

LAND of SCIENCE: PUSAT EKSPLORASI ILMU FISIKA

Science is founded on the notion of law,

the law of nature

A. N. Whitehead

II.1 Pengertian Fisika Sebagai Ilmu

Pengertian ilmu fisika dan *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Ilmu pengetahuan atau *Science* (Inggris) berarti adalah sebuah eksplorasi ke alam materi berdasarkan observasi, dan yang mencari hubungan-hubungan alamiah yang teratur mengenai fenomena yang diamati serta bersifat mampu menguji diri sendiri (*Science is an exploration in the material universe, based on observation, which seeks natural explanatory relations, and which is self testing*).¹³
- Fisika adalah ilmu tentang zat dan energi seperti panas, cahaya, dan bunyi.¹⁴
- Fisika adalah ilmu pengetahuan tentang hubungan-hubungan fundamental antara material dan energi.¹⁵
- *Physics, major science dealing with the fundamental constituents of the universe, the forces they exert on one another, and the effects of these force*.¹⁶ Secara ringkas dapat disimpulkan bahwa ilmu fisika adalah ilmu yang mempelajari tentang alam dan hukum alam yang teratur.

Bedasarkan beberapa pengertian diatas maka dapat disimpulkan bahwa fisika sebagai ilmu adalah sebuah eksplorasi tentang alam dan hubungan-hubungan fundamentalnya berdasarkan observasi dan terukur.

Ilmu fisika sebagai sains mengalami diversifikasi sebagai berikut¹⁷:

- **Akustik**

Studi tentang sifat-sifat suara

¹³ Zen, M. T., Sains, Teknologi, dan Hari Depan Manusia, 1980

¹⁴ Kamus Besar Bahasa Indonesia, Tim Penyusun Kamus Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa, Jakarta : Balai Pustaka, 1988, hal 242

¹⁵ Ensiklopedia Umum, Yogyakarta : Penerbit Kanisius, hal 329

¹⁶ Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006, Physics : Introduction

¹⁷ Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006, Physics : Scope of Physics

- **Astrofisika**
Studi tentang interaksi ilmu astronomi dan fisika
- **Fisika Atom**
Studi tentang sifat dan struktur atom
- **Biofisika**
Studi tentang interaksi ilmu biologi dan fisika
- **Cryogenics**
Studi tentang sifat-sifat material atau zat dalam kondisi suhu rendah yang ekstrim
- **Elektromagnetik**
Studi tentang elektrik dan medan magnetik dan listrik yang diproduksi dari medan magnet
- **Fisika Partikel Dasar**
Studi tentang energi yang dihasilkan oleh elemen partikel dasar.
- **Dinamika Fluida**
Studi tentang sifat-sifat aliran fluida cair maupun gas
- **Geofisika**
Studi tentang aplikasi ilmu fisika terhadap ilmu bumi, termasuk didalamnya hidrologi, meteorologi, oceaografi, seismologi, dan vulkanologi.
- **Fisika Matematika**
Studi tentang interaksi ilmu matematika terhadap fenomena alam
- **Mekanika**
Studi tentang deskripsi dan sebab dari pergerakan sebuah benda
- **Fisika Molekuler**
Studi tentang interaksi sifat dan struktur molekul
- **Fisika Nuklir**
Studi tentang sifat dan struktur inti atom, reaksi nuklir, dan penerapannya
- **Optik**
Studi tentang rambatan cahaya
- **Fisika Plasma**
Studi tentang sifat dan struktur gas yang mengalami ionisasi

- **Fisika Kuantum**

Studi tentang sifat dari sebuah sistem kecil terhadap energi kuantum

- **Solid State Physics**

Studi tentang sifat fisik dari material padat.

- **Mekanika Statistika**

Studi tentang penerapan prinsip statistik untuk meperagakan sifat dan kebiasaan sistem yang terdiri dari beberapa partikel

- **Termodinamika**

Studi tentang panas dan transformasi energi dari benda satu terhadap benda lainnya.

II.2 Sejarah Perkembangan Ilmu Fisika

Kunci kemajuan peradaban ditentukan oleh sains dan seni. Kedua disiplin ilmu ini hampir bertolak belakang. Seni lebih mengembangkan sikap rasa, subyektifitas, dan estetika sedangkan sains mengedepankan rasio dan logika terukur. Sains berkaitan dengan teknologi. Perkembangan sains dan teknologi mempengaruhi empat bidang antara lain¹⁸ :

- Langsung ke bidang intelektual; meninggalkan kebiasaan-kebiasaan, ataupun kepercayaan-kepercayaan tradisional dan mengambil kebiasaan-kebiasaan baru.
- Pengaruh pada bidang industri dan kemampuan di medan perang
- Perubahan yang dibawakannya pada organisasi-organisasi sosial yang lambat laun merambat dalam kehidupan politik.
- Perubahan maupun benturan terhadap tata lingkungan

Fisika sebagai sains merupakan peletak perkembangan peradaban manusia. Sejarah perkembangan ilmu fisika dalam dua puluh abad terakhir menurut Hoyle dan *Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006* mengalami empat loncatan revolusi¹⁹, namun sebelum terjadi lompatan revolusi fisika terlebih dahulu mengalami peletakan fundamental fisika yaitu ilmu matematika dan astroomi. Menurut Auguste

¹⁸ Zen, M. T., Sains, Teknologi, dan Hari Depan Manusia, 1980

¹⁹ Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006, Physics : Introduction

Comte (Jeans, 1958)²⁰ disiplin ilmu sains mengalami perkembangan dengan urutan Matematika – Astronomi – Fisika – Kimia – Biologi – Sosiologi kemudian baru berdiversifikasi menjadi disiplin ilmu lain seperti Politik, hukum, dan lain-lain. Empat loncatan revolusi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut²¹ :

- **Matematika dan Astronomi (Era Issac Newton)**

Revolusi ini membuka era bagi penelitian mendalam mengenai gaya gravitasi dan penelitian mengenai dinamika gerakan benda-benda. Hasil – hasil yang dicapai dalam era ini adalah suatu pembuktian bahwa sifat alam dapat dideskripsikan secara jelas dan pasti. Hasil era ini dapat diramalkan secara teliti dan terukur mengenai gerak benda angkasa, peredaran bintang, munculnya komet dan fenomena astronomi lainnya. Era ini dirintis oleh Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus) dan Issac Newton dengan teori astronomi dan gravitasinya.

Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus) dilahirkan pada tahun 1473 di kota Torun di tepi sungai Vistula, Polandia. Sejak kecil Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus) tertarik dengan ilmu perbintangan. pada awalnya Mikolaj Kopernik belajar tentang astronomi di Universitas Cracow, meraih gelar dokter di Universitas Bologna, Ahli Hukum dari Universitas Padua kemudian memperoleh gelar Doktor Hukum Gerejani pada Universitas Ferrara. Copernicus sangat yakin terhadap teori *heliocentris*²² sehingga memberi inspirasi dan pijakan yang kuat dalam penyusunan buku *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Tentang Revolusi Bulatan Benda-benda Langit). Tahun 1533 Copernicus mengirim naskah pertama buku ini untuk dikirimkan kepada Paus di Vatikan untuk mengungkapkan konsep pemikirannya mengingat pada masa itu semua ilmu pengetahuan harus dikonfirmasi kepada kepausan untuk dikonsultasikan terlebih dahulu agar tidak menyebabkan kontroversi di masyarakat. Pengiriman naskah pemikirannya membuat Paus menyetujui tentang teori *heliocentris* dari Copernicus, hal ini membuat Copernicus yakin

²⁰ Hoyle, Fred, *Frontiers of Astronomy*. Mentor Book, New York, 1957

²¹ Hoyle, Fred, *Frontiers of Astronomy*. Mentor Book, New York, 1957

²² Heliocentris adalah teori yang menyatakan bahwa bumi dan benda langit lainnya berputar mengelilingi matahari. Pendapat ini dicetuskan pertama kali oleh filsuf Yunani Aristarchus dan Samos (abad 13 SM)

untuk menerbitkan dan pada akhirnya bukunya *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Tentang Revolusi Bulatan Benda-benda Langit) terbit pada tanggal 24 Mei 1543, tepat pada hari kematiannya. Pada buku *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Tentang Revolusi Bulatan Benda-benda Langit) Copernicus melakukan kesalahan dengan membuat perhitungan yang keliru mengenai skala peredaran planet mengelilingi matahari dan berpendapat bahwa orbit planet mengandung lingkaran-lingkaran. Penerbitan buku ini menjadikan Tycho Brahe membuat penelitian lebih lanjut dan terperinci dan Johannes Kepler pada akhirnya dapat merumuskan teori pada buku *De Revolutionibus Orbium Coelestium* secara matematis dan detail. Issac Newton pada beberapa tahun berikutnya berhasil merumuskan sebuah Hukum Gravitasi secara tepat sebagai penyempurna dasar fundamental dalam ilmu astronomi modern. Pada era ini Issac Newton menjadi tokoh utama dalam pengembangan ilmu fisika dan astronomi modern dengan teori Gravitasi, kesetimbangan aksi reaksi, dinamika gerak benda dan teori matematika *binomial*²³ dan kalkulus²⁴ Newton yang ditulis dalam buku *Principia Naturalis*.



Gambar 2.1

Copernican Model, Model pertama gambaran tata surya berdasarkan teori Heliocentris
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

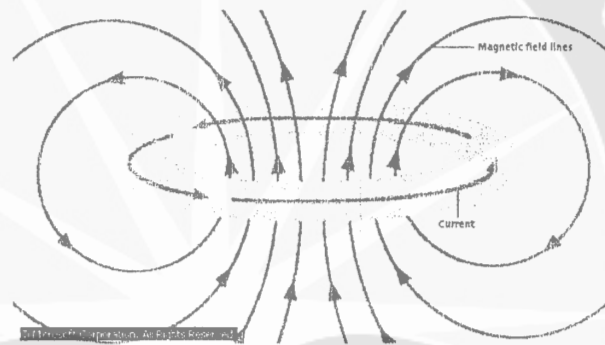
²³ Sebuah ekspresi di dalam matematika yang terdiri dari dua suku yang saling terhubung dengan tanda operasi plus dan minus; misalnya $a + b$, $x - y$

²⁴ Cabang matematika yang memungkinkan untuk memanipulasi besaran-besaran yang terus berubah. Ilmu ini digunakan oleh insinyur dan ilmuwan untuk memecahkan soal-soal yang menyangkut perubahan, misalnya arus dalam arus listrik, pertama kali diperkenalkan oleh Archimedes dan disempurnakan oleh Issac Newton.

- **Listrik dan Radiasi (Era Faraday dan Maxwell)**

Era ini melahirkan konsep elektromagnetik dan gelombang radiasi elektromagnetik yang merupakan pengembangan dari teori gravitasi mikro Newton dan dinamika gerak benda Newton. Tokoh utama dalam era ini adalah Michael Faraday dan James Clerk Maxwell. Era ini ditandai dengan kemajuan industri berkat penemuan listrik oleh Faraday dan mesin uap James Watt.

Michael Faraday dilahirkan di Newington, Inggris. Penemuan listrik oleh Michael Faraday terjadi pada tahun 1821, dua tahun sebelumnya Oersted telah menemukan bahwa jarum magnet kompas biasa dapat beringsut jika alur listrik dialirkan dalam kawat yang berdekatan. Gelombang listrik yang mempengaruhi beringsutnya jarum kompas.

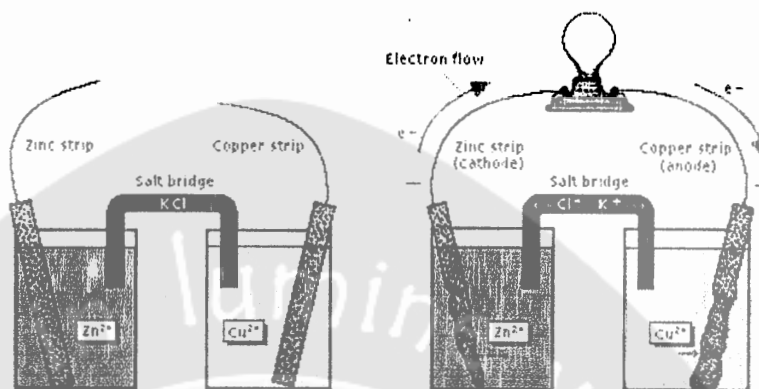


Gambar 2.2

Oersted Model, model pertama gambaran tentang gelombang elektromagnet
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

Penemuan Oersted ini membuat Faraday berkesimpulan bahwa jika magnet diletakkan, yang bergetak adalah kawat tersebut. Berdasarkan hipotesa itu, Faraday berhasil membuat skema yang jelas bahwa kawat akan terus menerus berputar berdekatan dengan magnet sepanjang arus listrik dialirkan ke kawat. Pada tahun 1831 Faraday mengungkapkan bahwa bilamana magnet dilalui sepanjang kawat, arus akan mengalir di kawat sedangkan magnet bergerak. Keadaan ini disebut pengaruh elektromagnetik dan selanjutnya disebut sebagai Hukum Faraday. Penemuan ini ditindaklanjuti oleh Faraday dengan membuat sebuah dinamo listrik pertama. Penemuannya dalam bidang elektromagnetik berlanjut pada penemuan bidang kimia dalam pembuatan baterai kimia yang dikenal

dengan elektrolisis sehingga sampai sekarang populer dengan istilah *anode*, *cathode*, *electrode*, *ion*.



Gambar 2.3

Oersted Model, model pertama gambaran tentang gelombang elektromagnet

Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

Percobaan Faraday tentang elektrolisis memberikan berbagai macam kemungkinan produk yang dihasilkan pada *anode* dan *katode*. Beberapa kemungkinan ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1

Contoh bagan Elektrolisis oleh Michael Faraday

Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

ELECTROLYTE	PRODUCT AT ANODE (+)	PRODUCT AT CATHODE (-)
Copper chloride solution with graphite electrodes	Chlorine gas	Copper
	$2\text{Cl}^-(\text{aq}) - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g})$	$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$
Sodium chloride solution with graphite electrodes	Chlorine	Hydrogen
	$2\text{Cl}^-(\text{aq}) - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g})$	$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
Copper sulphate solution with graphite electrodes	Water and oxygen	Copper
	$4\text{OH}^-(\text{aq}) - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$	$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$
Sulphuric acid with graphite electrodes	Water and oxygen	Hydrogen
	$4\text{OH}^-(\text{aq}) - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$	$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
Copper sulphate solution with copper electrodes	Copper anode 'dissolves' away	Copper
	$\text{Cu}(\text{s}) - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$

	This arrangement is used to electroplate articles with copper and to purify copper	
Molten sodium chloride with graphite anode and steel cathode	Chlorine gas	Sodium
	$2\text{Cl}^{-}(\text{l}) - 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g})$	$\text{Na}^{+}(\text{l}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Na}(\text{l})$
	This arrangement is used for the manufacture of sodium	
Aluminium oxide dissolved in molten cryolite (Na_3AlF_6) with graphite electrodes	Oxygen	Aluminium
	$2\text{O}^{2-}(\text{l}) - 4\text{e}^{-} \rightarrow \text{O}_2(\text{g})$	$\text{Al}^{3+}(\text{l}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Al}(\text{l})$
	This arrangement is used for the manufacture of aluminium	

Tokoh utama lain pada era listrik ini adalah James Clerk Maxwell yang dikenal dengan formulasi empat pernyataan yang menjelaskan hukum dasar listrik dan magnet.²⁵ Maxwell berpendapat bahwa banyak persamaan umum yang bisa terjadi dalam semua keadaan. Gerak pendulum pada bidang elektromagnetik merupakan aplikasi dari gelombang elektromagnetik yang bilamana sekali digerakan akan menyebar terus sampai angkasa luar. Dari pendapat tersebut mampu ditunjukkan bahwa kecepatan rambat gelombang elektromagnetik sekitar 300.000.000 m/s atau sama dengan kecepatan cahaya. Dari pernyataan ini Maxwell menyimpulkan bahwa gelombang cahaya itu sendiri terdiri dari gelombang elektromagnetik.

Cahaya yang tampak oleh mata bukan hanya radiasi elektromagnetik. Pendapat Maxwell menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik lain, berbeda dengan cahaya yang kasat mata dan gelombang tersebut mempunyai panjang gelombang (λ) dan frekuensi yang berbeda. Teori ini dipertegas oleh Heinrich Hertz yang sanggup menghasilkan dan menemui gelombang yang dimaksud oleh Maxwell. Penyaluran gelombang tanpa perantara disebut radiasi. Pengertian lain dari radiasi adalah satuan-satuan individu yang disebut kuantum. Jika terdapat kuantum dalam jumlah yang besar maka kuantum tersebut mengatur sendiri dalam pola gelombang. Setiap pola gelombang memiliki panjang gelombang, dan radiasi dilukiskan dalam panjang gelombang tersebut. Prinsip ini digunakan dalam radio,

²⁵ Hart, Seratus Tokoh paling berpengaruh sepanjang sejarah manusia, 1989, Maxwell, hal 169

televisi, dan dalam bidang radiologi. Beberapa pernyataan Maxwell tersebut disusun dengan sebutan *Maxwell Equations* yang dapat dituliskan sebagai berikut :

(Gauss's Law)
$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$
(No magnetic charge)
$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$
(Ampere's law)
$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I + \epsilon_0 \frac{d\Phi}{dt} \right)$
(Faraday's law)
$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$

Persamaan pertama adalah hukum Gauss yang menyatakan bahwa hubungan antara kuat medan magnet (E) berbanding lurus dengan luasan pada medan magnet (A). Persamaan kedua menyatakan bahwa medan magnet B yang melewati area (A) dimana terdapat dalam 1 rangkaian besarnya adalah nol (0). Persamaan ketiga adalah hukum Ampere yang menyatakan bahwa kuat arus listrik (I) adalah besarnya perubahan kuat medan magnet. Persamaan keempat menggambarkan bahwa kuat medan magnet adalah besarnya perubahan *fluks* magnetik.



Gambar 2.4
Michael Faraday, tokoh utama revolusi kedua fisika
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

- **Relativitas dan Kuantum (Era Max Planck, Werner Heisenberg dan Albert Einstein)**

Era ini melahirkan fisikawan kelas dunia seperti Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Rutherford, Erwin Schrödinger, P. A. M. Dirac, dan Werner Heisenberg. Perkembangan revolusi fisika ketiga bersamaan dengan ditemukannya *kuanta* oleh Maxwell. *Kuantum* yang ditemukan Maxwell tersebut berhasil diidentifikasi sifat-sifatnya oleh Max Planck. Max Planck menyatakan bahwa *radiant energy* tidaklah mengalir dalam arus yang kontinu, namun terdiri dari segmen-segmen yang disebut *quanta*. Planck pada awalnya tertarik dengan *radiasi kuantitas gelap*.²⁶ Teori Planck menyatakan bahwa *radiant energy* hanya keluar pada saat penggandaan yang tepat dari unit elementer yang disebut Planck dengan istilah *quantum*. Menurut teori Planck, ukuran *quantum* cahaya bergantung pada frekuensi cahaya; misalnya pada warna gelombang cahaya, dan juga berimbang dengan kuantitas fisik yang disebut dengan *Konstanta Planck*. Secara matematis dituliskan :

$$E = h f$$

E adalah *radiant energy* yang dikeluarkan oleh benda gelap sempurna, *f* adalah frekuensi gelombang cahaya sedangkan *h* adalah *Konstanta Planck* yang bernilai 6.626×10^{-34} joule-seconds. Dengan persamaan ini energi radiasi cahaya yang dihasilkan dapat dihitung. Sebagai contoh²⁷ :

Typical energy of quantum of X-rays = $6.6 \times 10^{-34} \times 10^{19} = 6.6 \times 10^{-15}$ J

Typical energy of quantum of ultraviolet = $6.6 \times 10^{-34} \times 10^{15} = 6.6 \times 10^{-19}$

Typical energy of quantum of infrared = $6.6 \times 10^{-34} \times 10^{13} = 6.6 \times 10^{-21}$

Tokoh utama lainnya dalam era ini adalah Albert Einstein. Einstein disebut sebagai ilmuwan hebat abad 20. Einstein ternama berkat teori relativitas yang dirumuskannya pada tahun 1915 dan kemudian lebih sering disebut *Hukum Gaya Berat Einstein*. Teori relativitas Einstein

²⁶ sebuah radiasi elektromagnetik dikeluarkan oleh objek gelap sempurna apabila dipanaskan. (suatu objek gelap sempurna dijelaskan sebagai sesuatu yang tidak memantulkan cahaya, tapi sepenuhnya menyerap semua cahaya yang jatuh di atasnya)

²⁷ Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

secara umum dapat dideskripsikan cerita ini.²⁸ “Bayangkanlah sebuah pesawat ruang angkasa, sebutlah namanya X meluncur laju menjauhi bumi dengan kecepatan 100.000 km/s. Kecepatan diukur oleh pengamat, baik yang berada di dalam pesawat X maupun di bumi, dan pengukuran mereka bersamaan. Sementara itu, sebuah pesawat ruang angkasa bernama Y meluncur bersamaan pada arah jurusan yang sama dengan pesawat X dengan kecepatan yang berlebih. Apabila pengamat di bumi mengukur kecepatan pesawat Y, mereka mengetahui bahwa pesawat itu menjauhi bumi pada kecepatan 180.000 km/s. Pengamat diatas pesawat ruang angkasa Y akan berkesimpulan yang sama. Nah, karena kedua pesawat ruang angkasa itu melaju pada arah bersamaan, akan tampak bahwa beda kecepatan antara kedua pesawat itu adalah 80.000 km/s dan pesawat yang lebih cepat tidak akan bergerak menjauhi pesawat yang lebih lambat pada kadar kecepatan ini. Tetapi, teori Einstein memperhitungkan, jika pengamatan dilakukan dari kedua pesawat ruang angkasa, mereka akan bersepakat bahwa jarak antara keduanya bertambah pada tingkat ukuran 100.000 km/s bukannya 80.000 km/s.” Hal ini dapat terjadi karena akibat sifat dasar alamiah ruang dan waktu yang sudah bisa diperhitungkan lewat rumus ihwal komposisi kecepatannya. Pengembangan teori relativitas Einstein adalah benda dan energi berada dalam arti berimbangan dan hubungan keduanya dituliskan secara matematis :

$$E = mc^2$$

E menunjukkan besarnya energi yang dihasilkan, m menunjukkan massa benda, dan c menunjukkan kecepatan cahaya yang besarnya $3 \cdot 10^8$. Dari rumusan ini dapat disimpulkan bahwa Energi yang sangat besar dapat timbul akibat perubahan massa yang sangat kecil. Rumus ini digunakan Amerika Serikat untuk membuat bom atom Hiroshima dan Nagasaki.

Einstein dalam perkembangan dunia sains juga mempersembahkan ilmu lain seperti efek-efek foto elektrik. Foto-foto elektrik tersebut membuktikan adanya *photon* sehingga timbul

²⁸ Hart, Seratus Tokoh paling berpengaruh sepanjang sejarah manusia, 1989, Einstein, hal 78

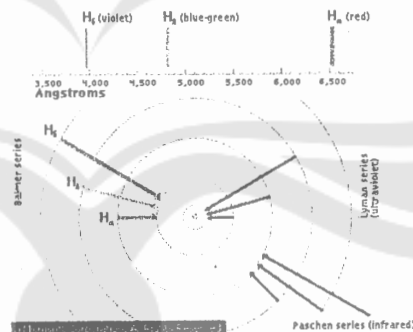
pernyataan bahwa energi elektron dikeluarkan tidak kontinyu namun dikeluarkan dalam jumlah tertentu.

Tokoh lainnya adalah pemenang Nobel Fisika 1932, Werner Heisenberg. Heisenberg memperoleh nobel berkat konsep Kuantum Mekanika. Kuantum mekanika adalah rumus *Prinsip Ketidakpastian*.²⁹ *Prinsip ketidakpastian menjamin bahwa fisika, dalam keadaan yang lumrah, tidak sanggup membuat sekadar dugaan statistik. Seorang ilmuwan yang menyelidiki radioaktivitas mungkin mampu menduga bahwa satu dari sterilium radium atom, dua juta akan mengeluarkan sinar gamma dalam waktu sehari sesudahnya.*



Gambar 2.5
Max Planck dan Albert Einstein, tokoh revolusi ke tiga fisika
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

- Atom dan Partikel (Era Anderson dan Fermi)

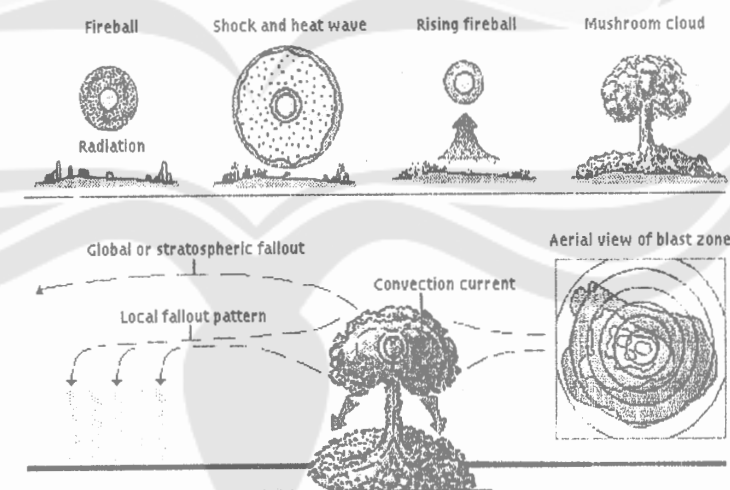


Gambar 2.6
Pemecahan energi oleh atom hidrogen
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

Revolusi fisika keempat dimulai pada tahun 1938 dengan ditemukannya suatu tipe materi baru yang disebut partikel oleh

²⁹ Hart, Seratus Tokoh paling berpengaruh sepanjang sejarah manusia, 1989, Heisenberg, hal 236

Anderson.³⁰ Era ini disebut era partikel. Jika pada era sebelumnya semua ilmuwan berpendapat bahwa materi terkecil adalah atom, maka pada era ini semua pendapat ilmiah tersebut terbantahkan dengan ditemukannya partikel. Ilmu tentang teori statistik lanjutan yang digunakan untuk mengamati pola gerak partikel disebut statistik kuantum. Teori penyatuan partikel dalam jumlah besar yang disebut oleh Enrico Fermi sebagai *fermions*.³¹ Penemuan teori oleh Fermi ini merupakan cikal bakal dibangunnya berbagai reaktor nuklir diseluruh dunia dan cikal bakal dibuatnya senjata pemusnah massal seperti bom atom. Pembuatan reaktor nuklir ini pada awalnya untuk membuat senjata pemusnah massal dalam perang dunia II. Penemuan bom atom pertama kali dimulai berkat laporan Lise Meitner, Otto Hahn, dan Fritz Strassmann bahwa penyerapan neutron kadangkala menyebabkan atom uranium menjadi terpisah-pisah. Berbekal laporan ini Fermi dan Fisikawan lain mulai menyelidiki fenomena tersebut. Dari hasil pengamatan ditemukan bahwa terpisahnya atom uranium dapat melepaskan neutron untuk memulai reaksi pemisahan selanjutnya. Hal ini kemudian disebut reaksi berantai. Pemisahan atom dari neutron sehingga menghasilkan energi yang besar yaitu reaksi Inti Fusi dan reaksi Fisi.



Gambar 2.7
Skema ledakan bom atom
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

³⁰ Zen, M. T., Sains, Teknologi, dan Hari Depan Manusia, 1980

³¹ Fermions adalah kesatuan dari tiga gugus bangunan yang kesemuanya terangkai menjadi satu. Elemen tersebut terdiri dari proton, electron, dan neutron.

II.3 Issac Newton sebagai Tonggak Ilmu Fisika Modern³²

Bagi saya,
Newton telah menjai seorang diantara sedikit jenius besar
yang telah membangun peradaban manusia
Richard Westfall, "Never at Rest"

Issac Newton merupakan tokoh utama dibalik peradaban manusia modern saat ini. Michael Hart dalam bukunya *Seratus Tokoh Paling Berpengaruh Sepanjang Masa* menempatkan Issac Newton pada posisi kedua setelah Nabi Muhammad SAW, diatas Nabi Isa dan Buddha yang berada di posisi ke tiga dan ke empat. Issac Newton memberikan pemikiran tentang konsep matematika dan fisika sehingga setelah ditemukannya teori Newton memberikan era baru dalam pola kehidupan manusia secara global. Sejarah kehidupan Issac Newton dapat disajikan lewat beberapa era kehidupannya dibawah ini yang meliputi masa kecil, masa kejayaan, dan masa tua.

- **Kelahiran Issac Newton dan Masa Sekolah**

Issac Newton dilahirkan tidak lama setelah tengah malam pada malam Natal, tepatnya tanggal 25 Desember 1642. Issac Newton lahir prematur sehingga dokter yang menanganinya sangat berharap Issac Newton dapat bertahan hidup pada musim dingin. Lincolnshire yang terletak di tengah pulau Britania adalah tempat kelahiran Issac Newton. Ayah Newton, seorang petani kaya meninggal tiga bulan sebelumnya sehingga ibunya yang bernama Hannah merawat sendirian Newton yang sakit-sakitan.

Kelahiran Issac Newton pada waktu itu bersamaan dengan pecahnya perang saudara yang terjadi di Inggris antara Parlemen dan pihak kerajaan. Kebanyakan warga distrik Lincolnshire merupakan pendukung parlemen, namun untuk keluarga Newton adalah pendukung setia kerajaan

Masa kecil Newton diwarnai dengan kesunyian dan kesendirian. Newton ditinggalkan ibunya yang mengikuti suami baru yang bernama Barnabas Smith. Newton ditinggalkan bersama neneknya di

³² Disarikan dari Michael Hart, *100 Tokoh Paling Berpengaruh*, Michael White, *Issac Newton*, dan Microsoft Encarta Eyclopedia Standard 2006, *Issac Newton, Sir*

Woolsthorpe dan mengalami trauma sehingga Newton menjadi pemuda yang pemurung dan pemarah.

Kepribadian Newton yang pemurung dan pemarah membuat tidak mempunyai teman. Newton sering mengunci diri di kamar untuk membuat model seperti layang-layang, jam matahari, atau alat-alat mekanik sederhana lain. Kemampuan yang menonjol dalam bidang fisika dan membuat model ternyata tidak membuat keberadaan Newton menonjol di sekolah. Kepribadian Newton yang pendiam berubah total setelah ia berhasil memenangkan pertarungan dengan siswa lain yang lebih kuat dan besar, dengan kemenangan itu, Newton menjadi pribadi yang percaya diri dan berusaha lebih keras dalam memecahkan persoalan fisika.

Kecemerlangan Issac Newton dalam bidang fisika dan matematika membuat kepala sekolah Grantham, Henry Stokes dan pamannya memutuskan untuk mendaftarkan di Universitas Cambridge dalam usia sembilan belas tahun. Newton, untuk masuk ke Universitas Cambridge harus melalui program *subsizar*. *Subsizar* adalah program bagi mahasiswa Cambridge yang tidak mampu untuk membayar kuliah agar mengganti biaya kuliah dengan membersihkan ruangan, melayani jalannya kuliah, dan bersedia melayani kebutuhan dosen.

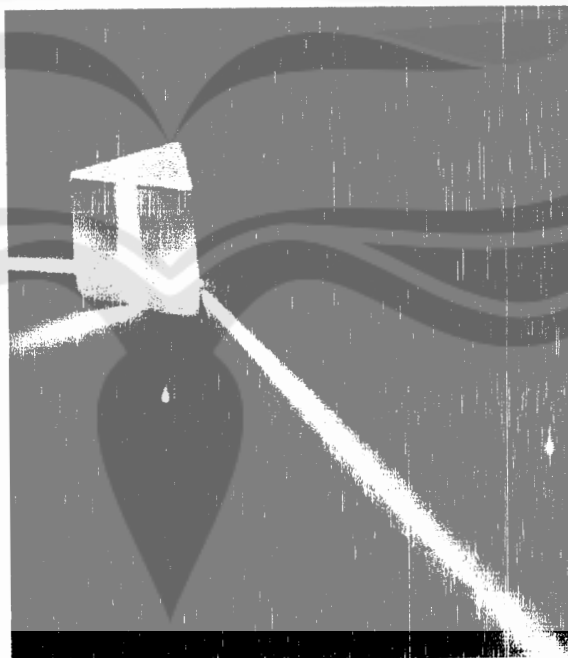
Keberadaan Newton di kota Cambridge bagi mahasiswa lain ternyata tidak disukai mahasiswa lain karena Newton seorang yang penyendiri dan tidak menyukai minuman keras. Newton hanya mempunyai satu teman yang bernama John Wickins. Kecerdasan Newton mulai tampak beberapa bulan setelah menjadi mahasiswa Cambridge dan setelah Newton menciptakan cabang ilmu matematika yang dinamakan *integral calculus*.

- **The Spectrum**

Penemuan newton yang pertama setelah *integral calculus* adalah optik. Temuan ini lebih merupakan sebuah keadaan yang tidak terduga. Newton dan Wickins berjalan-jalan pada sebuah pekan raya yang diadakan di Cambridge. Dalam perjalanannya Newton menemukan sebuah prisma yang berkilau ketika terkena sinar matahari sore dan kemudian membelinya. Sesampai di rumah Newton menutup tirai-tirai pada semua jendela kamar terkecuali

sebuah jendela yang menghadap sinar matahari. Newton memasang selebar karton yang sudah dilubangi sehingga terbentuk celah kecil pada jendela yang terbuka. Seberkas cahaya membentuk garis lintasan cahaya dan menempatkan prisma tersebut. Prisma yang dilewati lintasan cahaya ternyata mengeluarkan sinar dengan tujuh warna yang kemudian disebutnya *rainbow* dan pada akhirnya diberi nama *spektrum*.

Penemuan Newton tentang *spektrum* membuat Newton merencanakan eksplorasi lanjutan. Newton membeli prisma. Hal yang dilakukan adalah mengulangi percobaan pertama ditambah dengan menghalangi se-nua pita spektrum tersebut kecuali warna merah. Warna merah yang bebas tersebut dilewatkan prisma lain yang berada dalam satu lintasan cahaya. Hal yang terjadi adalah warna merah yang keluar dari prisma kedua, bukan tujuh warna yang diharapkan. Newton berkesimpulan bahwa *cahaya matahari mengandung semua unsur dalam spektrum yang masing-masing berlainan antara lain ungu, nila, biru, hijau, kuning, jingga, dan merah. Bila cahaya biru yang masuk ke dalam prisma, maka cahaya biru pula yang akan keluar dari prisma.*



Gambar 2.8
Percobaan Newton tentang *Spektrum*
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

Newton membuktikan bahwa prisma yang pada waktu itu hanyalah mainan anak-anak dapat membuktikan dan mengubah pola pikir dunia terhadap cahaya. Penemuan Newton tentang *spectrum* ini yang akan memberi inspirasi kepada dunia tentang pembuatan teleskop Hubble. Orang jenius seperti Newton dibutuhkan untuk menyelidiki mengapa sebuah pelangi muncul ketika cahaya putih dipancarkan melalui prisma dan kemudian memeriksa apakah tiap pita yang dihasilkan dapat diuraikan lebih lanjut tanpa batas. Newton mencatat semua temuannya dengan detail seperti mengukur lebar tiap pita cahaya, mengubah jarak prisma terhadap dinding, dan mencoba segala kemungkinan yang mungkin terjadi. Newton akan menterjemahkan kedalam bahasa matematika bila data-data yang diinginkan Newton sudah dapat diperoleh sehingga baru dapat diperoleh uraian teori untuk menerangkan semua yang terjadi.

Newton melanjutkan eksplorasi penelitiannya tentang spektrum setelah berhasil membuktikan bahwa cahaya putih terbentuk dari tujuh warna. Newton mencoba membuktikan apakah tujuh elemen cahaya tersebut dapat bersatu kembali untuk membentuk cahaya putih. Newton memasang selebar karton lagi dan melewati seberkas cahaya melalui celah sempit. Berkas cahaya tersebut ditangkap oleh prisma seperti percobaan pertama, namun kemudian Newton tidak menghalangi cahaya merah dan membiarkan semua pita cahaya menembus prisma pertama. Prisma kedua dipasang agar dapat menerima tujuh berkas cahaya yang keluar dari prisma pertama dan hasilnya sinar putih kembali terbentuk ketika berkas cahaya melewati prisma kedua.

Newton berhasil menghasilkan cabang ilmu baru berkat penemuannya tentang spektrum. Ilmu tersebut disebut *spektroskopi*. Spektroskopi adalah ilmu yang mempelajari tentang cahaya yang dipancarkan oleh nyala api ketika sebuah benda mengalami pembakaran. Bilamana diperhatikan, nyala api tersusun atas lidah api yang berwarna merah sampai ungu, hal ini disebabkan bahwa material yang berlainan mengalami pembakaran, masing-masing unsur material tersebut menghasilkan cahaya dengan unsur-unsur spektrum yang berbeda.

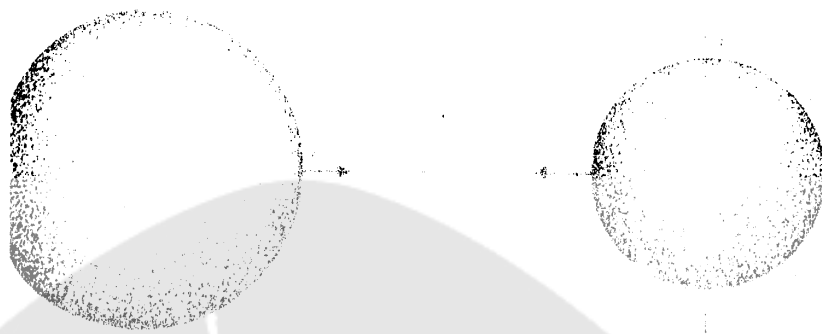
- **The Gravitation**

Newton pernah berkelakar tentang gagasan bahwa beberapa gaya dalam alam bekerja dari jarak jauh ketika masih tinggal di kampus Cambridge. Gagasan bahwa sebuah benda dapat mempengaruhi benda lain walaupun keduanya tidak terhubung dengan kawat tidak dianggap wajar oleh ilmuwan ternama pada saat itu. Gagasan tersebut semakin kuat dengan penemuan sebelumnya oleh Copernicus yang disimpulkan dalam bukunya *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Tentang Revolusi Bulatan Benda-benda Langit) yang terbit tahun 1543.

"....didalam tahun yang sama (1665) saya mulai berpikir mengenai gravitasi yang diteruskan sampai ke bulatan bulan....dan dengan demikian telah membandingkan gaya yang diperlukan untuk memegang bulan didalam bulatannya dengan gaya gravitasi pada permukaan bumi, dan telah hampir menemukan jawaban kepada persoalan tersebut."

Issac Newton

Penemuan awal tentang gravitasi dimulai ketika Newton teringat sebuah permainan di sekolahnya. Permainan tersebut adalah memutar ember yang penuh berisi air dengan kencang. Pemenangnya adalah orang yang paling sedikit menumpahkan air dalam ember. Newton berhipotesa bahwa air tidak akan tumpah dari ember jika kecepatan putar tinggi. Kenangan akan permainan ini membuat Newton menduga ada gaya lain yang bekerja dengan efek mendorong pada planet yang sama besarnya dengan gaya tarik matahari. Gaya ini serupa dengan gaya yang menahan air agar tidak tumpah dari ember sehingga Newton menyebutnya dengan gaya *sentrifugal* dan hanya ada pada benda yang diputar terhadap benda lain dengan kecepatan tertentu. Benda yang bergerak secara terus-menerus berusaha melepaskan diri dari gaya gravitasi benda yang diputarinya.



Gambar 2.9
Gaya Gravitasi

Sumber : Issac Newton, Never at Rest

Gagasan awal Newton kemudian ditransformasikan kedalam bahasa matematika kalkulus yang berhasil diciptakannya. Newton menguraikan bahwa jika sebuah planet dua kali lebih jauh dari matahari dibanding yang lain maka gaya gravitasi yang dirasakan hanya seperempat kalinya dan jika sebuah planet tiga kali lebih jauh dari matahari dibanding yang lain maka gaya gravitasi yang dirasakan hanya sepersembilan kalinya. Newton menyadari ada yang tersirat dari hasil teori gravitasinya ketika melihat angka-angka yang keluar dari hasil perhitungannya. Ternyata dugaan Newton benar, gaya gravitasi mengikuti *hukum kuadrat terbalik* (*inverse square law*). Rumusan Newton tentang gravitasi secara matematis dapat ditulis :

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

- F = Gaya gravitasi yang terjadi
- m₁ = Massa benda 1
- m₂ = Massa benda 2
- r = jarak benda 1 terhadap benda 2
- G = Konstanta Gravitasi 6.6720 10⁻¹¹ Nm² / kg²

Rumus Newton tentang gravitasi merupakan jawaban yang paling realistis dari persoalan yang menjadi pokok penyelidikan zaman Yunani antara lain :³³

- Kecenderungan benda-benda seperti batu untuk jatuh ke bumi ketika dilepaskan dari ketinggian.
- Gerakan planet-planet, termasuk matahari dan bulan.

Penemuan teori gravitasi membuat nama Issac Newton menjadi terkenal. Issac Newton dianugerahi kehormatan untuk menjadi anggota *Fellow of Trinity College*, sebuah perkumpulan elit para ilmuwan di Universitas Cambridge dalam usia dua puluh lima tahun, anggota termuda sepanjang sejarah. Penganugerahan Issac Newton sebagai anggota termuda *Fellow of Trinity College* membuat status sosial Newton menjadi ikut terangkat dan persahabatan dengan dosen matematika Issac Barrow juga semakin akrab.

Pada tahun 1668, Mercator menerbitkan sebuah buku matematika yang berjudul *Logarithmotechnia*. Newton menerima buku tersebut dan membacanya beberapa minggu kemudian. Issac Newton menjadi panik setelah membaca buku tersebut. Buku *Logarithmotechnia* yang ditulis oleh Mercator tersebut memuat tentang ilmu matematika yang telah diciptakan Newton beberapa tahun yang lalu. Pemecahan masalah yang diambil oleh Newton adalah menerbitkan naskah asli secara anonim dan mengedarkannya kepada beberapa ilmuwan yang berpengaruh di dataran Eropa dengan bantuan temannya, Issac Barrow. Newton dalam penulisan naskah aslinya menerangkan gagasannya dalam bentuk rumusan yang jauh lebih rinci dibandingkan dengan Mercator. Dalam waktu singkat seluruh dataran Eropa mengakui bahwa Newton yang pertama kali mengembangkan cabang matematika yang baru tersebut.

Pengakuan dataran Eropa atas karya matematika membuat Issac Newton dipromosikan oleh Issac Barrow sebagai pengantinya di Universitas Cambridge dengan jabatan dosen matematika. Newton sangat gembira dengan jabatan barunya karena dengan jabatan barunya Newton akan diperhitungkan dan tidak ragu-ragu lagi dalam menerbitkan hasil penelitiannya. Pengangkatan Newton sebagai

³³ Halliday, David dan Robert Resnick, Fisika, terj. Jakarta : Erlangga, 1989 hal. 495

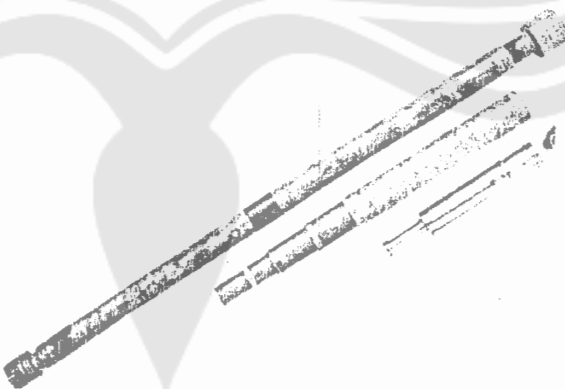
dosen di Universitas Cambridge membuatnya harus memberi kuliah, sedangkan Newton bukan pembicara yang baik. Sejarah mencatat bahwa Newton pernah berceramah tanpa dihadiri oleh seorang mahasiswa pun.

- **The Reflection Telescope**

Teleskop pertama kali ditemukan pada tahun 1608, namun berhasil disempurnakan oleh ilmuwan asal Italia, Galileo Galilei sehingga teleskop menjadi sebuah instrumen penyelidikan angkasa yang populer.

Galileo mengetahui bahwa prinsip kerja sebuah teleskop adalah cahaya membentuk lintasan berupa garis lurus dan apabila cahaya dari sebuah benda yang jauh tiba di permukaan sebuah lensa cahaya tersebut akan dibelokkan oleh lensa. Sebagai contoh, jika seorang pengamat menempatkan matanya di belakang lensa, cahaya yang tiba pada mata seolah berasal dari benda yang berukuran jauh lebih besar. Instrumen ini disebut *refraction telescope* (teleskop refraksi) oleh Galileo.

Teleskop refraksi terdiri dari dua buah lensa yang ditempatkan di ujung sebuah tabung. Lensa yang menghadap sasaran disebut lensa objektif sedangkan lensa yang menghadap mata disebut lensa okuler. Cahaya difokuskan oleh lensa objektif ke dalam tabung lalu diperbesar oleh lensa okuler. Teleskop refraksi ini menyebar dengan cepat di seluruh Eropa dan dipakai semua astronom untuk mengamati planet-planet dalam sistem tata surya.



Gambar 2.10
Refraction Telescope rancangan Galileo
Sumber : Microsoft Encarta Encyclopedia Standard 2006

Newton memperkenalkan teleskop ciptaannya pada tahun 1670. teleskop ciptaan Newton adalah teleskop baru yang sangat berbeda dengan teleskop ciptaan Galileo namun lebih kuat perbesarannya. Teleskop ini disebut teleskop refleksi (*reflection telescope*). Teleskop ini terdiri dari sebuah cermin cekung besar yang ditempatkan di salah satu ujung tabung besar. Cara kerja teleskop tersebut adalah jika cahaya dari sebuah benda jauh tiba di permukaan cermin cekung, cahaya akan dipantulkan ke sebuah titik didepannya. Cermin cekung tersebut menghasilkan efek yang sama dengan lensa okuler dalam teleskop Galileo. Cermin cekung menyebabkan cahaya seolah berasal dari sebuah benda yang jauh lebih besar dan jika cahaya tersebut dipantulkan ke sebuah lensa okuler, maka akan tercipta pencitraan benda yang lebih besar. Teleskop refleksi ciptaan Newton dibuat oleh tangan Newton sendiri tanpa bantuan orang lain.



Gambar 2.11
Reflection Telescope rancangan Newton
Sumber : Issac Newton, Never at Rest

Penemuan teleskop refleksi ini ternyata membuat seluruh dataran Eropa gempar. Issac Newton kemudian diangkat menjadi anggota *Royal Society*, sebuah perkumpulan ilmiah para ilmuwan terbaik. *Royal Society* adalah perkumpulan kecil para ilmuwan senior yang dibentuk pada tahun 1660 yang beranggotakan ilmuwan besar seperti Robert Boyle, seorang pakar kimia terbaik di Inggris, Christopher Wren, ilmuwan dan arsitek Gereja Chatedral St. Paulus di London, dan Robert Hooke, ilmuwan yang kelak akan menjadi musuh

besarnya. Setelah bergabung dengan *Royal Society*, Newton lebih memfokuskan penelitiannya di bidang *alchemy*, cikal bakal ilmu kimia.

- ***Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, Puncak Prestasi Ilmiah***

Karya besar Issac Newton

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica

yang ditulis dalam waktu delapan belas bulan, diterbitkan pada tahun 1686. Memuat seluruh karya penelitian mengenai mekanika dianggap sebagai karya ilmiah paling besar yang pernah dihasilkan manusia.

James Carvel

Famous Names in Engineering

Buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* dicetak pertama kali di *Arundel House*, sekretariat *Royal Society* tanggal 28 April 1686. Newton beranggapan bahwa sebenarnya buku ini sebagai pukulan terakhir bagi ilmuwan sekaligus musuh besarnya, Robert Hooke. Penerbitan buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* tidak lepas dari Edmund Halley, seorang teman yang paling dipercaya Newton. Edmund Halley telah berhasil membujuk Newton untuk menerbitkan bukunya karena Newton selalu merasa belum siap untuk menerbitkan karyanya.

"Newton.....terlalu mendambakan hasil yang paling sempurna, karena itu hampir tidak pernah yakin bahwa karyanya siap untuk diterbitkan."

Richard Westfall, "Never at Rest"

Kehadiran buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* adalah sebuah wahyu bagi ilmuwan di *Royal Society*. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* menerangkan gagasan-gagasan Newton tentang gravitasi, gaya setrifugal, serta hubungan antara keduanya. Isi buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* yang terpenting adalah uraian teori yang kemudian disebut Tiga Hukum Gerak Newton.

Ada tiga hukum gerak yang diungkapkan dalam *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Hukum gerak pertama membahas

konsep kelembaman atau inersia yang mempunyai penerapan yang paling luas. Kelembaman atau inersia adalah istilah yang diberikan untuk kecenderungan semua benda untuk menentang perubahan atau gerakan. Sebuah gaya harus dikerahkan untuk mengatasi kelembamannya agar sebuah benda dapat bergerak. Inersia dapat diibaratkan kemalasan seseorang. Orang yang malas harus mengatasi kemalasannya agar dapat mengerjakan sesuatu. Ide inersia ini diadopsi dari skema Galileo yang berbunyi³⁴ :

"Setiap benda akan tetap berada pada keadaan diam atau gerak lurus beraturan, kecuali jika benda itu dipaksa untuk mengubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang dikerjakan padanya"

Hukum kedua Newton menyatakan bahwa akselerasi benda adalah sama dengan kekuatan netto dibagi dengan kuantitas benda. Pengertian gaya yang paling primitif adalah dorongan atau tarikan yang dilakukan oleh otot-otot kita. Semakin besar gaya yang diciptakan maka semakin besar pula perubahan kecepatannya. Secara matematis dapat ditulis :

$$\Sigma F = m \cdot a$$

Persamaan ini berlaku untuk semua arah gaya. Jika $\Sigma F = 0$, maka gaya resultan pada benda sama dengan nol, sehingga $a = 0$, berarti benda dalam keadaan diam atau terus bergerak dengan kecepatan tetap. Ilmu ini menjadi cabang dalam ilmu mekanika yang disebut dengan *statika*.

Leucippus, seorang filsuf Yunani seribu tahun sebelum Newton telah memperkenalkan teori sebab akibat.

"Tak ada sesuatu yang terjadi tanpa sebab, segala sesuatu pasti mempunyai sebab atau keharusan."

Leucippus

Pernyataan diatas diupayakan oleh Newton menerangkan gagasan bahwa jika salah satu gaya yang terjadi pada interaksi antara dua benda tersebut gaya aksi, maka gaya lainnya disebut gaya

³⁴ Sutrisno, Fisika Dasar, Bandung : ITB, 1982 hal. 33

reaksi. Gaya aksi dan gaya reaksi adalah gaya yang selalu timbul bersama-sama. Secara matematis dapat ditulis :

$$F \text{ aksi} = - F \text{ reaksi}$$

Tanda minus (-) bukan untuk menjelaskan nilai gaya namun untuk memberikan penegasan arah gaya. Nilai sebuah gaya adalah absolut.

Penerbitan *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* telah merubah cara pandang dunia terhadap ilmu dan mendorong lahirnya penemuan-penemuan mutakhir lainnya seperti mesin uap oleh James Watt, kapal uap oleh Isambard Kingdom Burrell dan memacu era berikutnya yaitu revolusi industri.

- **The Opticks**

Buku ini merupakan buku yang tertunda untuk diterbitkan. *Opticks* adalah buah pikiran selama tiga puluh tahun sebelumnya, tepatnya semasa Newton masih berstatus sebagai mahasiswa di Cambridge. *Opticks* ditulis setelah penerbitan buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* dan setelah Newton menjabat sebagai ketua *Royal Society*. Keberadaan buku *Opticks* ini membuat Newton diakui sebagai ilmuwan paling besar dalam sejarah manusia.

- **Masa Tua Newton**

Masa tua Newton diisi dengan kegiatan penelitian tentang *alchemy*, ketua perhimpunan *Royal Society* dan sebagai Kepala Percetakan Keuangan Kerajaan Inggris.

Newton meninggal pada tanggal 20 Maret 1727 dalam usia delapan puluh empat tahun, beberapa bulan setelah menderita sakit. Jenazahnya dikuburkan di pemakaman raja-raja, ratu-ratu, dan bangsawan tinggi Inggris di Westminster Abbey, London pada 4 April 1727. Seminggu sebelum dimakamkan, jenazah Issac Newton disemayamkan di Westminster Abbey dan peti jenazah pada upacara pemakamannya dikawal oleh dua orang *duke*, tiga orang *earl*, dan oleh *Lord Chancellor* (penasehat Ratu)

*Newton sangat beruntung,
Dengan masa kanak-kanak yang bahagia
dalam ilmu pengetahuan.
Siapa pun yang memiliki waktu dan ketenangan,
Dengan membaca buku ini dapat merasakan peristiwa-peristiwa
yang dialami Newton yang hebat pada masa mudanya.
Alam, baginya merupakan sebuah buku yang huruf-hurufnya
dapat dibaca dengan mudah*
Albert Einstein
Kata pengantar pada buku *Opticks*

II.4 Pengertian *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika

- Pusat adalah pokok pangkal atau yang jadi pumpanan.³⁵
- Eksplorasi adalah penjelajahan dengan tujuan untuk memperoleh pengetahuan lebih banyak.³⁶

Berdasarkan beberapa pengertian diatas dapat disimpulkan bahwa pengertian *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika adalah sebuah pusat tempat untuk melakukan penjelajahan terhadap ilmu fisika dengan tujuan untuk memperoleh ilmu pengetahuan lebih banyak.

Land of Science : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika cakupannya lebih luas daripada laboratorium. *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika dalam pelayanannya meliputi kegiatan laboratorium namun juga ada kegiatan edukasi dan pendukungnya seperti mess peneliti, tempat dokumentasi, dan pemaparan terhadap publik, serta penyediaan tempat pengadaan Pekan Ilmiah Nasional, serta merupakan perwakilan dari Kementerian Riset dan Teknologi dalam pengembangan ilmu fisika. Kegiatan yang terwadahi dalam *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika dilakukan secara berkelanjutan atau 24 jam non stop, sehingga memberikan surga bagi para peneliti fisika. *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika juga menjalin kemitraan terhadap perguruan tinggi, Dinas Pendidikan dan Pengajaran serta pihak (perusahaan) swasta untuk membantu pengadaan riset fisika.

³⁵ Kamus Besar Bahasa Indonesia, Tim Penyusun Kamus Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa, Jakarta : Balai Pustaka, 1988, hal 712

³⁶ Kamus Besar Bahasa Indonesia, Tim Penyusun Kamus Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa, Jakarta : Balai Pustaka, 1988, hal 422

Land of Science: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika terdiri atas laboratorium-laboratorium lanjut fisika dari berbagai cabang ilmu fisika, pusat studi internal non kurikulum, dan laboratorium luar ruangan.

II.5 Klasifikasi *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai sebuah Pusat Riset dan Laboratorium

Berdasarkan skala pelayanannya terbagi atas³⁷ :

- *Teaching laboratories*

Tipe ini dalam pelayanannya menggunakan prosedur dan teknik pelayanannya berdasarkan pelatihan dan demonstrasi dimana ada seorang pengajar memperagakan sebuah materi kemudian diperagakan kembali oleh murid-murid. Jenis ini

- *Routine laboratories*

Tipe ini dalam pelayanannya terjadi aktivitas yang sama dalam waktu yang lama. Contoh untuk tipe ini adalah instalasi laboratorium patologi dalam sebuah rumah sakit.

- *Research laboratories*

Tipe ini merupakan laboratorium yang digunakan terus menerus namun berubah-ubah aktivitas dan kegiatan yang terjadi didalamnya, tergantung pada materi apayang sedang diteliti.

Berdasarkan pembagian klasifikasi di atas, *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika termasuk dalam klasifikasi *research laboratories*. Berdasarkan penyelenggara kegiatan penelitian, pusat penelitian terbagi atas³⁸ :

- *Private-sector laboratories*

Tipe ini diselenggarakan oleh perusahaan. Penelitian yang dilakukan oleh sebuah perusahaan bertujuan untuk membuat penemuan yang inovatif kemudian hasil penelitian tersebut diterapkan pada pasar untuk memperoleh keuntungan dari produk yang dihasilkan. Riset yang dilakukan oleh sebuah perusahaan menjadi sebuah keharusan dewasa ini, hal ini disebabkan oleh pasar yang semakin kompetitif (*the competitive marketplace*) dan permintaan dari dunia internasional. Contoh *private-sector*

³⁷ Hain, Walter. *Laboratories : a Briefing and Design Guide.*, E & FN Spon, London : 1995

³⁸ Watch, Daniel D., *Building Type Basic for Research Laboratories*, Canada : John Wiley & Sons, 2001

laboratories adalah *Bayer Research Laboratories Ltd.* di kota Leverkusen, dan *Glaxo Group Research Ltd.* di Stevenage, Inggris.

- *Government laboratories*

Pusat riset ini diselenggarakan dan didanai oleh pemerintah, baik melalui Kementerian Riset dan Teknologi, Departemen Pertahanan dan Keamanan, Departemen Perindustrian, atau Departemen Pendidikan dan Pengajaran, serta oleh sponsor-sponsor yang ditunjuk oleh pemerintah. Pusat riset ini melakukan kegiatan penelitian secara terus menerus tanpa henti. Hal ini disebabkan materi penelitian sudah terjadwal oleh pemerintah terutama dari Kementerian Riset dan Teknologi, serta untuk riset pada persiapan olimpiade tingkat internasional.

- *Academic laboratories*

Laboratorium akademik terdapat pada lembaga akademik seperti SMU atau universitas. Lingkup pelayanannya meliputi *research labs* dan *teaching labs*. Tipe ini mempunyai modul yaitu 1600 NSF (*Net Square Footage*) dengan daya tampung 24 siswa.

Berdasarkan pembagian klasifikasi diatas, *Land of Science: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika* termasuk dalam klasifikasi *government laboratories*.

II.6 Karakteristik Land of Science : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika

Keberadaan *Land of Science : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika* mempunyai karakteristik kegiatan dibandingkan dengan tipologi bangunan lain. Karakteristik kegiatan tersebut antara lain :

II.6.1 Kegiatan eksplorasi penelitian dilakukan dengan alat peraga

Kegiatan penelitian harus dilakukan dengan alat peraga atau model atau benda uji. Alat peraga yang digunakan dapat berskala ataupun dengan sistem simulasi. Alat peraga berskala dibuat dengan skala 1 : 100 sampai dengan studi model 1 : 1. Alat peraga yang berupa simulasi dapat berupa simulasi komputer sampai dengan simulasi alat peraga.

Alat peraga atau benda uji disimpan di tempat yang sesuai dengan karakteristik bahan benda uji. Benda uji dapat bersifat sekali

pakai dan dapat digunakan terus-menerus sesuai dengan batasan yang diijinkan.

II.6.2 Kegiatan eksplorasi penelitian bersifat spesifik

Kegiatan penelitian dilakukan dalam koridor satu bidang ilmu sehingga dihasilkan penelitian yang spesifik. Penelitian yang spesifik menuntut ketersediaan ruang yang spesifik dan hanya dapat digunakan satu objek penelitian saja. Objek penelitian didapat dari perguruan tinggi, instansi pemerintah, militer, dan dari penelitian independen.

II.6.3 Kegiatan eksplorasi penelitian dilakukan secara berkelanjutan

Kegiatan penelitian adalah proyek jangka menengah dan jangka panjang dan dilakukan selama 1 hari 24 jam secara terus-menerus. Kegiatan penelitian dilakukan dalam waktu yang berkelanjutan dan dalam waktu yang tidak rutin dalam arti selama 24 jam terjadi intensitas kegiatan yang bervariasi, sehingga bangunan dapat memwadah (Standby) segala aktivitas praktikan dan fisikawan selama 24 jam. Hal ini memberikan konsekuensi logis antara lain :

- Dana yang besar untuk membiayai proses penelitian yang memakan waktu yang lama.
- Diperlukan tenaga pendukung yang selalu siaga dalam 24 jam dan dari berbagai latar belakang ilmu.
- Diperlukan pembagian kerja terhadap tenaga pendukung serta pembagian kerja (*job description*) yang jelas dan sesuai dengan regulasi.
- Peralatan canggih yang didukung dengan tenaga perawatan yang memadai
- Sumber energi cadangan seperti generator dan *solar cell* sebagai cadangan akan kebutuhan energi yang besar untuk menjalankan instrumen penelitian dan alat peraga.

II.6.4 Kegiatan eksplorasi penelitian dilaksanakan didalam gedung dan diujicobakan di luar gedung

Semua kegiatan penelitian dilakukan didalam gedung. Gedung harus memenuhi standar-standar besaran ruangan sehingga penelitian dapat terwadahi dengan baik. Ujicoba penelitiandapat

diadakan diluar gedung, pertimbangan yang diambil adalah dengan mempertimbangkan dimensi alat peraga yang besar harus dilakukan diluar gedung, sedangkan untuk benda uji yang berdimensi kecil dan beresiko ringan dapat dilakukan didalam ruangan. Benda uji yang berupa simulasi komputasional dilakukan didalam laboratorium fisika digital.

II.6.5 Kegiatan eksplorasi penelitian dilakukan oleh berbagai jenis tenaga terlatih dan didukung dengan peralatan canggih.

Tuntutan hasil penelitian yang valid dan memerlukan tingkat akurasi yang tinggi membawa konsekuensi akan pengadaan peralatan yang canggih. Peralatan canggih harus didukung dengan keberadaan staff pemeliharaan dan perawatan sehingga instrumen penelitian dapat awet dan digunakan dalam jangka waktu yang lama.

Peralatan canggih memerlukan tempat penyimpanan khusus terutama yang menggunakan energi listrik harus dihindarkan dari tempat yang lembab.

II.6.6 Kegiatan eksplorasi penelitian diawasi oleh lembaga-lembaga negara yang berwenang.

Kegiatan penelitian harus diawasi oleh lembaga-lembaga yang ditunjuk oleh pemerintah pusat. Lembaga –lembaga negara yang berwenang bertujuan agar hasil penelitian yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan dan tidak disalah gunakan. Lembaga-lembaga yang berwenang mengawasi segala aktivitas di *Land of Science : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika* ini terdiri dari :

- *Pemerintah Pusat Negara Kesatuan Republik Indonesia*

Bertugas dalam mengatur segala regulasi dan kontrol pusat penelitian secara kelembagaan

- *Kementrian Riset dan Teknologi*

Bertugas dalam mengatur segala regulasi dan kontrol pusat penelitian secara kelembagaan

- *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)*

Bertugas dalam mengatur segala regulasi dan kontrol pusat penelitian secara kelembagaan dan sebagai mitra kelembagaan

- *Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)*

Bertugas dalam kontrol pusat penelitian secara kelembagaan dan mengawasi aktivitas penelitian dan berhubungan langsung dengan pemerintah pusat

- *Departemen Pertahanan dan Keamanan Indonesia*

Bertugas dalam kontrol pusat penelitian secara kelembagaan dan mengawasi aktivitas penelitian dan berhubungan langsung dengan pemerintah pusat

- *Departemen Pendidikan dan Pengajaran*

Bertugas dalam mengatur segala regulasi dan kontrol pusat penelitian secara kelembagaan dan sebagai mitra kelembagaan, pengadaan kegiatan ilmiah serta mengatur pengadaan sponsor penelitian.

- *Departemen Kesehatan*

Bertugas dalam mengatur segala regulasi dan kontrol pusat penelitian secara kelembagaan dan sebagai mitra kelembagaan serta pelayanan kesehatan bagi para peneliti, praktikan, dan fisikawan.

- *Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi*

Bertugas dalam kontrol hasil penelitian dan hubungan terhadap perguruan tinggi terkait serta publikasi hasil penelitian terhadap forum.

- *Perguruan Tinggi*

Bertugas dalam kontrol hasil penelitian dan pengadaan tenaga peneliti, praktikan, dan fisikawan serta publikasi hasil penelitian terhadap forum.

II.7 Prinsip-prinsip perancangan *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika

Land of Science : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika dalam proses pengadaannya harus memenuhi beberapa persyaratan sehingga keberadaannya menjadi efektif dan maksimal. Persyaratan ini meliputi persyaratan lokasi pengadaan pelayanan sampai dengan kriteria alat dan instrumen standar dalam pelayanannya.

II.7.1 Prinsip Lokasi dan tata letak

Lokasi dan tata letak harus mempertimbangkan :

- Lokasi harus sesuai dengan peraturan daerah dan mempertimbangkan tentang pengolahan limbah.
- Berjauhan dengan lokasi kegiatan umum non pendidikan seperti pusat perbelanjaan dan bandar udara sehingga segala aktivitas yang terwadahi didalamnya tidak berbaur dengan aktivitas lain

II.7.2 Prinsip perancangan *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai Pusat Riset.³⁹

- Meningkatkan dayaguna seseorang dengan menciptakan atmofer tim yang komunikasi dan interaksi positif dapat difasilitasi dengan baik.
- Pandangan bahwa lingkungan dirancang sebagai alat yang lebih baik daripada jenis pengeluaran lain. Menyediakan akses yang cukup memadai untuk sumber daya termasuk anggota tim dan peralatan, mengakomodasi kebutuhan ergonomik seperti tempat duduk yang nyaman dan ruang kerja yang fleksibel. Perancangan *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai Pusat Riset harus menciptakan atmosier kerja yang menarik dan menyenangkan, mengurangi gangguan dan kekacauan yang mengganggu konsentrasi peneliti dengan perancangan suasana kerja yang menyediakan privasi tinggi.
- Mendesain kembali proses kerja dan lingkungan fisik untuk meningkatkan kinerja didalam ruang kerja dan bangunan secara keseluruhan dan menghasilkan efisiensi proses serta mengurangi gangguan dalam kinerja.
- Memperbaharui dan mempertahankan teknologi sehingga peneliti bekerja dalam efisiensi kerja yang tinggi. Menyediakan perlengkapan dan peralatan seperti komputer, *software*, dan peralatan lain yang layak serta memperhatikan investasi dalam visi kedepan.
- Menawarkan kesempatan bekerja dan berlatih, mempertahankan dukungan staff dengan menyediakan gaji

³⁹ Watch, Daniel D., *Building Type Basic for Research Laboratories*, Canada : John Wiley & Sons, 2001

yang kompetitif, bonus hadiah, dan insentif lain yang menarik. Mengadopsi kebijakan yang fleksibel seperti kebebasan waktu untuk meneliti dan kebebasan dalam telekomunikasi seperti internet dan telepon.

II.7.3 Prinsip perancangan laboratorium fisika sebagai Pusat Riset.⁴⁰

- Kebutuhan untuk menciptakan "*social buildings*" (bangunan sosial) yang dapat membantu mengembangkan interaksi positif dan riset berbasis tim / kemitraan. Hal ini mutlak dilakukan meskipun anggapan populer menyatakan bahwa ilmuwan bekerja keras secara isolasi, namun ilmu modern adalah aktivitas sosial yang intens. Perancangan harus memperhatikan ruang-ruang sebagai pusat aktivitas untuk bersosialisasi seperti :

- Ruang untuk bertemu

Perancangan *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai pusat riset hendaknya mempertimbangkan ruang untuk bertemu. Ruang untuk bertemu berfungsi sebagai wadah dalam berkomunikasi diluar laboratorium penelitian. Ruang untuk bertemu dapat berwujud ruang istirahat, ruang rapat, atrium, sampai dengan bordes pada tangga dapat menyediakan ruang untuk bertemu dan tukar menukar ide dan informasi.

- Laboratorium berbasis tim

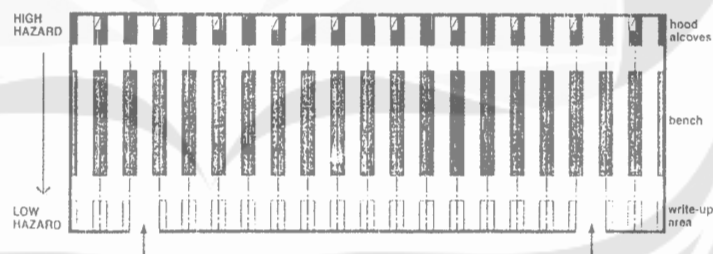
Penelitian kolaboratif membutuhkan tim ilmuwan dengan bidang keahlian yang beragam yang secara bersama-sama membentuk unit penelitian interdisiplin ilmu. Data dibagikan secara menyeluruh sehingga terjalin interaksi dan jaringan hubungan manusia diseluruh dunia. Penyediaan ruang untuk penelitian kolaboratif dapat didukung dengan :

- Menciptakan sistem teknis yang fleksibel dan ruang kerja yang mendorong tim peneliti untuk

⁴⁰ Ibid

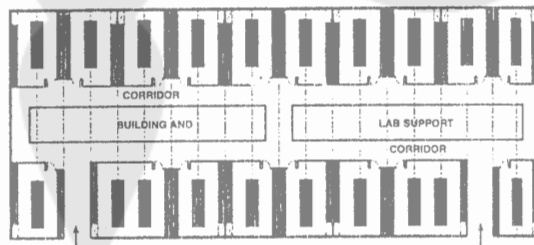
mengubah ruang sebagai alat pemenuhan kebutuhan.

- Merancang kantor dan ruang tulis sebagai ruang yang dapat digunakan peneliti bekerja secara tim.
- Menciptakan pusat riset sebagai ruang diskusi
- Menciptakan ruang dimana semua anggota tim peneliti dapat bekerja dengan baik dalam kondisi berdekatan dengan yang lain
- Kebutuhan untuk mencapai sebuah keseimbangan yang harmonis antara laboratorium terbuka (*open labs*) dan laboratorium tertutup (*closed labs*). Konsep *open labs* adalah konsep dimana para peneliti membagi ruang untuk peneliti sendiri dan untuk peralatan seperti bangku, dan ruang staf. Format *open labs* memudahkan komunikasi antara ilmuwan dan membuat ruang dapat diadaptasi untuk kebutuhan dimasa akan datang.



Gambar 2.12
Format *Open Labs*

Sumber : Building Type Basic for Research Laboratories



Gambar 2.13
Format *Closed Labs*

Sumber : Building Type Basic for Research Laboratories

- Fleksibilitas dalam perancangan harus maksimal. Fleksibilitas dapat mempunyai beberapa arti, termasuk kemampuan untuk

mengembangkan dengan mudah, siap mengakomodasi dan keragaman fungsi yang dapat dikongigurasi ulang setiap saat.

Fleksibilitas dalam perancangan meliputi :

- Fleksibilitas dalam sirkulasi alat berat
- Flesibilitas dalam sistem teknis
- Fleksibilitas dalam interior laboratorium
- Perancangan *Land of Science* : Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai pusat riset hendaknya dapat mengaplikasi teknologi terapan. Teknologi memegang peran terbesar dalam penelitian dan pertukaran informasi penelitian. Penerapan teknologi meliputi :
 - Ruang konferensi dan presentasi
Pembuatan ruang ini meliputi ruang telekonferensi atau ruang konferensi jarak jauh, dan ruang lektor.
 - *Mobile Audiovisual Equipment*
Presentasi membutuhkan ruang khusus, namun adakalanya waktu yang mendadak dan ketersediaan truang menuntut presentasi diadakan dimana saja.
 - *Computer technology*
Penggunaan teknologi komputer dapat meningkatkan kemampuan untuk meneliti dalam pemodelan secara virtual. Eksperimen secara tradisional diperbanyak atau diganti dengan simulasi komputer. Jangkauan teknologi informasi diperluas menjadi jaringan global sebagai konsekuensi cepatnya arus data.
 - Robot
Robot digunakan sebagai pengganti tenaga manusia untuk menjalankan eksperimen yang beresiko besar atau untuk eksperimen yang membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi. Penggunaan robot untuk meminimalkan kesalahan yang dibuat oleh manusia (*human error*).

- Otomatisasi laboratorium

Ada tiga faktor yang menyebabkan laboratorium harus otomatis yaitu infeksi terhadap wabah, racun dan bioterorisme. Laboratorium semiotomatis atau semimanual digunakan dengan pertimbangan banyak fasilitas membutuhkan aktivitas manusia secara signifikan, beberapa fasilitas yang membuat pengguna untuk melakukan aktivitas yang diulang, dan yang terakhir adalah pertimbangan dana dan efisiensi energi. Otomatisasi bangunan biasanya diterapkan dalam laboratorium biologi, kimia, dan biokimia.

- Laboratorium virtual

Laboratorium virtual digunakan untuk *virtual manufacturing*, *3D calibration* dan *virtual environment*, merakit dan menciptakan kondisi virtual yang mendekati kondisi riil, sistem berbasis teknologi, perancangan ergonomik, dan untuk *telerobotics*.

- Perancangan *Land of Science*: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika sebagai pusat riset hendaknya dapat mengefisien energi. Pusat riset umumnya membutuhkan energi dan air lima kali lebih besar daripada bangunan umum. Kebutuhan energi yang besar disebabkan oleh :

- Pusat riset terdiri dari berbagai peralatan canggih yang membutuhkan daya listrik yang besar.
- Pusat riset terdiri dari banyak tungku dan sistem teknis yang rumit.
- Ilmuwan membutuhkan akses ke bangunan selama 24 jam nonstop.
- Penelitian membutuhkan energi cadangan ketika sumber energi utama mengalami drop sehingga dibutuhkan *Uninterrupted Power Supply* (UPS) sebagai energi cadangan.

Aspek penting dalam bangunan berkelanjutan harus diikuti dengan :

- Meningkatkan konservasi energi dan efisiensi
- Reduksi limbah dan bahan berbahaya
- Meningkatkan kualitas interior dan eksterior ditambah dengan meningkatkan produktivitas
- Efisiensi dalam penggunaan material dan sumber daya.
- Mendaur ulang produk.

SUSTAINABLE DESIGN CRITERIA				
Parameter	Code Minimum	Code Reference	Standard Practice	Design Target
Ventilation	16 cfm/psf	ASHRAE 62/89	same	Maximize outdoor air in the breathing zone
Education	same		AS 81%	65% per floor 85% total floor
Indoor design Temp range	75°F summer 72°F winter		same	
Humidity control	uncontrolled		uncontrolled	60% RH max 40% RH min
Equipment heat dissipation	NA		3-4 W/sq ft	1.5 W/sq ft or 2 W/sq ft with 75% diversity factor
Toilet exhaust	50 cfm/fixture	ASHRAE 62/89	same	2 cfm/sq ft
Connected lighting heat load	NA		2 W/sq ft	0.5-0.75 W/sq ft Total task/ambient with occupancy sensors and daylight sensors
Lighting levels	100 ft candles all direct		same	20-30 ft candles with ambient and task lighting
Building shell infiltration	6 in./100 sq ft	ASHRAE guideline	3 in./100 sq ft	1.5 in./100 sq ft (Canadian standard)
Building shell infiltration (alternate)	0.60 cfm/sq ft		0.30 cfm/sq ft	0.10 cfm/sq ft
Exterior wall insulation	$U \leq 0.28 \text{ hmi/sq ft/ft}$	BCCA energy code	$U \leq 0.10 \text{ hmi/sq ft/ft}$	$U \leq 0.15 \text{ hmi/sq ft/ft}$ (S) $U \leq 0.05 \text{ hmi/sq ft/ft}$ (N, E, W) AIR - with insulation both sides
Exterior wall moisture control	none			
Roof insulation	$U \leq 0.07 \text{ hmi/sq ft/ft}$	BCCA energy code	$U \leq 0.05 \text{ hmi/sq ft/ft}$	$U \leq 0.05 \text{ hmi/sq ft/ft}$ with low albedo surfacing
Windows				
Glazing type	single/lean		double/lean	lean reflecting clear
Visible transmittance	0.80		0.78	0.70
Shading coefficient	1.00		0.80	0.63
U value	1.04		0.48	0.30
Heat degree days	6,155 hmi	ASHRAE	same	determined by DOE-2 analysis of TMY data

Gambar 2.14
Table criteria rancangan yang berkelanjutan
Sumber : Building Type Basic for Research Laboratories

- Perancangan *Land of Science: Pusat Eksplorasi Ilmu Fisika* sebagai pusat riset dapat diperluas menjadi *science park*. Pertimbangan yang diambil dalam mewujudkan sebuah *science park* adalah sebagai pertimbangan ekonomi regional. Pengembangan ekonomi regional dapat mendatangkan lapangan pekerjaan. Pertimbangan lain adalah bahwa keberadaan *science park* dapat menyediakan media transfer teknologi dan ilmu pengetahuan dari lingkungan akademik ke lingkungan pasar industri. Hampir 50 % pengembang *science park* adalah organisasi non profit, 25 % lembaga pemerintah,

17 % lingkungan perguruan tinggi, dan kurang dari 10 % merupakan organisasi profit.

II.8 Kebutuhan Peralatan Standar dalam Kegiatan Penelitian dan Eksplorasi Ilmu Fisika

Kegiatan penelitian fisika berhubungan dengan erat dengan pengadaan instrumen penelitian. Kelengkapan instrumen penelitian dapat menjadi faktor penentu penelitian sehingga hasilnya dapat tepat guna. Berikut ini akan dipaparkan beberapa instrumen standar penelitian untuk bidang ilmu sains. Berdasarkan pengadaannya, peralatan penelitian terbagi atas tiga kategori antara lain⁴¹ :

- Kategori I

Peralatan dibawa sendiri oleh peneliti dan dipasang sendiri di instalasi yang telah disediakan.

- Kategori II

Peralatan dibawa oleh peneliti, namun dalam pemasangannya dilakukan oleh kontraktor yang ditunjuk oleh pengelola.

- Kategori III

Peralatan dan instrumen penelitian diadakan oleh pengelola sehingga peneliti tinggal menggunakannya.

Kategori diatas digunakan untuk mengidentifikasi peralatan dan instrumen yang digunakan dalam kegiatan penelitian standar. Beberapa peralatan penelitian standar antara lain⁴² :

- *Refrigerators*

Alat ini digunakan untuk menjaga beberapa materi agar tetap pada suhu minimal. *Refrigerator* merupakan peralatan dengan kategori I. Alat ini berukuran minimal 600 mm.

- *Deep freezers*

Alat ini digunakan untuk menjaga materi dalam suhu ekstrim, mencapai -80°C . Alat ini termasuk dalam kategori I.

⁴¹ Hain, Walter. *Laboratories : a Briefing and Design Guide.*, E & FN Spon, London : 1995

⁴² Ibid



Gambar 2.15
Deep Freezer
Sumber : data primer

- *Centrifuges*

Alat ini digunakan untuk mensterilkan gelas reaksi atau instrumen lain yang membutuhkan kondisi steril sebelum digunakan. Alat ini termasuk dalam kategori I.



Gambar 2.16
Centrifuges
Sumber : data primer

- *Scintillation counters*

Alat ini digunakan sebagai meja kerja atau meja reaksi. Alat ini menggunakan bahan stainless steel sehingga permukaannya mengkilat. Alat ini termasuk dalam kategori I.

- *Incubators*

Alat ini membutuhkan suplai gas CO_2 dan gas O_2 . Alat ini termasuk dalam kategori I.



Gambar 2.17
Incubator
Sumber : data primer

- *Freeze dryers*
Alat ini digunakan untuk mengeringkan sebuah materi dalam suhu rendah. Alat ini termasuk dalam kategori I.
- *Drying ovens*
Alat ini digunakan untuk memisahkan sebuah materi dari air. Alat ini termasuk dalam kategori I.
- *Ice-making machines*
Alat ini digunakan untuk memproduksi es. Es ini digunakan untuk mengawetkan beberapa materi yang tidak tahan lama. Alat ini termasuk dalam kategori I.
- *Stills*
Alat ini digunakan untuk menyuling fluida cair, misalnya untuk membuat air murni. Alat ini termasuk dalam kategori I, II, atau III.
- *Diswashers*
Alat ini digunakan untuk mencuci instrumen penelitian untuk kemudian disterilkan. Alat ini termasuk dalam kategori I.
- *Glass washer*
Alat ini digunakan untuk mencuci instrumen penelitian untuk kemudian disterilkan. Alat ini termasuk dalam kategori II atau III.
- *Dryer*
Alat ini untuk mengeringkan peralatan yang terbuat dari gelas atau kaca. Alat ini termasuk dalam kategori II atau III.

- **Autoclave**

Alat ini digunakan untuk mencuci peralatan dengan menggunakan air panas. Alat ini termasuk dalam kategori II atau III.



Gambar 2.18

Autoclave

Sumber : data primer

- **Electrone microscopes**

Alat ini digunakan untuk mengamati benda yang berukuran super kecil. Ruang mikroskop dengan operator harus dipisahkan mengingat adanya radiasi yang ditimbulkan. Alat ini termasuk dalam kategori I.

- **Magnetic Resonance Imagers (MRI)**

Alat ini digunakan untuk memberikan *image* dari sebuah benda dengan menggunakan gelombang magnet. Hampir mirip dengan X-ray. Alat ini termasuk dalam kategori I.



Gambar 2.19

Magnetic Resonance Imagers

Sumber : data primer

Dari paparan diatas dapat diringkas dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.2
Tabel Perbandingan Peralatan Standar
Sumber : data primer

No	Eguipment	Size Width	Depth	Power Supply	Services	Categor y
		(mm)	(mm)			
1	Refrigerator	600	600	13 A		I
2	Deep Freezer – upright	600	600	13 A		I
3	Deep Freezer chest type	1700	750	20 A		I
4	Centrifuge	1200	1000	30 A	some require CW and waste	I
5	Scintillation counter	1000-1500	800-1000	13 A		I
6	Incubator	650	650	13 A	CO2 and O2	I
7	Freeze dryer	1000	600	13 A		I
8	Ice-maker machine	1000	800	13 A	some require CW and waste	I
9	Dishwasher domestic	600	600	13 A	some require CW and waste	I
10	Glass washer	1000	1000	fused spur	purified water, CA, drain	II & III
11	Dryer	900	800	fused spur		II & III
12	Autoclave	800	1200	fused spur	HW, CA	II & III
13	Electrone microscope	various	various	30 A	may require cooling water	I
14	Magnetic Resonance Imager	various	various	30 A	may require CA	I

II.9 Elemen Pembentuk Karakter Arsitektural

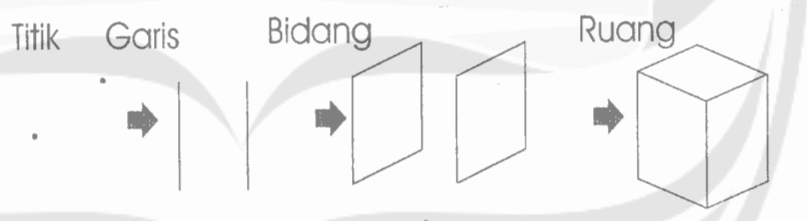
Sebuah pencitraan bangunan ditentukan oleh elemen-elemen yang disebut suprasegmen arsitektur. Suprasegmen arsitektur terdiri dari bentuk, ukuran / skala / proporsi, warna, tekstur dan bahan. Keharmonisan dari keempat unsur dalam suprasegmen arsitektur tersebut dapat dijadikan wahana bangunan yang diciptakan oleh perancang dalam berekspresi kepada manusia dan lingkungan sekitar.

II.9.1 Bentuk/ wujud

Bentuk arsitektural adalah titik temu antara massa dan ruang.... Bentuk-bentuk arsitektural, tekstur, material, pemisahan antara cahaya dan bayangan, warna merupakan perpaduan dalam menentukan mutu atau jiwa dalam penggambaran ruang. Mutu arsitektur akan ditentukan oleh keahlian seorang perancang dalam menggunakan dan menyatukan unsur-unsur tadi, baik dalam pembentukan ruang dalam (interior) maupun ruang-ruang luar (eksterior) di sekeliling bangunan-bangunan.

Edmund N. Bacon
Perancangan Kota 1974

Bentuk tersusun atas ruang, sedangkan ruang terdiri atas bidang-bidang yang saling berkaitan, bidang tersusun atas garis-garis yang membentuk kurva tertutup, dan garis terbentuk atas deretan titik. Beberapa pernyataan diatas dapat digambarkan sebagai berikut :

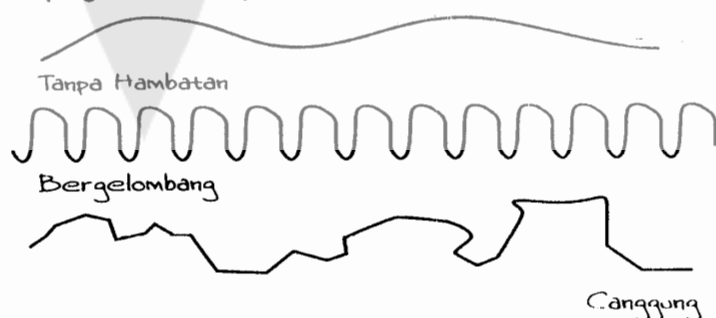


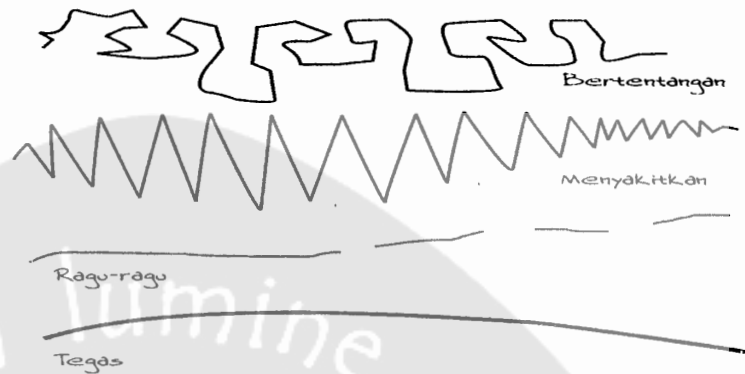
Gambar 2.20

Hubungan antara titik, garis, bidang dan ruang

Sumber : D. K. Ching, Bentuk, Ruang dan Tatahan, Erlangga, 2000

Garis dalam penampilannya dapat memperlihatkan ekspresi untuk menentukan bentuk. Dibawah ini adalah beberapa contoh tipe garis dan ekspresi yang ditimbulkan.





Gambar 2.21
Ekspresi garis

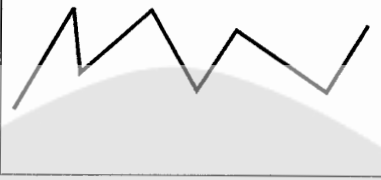
Sumber : Todd, Kim W. Site, Space and Structure, 1987

Garis juga dapat menimbulkan kesan dalam perancangan eksterior. Dibawah ini beberapa tipe garis dan karakternya.

Tabel 2.3

Bentuk Garis dan Kesan yang Ditimbulkan
Sumber : Hakim, Rustam, Perancangan Lansekap, 2003

Bentuk Garis	Kesan
Garis Vertikal 	Aksen ketinggian, tegak, gagah, kaku, formal, tegas, dan serius
Garis Horizontal 	Santai, tenang, lebar, membesar, meluas, melapang, santai rileks, dan tenang
Garis Diagonal	Dinamis, bergerak, bergegas, mendekatkan jarak, dan sensasional

	
Garis Melengkung 	Dinamis, riang, melembut, dan gembira

Tabel diatas menjelaskan bahwa garis dapat menentukan ekspresi sebuah bentuk. Seperti yang dijelaskan bahwa garis adalah elemen pembentuk dari bidang dan akan menentukan sebuah bentuk. Bentuk sebagai wujud mempunyai tiga bentukan dasar yang dapat dimodifikasi, misalnya dengan penggabungan (*unification*), penambahan (*addition*), atau pengurangan (*subtraction*). Bentuk dasar juga mempunyai karakter yang turut serta dalam perwujudannya.

Tabel 2.4
Bentuk dan Kesan yang Ditimbulkan
Sumber : Ching, Francis D. K., Bentuk, Ruang, dan Tatahan, 2000

Wujud Dasar	Karakter
Lingkaran 	Stabil , sebagai pusat / terpusat , poros putar
Segitiga 	Stabil, seimbang pada titik keseimbangan kokoh, kaku

Bujur Sangkar 	Murni, rasional, statis, netral, tidak memilih arah tertentu, seimbang pada titik keseimbangan
--	---

Konfigurasi dari bidang secara vertikal dan horisontal akan menciptakan ruang, dibawah ini adalah beberapa kemungkinan ruang yang terbentuk dari elemen horisontal.

Tabel 2.5
Unsur Horizontal Pembentuk Ruang
Sumber : Ching, Francis D. K., Bentuk, Ruang, dan Tatahan, 2000

	Bidang dasar Sebuah bidang dasar horizontal yang terletak sebagai suatu figur di atas latar belakang yang kontras dapat membentuk sebuah ruang sederhana
	Bidang dasar dinaikkan Bidang dasar yang dinaikkan akan memperkuat pemisahan visual daerah tersebut dengan dasar di sekitarnya melalui permukaan vertikal yang dihasilkan
	Bidang dasar diturunkan Secara prinsip sama dengan dinaikkan, hanya saja permukaan vertikal pada bagian yang direndahkan yang menjadi pemisah
	Bidang Atas (overhead) Sebuah bidang horizontal yang diangkat akan membentuk sebuah ruang diantara bidang horizontal tersebut dan permukaan tanah dibawahnya.

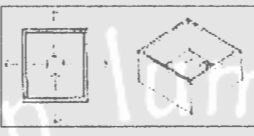
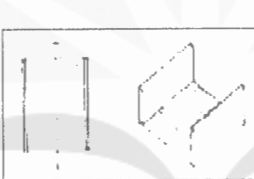
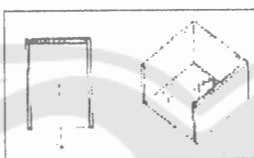
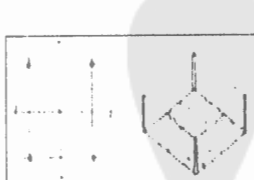
Ruang juga dapat terbentuk dari elemen vertikal. Elemen vertikal akan menentukan efek yang timbul akibat

penggunaannya. Dibawah ini adalah elemen pembentuk ruang secara vertikal.

Tabel 2.6

Unsur Vertikal Pembentuk Ruang

Sumber : Ching, Francis D. K., Bentuk, Ruang, dan Tatahan, 2000

	Unsur-unsur linear vertikal Unsur-unsur linear membentuk sisi-sisi tegak lurus dari suatu volume ruang
	Bidang vertikal tunggal Sebuah bidang vertikal akan mempertegas ruang dihadapannya
	Bidang berbentuk L Konfigurasi bidang vertikal berbentuk L akan menimbulkan ruang kearah diagonal keluar
	Bidang-Bidang Sejajar Dua bidang vertikal sejajar akan membentuk ruang antara dengan orientasi aksial terhadap dua ujung terbuka
	Bidang berbentuk U Konfigurasi bidang vertikal berbentuk U akan menimbulkan ruang dengan orientasi ke arah ujung yang terbuka
	Empat bidang tertutup Empat bidang vertikal akan membentuk batas suatu ruang introvert dan mempengaruhi daerah di sekitar bidang vertikal tersebut

II.9.2 Ukuran / Skala / Proporsi

Ukuran/ Skala/ Proporsi menentukan perasaan manusia ketika sedang berada didalam sebuah lingkungan. Sebagai

contoh, ketika seseorang berada didalam gereja, perasaan yang dirasakan akan berbeda ketika seseorang tersebut berada didalam sebuah gua. Ada beberapa persepsi dalam menentukan perasaan pengguna ketika berada disebuah lingkungan.

Perasaan yang timbul ketika manusia berada disebuah lingkungan juga ditentukan oleh jarak pandang manusia terhadap sebuah objek. Perbandingan jarak antara manusia dan suatu benda dengan ketinggian benda tersebut akan menghasilkan sensasi tersendiri. Perbandingan jarak (D) dan tinggi benda (H) sebagai berikut :⁴³

1. $D/H = 1$, ruang terasa seimbang dalam perbandingan jarak dan tinggi bangunannya.
2. $D/H < 1$, ruang yang terbentuk terlalu sempit sehingga terasa tertekan.
3. $D/H > 1$, ruang terasa agak besar.
4. $D/H \geq 4$, pengaruh ruang tidak terasa.

Perasaan yang timbul juga ditentukan oleh skala ruang. Skala ruang terbagi atas skala akrab (intim), skala wajar, skala megah atau agung, dan skala mencekam.⁴⁴ Untuk lebih jelasnya dapat diperlihatkan melalui penjelasan sebagai berikut :

1. Skala akrab

Cenderung mengakibatkan suasana yang dekat dan akrab



Gambar 2.22
Skala akrab

Sumber : White, Edward, T. Tata Atur, 1986

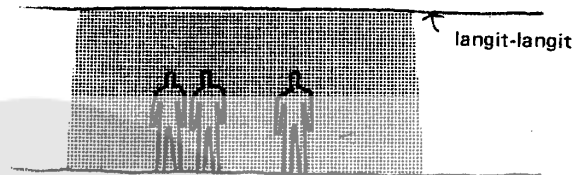
2. Skala wajar

Ada penyesuaian yang wajar antara dimensi manusia dengan ukuran ruang dan dikaitkan dengan kegiatan

⁴³ Ashihara, Yoshinobu. Perancangan Eksterior dalam Arsitektur

⁴⁴ White, Edward, T. Concept Sourcebook

yang diwadahi.



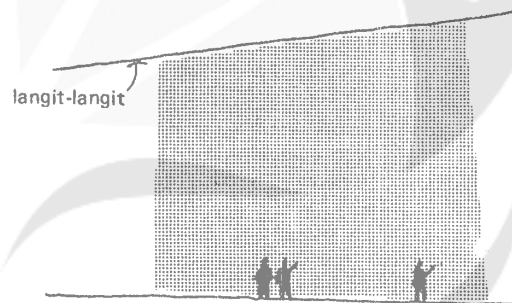
Gambar 2.23

Skala wajar

Sumber : White, Edward, T. Tata Atur, 1986

3. Skala Megah

Ditimbulkan oleh dimensi ruang yang terlalu besar jika dibandingkan dengan dimensi manusia dan kegiatan yang berlangsung didalamnya. Biasanya skala ini digunakan pada bangunan-bangunan yang memiliki nilai tertentu untuk memberikan kesan megah atau agung.



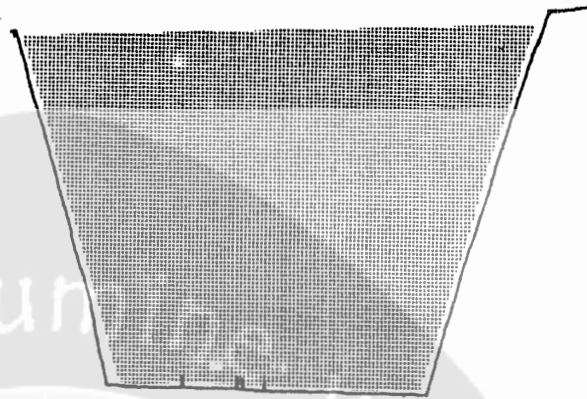
Gambar 2.24

Skala Agung

Sumber : White, Edward, T. Tata Atur, 1986

4. Skala mencekam

Mengakibatkan manusia kehilangan hubungan dengan ruang yang bersangkutan karena begitu besarnya gap yang ada. Biasanya terjadi pada ruang alami.



Gambar 2.25
Skala Mencekam

Sumber : White, Edward, T. Tata Atur, 1986

II.9.3 Warna

Warna merupakan sebuah fenomena pencahayaan dan persepsi visual yang menjelaskan persepsi individu dalam corak, intensitas, dan nada. Warna adalah atribut yang paling menyolok, membedakan suatu bentuk dari lingkungannya. Warna juga mempengaruhi bobot visual suatu bentuk.⁴⁵ Dewasa ini, banyak teori yang menjelaskan tentang warna.

Warna mempunyai kegunaan dalam menentukan ekspresi, yang meliputi :

- **Definition**

Warna mempunyai kemampuan untuk mendefinisikan, merupakan elemen untuk mengidentifikasi bentuk dan posisi obyek secara akurat. Sebagai contoh sebuah benda berwarna merah diletakkan diatas meja yang juga berwarna merah, maka subyek akan kesulitan membedakan antara benda tersebut dengan meja.

- **Progression**

Mempengaruhi gerak subyek dalam ruang melalui perubahan warna : gelap ke terang atau 1 warna ke warna lainnya, *tints* ke *shades*. Sebagai contoh, sebuah bidang rata diberikan warna gelap dan warna terang secara berselingan, pencitraan yang terjadi adalah subyek merasakan warna elap lebih jauh

⁴⁵ Ching, Francis D. K. Bentuk, Ruang, dan Tatahan, 2000 hal. 34.

dan warna gelap lebih cenderung mendekat.

- **Emotion**

Unsur penting lainnya dalam persepsi warna adalah metafora, pemberian nama mempengaruhi perasaan subyek terhadap warna. Deskripsi verbal menggambarkan kondisi visual. Ketika warna dikombinasikan dengan metaforanya, warna dapat menambah emosi.

- **Aesthetic**

Kualitas estetika sebuah warna menegaskan budaya, gaya dan desain, budaya memberikan hubungan yang nyaman dan mententramkan karena dekat dengan subyek. Gaya memberikan pilihan warna yang dipengaruhi tren desain menyediakan pilihan warna berdasar pada kontras antara warna yang tidak spesifik untuk efek-efek tertentu. Ke-3 elemen bergabung untuk membentuk nilai estetika. Sebagai contoh pada perayakan Imlek, warna yang dominan adalah warna merah dan emas, warna tersebut memberikan identitas.

- **Manipulation**

Warna dapat memanipulasi baik secara fisik. Warna dapat meyakinkan subyek bahwa subyek melihat sebuah kenyataan yang berbeda. Setiap warna memberikan susunan hubungan yang memberikan subyek bagaimana subyek akan merespon warna, baik dalam dan luar konteks. Sebagai contoh adalah ketika seorang membeli buah, maka pembeli akan cenderung memilih buah yang berwarna cerah daripada buah yang berwarna lebih kusam.

- **Dimension**

Warna dapat mengubah waktu dan ukuran didalam sebuah ruang. Orang akan merasakan waktu berlalu cepat dalam ruang berwarna kuning dan lebih lambat dalam ruang berwarna biru. Sebagai contoh, seseorang akan merasakan ruang yang lebih luas ketika berada pada ruang yang didominasi warna putih dibandingkan dengan warna abu-abu.

Dibawah ini adalah salah satu teori warna dan karakter yang timbul.

Tabel 2.7
Warna dan kesan yang ditimbulkan
Sumber : De Chiera, Joseph and Michael J. Crosble, "Time Saver Standards",
New York, McGraw Hill, 2001

Warna	Kesan penampilan
Biru	Mengurangi gairah yang berlebihan, menyenangkan, kesempurnaan, kesabaran.
Hijau	Alami, keseimbangan, sesuatu yang normal, menyejukkan, menenangkan.
Kuning	Mengundang perasaan riang, menarik perhatian, memberi motivasi, inovatif, keaslian.
Merah	Berkesan merangsang, dorongan untuk berpikir, seksi, keakraban, membangkitkan semangat, menyenangkan dan agresif.
Merah muda	Menampilkan kemudahan, kelembutan dan kasih sayang.
Orange	Ceria, tenang, dan memberi kesan hangat.
Cokelat	Berkesan santai, hangat, harus dikombinasikan dengan warna terang karena bisa menimbulkan depresi jika digunakan secara tunggal.
Ungu	Elegan, menenangkan, sejuk, hikmat, duka cita.
Abu-abu	Hambar, dingin, menimbulkan depresi kecuali digabungkan dengan warna terang.
Hitam	Memberi kesan menekan, misterius, gelap dan sempit.
Putih	Memberi perasaan riang, mengesankan tanpa emosi.

Warna secara arsitektural dapat mempengaruhi psikologis pengguna bangunan tersebut. Warna dapat diterapkan pada elemen pembentuk ruang seperti lantai, dinding, dan plafon. Berikut ini penerapan elemen warna pada arsitektur.

Tabel 2.8
Tabel Sifat-sifat Warna dan Kesan yang ditimbulkan pada Elemen Interior
Sumber : Frank H. Mahnke dan Rudolf H. Mahnke,
"Color and Light In Man Made Environment"

NO	WARNA	Kesan pada Plafond	Kesan pada Dinding	Kesan pada Lantai
1	MERAH	➤ Gangguan ➤ Berat ➤ Paksaan	➤ Agresif ➤ Dorongan	➤ Waspada ➤ Sadar
2	BIRU	➤ Dingin ➤ Angkasa	➤ Dingin ➤ Jauh (biru muda) ➤ Mendorong	➤ Bersemangat ➤ Bergerak ➤ Tanpa tenaga
3	HIJAU	➤ Melindungi	➤ Pasif ➤ Dingin ➤ Tenang	➤ Dingin (biru-hijau) ➤ Lembut ➤ Istirahat
4	ORANYE	➤ Membangkitkan semangat	➤ Hangat ➤ Bercahaya	➤ Menggerakkan ➤ Orientasi pergerakan
5	HITAM	➤ Menekan ➤ Suram ➤ Bayangan	➤ Terasing ➤ Tak menyenangkan	➤ Aneh ➤ Terasing
6	ABU-ABU	➤ Kosong ➤ Mengurangi bayangan ➤ Menyebabkan sinar	➤ Netral ➤ membosankan	➤ Netral
7	PUTIH	➤ Kosong ➤ Bebas	➤ netral ➤ Steril ➤ Kosong ➤ Tanpa energi	➤ Penghambat sentuhan ➤ (tidak boleh berjalan di atasnya) ➤ Netral
8	KUNING	➤ Terang ➤ Kegembiraan	➤ Hasrat ➤ (kuning-oranye)	➤ Mengasyikan ➤ Menyenangkan

II.9.4 Tekstur dan Bahan

Tekstur dan bahan juga mempengaruhi ekspresi sebuah bangunan. Tekstur dan bahan berhubungan erat dengan indera peraba. Tekstur adalah kumpulan titik-titik kasar atau halus yang tidak beraturan pada suatu permukaan benda atau obyek.⁴⁶ Secara visual tekstur akan memberikan kesan karakter dari cahaya yang memantul dari bahan atau tekstur. Dibawah ini adalah tabel yang memberikan gambaran material dan tekstur serta karakter yang dibawa.

Tabel 2.9

Tekstur dan kesan yang ditimbulkan

Sumber : Hendraningsih, Dkk. ; Peran, Kesan dan Pesan Bentuk-bentuk Arsitektur, Jakarta, Djambatan, 1982

Tekstur	Kesan penampilan
Kasar	Kuat, kasar, alami, sederhana, bebas.
Halus	Hangat, lunak, alami, memberi semangat.
Lembut	Dingin, tenang, ringan, formil.

Tekstur timbul akibat adanya bahan atau material. Dibawah ini beberapa contoh material dan karakternya.

Tabel 2.10

Material dan kesan yang ditimbulkan

Sumber : Hendraningsih, Dkk. ; Peran, Kesan dan Pesan Bentuk-bentuk Arsitektur, Jakarta, Djambatan, 1982

Material	Sifat	Kesan penampilan
Kayu	Mudah dibentuk, digunakan untuk konstruksi sederhana, juga untuk lengkung.	Hangat, lunak, alami, menyegarkan
Bata	Fleksibel pada detail, dapat digunakan untuk beragam struktur, baik rumit maupun sederhana.	Praktis, sederhana, tampak alamiah saat diekspos

⁴⁶ Hakim, Rustam dan Utomo, Komponen Perancangan Arsitektur Lansekap. 2003. hal. 73

Semen	Dapat digunakan untuk eksterior dan interior. Sesuai dalam segala warna, mudah rata dan mudah dibentuk.	Dekoratif dan masif
Batu alam	Tak membutuhkan proses, dapat dibentuk/diolah	Berat, alami, sederhana, kokoh, informal
Marmer	Bahan bangunan alami dan buatan, bersifat kaku dan sukar dibentuk.	Mewah, kuat, bersih, formal, agung
Beton	Menahan gaya tekan	Formil, keras, kaku, kokoh
Baja	Menahan gaya tarik	Keras kokoh
Metal, Alumunium	Efisien	Ringan, dingin
Kaca	Transparan, tidak punya sifat isolasi.	Rapuh, dingin, terbuka, dinamis
Plastik	Mudah dibentuk sesuai kebutuhan, dapat diberi warna	Ringan dinamis, informal
Polikarbonat (Solar Tuff)	Mudah dibentuk, cocok untuk berbagai jenis aplikasi, dapat diberi berbagai macam warna, menyerap radiasi, mengurangi panas matahari, lebih kuat dari kaca (tidak mudah pecah)	Ringan, dinamis, kuat, bersih

II.9.5 Tatanan organisasi / komposisi (*order*)

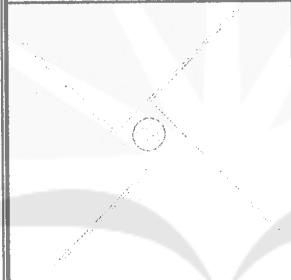
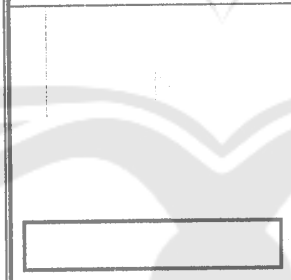
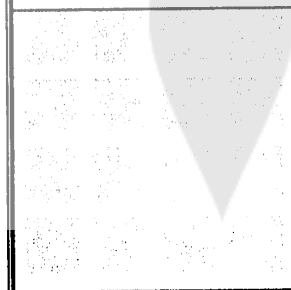
Tatanan merupakan unsur diluar suprasegmen arsitektur. Namun, tatanan merupakan penyatu dari semua elemen suprasegmen arsitektur sehingga membentuk komposisi yang harmonis secara keseluruhan. Komposisi dari berbagai massa akan memberikan ekspresi yang diinginkan. Dibawah ini ada

beberapa kemungkinan komposisi yang mungkin diterapkan dalam tatanan sebuah kompleks.

Tabel 2.11

Organisasi Ruang

Sumber : Ching, Francis D. K., Bentuk, Ruang, dan Tatanan, 2000

	Terpusat Sejumlah ruang dominant terpusat dengan pengelompokan sejumlah ruang sekunder
	Linier Suatu urutan dalam satu garis dari ruang-ruang yang berulang
	Radial Sebuah ruang pusat yang menjadi acuan organisasi-organisasi ruang linier berkembang menurut jari-jari
	Cluster Kelompok ruang berdasarkan kedekatan hubungan atau memanfaatkan satu ciri atau hubungan visual
	Grid Organisasi ruang-ruang dalam daerah structural grid atau struktur tiga dimensi lain