



Pembangkit Tenaga Listrik

Pertemuan 3:
PLTU (Engine Cycles)

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](#)

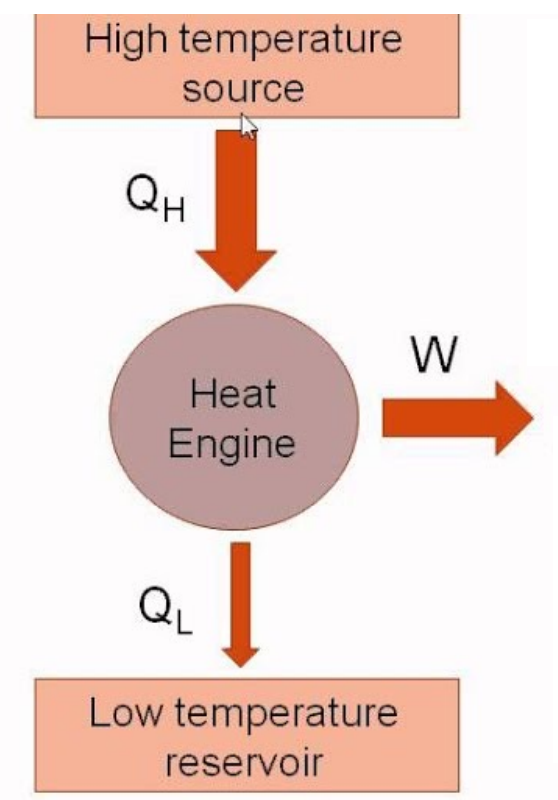


Power Producing Engine Cycles

Sistem yang digunakan untuk menghasilkan output daya disebut **engine** (mesin). Sebagian besar mesin penghasil daya beroperasi dengan proses **cyclic** (siklik) menggunakan **fluida** kerja. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan **air** sebagai fluida kerja. Siklus mesin yang sebenarnya sangat kompleks untuk dianalisis. Oleh karena itu, sudah menjadi hal yang umum untuk menganalisis siklus tersebut dengan berasumsi bahwa mereka **beroperasi tanpa gesekan, kehilangan panas, dan kompleksitas lainnya**. Siklus seperti ini dikenal sebagai **ideal engine**. Analisis mesin ideal menghasilkan parameter operasi utama yang mengontrol kinerja siklus.

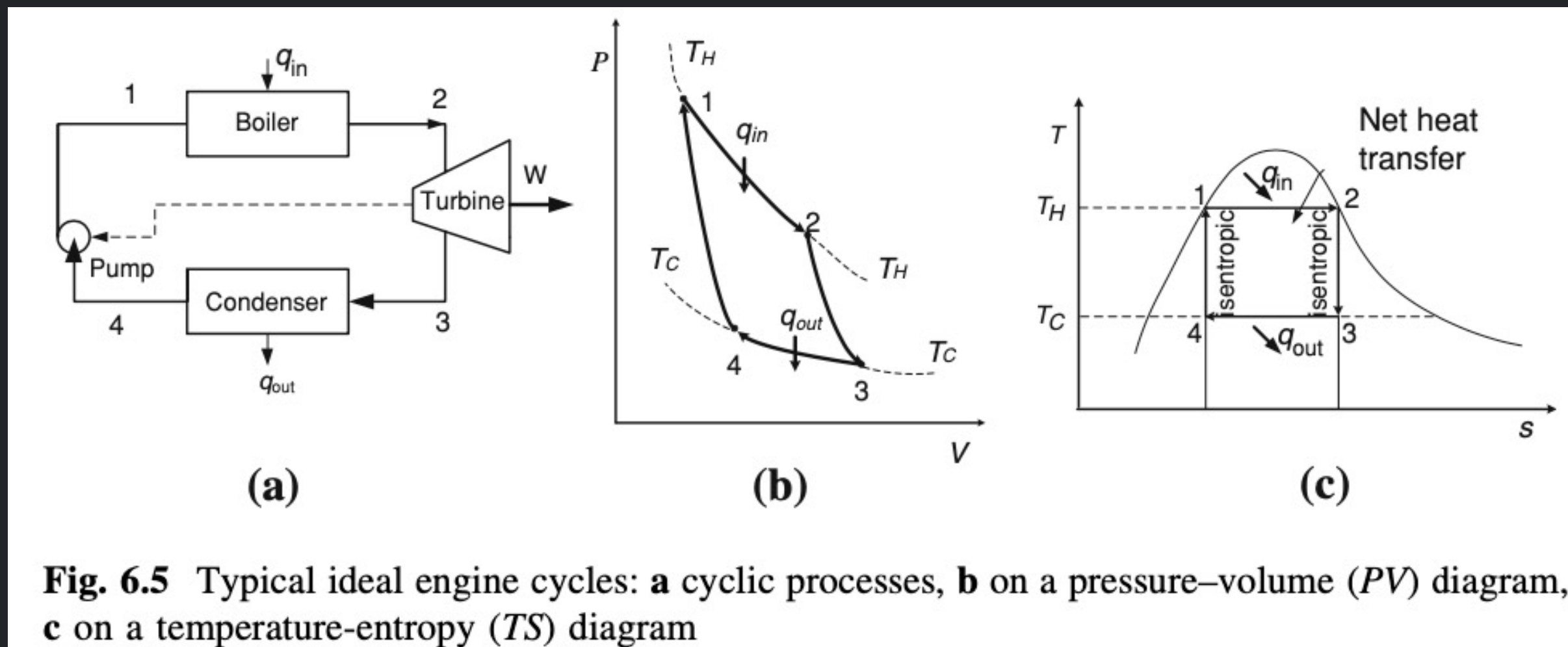
Sebagai contoh, sebuah **heat engine**, mengubah panas menjadi energi mekanik dengan membawa fluida kerja dari kondisi suhu tinggi (T_H) ke kondisi suhu yang lebih rendah (T_C).

A General Heat Engine Model



Power Producing Engine Cycles

Gambar 6.5 menunjukkan diagram pressure-volume (PV) dan temperature-entropy (TS) tipikal dari siklus mesin ideal. Pada kedua diagram (PV) dan (TS), area yang melingkupi kurva proses dari suatu siklus merepresentasikan **Work net** yang dihasilkan selama siklus tersebut, yang setara dengan perpindahan **heat net** untuk siklus tersebut.

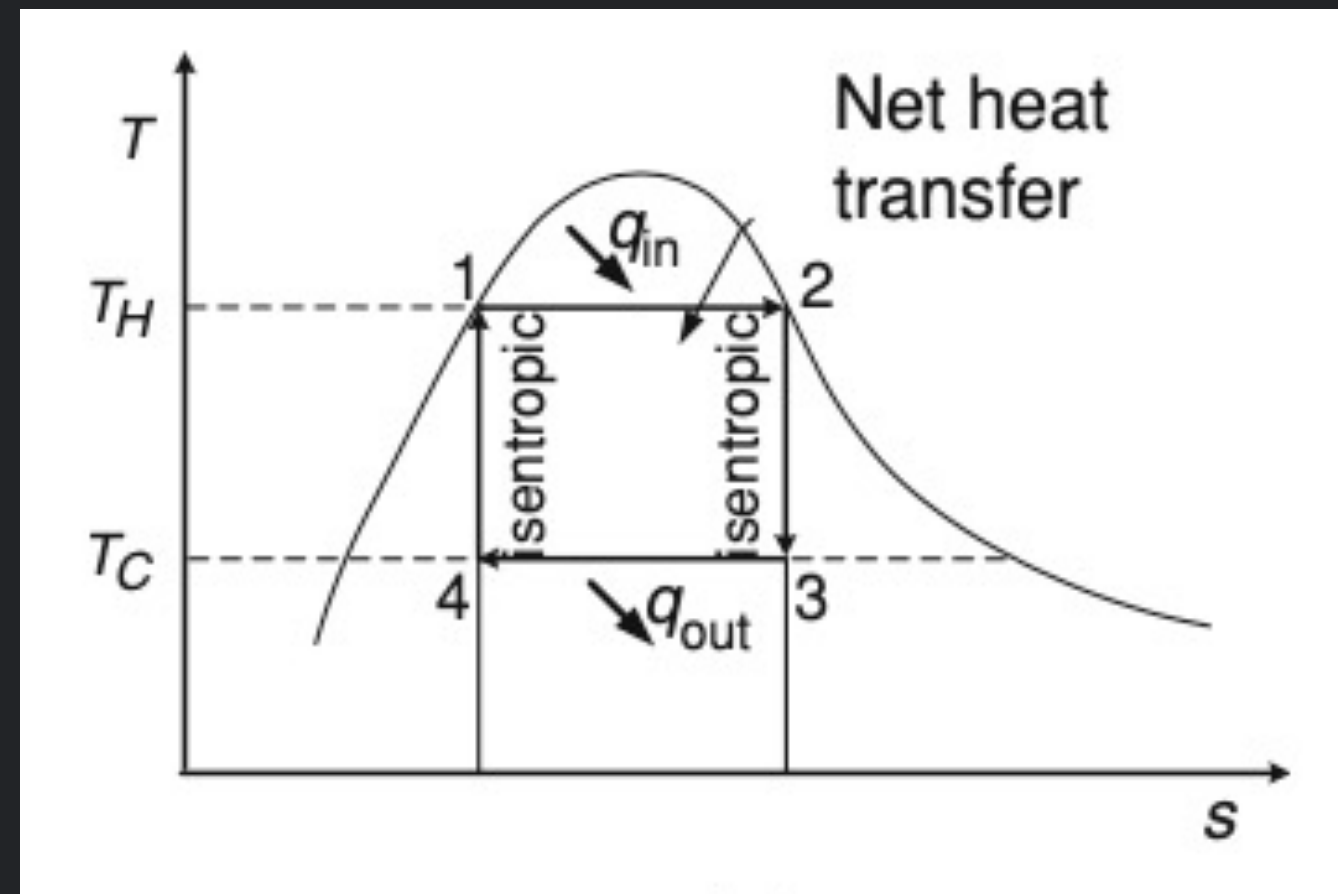


Keterangan:

T_H : suhu tinggi

T_C : suhu rendah

Temperature-Entropy Diagram

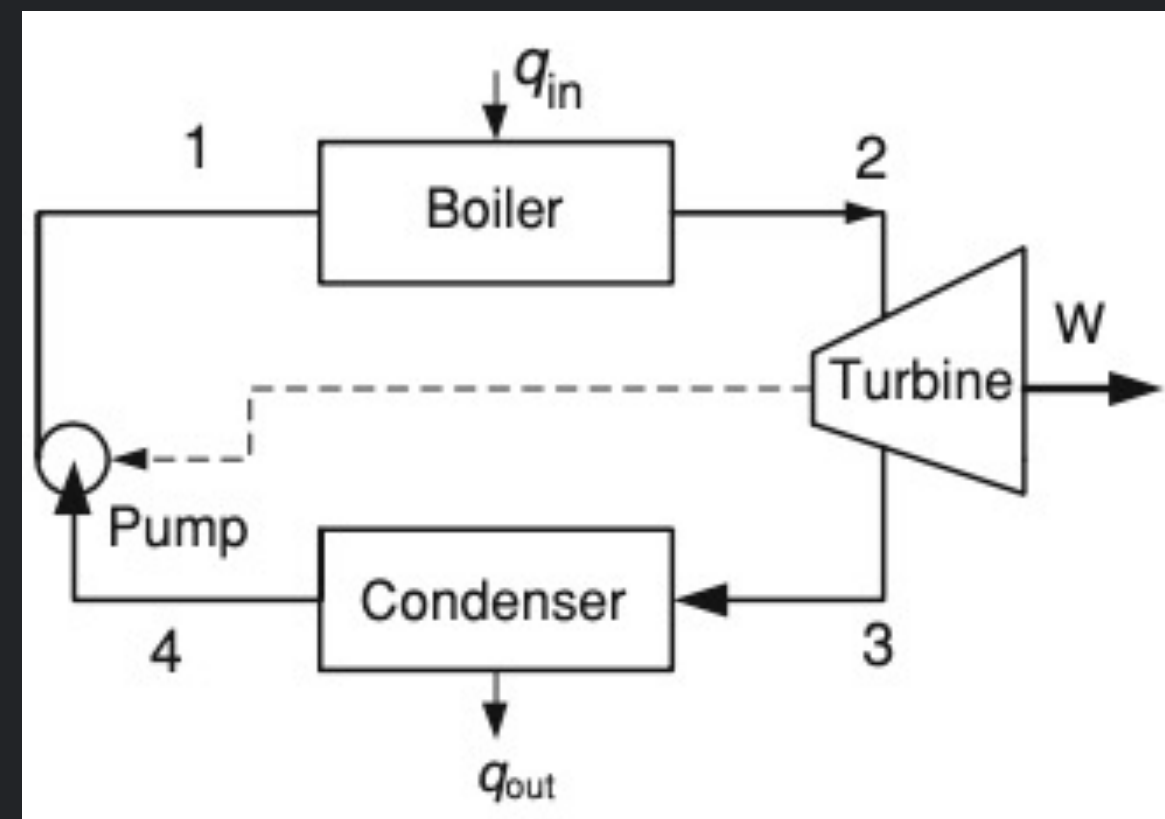
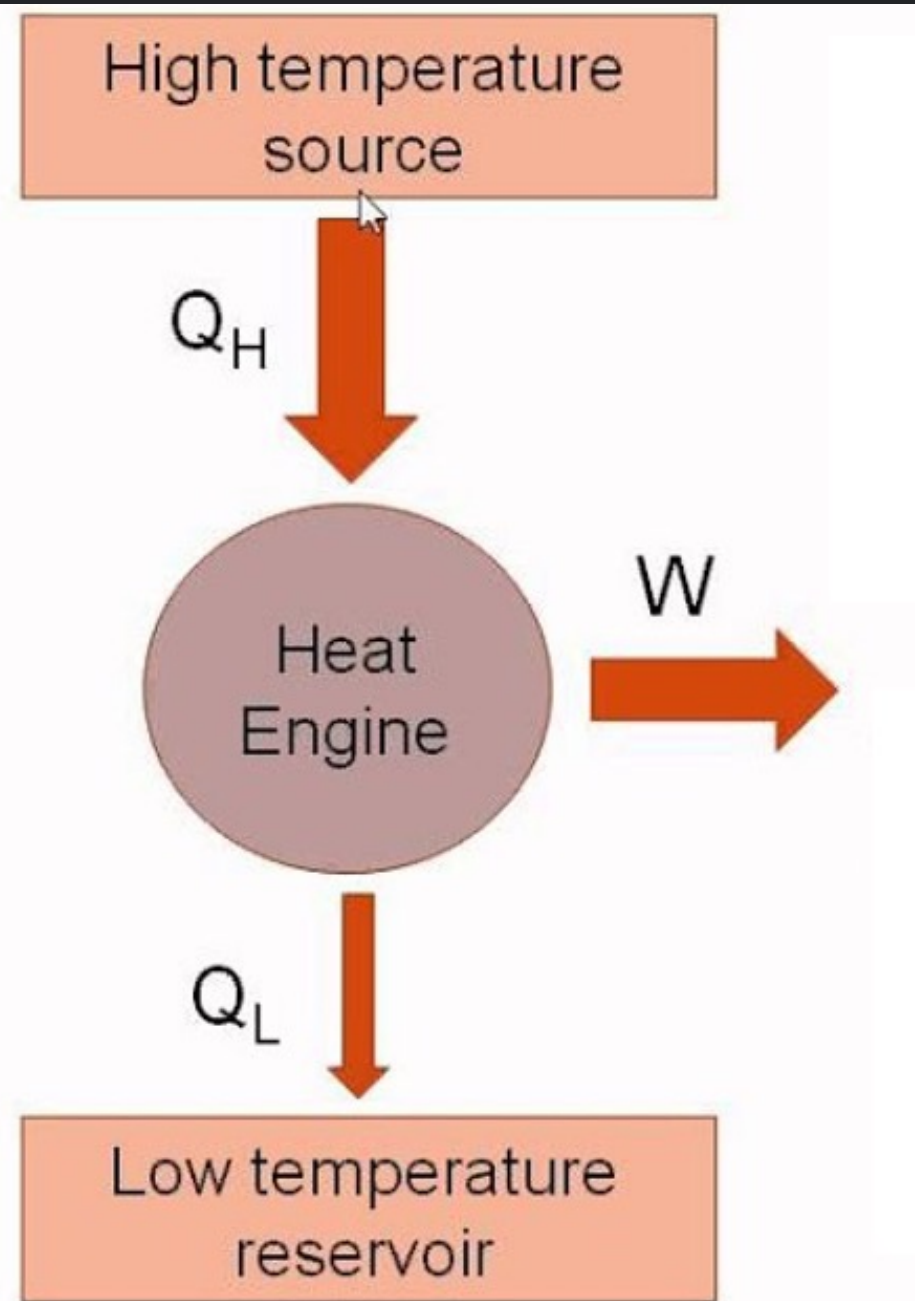


Luas area di bawah proses **penambahan panas** pada diagram (TS) mengukur **total heat input**, dan luas area di bawah proses **pembuangan panas** mengukur **total heat output**. Perbedaan antara kedua area ini merepresentasikan **Net Heat Transfer** dan juga **Net Work Output**. Oleh karena itu, setiap modifikasi yang meningkatkan laju Net Heat Transfer juga akan meningkatkan Net Work Output.

Contoh 1. mengilustrasikan analisis output daya dari pembangkit listrik tenaga uap

Fluid Flow Rate

Sebuah "sumber" panas memanaskan fluida kerja dalam kondisi suhu tinggi. Fluida kerja menghasilkan **Work** di dalam mesin sambil memindahkan sisa panas ke "pembuangan" (*sink*) yang lebih dingin hingga mencapai kondisi suhu rendah.



Fluida kerja biasanya berupa **liquid** atau **gas**. Selama pengoperasian mesin, sebagian energi termal diubah menjadi **Work** dan energi yang tersisa hilang ke pembuangan panas, terutama ke lingkungan sekitar secara umum.

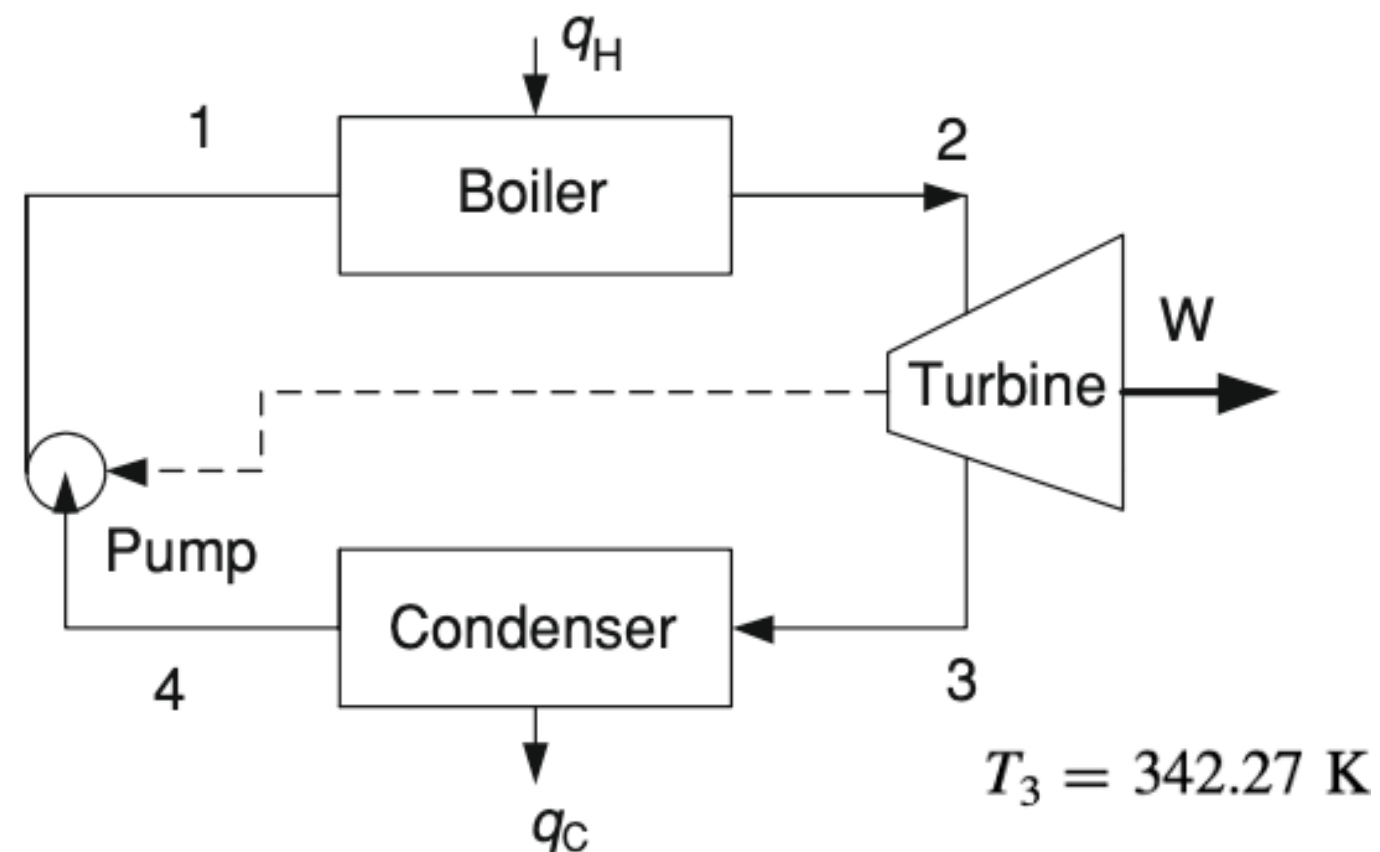


CONTOH

Steam power production (p.181)

A steam power production plant uses steams at 8200 kPa and 823.15 K. The turbine discharges the steam at 30 kPa. The turbine and pump operate reversibly and adiabatically. Determine the work produced for every kg steam produced in the boiler.

Quality of $x = 1$





CONTOH

Solution:

Assume that the turbine and the pump operate reversibly and adiabatically; no pressure drop across condenser and boiler; only heat transfer occurs at condenser and boiler.

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

Steam data from Table F4:

Turbine inlet: $P_2 = 8200 \text{ kPa}$; $T_2 = 823.15 \text{ K}$; $H_2 = 3517.8 \text{ kJ/kg}$;

$S_2 = 6.8646 \text{ kJ/kg K}$

Turbine outlet: $P_3 = 30 \text{ kPa}$; $T_3 = 342.27 \text{ K}$, $V_4 = 0.001022 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Table F3)

$H_{3\text{sat liq}} = 289.30 \text{ kJ/kg}$, $H_{3\text{sat vap}} = 2625.4 \text{ kJ/kg}$

$S_{3\text{sat liq}} = 0.9441 \text{ kJ/kg K}$, $S_{3\text{sat vap}} = 7.7695 \text{ kJ/kg K}$

**Table F4** (continued)

T (°C)	V (cm ³ /g)	U (kJ/kg)	H (kJ/kg)	S (kJ/kg K)	V (cm ³ /g)	U (kJ/kg)	H (kJ/kg)	S (kJ/kg K)
500	41.704	3065.1	3398.8	6.7262				
525	43.419	3112.2	3459.5	6.8035				
550	45.102	3158.9	3519.7	6.8778				
575	46.759	3205.6	3579.7	6.9496				
600	48.394	3252.4	3639.5	7.0191				
650	51.611	3346.3	3759.2	7.1523				
$P = 8200$ kPa, $T_{\text{sat}} = 296.70$ °C					$P = 8400$ kPa, $T_{\text{sat}} = 298.39$ °C			
Sat liq	1.391	1315.2	1326.6	3.2239	1.398	1324.3	1336.1	3.2399
Sat. vap	22.863	2569.5	2757.0	5.7338	22.231	2567.2	2754.0	5.7207
300	23.350	2583.7	2775.2	5.7656	22.469	2574.4	2763.1	5.7366
320	25.916	2657.7	2870.2	5.9288	25.058	2651.1	2861.6	5.9056
340	28.064	2718.5	2948.6	6.0588	27.203	2713.4	2941.9	6.0388
360	29.968	2771.5	3017.2	6.1689	29.094	2767.3	3011.7	6.1509
380	31.715	2819.5	3079.5	6.2659	30.821	2816.0	3074.8	6.2491
400	33.350	2864.1	3137.6	6.3534	32.435	2861.1	3133.5	6.3376
425	35.282	2916.7	3206.0	6.4532	34.337	2914.1	3202.6	6.4383
450	37.121	2966.9	3271.3	6.5452	36.147	2964.7	3268.3	6.5309
475	38.893	3015.6	3334.5	6.6311	37.887	3013.6	3331.9	6.6173
500	40.614	3063.3	3396.4	6.7124	39.576	3061.6	3394.0	6.6990
525	42.295	3110.5	3457.3	6.7900	41.224	3108.9	3455.2	6.7769
550	43.943	3157.4	3517.8	6.8646	42.839	3155.9	3515.8	6.8516
575	45.566	3204.3	3577.9	6.9365	44.429	3202.9	3576.1	6.9238
600	47.166	3251.1	3637.9	7.0062	45.996	3249.8	3636.2	6.9936

 $P = 8600$ kPa, $T_{\text{sat}} = 300.06$ °C $P = 8800$ kPa, $T_{\text{sat}} = 301.70$ °C

Sat liq	1.404	1333.3	1345.4	3.2557	1.411	1342.2	1354.6	3.2713
Sat. vap	21.627	2564.9	2750.9	5.7076	21.049	2562.6	2747.8	5.6948
320	24.236	2644.3	2852.7	5.8823	23.446	2637.3	2843.6	5.8590
340	26.380	2708.1	2935.0	6.0189	25.592	2702.8	2928.0	5.9990
360	28.258	2763.1	3006.1	6.1330	27.459	2758.8	3000.4	6.1152
380	29.968	2812.4	3070.1	6.2326	29.153	2808.8	3065.3	6.2162
400	31.561	2858.0	3129.4	6.3220	30.727	2854.9	3125.3	6.3067
425	33.437	2911.5	3199.1	6.4236	32.576	2908.9	3195.6	6.4092
450	35.217	2962.4	3265.3	6.5168	34.329	2960.1	3262.2	6.5030
475	36.928	3011.6	3329.2	6.6037	36.011	3009.6	3326.5	6.5904
500	38.586	3059.8	3391.6	6.6858	37.640	3058.0	3389.2	6.6728
525	40.202	3107.3	3453.0	6.7639	39.228	3105.6	3450.8	6.7513
550	41.787	3154.4	3513.8	6.8390	40.782	3152.9	3511.8	6.8265
575	43.345	3201.5	3574.3	6.9113	42.310	3200.1	3572.4	6.8990
600	44.880	3248.5	3634.5	6.9813	43.815	3247.2	3632.8	6.9692
625	46.397	3295.7	3694.7	7.0492	45.301	3294.5	3693.1	7.0373

 $P = 9000$ kPa, $T_{\text{sat}} = 303.31$ °C $P = 9200$ kPa, $T_{\text{sat}} = 304.89$ °C

Sat liq	1.418	1351.0	1363.7	3.2867	1.425	1359.7	1372.8	3.3018
Sat. vap	20.495	2560.1	2744.6	5.6820	19.964	2557.7	2741.3	5.6694

(continued)



Table F3 (continued)

T (K)	P^{sat} (kPa)	Spec. vol. V (cm ³ /g)		Int. energy U (kJ/kg)		Enthalpy H (kJ/kg)		Entropy S (kJ/kg K)	
		V_f	V_g	U_f	U_g	H_f	H_g	S_f	S_g
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)



CONTOH

For an ideal operation $S_2 = S_3 = 6.8646$. Since $S_3 < S_{3\text{sat vap}}$ the discharged steam is a mixture of liquid and vapor. Solve for fraction of vapor, x , using entropy balance for the exhaust of the turbine:

$$x_3 = \frac{S_2 - S_{3\text{sat liq}}}{S_{3\text{sat vap}} - S_{3\text{sat liq}}} = \frac{6.8646 - 0.9441}{7.7695 - 0.9441} = 0.867$$

$$H_3 = \overset{x_3}{0.867} \overset{H_{3\text{ sat vap}}}{(2625.4)} + (1 - \overset{x_3}{0.867}) \overset{H_{3\text{ sat liq}}}{(289.3)} = 2315.8 \text{ kJ/kg}, T_2 = 342.27 \text{ K (Saturated)}$$

$$H_1 = H_4 + (P_1 - P_4) V_4 = 289.3 + (8200 - 30) (0.001022) = 297.65 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\text{out}} = (H_3 - H_4) = (2315.8 - 289.3) \text{ kJ/kg} = 2026.5 \text{ kJ/kg (absolute value)}$$

$$q_{\text{in}} = (H_2 - H_1) = (3517.8 - 297.65) \text{ kJ/kg} = 3220.2 \text{ kJ/kg}$$

Net work output for 1 kg/s steam: $W_{\text{out}} = \dot{m}_s (q_{\text{in}} - q_{\text{out}}) = \mathbf{1193.7 \text{ kW}}$ (Absolute value)



END