

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, B., George, T. & Michael, M., 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: s.n.
- Agustin, A., 2018. *Analisis Eksergi dalam Evaluasi Kinerja Sistem Combined Heat and Power PTPN X Pabrik Gula Pesantren Baru*, Jember: Politeknik Negeri Jember.
- Ambiyar, D., 2009. *Termodinamika*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Anggara, E. R., Sirodz, Y. & Wiradinata, I., 2022. Analisis Eksergi Kondensor pada PLTU Batu Bara Kapasitas 65 MW Bukit Asam. *Almikanika*, 4(1).
- Anwar, K., Basri, H. & Tobe, I., 2013. *Analisis Eksergi pada Sistem Pembangkit Daya Tenaga Uap (PLTU) Palu*. Bandar Lampung, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII).
- Asih, S., Komaruddin, Mustika & Putri, D., 2020. Rancang Bangun Aplikasi Perpustakaan Keliling Menggunakan Pendekatan Terstruktur. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*, 9(1), pp. 1-8.
- Azwar, M., 2019. *Eksergi Fisik dan Eksergi Kimia*, Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Basri, H. & Santoso, D., 2016. Analisa Eksergi pada Siklus Turbin Gas Sederhana 14 MW Instalasi Pembangkit Tenaga Keramasan Palembang. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*, 9(01).
- Cengel, Y., Boles, M. & Kanoglu, M., 2019. *Thermodynamics An Engineering Approach*. 9th ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Chairi, R., Hidayanti, F. & Kusuma, I., 2017. Perancangan Sistem Kendali Cascade pada Deaerator Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *GIGA*, 20(1), pp. 22-29.
- Dato, R., 2018. *Perancangan Ketel Uap Pipa Api Untuk Industri Tempe Kapasitas 200 kg/jam*, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- DPR-RI, 2021. *Naskah Akademik Rancangan Undang - Undang Tentang Energi Baru Terbarukan*, Jakarta: Komisi VII DPR RI.

- Epani, A., 2016. *Studi Kasus Analisis Konsumsi Energi dan Peluang Penghematan Energi pada Unit Pulp Machine PT. Tanjungenim Lestari*, Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- ESDM, 2014. *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: s.n.
- Fauzi, I. F. A., 2021. *Analisa Kemacetan Pompa Plunger Pada Air Got KN SAR*, Semarang: Universitas Maritim Amni.
- Hail, A., 2012. *Hukum II Termodinamika*, Indonesia: s.n.
- Hariyatma, A., Wardana, A. & Wijayanti, E., 2015. *Identifikasi Sistem Temperatur Air Umpan Deaerator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Heroza, N. & Pratoto, A., 2022. Analisis Eksergi pada Pembangkit Listrik yang Memanfaatkan Panas Buangan PT Semen Padang. *Jurnal Teknik Undip*, pp. 131-139.
- Hidayat, A., Gaos, Y. & Wiradinata, I., 2022. Analisis Eksergi Air Heater pada PLTU Batu Bara 65 MW Bukit Asam. *Jurnal Almikanika*, 4(3), pp. 123-128.
- Indiarti, F. K., 2016. *Pengaruh Perubahan Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Jenis Shell and Tube*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Ketut, W., Eka, M., Prapti, I. & Junety, M., 2019. Pra Rancangan Flash Tank HHP Boiler Power Plant II (Studi Kasus PT. Pertamina RU V Balikpapan). *Chemurgy*, 03(2).
- Kharisma, A. A. & Budiman, A., 2020. *Perhitungan Efisiensi Mesin Boiler Jenis Fire Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect Untuk Produk Butiran Pelet*, Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Michael, M., Shapiro, H., Boettner, D. & Bailey, M., 2014. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 8th ed. America: Don Fowley.
- Monintja, D. N. C., 2020. *Termodinamika Teknik II*, Manado: Universitas Sam Ratulangi.

- Muhammad, Z., Suanggana, D. & Kurniawat, D., 2020. Analisis Efisiensi Energi, Efisiensi Eksergi dan Laju Kerusakan Eksergi pada Komponen Mesin PLTU Muara Jawa dengan Variasi Pembebanan. *Majalah Teknik Mesin*, 22(1).
- Muttaqin, Z., 2012. *Pengujian Efektivitas Penukar Kalor Multi Flat Plate Heat Exchanger Alumunium dengan Aliran Cross Flow*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nugraha, R. R., 2020. *Analisis Temperatur Ambient, Efisiensi Termal dan Efisiensi Eksergi pada Sistem PLTG Sebelum dan Sesudah Overhaul Unit 1.1, Unit 1.2 dan Unit 1.3 PLTGU PT. PJB UP Muara Tawar*, Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Nugroho, P., Fajar, B. & Yohana, E., 2023. Analisa Eksergi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap XYZ Kapasitas 1070 MW Menggunakan Pemodelan Cycle Tempo. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), pp. 273-278.
- Phanama, R., Simanjuntak, Y. & Ivanto, M., 2019. Analisa Eksergi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkit Sanggau. *Jurnal Untan*.
- Pratama, R., 2020. *Analisa Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Penghematan Daya Ditinjau dari Eksergi di Boiler Pabrik Kelapa Sawit*, Medan: Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan.
- Ramadhan, F., 2020. *Analisa Eksergi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap*, Cikarang: s.n.
- Rifai, A., Viktor, Naubnome & Aripin, 2022. Analisis Laju Kerusakan Eksergi dan Efisiensi Eksergi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Media Bina Ilmiah*, 17(II).
- Rifaldi, M., 2008. *Analisis Energi dan Eksergi Kalina Cycle System (KCS) 34 dengan Variasi Fraksi Massa Campuran Ammonia-Water Daya 2 MW*, Depok: Universitas Indonesia.
- Rofiq, S., 2019. *Perawatan dan Perbaikan Burner Pembakar Ketel Untuk Memaksimalkan Produksi Uap KM Binaiya PT. PELNI*, Semarang: Universitas Maritim Amni.

- Sinambela, F. H., 2022. *Pompa Boiler Feed Water Terkontaminasi Air*, Dumai: Politeknik Negeri Bengkalis.
- Siregar, M., 2015. *Pedoman Pembiayaan Efisiensi Energi di Industri untuk Lembaga Jasa Keuangan*. Jakarta: Otoritas Jasa Keuangan.
- Sundari, P., Rudyanto, B. & Hariyono, B., 2015. Kajian Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (Studi Kasus di PT. Indonesia Power Up Perak Grati). *jsti*, 17(3), pp. 81-88.
- Sunoto, 2017. *Analisis Eksergi Pada Siklus Rankine Organik Berbahan Bakar Biomassa*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Suwandi, A., 2013. Analisis Penentuan Konservasi Energi Pada Industri Logam. *Inovisi*, 2(2).
- Tambunan, L. H. D., 2019. *Perhitungan dan Analisis Kualitas Uap pada Sistem Distribusi Uap di PT. Chevron Pacific Indonesia*, Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- UNEP, 2006. *Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari industri Asia dan Pasifik*, India: Badan Produktivitas Nasional .
- Utomo, M. T. S., Yohana, E. & Apriyanto, I., 2019. *Exergy and Energy Analysis of a Steam Power Plant Unit 3 at Tanjung Jati B with a Capacity of 660 MW*. Semarang, s.n.
- Utomo, P. B., 2020. *Analisis Energi dan Eksergi PLTG Blok 1.1 dan 1.3 pada Kondisi Beban Berbeda di PT.PJB UP Muara Karang*, Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Warnana, D. D., 2016. *Keseimbangan Termal dan Hukum ke Nol Termodinamika*, Jakarta: Universitas Terbuka.
- Wiendartun, 2012. *Termodinamika*, Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Wijaya, M. E., Tumiwa, F. & Nugrahanto, A. I., 2017. *Buku Panduan Pelatihan Pembiayaan Proyek Efisiensi Energi Bagi Industri*. 1st ed. Jakarta: UNIDO.
- Wijaya, N. O., Nugroho, G. & Sarwono, 2012. *Analisa Eksergi dan Termoekonomi pada Plant Penstabilan Kondensat*, Suarabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Normal Operasi Aliran

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
1	Air	15,18	61,70	113,30	630,00	1,45	3047,63	37,95	3085,57	0,80
2	Uap	15,03	43,06	256,10	2804,73	6,05	15104,35	7210,33	22314,67	22,31
3	Air	0,99	7,07	111,70	468,82	1,44	43,38	2,48	45,86	0,05
4	Uap	0,99	4,48	158,90	2768,97	6,92	705,78	476,65	1182,43	1,18
3a	Proses	1,33	0,42	240,00	4545,62	10,33	1950,74	31,19	1981,92	1,98
4a	Proses	1,33	0,32	172,20	2824,04	8,14	530,00	31,19	561,19	0,56
5	Air	0,19	7,07	111,70	468,82	1,44	8,16	0,47	8,63	0,008
6	Uap	0,19	4,99	158,90	2764,86	6,86	135,18	89,66	224,84	0,22
5a	Proses	1,35	0,26	315,60	3107,57	8,83	645,85	31,69	677,54	0,68
6a	Proses	1,23	0,22	185,60	2820,35	8,27	441,77	28,94	470,72	0,47
7	Uap	0,77	0,90	183,00	2842,40	7,75	414,70	371,32	786,02	0,79
8	Air	0,02	1,00	26,00	90,11	0,38	0,39	0,05	0,34	0,0003
9	Air	16,43	0,50	103,00	2388,00	7,71	1533,37	41,07	1574,44	1,57

Lampiran A. Data Normal Operasi Aliran (lanjutan)

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
10	Air	0,43	1,45	29,00	121,60	0,42	0,64	1,07	0,43	0,0004
11	Air	15,25	2,70	130,00	272,20	1,30	1711,97	38,12	1673,85	1,67
12	Uap Air	15,25	1,38	125,60	2224,10	7,34	604,47	7315,99	7920,46	7,92
13	Air	15,25	0,38	108,30	2611,18	7,87	4103,39	38,12	4141,51	4,14
14	Uap	1,30	0,34	108,30	2379,57	7,91	31,49	625,96	657,45	0,66
15	Air	1,30	0,34	108,30	2700,57	7,91	450,30	3,26	453,56	0,45
16	Air	15,18	1,21	111,70	2497,31	7,33	4783,57	37,95	4821,51	4,82
17	Air	1,25	1,21	111,70	2497,23	7,33	394,03	3,12	397,15	0,40
18	Air	1,25	8,56	111,70	650,00	1,44	280,49	3,12	283,61	0,28
19	Uap	2,67	42,75	256,10	2806,69	6,06	2682,17	1280,35	3962,51	3,96
20	Uap	0,27	14,40	202,50	2807,23	6,49	233,45	128,03	361,49	0,36
21	Air	0,27	13,79	197,90	2798,69	6,49	231,15	0,67	231,82	0,23
20a	Proses	4,18	1,17	126,1	2726,96	7,41	2177,83	82,70	2260,53	2,26
21a	Proses	0,84	1,17	126,7	2728,18	7,41	437,49	16,60	454,10	0,45
22a	Proses	3,34	2,00	178,7	2526,34	7,41	1069,75	66,10	1135,85	1,14
22	Uap	2,40	14,48	200,60	2801,26	6,48	2097,37	1152,31	3249,68	3,25
23	Uap	2,40	4,48	155,60	2761,37	6,90	1700,64	1152,31	2852,95	2,85

Lampiran A. Data Normal Operasi Aliran (lanjutan)

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
24	Uap	11,45	42,75	256,10	2806,69	6,06	11504,01	5491,49	16995,51	17,10
25	Uap	11,45	4,48	155,60	2761,35	6,90	8105,17	5491,49	13596,67	13,60
26	Uap	0,14	42,75	255,60	5804,45	6,05	566,24	67,85	634,09	0,63
27	Air	0,14	41,37	253,90	2806,36	6,07	141,59	0,35	141,94	0,14
26a	Proses	1,26	0,68	46,10	594,56	0,65	506,21	29,56	535,77	0,54
27a	Proses	1,26	0,68	240,00	2955,70	8,16	661,21	29,56	690,77	0,69
28	Uap	0,09	42,75	255,60	4904,00	6,05	278,97	43,12	322,09	0,32
29	Air	0,09	41,37	253,90	2806,36	6,07	89,99	0,22	90,22	0,09
28a	Proses	0,61	0,56	98,90	2678,91	7,60	253,63	0,20	253,83	0,25
29a	Proses	0,61	0,56	240,00	2956,05	8,23	307,80	0,20	308,00	0,31
30	Uap	0,01	40,33	252,20	2706,20	0,1	22,72	4,02	26,75	0,03
31	Air	0,01	40,33	252,20	2706,20	7,00	5,23	0,02	5,25	0,01
30a	Proses	0,20	0,64	174,40	2978,91	7,60	146,21	0,07	146,28	0,15
31a	Proses	0,20	0,64	245,00	2936,31	8,20	101,46	0,07	101,53	0,10
32	Uap	0,08	40,33	252,20	2806,20	6,08	75,37	36,22	111,60	0,11
33	Air	0,08	40,33	252,20	2806,20	6,08	75,37	0,19	75,56	0,08
32a	Proses	1,33	0,34	174,40	2828,88	8,29	479,80	26,25	506,06	0,51

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
33a	Proses	1,35	0,34	245,00	2766,93	8,57	289,14	26,68	315,82	0,32
34	Uap	0,03	40,33	252,20	2406,20	6,08	17,57	14,09	31,65	0,03
35	Air	0,03	40,33	252,20	2806,20	6,08	29,31	0,07	29,38	0,03
34a	Proses	1,23	0,24	187,20	2854,25	8,53	387,47	24,36	411,83	0,41
35a	Proses	1,24	0,24	240,00	2800,42	8,74	244,87	24,50	269,37	0,27
36	Uap	0,05	40,33	252,20	2846,20	6,08	53,51	24,72	78,23	0,08
37	Air	0,05	40,33	252,20	2806,20	6,08	51,44	0,13	51,57	0,05
36a	Proses	1,21	0,16	170,00	3120,93	8,46	730,66	23,97	754,63	0,75
37a	Proses	1,21	0,16	240,00	2957,42	8,74	430,19	24,00	454,19	0,45
38	Uap	0,15	4,48	155,60	2761,37	6,90	103,49	70,12	173,61	0,17
39	Air	0,15	3,39	147,20	2751,88	7,00	97,63	0,37	97,99	0,10
38a	Proses	0,44	0,83	145,60	2769,37	7,70	212,45	9,67	222,11	0,22
39a	Proses	0,44	0,83	146,70	2771,54	7,70	212,72	9,67	222,39	0,22
40	Uap	0,77	4,48	155,60	2761,37	6,90	548,00	371,32	919,32	0,92
41	Uap	0,77	0,55	155,60	2790,69	7,92	335,04	371,32	706,36	0,71
42	Uap	0,74	4,51	147,60	921,71	1,82	282,81	354,12	636,94	0,64
43	Air	0,74	4,24	147,30	2744,47	6,88	513,50	1,85	515,35	0,52

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
42a	Proses	3,01	2,17	36,40	852,69	0,52	2102,44	7,51	2109,95	2,11
43a	Proses	3,01	2,17	130,60	2726,56	7,13	1813,37	7,51	1820,89	1,82
44	Uap	8,29	3,45	147,80	2752,58	7,00	5556,58	3975,44	9532,02	9,53
45	Air	8,29	3,45	147,80	2752,58	5,98	2265,93	20,72	2286,65	2,29
44a	Proses	62,01	1,17	126,10	2726,96	7,41	32337,85	1228,05	33565,90	33,57
45a	Proses	56,56	1,17	126,70	2728,18	7,41	29515,15	1120,19	30635,35	30,64
45a	Proses	5,45	1,17	126,70	2728,18	7,41	2843,97	107,94	2951,91	2,95
46	Uap Air	0,41	5,17	160,00	2765,99	7,70	194,45	196,68	391,13	0,39
47	Uap	0,08	4,48	155,60	2761,37	4,60	111,22	38,29	149,51	0,15
48	Air	0,33	4,48	155,60	2761,37	6,90	233,76	0,83	234,58	0,23
49	Uap	5,06	3,45	147,80	2752,58	7,00	3390,25	2425,54	5815,79	5,82
50	Air	5,06	3,45	125,60	1327,50	1,59	4334,68	12,64	4347,32	4,35
49a	Proses	42,49	1,19	126,10	2726,96	7,41	22160,69	841,57	23002,26	23,00
50a	Proses	38,34	1,19	127,20	2728,18	7,41	20008,74	759,39	20768,14	20,77
50a	Proses	4,15	1,19	127,20	2728,18	7,41	2166,04	82,21	2248,24	2,25
51	Uap	0,02	4,48	155,60	2761,37	6,90	10,68	7,24	17,92	0,018
52	Air	0,02	0,69	115,00	2709,86	7,62	6,67	0,04	6,70	0,007

Lampiran A. Data Normal Operasi Aliran (lanjutan)

Aliran	Fasa	Laju Alir (kg/s)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg. K)	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total (kW)	Eksergi Total (MW)
51a	Proses	0,18	59,43	10,00	10,17	0,02	1,51	4,18	5,69	0,006
52a	Proses	0,18	59,43	60,00	256,12	0,83	2,18	4,18	6,37	0,006

Lampiran B. Kondisi Suhu Udara Tahun 2017-2019 - BPS Aceh

BULAN	KONDISI SUHU UDARA (CELCIUS)								
	TERENDAH			TERTINGGI			RATA - RATA		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
JANUARI	20.10	21.80	22.60	33.40	33.20	32.20	26.80	26.40	26.40
FEBRUARI	21.40	21.00	22.50	32.40	21.00	32.40	26.60	28.00	26.70
MARET	21.20	22.60	22.80	33.40	33.40	33.10	26.70	27.10	26.90
APRIL	22.60	22.60	23.20	34.60	33.80	33.80	26.60	27.10	27.40
MEI	23.00	23.60	23.60	34.50	34.00	34.10	27.90	27.00	27.60
JUNI	23.10	22.20	23.90	35.80	36.00	33.60	27.50	27.40	27.70
JULI	22.40	22.60	22.50	37.20	36.20	34.10	28.60	28.90	27.30
AGUSTUS	22.40	22.20	23.20	36.60	35.00	33.90	27.50	28.10	27.80
SEPTEMBER	22.00	21.20	23.10	34.20	33.00	33.60	27.10	26.50	27.00
OKTOBER	19.80	22.50	22.70	36.00	33.00	30.80	26.80	26.30	25.50
NOVEMBER	23.00	22.80	23.30	33.60	32.00	31.80	25.80	25.70	26.50
DESEMBER	22.40	22.60	23.00	32.40	32.50	31.40	26.70	26.50	26.10

Sumber: Kondisi suhu udara yang tercatat di Stasiun Meteorologi Blang Bintang, Aceh Dalam

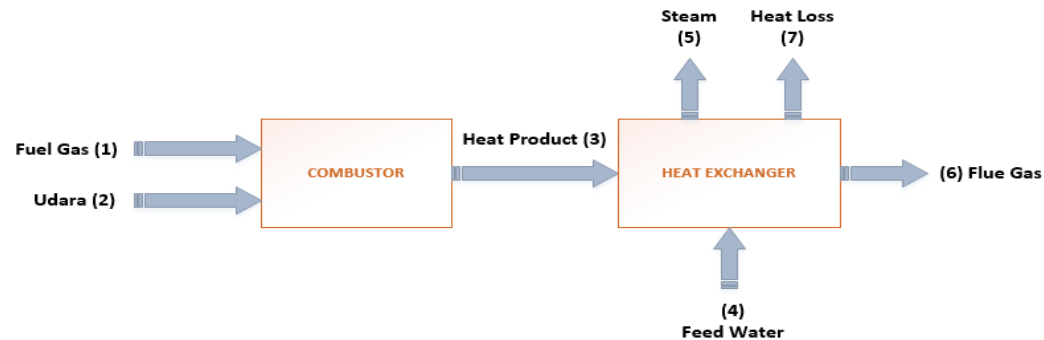
URL: <https://aceh.bps.go.id/indicator/151/39/1/kondisi-suhu-udara.html>

Lampiran C. Perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi tiap komponen unit 046 dan unit proses.

1. KONDISI NORMAL OPERASI UNIT 046

a. BOILER

➤ Konfigurasi



➤ Parameter operasi Boiler

Deskripsi	Parameter Operasi				
	m (kg/s)	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
<i>Fuel Gas</i>	0,60	4,00	150,00	2752,00	6,93
<i>Air Comb.</i>	20,00	39,71	208,00	127,00	0,43
<i>Hot Product</i>	20,50	6,10	540,0	3569.80	8,10
<i>Feed Water</i>	0,15	61,70	112,78	477.47	1,44
<i>Steam</i>	15,18	43,06	256,11	2804,73	6,05

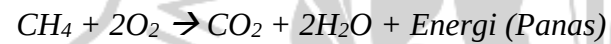
Parameter operasi Boiler (lanjutan)

Deskripsi	Parameter Operasi				
	m (kg/s)	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
<i>Flue Gas</i>	0,30	0,01	200,56	3015,60	8,11

➤ **Menentukan eksergi fisik**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

➤ **Menentukan eksergi kimia**



$$e_{ch} = \frac{e^{-CH}}{M}$$

$$\dot{E}_{x.ch} = \dot{m} \times e_{ch}$$

➤ **Hasil eksergi total boiler**

<i>State</i>	Specific Exergy (kW)	Exergy Fisik (kW)	Exergy Kimia (kW)	Exergy Total (kW)	Exergy Total (MW)
<i>Fuel Gas</i>	657.64	394.59	30913.05	31307.64	31.31
<i>Air Combustion</i>	29.70	593.97	2469.38	1875.40	1.88
<i>Hot Product</i>	1126.81	23099.68	2531.11	25630.79	25.63
<i>Feed Water</i>	17.92	2.69	0.38	3.06	0.0031

Hasil eksergi total *Boiler* (lanjutan)

<i>State</i>	Specific Exergy (kW)	Exergy Fisik (kW)	Exergy Kimia (kW)	Exergy Total (kW)	Exergy Total (MW)
<i>Steam</i>	972.90	14768.66	7283.03	22051.69	22.05
<i>Flue Gas</i>	569.14	172.79	145.66	318.45	0.32

➤ **Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi *combustor***

$$E_d = \dot{m}_f(h_f - T_0 s_f) + \dot{m}_a(h_a - T_0 s_a) - \dot{m}_p(h_p - T_0 s_p)$$

$$\epsilon = \frac{\dot{m}_p \epsilon_p}{\dot{m}_f \epsilon_f} = \frac{\dot{m}_p (h_p - T_0 s_p)}{\dot{m}_f (h_f - T_0 s_f)}$$

➤ **Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi *heat exchanger***

$$E_d = \dot{m}_H(h_p - T_0 s_p) - (\dot{m}_g(h_g - T_0 s_g) - \dot{m}_c(h_l - T_0 s_l) - (\dot{m}_s(h_s - T_0 s_s))$$

$$\epsilon = \frac{\dot{m}_c (\epsilon_s - \epsilon_l)}{\dot{m}_H (\epsilon_p - \epsilon_g)}$$

➤ **Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi total *Boiler***

$$E_d = \dot{I}_C + \dot{I}_H$$

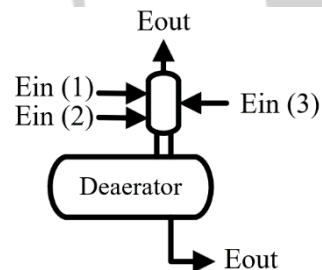
$$\epsilon = \frac{\dot{m}_c (\epsilon_s - \epsilon_l)}{\dot{m}_f \epsilon_f}$$

➤ Hasil Kerusakan eksergi dan efisiensi komponen *Boiler*

No	State	Nilai	Satuan
1	Laju Alir	15,08	kg/s
2	Ed. <i>Combustor</i>	8,27	MW
3	Ed. <i>Heat Exchanger</i>	5,58	MW
4	Ed. Total <i>Boiler</i>	13,85	MW
5	Efisiensi <i>Boiler</i>	63,83	%

b. *DEAERATOR*

➤ Konfigurasi



➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)} + E_{x.in (3)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

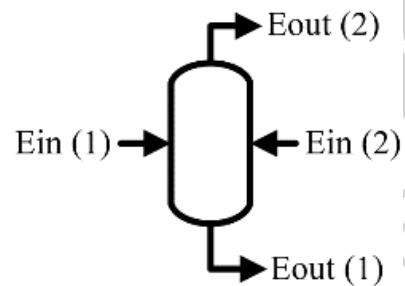
$$\mathcal{E} = \frac{Ex.out\ deaerator}{Ex.in\ deaerator} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *deaerator*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
7	LP Steam	-	0,786	2,46	68.67
10	Demin Water	-	0,0004		
11	Condensate	-	1,67		
8	Vent	0,0003	-		
9	BFW pump	1,57	-		

c. **FLASH DRUM**

➤ Konfigurasi



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in(1)} + E_{x.in(2)}) - (E_{x.out(1)} + E_{x.out(2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

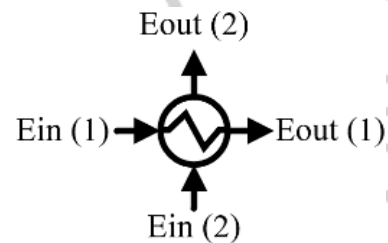
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ flash drum}}}{E_{in \text{ flash drum}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *flash drum*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
12	HE LPS	-	7,92	3,58	57,30
13	Cond. Pump	4,14	-		
14	Steam Cond.	0,66	-		
15	Steam Cond.	-	0,45		

d. **EXCESS STEAM CONDENSER**

➤ **Konfigurasi**



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ condenser}}}{E_{in \text{ condenser}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *steam condenser*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
14	<i>Drum Collect</i>	-	0,66	0,20	68,99
15	<i>Cond. Pump</i>	0,45	-		

e. **HP BFW PUMP**

➤ **Konfigurasi**



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x.in} - E_{x.out}$$

➤ **Efisiensi eksergi**

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ pompa}}}{E_{in \text{ pompa}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *HP BFW Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
1	ke Boiler	3,09	-	1,74	64,00
16	BFW Pump	-	4,82		

f. STEAM CONDENSATE PUMP

➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x.in} - E_{x.out}$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out\ pompa}}{E_{in\ pompa}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *Steam Condensate Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
11	ke Deaerator	2,60	-	1,54	62,78
13	Drum Collec.	-	4,14		

g. LP BFW PUMP

➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x.in} - E_{x.out}$$

➤ Efisiensi eksergi

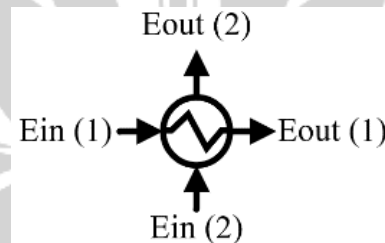
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out\ pompa}}{E_{in\ pompa}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *LP BFW Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
17	dari <i>Deaerator</i>	-	0,40	0,11	71,41
18	<i>Condenser</i>	0,28	-		

2. KONDISI NORMAL OPERASI UNIT PROSES (*STEAM USER*).

Tipe komponen pada unit proses menggunakan tipe *Shell & Tube Heat Exchanger* dengan konfigurasi sebagai berikut:



Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai kerusakan dan efisiensi eksergi sebagai berikut:

➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out\ HE}}{E_{in\ HE}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi pada komponen alat penukar panas di unit proses.

a. **REBOILER 32-201**

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
44	LP Steam	-	9,53	7,22	83,24
45	Drum Collec.	2,29	-		
44a	Process inlet	-	33,57		
45a	Process Outlet	2,95	-		
45a	Process Outlet	30,64	-		

b. **HEATER 34-203**

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
51	LP Steam	-	0,018	0,011	55,37
52	Drum Collect.	0,007	-		

HEATER 34-203 (lanjutan)

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
51a	Process inlet	-	0,006		
52a	Process outlet	0,006	-		

c. PRE-HEATER 35-201

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
26	HP Steam	-	0,63	0,337	71,18
27	Drum Collec.	0,14	-		
26a	Process inlet	-	0,54		
27a	Process outlet	0,69	-		

d. PRE-HEATER 35-202

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
28	HP Steam	-	0,32	0,1777	69,14
29	Drum Collec.	0,09	-		

PRE-HEATER 35-202 (lanjutan)

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
28a	Process inlet	-	0,25		
29a	Process outlet	0,31	-		

e. PRE-HEATER 35-203

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
32	HP Steam	-	0,11	0,226	63,37
33	Drum Collec.	0,08	-		
32a	Process inlet	-	0,51		
33a	Process outlet	0,32	-		

f. PRE-HEATER 35-204

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
34	HP Steam	-	0,032	0,145	67,37
35	Drum Collec.	0,029	-		

PRE-HEATER 35-204 (lanjutan)

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
34a	Process inlet	-	0,41		
35a	Process outlet	0,27	-		

g. PRE-HEATER 35-205

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
36	HP Steam	-	0,08	0,327	60,73
37	Drum Collec.	0,05	-		
36a	Process inlet	-	0,75		
37a	Process outlet	0,45	-		

h. PRE-HEATER 35-206

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
30	HP Steam	-	0,027	0,0663	61,71
31	Drum Collec.	0,005	-		

PRE-HEATER 35-206 (lanjutan)

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
30a	Process inlet	-	0,15		
31a	Process outlet	0,10	-		

i. REBOILER 36-201

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
20	Letdown	-	0,36		
21	LP Steam	0,23	-		
20a	Process inlet	-	2,26	0,80	69,48
21a	Process outlet	0,45	-		
22a	Process outlet	1,14	-		

j. HEATER 36-203A

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
42	LP Steam	-	0,64	0,411	85,05

HEATER 36-203A (lanjutan)

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
43	<i>Drum Collec.</i>	0,52	-		
42a	<i>Process inlet</i>	-	2,11		
43a	<i>Process outlet</i>	1,82	-		

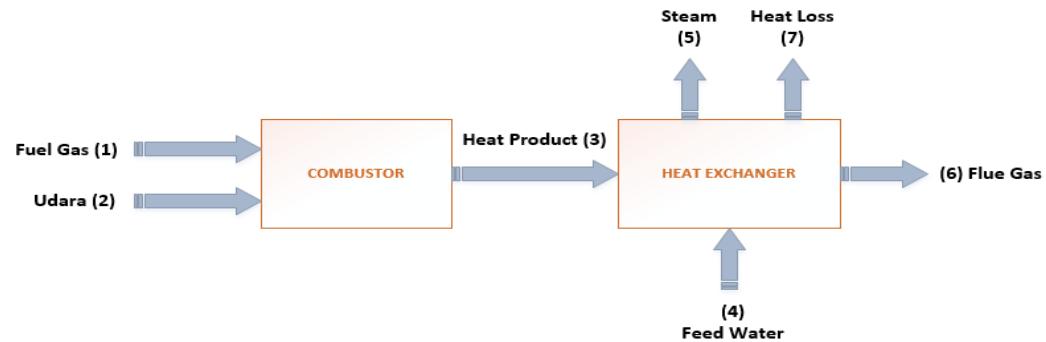
k. REBOILER 39-201

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
49	<i>LP Steam</i>	-	5,82	3,70	87,15
50	<i>Drum Collec.</i>	4,35	-		
49a	<i>Process inlet</i>	-	23,00		
50a	<i>Process outlet</i>	20,77	-		

3. KONDISI MAKSIMUM OPERASI UNIT 46

a. BOILER

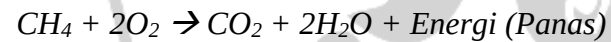
➤ Konfigurasi



➤ Menentukan eksergi fisik

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

➤ Menentukan eksergi kimia



$$e_{ch} = \frac{e^{-CH}}{M}$$

$$\dot{E}_{x.ch} = \dot{m} \times e_{ch}$$

➤ Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi combustor

$$E_d = \dot{m}_f(h_f - T_0 s_f) + \dot{m}_a(h_a - T_0 s_a) - \dot{m}_p(h_p - T_0 s_p)$$

$$\epsilon = \frac{\dot{m}_p \epsilon_p}{\dot{m}_f \epsilon_f} = \frac{\dot{m}_p (h_p - T_0 s_p)}{\dot{m}_f (h_f - T_0 s_f)}$$

- Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi *heat exchanger*

$$E_d = \dot{m}_H (h_p - T_0 s_p) - (\dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \dot{m}_c (h_l - T_0 s_l) - (\dot{m}_s - T_0 s_s))$$

$$\epsilon = \frac{\dot{m}_c (\epsilon_s - \epsilon_l)}{\dot{m}_H (\epsilon_p - \epsilon_g)}$$

- Menentukan kerusakan eksergi dan efisiensi total *Boiler*

$$E_d = \dot{I}_C + \dot{I}_H$$

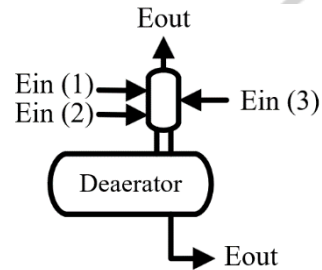
$$\epsilon = \frac{\dot{m}_c (\epsilon_s - \epsilon_l)}{\dot{m}_f \epsilon_f}$$

Hasil Kerusakan eksergi dan efisiensi komponen *Boiler*

No	State	Nilai	Satuan
1	Laju Alir	16,53	kg/s
2	Ed. <i>Combustor</i>	8,27	MW
3	Ed. <i>Heat Exchanger</i>	3,64	MW
4	Ed. Total <i>Boiler</i>	11,91	MW
5	Efisiensi <i>Boiler</i>	69,97	%

b. DEAERATOR

➤ Konfigurasi



➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)} + E_{x.in (3)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{x.out \ deaerator}}{E_{x.in \ deaerator}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *deaerator*.

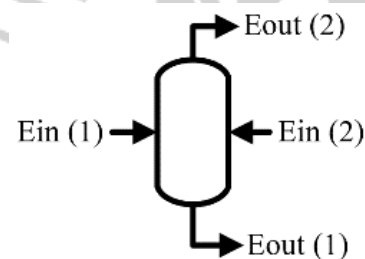
State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
7	LP Steam	-	0,792	2,78	68.29
10	Demin Water	-	0,0005		

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *deaerator* (lanjutan).

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
11	Condensate	-	1,84		
8	Vent	0,0004	-		
9	BFW pump	1,73	-		

c. FLASH DRUM

➤ Konfigurasi



➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

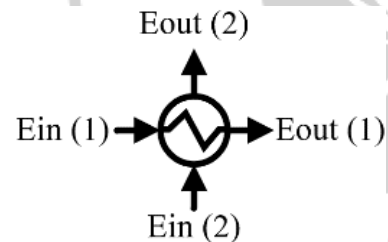
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ flash drum}}}{E_{in \text{ flash drum}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *flash drum*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
12	HE LPS	-	8,71	3,93	57,30
13	Cond. Pump	4,56	-		
14	Steam Cond.	0,72	-		
15	Steam Cond.	-	0,50		

d. EXCESS STEAM CONDENSER

➤ Konfigurasi



➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ condenser}}}{E_{in \text{ condenser}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *steam condenser*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
14	<i>Drum Collect</i>	-	0,72	0,23	68,86
15	<i>Cond. Pump</i>	0,50	-		

e. **HP BFW PUMP**

➤ Konfigurasi



➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x,in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x,in} - E_{x,out}$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out\ pompa}}{E_{in\ pompa}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *HP BFW Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
1	ke Boiler	3,39	-	1,91	64,00
16	BFW Pump	-	5,30		

f. **STEAM CONDENSATE PUMP**

➤ Kerusakan eksergi

$$\dot{E}_{x,in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x,in} - E_{x,out}$$

➤ Efisiensi eksergi

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out\ pompa}}{E_{in\ pompa}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *Steam Condensate Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
11	ke Deaerator	2,70	-	1,86	59,27
13	Drum Collec.	-	4,56		

g. LP BFW PUMP

➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x,in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = E_{x,in} - E_{x,out}$$

➤ **Efisiensi eksergi**

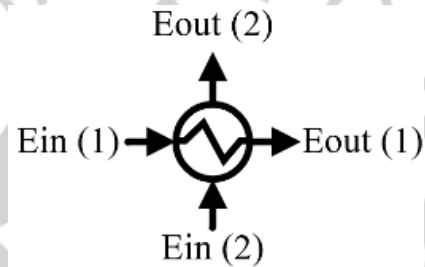
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out pompa}}{E_{in pompa}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *LP BFW Pump*.

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
17	dari Deaerator	-	0,44	0,12	71,41
18	Condenser	0,31	-		

4. KONDISI MAKSIMUM OPERASI UNIT PROSES (STEAM USER)

Tipe komponen pada unit proses menggunakan tipe *Shell & Tube Heat Exchanger* dengan konfigurasi sebagai berikut:



Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai kerusakan dan efisiensi eksergi sebagai berikut:

➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out HE}}{E_{in HE}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi pada komponen alat penukar panas di unit proses.

a. REBOILER 32-201

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
44	LP Steam	-	10,48	7,95	81,96
45	Drum Collec.	2,52	-		
44a	Process inlet	-	33,57		
45a	Process Outlet	2,95	-		
45a	Process Outlet	30,64	-		

b. HEATER 34-203

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
51	LP Steam	-	0,019	0,012	53,82
52	Drum Collect.	0,0073	-		
51a	Process inlet	-	0,006		
52a	Process outlet	0,006	-		

c. **PRE-HEATER 35-201**

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
26	HP Steam	-	0,70	0,440	65,80
27	Drum Collec.	0,15	-		
26a	Process inlet	-	0,59		
27a	Process outlet	0,69	-		

d. **PRE-HEATER 35-202**

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
28	HP Steam	-	0,35	0,20	66,96
29	Drum Collec.	0,10	-		
28a	Process inlet	-	0,25		
29a	Process outlet	0,31	-		

e. PRE-HEATER 35-203

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
32	HP Steam	-	0,12	0,23	63,44
33	Drum Collec.	0,08	-		
32a	Process inlet	-	0,51		
33a	Process outlet	0,32	-		

f. PRE-HEATER 35-204

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
34	HP Steam	-	0,03	0,159	67,37
35	Drum Collec.	0,03	-		
34a	Process inlet	-	0,45		
35a	Process outlet	0,30	-		

g. PRE-HEATER 35-205

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
36	HP Steam	-	0,09	0,405	55,77
37	Drum Collec.	0,06	-		
36a	Process inlet	-	0,83		
37a	Process outlet	0,45	-		

h. PRE-HEATER 35-206

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
30	HP Steam	-	0,03	0,083	56,38
31	Drum Collec.	0,01	-		
30a	Process inlet	-	0,16		
31a	Process outlet	0,10	-		

i. REBOILER 36-201

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
20	Letdown	-	0,39	0,81	69,39
21	LP Steam	0,25	-		
20a	Process inlet	-	2,26		
21a	Process outlet	0,45	-		
22a	Process outlet	1,14	-		

j. HEATER 36-203A

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
42	LP Steam	-	0,70	0,63	79,02
43	Drum Collec.	0,56	-		
42a	Process inlet	-	2,32		
43a	Process outlet	1,82	-		

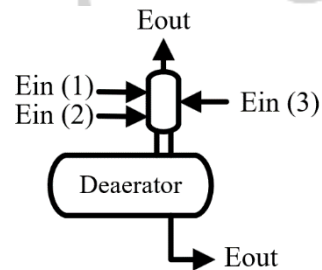
k. **REBOILER 39-201**

State No.	Nama state	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
49	LP Steam	-	6,40	3,85	86,91
50	Drum Collec.	4,78	-		
49a	Process inlet	-	23,00		
50a	Process outlet	20,77	-		

5. **KONDISI VARIASI TEMPERATUR LINGKUNGAN UNIT 46**

a. **DEAERATOR**

➤ **Konfigurasi**



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)} + E_{x.in (3)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ Efisiensi eksergi

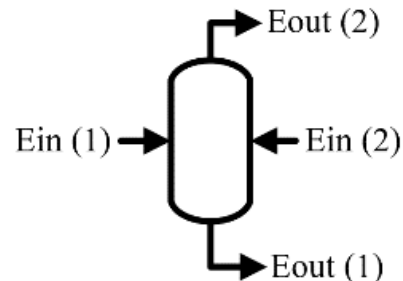
$$\mathcal{E} = \frac{Ex.out\ deaerator}{Ex.in\ deaerator} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *deaerator*.

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
7	-	0,81	-	0,71				
10	-	0,0001	-	0,0001				
11	-	1,8	-	1,60	0,80	0,71	69,28	76,56
8	0,0003	-	0,0003	-				
9	1,81	-	3,03	-				

b. **FLASH DRUM**

➤ Konfigurasi



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

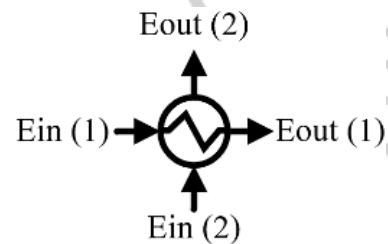
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ flash drum}}}{E_{in \text{ flash drum}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *flash drum*.

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
12	-	8,48	-	6,64	3,54	3,68	60,66	47,35
13	4,74	-	2,76	-				
14	0,70	-	0,53	-				
15	-	0,50	-	0,33				

c. **EXCESS STEAM CONDENSER**

➤ **Konfigurasi**



➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in(1)} + E_{x.in(2)}) - (E_{x.out(1)} + E_{x.out(2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

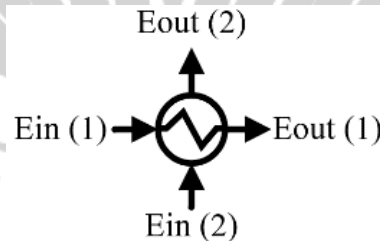
$$\mathcal{E} = \frac{E_{out \text{ condenser}}}{E_{in \text{ condenser}}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi *steam condenser*.

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
14	-	0,70	-	0,53	0,20316	0,2032	71,26	62,19
15	0,50	-	0,33	-				

6. KONDISI VARIASI TEMPERATUR LINGKUNGAN UNIT PROSES (*STEAM USER*).

Tipe komponen pada unit proses menggunakan tipe *Shell & Tube Heat Exchanger* dengan konfigurasi sebagai berikut:



Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai kerusakan dan efisiensi eksergi sebagai berikut:

➤ **Kerusakan eksergi**

$$\dot{E}_{x.in/out} = \dot{m} \cdot ((h - h_0) - T_0 (s - s_0))$$

$$E_d = (E_{x.in (1)} + E_{x.in (2)}) - (E_{x.out (1)} + E_{x.out (2)})$$

➤ **Efisiensi eksergi**

$$\mathcal{E} = \frac{E_{out HE}}{E_{in HE}} \times 100\%$$

Berikut hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi pada komponen alat penukar panas di unit proses.

a. REBOILER 32-201

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
44	-	9,82	-	8,87				
45	2,53	-	1,73	-				
44a	-	33,56	-	33,56	7,31	7,11	83,14	83,24
45a	2,95	-	2,95	-				
45a	30,64	-	30,64	-				

b. HEATER 34-203

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
51	-	0,018	-	0,016	0,0104	0,0106	56,57	52,43
52	0,007	-	0,005	-				
51a	-	0,006	-	0,006				
52a	0,006	-	0,006	-				

c. PRE-HEATER 35-201

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
26	-	0,63	-	0,61	0,33221	0,33224	71,55	71,21
27	0,14	-	0,13	-				
26a	-	0,54	-	0,54				
27a	0,69	-	0,69	-				

d. *PRE-HEATER* 35-202

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
28	-	0,32	-	0,31	0,177	0,178	69,26	68,78
29	0,09	-	0,08	-				
28a	-	0,25	-	0,25				
29a	0,31	-	0,31	-				

e. *PRE-HEATER* 35-203

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
32	-	0,11	-	0,10	0,22	0,22	63,51	63,06
33	0,08	-	0,07	-				
32a	-	0,51	-	0,51				
33a	0,32	-	0,32	-				

f. **PRE-HEATER 35-204**

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
34	-	0,032	-	0,029	0,14	0,14	67,41	67,20
35	0,029	-	0,027	-				
34a	-	0,41	-	0,41				
35a	0,27	-	0,27	-				

g. **PRE-HEATER 35-205**

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
36	-	0,08	-	0,07	0,32	0,32	60,81	60,56
37	0,05	-	0,48	-				
36a	-	0,75	-	0,75				
37a	0,45	-	0,45	-				

h. PRE-HEATER 35-206

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
30	-	0,025	-	0,025	0,064	0,065	62,18	61,62
31	0,005	-	0,004	-				
30a	-	0,15	-	0,15				
31a	0,10	-	0,10	-				

i. REBOILER 36-201

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
20	-	0,37	-	0,34	0,80	0,80	69,57	69,24
21	0,24	-	0,21	-				
20a	-	2,26	-	2,26				
21a	0,45	-	0,45	-				
22a	1,14	-	1,14	-				

j. **HEATER 36-203A**

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
42	-	0,64	-	0,62	0,41	0,47	85,01	82,54
43	0,54	-	0,45	-				
42a	-	2,11	-	2,11				
43a	1,82	-	1,82	-				

k. **REBOILER 39-201**

State No.	T:292,95 K		T:310,35 K		T:292,95 K		T:310,35 K	
	Eout (MW)	Ein (MW)	Eout (MW)	Ein (MW)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)	Kerusakan eksergi (MW)	Efisiensi eksergi (%)
49	-	5,99	-	5,41	3,84	3,36	86,75	88,16
50	4,35	-	4,28	-				
49a	-	23,00	-	23,00				
50a	20,77	-	20,77	-				

Lampiran D. Tabel hasil perhitungan kerusakan eksergi dan efisiensi eksergi

a. Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit 46 (Kondisi normal operasi).

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Boiler Packages 46-501A/B</i>	13,85	63,83
<i>Deaerator 46-101</i>	2,46	68,67
<i>LPS Condensate Drum 46-106</i>	3,57	57,31
<i>Excess Steam Condenser 46-201</i>	0,20	68,99
<i>HP BFW Pump 46-331A/B</i>	1,73	64,00
<i>Steam Cond. Pump 46-332A/B</i>	1,54	62,78
<i>LP BFW Pump 46-333A/B</i>	0,11	71,41

b. Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit proses (Kondisi normal operasi).

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Reboiler 32-201</i>	7,22	83,24
<i>EG Regenerator 33-201</i>	0,07	80,96
<i>Heater 34-203</i>	0,01	55,37

Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit proses (Kondisi normal operasi) lanjutan.

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Pre-Heater 35-201</i>	0,33	71,18
<i>Pre-Heater 35-202</i>	0,17	69,14
<i>Pre-Heater 35-203</i>	0,22	63,37
<i>Pre-Heater 35-204</i>	0,14	67,37
<i>Pre-Heater 35-205</i>	0,32	60,73
<i>Pre-Heater 35-206</i>	0,06	61,71
<i>Reboiler 36-201</i>	0,80	71,18
<i>Heater 36-203A</i>	0,41	85,05
<i>Reboiler 39-201</i>	3,70	87,15

c. Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit 46 (Kondisi maksimum operasi).

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Boiler Packages 46-501A/B</i>	11,90	69,97
<i>Deaerator 46-101</i>	2,78	68,29
<i>LPS Condensate Drum 46-106</i>	3,93	57,31

Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit 46 (Kondisi maksimum operasi) lanjutan.

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Excess Steam Condenser 46-201</i>	0,22	68,86
<i>HP BFW Pump 46-331A/B</i>	1,91	64,00
<i>Steam Cond. Pump 46-332A/B</i>	1,85	59,27
<i>LP BFW Pump 46-333A/B</i>	0,12	71,41

d. Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit proses (Kondisi Maksimum Operasi)

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Reboiler 32-201</i>	7,94	81,96
<i>EG Regenerator 33-201</i>	0,08	79,93
<i>Heater 34-203</i>	0,01	53,82
<i>Pre-Heater 35-201</i>	0,44	65,80
<i>Pre-Heater 35-202</i>	0,20	66,96
<i>Pre-Heater 35-203</i>	0,23	63,44
<i>Pre-Heater 35-204</i>	0,15	67,37
<i>Pre-Heater 35-205</i>	0,40	55,77

Tabel Hasil kerusakan & efisiensi eksergi tiap komponen unit proses (Kondisi maksimum operasi) lanjutan.

Komponen	Kerusakan Eksergi (MW)	Efisiensi Eksergi (%)
<i>Pre-Heater 35-206</i>	0,08	56,38
<i>Reboiler 36-201</i>	0,81	69,39
<i>Heater 36-203A</i>	0,63	79,02
<i>Reboiler 39-201</i>	3,84	86,91

e. Tabel Pengaruh variasi temperatur terhadap efisiensi eksergi komponen unit 46.

Temperatur (T₀), K	Boiler (%)	Deaerator (%)	LP Cond. Flash Drum (%)	Excess Steam Cond. (%)
292,95	69,29	69,28	60,67	71,26
310,35	71,13	76,56	47,35	62,19

f. Tabel Pengaruh variasi temperatur terhadap kerusakan eksergi komponen unit 46.

Temperatur (T₀), K	Boiler (MW)	Deaerator (MW)	LP Cond. Flash Drum (MW)	Excess Steam Cond. (MW)
292,95	13,85	0,80	3,53	0,2031
310,35	12,34	0,71	3,68	0,2032

g. Tabel Pengaruh variasi temperatur terhadap efisiensi eksergi komponen unit proses.

Temperatur (T ₀), K	32-201 (%)	33-201 (%)	34-203 (%)	35-201 (%)	35-202 (%)	35-203 (%)	35-204 (%)	35-205 (%)	35-206 (%)	36-201 (%)	36-203A (%)	39-201 (%)
292,95	83,14	81,23	56,57	69,26	69,26	63,51	67,41	60,81	62,18	69,57	85,01	86,75
310,35	83,24	80,36	52,43	68,78	68,78	63,06	67,20	60,56	61,62	69,24	82,54	88,16

h. Tabel Pengaruh variasi temperatur terhadap kerusakan eksergi komponen unit proses.

Temperatur (T ₀), K	32-201 (MW)	33-201 (MW)	34-203 (MW)	35-201 (MW)	35-202 (MW)	35-203 (MW)	35-204 (MW)	35-205 (MW)	35-206 (MW)	36-201 (MW)	36-203A (MW)	39-201 (MW)
292,95	7,31	0,07518	0,01048	0,33221	0,17800	0,22651	0,14470	0,3273	0,064	0,80	0,41263	3,84
310,35	7,11	0,07544	0,01067	0,33225	0,17802	0,22651	0,14470	0,3273	0,065	0,80	0,47771	3,36