



KEMENTERIAN KESIHATAN AWAM, PERUMAHAN DAN KERAJAAN
TEMPATAN SARAWAK

+



GARIS PANDUAN
KOMUNITI RENDAH KARBON
BAGI
PIHAK BERKUASA TEMPATAN
SARAWAK
2027

MAKLUMAT DAN KAWALAN VERSI DOKUMEN

No. Dokumen

1/2026

No. Keluaran

1

No. Pindaan

0

Tarikh Kuatkuasa

1 Januari 2027

Kategori Dokumen

Terbuka

ISI KANDUNGAN

PRAKATA	
1.0 PENDAHULUAN.....	1
2.0 OBJEKTIF	1
3.0 TARIKH BERKUATKUASA.....	2
4.0 PERUBAHAN IKLIM	2
4.1 Latar Belakang Perubahan Iklim	2
5.0 ELEMEN GARIS PANDUAN PENGURANGAN KARBON	3
5.1 Tenaga	3
5.2 Sisa	4
5.3 Kehijauan.....	4
5.4 Air	4
5.5 Mobiliti	4
6.0 STRATEGI GARIS PANDUAN PENGURANGAN KARBON	5
6.1 Tenaga	5
6.2 Sisa	7
6.3 Kehijauan.....	10
6.4 Air	12
6.5 Mobiliti	13
7.0 KEBERKESANAN GARIS PANDUAN (PENGIRAAN)	15
7.1 Tenaga	16
7.2 Sisa	18
7.3 Kehijauan.....	20
7.4 Air	22
7.5 Mobiliti	24
8.0 PENUTUP	28
9.0 RUJUKAN.....	29

PRAKATA



Salam Sejahtera dan Salam Sarawakku Sayang,

Pembangunan komuniti rendah karbon yang cekap, berstrategi dan berterusan merupakan asas penting dalam memastikan kesejahteraan rakyat, peningkatan kualiti hidup serta kelestarian alam sekitar di seluruh Sarawak.

Seiring dengan perubahan pesat kawasan pentadbiran Pihak Berkuasa Tempatan (PBT), garis panduan ini dirangka bagi memperkukuh pelaksanaan inisiatif rendah karbon melalui pendekatan kerja yang lebih seragam, profesional dan selaras dengan keperluan semasa serta aspirasi pembangunan mampan negeri.

Garis Panduan Komuniti Rendah Karbon Pihak Berkuasa Tempatan Sarawak ini merangkumi elemen utama seperti pengurusan tenaga, pengurangan sisa, pengukuhan kehijauan, kecekapan penggunaan air dan mobiliti rendah karbon. Setiap komponen disusun dengan jelas bagi membimbing PBT dalam merancang, melaksanakan dan memantau program komuniti rendah karbon secara lebih tersusun, berkesan dan berpandukan amalan terbaik.

Saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua pihak yang terlibat atas komitmen dan kerjasama dalam penyediaan garis panduan ini. Semoga dokumen ini menjadi asas penting dalam memacu Sarawak ke arah persekitaran hidup yang lebih bersih, selamat dan lestari untuk generasi masa hadapan.



DATU ELIZABETH LOH
SETIAUSAHA TETAP

**KEMENTERIAN KESIHATAN AWAM, PERUMAHAN DAN KERAJAAN TEMPATAN
SARAWAK**

GARIS PANDUAN KOMUNITI RENDAH KARBON BAGI PIHAK BERKUASA TEMPATAN SARAWAK

1.0 PENDAHULUAN

Garis Panduan Komuniti Rendah Karbon bagi PBT Sarawak disediakan untuk membantu PBT dan agensi pelaksana berkaitan untuk mengintegrasikan aspek perubahan iklim dalam pengurusan dan perkhidmatan PBT selaras dengan aspirasi *Post Covid-19 Development Strategy (PCDS) 2030*. Garis panduan ini boleh dijadikan dokumen rujukan kepada PBT dalam memastikan halatuju pembangunan bandar rendah karbon dan berdaya tahan terhadap perubahan iklim dapat dicapai melalui pelaksanaan strategi dan pelan tindakan yang digariskan. Oleh itu, peranan PBT amat penting dalam usaha mendidik komuniti untuk turut serta dalam usaha mengurangkan jejak karbon.

2.0 OBJEKTIF

Antara objektif garis panduan tersebut ialah:

- 2.1 Memberi hala tuju kepada PBT dalam melaksanakan inisiatif komuniti rendah karbon.
- 2.2 Mengurangkan pelepasan karbon melalui tindakan berasaskan operasi dan komuniti.
- 2.3 Menyokong aspirasi Sarawak ke arah negeri rendah karbon dan sasaran Net Zero 2050.

3.0 TARIKH BERKUATKUASA

Garis panduan ini berkuatkuasa pada **1 Januari 2027**. Semua PBT di Sarawak hendaklah menggunakan Garis Panduan ini mulai tarikh tersebut. Walaubagaimanapun, Dewan Bandaraya Kuching Utara dan Lembaga Kemajuan Bintulu adalah digalakkan menggunakan garis panduan ini.

4.0 PERUBAHAN IKLIM

4.1 Latar Belakang Perubahan Iklim

Iklim merujuk kepada purata keadaan cuaca yang dihuraikan secara statistik, meliputi nilai purata dan variasi unsur cuaca bagi tempoh jangka panjang, lazimnya 30 tahun seperti yang ditetapkan oleh Pertubuhan Meteorologi Dunia (WMO).

Perubahan iklim pula merujuk kepada perubahan iklim yang berpunca secara langsung atau tidak langsung daripada aktiviti manusia yang mengubah komposisi atmosfera global, di samping variasi iklim semula jadi. Antara punca utama perubahan iklim ialah peningkatan gas rumah hijau (GHG) dan *black carbon*.

4.1.1 Gas Rumah Hijau (GHG)

GHG ialah gas di atmosfera yang memerangkap haba matahari seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₃) dan nitrus oksida (N₂O). Walaupun fenomena ini penting untuk mengekalkan suhu Bumi yang sesuai untuk kehidupan, peningkatan GHG akibat aktiviti manusia seperti pembakaran bahan api fosil dan penebangan hutan telah menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Semakin tinggi GHG di atmosfera bumi, semakin banyak haba terperangkap dan sukar dilepaskan ke angkasa.

4.1.2 *Black Carbon*

Black carbon ialah jelaga halus yang terhasil daripada pembakaran tidak lengkap bahan bakar fosil, biomas dan bahan api bio. Ia wujud sebagai aerosol yang menyerap cahaya matahari secara langsung dan menukarkannya kepada haba. *Black carbon* juga mempercepatkan pencairan salji dan ais dengan menggelapkan permukaannya sekali gus mengurangkan keupayaannya untuk memantulkan cahaya matahari. Dari segi kesan pemanasan, *black carbon* dianggarkan mempunyai potensi pemanasan sehingga 1,500 kali ganda berbanding karbon dioksida (CO₂).

5.0 ELEMEN GARIS PANDUAN PENGURANGAN KARBON

Garis panduan pengurangan karbon ini dirangka untuk menyokong pembentukan komuniti rendah karbon melalui pendekatan pembangunan yang lebih mampan dan bertanggungjawab. Garis panduan ini merangkumi **lima (5) elemen utama** iaitu termasuk **tenaga, sisa, kehijauan, air** dan **mobiliti** yang dikenal pasti sebagai faktor paling signifikan dalam menyumbang serta mengurangkan pelepasan karbon di peringkat bandar.

5.1 Tenaga

Pengurangan karbon bagi elemen tenaga dicapai melalui pengurangan pelepasan CO₂ hasil penggunaan elektrik di bangunan, premis dan infrastruktur PBT. Setiap penggunaan (kWh) elektrik mempunyai faktor pelepasan kerana sebahagian besar tenaga grid dijana daripada bahan api fosil. Oleh itu, pengurangan penggunaan elektrik secara langsung akan mengurangkan jumlah kWh digunakan dan seterusnya mengurangkan pelepasan CO₂ ke atmosfera.

5.2 Sisa

Pengurangan karbon bagi elemen sisa dicapai melalui pengurangan pelepasan GHG, khususnya metana (CH_4) yang terhasil apabila sisa dihantar ke tapak pelupusan. Pereputan sisa organik dalam keadaan tanpa oksigen (anaerobik), menghasilkan CH_4 yang mempunyai potensi pemanasan global 28 kali lebih tinggi berbanding CO_2 . Oleh itu, setiap tan sisa yang dialihkan daripada tapak pelupusan menyumbang kepada pengurangan pelepasan GHG yang signifikan.

5.3 Kehijauan

Pengurangan karbon bagi elemen kehijauan dikira berdasarkan penyerapan CO_2 oleh pokok dan kawasan hijau, bukan melalui pengurangan pelepasan. Pokok menyerap CO_2 melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam biojisim sekali gus membantu mengurangkan kepekatan karbon di atmosfera.

5.4 Air

Pengurangan karbon bagi elemen air terhasil terutamanya melalui pengurangan penggunaan tenaga bagi proses pengabstrakan, rawatan, pengepaman dan pengagihan air dan bukannya melalui penyerapan CO_2 secara langsung. Setiap meter padu air yang dijimatkan mengurangkan penggunaan tenaga elektrik di loji rawatan dan sistem pam, seterusnya menurunkan pelepasan CO_2 daripada grid tenaga.

5.5 Mobiliti

Pengurangan karbon bagi elemen mobiliti dicapai melalui pengurangan pelepasan CO_2 daripada penggunaan bahan api kenderaan. Setiap kilometer perjalanan yang menggunakan petrol atau diesel menghasilkan pelepasan CO_2 , justeru langkah yang mengurangkan penggunaan bahan api secara langsung menyumbang kepada pengurangan pelepasan karbon.

6.0 STRATEGI GARIS PANDUAN PENGURANGAN KARBON

Strategi ini merangkumi lima elemen utama pengurangan karbon yang bertujuan untuk mengoptimumkan penggunaan sumber, mengurangkan pencemaran serta memperkukuh kelestarian alam sekitar.

6.1 Tenaga

Strategi	Pelan Tindakan
Strategi 1: Penggunaan Tenaga Secara Cekap di Fasiliti PBT	1. Melaksanakan audit tenaga secara tahunan bagi bangunan milik PBT. 2. Pemasangan lampu jalan tenaga (<i>solar street lighting</i>) khususnya di kawasan luar bandar dan taman rekreasi. 3. Menggantikan secara berperingkat peralatan elektrik lama, khususnya unit penghawa dingin yang berusia melebihi 10 tahun. 4. Melaksanakan sistem pemantauan tenaga pintar (<i>smart energy monitoring system</i>) melalui dashboard penggunaan elektrik PBT. 5. Menggalakkan penggunaan ventilasi semula jadi dalam reka bentuk bangunan pasif bagi mengurangkan kebergantungan kepada sistem pendingin mekanikal.
Strategi 2: Pengembangan Tenaga Boleh Diperbaharui di Bangunan Awam	1. Pemasangan sistem solar atas bumbung (<i>solar rooftop</i>) di bangunan PBT, dewan orang ramai, pasar, tandas awam dan pejabat kecil.

	2. Pemasangan lampu jalan tenaga (<i>solar street lighting</i>) khususnya di kawasan luar bandar dan taman rekreasi. 3. Penggunaan atap lutsinar bagi memaksimumkan pencahayaan semula jadi di tandas awam dan pasar tamu.
Strategi 3: Pendigitalan Perkhidmatan PBT	1. Pelaksanaan parkir pintar (<i>smart parking system</i>) dan parkir digital (<i>digital parking</i>). 2. Pelaksanaan pembayaran atas talian bagi perkhidmatan PBT seperti lesen premis, saman, cukai pintu, tempahan dewan dan <i>season parking pass</i>. 3. Penggunaan <i>e-sijil</i>, <i>e-bil</i> dan <i>e-resit</i> dalam perkhidmatan PBT dan program PBT. 4. Pelaksanaan <i>green procurement</i> melalui pembelian produk cekap tenaga dan berlabel mesra termasuk peralihan kenderaan pejabat kepada <i>Electric Vehicle (EV)</i> serta <i>penggunaan</i> mesin fogging dan mesin rumput elektrik atau berkuasa bateri. 5. Pemberian insentif kepada kontraktor yang menggunakan peralatan elektrik dan mesra alam dalam pelaksanaan kerja. 6. Penghapusan penggunaan nombor giliran fizikal di kaunter perkhidmatan.

6.2 Sisa

Strategi	Pelan Tindakan
Strategi 1: Pengurangan Sisa Plastik Sekali Guna di Fasiliti PBT dan Kawasan Awam	1. Melaksanakan pengasingan sisa di punca di fasiliti PBT. 2. Melarang penggunaan plastik sekali guna termasuk bekas makanan <i>styrofoam</i> dan penyedut minuman plastik dalam mesyuarat dan program rasmi PBT. 3. Menggalakkan penggunaan bekas makanan dan minuman yang boleh diguna semula atau boleh dikitar semula di fasiliti serta premis di bawah seliaan PBT. 4. Mengisytiharkan taman rekreasi dan pantai terpilih sebagai "Zon Larangan Plastik Sekali Guna". 5. Memperkenalkan Program Taman Angkat atau Pantai Angkat dengan penglibatan syarikat berkeupayaan sebagai penaja atau penjaga kawasan. 6. Menyediakan papan tanda dan infografik pendidikan berkaitan pengurangan sisa di lokasi tumpuan pengunjung. 7. Memasukkan syarat larangan penggunaan bekas makanan <i>styrofoam</i> dan penyedut minuman plastik dalam lesen premis makanan.

	8. Menggalakkan penggunaan beg guna semula (<i>reusable bag</i>) di premis komersial.
Strategi 2: Pemerkasaan Perkhidmatan Kutipan Sisa	1. Menyediakan kemudahan pengasingan sisa mengikut kategori di setiap kawasan komuniti atau melaksanakan program <i>Buy Back</i> di lokasi yang telah ditetapkan. 2. Melaksanakan perkhidmatan kutipan sisa mengikut jadual bagi sisa yang boleh dikitar semula dan tidak boleh dikitar semula. 3. Memperkenalkan konsep <i>Sistem Pengurusan Sisa Berasaskan Komuniti (Community-Based Waste Management System)</i>. 4. Mempergiatkan program kesedaran awam bagi membudayakan amalan pengasingan sisa di punca.
Strategi 3: Pengurusan Sisa Elektronik (<i>E-Waste</i>)	1. Bekerjasama dengan agensi berkaitan untuk menyediakan tong kutipan sisa <i>e-waste</i> bagi peralatan elektronik kecil seperti telefon dan bateri di pusat komersial terpilih. 2. Bekerjasama dengan agensi dan syarikat pengurusan sisa elektronik berlesen bagi pelaksanaan kutipan sisa elektronik secara berkala. 3. Melaksanakan kutipan sisa elektronik melalui program <i>Buy Back</i>.
Strategi 4: Pengurusan dan Pemulihan Sisa	1. Mewajibkan premis di bawah seliaan PBT seperti pasar basah dan pusat penjaja melaksanakan pengasingan sisa di punca.

Makanan di Pasar dan Pusat Penjaja	2. Menyediakan kemudahan mesin kompos di pusat penjaja serta mewujudkan kawasan khas sebagai <i>Food Waste Collection Point</i>. 3. Mengadakan latihan dan program kesedaran kepada peniaga mengenai kepentingan pengurusan sisa makanan yang mampan. 4. Bekerjasama dengan institusi pengajian tinggi atau syarikat swasta bagi melaksanakan konsep <i>waste valorisation</i>, seperti penghasilan <i>fish silage</i> daripada sisa makanan laut. 5. Melaksanakan program pemulihan sisa makanan seperti Black Soldier Fly (BSF), Green Market Project, Pusat Hijau (Kompos) serta <i>anaerobic digestion</i> bagi penghasilan biogas. 6. Memperkenalkan insentif atau pengiktirafan seperti sijil "Peniaga Hijau PBT". 7. Memasukkan skop pengurusan sisa makanan sebagai syarat dan tanggungjawab dalam kontrak pembersihan pasar dan pusat penjaja.
Strategi 5: Pemulihan Sumber Melalui Kitar Semula	1. Menyediakan tong kitar semula atau bekerjasama dengan badan kebajikan atau NGO bagi pengumpulan fabrik dan tekstil di lokasi strategik. 2. Bekerjasama dengan syarikat tekstil bagi tujuan pemulihan dan kitar semula bahan.

	3. Melaksanakan program <i>Buy Back Oil</i> bersama komuniti dan pengusaha premis makanan. 4. Mewujudkan <i>Buy-Back Centre</i> di peringkat komuniti untuk pembelian sisa kitar semula. 5. Menganjurkan pertandingan kitar semula melibatkan agensi kerajaan, sekolah dan komuniti setempat. 6. Menggalakkan pelaksanaan program <i>upcycling</i> di sekolah dan komuniti setempat.
--	---

6.3 Kehijauan

Strategi	Pelan Tindakan
Strategi 1: Pemeliharaan dan Pemuliharaan Ekosistem Semula Jadi	1. Melaksanakan Inisiatif Penghijauan Lestari Negeri Terindah melalui Program "1 Rumah 1 Pokok" serta pelbagai inisiatif Tanggungjawab Sosial Korporat (CSR) oleh syarikat dan agensi berkaitan seperti SESCO, Jabatan Landskap Negara dan kementerian berkaitan. Penanaman pokok difokuskan di kawasan perumahan jenis <i>landed</i> dan taman rekreasi bagi memastikan kesesuaian tapak serta keberkesanan pemuliharaan hijau. 2. Mewajibkan penyediaan pelan landskap bagi semua pembangunan baharu, termasuk pelaksanaan penanaman semula pokok. Dicadangkan agar kementerian mensyaratkan pemaju mengemukakan pelan landskap berdasarkan keluasan kawasan hijau yang

	digazetkan sebagai sebahagian daripada kelulusan pembangunan.
Strategi 2: Perlindungan Pokok Warisan dan Pokok Matang Bernilai Tinggi	1. Menjalankan inventori pokok warisan dan pokok matang bernilai tinggi di kawasan bandar utama seperti Kuching, Samarahan, Sibul, Bintulu dan Miri. 2. Melaksanakan pemetaan GIS dan penilaian kesihatan pokok oleh PBT dengan sokongan agensi teknikal melalui sistem GIS bersepadu yang boleh diakses oleh semua PBT. Pelaksanaan inisiatif ini disokong melalui pembekalan peralatan survei serta peruntukan khas bagi kajian dan inventori pokok secara menyeluruh.
Strategi 3: Pengukuhan Landskap Hijau dan Rangkaian Laluan Hijau Bandar	1. Melaksanakan audit landskap bandar bagi mengenal pasti kawasan panas <i>bandar (Urban Heat Island – UHI)</i> dan kawasan yang mempunyai liputan hijau rendah. 2. Membangunkan <i>pocket parks</i>, taman komuniti dan laluan hijau perintis sebagai elemen penyejukan bandar dan ruang rekreasi komuniti. 3. Menggalakkan penanaman spesies pokok tempatan (spesies asli) bagi meningkatkan teduhan dan kesan penyejukan bandar, termasuk penyediaan cadangan spesies, kaedah penanaman serta penyelenggaraan yang sesuai.

Strategi 4: Pemerkasaan Inisiatif Penghijauan ke Arah Komuniti Rendah Karbon	1. Menganjurkan Program <i>Training of Trainers (TOT)</i> kepada pegawai PBT, komuniti dan NGO berkaitan inisiatif rendah karbon dan penghijauan bandar. 2. Menyediakan platform <i>dashboard</i> rendah karbon di peringkat PBT bagi pemantauan dan pelaporan inisiatif hijau. 3. Melaksanakan program Rakan Taman, Kebun Saya dan Agro-Bandar termasuk penggunaan baja semula jadi, kompos organik dan pembuatan baja sendiri (kompos). 4. Menyokong pelaksanaan program komuniti hijau seperti kebun komuniti, taman sekolah dan projek <i>micro-greens</i> di kawasan bandar melalui kolaborasi strategik bersama NGO dan sektor swasta bagi memperkukuh penglibatan masyarakat serta mempromosikan amalan lestari.
--	--

6.4 Air

Strategi	Pelan Tindakan
Strategi 1: Peningkatan Kecekapan Penggunaan Air di Fasiliti PBT	1. Melaksanakan audit penggunaan air secara berkala di fasiliti PBT termasuk pejabat, dewan, tandas awam dan pasar. 2. Memasang peralatan penjimatan air seperti <i>sensor faucet</i>, sistem <i>dual-flush</i> dan <i>low-flow taps</i> di fasiliti serta premis di bawah seliaan PBT.

	3. Melaksanakan pengesanan awal serta pembaikan segera terhadap kebocoran paip dan sistem bekalan air di semua fasiliti PBT. 4.
Strategi 2: Penggunaan Sistem Pengumpulan dan Penggunaan Semula Air (SPAH) & Sistem Pengurusan Air Sisa (<i>Greywater</i>)	1. Melaksanakan SPAH bagi tujuan penyiraman landskap, penggunaan tandas awam dan kerja-kerja pembersihan jalan.
Strategi 3: Pengurangan Pembaziran & Penggunaan Air Secara Efisien	1. Melaksanakan Kempen Kesedaran “Jom Jimat Air” di bangunan Majlis dan fasiliti PBT bagi memupuk budaya penjimatan air 2. Memasang sistem sensor automatik dan peralatan kawalan aliran air di bangunan Majlis untuk mengurangkan pembaziran. 3. Memasang sistem telemetri atau peralatan pemantauan bagi merekod dan menganalisis penggunaan air di fasiliti PBT secara berterusan.

6.5 Mobiliti

Strategi	Pelan Tindakan
Strategi 1: Pengangkutan Rendah Karbon	1. Menggalakkan penggunaan kenderaan cekap tenaga dan rendah karbon dalam kalangan masyarakat melalui insentif, kempen kesedaran dan sokongan dasar di peringkat PBT.

	2. Bekerjasama dengan pemegang taruh berkaitan bagi memperluas dan memperkuat ekosistem pengecasan kenderaan elektrik (EV), termasuk penyediaan stesen pengecasan di kawasan strategik.
Strategi 2: Pewujudan Zon Mobiliti Hijau	1. Menyediakan kemudahan basikal komuniti di kawasan bandar serta stesen basikal di lokasi strategik seperti pusat bandar, kawasan rekreasi dan hab pengangkutan awam. 2. Menambahbaik infrastruktur sokongan untuk pejalan kaki termasuk penyediaan tempat duduk awam, laluan pejalan kaki yang selamat serta laluan mesra Orang Kurang Upaya (OKU). 3. Memperkenalkan perkhidmatan mobiliti mikro dan kemudahan park-and-ride di zon sensitif seperti hospital, kompleks kerajaan dan kawasan tumpuan awam.
Strategi 3: Pelaksanaan Zon Pelepasan Rendah	1. Mewujudkan Zon Pelepasan Rendah di kawasan bandar terpilih bagi mengawal dan mengurangkan pelepasan asap kenderaan. 2. Melaksanakan Hari Bebas Kenderaan secara berkala (sekurang-kurangnya sekali setiap suku tahun) di kawasan Zon Pelepasan Rendah bagi menggalakkan penggunaan pengangkutan alternatif.

7.0 KEBERKESANAN GARIS PANDUAN (PENGIRAAN)

Pengiraan pengurangan karbon merupakan proses untuk mengukur jumlah pengurangan pelepasan GHG, khususnya untuk menunjukkan kuantiti pelepasan CO₂ yang berjaya dikurangkan hasil daripada sesuatu tindakan atau intervensi. Pengurangan ini diukur dalam unit tan CO₂ setara setahun, iaitu **tCO₂e/tahun** (*tonnes of CO₂, equivalent per year*), yang digunakan sebagai unit piawai bagi menyeragamkan pengiraan pelepasan daripada pelbagai jenis GHG.

$$\text{Pengurangan karbon} = \text{Pelepasan asal (*Baseline*)} - \text{Pelepasan selepas tindakan}$$

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bertanggungjawab menyediakan panduan, kaedah dan penilaian saintifik berkaitan perubahan iklim. Dalam konteks pengiraan karbon, IPCC telah membangunkan *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, iaitu panduan standard di peringkat global yang digunakan untuk mengira pelepasan dan pengurangan GHG secara konsisten dan telus dan boleh dibandingkan antara negara serta sektor.

$$\text{Pelepasan (*Emission*)} = \text{Data Aktiviti (*Activity Data*)} \times \text{Faktor Pelepasan (*Emission Factor*)}$$

Setiap pengiraan pelepasan hendaklah berasaskan data sebenar serta faktor pelepasan yang diiktiraf. Pendekatan ini telah diguna pakai secara meluas di Malaysia, termasuk dalam *Low Carbon City Framework (LCCF)*, inventori GHG negara dan PCDS 2030. Oleh itu, pengiraan karbon oleh PBT adalah selaras dengan amalan dan standard antarabangsa.

Sekiranya faktor pelepasan tidak tersedia di peringkat tempatan, wilayah atau negara, PBT hendaklah menggunakan faktor pelepasan piawai (*default*) yang diterbitkan oleh IPCC, data daripada *Emission Factor Database (EFDB)*, atau nilai rujukan lain yang dikeluarkan oleh badan antarabangsa yang diiktiraf dan sesuai dengan konteks negara.

Pengiraan pengurangan karbon merupakan elemen penting dalam memastikan hala tuju pembangunan rendah karbon dapat dilaksanakan secara berkesan, khususnya di peringkat kerajaan tempatan. Pengiraan ini membolehkan perancangan dan pelaksanaan inisiatif rendah karbon dibuat secara lebih sistematik, berasaskan data serta selari dengan dasar negeri. Kepentingan pengiraan pengurangan karbon adalah seperti berikut:

- i) Menyokong hala tuju rendah karbon Sarawak;
- ii) Mempertingkatkan perancangan kelestarian di peringkat PBT;
- iii) Menyediakan Petunjuk Prestasi Utama (KPI) yang boleh diukur dan digunakan bagi pelaporan tahunan; dan
- iv) Mengenal pasti sektor berintensiti karbon tinggi untuk perancangan dan pelaksanaan tindakan pengurangan yang lebih berfokus.

7.1 Tenaga

Empat strategi utama bagi Elemen Tenaga merangkumi pelaksanaan audit tenaga bagi mengenal pasti pembaziran elektrik, penggantian lampu konvensional kepada lampu LED yang lebih cekap tenaga, penggunaan tenaga solar bagi mengurangkan kebergantungan kepada grid elektrik berasaskan api fosil, serta penerapan pendigitalan melalui teknologi pintar untuk memantau dan mengoptimumkan penggunaan elektrik. Kesemua inisiatif ini menyumbang kepada pengurangan penggunaan tenaga elektrik (kWh) dan seterusnya mengurangkan pelepasan CO₂.

Kaedah pengiraan pengurangan tenaga boleh dilaksanakan seperti berikut:

Formula IPCC untuk Pengiraan Tenaga Elektrik:

Persamaan 2.1

Pelepasan Gas Rumah Hijau daripada Pembakaran Pegun

$$\text{Emissions}_{\text{GHG, fuel}} = \text{Fuel Consumption}_{\text{fuel}} \times \text{Emission Factor}_{\text{GHG, fuel}}$$

Di mana:

- **Emission GHG, fuel** merujuk kepada jumlah pelepasan bagi sesuatu GHG mengikut jenis bahan api, diukur dalam kilogram (kg GHG).
- **Fuel Consumption, fuel** ialah jumlah bahan api yang digunakan atau dibakar, dinyatakan dalam terajoule (TJ).
- **Emission Factor GHG, fuel** ialah faktor pelepasan piawai bagi GHG mengikut jenis bahan api dinyatakan dalam kilogram gas per terajoule (kg gas/TJ)

Sebagai contoh:

Pengiraan pelepasan karbon bagi bangunan PBT:

Dalam amalan sebenar, penggunaan tenaga bangunan PBT lazimnya direkodkan dalam unit kilowatt-jam (kWh), dan bukannya dalam unit terajoule (TJ). Oleh itu, konsep Persamaan 2.1 boleh diubah suai dengan menggunakan data penggunaan elektrik dan faktor pelepasan grid elektrik.

$$\text{Pelepasan CO}_2 = \text{Penggunaan Elektrik (kWh)} \times \text{Faktor Pelepasan Grid (tCO}_2\text{/kWh)}$$

Butiran pengiraan adalah seperti berikut:

- Penggunaan elektrik bangunan PBT : 100,000 kWh setahun
- Faktor pelepasan grid elektrik : 0.000584 tCO₂/kWh (bersamaan kira-kira 0.584 tCO₂/MWh)

$$\begin{aligned}\text{Pelepasan CO}_2 &= 100,000 \times 0.000584 \\ &= 58.4 \text{ tCO}_2\text{/tahun}\end{aligned}$$

Contoh ini menunjukkan bagaimana data penggunaan elektrik boleh digunakan secara langsung untuk menganggarkan pelepasan karbon bangunan PBT bagi tujuan pemantauan, pelaporan dan penetapan sasaran pengurangan karbon.

Sumber: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

7.2 Sisa

Bagi Elemen Sisa, tiga strategi utama yang dilaksanakan ialah pengurusan sisa yang lebih teratur bagi mengurangkan jumlah sisa yang dihantar ke tapak pelupusan, pelaksanaan program kitar semula untuk mengurangkan pembaziran sumber serta penubuhan *buy-back centre* sebagai pusat pengumpulan bahan boleh kitar semula yang menyediakan insentif kepada komuniti. Ketiga-tiga strategi ini menyumbang secara langsung kepada pengurangan pelepasan karbon kepada yang berpunca daripada proses penghasilan, pengangkutan dan pelupusan sisa.

Pengiraan pengurangan pelepasan karbon bagi elemen sisa boleh dilakukan menggunakan formula DEFRA (2018) bagi pengurusan sisa, seperti berikut:

Persamaan 5.2

Pelepasan CO₂e daripada sisa yang dijana semasa operasi=

Jumlah keseluruhan bagi semua jenis sisa:

$$\sum (\text{sisa buangan dijana (tan atau m}^3) \times \text{jenis sisa dan faktor khusus bagi rawatan sisa (kg CO}_2\text{e/tan atau m}^3))$$

Di mana:

Kaedah pengiraan:

Bagi setiap jenis sisa (contohnya sisa makanan, kertas, plastik, sisa tanaman, *e-waste* dan lain-lain), langkah pengiraan adalah seperti berikut:

- Tentukan jumlah sisa yang dialihkan daripada tapak pelupusan (dalam tan atau m³).
- Darabkan jumlah sisa tersebut dengan faktor pelepasan (*Emission Factor, EF*) mengikut jenis sisa.

Contoh Pengiraan:

Pengiraan pengurangan pelepasan karbon mengikut jenis sisa:

Sekiranya PBT mengalihkan sisa seperti berikut:

- 100 tan sisa makanan (EF = 1.1 tCO₂e/ton)
- 50 tan kertas (EF = 3.0 tCO₂e/ton)
- 30 tan sisa tanaman (EF = 1.5 tCO₂e/ton)

Maka pengiraan adalah:

Sisa Makanan

$$100 \times 1.1 = 110 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Kertas

$$50 \times 3.0 = 150 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Sisa Tanaman

$$30 \times 1.5 = 45 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Jumlah pengurangan pelepasan karbon :

$$110 + 150 + 45 = 305 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Ini bermaksud pengalihan sisa mengikut jenis telah berjaya mengurangkan pelepasan karbon sebanyak 305 tCO₂e.

Sumber: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

7.3 Kehijauan

Bagi Elemen Kehijauan, tiga strategi utama yang diketengahkan ialah penanaman pokok bagi menambah liputan hijau dan meningkatkan penyerapan karbon, perlindungan pokok matang yang berfungsi sebagai penyerap karbon semula jadi yang lebih berkesan serta pembangunan landskap hijau yang menyumbang kepada persekitaran bandar yang lebih sejuk, sihat dan berdaya huni. Pelaksanaan ketiga-tiga strategi ini bukan sahaja membantu meningkatkan kualiti udara, malah menyokong usaha pengurangan pelepasan karbon secara berterusan di peringkat PBT.

Pengiraan anggaran penyerapan karbon bagi elemen kehijauan boleh dilaksanakan menggunakan formula IPCC bagi penanaman pokok seperti berikut:

Formula IPCC untuk Penanaman Pokok (Elemen Kehijauan)

Persamaan 8.3

Pertumbuhan biomas tahunan berdasarkan bilangan individu tumbuhan berkayu mengikut kelas umum:

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} NT_{i,j} \times C_{i,j}$$

Di mana:

- **ΔC_G** ialah pertambahan karbon tahunan dalam biomassa hidup, dinyatakan dalam tan karbon setahun ($\text{tC}/\text{tahun}^{-1}$)
- **$NT_{i,j}$** ialah bilangan pokok mengikut kelas umur, i dan jenis tumbuhan perennial, j
- **$C_{i,j}$** ialah purata pertambahan karbon tahunan bagi setiap pokok mengikut kelas umur i, dinyatakan dalam $\text{tC}/\text{tahun}^{-1}/\text{pokok}$

Penukaran kepada Karbon Dioksida (CO_2)

Pertambahan karbon (tC) boleh ditukarkan kepada pelepasan karbon dioksida (tCO_2) menggunakan faktor penukaran berikut:

Tukar kepada CO_2

$$\text{tCO}_2 \text{ tahun}^{-1} = \Delta C_G \times 44/12$$

(Nilai 44/12 mewakili nisbah berat molekul karbon dioksida kepada karbon)

Contoh Pengiraan:

Pengiraan bagi penanaman **10,000** pokok bandar:

Nilai $NT_{i,j}$ = 10,000 pokok bandar berumur 5–10 tahun

Nilai $C_{i,j}$ = 0.004 tC/pokok/tahun

Sumber: IPCC Emission Factor Database (EFDB) / kajian tempatan (FRIM dan KeTSA)

Langkah 1: Mengira pertambahan karbon tahunan (ΔC_G)

$$\Delta C_G = 10,000 \times 0.004 = 40 \text{ tC}/\text{tahun}$$

Langkah 2: Menukarkan kepada tCO₂

$$\text{tCO}_2 = 40 \times (44/12) = 147 \text{ tCO}_2/\text{tahun}$$

Ini bermaksud penanaman 10,000 pokok dengan ciri dan kadar pertumbuhan tersebut dianggarkan mampu menyerap kira-kira 147 tan CO₂ setahun, khususnya apabila pokok berada dalam fasa pertumbuhan aktif.

Sumber: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

7.4 Air

Bagi Elemen Air, tiga strategi utama yang diberi tumpuan ialah pelaksanaan audit air bagi mengenal pasti corak penggunaan dan pembaziran, penggunaan SPAH untuk mengurangkan kebergantungan kepada air terawat serta amalan kitar semula *greywater* bagi kegunaan bukan minuman seperti siraman landskap dan pembersihan. Pelaksanaan strategi ini membantu menjimatkan sumber air, mengurangkan kos operasi serta menyokong pengurangan pelepasan karbon melalui penggunaan air yang lebih cekap dan berkesan.

Pengiraan pelepasan karbon bagi Elemen Air boleh dibuat berdasarkan pendekatan IPCC dengan mengaitkan penggunaan air kepada keperluan tenaga bagi proses rawatan dan pengepaman air.

Formula IPCC untuk Pengiraan Penggunaan Air:

Persamaan 2.1

Pelepasan Gas Rumah Hijau daripada Pembakaran Pegun

$$\text{Emissions}_{\text{GHG, fuel}} = \text{Fuel Consumption}_{\text{fuel}} \times \text{Emission Factor}_{\text{GHG, fuel}}$$

Di mana:

- **Emissions GHG, fuel** merujuk kepada jumlah pelepasan bagi sesuatu GHG mengikut jenis bahan api, diukur dalam kilogram (kg GHG).
- **Fuel Consumption, fuel** ialah jumlah bahan api yang digunakan atau dibakar, dinyatakan dalam terajoule (TJ).
- **Emission Factor GHG, fuel** ialah faktor pelepasan piawai bagi GHG mengikut jenis bahan api dinyatakan dalam kilogram gas per terajoule (kg gas/TJ)

•

Contoh Pengiraan:

Dalam amalan sebenar, penggunaan tenaga dalam unit terajoule (TJ) lazimnya tidak direkodkan bagi sistem bekalan air. Sebaliknya, data yang tersedia biasanya adalah isipadu penggunaan air dalam unit meter padu (m³). Oleh itu, konsep Persamaan 2.1 perlu diubah suai dengan mengaitkan penggunaan air kepada keperluan tenaga bagi proses rawatan dan pengepaman air, seperti berikut:

$$\text{Pelepasan CO}_2 = \text{Penggunaan air (m}^3\text{)} \times \text{Intensiti tenaga (kWh/ m}^3\text{)} \times \text{Grid EF (tCO}_2\text{/kWh)}$$

- Penggunaan air: 10,000 m³
- Intensiti tenaga rawatan & pam air : 1 kWh/m³
- Faktor pelepasan grid elektrik (Grid EF): 0.000584 tCO₂/kWh ($\approx$ 0.584 tCO₂/MWh)

Pengiraan:

$$\text{Pelepasan CO}_2 = 10,000 \times 1 \times 0.000584 = 5.84 \text{ tCO}_2/\text{tahun}$$

Ini bermaksud sesebuah bangunan dianggarkan menghasilkan kira-kira 5.84 tan CO₂ setahun hasil penggunaan air bagi tujuan rawatan dan pengepaman.

Sumber: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

7.5 Mobiliti

Bagi Elemen Mobiliti, tiga strategi utama yang diterapkan ialah penggunaan kenderaan elektrik (EV) bagi mengurangkan pelepasan karbon daripada sektor pengangkutan, pembangunan zon mobiliti hijau yang menggalakkan pergerakan aktif seperti berjalan kaki, berbasikal serta penyediaan landskap hijau di kawasan mobiliti untuk mewujudkan persekitaran yang lebih selesa dan mesra pengguna. Strategi ini menyokong pembangunan system pengangkutan yang lebih lestari dan rendah karbon di kawasan PBT.

Kaedah pengiraan pelepasan karbon daripada kenderaan boleh dilaksanakan menggunakan formula IPCC seperti berikut:

Formula IPCC untuk Pengiraan Pelepasan Karbon daripada Kenderaan:

Persamaan 3.2.1

Pelepasan CO₂ daripada pengangkutan darat

$$Pelepasan = \sum_a [Fuel_a \times EF_a]$$

Di mana:

- Emission = pelepasan CO₂ (kg)
- Fuel, a = jumlah bahan api yang digunakan (TJ)
- EF, a = faktor pelepasan bahan api (kg CO₂/TJ)
- a = jenis bahan api (contoh: petrol, diesel, gas asli, LPG dan lain-lain)

(Faktor pelepasan IPCC telah mengambil kira kandungan karbon bahan api dan faktor penukaran 44/12)

Berikut merupakan nilai tetap dan julat bagi setiap aspek dalam Elemen Mobiliti:

Table 3.5.2				
CO₂ Emission Factors				
kg/TJ				
Fuel		Default	Lower	Upper
Gasoline		69 300	67 500	73 000
Other Kerosene		71 900	70 800	73 600
Gas/Diesel Oil		74 100	72 600	74 800
Residual Fuel Oil		77 400	75 500	78 800
Liquefied Petroleum Gases		63 100	61 600	65 600
Other Oil	Refinery Gas	57 600	48 200	69 000
	Paraffin Waxes	73 300	72 200	74 400
	White Spirit & SBP	73 300	72 200	74 400
	Other Petroleum Products	73 300	72 200	74 400
Natural Gas		56 100	54 300	58 300

Contoh Pengiraan:

Pengiraan bagi kenderaan petrol sebanyak 5,000 liter sebulan

Langkah 1 – Menukar isipadu petrol kepada tenaga (TJ)

Nilai tenaga petrol (IPCC):

1 liter petrol = 0.0000342 TJ

Fuel (TJ) = 5,000 × 0.0000342 = 0.171 TJ

Langkah 2 – Menggunakan faktor pelepasan IPCC (*Emission Factor*) bagi petrol

EF petrol (*IPCC default*) = 69,300 kg CO₂/TJ

Emission = 0.171 × 69,300 = 11,850 kg CO₂

Langkah 3 – Menukar kepada tan CO₂

$$11,850 \div 1,000 = 11.85 \text{ tan CO}_2$$

Ini bermaksud penggunaan 5,000 liter petrol akan menghasilkan pelepasan kira-kira 11.85 tan CO₂.

Sumber: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

8.0 PENUTUP

Secara keseluruhannya, pembentukan Garis Panduan Komuniti Rendah Karbon bagi PBT Sarawak merupakan langkah strategik dalam memperkukuh agenda pembangunan mampan di peringkat kerajaan tempatan. Garis panduan ini bukan sahaja berperanan sebagai rujukan dalam perancangan dan pelaksanaan inisiatif hijau, malah berfungsi sebagai pemangkin kepada perubahan tingkah laku serta pembudayaan amalan kerja yang lebih bertanggungjawab terhadap alam sekitar. Melalui pendekatan yang sistematik, berasaskan data dan inklusif, PBT berupaya memperkasa penglibatan komuniti secara aktif dalam usaha pengurangan karbon serta memupuk gaya hidup rendah karbon dalam kehidupan seharian.

Dengan adanya dokumen ini, setiap PBT di Sarawak diharapkan dapat menyelaraskan tindakan dengan lebih berkesan, menetapkan sasaran yang realistik serta melaksanakan intervensi yang berimpak tinggi bagi mengurangkan pelepasan karbon. Komitmen dan kerjasama berterusan antara pihak berkuasa tempatan, agensi negeri, sektor swasta dan komuniti merupakan faktor penting dalam memastikan kejayaan pelaksanaan hala tuju rendah karbon negeri.

9.0 RUJUKAN

- 9.1 Jabatan Meteorologi Malaysia
- 9.2 The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
- 9.3 Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories
- 9.4 Post Covid-19 Development Strategy 2030
- 9.5 Sarawak Sustainability Blueprint 2030



**KEMENTERIAN KESIHATAN AWAM, PERUMAHAN DAN KERAJAAN
TEMPATAN
SARAWAK**