. Low temperature hot water (e.g. $<90^{\circ}\text{C}$) and medium temperature hot water (e.g. $<180^{\circ}$) needs are commonly satisfied using steam-to-water heat exchangers or from separate boilers.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Dandang stim

Terdapat pelbagai jenis reka bentuk dan binaan dandang, namun semuanya adalah tergolong dalam dua jenis utama:

1. Jenis tempurung – gas pembakaran yang panas melalui sebatang tiub dan seterusnya melalui beberapa kumpulan tiub yang terletak di bawah paras air. Haba dari gas ini kemudiannya dipindahkan untuk memanaskan air dan menghasilkan stim. Kebanyakan dandang air panas dan stim adalah derivatif dari dandang jenis cangkerang, yang turut dikenali sebagai dandang ‘tiub api’.
2. Jenis tiub air – air tersimpan dalam beberapa tiub dan gas pembakaran yang panas akan melalui sekelilingnya untuk memanaskan air dan menghasilkan stim.

Dalam kedua-dua kes, haba harus dipindahkan melalui permukaan tiub yang mengandungi air atau gas

gas pembakaran. Oleh demikian, tiub ini diperbuat oleh bahan yang mudah memindahkan haba. Selepas digunakan, gas pembakaran dikeluarkan dari dandang melalui cerobong yang dikenali sebagai serombong. Stim yang dihasilkan akan dialihkan ke dalam sistem agihan. Ini merupakan rangkaian paip bertebat yang akan membawa stim ke titik penggunaannya. Kecekapan haba keseluruhan akan berbeza berdasarkan pada susunan sistem dan keperluan proses yang menggunakan haba. Namun begitu, kecekapan pembakaran sebanyak ~84% dianggap baik untuk dandang bakaran gas asli.

Steam boilers

There are many different types of boiler design and construction, but all boilers are derivatives of two main types:

1. Shell type – where the hot combustion gases pass down a tube and into subsequent bundles of tubes immersed below water level. The heat from these gases is then transferred to heat the water to produce steam. Most steam and hot water boilers are derivatives of the shell type, which are also referred to as ‘fire tube’ boilers.
2. Water tube type – where the water is contained in tubes and the hot combustion gases pass around them to heat the water to produce steam.

In either case, the heat must transfer across the surface of the tubes containing the water or combustion gases.

Therefore, these tubes are made

of materials with good heat-transfer properties. After use, the combustion gases exit the boiler via a chimney known as a flue. The output steam will be fed out of the boiler into a distribution system. This is a network of insulated pipes that transfer the steam to the point(s) at which it is used. Overall thermal efficiency will vary according to system configuration and the nature of the heat using processes, however a combustion efficiency of ~84% is typically deemed good for a natural-gas fuelled boiler.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Dandang air panas

Terdapat tiga jenis dandang air panas: konvensional, kecekapan tinggi dan menyejat. Ia boleh digunakan secara berasingan atau digabung bersama dalam sistem.

1. Konvensional – biasanya diperbuat dari besi tuang (*cast iron*) dan lebih besar dari dandang lain.

Kebanyakannya menggunakan pembakar atmosferik, di mana udara yang diperlukan untuk pembakaran disedut dari sekeliling dandang melalui konveksi. Kadar kecekapan permusiman adalah agak rendah iaitu <70%.
2. Kecekapan tinggi – dandang ini mempunyai kandungan air yang rendah, permukaan pemindah haba yang besar dan penebat tambahan pada cangkerang dandang. Ia lebih kecil dari dandang konvensional dan mempunyai tahap kecekapan sehingga ~82%.

3. Menyejat – haba sisa dari gas buangan akan kehilangan melalui serombong dandang, walaupun dalam dandang kecekapan tinggi moden. Gas buangan ini terdiri juga dari wasap air. Dalam dandang menyejat, sebuah lagi pemindah haba digunakan untuk memulih balik haba sisa kepada sistem untuk memberi kecekapan sehingga ~90% bagi beberapa jenis sistem suhu rendah. Pengawal dandang air panas menetapkan suhu aliran air yang diperlukan. Sekiranya suhu air suap balik adalah lebih rendah dari yang diperlukan, dandang perlu ‘membakar’ untuk pemanasan. Gas pembakaran yang panas akan melalui pemindah haba dan memanaskan aliran air di dalamnya. Air panas kemudiannya diagihkan dalam sistem pemanasan melalui sebuah pam kitaran. Gas buangan akan dilepaskan ke atmosfera melalui serombong.

Hot water boilers

There are three main types of hot water boiler: conventional, high-efficiency and condensing. These can be used separately or combined together within systems.

1. Conventional - these are often cast iron and larger than other boilers. Most use atmospheric burners, where the air required for combustion is drawn from around the boiler through natural convection. Seasonal energy efficiency levels are generally poor at <70%.
2. High-efficiency - these boilers have a low water content, a large heat exchanger surface area and increased insulation to the boiler shell. They tend to be smaller than conventional boilers and operate at efficiency levels of up to ~82%.
3. Condensing - even in modern high-efficiency boilers, waste heat in the exhaust gases is lost to the atmosphere via the boiler flue. Water vapour makes up some of these exhaust gases. In condensing boilers, a second heat exchanger is used to extract much of the waste heat and return it to the system allowing efficiencies of up to ~90% to be achieved for some low temperature systems. The controls on hot water boilers set the required flow temperature of the water. If the return water is at a lower temperature than required, the boiler must ‘fire’ to produce heat, i.e. it must burn fuel. The hot combustion gases pass over the heat exchanger to heat the circulating water within and the resultant hot water is distributed to the heating system via a circulating pump with the exhaust gases discharged to atmosphere via a flue.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Jenis bahan bakar dandang

Terdapat pelbagai jenis bahan bakar yang boleh digunakan. Dandang biasanya membakar minyak hidrokarbon biasa seperti gas asli, LPG, minyak dan arang, namun ada yang membakar lemak haiwan atau sisa buangan. Terdapat juga dandang dwibakaran, yang boleh membakar gas atau minyak, yang berguna sekiranya bekalan gas tidak stabil. Pembakar arang mempunyai pelbagai reka bentuk berdasarkan cara arang dimasukkan dan dibakar.

Dandang biojisim (*biomass*) semakin diterima pakai. Biojisim merupakan apa-apa bahan bakar pepejal organik bukan berdasarkan fosil dan termasuk kayu (sama ada kayu khusus kayu api atau bahan sisa), jerami, rumput dan pelbagai produk sisa organik yang lain. Mekanisme pengendalian dan pembakaran adalah berbeza bagi bahan bakar pejal, cecair dan gas, dan akan mempengaruhi reka bentuk sesuatu dandang.

Namun begitu, memandangkan prinsip-prinsip am bagi penjimatan tenaga adalah tetap sama, panduan ini tidak membandingkan antara jenis bahan bakar.

Alternatif Rendah Karbon

Semakin banyak syarikat sedang melaksanakan teknologi rendah atau tanpa karbon (*low or zero carbon* atau LZC) dalam fasilitinya untuk mengurangkan beban haba dan penggunaan bahan bakar oleh dandang, sebagai tindak balas terhadap kos bahan bakar dan keseimbangan alam sekitar yang kian meningkat.

Haba solar – Sistem haba solar menggunakan penyerap solar untuk menyerap tenaga dari matahari dan memindahkannya menggunakan pemindah haba, untuk memanaskan air. Bagi aplikasi pemanasan proses industri, sistem haba solar boleh digunakan untuk air panas pada suhu antara 30°C dan 300°C. Walaupun teknologi ini sudah agak matang, dengan potensi teknikal yang besar, ia tidak begitu dieksploitasi.

Types of fuel used in boilers

There are a wide range of fuels used. Boilers commonly burn standard hydrocarbon fuels, such as natural-gas, LPG, oil and coal, but some burn tallow or waste materials. Some boilers, known as dual-fuel boilers, can burn gas or oil which is useful in instances where an interruptible gas supply contract is held. Coal burners can be a variety of designs mainly centring on how the coal is fed to the boiler and burnt.

Biomass boilers are becoming more popular. Biomass is any solid non-fossil-based organic fuel and includes wood (either grown specifically as a fuel or as waste material), straw, types of grass and many other organic by-products. The mechanisms for handling and burning fuel differ markedly for solid, liquid and gaseous fuels, and the design of a boiler depends on the intended fuel type(s).

However, as many of the general principles for saving energy are the same, this guide does not distinguish between fuel types.

Low(er) carbon alternatives

In response to rising fuel costs and environmental concerns, an increasing number of companies are seeking to incorporate and integrate a range of low and zero carbon (LZC) technologies into their facilities in order to reduce the thermal load and fuel usage by their boilers including those outlined below.

Solar thermal – Solar thermal systems use solar collectors to absorb energy from the sun and transfer it, using heat exchangers, to heat water. For industrial process heating applications, solar thermal systems can be used to provide hot water at temperatures of between 30°C and 300°C. Although a relatively mature technology with enormous technical potential, it is massively under-exploited.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Terdapat dua jenis penyerap haba solar yang sesuai bagi suhu air panas antara 30° hingga 150°C yang biasanya digunakan dalam sektor makanan & minuman:

- Penyerap haba plat leper – Penyerap haba ini agak murah dari segi kos pembelian dan kos operasi, dan sesuai untuk memberi tenaga haba antara 30°C hingga 80°C. Ia biasanya terdiri dari plat penyerap, lapisan penebat, tiub diisi medium pemindahan haba seperti air atau campuran air/glikol, dalam bekas berlapis kaca (*glazing*). Operasi penyerap haba plat leper adalah amat mudah: apabila penyinaran solar terkena permukaan penyerap haba solar, penyinaran akan menembusi bekas berlapis kaca dan akhirnya tiba ke plat penyerap. Sinaran ini akan diserap oleh plat dan diubah kepada tenaga haba yang kemudiannya dipindahkan kepada cecair pemindah haba.

Kecekapan tenaga bagi penyerap haba plat leper adalah ~70%.

- Penyerap haba tiub vakum – Ini adalah penyerap haba solar yang paling biasa digunakan serata dunia dengan pecahan pasaran >65%. Ini disebabkan oleh pembuatan dan penggunaannya secara meluas di China, yang mempunyai lebih 70% kapasiti haba solar terpasang. Penyerap haba tiub vakum direka bentuk untuk beroperasi pada suhu lebih tinggi dari penyerap haba plat leper, iaitu antara 50°C hingga 130°C. Proses pembuatan, kerumitan mekanikal, dan pemilihan bahan buatan bagi penyerap haba tiub vakum menjadikannya lebih mahal dari penyerap haba plat leper. Sebagai contoh, reka bentuk bekas penyerap diperbuat dari tiub kaca berisi vakum untuk mengurangkan dan menghapuskan kerugian perolakan dan tebatan haba. Namun begitu, tiub vakum mempunyai kecekapan lebih tinggi iaitu sekitar 80%.

There are two main types of solar heating collector that are particularly suited to the 30°-150°C hot water temperatures commonly demanded within the F&B sector:

- Flat-plate collectors – These are relatively low cost and low maintenance and are suitable for delivering thermal energy at between 30°C to 80°C. Construction typically comprises absorber plates, insulation layers, recuperating tubes filled with a heat transfer medium, such as water or water/glycol mixture, encased with glazing covers. The operation of the flat plate collector is simple: when the solar irradiation hit the surface of the collector, the radiation passes through the transparent glazing cover and reaches the absorber plate. The radiation is then absorbed by the plate and converted into thermal energy which is then transferred to the heat transfer fluid.

Thermal efficiency of flat-plate collectors is typically ~70%.

- Evacuated tube collectors – This is the predominant solar thermal collector technology worldwide with a market share >65 % chiefly due to their largescale manufacture and deployment in China which accounts for more than 70% of global installed solar thermal capacity. Evacuated tube collectors are designed to operate at higher temperature than flat plate collector commonly ranging from 50°C to 130°C. The manufacturing process, mechanical complexity and material selection of evacuated tube collectors make them more expensive than for flat plate collectors. For example, the design of collectors’ housing is made of a vacuum glass tubes to reduce and eliminate convection and conduction thermal losses. However, evacuated tubes are more efficient at around 80%.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Sistem haba solar boleh menggantikan penggunaan bahan bakar fosil, sebagai contoh, pemanasan atau prapemanasan air masuk atau air tambahan dandang stim dan/atau meningkatkan suhu suap balik dalam sistem air panas gegelung tertutup yang digunakan untuk pembasuhan atau proses rawatan haba.

Haba dan Kuasa Gabungan (Combined Heat and Power atau CHP)

– Juga dikenali sebagai sistem kogenerasi, CHP menggunakan semula haba sisa yang dihasilkan dalam proses penjanaan tenaga elektrik. Dengan ini, loji CHP boleh mencapai tahap kecekapan melebihi 80% pada peringkat pengguna. Ia mengurangkan pelepasan karbon dan kos tenaga. Kebanyakan syarikat makanan & minuman mempunyai keperluan tenaga elektrik dan haba yang ketara pada masa sama

(pemanasan dan penyejukan). Maka, CHP biasanya digunakan dalam sektor ini.

Sistem CHP boleh menggunakan enjin atau turbin, berdasarkan permintaan kuasa dan nisbah haba-ke-kuasa. Yang terbaik adalah penggerak utama berasaskan enjin salingan (*reciprocating engine-based prime movers*), yang sesuai bagi aplikasi di bawah kapasiti janaan elektrik 5MW.

Biasanya, enjin secara langsung akan memacu penjana untuk menghasilkan kuasa elektrik dan haba dipulih semula oleh jaket enjin, penyejuk minyak dan gas buangan, dan, sekiranya haba yang diperlukan adalah pada suhu yang cukup rendah, dari *intercooler*. CHP jenis ini dibangunkan pada tahun 1980san dan lazimnya dibekalkan sebagai sebuah unit bersepadu. Turbin mempunyai kos modal lebih tinggi dan kecekapan elektrik yang rendah, tetapi mempunyai penggunaan tapak yang kecil, dan boleh memberi haba pada suhu yang lebih tinggi, dan mempunyai tahap keboleharapan yang lebih tinggi.

Solar thermal systems can displace fossil fuel use by, for example, heating or pre-heating steam boiler feedwater or make-up water and/or increasing the return temperature of closed loop hot water systems serving drying, washing or heat treatment processes.

Combined heat and power (CHP)

– Also referred to as co-generation, CHP systems capture usable waste heat that is produced in the process of generating electricity. By so doing, CHP plants can achieve energy efficiency levels in excess of 80% at the point of use, reducing carbon emissions and energy costs. As most F&B companies have significant simultaneous demands for electricity and thermal energy (heating and cooling), CHP is commonly deployed within the sector.

CHP systems can use either turbines or engines, according to power demands and heat-to-power ratios, with reciprocating engine-based prime movers generally best suited to applications below 5MW of electricity generation capacity.

Typically, the engine directly drives a generator to produce electrical power and heat is recovered from the engine jacket, the oil cooler and the exhaust gases and, if the heat required is at low enough temperature, from the intercooler. This type of CHP was developed in the 1980s and is usually supplied as a fully packaged unit. Turbines have higher capital cost and have lower electrical efficiency, but have a smaller physical footprint, can provide higher temperature heat and can have greater reliability.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Sebuah unit CHP biasanya beroperasi selari dengan bekalan awam, dengan elektrik tambahan diimport sekiranya perlu. Haba yang terhasil biasanya ditambah dengan menggunakan dandang untuk memastikan suhu yang diperlukan, terutamanya pada waktu permintaan puncak. Sebuah penyimpan haba boleh disepadukan untuk melicinkan permintaan haba, mengurangkan keperluan penggunaan dandang puncak dan memaksimumkan penjanaan elektrik pada waktu tarif elektrik puncak. Haba dari sistem CHP turut boleh digunakan untuk penyejukan melalui penyejuk serapan (*absorption chillers*) untuk memberi penyelesaian tiga generasi, iaitu elektrik, pemanasan dan penyejukan.

Bagi fasiliti yang mempunyai keperluan haba sepanjang tahun yang terhad tetapi mempunyai keperluan penyejukan sepanjang tahun yang tinggi,

kaedah ini akan mengurangkan beban elektrik dengan mengganti permintaan elektrik loji penyejukan konvensional.

Sambungan dandang dan bekalan elektrik awam biasanya bersaiz normal untuk memenuhi permintaan puncak fasiliti ketika CHP tidak beroperasi, kerana CHP memerlukan penyenggaraan yang kerap. Unit CHP biasanya disenggara oleh pembekal di bawah kontrak jangka panjang dengan pemantauan jarak jauh ke atas operasi. Ini membolehkan kegagalan dikenal pasti dan penyenggaraan dijadualkan untuk memaksimumkan ketersediaan.

Langkah penjimatan tenaga lain harus dipertimbangkan sebelum sebuah skim CHP dinilai. Ini adalah untuk mengelakkan manfaat CHP terjejas oleh pelaksanaan terkemudian langkah kecekapan tenaga yang lain.

A CHP unit typically operates in parallel with the public supply with additional electricity imported as required. The heat output is commonly supplemented with boiler plant to ensure delivery of required service temperatures and at times of peak demand. A thermal store can be included to smoothen the heat demand, reduce the need for peak boiler use and maximise electricity production at times of higher electricity prices. It is also possible to use heat from a CHP system to generate cooling via absorption chillers to deliver a tri-generation solution i.e. electricity, heating and cooling.

For facilities with limited year-round heat requirements but with large year-round cooling needs, this option would lower the site’s electrical load by displacing the electrical demand of conventional chiller plant.

The boilers and public electricity supply connections are normally sized to meet the peak demands of the building when the CHP is not operating, as the CHP unit requires regular maintenance. The CHP units are normally maintained by the supplier under a long-term maintenance contract with remote monitoring of the operation allowing faults to be identified and visits scheduled to maximise availability.

It is important that other energy savings measures are fully considered before the viability of a CHP scheme is evaluated. Failure to do so may result in the benefit of the CHP scheme being undermined by the later application of other energy efficiency measures.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Sebagai suatu proses penjaan kuasa, CHP adalah ‘neutral bahan bakar’ (*fuel neutral*). Maka, proses CHP boleh diaplikasi pada tenaga boleh baharu seperti biojisim dan biogas, serta bahan bakar fosil seperti gas asli minyak. Dalam beberapa subsektor F&B yang mempunyai jumlah sisa organik ketara yang tidak boleh dielak, seperti kupasan sayur dan buah, penggunaan penghadam anaerob (*anaerobic digester*) untuk menguraikan bahan organik kepada biogas yang kaya dengan metana, boleh memberi bekalan bahan bakar yang mampan dan rendah karbon bagi sistem CHP (dan/atau dandang).

Pam haba – Pam haba boleh dianggap sebagai peti sejuk yang beroperasi secara songsang, iaitu menaiktaraf sebuah aliran haba sisa bersuhu rendah kepada sebuah aliran haba bersuhu tinggi. Pam haba mekanikal adalah jenis yang paling kerap digunakan dalam industri dan hanya mempunyai empat komponen utama: penyejat, kompresor, kondenser dan pengembang.

Penyejuk adalah cecair yang mengalir melalui semua komponen ini dalam sebuah gegelung tertutup. Di dalam penyejat, haba diserap dari sumber haba sisa cth. aliran udara sisa lembap dari pengering, menyebabkan cecair penyejuk menyejat kepada bentuk wasap. Kemudiannya, ia dimampatkan kepada suhu dan tekanan yang lebih tinggi. Haba yang dipulih serta input tenaga elektrik kepada kompresor boleh dipindahkan menggunakan kondenser untuk kegunaan proses. Pelepasan tenaga akan menyebabkan penyejuk memeluwap. Penyejuk kemudiannya melalui alat pengembang, di mana ia berubah kembali menjadi cecair bertekanan rendah sebelum id mengalir masuk penyejat untuk mengulangi proses.

Kecekapan pam haba dinyatakan menggunakan pekali prestasinya (*coefficient of performance* atau COP), yang ditakrifkan sebagai nisbah antara jumlah haba yang dibekalkan oleh pam haba kepada jumlah tenaga elektrik yang diperlukan untuk menjana pam haba.

As an energy generation process, CHP is ‘fuel neutral’. This means that a CHP process can be applied to both renewables like biomass and biogas and fossil fuels like natural gas and oil. Indeed, within certain F&B sub-sectors, where there is a significant quantity of unavoidable organic ‘waste’ co-product, such as fruit and vegetable peelings, the deployment of an anaerobic digester to breakdown the organic matter into a methane-rich biogas, can provide a sustainable, low carbon fuel supply to the CHP system (and/or boilers).

Heat pumps – A heat pump may be thought of as a refrigerator designed to work in reverse i.e. to effectively upgrade a low temperature waste heat stream to a useful high temperature heat stream. The mechanical heat pump is the most widely used in industry and has just four main components: evaporator, compressor, condenser and expansion device.

The refrigerant is the working fluid that passes through all these components in a closed circuit. In the evaporator heat is extracted from a waste heat source e.g. the humid waste air stream from a dryer, causing the refrigerant to evaporate from a liquid state to a gas. Following compression to a higher temperature and pressure, the recovered heat along with the electrical energy input to the compressor can be exchanged in the condenser and delivered to the consumer. Giving up its energy causes the refrigerant to condense. By passing through an expansion device the refrigerant changes back to a low pressure liquid state then circulates to the evaporator allowing the cycle to repeat.

The efficiency of the heat pump is denoted by its coefficient of performance (COP), defined as the ratio of total heat delivered by the heat pump to the amount of electricity needed to drive the heat pump.



Ringkasan teknologi “Technology overview”

Pam haba dalam sektor F&B biasanya mencapai COP >5, iaitu setiap satu unit elektrik yang digunakan oleh kompresor menjana >5 kWj haba boleh guna. Aliran haba sisa yang boleh dihasilkan termasuk haba kondenser dari sistem penyejukbekuan, pengering dan aliran air sisa.

Bagi sistem haba solar dan sistem CHP, pam haba boleh disepadukan dengan sistem dan perkhidmatan sedia ada untuk beroperasi secara bersiri atau selari untuk menghasilkan sebahagian dari beban haba, dan menggunakan dandang (atau sistem lain) untuk menghasilkan keperluan baki.

Heat pumps operating in the F&B sector routinely achieve COPs of >5 i.e. every one unit of electricity used by the compressor delivers >5 kWh of useful heat. Potential waste heat streams include condenser heat from refrigeration systems, dryers and waste water streams.

As for solar thermal and CHP systems, heat pumps can be integrated with existing systems and services to operate in series or parallel to provide part of the thermal loads with boiler (or other systems) providing the remainder.



Peluang penjimatan tenaga bagi dandang dan penyebaran haba

Dengan memastikan penjanaan dan pengedaran stim yang cekap, kos tenaga boleh dikurangkan sehingga 50%. Ia tidak semestinya cekap kos untuk menggantikan dandang yang masih baharu. Namun, terdapat pelbagai peluang untuk penjimatan ketara melalui penambahbaikan kepada komponen lain fasiliti dandang. Langkah-langkah ini akan memerlukan bantuan pakar. Jika ragu-ragu, sila rujuk juruteknik bertauliah.

Energy savings opportunities in boilers and heat distribution and drives

By ensuring efficient steam generation and distribution, energy costs can be reduced by up to 50%. It may not be cost-effective to replace boilers that are relatively new. However, there are still opportunities to make substantial savings through improvements to other items of the boiler plant. Many of these measures will need specialist help. If in doubt, always consult a qualified technician.



Periksa dan senggara dandang

Pastikan dandang diperiksa secara formal setiap minggu, antara penyenggaraan. Biasanya, ketidakcekapan dandang boleh dikenal pasti melalui lampu amaran, pengurangan tekanan, dan kerosakan seperti tanda pembakaran dan tahap bunyi yang tinggi. Setiap kali satu masalah terabai, pembaziran tenaga berlaku. Kebocoran gas adalah isu keselamatan yang serius dan harus dilapor segera.

Dandang harus disenggara sekurang-kurangnya setahun sekali oleh juruteknik bertauliah. Sekiranya ia digunakan dengan kerap, maka penyenggaraan harus lebih kerap, contohnya seperti dandang yang digunakan untuk menghasilkan beban haba asas secara berterusan.

Dandang perindustrian yang tidak disenggara dengan baik boleh menggunakan 10% lebih tenaga

Jurutera harus menggantikan peralatan yang telah lusuh dan membersihkan pembakar dan pemindah haba untuk membuang mana-mana pengumpulan kotoran. Penyenggaraan juga harus merangkumi ujian pembakaran dan/atau gas serombong, serta pengubahan kepada campuran bahan bakar/udara supaya dandang beroperasi dengan cekap.

Pengurangan 2% dalam tahap gas serombong akan memberi penjimatan bahan bakar sebanyak 1.2%



Inspect and maintain boilers

Make sure that boilers are formally checked at least weekly between services. Common signs of boiler inefficiency are warning lights, pressure drops, and damage, such as burn marks and increased noise levels. Every time a warning sign is ignored, energy is being wasted. Gas leaks are a serious safety issue and should be reported immediately.

Boilers should be serviced at least once a year by a qualified technician. If in heavy use then servicing should be carried out more often, for example, boilers used to provide a base heat load on a continuous basis.

A poorly maintained industrial boiler can consume 10% more energy than one that has been well maintained.

The engineer should replace worn parts and clean the burners and any heat exchangers to remove the build-up of deposits. The service should also include a combustion and/or flue gas test and an adjustment to the fuel/air mix so that the boiler burns fuel efficiently.

A 2% reduction in flue gas level will give a fuel saving of 1.2%



Padankan hasil janaan dandang kepada keperluan proses dan/atau lokasi tapak

Sebelum penggantian produk atau henti tugas berjadual, pastikan pengendali dandang tahu tentang perubahan bertingkat dalam kapasiti output stim atau air panas. Pemasangan bekalan dan permintaan akan menjimatkan bahan bakar dandang.



Pasang penebat dan periksa selalu

Pastikan semua jaringan pengagihan (seperti paip, injap dan bebibir) mempunyai penebat yang memadai dan bahawa penebat adalah dalam keadaan elok. Pengurangan kerugian haba akan menjimatkan kos operasi.

Kira-kira 10% haba yang dihasilkan dalam dandang stim boleh terhilang melalui kekurangan penebat atau penebat yang tidak berkesan pada sistem pengagihan.



Match boiler outputs to process and/or site requirements

Before product changeover or scheduled stoppage, make sure that the boiler operatives know about the step changes in output capacity of steam or hot water. Matching supply to demands will help to save boiler fuel.



Fit insulation and inspect it regularly

Make sure that all distribution networks (such as pipes, valves, flanges) are suitably insulated and that the insulation is in good condition. Reducing heat loss will cut running costs.

Around 10% of the heat produced in steam boilers can be lost through insufficient or ineffective insulation on the distribution system.

Elak kerugian haba ketika bersedia

Ketika dandang sedang bersedia, kerugian haba serombong boleh menjadi amat ketara. Pemasangan peredam pengasingan (*isolation damper*) boleh menghapuskan kerugian haba ini dan memberi penjimatan bahan bakar sehingga 12%. Wujud juga manfaat tambahan iaitu pengurangan pelepasan yang merbahaya (cth. karbon, dsb.).

Periksa kualiti air

Kualiti air yang tidak baik boleh membawa kepada enapan, pemendapan dan kakisan, yang semuanya akan mengurangkan kecekapan dandang. Pertimbangkan penggunaan rawatan dan analisis air automatik. Biasanya, rawatan air merangkumi pembubuhan bahan kimia kepada air.

Sistem rawatan air automatik boleh menjimatkan sehingga 2% keperluan bahan bakar.

Siasat potensi memulih kembali haba sisa

Haba sisa dari gas serombong dandang boleh digunakan untuk prapemanasan udara pembakaran dandang, atau pun air masuk dandang, untuk mengurangkan keperluan tenaga keseluruhan oleh proses. Langkah-langkah ini boleh menjimatkan antara 2 hingga 5% bahan bakar dalam sektor seperti pengilangan bir, penyulingan, minuman ringan, makanan tin dan pembuatan konfeksi.

Do not lose heat on standby

When a boiler is on standby, the heat loss through the flue can be significant. Installing an isolation damper can eliminate this heat loss and fuel savings of up to 12% are possible. There is also the added benefit of reducing harmful emissions.

Look at water quality

Poor water quality can lead to scale, deposition and corrosion, which all reduce boiler efficiency. Consider using automatic water treatment and analysis. Generally treatment consists of adding chemicals to the water.

An automatic water treatment system can save 2% of the fuel requirement.

Investigate the potential for recovering waste heat

Waste heat from boiler flue gases can be used to preheat the combustion air for boilers or the boiler feedwater, therefore reducing the overall amount of energy required in the process. These measures can save between 2 and 5% of fuel in sectors such as breweries, distilling, soft drinks, canned foods and confectionery manufacture.

✔ **Pertimbangkan pemasangan pengawal automatik dan gunakan prosedur pengasingan**

Dandang beroperasi paling cekap pada kadar bakaran tertinggi. Jika satu proses atau lokasi memerlukan kadar bakaran berbeza bagi proses berlainan, ia mungkin lebih menjimatkan bagi anda menggunakan beberapa dandang kecil untuk memenuhi beban diperlukan dan menggunakan pengawal tertib untuk memastikan keperluan yang berbeza dipenuhi menggunakan susun atur yang paling cekap.

✔ **Investigate installing automatic controls and use isolation procedures**

Boilers are at their most efficient at the maximum firing rate. If a site needs varying rates of heat for different processes, it might be worth considering having several smaller boilers to cover the site load and utilising sequencing controls to ensure the varying requirements are met using the most efficient configuration.



Penggantian dandang

Apabila dandang perlu dibaiki atau diganti, anda seharusnya melaksanakan penilaian terperinci ke atas keperluan haba sedia ada dan keperluan haba yang dirancang untuk memastikan saiz dandang adalah sesuai, dan juga untuk mempertimbangkan manfaat menyepadukan teknologi rendah atau tiada karbon dalam reka bentuk cth. haba solar, CHP dan pam haba.

Dandang penyejat adalah lebih mahal dari reka bentuk tanpa penyejat. Sekiranya anda mempunyai beberapa dandang, ia mungkin lebih cekap kos untuk memasang hanya satu atau dua dandang penyejat sebagai dandang utama. Dandang lain yang bukan jenis penyejat untuk sokongan dan tambahan beban puncak.

Semua dandang stim dan dandang air panas melebihi 500 kW patut ditauliahkan oleh pembuat atau ejen berkelulusan. Mereka harus:

- Mengesahkan kadar aliran stim/air
- Menilai kecekapan pembakaran sepanjang skala pembakaran dan memberi anda sesalinan hasil penilaian
- Memberi anda sijil pentauliahan dan borang jaminan
- Memberi latihan kepada kakitangan fasiliti sebelum penyerahan.

Boiler replacement

Where boilers are coming up for major refurbishment or replacement, it is worth undertaking a detailed appraisal of current and planned thermal requirements to ensure replacement boilers are properly sized and to consider the merits of incorporating low and zero carbon technologies into the design e.g. solar thermal, CHP and heat pumps.

Condensing boilers are more expensive than non- condensing designs and if you have a number of boilers, it can often be more cost-effective to install just one or two condensing boilers to act as the lead boilers. The rest can be non-condensing types for back-up and peak loadtop-up.

All steam boilers and hot water boilers over 500 kW should be professionally commissioned by the manufacturer or their approved agent. They should:

- Confirm steam/water flow rates
- Measure combustion efficiency across the full range of firing and give you a copy of the results
- Give you the commissioning certificate and warranty forms
- Provide training to the facilities staff during handover.

Bagi fasiliti dengan lebih dari satu dandang, turut penting adalah pentauliahan ke atas pengawal tertib atau tingkat supaya bilangan dandang yang beroperasi dipadankan dengan beban haba. Ini khususnya penting sekiranya terdapat satu atau lebih dandang penyejat. Dalam kes seperti ini, pengawal tertib harus memastikan dandang penyejat sentiasa beroperasi sebagai dandang utama.

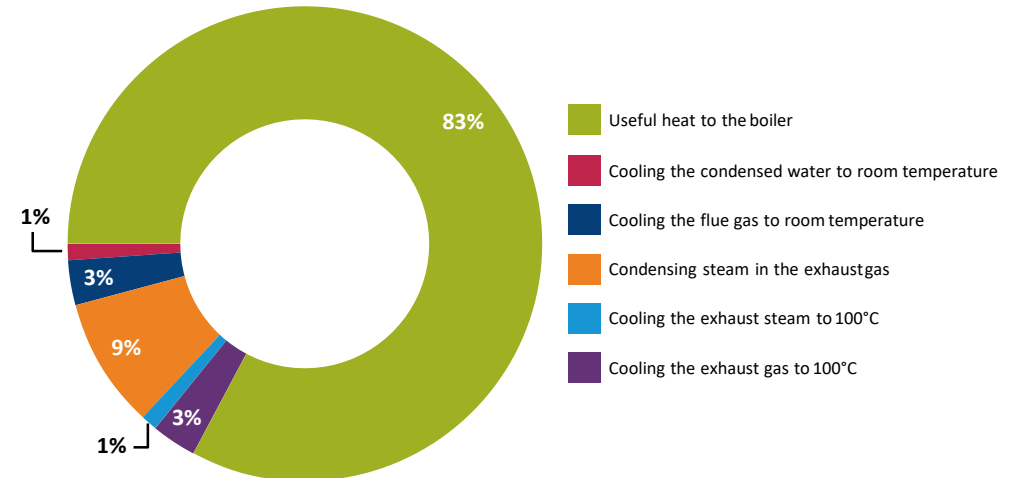
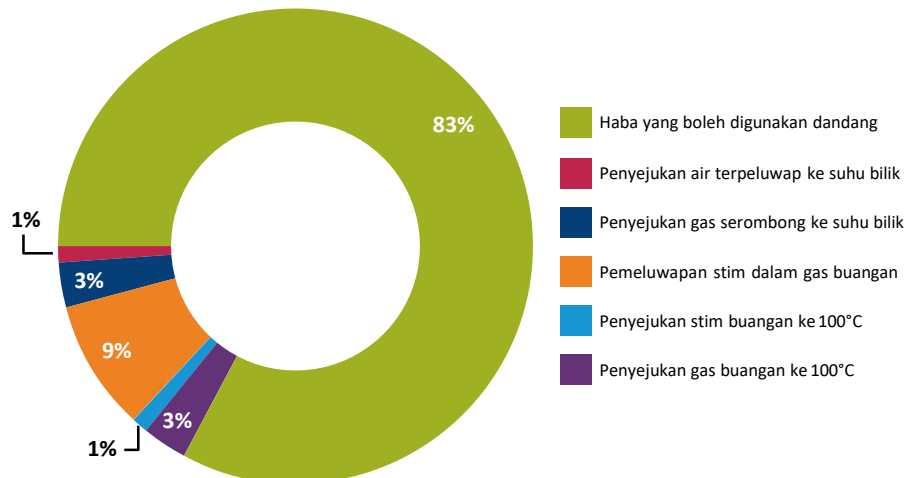
In installations with more than one boiler, it's also important to commission the sequence or step controls to make sure the number of boilers operating match the heat load. This is particularly important when one or more is a condensing boiler. In these cases, the sequence controller needs to make sure the condensing boiler always operates as the lead.

✓ Pemulihan Haba Gas Serombong

Walaupun bagi dandang gas besar yang dikawal rapi, ~17% atau lebih dari tenaga dalam bahan bakar boleh terbazir (lihat carta di bawah untuk pecahan kerugian). Komponen terbesar tenaga terbazir adalah haba wasap yang terkandung dalam gas buangan. Dandang penyejat dan *economiser* boleh diaturkan untuk memulihkan tenaga tersebut, sama ada melalui tambahan bagi model baharu, atau pun pengubahsuaian.

✓ Flue Gas Heat Recovery

Even in larger well-controlled gas boilers ~17% or more of the energy in the fuel can be wasted (see chart below for the breakdown of losses). The largest component of that wasted energy is the heat of the water vapour present in the exhaust gas. Condensing boilers and economiser can often be configured to recover that energy be it as an addition to a new build or a retrofit.



Kajian kes 1 (Case study 1):

Sebuah Bakeri di UK (*A Bakery in the UK*)¹

Sebuah bakeri di UK yang menghasilkan lebih dari dua juta produk setiap hari telah memasang sebuah loji Haba dan Kuasa Bersama (CHP) dengan kapasiti 1MW dalam kilang terbaharunya.

Melalui pemasangan ini, kuasa elektrik dijana pada voltan rendah, dan kemudiannya ditingkatkan kepada voltan tinggi untuk disambungkan kepada pencawang utama 11kV fasiliti. Gas buangan dari enjin digunakan untuk menjana keperluan stim beban asas, dan air panas dipulih dari enjin, disimpan, dan kemudiannya diguna semula oleh peralatan lain.

Unit CHP ini telah membantu kilang baharu ini mengelak pelepasan 1,000 tan karbon setiap tahun. Kos tenaga pula dikurangkan sebanyak £400,000 setahun, membolehkan syarikat membayar balik kos CHP dalam tempoh tiga tahun.

A UK bakery producing more than two million products every day installed a 1MW Combined Heat and Power (CHP) unit in its newest plant.

Through this installation, electricity is produced at low-voltage, then increased to a high-voltage for connection to the site's 11kV ring main. Exhaust gases from the engine are used to generate the site's base steam load requirements, and hot water is recovered from the engine, stored, then re-used by other equipment on the site.

The CHP unit is helping the new plant to save 1,000 tonnes of carbon emissions annually. Energy costs will be reduced by approximately £400,000 per year, allowing the company to pay for the CHP unit in around three years.



1. https://cdn.centricbusinesssolutions.com/sites/g/files/qehiga126/files/CBS_UK_Bakery.pdf

Kajian kes study 2:

Nestle Malaysia²

Pada tahun 2017, Nestle menerima sokongan dari GreenTech Malaysia untuk melaksanakan audit bagi tiga kilangnya : Shah Alam, Chembong dan Petaling Jaya. Hasil audit tenaga telah menunjukkan bahawa pelaksanaan projek-projek penjimatan tenaga di kilang Chembong boleh meraih penjimatan sebanyak 797,212 kWj.

Antara peluang penjimatan tenaga yang dilaksanakan oleh kilang tersebut yang berkaitan dengan dandang termasuklah:

- Peningkatan rutin standard bagi perangkap stim dan pengurusan pemulihan peluwap sebagai sebahagian dari proses penyenggaraan untuk mengelakkan kerugian yang tidak perlu.
- Pemasangan peralatan pemulihan tenaga dalam dandang cth. *economiser*, yang mempunyai kebolehan meningkatkan kecekapan dandang sebanyak 3 hingga 5%.
- Pemasangan peralatan baharu dengan penggunaan tenaga rendah seperti rawatan air bagi dandang.
- Perangkuman kriteria cekap tenaga dalam pemilihan peralatan dandang.

Case study 2:

Nestle Malaysia²

In 2017, Nestle received support from GreenTech Malaysia to perform audits for three of their factories: Shah Alam, Chembong and Petaling Jaya. The energy audit had found that due to the implementation of energy saving projects at the Chembong factory, at least 797,212 kWh of electricity can be saved in a year.

Some of the energy savings opportunities being implemented by the factory related to boilers included:

- Strengthening standard routines for steam traps and condensate recovery management as part of maintenance to prevent unnecessary losses.
- Installing energy recovery equipment in boilers i.e. Economisers, which have the capability of increasing boiler efficiencies by 3 to 5%.
- Installing new equipment with lower energy usage such as water treatment for boilers.
- Including an energy efficient criteria in the selection of equipment for boilers.

2. https://www.nestle.com.my/sites/g/files/pydnoa251/files/201909/Nestle_in_Society_Report_2018.pdf

Kajian kes 3 (Case Study 3):

Kellogg, UK³

Kilang pembuatan Kellogg di Manchester, United Kingdom, mengandungi sebuah loji CHP berkapasiti 4.9 MW_e (megawatt elektrik) yang membekalkan 85% keperluan stim dan kira-kira 50% keperluan tenaga elektrik. Penggunaan loji CHP mengurangkan pelepasan CO₂ sebanyak 12% setahun.

Kellogg's manufacturing plant in Manchester, United Kingdom, contains a 4.9 MWe (megawatt electrical) Combined Heat and Power (CHP) plant that supplies 85% of the plant's current steam demand and approximately 50% of electricity demand. The use of the CHP plant reduces CO₂ emissions by approximately 12% annually.



3. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC\(2016\)19/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2016)19/FINAL&docLanguage=En)

Senarai semak dan tip bagi operasi sistem haba stim yang cekap

Checklist and tips for efficient operation of steam thermal systems

Senarai semak ini merumuskan kriteria dan ciri-ciri utama bagi operasi sistem udara termampat yang cekap. Sekiranya anda tidak berupaya menjawab “YA” bagi semua soalan, kemungkinan bahawa sistem anda boleh diperbaiki, dan menjimatkan anda wang dan mengurangkan pelepasan karbon.

This checklist summarises the key criteria and characteristics of energy efficient steam thermal systems. If you are unable to indicate “YES” to all questions, it is likely that the efficiency of your system could be improved, saving you money and reducing your carbon emissions.

Senarai semak dan tip

Ruj	Kriteria amalan terbaik	Jawapan	Maklum balas
1	Do burners operate with trim control to keep excess O₂ levels <3% across firing range?	[ya]/[tidak]	Pengubahsuaian pembakar moden bermodulasi dengan pengawal trim gas buangan biasanya mengurangkan penggunaan bahan bakar sebanyak 10- 15% dan oenggunaan elektrik oleh pembakar >30%. Tempoh bayaran balik biasanya dicapai <2 tahun.
2	Adakah paras air dandang dikawal oleh sistem pengawal air masuk bermodulasi?	[ya]/[tidak]	Sistem kawalan 'on/off' boleh membawa kepada operasi dandang yang tidak stabil kerana tekanan boleh turun dan naik semula dengan cepat pada ketika beban ringan. Pemasangan pengawal penuh modulasi air masuk (<i>full feedwater modulation control</i>) boleh mengurangkan kitaran pendek dan meningkatkan kecekapan. Penjimatan bahan bakar >5% dan tempoh bayaran balik ~3 tahun.
3	Adakah dandang dimuatkan dengan kawalan sistem TDS?	[ya]/[tidak]	Pemasangan pengawal gegelung tertutup automatik (<i>closed-loop automatic controls</i>) boleh memberi kawalan rapi ke atas paras TDS pada kadar tiup turun yang lebih rendah. Penjimatan bahan bakar >1% dan tempoh bayaran balik <3 tahun.
4	Adakah suhu pelepasan gas serombong <200°C?	[ya]/[tidak]	Sekiranya suhu gas serombong >200°C, pemasangan sebuah <i>economiser</i> untuk mengeluarkan tenaga dari gas serombong panas untuk prapemanasan air masuk dandang. Penjimatan tenaga sebanyak 4-6% biasanya dengan tempoh bayar balik ~4 tahun.
5	Adakah dandang beroperasi pada tekanan reka bentuk (berbanding dengan tekanan lebih rendah sistem)?	[ya]/[tidak]	Jika tidak, 'simpanan' tenaga yang telah semakin berkurangan di dalam air dandang boleh mengalami pengitaran pendek (<i>'short cycling'</i>) yang boleh mengurangkan tahap kecekapan dandang ke bawah 50%. Tanpa sebarang perbelanjaan modal diperlukan, maka tiada tempoh bayar balik!
6	Adakah stim kilat dari tiup turun TDS dipulihkan kepada tangki air masuk menggunakan penyahudara?	[ya]/[tidak]	Langkah ini boleh memulihkan 10-15% air tiup turun (menjimatkan kos air dan bahan kimia) dan >40% kandungan tenaga tiup turun. Tempoh bayaran balik biasanya adalah <3 tahun.
7	Adakah tenaga dipulihkan dari tiup turun sisa efluen?	[ya]/[tidak]	Penggunaan penyerap haba plat untuk prapemanasan air tambahan dandang yang masih sejuk boleh meraih 40-50% tambahan dari tenaga tiup turun tersedia. Tempoh bayaran balik adalah biasanya <3 tahun.
8	Adakah tangki air masuk dikekalkan pada suhu>85°C?	[ya]/[tidak]	Pembekalan air kepada dandang pada suhu tinggi seperti >85°C bukan hanya mengurangkan tekanan haba pada dandang dan mengekalkan outputnya. Malah, ia juga mengurangkan dengan ketara jumlah bahan kimia pemakan oksigen yang diperlukan.
9	Adakah sekurang-kurangnya 85% peluwap dipulih semula dan dihantar ke tangki air masuk?	[ya]/[tidak]	Sistem stim dan peluwap yang direka bentuk dan dikendali dengan baik patut membolehkan >85% peluwap dipulangkan ke tangki air masuk. Ini akan menjimatkan kos air, bahan kimia dan bahan bakar. Setiap peningkatan 6°C dalam suhu air masuk yang tercapai kadar pemulihan peluwap yang lebih baik, akan memberi peningkatan 1% dalam kecekapan sistem. Tempoh bayaran balik biasanya adalah <1 tahun.
10	Adakah semua bahagian paip stim dan peluwap , injap, bekas dan alat pasangan mempunyai penebat yang memadai?	[ya]/[tidak]	Memastikan semua permukaan panas dipasang penebat yang memadai untuk mengekalkan suhu permukaan di bawah 40°C adalah satu langkah yang amat cekap kos. Pemasangan penutup yang fleksibel dan mudah alih biasanya memberi tempoh bayaran balik di bawah 2 tahun.

Checklist and tips

Ref	Best practice criteria	Response	Feedback
1	Do burners operate with trim control to keep excess O₂ levels <3% across firing range?	[yes]/[no]	Retrofitting modern, modulating burners with exhaust gas trim control typically reduces fuel consumption by 10- 15% and burner electricity consumption by >30%. Simple payback commonly achieved in <2 years.
2	Is the boiler water level controlled by a modulating feedwater control system?	[yes]/[no]	'On/off' control systems can lead to unstable boiler operation as pressures can quickly fall and rapidly recover during periods of light-loading. The installation of full feedwater modulation control can reduce short cycling and improve efficiency. Fuel savings >5% and paybacks of ~3-years are common.
3	Are boilers fitted with automatic TDS controls?	[yes]/[no]	Installing closed-loop automatic controls can provide closer control of TDS levels at reduced blowdown rates. Fuel savings of >1% and paybacks <3-years are common.
4	Are flue gas discharge temperatures <200°C?	[yes]/[no]	If flue gas temperatures are >200°C, an economiser can be fitted to extract energy from the hot flue gases and use it to preheat boiler feedwater. Fuel savings of 4-6% are commonly achieved with a payback of ~4-years.
5	Are boilers operated at their design pressure (as opposed to a lesser required system pressure)?	[yes]/[no]	If not, the diminished 'store' of energy within the boiler water risks short cycling which can reduce effective boiler efficiency levels to below 50%. With no CAPEX necessary, 'payback' is instant!
6	Is the flash steam from TDS blowdown being recovered to the feedwater tank via a deaerator head?	[yes]/[no]	Doing so can recover 10-15% of blowdown water (saving water and chemical costs) and >40% of blowdown energy content. Simple payback commonly achieved in <3-years.
7	Is energy recovered from residual blowdown effluent?	[yes]/[no]	Using a plate heat exchanger to pre-heat cold boiler make-up water can extract a further 40-50% of total available blowdown energy. Simple payback commonly achieved in <3-years.
8	Is the feedwater tank maintained at a temperature >85°C?	[yes]/[no]	Supplying water to a boiler at a high temperature of >85°C not only reduces thermal stresses on the boiler and helps maintain its output it also significantly reduces the amount of oxygen scavenging chemicals required.
9	Is at least 85% of condensate being recovered and returned to the feedwater tank?	[yes]/[no]	A well design and operated steam and condensate system should enable >85% of condensate to be returned to the feedwater tank, thereby saving on water, chemicals and fuel costs. Each 6°C rise in feedwater temperature achieved from improved condensate return rates will deliver a 1% improvement in system efficiency. Simple payback commonly achieved in <1-year.
10	Are all sections of steam and condensate pipework, valves, vessels and fittings effectively insulated?	[yes]/[no]	Ensuring that all hot surfaces are properly insulated to keep surface temperatures below 40°C is highly cost effective. Fitting flexible, removable covers to valves typically paybacks in under 2-years.

Carbon Trust merupakan sebuah syarikat dengan misi untuk mempercepatkan peralihan kepada ekonomi yang lebih mampan dan rendah karbon. Carbon Trust:

- menasihati perniagaan, kerajaan dan sektor awam mengenai pelbagai peluang dalam dunia yang mampan dan rendah karbon;
- menilai dan memperakui kesan alam sekitar sesebuah organisasi, produk atau perkhidmatan;
- membantu dalam pembangunan dan pelaksanaan teknologi dan penyelesaian rendah karbon, dari kecekapan tenaga hingga ke tenaga boleh baharu.

www.carbontrust.com

+44 (0) 20 7170 7000

Sedangkan langkah-langkah wajar telah diambil untuk memastikan maklumat terkandung dalam penerbitan ini adalah tepat, pihak pengarang, Carbon Trust, ejennya, kontraktornya dan sub-kontraktornya tidak memberi sebarang jaminan dan tidak memberi kepastian atas kejituannya dan tidak menerima sebarang liabiliti ke atas apa-apa kekhilafan atau peninggalan. Sebarang tanda dagangan, tanda perkhidmatan atau logo yang digunakan dalam penerbitan ini, dan hak cipta di dalamnya, adalah milik Carbon Trust. Tiada apa dalam penerbitan ini akan dianggap sebagai kelulusan pelesenan atau hak untuk menggunakan atau menghasilkan semula mana-mana tanda dagang, tanda perkhidmatan, logo, hak cipta atau mana-mana maklumat hak milik dalam apa jua bentuk tanpa kelulusan bertulis sebelumnya oleh Carbon Trust. Carbon Trust menguatkuasakan pelanggaran hak milik intelektualnya sepenuhnya setakat yang dibenarkan undang-undang.

Carbon Trust adalah sebuah syarikat terhad oleh jaminan dan berdaftar di England dan Wales di bawah nombor Syarikat 4190230 dengan alamat berdaftar di: 4th Floor, Dorset House, 27-45 Stamford Street, London SE1 9NT.

© The Carbon Trust 2020. Hak cipta terpelihara.

The Carbon Trust is an independent company with a mission to accelerate the move to a sustainable, low-carbon economy. The Carbon Trust:

- advises businesses, governments and the public sector on opportunities in a sustainable, low-carbon world;
- measures and certifies the environmental footprint of organisations, products and services;
- helps develop and deploy low-carbon technologies and solutions, from energy efficiency to renewable power.

www.carbontrust.com

+44 (0) 20 7170 7000

Whilst reasonable steps have been taken to ensure that the information contained within this publication is correct, the authors, the Carbon Trust, its agents, contractors and sub-contractors give no warranty and make no representation as to its accuracy and accept no liability for any errors or omissions. Any trademarks, service marks or logos used in this publication, and copyright in it, are the property of the Carbon Trust. Nothing in this publication shall be construed as granting any licence or right to use or reproduce any of the trademarks, service marks, logos, copyright or any proprietary information in any way without the Carbon Trust's prior written permission. The Carbon Trust enforces infringements of its intellectual property rights to the full extent permitted by law.

The Carbon Trust is a company limited by guarantee and registered in England and Wales under Company number 4190230 with its Registered Office at: 4th Floor, Dorset House, 27-45 Stamford Street, London SE1 9NT.

© The Carbon Trust 2020. All rights reserved.