Pertemuan ke 10 : Baku mutu Li ngkungan

Fungsi dan Penerapan Baku Mutu Lingkungan sebagai Alat Uji

Baku mutu lingkungan menjadi instrumen yang digunakan dalam menganalisis pencemaran lingkungan. Dengan adanya indikator baku mutu, perusahaan bisa melakukan analisis yang tepat mengenai kondisi lingkungan di sekitar industri mereka. Tentu untuk menganalisisnya, Anda perlu menggandeng Laboratorium Lingkungan yang bisa membantu Perusahaan mengukur kondisi lingkungan tersebut menggunakan alat-alat yang bersertifikasi.

Seiring dengan pertumbuhan industri, selain memberikan dampak positif, hal tersebut juga memberikan dampak negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan adalah pencemaran lingkungan. Sudah sejak era industri dimulai, industri secara global telah memberikan dampak luar biasa bagi lingkungan. Industri menghasilkan emisi yang merusak lingkungan dari setiap aktivitas yang dilakukan.

Saat ini seluruh negara sudah sepakat untuk mengurangi jumlah emisi dengan campaign *Net Zero Emission*. Mengenai Hal tersebut sudah kita bahas di artikel *Decarbonization Industry*.

Apa itu Baku Mutu Lingkungan

Baku mutu lingkungan ini merupakan batasan yang mengikat secara hukum untuk mengukur standar kualitas batas kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen untuk melihat seberapa tercemarnya lingkungan.

Setiap negara memiliki baku mutu lingkungan masing-masing yang diatur dalam setiap kebijakan di negara tersebut. Baku mutu lingkungan tidak mengacu pada sumber emisi, melainkan mempertimbangkan kondisi lingkungan secara spesifik.

Baca Juga: 18 Daftar Parameter Pengujian Limbah Industri

Baku mutu ini memiliki tingkatan, seperti tingkat intervensi (sebagai alarm), tingkat toleransi maksimum (untuk jangka pendek), dan tingkat yang diinginkan (Jangka Panjang). Jika industri masuk dalam fase intervensi, tentu perlu melakukan tindakan perbaikan.

Penetapan standar tersebut akan berdasarkan beberapa pertimbangan, seperti penetapan prioritas, penilaian risiko, manajemen risiko, dan konsultasi publik.

Fungsi Baku Mutu Lingkungan

Keberadaan baku mutu tentu memiliki implikasi yang jelas bagi setiap industri dalam melakukan aktivitasnya, tanpa perlu mengganggu atau merusak lingkungan.
Fungsi dari baku mutu lingkungan menjadi indikator instrumen untuk mengatakan bahwa lingkungan telah tercemar dan untuk mengetahui seberapa tercemarnya atau rusaknya lingkungan.
Di dalam Baku Mutu Lingkungan terdapat nilai ambang batas yang menjadi batas daya dukung, daya tenggang, dan daya toleransi atau kemampuan lingkungan. Nilai ambang batas terdapat nilai terendah dan tertinggi yang menjadi nilai acuan kandungan zat-zat, makhluk hidup, atau komponen lain dalam setiap interaksi yang berkenaan dengan lingkungan, khususnya mempengaruhi mutu lingkungan.
Jika nilai ambang batas masuk dalam takaran tertinggi, menandakan bahwa lingkungan telah tercemar.

Penerapan Baku Mutu

Baku mutu lingkungan diterapkan digunakan untuk mengukur seluruh aktivitas industri yang menciptakan limbah maupun gas buang. Seperti pada sumber air, baku mutu limbah cair, udara ambien, udara emisi, dan air laut.
Sehingga industri memiliki ambang batas dalam pengendalian pencemaran lingkungan di lokasi industri yang dimiliki. Saat ini fokus Pemerintah Indonesia dalam masalah lingkungan adalah mengurangi gas rumah kaca, berdasarkan pada perjanjian Paris.
Baca Juga: Kenapa Air Limbah Domestik Perlu Diuji?

Pembagian Baku Mutu

Baku mutu lingkungan dibagi menjadi beberapa hal, yaitu:

- Baku Mutu udara : Untuk mengontrol kualitas udara dari emisi
- Baku Mutu Air : Digunakan untuk mengontrol kualitas air
- Baku Mutu Gangguan : Terdiri dari getaran, kebisingan, dan bau

INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA (ISPU) SEBAGAI INFORMASI MUTU UDARA AMBIEN DI INDONESIA

2020-09-24 | 232669 Views.

Sumber: iku.menlhk.go.id

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) berkomitmen untuk memberikan informasi mutu udara yang tepat dan akurat kepada masyarakat dalam rangka upaya pengendalian pencemaran udara. Hal ini dibuktikan dengan terus meningkatnya jumlah stasiun pemantauan otomatis kontinu yang dimiliki KLHK yaitu ditargetkan mencapai 38 stasiun pada tahun 2020. Agar informasi tentang mutu udara mudah dipahami oleh masyarakat, hasil pemantauan mutu udara dari stasiun pemantauan otomatis kontinu disampaikan dalam bentuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

ISPU merupakan angka tanpa satuan, digunakan untuk menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu dan didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Khusus untuk daerah rawan terdampak kebakaran hutan dan lahan, informasi ini dapat digunakan sebagai *early warning system* atau sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar. Tujuan disusunnya ISPU agar memberikan kemudahan dari keseragaman informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara baik bagi pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

Pada tahun 2020, KLHK telah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara yang merupakan pengganti dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara. Pada peraturan pengganti ini, tercantum bahwa perhitungan ISPU dilakukan pada 7 (tujuh) parameter yakni PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2, CO, O_3, dan HC. Terdapat penambahan 2 (dua) parameter yakni HC dan $PM_{2.5}$ dari peraturan sebelumnya. Penambahan parameter tersebut didasari pada besarnya resiko HC dan $PM_{2.5}$ terhadap kesehatan manusia.

Selain penambahan paramater, terdapat peningkatan frekuensi penyampaian informasi ISPU kepada publik. Hasil perhitungan ISPU parameter $PM_{2.5}$ disampaikan kepada publik tiap jam selama 24 jam. Sedangkan hasil

perhitungan ISPU parameter PM_{10}, NO_2, SO_2, CO, O_3, dan HC disampaikan kepada publik paling sedikit 2 (dua) kali dalam 1 (satu) hari pada pukul 09.00 dan 15.00. Tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU dan cara perhitungan sebagai berikut:

Tabel 1. Konversi Nilai Konsentrasi

ISPU	24 Jam PM10 (μg/m³)	24 Jam PM2.5 (μg/m³)	24 Jam SO_2 (μg/m³)	24 Jam CO (μg/m³)	24 Jam O_3 (μg/m³)	24 Jam NO_2 (μg/m³)	24 Jam HC (μg/m³)
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 - 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 - 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:
- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM2.5) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM10), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Persamaan matematika perhitungan ISPU sebagai berikut:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}(X_x - X_b) + I_b$$

Dimana,

I = ISPU terhitung

Ia = ISPU batas atas

Ib = ISPU batas bawah

Xa = Konsentrasi ambien batas atas (μg/m³)

Xb = Konsentrasi ambien batas bawah (μg/m³)

Xx = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (μg/m³)

Tabel 2. Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Rentang	Kategori	Penjelasan
1-50	Baik	Tingat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.
101-200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan.
201-300	Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

Sebagai informasi terkait parameter PM2,5 yang merupakan parameter pencemar udara paling berpengaruh terhadap kesehatan manusia, baku mutu tahunan Indonesia dan beberapa negara lain dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4. Perbandingan baku mutu PM2,5 di beberapa negara

No	Negara	Baku Mutu $\mu g/m^3$
-	WHO Guideline	10
1	Australia	8
2	Singapura, Amerika Serikat (primary)	12
3	**Indonesia**, Korea Selatan, Bangladesh, China Grade I, Jepang, Pakistan, Amerika Serikat (secondary)	15
4	Mongolia, Filipina, Sri Lanka, Thailand, Vietnam	25
5	China Grad II, Malaysia	35
6	India	40

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR: P.68/Menlhk-Setjen/2016
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN

Menimbang :

a. bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 20 ayat (2) huruf b Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Menteri mengatur ketentuan mengenai baku mutu air limbah;
b. bahwa air limbah domestik yang dihasilkan dari skala rumah tangga dan usaha dan/atau kegiatan berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke media lingkungan;
c. bahwa berdasarkan ketentuan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik;

Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 140, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5059);

2. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2001 Nomor 153, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4161);

3. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2015 tentang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 17);

4. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.18/MenLHK-II/2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 713);

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN TENTANG BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK.

Pasal 1

Dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan:

1. Air limbah adalah air sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan.
2. Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air.
3. Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan.

4. Izin lingkungan adalah izin yang diberikan kepada setiap orang yang melakukan Usaha dan/atau Kegiatan yang wajib Amdal atau UKL-UPL dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup sebagai prasyarat memperoleh izin Usaha dan/atau Kegiatan.
5. Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup yang selanjutnya disebu SPPL adalah pernyataan kesanggupan dari penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan untuk melakukan dan pemantauan lingkungan hidup atas dampak lingkungan hidup dari usaha dan/atau kegiatannya di luar Usaha dan/atau kegiatan yang wajib amdal atau UKL-UPL.
6. Daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar.
7. Alokasi beban pencemaran air adalah besaran beban pencemar yang masih diperbolehkan untuk dibuang atau besaran beban pencemar yang harus diturunkan di wilayah administrasi dan/atau DAS dari masing-masing sumber pencemar.
8. Sumber air adalah wadah air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini akuifer, mata air, sungai, rawa, danau, situ, waduk, dan muara.
9. Badan Usaha adalah Badan Usaha Milik Negara, Badan Usaha Milik Daerah, badan usaha swasta yang berbentuk Perseroan Terbatas, badan hukum asing, atau koperasi.
10. Titik penaatan adalah satu lokasi atau lebih yang dijadikan acuan untuk pemantauan dalam rangka penaatan baku mutu lindi.
11. Pemerintah Daerah adalah gubernur, bupati atau walikota dan perangkat daerah sebagai unsur penyelenggara pemerintah daerah.
12. Pemerintah Pusat adalah Presiden Republik Indonesia yang memegang kekuasaan pemerintahan negara Republik Indonesia yang dibantu oleh Wakil Presiden dan

menteri sebagaimana dimaksud dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.

13. Menteri adalah menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Pasal 2

Peraturan Menteri ini bertujuan untuk memberikan acuan mengenai baku mutu air limbah domestik kepada:

a. Pemerintah Daerah provinsi dalam menetapkan baku mutu air limbah domestik yang lebih ketat;
b. Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah provinsi, dan Pemerintah Daerah kabupaten/kota, dalam menerbitkan izin lingkungan, SPPL dan/atau izin pembuangan air limbah; dan
c. penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan pengolahan air limbah domestik dalam menyusun perencanaan pengolahan air limbah domestik, dan penyusunan dokumen lingkungan hidup.

Pasal 3

(1) Setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan air limbah domestik wajib melakukan pengolahan air limbah domestik yang dihasilkannya.
(2) Pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan secara:
    a. tersendiri, tanpa menggabungkan dengan pengolahan air limbah dari kegiatan lainnya; atau
    b. terintegrasi, melalui penggabungan air limbah dari kegiatan lainnya ke dalam satu sistem pengolahan air limbah.
(3) Pengolahan air limbah secara tersendiri sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a wajib memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam Lampiran I yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini.

(4) Pengolahan air limbah secara terintegrasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b wajib memenuhi baku mutu air limbah yang dihitung berdasarkan ketentuan sebagaimana tercantum dalam Lampiran II Peraturan Menteri ini.

(5) Baku mutu air limbah domestik sebagaimana dimaksud pada ayat (3) dan ayat (4) setiap saat tidak boleh terlampaui.

Pasal 4

(1) Terhadap pengolahan air limbah domestik, wajib dilakukan pemantauan untuk mengetahui pemenuhan ketentuan baku mutu air limbah.

(2) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan untuk memenuhi ketentuan persyaratan teknis antara lain:

a. menjamin seluruh air limbah domestik yang dihasilkan masuk ke instalasi pengolahan air limbah domestik;

b. menggunakan instalasi pengolahan air limbah domestik dan saluran air limbah domestik kedap air sehingga tidak terjadi perembesan air limbah domestik ke lingkungan;

c. memisahkan saluran pengumpulan air limbah domestik dengan saluran air hujan;

d. melakukan pengolahan air limbah domestik, sehingga mutu air limbah domestik yang dibuang ke sumber air tidak melampaui baku mutu air limbah domestik;

e. tidak melakukan pengenceran air limbah domestik ke dalam aliran buangan air limbah domestik;

f. menetapkan titik penaatan untuk pengambilan contoh uji air limbah domestik dan koordinat titik penaatan; dan

g. memasang alat ukur debit atau laju alir air limbah domestik di titik penaatan.

(3) Hasil pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disusun secara tertulis yang mencakup:
   a. catatan air limbah domestik yang diproses harian;
   b. catatan debit dan pH harian air limbah domestik; dan
   c. hasil analisa laboratorium terhadap air limbah domestik yang dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) bulan.

(4) Hasil pemantauan sebagaimanan dimaksud pada ayat (3) dilaporkan secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) bulan kepada bupati/walikota dengan tembusan gubernur, Menteri dan instansi terkait sesuai dengan peraturan perundangan-undangan.

Pasal 5

(1) Setiap usaha dan/atau kegiatan pengolahan air limbah domestik, wajib memiliki prosedur operasional standar pengolahan air limbah domestik dan sistem tanggap darurat.

(2) Dalam hal terjadi pencemaran akibat kondisi tidak normal, penanggungjawab usaha dan/atau kegiatan pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) wajib melaporkan dan menyampaikan kegiatan penanggulangan pencemaran kepada bupati/walikota, dengan tembusan kepada gubernur dan Menteri paling lama 1 x 24 (satu kali dua puluh empat) jam.

Pasal 6

Dalam hal setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (1) tidak mampu mengolah air limbah domestik yang dihasilkannya, pengolahan air limbah domestik wajib diserahkan kepada pihak lain yang usaha dan/atau kegiatannya mengolah air limbah domestik.

Pasal 7

(1) Pihak lain yang usaha dan/atau kegiatannya mengolah air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6 wajib memiliki izin lingkungan dan izin pembuangan air limbah.

(2) Ketentuan lebih lanjut mengenai tatacara perizinan lingkungan dan perizinan pembuangan air limbah sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 8

(1) Pemerintah Pusat dan/atau Pemerintah Daerah menyediakan dan mengelola sarana dan prasarana pengolahan air limbah domestik yang berasal dari skala rumah tangga.

(2) Penyediaan dan pengelolaan sarana dan prasarana pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat dilakukan melalui kerjasama dengan badan usaha.

(3) Penanggung jawab sarana dan prasarana pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan ayat (2) wajib memenuhi ketentuan:
   a. memiliki izin lingkungan atau SPPL;
   b. memiliki izin pembuangan air limbah; dan
   c. baku mutu air limbah domestik sebagaimana tercantum dalam Lampiran I Peraturan Menteri ini.

(4) Ketentuan lebih lanjut mengenai tata cara perizinan lingkungan atau SPPL, dan perizinan pembuangan air limbah sebagaimana dimaksud pada ayat (3) huruf a dan huruf b dilaksanakan sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 9

(1) Pemerintah Daerah provinsi dapat menetapkan baku mutu air limbah domestik daerah yang lebih ketat.

(2) Dalam menetapkan baku mutu air limbah domestik yang lebih ketat sebagaimana dimaksud pada ayat (1),

Pemerintah Daerah provinsi wajib melakukan kajian ilmiah yang memuat paling sedikit:

a. ketersediaan teknologi paling baik yang ada untuk mengolah air limbah domestik;
b. karakteristik air limbah domestik;
c. daya tampung beban pencemaran air dan alokasi beban pencemaran air; dan
d. nilai baku mutu air limbah domestik baru.

Pasal 10

(1) Daya tampung beban pencemaran air dan alokasi beban pencemaran air sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (2) huruf c dihitung dengan memperhatikan laporan Pemerintah Daerah kabupaten/kota yang terdiri dari:
   a. inventarisasi jenis dan jumlah air limbah domestik di wilayah administrasinya;
   b. inventarisasi jenis dan jumlah air limbah domestik yang diproses di pengolahan air limbah domestik;
   c. inventarisasi teknologi pengolahan air limbah domestik; dan
   d. pengawasan terhadap pemrosesan air limbah domestik, pengolahan air limbah domestik dan pemenuhan baku mutu air limbah domestik.
(2) Laporan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disampaikan kepada Pemerintah Daerah provinsi dengan tembusan kepada Menteri paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) tahun.

Pasal 11

Baku mutu air limbah domestik yang ditetapkan oleh Pemerintah Daerah provinsi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9, wajib digunakan oleh Pemerintah Daerah provinsi dan Pemerintah Daerah kabupaten/kota dalam menerbitkan izin lingkungan dan/atau izin pembuangan air limbah, kecuali diperoleh baku mutu air limbah domestik lain yang lebih ketat melalui hasil kajian dokumen lingkungan.

Pasal 12

(1) Menteri dan/atau Pemerintah Daerah provinsi melakukan pembinaan dan pengawasan kepada Pemerintah Daerah kabupaten/kota terhadap penerapan ketentuan baku mutu air limbah domestik.

(2) Dalam melakukan pembinaan dan pengawasan sebagaimana dimaksud pada ayat (1):
   a. Menteri dapat memberikan mandat kepada eselon I di lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan; dan
   b. Pemerintah Daerah provinsi dapat memberikan mandat kepada instansi yang bertanggungjawab di bidang lingkungan hidup tingkat provinsi.

(3) Hasil pembinaan dan pengawasan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digunakan sebagai bahan evaluasi baku mutu air limbah domestik.

Pasal 13

Pada saat Peraturan Menteri ini berlaku:

a. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik; dan
b. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, Lampiran XLIII Usaha dan/atau kegiatan Perhotelan, Lampiran XLIV huruf A bagi Kegiatan Fasilitas Pelayanan Kesehatan dan Lampiran XLVI tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Domestik,

dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

Pasal 14

Peraturan Menteri ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

Agar setiap mengetahuinya, memerintahkan pengundangan Peraturan Menteri ini dengan penempatannya dalam Berita Negara Republik Indonesia.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal : 9 Agustus 2016

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SITI NURBAYA

Diundangkan di Jakarta
Pada Tanggal 2 September 2016

DIREKTUR JENDERAL
PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

WIDODO EKA TJAHYANA

BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA TAHUN 2016 NOMOR 1323

Salinan sesuai dengan aslinya
KEPALA BIRO HUKUM,

ttd.

KRISNA RYA

LAMPIRAN I
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA
NOMOR P.68/Menlhk-Setjen/2016
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK

BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK TERSENDIRI

Parameter	Satuan	Kadar maksimum*
pH	–	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Keterangan:
*= Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api,terminal dan lembaga pemasyarakatan.

Salinan sesuai dengan alinya
KEPALA BIRO HUKUM,

ttd.

KRISNA RYA

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SITI NURBAYA

LAMPIRAN II
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR P.68/Menlhk-Setjen/2016
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK

PENGHITUNGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK TERINTEGRASI

Penentuan Baku Mutu air limbah domestik pada instalasi pengolahan air limbah terintegrasi dihitung dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

1. Debit air limbah paling tinggi

   Debit air limbah paling tinggi adalah jumlah debit tertinggi air limbah domestik senyatanya (bila ada) atau berdasarkan prakiraan dari masing-masing kegiatan dan air limbah dari kegiatan lainnya, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_{max} = \sum_{i}^{n} Qi + \cdots . Qm$$

   Keterangan

Q_{max}	:	Debit air limbah paling tinggi, dalam satuan m^3/waktu
Qi	:	Debit air limbah domestik paling tinggi dari kegiatan i, dalam satuan m^3/waktu
Qm	:	Debit air limbah paling tinggi dari kegiatan m, dalam satuan m^3/waktu

2. Kadar air limbah gabungan paling tinggi

   Penentuan kadar paling tinggi pada parameter yang sama dapat ditentukan dengan cara sederhana, yaitu dengan menggunakan metoda neraca massa dengan perhitungan sebagai berikut:

$$C_{max} = \sum_{i}^{n} . \frac{CiQi + CnQn}{Qi + Qn}$$

Keterangan

C_{max} : kadar paling tinggi setiap parameter, dalam satuan mg/l

C_i : Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah domestik untuk kegiatan i, dalam satuan mg/l

Q_i : Debit paling tinggi air limbah domestic kegiatan i, dalam satuan m^3/waktu

C_n : Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah untuk kegiatan n, dalam satuan mg/l

Q_n : Debit paling tinggi air limbah kegiatan n, dalam satuan m^3/waktu

Untuk kadar parameter yang berbeda:

1. Parameter dari salah satu kegiatan lain yang tidak diatur di dalam baku mutu air limbah domestik dalam lampiran I Peraturan Menteri ini maka parameter tersebut wajib ditambahkan dalam baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam izin.
2. Dalam hal terdapat Parameter yang sama dari beberapa kegiatan lain yang tidak diatur di dalam baku mutu air limbah domestik dalam lampiran I Peraturan Menteri ini maka parameter tersebut wajib ditambahkan dalam baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam izin dengan kadar yang paling ketat.

Salinan sesuai dengan alinya	MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN
KEPALA BIRO HUKUM,	KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,
ttd.	ttd.
KRISNA RYA	SITI NURBAYA

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Animal locomotion adalah studi tentang cara bergeraknya hewan dari satu tempat ke tempat lain. Studi ini melibatkan pemahaman tentang prinsip-prinsip biomekanika, struktur tubuh, dan faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi gerakan hewan. Berbagai jenis hewan telah berevolusi dengan kemampuan bergerak yang beragam, mulai dari pergerakan yang sangat efisien hingga adaptasi khusus untuk lingkungan tertentu. Dalam kaitannya dengan animal locomotion, terdapat suatu fenomena yang menarik untuk dipelajari, yaitu Scale Effect. Scale Effect merujuk pada perubahan dalam perilaku atau performa hewan seiring dengan perubahan ukuran tubuh mereka. Fenomena ini merupakan hasil dari interaksi antara faktor-faktor mekanis dan biologis yang berkaitan dengan skala tubuh. Dalam konteks ini, skala tubuh mengacu pada ukuran tubuh relatif hewan, dan perubahan tersebut dapat memengaruhi berbagai aspek locomotion, termasuk kecepatan, efisiensi gerakan, dan kemampuan manuver.

Perubahan skala tubuh dapat mempengaruhi animal locomotion melalui beberapa mekanisme. Salah satu mekanisme utama adalah perubahan dalam rasio permukaan tubuh terhadap volume tubuh. Hewan yang berukuran lebih besar cenderung memiliki rasio permukaan tubuh yang lebih kecil dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil. Hal ini dapat memengaruhi pertukaran panas, kecepatan respirasi, dan distribusi berat tubuh, yang semuanya memainkan peran penting dalam kemampuan hewan untuk bergerak.

Dalam memahami Scale Effect, penting untuk mengevaluasi dampaknya pada berbagai kelompok hewan dan lingkungan yang berbeda. Sebagai contoh, hewan-hewan kecil seperti serangga mungkin mengalami tantangan yang unik terkait dengan skala tubuh mereka, sementara hewan-hewan besar seperti mamalia besar mungkin memiliki keuntungan khusus dalam hal kecepatan atau daya tahan.

Penelitian terkini dalam bidang animal locomotion dan Scale Effect telah membuka pintu untuk pemahaman yang lebih baik tentang evolusi dan adaptasi hewan terhadap lingkungan mereka. Melalui pendekatan interdisipliner yang melibatkan biomekanika, fisiologi, dan ekologi, kita dapat mendapatkan wawasan lebih mendalam tentang kompleksitas gerakan hewan dan bagaimana faktor-faktor skala tubuh memainkan peran penting dalam menentukan strategi locomotion mereka.

Dengan demikian, makalah ini akan menjelaskan secara rinci konsep-konsep dasar animal locomotion, membahas Scale Effect dalam konteks evolusi dan adaptasi hewan, dan mengeksplorasi dampaknya pada berbagai kelompok hewan dan lingkungan. Penelitian ini akan membuka pintu untuk pemahaman yang lebih baik tentang peran skala tubuh dalam diverisifikasi strategi locomotion hewan dan implikasinya dalam konteks evolusi biologis.

B. Tujuan

1. Menggambarkan Konsep Dasar Animal Locomotion
2. Menganalisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Animal Locomotion
3. Memahami Konsep Scale Effect

C. Manfaat

1. Memberikan wawasan yang mendalam tentang prinsip-prinsip biomekanika dan faktor-faktor yang memengaruhi gerakan hewan.
2. Menginspirasi pengembangan teknologi baru dan desain inovatif yang terinspirasi oleh mekanisme gerakan hewan untuk keperluan seperti robotika dan desain kendaraan.
3. Membantu memahami mengapa berbagai hewan menggunakan strategi locomotion tertentu, yang dapat memberikan wawasan lebih baik tentang evolusi dan diversifikasi biologis.

BAB II

ANIMAL LOCOMOTION

A. Definisi dan Jenis

1. Definisi Animal Locomotion
   Animal locomotion merujuk pada kemampuan hewan untuk bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Gerakan ini melibatkan serangkaian kompleksitas biomekanika yang memungkinkan hewan untuk mencari makanan, menghindari bahaya, mencari pasangan untuk berkembang biak, atau bermigrasi. Studi tentang animal locomotion membahas berbagai aspek, termasuk struktur tubuh, otot, sistem saraf, dan adaptasi evolusioner yang memungkinkan hewan bergerak dengan efisien dalam berbagai lingkungan.

2. Jenis Animal Locomotion
   1. Bipedalisme:
      Hewan yang menggunakan dua kaki untuk bergerak, ~~seperti manusia,~~ kanguru, dan burung pegar.

   2. Quadrupedalisme:
      Hewan yang menggunakan empat kaki untuk bergerak, seperti kuda, anjing, dan kucing.

   3. Arboreal Locomotion:
      Hewan yang beradaptasi untuk bergerak di pepohonan, termasuk primata seperti monyet dan lemur, tupai .

   4. Aquatic Locomotion:
      Hewan yang bergerak di air, dengan variasi seperti berenang (ikan), berjalan di dasar perairan (kura-kura), atau terbang di atas air (bebek air).

   5. Cursorial Locomotion:
      Hewan yang bergerak dengan cepat di daratan, seperti kuda, cheetah, dan rusa.

   6. Saltatorial Locomotion:
      Hewan yang menggunakan loncatan untuk bergerak, seperti kanguru dan belalang.

   7. Fossorial Locomotion:
      Hewan yang beradaptasi untuk bergerak di dalam tanah atau substrat, seperti tikus tanah dan kura-kura tanah.

   8. Aerial Locomotion:
      Hewan yang dapat terbang, seperti burung, kelelawar, dan beberapa serangga.

9. Gliding Locomotion:
   Hewan yang mampu bergerak di udara dengan melayang atau tergelincir, seperti tupai terbang dan beberapa spesies ular.

10. Swimming Locomotion:
    Hewan yang bergerak di dalam air menggunakan anggota tubuh atau sirip, termasuk ikan, paus, dan lumba-lumba.

Penting untuk dicatat bahwa banyak hewan dapat menggunakan lebih dari satu jenis locomotion tergantung pada kebutuhan dan lingkungan mereka. Studi tentang jenis-jenis animal locomotion membantu memahami bagaimana evolusi telah membentuk strategi bergerak yang beragam di antara berbagai spesies hewan.

B. Prinsip Dasar

1. Biomekanika:
   Biomekanika adalah cabang ilmu yang mempelajari pergerakan hewan dari perspektif mekanika. Prinsip-prinsip biomekanika mencakup analisis gaya, torsi, dan tekanan yang terlibat dalam gerakan hewan. Pergerakan tersebut dipengaruhi oleh struktur tubuh, panjang anggota tubuh, dan distribusi massa.

2. Adaptasi Morfologi:
   Struktur tubuh hewan berkaitan erat dengan kemampuannya untuk bergerak. Adaptasi morfologi, seperti bentuk anggota tubuh, panjang tungkai, dan bentuk tubuh, memungkinkan hewan beradaptasi dengan lingkungan mereka. Contohnya, kaki panjang pada kuda mendukung kecepatan pada habitat daratan terbuka.

3. Otot dan Sistem Saraf:
   Gerakan hewan dikontrol oleh sistem saraf dan diimplementasikan oleh otot. Sinyal saraf merangsang kontraksi otot yang menghasilkan gerakan. Kecepatan, kekuatan, dan koordinasi otot sangat penting dalam menentukan jenis locomotion.

4. Energi dan Metabolisme:
   Gerakan hewan membutuhkan energi. Efisiensi gerakan, terutama dalam hal kecepatan dan daya tahan, berkaitan dengan metabolisme hewan. Hewan yang melakukan migrasi jarak jauh, misalnya, mungkin memiliki adaptasi untuk mengoptimalkan penggunaan energi mereka.

5. Persepsi Lingkungan:
   Hewan menggunakan indera mereka untuk merasakan lingkungan sekitar mereka dan meresponsnya. Penglihatan, pendengaran, dan sistem indera lainnya membantu hewan mengidentifikasi sumber makanan, mitra, atau bahaya yang mungkin memengaruhi strategi locomotion mereka.

6. Reaksi Terhadap Gravitasi:

Gravitasi memainkan peran penting dalam animal locomotion. Hewan harus dapat menanggung bobot tubuhnya sendiri dan mengatasi gaya gravitasi saat bergerak. Struktur tulang dan otot dikembangkan dengan mempertimbangkan tekanan gravitasi terhadap tubuh.

7. Keseimbangan dan Koordinasi:
   Hewan harus dapat mempertahankan keseimbangan saat bergerak. Keseimbangan ini dipertahankan melalui koordinasi yang kompleks antara otot dan sistem saraf. Koordinasi ini memungkinkan hewan untuk melakukan manuver, mengubah arah, atau merespons secara cepat terhadap perubahan dalam lingkungan mereka.

8. Efisiensi Energi:
   Efisiensi energi adalah prinsip penting dalam animal locomotion. Hewan cenderung mengembangkan strategi gerakan yang mengoptimalkan penggunaan energi agar dapat mencapai tujuan mereka dengan seefisien mungkin. Ini dapat melibatkan modifikasi pola gerakan atau perubahan kecepatan.

9. Adaptasi Terhadap Lingkungan:
   Hewan mengembangkan strategi locomotion yang sesuai dengan lingkungan tempat mereka tinggal. Misalnya, hewan di habitat hutan mungkin memiliki kemampuan memanjat atau melompat, sedangkan hewan di habitat air mungkin mengandalkan sirip atau ekor untuk berenang.

10. Evolutionary Trade-offs:
    Evolutionary trade-offs mengacu pada keseimbangan yang harus dihasilkan oleh hewan dalam mengembangkan strategi locomotion. Misalnya, hewan yang dikhususkan untuk kecepatan mungkin mengorbankan daya tahan, dan sebaliknya.

Pemahaman terhadap prinsip-prinsip dasar ini memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang kompleksitas dan keragaman gerakan hewan di berbagai habitat dan kondisi lingkungan.

BAB III

SCALE EFFECT

A. Pengertian Scale Effect

Konsep ini mencakup bagaimana perubahan skala tubuh dapat memengaruhi fungsi organisme. Misalnya, hewan yang lebih besar mungkin memiliki struktur tubuh yang berbeda dan harus mengatasi masalah-masalah mekanis dan fisiologis yang berbeda dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil. Hewan yang lebih besar cenderung memiliki tingkat metabolisme yang lebih lambat dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil, tetapi mereka juga membutuhkan lebih banyak energi untuk mendukung tubuh yang lebih besar. Hewan yang lebih besar cenderung memiliki tingkat metabolisme yang lebih lambat dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil, tetapi mereka juga membutuhkan lebih banyak energi untuk mendukung tubuh yang lebih besar. Hewan yang lebih besar cenderung memiliki tingkat metabolisme yang lebih lambat dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil, tetapi mereka juga membutuhkan lebih banyak energi untuk mendukung tubuh yang lebih besar. Hewan yang lebih besar cenderung memiliki tingkat metabolisme yang lebih lambat dibandingkan dengan hewan yang lebih kecil, tetapi mereka juga membutuhkan lebih banyak energi untuk mendukung tubuh yang lebih besar.

B. Peran Scale Effect Dalam Animal Locomotion

Scale effect atau efek skala merujuk pada bagaimana perubahan ukuran tubuh suatu organisme dapat mempengaruhi kinerja atau perilaku organisme tersebut. Dalam konteks animal locomotion (gerakan hewan), peran scale effect dapat diamati dalam berbagai aspek, termasuk kecepatan, efisiensi gerakan, dan mekanisme pergerakan. Beberapa contoh peran scale effect pada animal locomotion melibatkan hubungan antara ukuran tubuh dan karakteristik pergerakan, antara lain:

1. Kecepatan: Terdapat hubungan kompleks antara ukuran tubuh dan kecepatan gerakan hewan. Pada umumnya, hewan yang lebih besar cenderung memiliki kecepatan maksimum yang lebih tinggi. Namun, perubahan proporsi ukuran tubuh juga dapat mempengaruhi kecepatan. Misalnya, perbandingan panjang tubuh terhadap lebar tubuh (aspek tubuh) dapat mempengaruhi aerodinamika dan hidrodinamika hewan, yang pada gilirannya memengaruhi kecepatan maksimum yang dapat dicapai.

2. Efisiensi Energi: Ukuran tubuh juga dapat memengaruhi efisiensi energi dalam animal locomotion. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa hewan dengan ukuran tubuh yang lebih besar cenderung lebih efisien dalam menggunakan energi saat bergerak. Hal ini dapat disebabkan oleh perbandingan luas permukaan tubuh terhadap volume tubuh yang lebih rendah pada hewan yang lebih besar.

3. Mekanisme Pergerakan: Hewan-hewan dengan ukuran tubuh yang berbeda mungkin mengadopsi mekanisme pergerakan yang berbeda. Misalnya, cara ikan kecil berenang mungkin sangat berbeda dari cara ikan besar berenang. Struktur dan koordinasi otot-otot yang digunakan untuk pergerakan juga dapat berubah seiring dengan perubahan ukuran tubuh.

4. Manuverabilitas: Hewan-hewan yang lebih kecil mungkin lebih dapat melakukan manuver dengan lebih baik daripada hewan yang lebih besar. Hal ini terkait dengan inersia dan kecepatan respons hewan terhadap perubahan arah. Hewan yang lebih kecil mungkin lebih mudah untuk melakukan perubahan arah dengan cepat dibandingkan dengan hewan yang lebih besar.

Penting untuk diingat bahwa pengaruh scale effect dapat sangat kompleks dan dapat bervariasi antara berbagai kelompok hewan. Faktor-faktor seperti lingkungan hidup, jenis pergerakan, dan spesifikasinya pada masing-masing organisme dapat memoderasi efek skala dalam konteks animal locomotion.

C. Faktor – Faktor Yang Memengaruhi Scale Effect pada Animal Locomotion

Faktor-faktor yang memengaruhi scale effect pada animal locomotion dapat sangat kompleks dan beragam. Berikut adalah beberapa faktor utama yang dapat memengaruhi bagaimana ukuran tubuh suatu organisme mempengaruhi perilaku dan kinerja locomotion-nya:

1. Morfologi Tubuh:

   - Aspek Tubuh (Body Aspect): Perbandingan panjang tubuh terhadap lebar tubuh dapat memengaruhi aerodinamika dan hidrodinamika, yang dapat mempengaruhi kecepatan dan efisiensi gerakan.
   - Proporsi Anggota Tubuh: Perubahan proporsi anggota tubuh, seperti panjang kaki atau sayap, dapat memengaruhi mekanisme pergerakan dan manuverabilitas.

2. Sifat Fluida Lingkungan:

   - Hidrodinamika: Pada hewan yang bergerak di dalam air, seperti ikan, hidrodinamika sangat penting. Perubahan ukuran tubuh dapat memengaruhi resistensi air dan kemampuan hewan untuk berenang.
   - Aerodinamika: Pada hewan yang terbang, seperti burung atau serangga, aerodinamika menjadi faktor kritis. Ukuran dan bentuk sayap, serta struktur tubuh, dapat memengaruhi efisiensi penerbangan.

3. Lingkungan Hidup:

    - Tipe Permukaan: Karakteristik lingkungan tempat hewan bergerak, seperti jenis tanah atau air, dapat memengaruhi pergerakan hewan. Misalnya, hewan-hewan kecil mungkin lebih efisien bergerak di atas permukaan tertentu daripada hewan yang lebih besar.

4. Energi dan Metabolisme:

    - Efisiensi Energi: Ukuran tubuh dapat memengaruhi efisiensi penggunaan energi dalam locomotion. Hewan dengan ukuran tubuh yang lebih besar mungkin memiliki efisiensi energi yang lebih baik, terutama dalam perjalanan jarak jauh.

5. Struktur dan Fungsi Otot:

    - Perbandingan Massa Otot terhadap Massa Tubuh: Perubahan dalam perbandingan massa otot terhadap massa tubuh dapat memengaruhi kekuatan dan daya dorong yang dihasilkan oleh otot-otot hewan.

6. Koordinasi Motorik dan Sistem Saraf:

    - Respons Terhadap Stimulus: Hewan dengan ukuran tubuh yang berbeda mungkin memiliki respons yang berbeda terhadap stimulus lingkungan dan perubahan arah. Koordinasi motorik dan kecepatan reaksi dapat bervariasi.

7. Ekologi dan Spesifik Habitat:

    - Adaptasi Lingkungan: Faktor-faktor khusus lingkungan dan ekologi, seperti tipe pohon, tumbuhan, atau topografi, dapat memengaruhi adaptasi morfologis dan perilaku locomotion hewan.

Perlu dicatat bahwa faktor-faktor ini saling terkait dan seringkali sulit dipisahkan. Selain itu, adaptasi spesifik mungkin terjadi dalam berbagai kelompok hewan untuk mengoptimalkan kemampuan locomotion mereka sesuai dengan kebutuhan lingkungan dan gaya hidup mereka.

BAB IV

PENERAPAN

A. Inspirasi Dari Animal Locomotion

1. Kecepatan dan Ketangkasan:
   Sama seperti cheetah yang bisa berlari dengan kecepatan tinggi dan bergerak dengan tangkas, kita juga dapat mengadaptasi kecepatan dan ketangkasan dalam bekerja atau mencapai tujuan kita. Selalu mencari cara untuk meningkatkan efisiensi dan responsivitas dalam tindakan kita.

2. Kerjasama Tim Seperti Kumpulan Burung Terbang:
   Para burung seringkali bergerak dalam kumpulan yang terkoordinasi dengan indahnya. Ini bisa menjadi inspirasi bagi kerjasama tim di tempat kerja atau dalam kehidupan sehari-hari. Dengan berkomunikasi dan berkolaborasi, kita bisa mencapai tujuan bersama secara lebih efektif.

3. Adaptasi Terhadap Lingkungan:
   Hewan-hewan seringkali harus beradaptasi dengan lingkungan mereka untuk bertahan hidup. Begitu juga dengan manusia, kita bisa mengambil inspirasi dari kemampuan hewan untuk beradaptasi dengan perubahan dan tantangan, memahami bahwa fleksibilitas adalah kunci kelangsungan hidup.

4. Keindahan dalam Gerakan:
   Perhatikan bagaimana beberapa hewan dapat bergerak dengan anggun dan indah. Kita bisa mencari keindahan dalam setiap tindakan yang kita lakukan, bahkan dalam hal-hal sehari-hari. Seperti langkah-langkah seorang danser, gerakan kita bisa menjadi ekspresi seni yang indah.

5. Daya Tahan dan Kekuatan Seperti Gajah:
   Gajah memiliki daya tahan dan kekuatan yang luar biasa. Kita bisa mengambil inspirasi dari sifat ini untuk mengatasi rintangan dan tantangan dalam hidup, menjadikan kegigihan sebagai kunci untuk mencapai tujuan kita.

6. Navigasi yang Efisien Seperti Lebah Madu:
   Lebah madu menggunakan sistem navigasi yang sangat efisien untuk mencari sumber makanan. Kita bisa mengadopsi pendekatan ini dalam menjalani kehidupan sehari-hari, dengan merencanakan langkah-langkah kita dengan bijaksana dan mengoptimalkan waktu serta sumber daya.

7. Keseimbangan Seperti Kucing:
   Kucing memiliki keseimbangan yang luar biasa, terutama saat melompat atau bergerak di tempat yang tinggi. Kita bisa mengambil inspirasi dari keseimbangan ini untuk menjaga keseimbangan antara pekerjaan, kehidupan pribadi, dan kesehatan.

B. Implementasi Animal Locomotion dan Scale Effect Pada Desain Mesin Dan Robotik

Animal locomotion dan skala efek dapat diimplementasikan dalam desain mesin dan robotik untuk meningkatkan kinerja, efisiensi, dan fleksibilitas. Berikut adalah beberapa contoh implementasi:

1. Bipedal Robot dengan Kecepatan Tinggi:
   Inspirasi dari kecepatan cheetah dapat diimplementasikan dalam desain robot bipedal yang memiliki kemampuan berjalan dengan kecepatan tinggi. Desain kaki yang fleksibel dan efisien dapat memungkinkan robot bergerak dengan kecepatan dan ketangkasan yang tinggi, mirip dengan gerakan cepat cheetah.

2. Swarm Robotics Berbasis Perilaku Kumpulan Hewan:
   Skala efek dapat diterapkan dalam desain swarm robotics, di mana sekelompok robot kecil bekerja bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu. Inspirasi dapat diambil dari gerakan kumpulan burung atau ikan yang bergerak bersama dengan koordinasi tinggi, menciptakan sistem yang tangkas dan efisien.

3. Desain Kaki Robot yang Adaptif:
   Implementasi konsep adaptasi lingkungan dapat diterapkan pada desain kaki robot. Misalnya, seperti kaki hewan-hewan pegunungan yang dapat menyesuaikan diri dengan medan yang berbatu atau tidak rata, desain kaki robot bisa memiliki sensor dan aktuator yang memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap berbagai jenis permukaan.

4. Desain Drone yang Efisien Seperti Lebah:
   Menggunakan prinsip navigasi efisien yang mirip dengan lebah madu, desain drone dapat dilengkapi dengan algoritma navigasi yang cerdas untuk mencari jalur tercepat ke tujuan. Ini dapat meningkatkan efisiensi dalam survei udara atau pencarian dan penyelamatan.

5. Robot Manipulator Fleksibel Seperti Belut:
   Robot manipulator dapat diinspirasi oleh gerakan belut yang fleksibel dan dapat beradaptasi dengan berbagai bentuk dan ukuran benda. Desain manipulator yang fleksibel dan dapat berubah-ubah memungkinkan robot untuk mengatasi berbagai tantangan dalam mengambil, memindahkan, dan menangani objek.

6. Kendaraan Darat dengan Sistem Penggerak Berteknologi Tinggi:
   Menerapkan teknologi penggerak yang terinspirasi dari kaki hewan seperti kuda atau gajah pada kendaraan darat. Sistem ini dapat memberikan daya tahan dan kekuatan tambahan untuk mengatasi medan sulit, mirip dengan bagaimana hewan-hewan darat beradaptasi dengan lingkungan mereka.

7. Mekanisme Keseimbangan pada Robot Humanoid:
   Desain robot humanoid dapat mengadopsi mekanisme keseimbangan yang mirip dengan kucing. Sensor keseimbangan dan mekanisme reaksi cepat dapat membantu robot untuk tetap stabil bahkan dalam situasi yang tidak terduga.

Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ini, desain mesin dan robotik dapat menjadi lebih adaptif, efisien, dan responsif terhadap lingkungan sekitarnya, menciptakan solusi yang lebih canggih dan bermanfaat.

BAB V

TANTANGAN DAN PELUANG

A. Kendala Dalam Mengadopsi Prinsip Animal Locomotion dan Scale Effect

Meskipun prinsip animal locomotion dan scale effect menawarkan banyak potensi untuk inovasi dalam teknologi, terdapat beberapa kendala yang dapat menjadi tantangan dalam mengadopsi konsep-konsep ini. Berikut adalah beberapa kendala yang mungkin dihadapi:

1. Kompleksitas Desain:
   Penerapan prinsip animal locomotion dan scale effect dalam desain mesin atau robot seringkali melibatkan sistem yang kompleks. Pengembangan dan pemeliharaan sistem yang rumit dapat menjadi tantangan teknis dan meningkatkan biaya produksi.

2. Biomekanika dan Material:
   Meningkatkan kemiripan dengan gerakan hewan seringkali memerlukan pemahaman yang mendalam tentang biomekanika dan pemilihan material yang tepat. Beberapa material yang diperlukan mungkin mahal atau sulit ditemukan, sehingga menambah kompleksitas dan biaya produksi.

3. Keterbatasan Sumber Daya Energi:
   Beberapa desain yang terinspirasi dari animal locomotion mungkin memerlukan sumber daya energi yang lebih besar dibandingkan dengan desain konvensional. Hal ini dapat menjadi kendala dalam situasi di mana efisiensi energi adalah pertimbangan utama, seperti pada aplikasi mobile atau baterai yang memiliki daya terbatas.

4. Kesulitan dalam Replikasi Keunggulan Biologis:
   Hewan-hewan seringkali telah mengalami evolusi yang panjang untuk mencapai tingkat kinerja dan efisiensi tertentu. Mereplikasi keunggulan biologis ini dalam desain mesin atau robot dapat sulit, karena keunikan dan kompleksitas struktur biologis tidak selalu dapat direplikasi dengan mudah.

5. Kesulitan dalam Skala:
   Beberapa konsep yang efektif pada skala kecil mungkin tidak selalu dapat diaplikasikan secara langsung pada skala yang lebih besar dan sebaliknya. Pemahaman yang mendalam tentang skala effect dan adaptasi desain diperlukan untuk menerapkan prinsip ini dengan sukses.

6. Aspek Etika dan Kesejahteraan Hewan:
   Penerapan prinsip animal locomotion mungkin menimbulkan pertanyaan etika, terutama jika melibatkan eksperimen atau pengambilan inspirasi langsung dari

hewan-hewan hidup. Perlu kehati-hatian untuk memastikan bahwa penerapan teknologi ini tidak merugikan kesejahteraan hewan.

7. Tantangan Regulasi dan Standar:
   Inovasi dalam teknologi seringkali dihadapkan pada tantangan regulasi dan standar. Penerapan prinsip animal locomotion mungkin memerlukan peninjauan dan persetujuan yang lebih ketat untuk memastikan keselamatan dan keamanan.

8. Kesulitan dalam Integrasi dengan Teknologi yang Ada:
   Mengintegrasikan prinsip animal locomotion dalam teknologi yang sudah ada dapat menjadi sulit. Sistem dan infrastruktur yang sudah ada mungkin tidak selalu mendukung pengadopsian konsep ini tanpa perubahan besar.

Meskipun ada kendala-kendala ini, terdapat peluang besar untuk inovasi dan peningkatan kinerja teknologi dengan mengatasi tantangan ini. Dengan penelitian dan pengembangan yang terus-menerus, implementasi prinsip animal locomotion dan scale effect dapat membawa dampak positif pada berbagai bidang teknologi.

B. Potensi Keuntungan Dan Kemajuan Teknologi

1. Animal Locomotion:

Animal locomotion merujuk pada gerakan atau pergerakan hewan. Studi tentang cara hewan bergerak memiliki potensi keuntungan besar dalam berbagai bidang, termasuk desain robotik dan teknologi medis. Beberapa potensi keuntungan dan kemajuan teknologi dari studi animal locomotion melibatkan:

- Desain Robotik: Pengembangan robot yang dapat meniru atau terinspirasi oleh gerakan hewan dapat membawa inovasi dalam desain robotika. Robot yang dapat bergerak dengan efisien dan fleksibel dapat diterapkan dalam berbagai konteks, seperti eksplorasi bawah air, misi luar angkasa, atau bahkan pelayanan di lingkungan manusia.
- Teknologi Rehabilitasi: Pemahaman lebih lanjut tentang bagaimana hewan bergerak dapat membantu dalam pengembangan perangkat rehabilitasi untuk manusia. Teknologi ini dapat membantu orang dengan cacat fisik untuk mengembalikan atau meningkatkan mobilitas mereka.
- Optimasi Kinerja Olahraga dan Kedokteran: Studi tentang animal locomotion dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang kinerja tubuh dan gerakan yang efisien. Informasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja atlet, mencegah cedera, atau bahkan memahami patologi dan penyakit tertentu.

2. Scale Effect:

Scale effect merujuk pada bagaimana perubahan skala ukuran suatu objek atau sistem dapat memengaruhi perilaku dan sifatnya. Dalam konteks teknologi, scale effect dapat memiliki implikasi yang signifikan, terutama dalam hal ukuran dan efisiensi.

- Nanoteknologi: Pada skala nanometer, materi dapat menunjukkan sifat yang berbeda secara signifikan. Nanoteknologi memanfaatkan scale effect untuk merancang dan menciptakan material, perangkat, dan sistem yang memiliki kinerja unggul pada tingkat nanometer.
- Makroteknologi: Di sisi lain, ketika kita berbicara tentang skala besar seperti dalam teknologi makro, scale effect juga berperan. Misalnya, dalam desain pesawat atau kendaraan antariksa, skala dapat memengaruhi efisiensi bahan bakar dan stabilitas.

Kedua konsep ini menunjukkan bahwa memahami cara hewan bergerak dan bagaimana perubahan skala dapat memengaruhi teknologi dapat membuka pintu bagi inovasi dan penemuan baru dalam berbagai disiplin ilmu.

BAB VI

KESIMPULAN

Kesimpulan dari animal locomotion dan scale effect menunjukkan bahwa pemahaman terhadap gerakan hewan dan pengaruh perubahan skala memiliki dampak yang signifikan dalam pengembangan teknologi. Dalam konteks animal locomotion, studi tersebut memberikan inspirasi untuk inovasi dalam desain robotika, pengembangan teknologi rehabilitasi, dan peningkatan kinerja di bidang olahraga dan kedokteran.

Di sisi lain, scale effect menyoroti bahwa ukuran suatu objek atau sistem dapat memengaruhi sifat dan perilakunya. Dari nanoteknologi hingga makroteknologi, perubahan skala memungkinkan pengembangan material dan teknologi dengan kinerja yang unggul, baik dalam tingkat nanometer maupun pada skala yang lebih besar.

Secara keseluruhan, pemahaman dan penerapan konsep animal locomotion dan scale effect membuka peluang untuk inovasi teknologi yang lebih baik, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan di berbagai bidang, mulai dari robotika hingga eksplorasi antariksa. Studi ini menggambarkan bagaimana inspirasi dari alam dan pengelolaan skala dapat memacu kemajuan teknologi yang bermanfaat untuk kehidupan sehari-hari, eksplorasi ilmiah, dan perbaikan kondisi kesehatan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

Alexander, R. M. (2003). *Principles of Animal Locomotion.* Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Bronzino, D. J. (2008). *Biomechanics: Principles and Applications.* Boca Raton, Florida: CRC Press.

Goldspink, P. R. (1977). *Mechanics of Animal Movement.* London: Chapman and Hall.