

**Pengenalan kepada peluang penjimatan tenaga  
bagi udara termampat**

*Introducing energy savings opportunities  
in compressed air*

**Garis panduan kecekapan tenaga dalam sektor makanan & minuman**

*Energy efficiency guidance for the food & beverage sector*

## Udara termampat

Udara termampat digunakan sebagai sumber kuasa oleh pelbagai operasi makanan dan minuman, disebabkan ia merupakan satu kaedah pemindahan tenaga yang serba boleh, selamat dan fleksibel. Namun begitu, ia amat mahal untuk dijana, dengan hanya pemindahan hanya 8-10% tenaga bekalan kepada tenaga boleh guna.

### Peluang penjimatan tenaga bagi udara termampat:

Kos tenaga sepanjang hayat bagi operasi sebuah kompresor adalah jauh lebih tinggi dari kos perbelanjaan modalnya. Maka, adalah penting bagi meminimumkan penggunaan udara termampat dan memaksimumkan kecekapan sistem. Kajian oleh Carbon Trust telah menunjukkan bahawa penjimatan sebanyak 30% atau lebih boleh diraih dari kebanyakan sistem udara termampat.

## Compressed air

Compressed air is used as a power source for many food and beverage operations as it is a versatile, safe and flexible way to transmit energy. However, it is extremely costly to produce with as little as 8-10% of the energy supplied to the compressor being converted to usable energy at point of use.

### Energy savings opportunities compressed air:

The energy costs of operating a compressor over its lifetime far outweighs the initial capital expenditure. It is therefore important that every effort is made to reduce compressed air use and maximise system efficiency. Carbon Trust studies have shown that savings of 30% or more are available from most compressed air system.

## Adakah udara termampat diperlukan?

Kebiasaannya, operasi boleh dijalankan menggunakan peralatan elektrik dan bukannya alat pneumatik. Penggantian alat tangan udara termampat dengan alat elektrik boleh mengurangkan permintaan tenaga sebanyak 10-20%.

Penggunaan silinder pneumatik dalam proses automatik bagi penggerakkan linear dan belokan mempunyai kadar penggunaan tenaga sepuluh kali ganda lebih tinggi daripada pacuan elektrik atau hidraulik.

## Kurangkan penggunaan udara termampat yang tidak diperlukan

Udara termampat sering kali tidak digunakan dengan betul, cth. untuk membersihkan jentera. Dalam pelbagai kes, penggunaan pembersih vakum atau udara tiupan kipas adalah satu alternatif yang lebih menjimatkan.

Udara termampat biasanya digunakan untuk menghasilkan vakum untuk pelbagai keperluan mengangkat/mengutip. Namun, penggunaan pam vakum akan mengurangkan penggunaan kuasa sebanyak 70%.

## Gunakan kawalan memadai

Penggunaan pengawal pusat boleh memastikan campuran kompresor yang bersesuaian digunakan untuk memenuhi keperluan. Sekiranya sesuatu kompresor tidak digunakan, maka ia akan dimatikan secara automatik. Kompresor yang hidup tanpa dikerjakan masih akan menggunakan sehingga 40% beban penuhnya.

## Is compressed air required?

In many cases it is possible to use electrical instead of pneumatic tools. Substituting electric tools for compressed air hand tools can reduce demand by between 10-20%.

The use of pneumatic cylinders in automatic processes for linear and turning movements has a ten times higher energy consumption level than electric or hydraulic drives.

## Cut down on unnecessary compressed air usage

Compressed air is often used inappropriately, e.g. to clean down machinery. In many cases, using a vacuum cleaner or air blown from a fan is a far cheaper alternative.

Compressed air is often used to create vacuum for various lifting/ picking requirements when using a dedicated vacuum pump will use 70% less power.

## Use appropriate control

The use of a central controller will ensure the most appropriate mix of compressors are used to meet the required demand. If a compressor is not being used then it will be automatically switched off. An idling compressor can still use up to 40% of its full load.





### Penuhi permintaan puncak dengan menggunakan kompresor pacuan kelajuan boleh ubah (*variable speed drive* atau VSD)

Kompresor kelajuan tetap adalah paling cekap ketika beroperasi pada beban penuh. Maka, adalah lebih cekap untuk menggunakan kompresor VSD untuk memenuhi keperluan boleh ubah, memandangkan ia boleh beroperasi dengan lebih cekap pada beban separa.



### Kaji kebolehan membawa masuk udara luar untuk kegunaan kompresor

Udara sejuk lebih termampat dan mengurangkan beban kompresor. Pengambilan masuk udara sejuk dari luar boleh memberi penjimatan ketara.

*Bagi setiap pengurangan 4°C dalam suhu udara masuk, Kecekapan dipertingkatkan sebanyak 1%.*



### Penggunaan semula haba

Sehingga 90% haba yang dihasilkan oleh kompresor boleh digunakan untuk pemanasan udara atau air. Pertimbangkan sama ada haba sisa boleh dipulihkan untuk diguna semula bagi proses:

- ☒ Menghasilkan air panas
- ☒ Prapemanasan air masuk dandang
- ☒ Penyaluran haba proses bagi pengeringan, dsb.



### Meet peak demand using a variable speed drive compressor (VSD)

Fixed speed compressors are at their most efficient when running at full load. It is therefore more efficient to use a variable speed compressor to meet variable demand as they operate more efficiently at part load.



### Investigate bringing in compressor air from outside

Cooler air is denser and reduces the load on the compressor. Providing cooler intake air from outside can produce substantial savings.

*For every 4°C drop in the temperature of the intake air, efficiency improves by 1%.*



### Re-using waste heat

Up to 90% of heat generated by a compressor can be used to heat water or air. Consider whether the heat generated can be reused to:

- ☒ Provide hot water
- ☒ Preheat boiler feed water
- ☒ Provide process heat for drying, etc.

## ✓ Minimumkan tekanan janaan

Semak sepenuhnya sistem penyaluran untuk mengenal pasti dan tangani sebarang pengurangan dalam tekanan.

Paip saluran harus mempunyai bor yang memadai dan dipasang sebagai gelung utama (*ring main*).

Pengurangan tekanan dari penerima udara ke peralatan akhir sepatutnya <0.5 bar.

*Pengurangan tekanan sistem sebanyak 1 bar boleh mengurangkan penggunaan tenaga sebanyak 8%.*

Jika sesuatu aplikasi memerlukan tekanan yang lebih tinggi, pertimbangkan penggunaan sebuah generator kecil terkhusus bagi proses tersebut, dan elakkan daripada meningkatkan tekanan keseluruhan sistem.

## ✓ Minimise generation pressure

Systematically review the distribution system to identify and remove any significant pressure drops.

Distribution pipework should be of an adequate bore and laid out as a ring main.

The maximum pressure drop from air receiver to most end use should be <0.5 bar.

*Reducing the system pressure by 1 bar will decrease energy consumption by 8%.*

If one application requires a higher pressure then consider installing a smaller, local generator rather than increasing the pressure of the whole system.



## ✓ Kurangkan kerugian dan kebocoran sistem

Kerugian udara termampat antara 30%-40% adalah kebiasaan dalam sektor makanan dan minuman.

Penyenggaraan mingguan berjadual seharusnya mengandungi pengesanan kebocoran.

Mendengar untuk kebocoran pada ketika yang senyap adalah amat berkesan. Dalam persekitaran yang bising, pengesan kebocoran ultrasonik boleh digunakan.

Pastikan injap penyingkir sejatan tanpa sisa (*no loss condensate drain valves*) digunakan, dan bukan jenis manual.

Pasang injap solenoid untuk memulaukan peralatan secara automatik dari gegelung utama selepas dimatikan.

Pulaukan bahagian paip yang tidak digunakan.

## ✓ Reduce system losses and leaks

Compressed air losses of 30%-40% are not uncommon in the food and drinks sector.

Leak detection should be carried out as part of the weekly maintenance schedule.

Listening for leaks during quieter moments is very effective. In noisy environments an ultra-sonic leak detector can be used.

Ensure no loss condensate valves are used rather than timed or manual types.

Fit solenoid valves to automatically isolate equipment from the ring main when switched off.

Isolate pipe runs no longer in use.







## Elak daripada terlebih merawat

Merawat udara termampat adalah amat mahal dan boleh menambah sehingga 20% kos penghasilan.

Pastikan udara termampat hanya dirawat ke standard yang diperlukan.

*Kos rawatan meningkat sebanyak 3% bagi setiap peringkat rawatan dicapai.*

Pengering sejuk beku adalah kaedah rawatan paling cekap sehingga titik embun (*dew point*) 3°C.

Pengering *desiccant* biasanya digunakan untuk mencapai titik embun standard Kelas 1 (-70°C).

Kawalan ke atas kitaran penjana semula seharusnya berdasarkan titik embun dan bukannya berdasarkan masa. Seeloknya, haba pemampatan digunakan sekiranya boleh pada titik embun yang dikehendaki.



## Don't over treat

Treating compressed air is expensive and can add as much as 20% to generations costs.

Only treat the air to the standard required.

*Treatment cost increase 3% for every treatment class attained.*

Refrigerated dryers are the most efficient treatment method up to a dew point of 3°C.

Desiccant dryers are typically used to achieve dew points down to Class 1 standard dew point (-70°C).

Control of the regeneration cycle should be by dew point rather than timed with heat of compression used where the desired dew point allows.

## Kajian kes (Case study) 1:

Syarikat Duong Malt (Duong Malt Company), Vietnam<sup>1</sup>

Pada tahun 2011, syarikat Duong Malt menjalani suatu audit dengan sokongan pakar-pakar yang dilatih UNIDO untuk mengenal pasti pengguna tenaga ketara dan pemacu tenaga berkaitan sebagai sebahagian dari usahanya untuk mendapatkan pentauliahan ISO50001:2011.

Berdasarkan data yang dikumpul dan dianalisis, antara peluang penjimatan tenaga yang dikenal pasti dan dilaksanakan adalah:

- Penaiktarafan sistem udara termampat
- Menebat sistem penyaluran stim dan sistem pemulihan sejatan
- Pemasangan sistem pemeteran menyeluruh

Pelaksanaan peluang-peluang penjimatan tenaga yang dikenal pasti telah meraih, secara purata, pengurangan sebanyak 7% dalam penggunaan tenaga dalam 8 bulan pertama tahun 2012, berbanding dengan garis asas (*baseline*) tahun 2011.

Sebagai tambahan, peralatan dalam kilang tersebut adalah baharu dan mempunyai automasi yang tinggi. Ini adalah satu inisiatif baik dari pihak pengurusan, yang telah meraih sebanyak peluang penjimatan tambahan 7% ke atas penggunaan tenaga purata.

In 2011, Duong Malt company undertook an audit with support from UNIDO-trained national experts to identify the significant energy users and associated energy drivers as part of its efforts to obtain the ISO50001:2011 certification.

Based on the data collected and analysed, some of the energy savings opportunities identified and implemented are:

- Upgrade of the compressed air system
- Insulation of steam distribution and condensate recovery systems
- Installation of a comprehensive metering system

The implementation of the energy savings opportunities identified yielded an average improvement of 7% on the power consumption in the first 8 months of 2012 when compared to the baseline year of 2011.

In addition, as the equipment in the plant is new and very well automated, a push from the management has led to the identification of additional opportunities for improvement, amounting to a further 7% improvement potential in the average power consumption.

<sup>1</sup><http://iee-vietnam.com/en/document-cat/case-studies/>



## Senarai semak dan tip bagi operasi sistem udara termampat yang cekap

### Checklist and tips for efficient operation of compressed air 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 compressed air 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	Adakah anda mengawal kompresor anda menggunakan pengawal tertib pusat ( <i>centralised sequence control</i> )?	[ya]/[tidak]	Sebuah system kawalan berkumpulan boleh memilih campuran kompresor yang paling sesuai untuk memenuhi permintaan. Sistem ini juga boleh memastikan kompresor dimatikan sepenuhnya ketika tidak digunakan. Kawalan yang lebih elok ini boleh memberi penjimatan sebanyak 15% atau lebih dengan tempoh bayaran balik 1-2 tahun.
2	Adakah anda memenuhi permintaan puncak dengan menggunakan VSD?	[ya]/[tidak]	Amalan terbaik adalah menggunakan kompresor kelajuan tetap untuk memenuhi permintaan beban asas ( <i>base load demand</i> ), disertakan dengan kompresor VSD untuk memenuhi permintaan puncak. Walaupun kebiasaannya 25% lebih mahal dari kompresor kelajuan tetap, kos tambahan ini akan dibayar balik berkali ganda sepanjang jangka hayat kompresor tersebut. Lazimnya, integrasi pacuan VSD dalam sebuah sistem boleh memberi penjimatan sehingga 15% dengan tempoh bayaran balik 3-4 tahun.
3	Adakah udara masuk kompresor sesejuk dan sebersih mungkin?	[ya]/[tidak]	Suhu udara yang disedut masuk kompresor mempunyai kesan besar terhadap tenaga yang digunakan. Semakin sejuk udara ini, semakin cekap proses pemampatan. Maka, kemasukan udara sejuk secara terus ke dalam kompresor adalah amalan terbaik. Biasanya, peningkatan 4°C dalam suhu udara masuk akan membawa kepada peningkatan 1% dalam penggunaan tenaga. Pastikan penapis ditukar semasa penyenggaraan berjadual. Penapis yang tersumbat atau terhalang boleh meningkatkan penggunaan tenaga sebanyak 4%. Tempoh bayaran balik adalah < 1 tahun.
4	Bolehkan haba sisa kompresor dipulih semula untuk digunakan?	[ya]/[tidak]	Udara termampat perlu disejukkan sebelum mengalir ke dalam sistem pengagihan. Proses ini dilaksanakan menggunakan udara atau air. Haba sisa proses ini boleh dipulih dengan mudah dan digunakan untuk pemanasan ruang, air, prapemanasan air masuk dandang, haba proses, dsb.  Lazimnya, sehingga 80% tenaga elektrik yang dibekalkan ke kompresor boleh dipulih dalam bentuk haba. Penggunaan haba sisa ini untuk menghasilkan air panas untuk membasuh atau mengering, dsb. memberi tempoh bayar balik < 1 tahun.
5	Sudahkah anda melaksanakan langkah-langkah meminimumkan tekanan sistem?	[ya]/[tidak]	Meminimumkan tekanan udara yang diperlukan oleh peralatan akhir boleh memberi penjimatan tenaga yang amat baik. Pengurangan tekanan sebanyak 1 bar akan mengurangkan penggunaan tenaga sebanyak ~8%. Semak sistem pengagihan dan buang penapis, injap, dsb. yang tidak diperlukan. Pastikan saiz sistem paip memadai dan pastikan tiada halangan dalam paip. Pastikan sistem pengagihan adalah gegelung utama ( <i>ring main</i> ) dan penerima udara mempunyai saiz yang betul. Langkah-langkah ini akan memberi tempoh bayaran balik < 1 tahun.
6	Jika anda menggunakan pengering <i>desiccant</i> , adakah kitaran penjaan menggunakan penjaga masa?	[ya]/[tidak]	Penggunaan pengawal titik embun ( <i>dew point control</i> ) memberi kawalan lebih jitu dan boleh mengurangkan dengan ketara bilangan pertukaran menara yang diperlukan untuk mengekalkan udara kering berkualiti tinggi. Sering kali, tempoh kitaran dipanjangkan melebihi 50%, dengan penjimatan sebanyak 10% dan tempoh bayaran balik <1 tahun bagi pengawal dipasang semula ( <i>retrofitted</i> ).  Berdasarkan klasifikasi titik embun yang diperlukan, pertimbangkan pemasangan pengering haba mampatan ( <i>heat of compression dryer</i> atau HOC) yang mempunyai kos operasi tahunan 70% lebih rendah dari sistem pengering <i>desiccant</i> lain.
7	Adakah udara termampat dirawat ke standard keperluan yang terendah mungkin?	[ya]/[tidak]	Rawatan udara termampat adalah amat intensif tenaga dan udara hanya patut dirawat ke taraf klasifikasi minimum yang diperlukan berdasarkan ISO 8573. Udara yang dirawat ke rawatan Kelas 4 meningkatkan penggunaan tenaga sebanyak 3%. Rawatan udara ke Kelas 1 pula akan meningkat penggunaan tenaga ke 15-21%. Dengan hanya mengurangkan satu kelas tahap rawatan, anda boleh menjimat sebanyak 3% dengan bayaran balik segera.

## Senarai semak dan tip

Ruj	Kriteria amalan terbaik	Jawapan	Maklum balas
8	<b>Adakah system anda menggunakan injap penyingkir sejatan tanpa sisa (<i>no loss condensate drain valves</i>)?</b>	[ya]/[tidak]	Sistem udara termampat menghasilkan bilangan air yang banyak yang perlu disingkirkan dari sistem. Untuk mengelakkan kerugian kehilangan udara dari injap manual atau injap pemasa, gantikannya dengan injap penyingkir 'tanpa sisa' elektronik. Projek ini akan memberi penjimatan sebanyak 3% ke atas kos pemampatan udara dengan ytempoh bayaran balik 3 tahun.
9	<b>Adakah anda mempunyai program formal mingguan bagi pengesanan kebocoran dan pembaikan?</b>	[ya]/[tidak]	Kerugian udara termampat sebanyak 30%-40% adalah kebiasaan dalam sektor makanan dan minuman. Pengesan kebocoran harus diformalkan dan dilaksanakan sebagai sebahagian dari penyenggaraan mingguan. Sekiranya udara termampat digunakan untuk pembersihan, kaedah alternatif harus dipertimbangkan. Ruang pembuatan dan proses harus dipulaukan dari sistem ketika tidak digunakan, dan ruang yang tidak diperlukan seeloknya diputuskan dari sistem. Penjimatan sebanyak 20-30% dari kebocoran amat sering berlaku.
10	<b>Adakah anda menggunakan udara termampat untuk menghasilkan vakum?</b>	[ya]/[tidak]	Memandangkan sehingga 90% tenaga untuk menghasilkan udara termampat akan terbazir sebagai haba sisa, proses ini adalah amat mahal dan tidak cekap. Maka, ia hanya harus digunakan sekiranya perlu. Udara termampat biasanya digunakan untuk menghasilkan vakum untuk aplikasi 'kutip dan letak', di mana sebuah pam vakum khusus boleh menghasilkan jumlah vakum yang sama dengan 70% penjimatan dalam penggunaan tenaga dan memberi tempoh bayaran balik < 2 tahun.  Penggunaan silinder pneumatik biasanya mempunyai kadar penggunaan tenaga 10 kali lebih tinggi dari pemacu elektrik atau hidraulik.



## Checklist and tips

Ref	Best practice criteria	Response	Feedback
1	<b>Do you control your compressors using a centralised sequence control?</b>	[yes]/[no]	An electronic group control system is able to select the most suitable mix of compressors to meet demand. These will also ensure complete compressor shutdown when not required. The resulting improved control can provide savings of 15% or more with a payback of 1-2 years.
2	<b>Do you meet peak demand using a variable speed drive (VSD)?</b>	[yes]/[no]	Best practice is to have a fixed speed compressor meet the base load demand with a VSD compressor to match the peak demand. While typically 25% more expensive than a fixed speed compressor this additional cost will be more than paid back over the lifetime of the compressor. Typically integrating a VSD drive into a system will achieve project savings of 15% and a payback of 3-4 years.
3	<b>Is the air being drawn by the compressors as cool and clean as possible?</b>	[yes]/[no]	The temperature of air drawn by the compressors has a significant influence on the energy consumed. The cooler the air drawn, the more efficient the compression process so ducting cool air directly to the compressor is best practice. Typically a 4°C rise in inlet air temperature results in a 1% increase in energy consumption. Ensure filter changes are included in the maintenance schedules. Obstructed air filters can increase energy use by 4%. Payback is < 1 year.
4	<b>Can the waste exhaust heat from the compressor be recovered and usefully used?</b>	[yes]/[no]	Compressed air requires cooling before entering the distribution system. This is achieved using either air or water. The resultant heat can be relatively easily recovered and used to provide space heating, hot water, preheating boiler water, process heat, etc. Typically up to 80% of the electrical energy supplied to a compressor can be recovered as heat. Usefully utilising this heat to provide hot water for washing or drying, etc. will payback in < 1 year.
5	<b>Has every effort been made to minimise the system pressure?</b>	[yes]/[no]	Minimising the air pressure required by the end-use devices can result in excellent energy savings. Reducing the pressure by 1 bar will decrease energy consumption by ~8%. Review the distribution system removing unnecessary filter, valves, etc. Ensure pipe work size is adequate and resolve pipe restrictions. Ensure the distribution system is a ring main and the air receiver correctly sized. These actions will payback in < 1 year.
6	<b>If using desiccant dryers is the regeneration cycle timed?</b>	[yes]/[no]	Switching to dew point control offers much more precise control and can significantly reduce the number of tower change overs required to maintain high quality dry air. It is not uncommon for cycle times to extend by over 50% giving a typical project saving 10% and payback of < 1 year for a retrofit controller. Depending on the dew point classification required consider installing a heat of compression dryer (HOC) with annual run costs 70% lower than other desiccant dryer systems.
7	<b>Is the compressed air being treated to the minimal standard required?</b>	[yes]/[no]	The treatment of compressed air is energy intensive and air should only be treated to the minimum classified level required according to ISO 8573. Air treated to treatment Class 4 increases energy consumption by 3% while achieving Class 1 will increase it to 15-21%. Simply reducing the treatment level by one Class will save 3% with immediate payback.

## Checklist and tips

Ref	Best practice criteria	Response	Feedback
8	<b>Does your system use no loss condensate drain valves?</b>	[yes]/[no]	Compressed air systems produce large volumes of water that needs to be removed from the system. To prevent unnecessary and costly air loss from manual or timed valves fit electronic 'no loss' drain valves. These will provide a 3% saving on annual compressed air costs and a typical project payback of 3 years.
9	<b>Is there a formal program of weekly leak detection and repair?</b>	[yes]/[no]	Compressed air losses of 30%-40% are not uncommon in the food and drinks sector. Leak detection should be formalised and carried out as part of the weekly maintenance schedule. Where compressed air is used for cleaning alternatives should be found. Production areas and processes should be isolated from the system when not in use and redundant areas disconnected. Savings of 20-30% from leak deduction is not uncommon.
10	<b>Do you use compressed air to create a vacuum?</b>	[yes]/[no]	<p>As up to 90% of the energy used to generate compressed air is typically lost as heat it is an expensive and inefficient process so should only be used if required. Compressed air is often used to create a vacuum for pick and place applications when a dedicated vacuum pump will generate the same volume of vacuum using 70% less power and payback in &lt; 2 years.</p> <p>The use of pneumatic cylinder typically has 10 times higher energy consumption than either electric or hydraulic drives.</p>

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](http://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 kejituanannya 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](http://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.