



# Pembangkit Tenaga Listrik

Pertemuan 2:

**PLTU (Termodinamika)**

Dosen Pengampu:

**Frida Hasana, S.Pd. M.Eng.**



Green Energy and Technology



Yaşar Demirel

# Energy

Production, Conversion, Storage,  
Conservation, and Coupling

 Springer

# PLTU

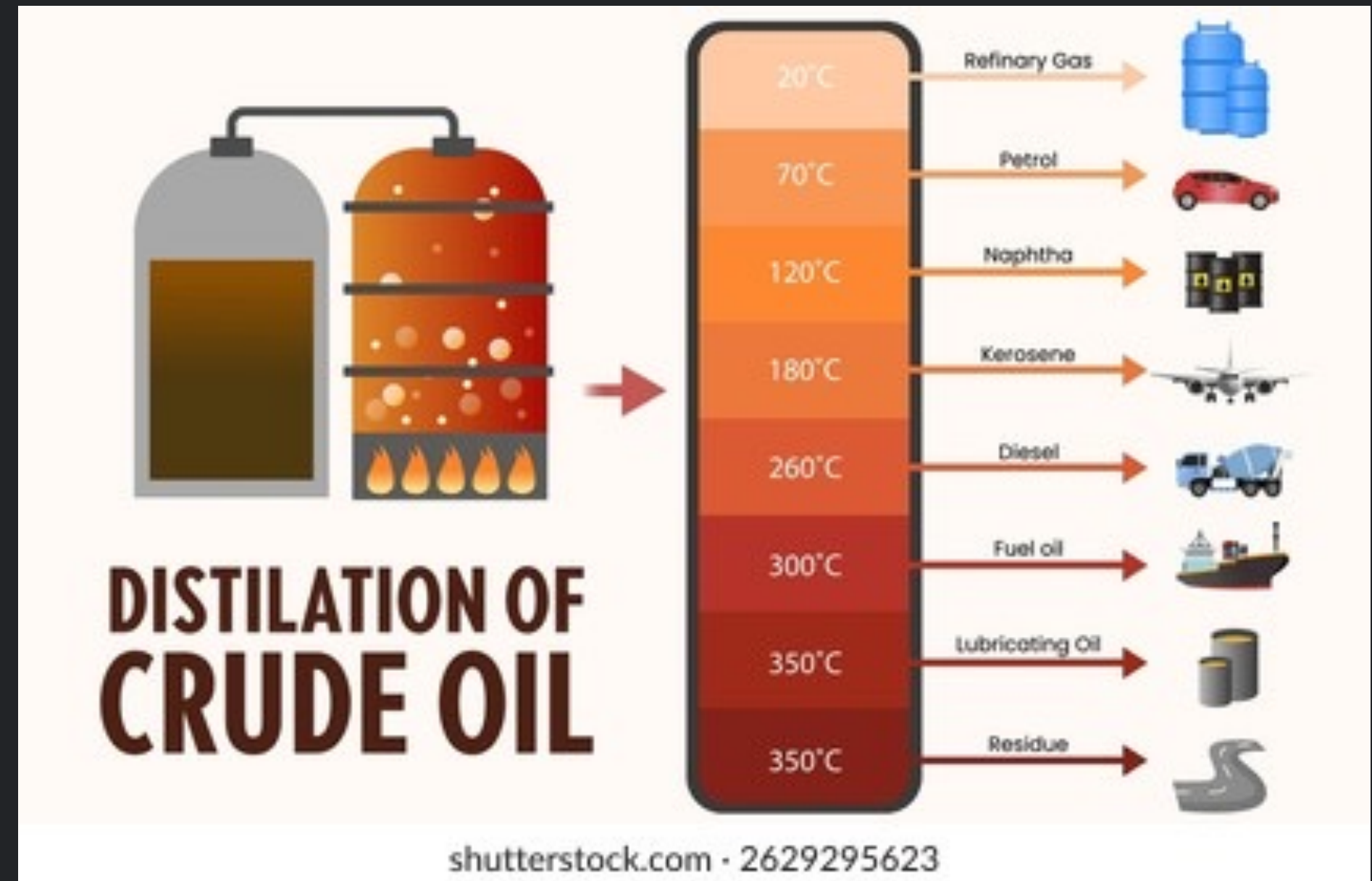
*Acquired from Secondary Source:*

Demirel, Yasar. (2016). ENERGY Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling Second Edition, Springer 2016.

[LINK](#)

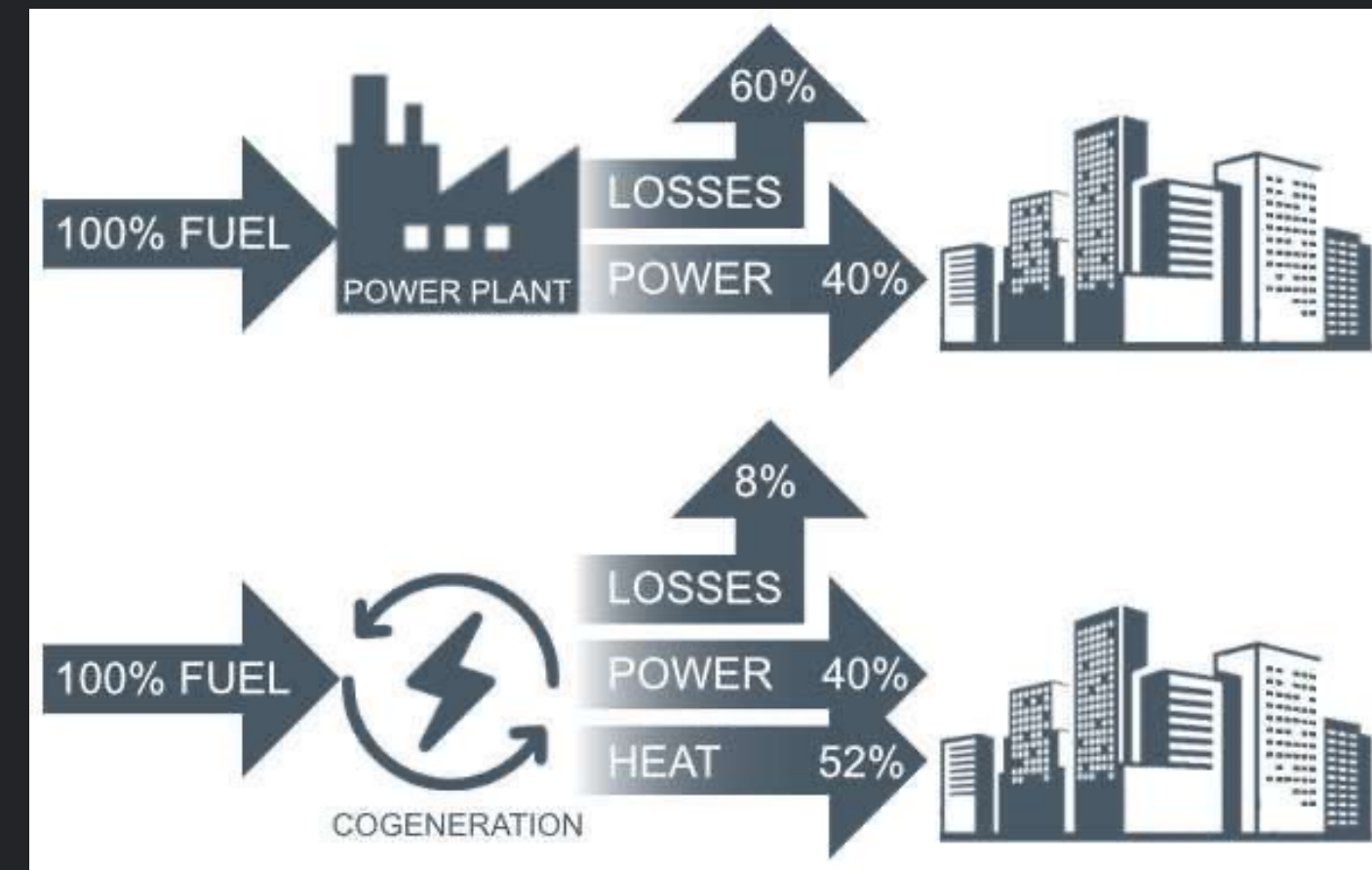
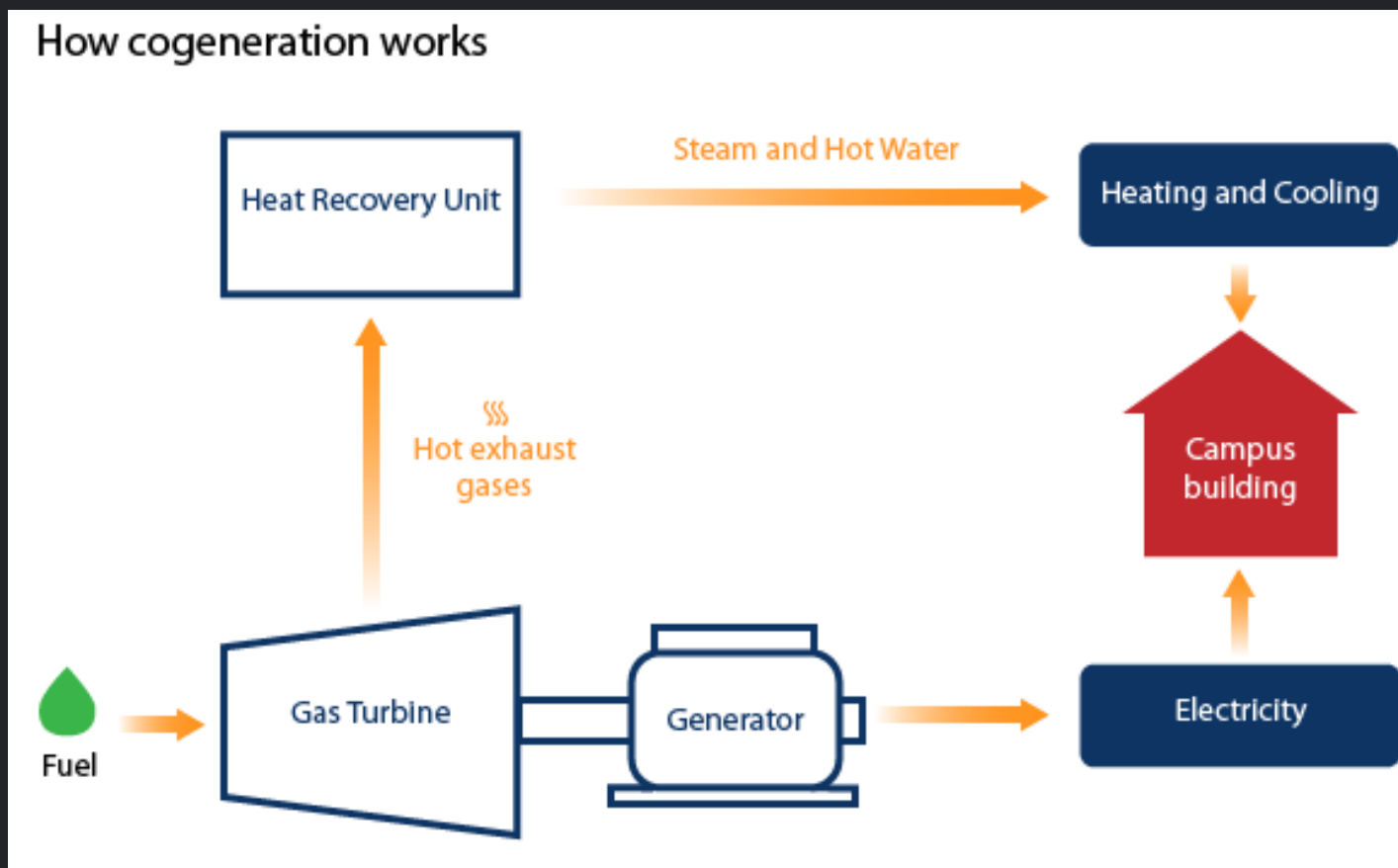
# Energy Production

**Produksi Energi** melibatkan konversi satu bentuk energi ke bentuk lain. Sebagai contoh, sumber energi kimia dari bahan bakar fosil dan sumber daya nuklir digunakan untuk menghasilkan **sekitar 90% listrik dunia**. Minyak bumi (*crude oil*) sebagai bahan bakar fosil adalah sumber energi utama lainnya. Setelah memurnikan minyak bumi menjadi fraksinya, berbagai bahan bakar seperti bensin, kerosin, diesel, dan minyak bakar dihasilkan.



# Energy Production

Ada berbagai bentuk **Produksi Energi** di dunia, masing-masing dengan risiko dan manfaatnya sendiri. Permintaan daya dunia diperkirakan akan meningkat sebesar 60% pada tahun 2030. *Kogenerasi* adalah produksi lebih dari satu bentuk energi yang bermanfaat (seperti *process heat* dan *electric power*) dari sumber energi yang sama.



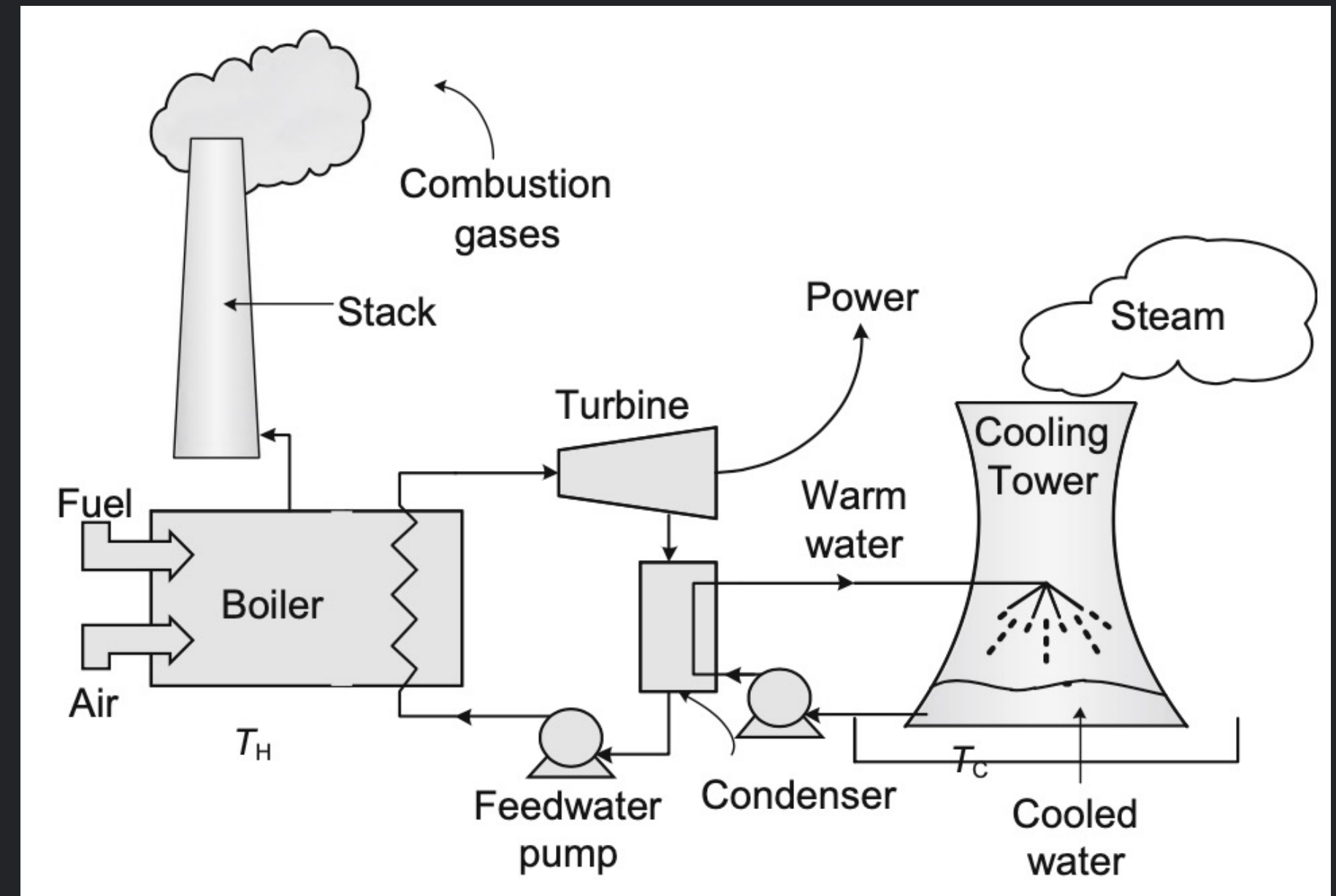
# Electric Power Production



Pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil menghasilkan listrik dengan mengubah **energi bahan bakar fosil menjadi kerja mekanik**. Dua sistem pembangkit listrik utama didasarkan pada siklus turbin uap dan siklus turbin gas yang sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil. Siklus uap bergantung pada **Siklus Rankine** di mana uap bertekanan dan bersuhu tinggi yang dihasilkan dalam boiler diekspansikan melalui turbin yang menggerakkan generator listrik.

# Electric Power Production

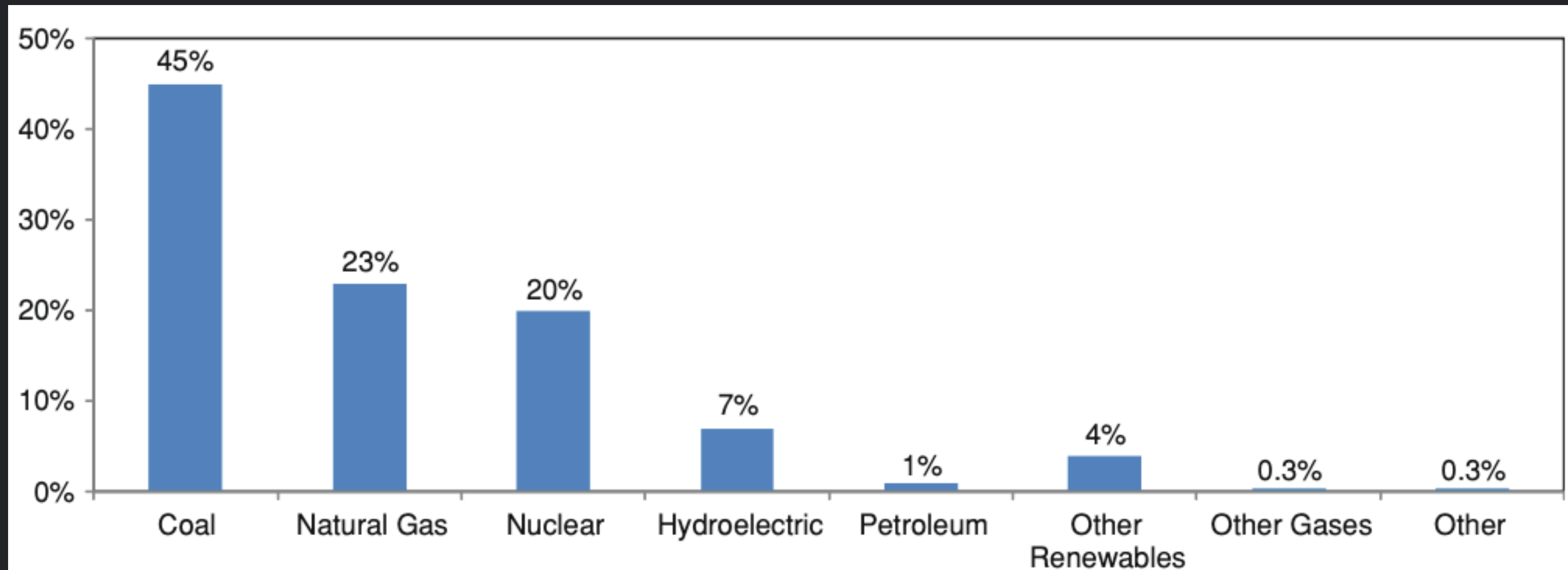
Uap yang keluar dari turbin melepaskan panas kondensasinya di dalam kondensor ke pembuangan panas (*heat sink*) seperti air dari sungai atau danau. Kondensat tersebut dipompa kembali ke dalam boiler untuk memulai kembali siklus baru. Panas yang diserap oleh air pendingin di dalam kondensor sebagian besar dibuang melalui menara pendingin (*cooling towers*) ke atmosfer.



*Schematic of a steam power plant*



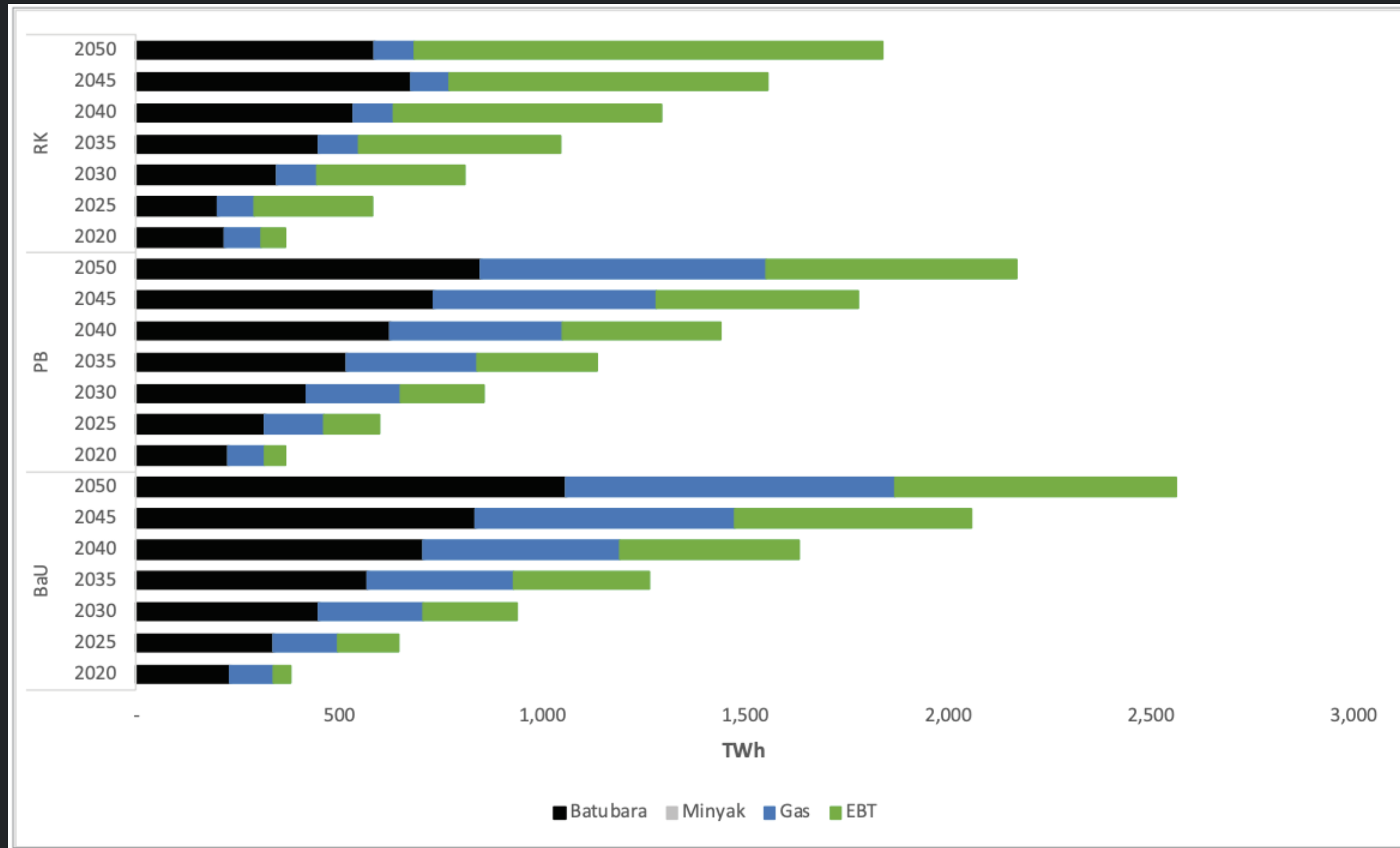
# Electric Power Production



*Energy sources used in electricity production in the U.S. (2011)*



# Electric Power Production



Menggunakan 3 skenario:

1. BaU: Business as Usual
2. PB: pembangunan berkelanjutan
3. RK: rendah karbon



# TERMODINAMIK



# Adiabatik

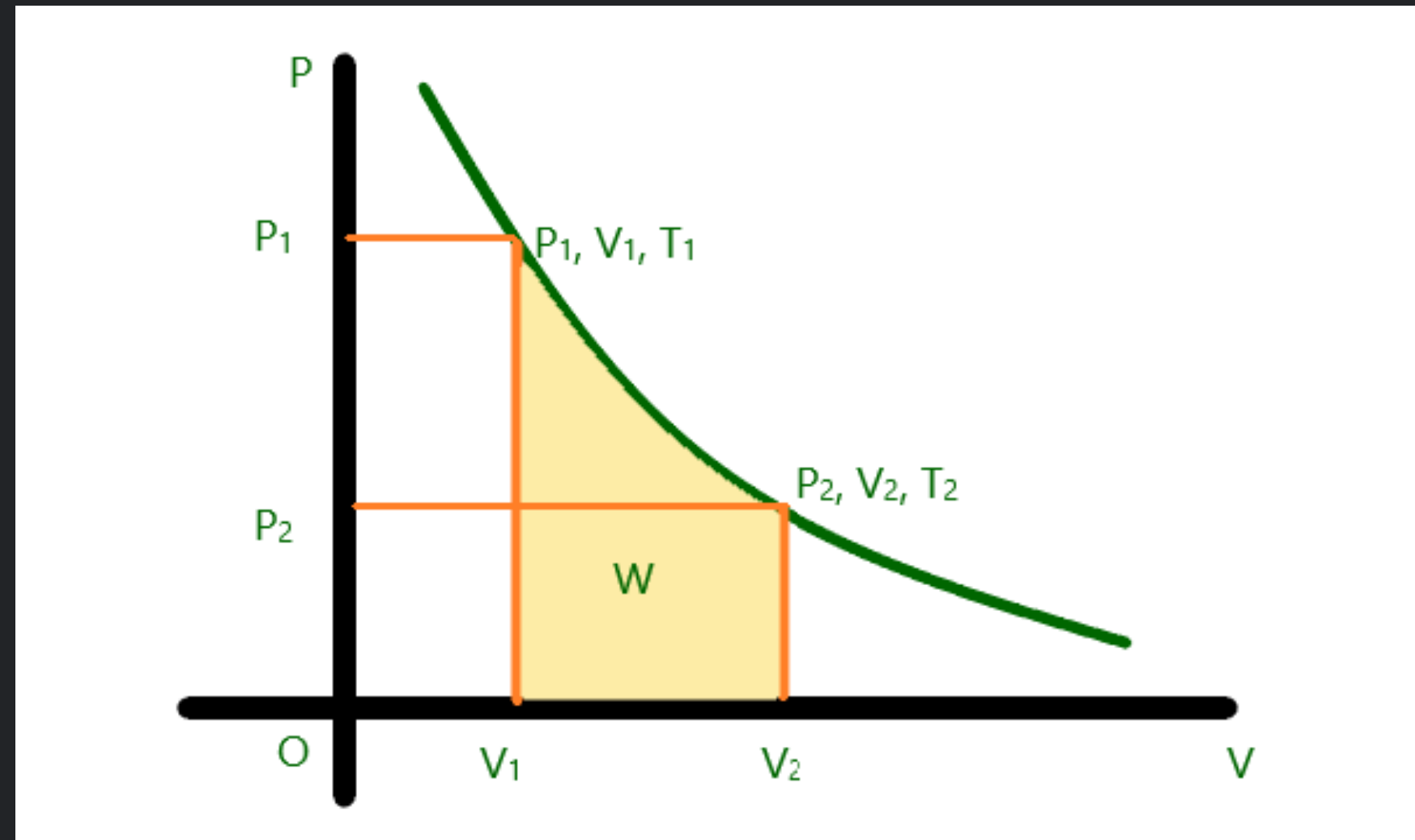
Proses **adiabatik** adalah proses termodinamika di mana **tidak terjadi perpindahan kalor ( $Q = 0$ )** antara sistem dan lingkungan.

$Q=0$  (tidak ada panas masuk/keluar) atau dapat dikatakan **sistem terisolasi sempurna**

Syarat terjadinya proses **adiabatik**:

1. Sistem tersebut harus berupa sistem tertutup
2. Proses tersebut harus berlangsung dengan cepat

# Adiabatik



Keterangan:

- P: pressure
- V: velocity
- T: temperature

Luas area pada grafik menunjukkan jumlah usaha yang dilakukan dalam proses adiabatik.

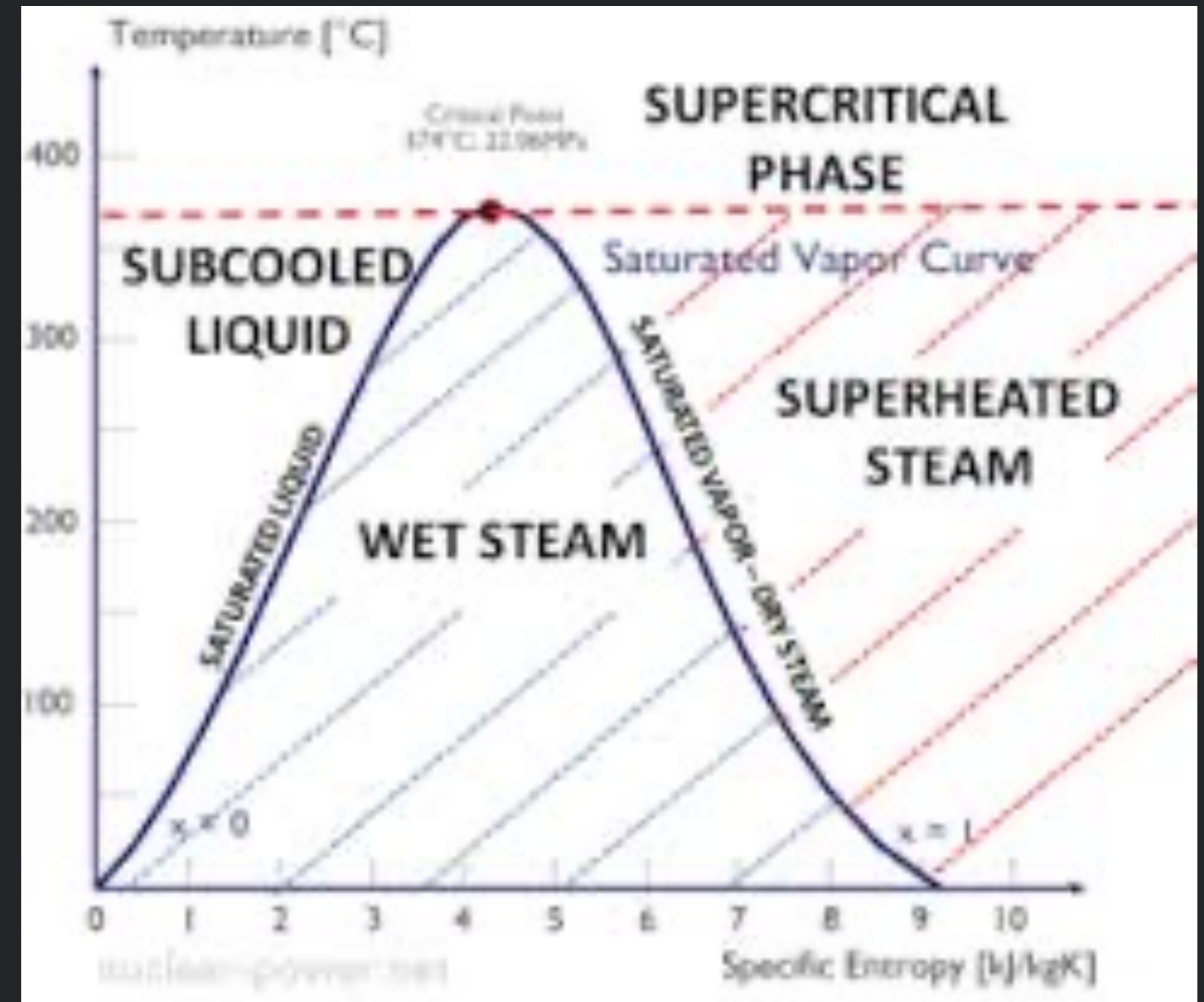


# TERMODINAMIK

1. Saturated Steam
2. Superheated Steam

# SATURATED STEAM

Dalam termodinamika, istilah **saturation** mendefinisikan suatu kondisi di mana campuran **vapor** dan **liquid** dapat berada bersama-sama pada suhu dan tekanan tertentu. Suhu di mana **vaporisation** (pendidihan) mulai terjadi pada tekanan tertentu disebut suhu saturasi atau titik didih. Tekanan di mana penguapan (pendidihan) mulai terjadi pada suhu tertentu disebut tekanan saturasi.

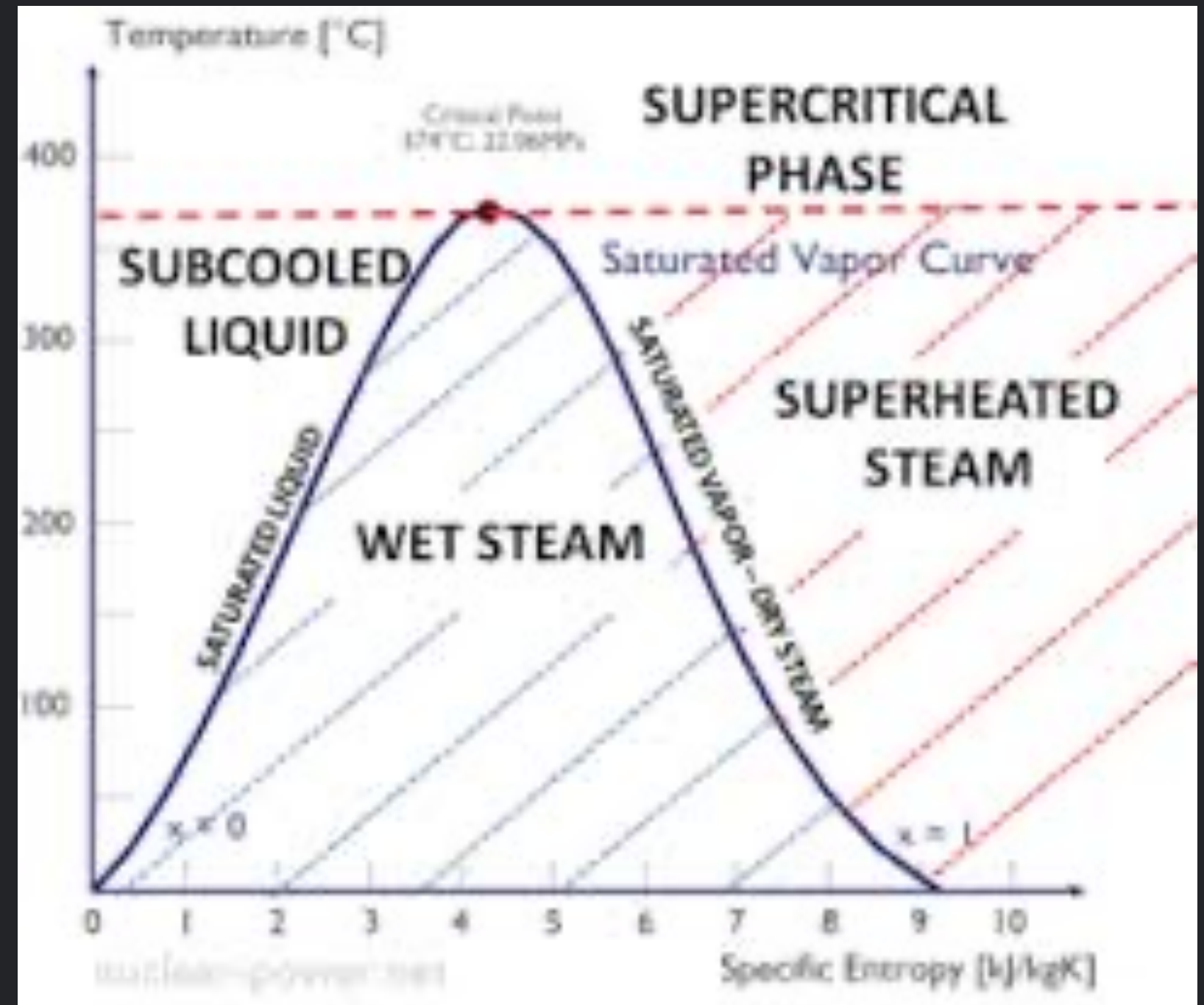


# SATURATED STEAM



Ketika vapor quality sama dengan **0**, itu disebut sebagai keadaan **saturated liquid state**. Di sisi lain, ketika vapor quality sama dengan **1**, itu disebut sebagai keadaan **saturated vapor state** atau **dry steam**. Di antara kedua keadaan ini, kita berbicara tentang **vapor-liquid mixture**.

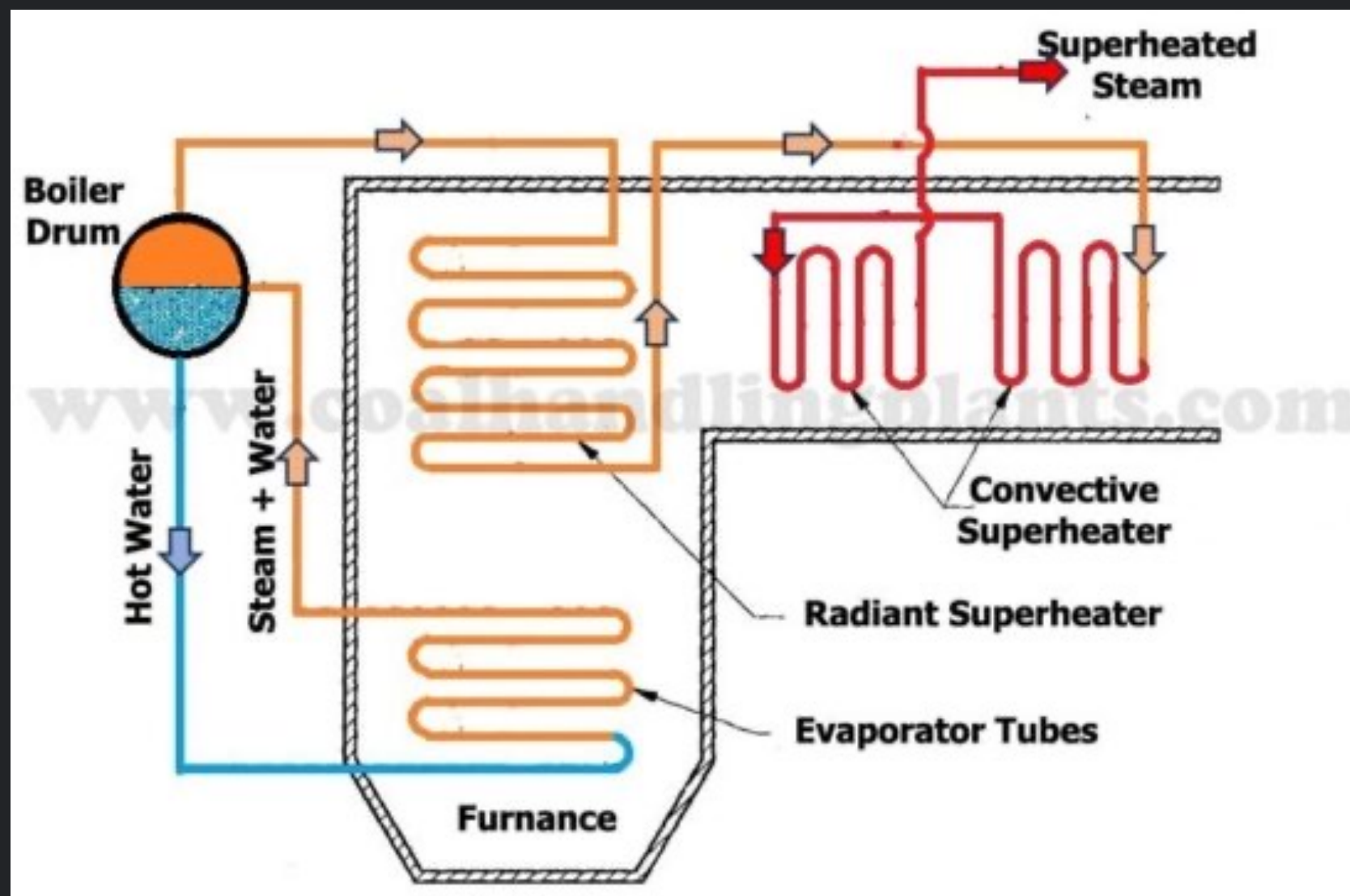
Pada tekanan konstan, penambahan energi tidak mengubah suhu campuran, tetapi kualitas uap dan volume spesifiknya berubah.



# SUPERHEATED STEAM



**Superheated steam** adalah uap yang dihasilkan dengan memanaskan kembali **dry steam** melampaui suhu saturasinya pada tekanan yang sama. Superheated steam sangat penting dalam turbin uap untuk efisiensi dan mencegah **korosi**.



Untuk mencapai **Superheated steam**, **saturated steam** harus melewati **secondary heat exchanger**. Gas buang panas dari boiler merupakan cara efektif untuk memanaskan uap jenuh.



# CONTOH

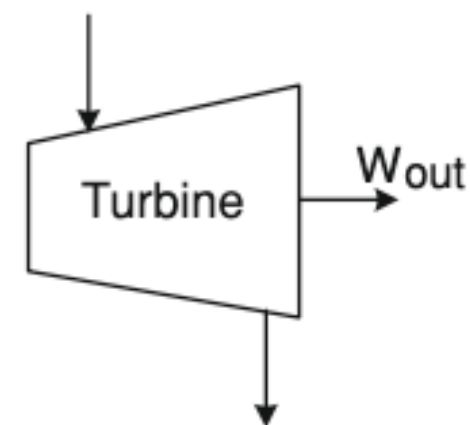
## Power production by an adiabatic steam turbine (p.177)

A superheated steam at 4100 kPa and 300°C expands adiabatically in a steam turbine and exits at 15 kPa with a quality of  $x = 0.9$ . Velocity of the steam at the inlet is 50 m/s and at the exit 160 m/s. Elevation at the inlet is 10 m and at the exit 6 m. Estimate the power produced for the steam flow rate of 1 kg/s.

$$P_1 = 4100 \text{ kPa}, T_1 = 573.15 \text{ K}$$

$$V_1 = 50 \text{ m/s}$$

$$z_1 = 10 \text{ m}$$



$$P_2 = 15 \text{ kPa, Saturated mixture}$$

$$V_2 = 160 \text{ m/s}$$

$$z_2 = 6 \text{ m}$$



Solution:

Assume: Steady-state adiabatic ( $q_{\text{loss}} = 0$ ) process.

Steam flow rate:  $\dot{m}_s = 1 \text{ kg/s}$

From Table F4:

Inlet conditions:  $P_1 = 4100 \text{ kPa}$  and  $T_1 = 300^\circ\text{C}$ ,  $v_1 = 50 \text{ m/s}$ ,  $z_1 = 10 \text{ m}$ ,  
 $H_1 = 2958.5 \text{ kJ/kg}$ ,

Exit conditions: Saturated mixture of liquid and vapor water: (Table F3)

$P_{2,\text{sat}} = 15 \text{ kPa}$ ,  $T_{2,\text{sat}} = 54.0^\circ\text{C}$ ,  $H_{2\text{sat liq}} = 226.0 \text{ kJ/kg}$ ,

$H_{2\text{sat vap}} = 2599.2 \text{ kJ/kg}$ ,  $x = 0.9$ ,  $v_2 = 160 \text{ m/s}$ ,  $z_2 = 6 \text{ m}$

$H_{2\text{mix}} = (1 - x)H_{\text{sat liq}} + xH_{\text{sat vap}} = (1 - 0.9)226 \text{ kJ/kg} + (0.9)2599.2 \text{ kJ/kg}$   
 $= 2361.9 \text{ kJ/kg}$



$$\text{Energy balance: } W_{\text{out}} = \dot{m} \left( \Delta H + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z \right)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = (2361.9 - 2958.5) \text{ kJ/kg} = -596.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta KE = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \left( \frac{160^2 - 50^2}{2} \right) \text{ m}^2/\text{s}^2 \left( \frac{\text{kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 11.55 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta PE = g(z_2 - z_1) \left( \frac{\text{kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 9.81(6 - 10) \text{ m}^2/\text{s}^2 \left( \frac{\text{kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = -0.04 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{out}} = \dot{m} \left( \Delta H + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z \right) = (1 \text{ kg/s})(-596.6 + 11.5 - 0.04) \text{ kJ/kg} = -585.1 \text{ kW}$$

Dalam fisika dan termodinamika, tanda negatif menunjukkan arah aliran energi:

- **Positif (+):** Sistem melakukan kerja ke lingkungan (energi keluar dari sistem) contohnya pada turbin.
- **Negatif (-):** Lingkungan melakukan kerja pada sistem (energi masuk ke sistem) contohnya pada kompresor atau pompa.



	$P = 4100 \text{ kPa}, T_{\text{sat}} = 251.80 \text{ }^\circ\text{C}$				$P = 4200 \text{ kPa}, T_{\text{sat}} = 253.24 \text{ }^\circ\text{C}$			
Sat liq	1.256	1089.4	1094.6	2.8099	1.259	1096.3	1101.6	2.8231
Sat. vap	48.500	2601.0	2799.9	6.0583	47.307	2600.7	2799.4	6.0482

(continued)

Appendix F: Steam Tables

491

**Table F4** (continued)

$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	$V \text{ (cm}^3\text{/g)}$	$U \text{ (kJ/kg)}$	$H \text{ (kJ/kg)}$	$S \text{ (kJ/kg K)}$	$V \text{ (cm}^3\text{/g)}$	$U \text{ (kJ/kg)}$	$H \text{ (kJ/kg)}$	$S \text{ (kJ/kg K)}$
260	50.150	2624.6	2830.3	6.1157	48.654	2620.4	2824.8	6.0962
275	52.955	2664.5	2881.6	6.2107	51.438	2661.0	2877.1	6.1929
300	57.191	2724.0	2958.5	6.3480	55.625	2721.4	2955.0	6.3320
325	61.057	2777.7	3028.0	6.4667	59.435	2775.6	3025.2	6.4519
350	64.680	2827.6	3092.8	6.5727	62.998	2825.8	3090.4	6.5587
375	68.137	2875.0	3154.4	6.6697	66.392	2873.6	3152.4	6.6563
400	71.476	2920.9	3214.0	6.7600	69.667	2919.7	3212.3	6.7469
425	74.730	2965.9	3272.3	6.8450	72.856	2964.8	3270.8	6.8323
450	77.921	3010.4	3329.9	6.9260	75.981	3009.4	3328.5	6.9135
475	81.062	3054.6	3387.0	7.0037	79.056	3053.7	3385.7	6.9913
500	84.165	3098.8	3443.9	7.0785	82.092	3097.9	3442.7	7.0662
525	87.236	3143.0	3500.7	7.1508	85.097	3142.3	3499.7	7.1387
550	90.281	3187.5	3557.6	7.2210	88.075	3186.8	3556.7	7.2090



**Table F3** (continued)

<i>T</i> (K)	<i>P<sup>sat</sup></i> (kPa)	Spec. vol. <i>V</i> (cm <sup>3</sup> /g)		Int. energy <i>U</i> (kJ/kg)		Enthalpy <i>H</i> (kJ/kg)		Entropy <i>S</i> (kJ/kg K)	
		<i>V<sub>f</sub></i>	<i>V<sub>g</sub></i>	<i>U<sub>f</sub></i>	<i>U<sub>g</sub></i>	<i>H<sub>f</sub></i>	<i>H<sub>g</sub></i>	<i>S<sub>f</sub></i>	<i>S<sub>g</sub></i>
322.15	11.74	1.012	12620.0	205.1	2442.3	205.1	2590.4	0.6906	8.0950
323.15	12.34	1.012	12050.0	209.2	2443.6	209.3	2592.2	0.7035	8.0776
324.15	12.96	1.013	11500.0	213.4	2444.9	213.4	2593.9	0.7164	8.0603
325.15	13.61	1.013	10980.0	217.6	2446.2	217.6	2595.7	0.7293	8.0432
326.15	14.29	1.014	10490.0	221.8	2447.6	221.8	2597.5	0.7422	8.0262
327.15	15.00	1.014	10020.0	226.0	2448.9	226.0	2599.2	0.7550	8.0093
328.15	15.74	1.015	9578.9	230.2	2450.2	230.2	2601.0	0.7677	7.9925
329.15	16.51	1.015	9158.7	234.3	2451.5	234.4	2602.7	0.7804	7.9759
330.15	17.31	1.016	8759.8	238.5	2452.8	238.5	2604.5	0.7931	7.9595
331.15	18.15	1.016	8380.8	242.7	2454.1	242.7	2606.2	0.8058	7.9431
332.15	19.02	1.017	8020.8	246.9	2455.4	246.9	2608.0	0.8184	7.9269
333.15	19.92	1.017	7678.5	251.1	2456.8	251.1	2609.7	0.8310	7.9108
334.15	20.86	1.018	7353.2	255.3	2458.1	255.3	2611.4	0.8435	7.8948
335.15	21.84	1.018	7043.7	259.4	2459.4	259.5	2613.2	0.8560	7.8790
336.15	22.86	1.019	6749.3	263.6	2460.7	263.6	2614.9	0.8685	7.8633
337.15	23.91	1.019	6469.0	267.8	2462.0	267.8	2616.6	0.8809	7.8477
338.15	25.01	1.020	6202.3	272.0	2463.2	272.0	2618.4	0.8933	7.8322
339.15	26.15	1.020	5948.2	276.2	2464.5	276.2	2620.1	0.9057	7.8168
340.15	27.33	1.021	5706.2	280.4	2465.8	280.4	2621.8	0.9180	7.8015
341.15	28.56	1.022	5475.6	284.6	2467.1	284.6	2623.5	0.9303	7.7864
342.15	29.84	1.022	5255.8	288.8	2468.4	288.8	2625.2	0.9426	7.7714
343.15	31.16	1.023	5046.3	292.9	2469.7	293.0	2626.9	0.9548	7.7565
344.15	32.53	1.023	4846.4	297.1	2470.9	297.2	2628.6	0.9670	7.7417
345.15	33.96	1.024	4655.7	301.3	2472.2	301.4	2630.3	0.9792	7.7270
346.15	35.43	1.025	4473.7	305.5	2473.5	305.5	2632.0	0.9913	7.7124

(continued)



END