

Usaha dan energi

Sparisoma Viridi

Nuclear Physics and Biophysics Research Division

Department of Physics, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

20220919-v7 | <https://doi.org/10.5281/zenodo.7092151>

Kerangka

• Topik, Subtopik, Capaian Belajar	3	• Gaya konservatif	38
• Usaha	7	• Hukum kekekalan energi	42
• Energi	13	• Gaya tak-konservatif	45
• Energi kinetik	25	• Hukum kekekalan energi dengan melibatkan gaya tak-konservatif	47
• Teorema usaha-energi kinetik	27	• Diskusi	49
• Energi potensial	33		

Topik, Subtopik, Capaian Belajar

Topik dan subtopik

Topik

Usaha dan Energi

Subtopik

Definisi usaha, Energi kinetik, dan Teorema usaha-energi kinetik. Energi potensial. Gaya konservatif. Hukum kekekalan energi. Gaya tak konservatif.

Harry Mahardika (Koord.), "Satuan Acara Perkuliahan Matakuliah Fisika Dasar IA (FI – 1101) Semester I 2022-2023", Prodi Sarjana Fisika, FMIPA, ITB, 18 Aug 2022, url https://cdn-edunex.itb.ac.id/39012-Elementary-Physics-IA/106799-W01-Kinematika-Benda-Titik/46817-Kampus-SAP-Review/1661119628985_SAP-FIDAS-1A-2022-2023-ver-180822.pdf [20220824]

Tujuan Instruksional Khusus

- Kemampuan menyelesaikan persoalan mekanika dengan konsep usaha-energi kinetik.
- Pemahaman hubungan gaya konservatif, energi potensial dan hukum kekekalan energi kinetik.
- Pemahaman penggunaan konsep kekekalan energi mekanik jika gaya tak konservatif ikut terlibat.

Pustaka utama

7 Kinetic Energy and Work 125

7-1 Kinetic Energy 125

7-2 Work and Kinetic Energy 127

7-3 Work Done By The Gravitational Force 131

7-4 Work Done By a Spring Force 135

7-5 Work Done By a General Variable Force 138

7-6 Power 142

Review & Summary 144 Problems 145

8 Potential Energy and Conservation of Energy 150

8-1 Potential Energy 150

8-2 Conservation of Mechanical Energy 157

8-3 Reading a Potential Energy Curve 160

8-4 Work Done On a System by An External Force 164

8-5 Conservation of Energy 168

Review & Summary 172 Problems 173

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, "Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition, Global Edition", Wiley, Jan 2020, url <https://www.wiley.com/en-gb/Halliday+and+Resnick's+Principles+of+Physics,+11th+Edition,+Global+Edition-p-9781119454014#content-section> [20220918].

Usaha

Usaha

- Ukuran transfer energi yang terjadi saat sebuah obyek digerakkan melampaui suatu jarak oleh gaya eksternal, dengan sebagiannya diterapkan pada arah perpindahan ([Britannica, 2020](#)).
- Transfer energi ke atau dari suatu benda melalui penerapan gaya sepanjang suatu perpindahan ([Wikipedia, 2022](#)).
- Gaya yang menyebabkan pergerakan -- atau perpindahan -- suatu benda ([ThoughtCo., 2019](#)).

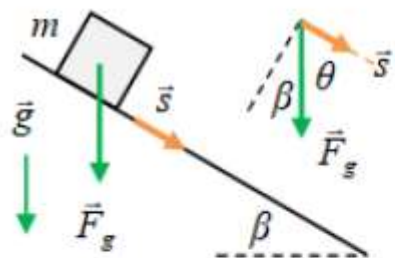
Usaha (lanj.)

- Dihitung secara umum dengan

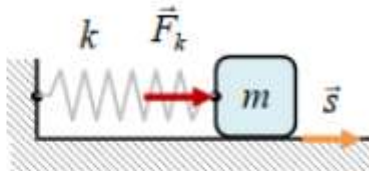
$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}.$$

- Silakan membaca lebih lanjut di url <https://bugx.vercel.app/pages/0240.html>.
- Perhatikan gambar dan tabel pada halaman selanjutnya.

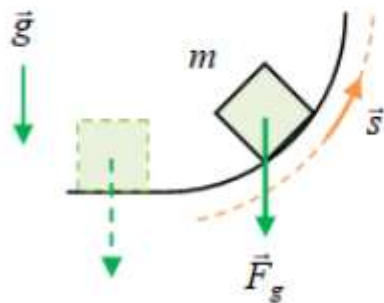
Sparisoma Viridi, "work" in bugx, 07 Dec 2021, url <https://bugx.vercel.app/pages/0240.html> [20220918].



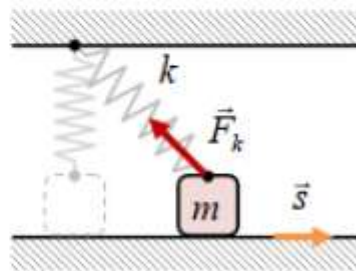
(a)



(b)



(c)



(d)

Kategori	\dot{r}	$\dot{\theta}$	Persamaan	Sistem
I	0	0	(3)	Gaya gravitasi pada benda menurun bidang miring licin
II	1	0	(4)	Gaya pegas horisontal pada benda di lantai mendatar licin
III	0	1	(5)	Gaya gravitasi pada benda menurun lintasan melengkung licin
IV	1	1	(6)	Gaya pegas vertikal pada benda di atas lantai mendatar licin

$$W = \int F(s) \cos \theta(s) ds$$

Contoh-contoh kerja

- Sistem benda bergerak pada bidang mendatar licin, kasar, dengan gaya membentuk sudut terhadap bidang mendatar.
- Gaya pada benda bergerak di atas bidang miring licin, kasar, dan gaya membentuk sudut terhadap bidang miring.
- Gaya pada benda terikat pegas, dan dapat pula terdapat gaya luar, serta rantai kasar.
- Gaya pada benda bergerak di atas bidang lintasan berbentuk lingkaran, dapat pula terdapat gaya luar dan rantai kasar.

Contoh-contoh kerja (lanj.)

- Benda bergerak sambil terikat pada tali ataupun pegas.
- Benda bergerak dalam fluida dan mengalami gaya gesek sebanding dengan kecepatan atau kecepatan kuadrat.
- Kerja oleh gaya tegak lurus perpindahan.
- Gabungan dari sistem-sistem sebelumnya.



Energi

Bentuk energi (U.S. Energy Infor. Admin.)

Forms of energy

Many forms of energy exist, but they all fall into two basic categories:

- Potential energy
 - Kinetic energy
-
- Perhatikan tabel pada halaman selanjutnya.

-, "What is energy? Forms of energy", U.S. Energy Information Administration, 13 Dec 2021,
url <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/forms-of-energy.php> [20220918].

Potential energy

Potential energy is stored energy and the energy of position.

Chemical energy is energy stored in the bonds of atoms and molecules. Batteries, biomass, petroleum, natural gas, and coal are examples of chemical energy. Chemical energy is converted to thermal energy when people burn wood in a fireplace or burn gasoline in a car's engine.

Mechanical energy is energy stored in objects by tension. Compressed springs and stretched rubber bands are examples of stored mechanical energy.

Nuclear energy is energy stored in the nucleus of an atom—the energy that holds the nucleus together. Large amounts of energy can be released when the nuclei are combined or split apart.

Gravitational energy is energy stored in an object's height. The higher and heavier the object, the more gravitational energy is stored. When a person rides a bicycle down a steep hill and picks up speed, the gravitational energy is converting to motion energy. Hydropower is another example of gravitational energy, where gravity forces water down through a hydroelectric turbine to produce electricity.

Kinetic energy

Kinetic energy is the motion of waves, electrons, atoms, molecules, substances, and objects.

Radiant energy is electromagnetic energy that travels in transverse waves. Radiant energy includes visible light, x-rays, gamma rays, and radio waves. Light is one type of radiant energy. Sunshine is radiant energy, which provides the fuel and warmth that make life on earth possible.

Thermal energy, or heat, is the energy that comes from the movement of atoms and molecules in a substance. Heat increases when these particles move faster. Geothermal energy is the thermal energy in the earth.

Motion energy is energy stored in the movement of objects. The faster they move, the more energy is stored. It takes energy to get an object moving, and energy is released when an object slows down. Wind is an example of motion energy. A dramatic example of motion energy is a car crash—a car comes to a total stop and releases all of its motion energy at once in an uncontrolled instant.

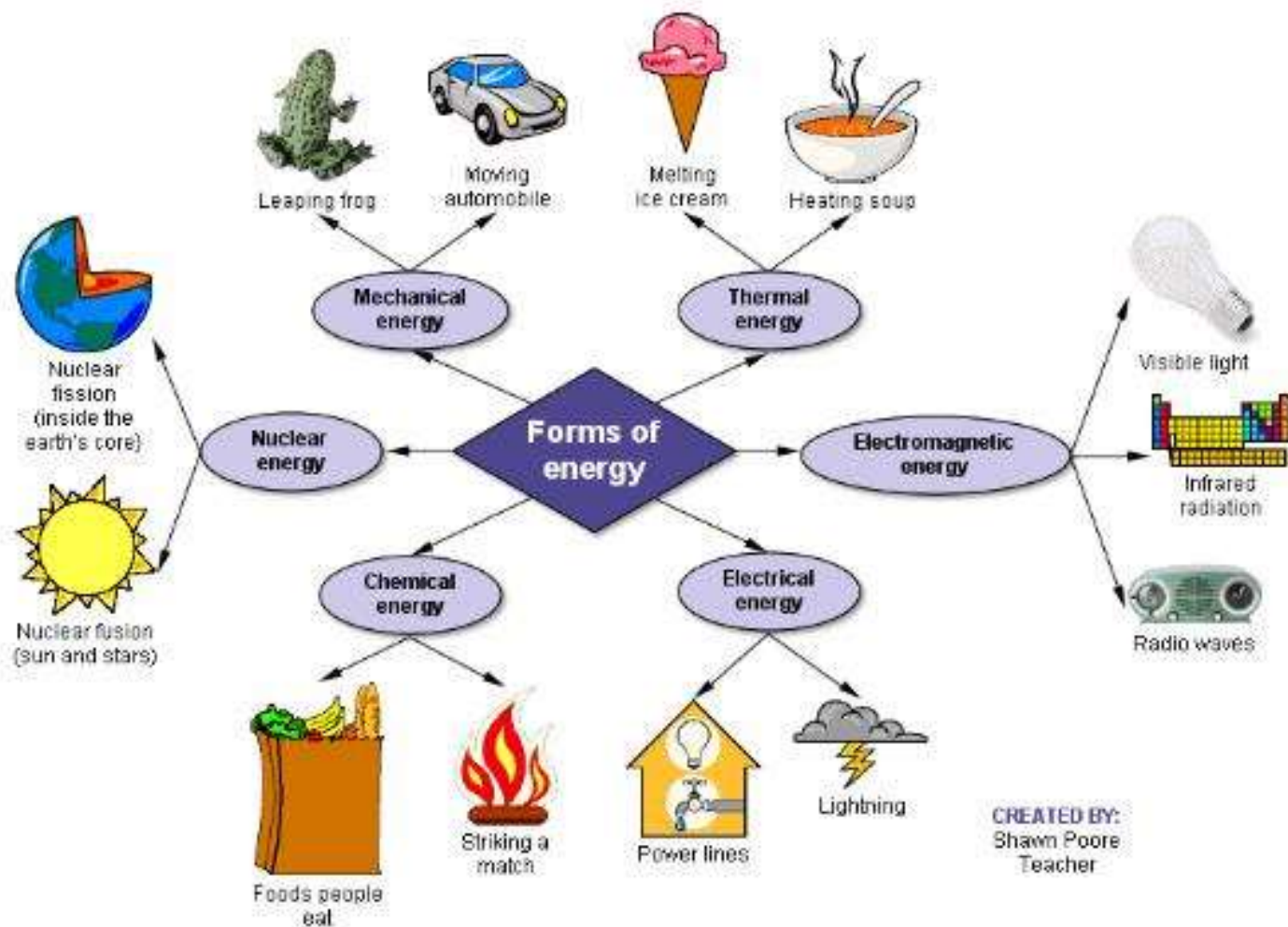
Sound is the movement of energy through substances in longitudinal (compression/rarefaction) waves. Sound is produced when a force causes an object or substance to vibrate. The energy is transferred through the substance in a wave. Typically, the energy in sound is smaller than in other forms of energy.

Electrical energy is delivered by tiny charged particles called electrons, typically moving through a wire. Lightning is an example of electrical energy in nature.

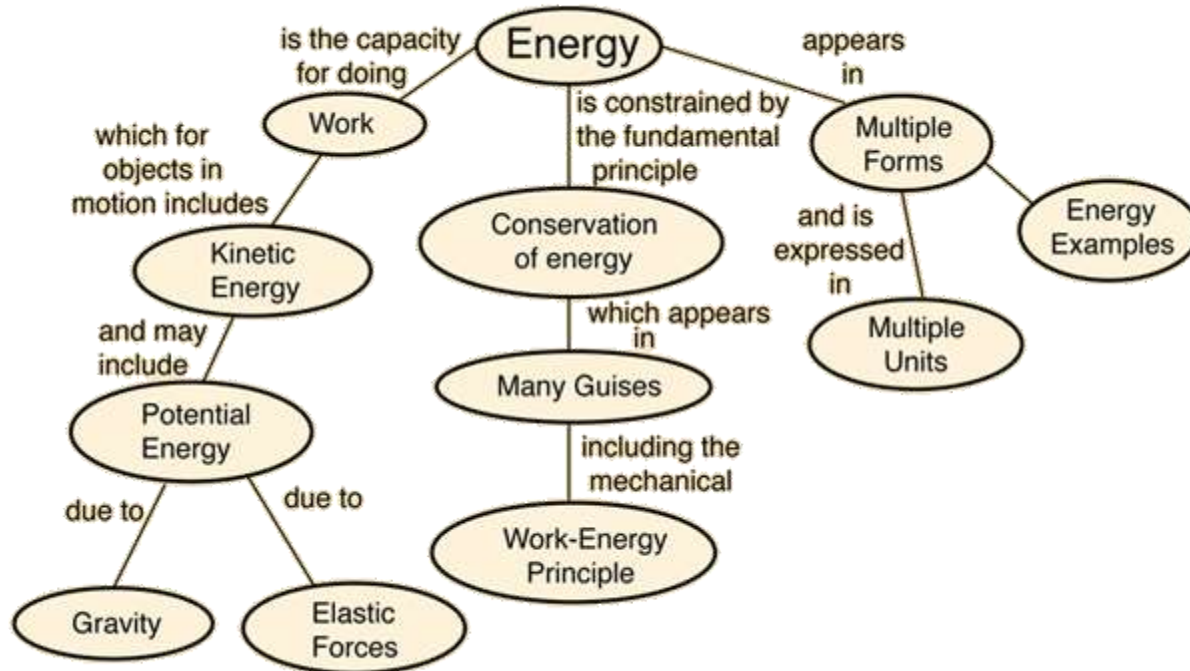
Jenis energi (Orleans Niagara Boces)

- Energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja.
- Bentuk energi: potensial dan kinetik.
- Perhatikan gambar pada slide berikutnya.

-, "Types of energy", Orleans Niagara Boces, 13 Dec 2021,
url <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/forms-of-energy.php> [20220918].



Konsep energi (HyperPhysics)

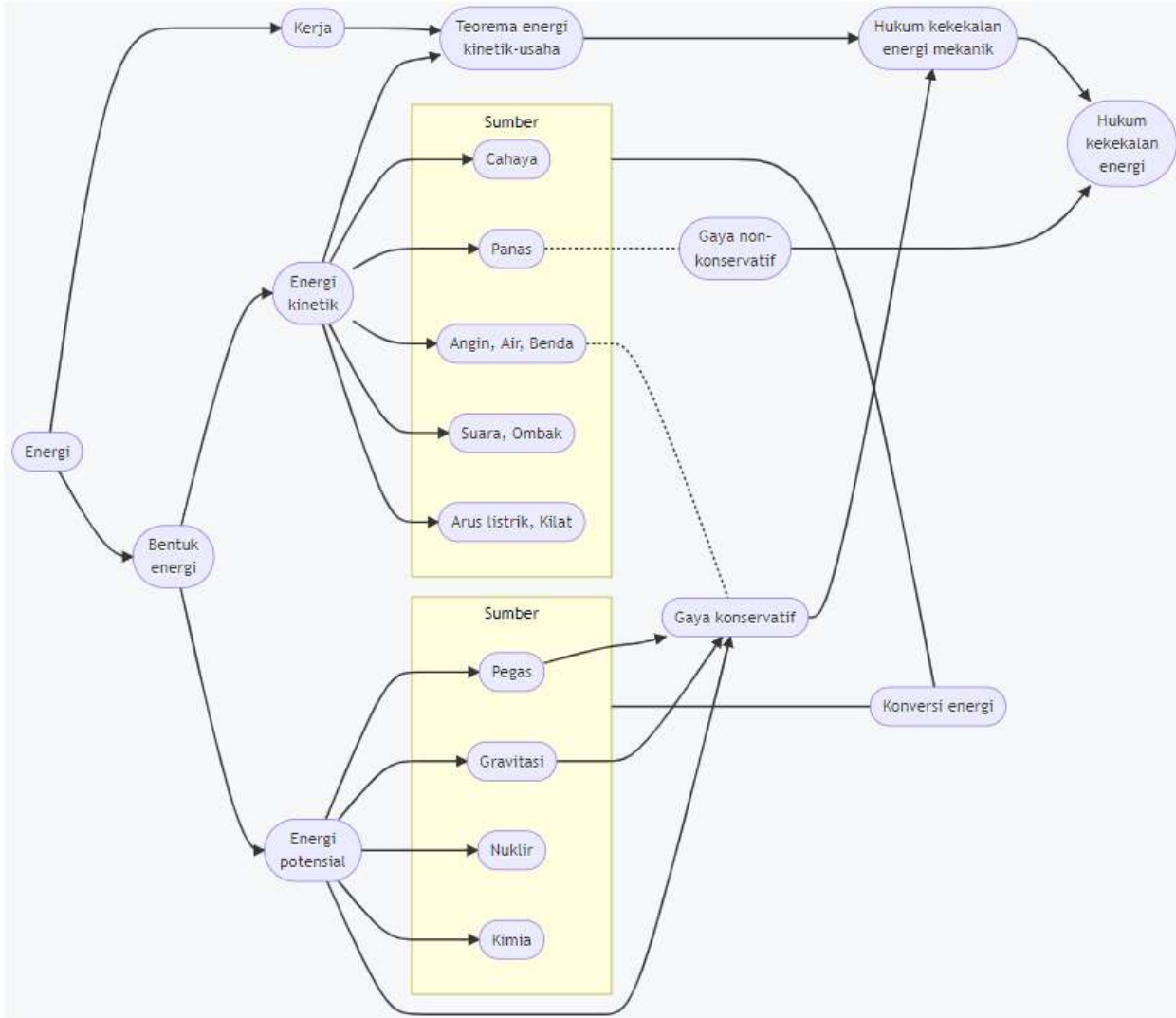


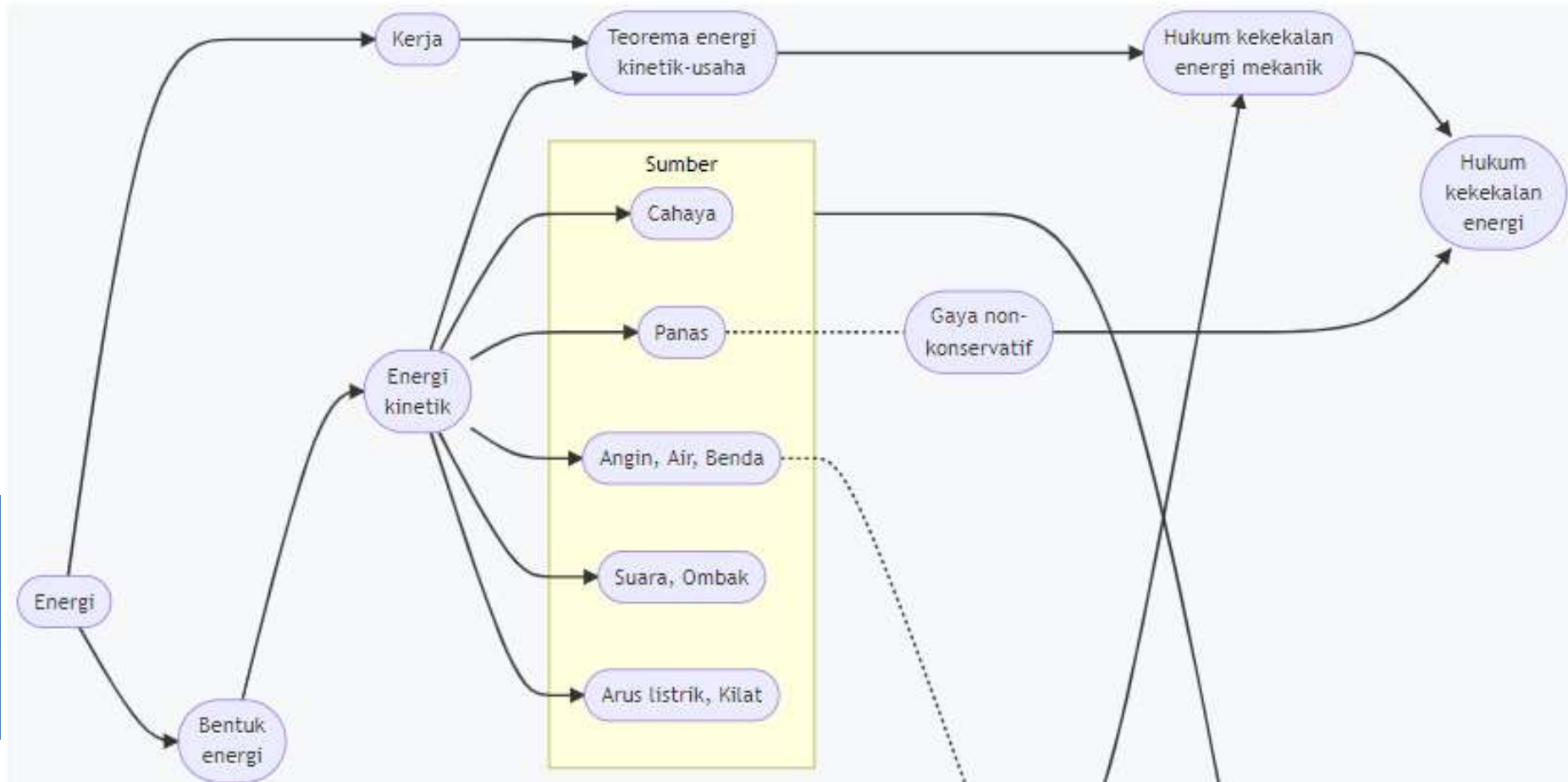
Carl Rod Nave, "HyperPhysics", 2017,
url <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/enecon.html> [20220918].

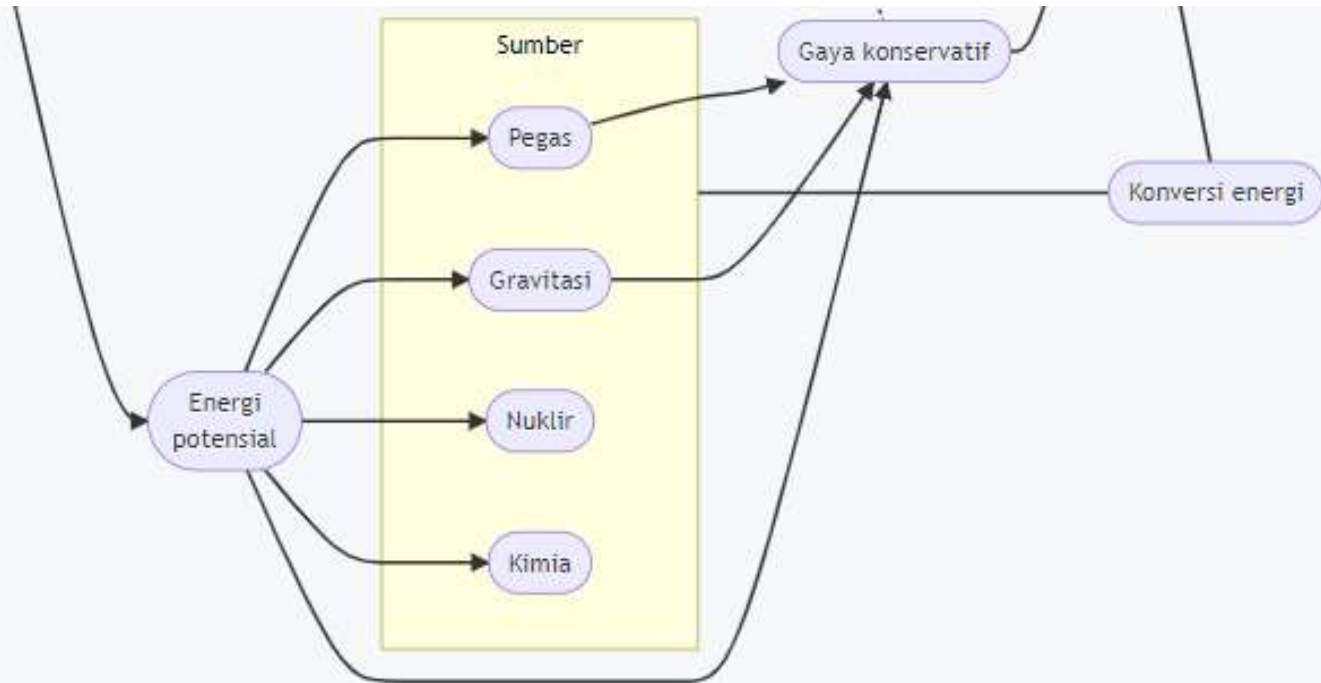
Konsep energi (satuan acara perkuliahan)

- url

<https://github.com/dudung/py-jupyter-notebook/blob/main/phys/energy-concept.md>







Kode mermaid

```
`mermaid
flowchart LR
  %% links
  E --> W
  E --> EF --> KE & PE
  W --> WKET
  KE --> WKET
  WKET & CF --> LCME
  PE --> SE & GE & NE & CE
  SE & GE --> CF
  PE --> CF
  KE --> RE & TE & ME & WE & EE
  ME -. CF
  TE -. NCF
  KEF & PEF ---- EC
  NCF & LCME --> LCE
```

```
%% boxes
subgraph PEF [Sumber]
  SE([ Pegas ])
  GE([ Gravitasi ])
  NE([ Nuklir ])
  CE([ Kimia ])
end
subgraph KEF [Sumber]
  RE([ Cahaya ])
  TE([ Panas ])
  ME([ Angin, Air, Benda ])
  WE([ Suara, Ombak ])
  EE([ Arus listrik, Kilat ])
end
E([ Energi ])
EF([ Bentuk<br>energi ])
```

Kode mermaid (lanj.)

```
KE([ Energi<br>kinetik ])  
PE([ Energi<br>potensial])  
W([ Kerja ])  
WKET([ Teorema energi<br>kinetik-usaha  
  ])  
CF([ Gaya konservatif ])  
LCME([ Hukum kekekalan<br>energi  
  mekanik ])  
EC([ Konversi energi ])  
NCF([ Gaya non-<br>konservatif])  
LCE([ Hukum<br>kekekalan<br>energi ])  
``
```

- Silakan bereksplorasi, misalnya pada laman

<https://github.com/dudung/py-jupyter-notebook/issues/6#issuecomment-1250294100>

Energi kinetik

Energi kinetik

- Energi yang dimiliki oleh benda yang bergerak.
- Fungsi dari massa benda dan kecepatannya

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(\vec{v} \cdot \vec{v})$$

- Fungsi dari momentum dan massanya

$$W = \frac{p^2}{2m} = \frac{(\vec{p} \cdot \vec{p})}{2m}$$

Teorema usaha-energi kinetik

Kinematika dan dinamika (ulas balik)

- Terdapat hubungan antara kecepatan akhir v_2 , kecepatan awal v_1 , percepatan a , dan perpindahan Δx dalam bentuk

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta x = v_1^2 + 2a(x_2 - x_1).$$

- Hukum II Newton

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Teorema usaha – energi kinetik

- Ubah persamaan sebelumnya

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta x$$

$$mv_2^2 = mv_1^2 + 2ma\Delta x$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + ma\Delta x$$

$$K_2 = K_1 + \left(\sum F\right)\Delta x$$

- Gunakan Hukum II Newton

$$K_2 - K_1 = \left(\sum F\right)\Delta x$$

$$\Delta K = W_{\text{net}}$$

Teorema usaha – energi kinetik (lanj.)

- Total kerja oleh semua gaya pada sebuah benda sama dengan perubahan energi kinetik benda

$$\Delta K = W_{\text{net}}$$

$$K_2 - K_1 = \int \left(\sum \vec{F} \right) \cdot d\vec{s}$$

Aplikasi

- Benda bermassa m bergerak di atas bidang mendatar kasar μ_k dan mendapatkan gaya luar mendatar ke kanan F_3 . Kecepatan awal benda v_1 dan kecepatan akhirnya v_2 . Perpindahan benda adalah $x_2 - x_1$.
- Gambarkan sistem benda dan lainai dilengkapi dengan diagram gaya-gaya yang bekerja pada benda.
- Nyatakan gaya-gaya dalam notasi vektor.
- Nyatakan perpindahan dalam notasi vektor.

Aplikasi (lanj.)

- Hitunglah usaha oleh gaya luar W_3 , gaya gesek W_k , gaya gravitasi W_g , dan gaya normal W_N .
- Hitunglah usaha total oleh semua gaya pada benda.
- Hitunglah kecepatan akhir benda.
- Tunjukkan bahwa berlaku teorema usaha – energi kinetik.
- Gunakan:
 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $m = 2 \text{ kg}$, $\mu_k = 0.01$, $F_3 = 1.2 \text{ N}$, $v_1 = 12 \text{ m/s}$,
 $x_1 = 2 \text{ m}$, $x_2 = 27 \text{ m}$.

Energi potensial

Energi potensial

- Energi yang tersimpan dalam benda atau sistem berdasarkan ‘posisi’-nya relatif terhadap suatu acuan.
- ‘Posisi’: posisi, tekanan, muatan, arus, dan besaran-besaran fisis lainnya.

Energi potensial gravitasi

- Dekat permukaan bumi

$$U(y) = mg(y - y_0)$$

- Terhadap suatu mass M

$$U(r) = -GMm\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right)$$

Energi potensial pegas

- Titik kesetimbangan $x = x_0$

$$U(x) = k(x - x_0)^2 / 2$$

- Bila dipilih $x_0 = 0$

$$U(x) = kx^2 / 2$$

Energi medan elektromagnetik

- Pada kapasitor

$$U(q) = \frac{1}{2} C^{-1} (q - q_0)^2$$

- Pada induktor

$$U(I) = \frac{1}{2} L (I - I_0)^2$$

Gaya konservatif

Gaya konservatif

- Energi potensial dan gaya konservatif

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}U \qquad \Delta U = -\int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

- Nabla adalah operator diferensial vektor

$$\vec{\nabla} = \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\vec{\nabla} = \hat{r} \frac{\partial}{\partial r} + \hat{\theta} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} + \hat{\phi} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi}$$

Gaya gravitasi

- Dekat permukaan bumi

$$F(y) = -mg\hat{y}$$

- Terhadap suatu massa M

$$F(r) = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r}$$

Gaya pegas

- Titik kesetimbangan $x = x_0$

$$F(x) = -k(x - x_0)$$

- Bila dipilih $x_0 = 0$

$$F(x) = -kx$$

Hukum kekekalan energi mekanik

Konsep-konsep sebelumnya

- Kerja dan energi potensial

$$\Delta U = -\int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

- Teorema usaha – energi kinetik

$$\int \vec{F} \cdot d\vec{s} = \Delta K$$

Hukum kekekalan energi mekanik

- Substitusi persamaan terakhir ke persamaan sebelumnya

$$\Delta U = -\Delta K$$

$$U_2 - U_1 = -(K_2 - K_1)$$

$$U_2 - U_1 = -K_2 + K_1$$

$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1$$

$$EM_2 = EM_1$$

Gaya non-konservatif

Gaya selain gaya konservatif

- Gaya gesek antar dua benda

$$\vec{f} = -\mu_k N \hat{v}$$

- Gaya gesek fluida

$$\vec{f} = -bv\hat{v}$$

$$\vec{f} = -cv^2\hat{v}$$

- Gaya magnetik

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Hukum kekekalan energi dengan melibatkan gaya tak-konservatif

Hukum kekekalan energi

- Hukum kekekalan energi mekanik

$$\Delta K = \int \vec{F}_{\text{con}} \cdot d\vec{s}$$

$$\Delta K = -\Delta U$$

- Teorema usaha – energi kinetik \rightarrow Hukum kekekalan energi

$$\Delta K = \int \vec{F}_{\text{con}} \cdot d\vec{s} + \int \vec{F}_{\text{non-con}} \cdot d\vec{s}$$

$$\Delta K = -\Delta U + \int \vec{F}_{\text{non-con}} \cdot d\vec{s}$$

Diskusi

Diskusi

- Mari berdiskusi 😊
- Komentar dan saran dapat disampaikan ke <https://github.com/dudung/py-jupyter-notebook/issues/6>



Terima kasih