

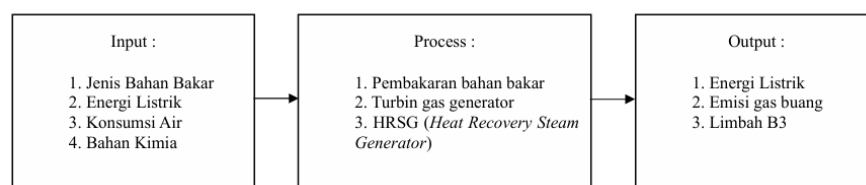
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, listrik sudah menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Memasuki revolusi industri 4.0 industri pembangkit listrik (*power generation industry*) menjadi sektor fundamental dalam perekonomian global, berfungsi sebagai tulang punggung penyedia energi yang vital bagi aktivitas masyarakat dan industri. Industri 4.0 pada pembangkit listrik ditandai dengan pemanfaatan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keamanan proses pembangkitan listrik diantaranya penggunaan teknologi sensor, otomatisasi, dan analisis data. Seiring dengan peningkatan populasi dan kemajuan teknologi, kebutuhan akan pasokan energi yang stabil dan besar terus meningkat. Di Indonesia, industri ini didominasi oleh berbagai jenis pembangkit, mulai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sebagai perusahaan penyedia energi listrik, PLN Indonesia Power UBP Grati merupakan sebuah perusahaan PLN yang bertanggung jawab atas ketersediaan pasokan listrik terhadap kebutuhan masyarakat. UBP Grati PGU menjalani peran strategis dalam menjaga pasokan listrik. PLN Indonesia Power UBP Grati merupakan pembangkit listrik bertenaga uap dan gas (PLTGU). Perusahaan listrik negara (PLN) sebagai penyedia listrik dinegara menghadapi pemenuhan permintaan listrik yang terus meningkatkan. Dengan sebageian energi yang digunakan berupa *High Speed Diesel* (HSD) berupa

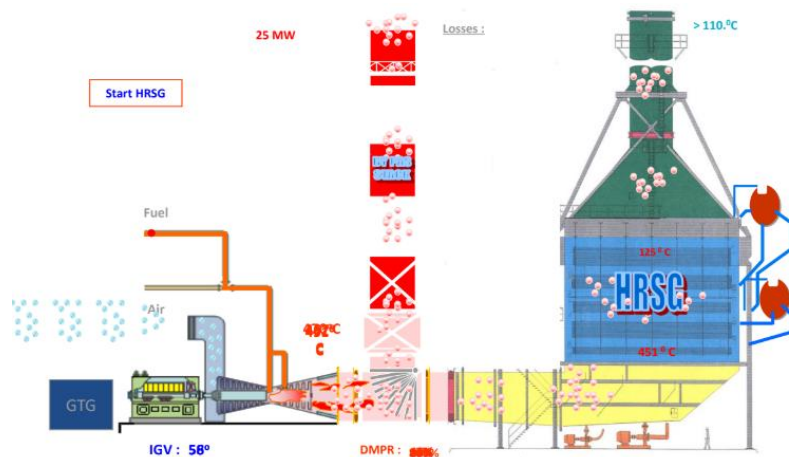
bahan bakar fosil dan gas yang dalam operasionalnya memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan sekitar. Secara signifikan, pembakaran bahan bakar fosil ini melepaskan emisi gas rumah kaca ke atmosfer, terutama karbon dioksida CO₂. Selain dampak atmosferik, operasional pembangkit juga berisiko menurunkan kualitas udara lokal melalui pelepasan partikulat dan sulfur yang memicu hujan asam serta gangguan pernapasan terhadap masyarakat sekitar. Industri pembangkit memiliki peran krusial terhadap pertumbuhan energi terbarukan untuk keberlanjutan (*sustainability*).



Gambar 1.1 *Input Procces Output* PLTGU UBP Grati

Pada input terdapat jenis bahan bakar, energi listrik awal, konsumsi air, dan bahan kimia. Kemudian pada procces terdapat proses pembakaran bahan bakar, turbin generator, dan ke proses HRSG untuk pemanfaatan gas buang. Setelah itu terdapat output yang berisi energi listrik yang dihasilkan, emisi gas buang, dan limbah B3. Dari proses pembakaran tersebut mengakibatkan menimbulkan berbagai dampak negatif yang tidak dapat diabaikan. Dampak negatif yang ditimbulkan diantaranya kesehatan terhadap manusia, kerusakan ekosistem, dan penggunaan sumber daya. Pembakaran bahan bakar dalam proses turbin gas menghasilkan emisi gas buang berupa CO₂ yang bisa mencemari udara sekitar berujung pemanasan global dan limbah yang harus dikelola secara khusus dan bertanggung jawab, karena berpotensi mencemari sumber air jika tidak ditangani

dengan benar. Adapun proses pembangkit listrik tenaga gas dan uap pada PLTGU UBP Grati sebagai berikut :



Gambar 1.2 Proses PLTGU UBP Grati

PLTGU Grati menggunakan 2 bahan bakar yakni gas alam dan *High Speed Diesel* (HSD). Pada awal operasional membutuhkan penggerak turbin dengan menggunakan starter motor dari PS jaringan 150kV yang berfungsi sebagai memutar kompresor. Kompresor akan menghisap udara luar menuju intake air filter kemudian diubah menjadi udara bertekanan yang digunakan proses pembakaran. Pada ruang bakar disemprotkan 18 nozzle berupa HSD maupun gas alam. Saat pencampuran antara bahan bakar dengan udara bertekanan maka terjadilah percikan api dan terjadilah proses pembakaran pada combustion chamber karena adanya segitiga api. Gas buang hasil pembakaran menghasilkan udara bertekanan tinggi dan panas yang mampu menggerakkan turbin pada gas turbin menjadi energi gerak yang berputar satu poros dengan generator. Generator inilah menghasilkan listrik dengan tegangan sebesar 11,5kV lalu di step up oleh trafo menjadi 150kV. Setelah memutar turbin sisa gas buang pembakaran akan dibuang melalui cerobong asap dan proses ini disebut *open cycle*. Namun sebagian gas buang tadi dimanfaatkan

kembali untuk memanaskan air menjadi uap. Sisa gas buang akan dialirkan ke bagian economizer yakni tahap awal berfungsi memanaskan air pada boiler hingga mendekati titik didih. Gas buang mengalir melalui evaporator berupa pipa pemanas yang menerima air dari drum, didalam evaporator panas gas buang digunakan mengubah air menjadi uap. Campuran air dan uap masuk kembali ke dalam drum lalu uap air akan dipisahkan dengan separator. Uap yang terpisah dipanaskan lanjut menjadi super heater yang menghasilkan udara bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin.

Sebagai perusahaan yang menghasilkan energi listrik, PLN Indonesia Power UBP Gati Pasuruan harus mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Pada setiap bulannya perusahaan ini mampu memproduksi energi listrik sebesar 1688 KWh dengan penggunaan bahan bakar HSD sebesar 9.833 kiloliter dan gas sebesar 1.507 MMBTU. Tingginya angka produksi energi listrik karena kebutuhan masyarakat menyebabkan timbul berbagai masalah terhadap dampak lingkungan yakni emisi gas buang dan limbah cair. Menurut peraturan pemerintah lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia nomor 11 tahun 2021 adapun nilai baku mutu emisi mesin dengan pembakaran dalam yakni sebagai berikut :

No	Kapasistas	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
1.	101 – 500 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO _x)	3400
			Karbon Monoksida (CO)	170
		Gas	Nitrogen Oksida (NO _x)	300
			Karbon Monoksida (CO)	450
2.	501 KW – 1000 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO _x)	1850
			Karbon Monoksida (CO)	77
			total partikulat	95
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	160
		Gas	Nitrogen Oksida (NO _x)	300
			Karbon Monoksida (CO)	250
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	150
			Nitrogen Oksida (NO _x)	2300
3.	1001 KW – 3000 KW	Minyak	Karbon Monoksida (CO)	168
			total partikulat	90
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	150
			Nitrogen Oksida (NO _x)	285
		Gas	Karbon Monoksida (CO)	250
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	60
			Nitrogen Oksida (NO _x)	285
			Karbon Monoksida (CO)	250

Gambar 1.3 Nilai Ambang Batas Emisi Baku Mutu
(Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup 2021)

Gambar tersebut merupakan tabel baku mutu emisi gas buang untuk mesin atau pembangkit berdasarkan kapasitas daya (KW) dan jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu minyak dan gas. Adapun alat pengukuran emisi gas buang yaitu *Flue Gas Analyzers*. Alat ini digunakan untuk mengukur komposisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembangkit listrik. Perangkat ini juga memastikan untuk mengukur kesesuaian dengan regulasi, dan mengoptimalkan proses. Tabel ini menunjukkan batas maksimum kandungan polutan yang diperbolehkan keluar ke udara dengan satuan mg/Nm³. Beberapa parameter pencemaran meliputi seperti Nitrogen Oksida, Karbon Monoksida, Sulfur Dioksida.

Tabel 1.1 Beban emisi GT 2.1 Tahun 2025 Januari-Desember

GT 2.1				
Mg/M ³				
No	Bulan	CO	SO ₂	Nox
1	Januari	35.23	35.11	136.85
2	Februari	55.36	23.87	135.61
3	Maret	25.91	54.48	165.57
4	April	59.45	23.61	144.91
5	Mei	95.89	120.29	164.46

GT 2.1				
Mg/M ³				
6	Juni	77.44	171.39	184.87
7	Juli	35.56	64.21	361.97
8	Agustus	46.25	57.94	382.35
9	September	69.55	65.13	434.73
10	Oktober	87.59	84.69	545.74
11	November	65.62	108.12	340.03
12	Desember	56.47	98.75	412.08

Tabel 1.2 Beban Emisi GT 2.2 Tahun 2025 Januari-Desember

GT 2.2				
Mg/M ³				
No	Bulan	CO	SO ₂	Nox
1	Januari	23.64	23.34	146.58
2	Februari	35.28	82.77	154.78
3	Maret	24.26	64.24	161.96
4	April	44.01	63.79	155.18
5	Mei	56.66	16.75	200.04
6	Juni	24.99	22.70	145.65
7	Juli	29.57	16.73	137.13
8	Agustus	54.36	72.94	157.69
9	September	87.80	84.80	161.75
10	Oktober	98.39	95.08	162.74
11	November	73.65	54.70	127.65
12	Desember	60.70	73.99	150.61

Tabel 1.3Beban Emisi GT 2.3 Tahun 2025 Januari-Desember

GT 2.3				
Mg/M ³				
No	Bulan	CO	SO ₂	Nox
1	Januari	24.23	23.82	198.45
2	Februari	34.14	34.09	177.61
3	Maret	40.19	55.47	203.60
4	April	30.27	39.76	175.09
5	Mei	37.34	54.53	178.45
6	Juni	28.68	25.50	228.87
7	Juli	130.26	34.29	189.50
8	Agustus	179.60	145.25	180.69

GT 2.3				
Mg/M ³				
9	September	169.80	167.22	185.09
10	Oktober	183.52	155.40	272.05
11	November	179.92	170.40	177.73
12	Desember	178.16	183.90	194.22

Sumber : Data Perusahaan

Continuous Emission Monitoring System (CEMS) merupakan salah satu perangkat penting dalam pengelolaan lingkungan di sektor industri yang berfungsi untuk memantau emisi gas buang secara real-time. Penggunaan CEMS memungkinkan pemantauan emisi secara berkelanjutan sekaligus membantu memastikan bahwa emisi yang dihasilkan telah memenuhi ketentuan dan standar lingkungan yang berlaku, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Tidak semua industri diwajibkan menggunakan CEMS. Penggunaan bahan bakar gas alam dan *High Speed Diesel* (HSD) dalam kegiatan pembangkitan listrik berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan, terutama akibat proses pembakaran yang menghasilkan berbagai jenis emisi gas buang. Beberapa emisi yang dapat dihasilkan antara lain karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon dioksida (CO₂). Emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar fosil dapat meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer sehingga berkontribusi terhadap pemanasan global. Sementara itu, SO₂ berpotensi menyebabkan terbentuknya hujan asam yang dapat menurunkan kualitas lingkungan, sedangkan NO_x dapat berperan dalam meningkatkan pencemaran udara dan membentuk polutan sekunder di atmosfer. Selain emisi udara, aktivitas operasional pembangkit juga dapat menghasilkan limbah cair serta limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Oleh karena itu, pengelolaan dan pemantauan emisi

perlu dilakukan dengan metode pengukuran yang sesuai dengan ketentuan serta standar lingkungan yang berlaku, baik pada tingkat nasional maupun internasional.

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1.	pH	-	6 – 9
2.	TSS	mg/L	100
3.	Minyak dan Lemak	mg/L	10
4.	Klorin Bebas (Cl ₂)*	mg/L	0,5
5.	Kromium Total (Cr)	mg/L	0,5
6.	Tembaga (Cu)	mg/L	1
7.	Besi (Fe)	mg/L	3
8.	Seng (Zn)	mg/L	1
9.	Phosphat (PO ₄ ⁻) **	mg/L	10

Gambar 1. 4 ambang batas penggunaan bahan kimia

(Sumber : Peraturan Menteri negara lingkungan hidup 2009)

Gambar diatas merupakan ambang batas dari limbah cair. Tabel ini menunjukkan batas maksimum penggunaan bahan kimia dan kadar TSS dan pH air sebelum dibuang kelaut. Dari gambar tabel diatas terdapat parameternya seperti TSS, pH, Klorin, Kromium, Tembaga, Besi, Seng, dan Phosphate. TSS merupakan *Total Suspended Solids* yaitu parameter yang menunjukkan jumlah partikel padat yang tersuspensi atau melayang di dalam air limbah. Sedangkan pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air limbah. Apabila karakteristik limbah cair tidak dikelola sesuai dengan ketentuan baku mutu, maka kandungan pencemar tersebut berpotensi menurunkan kualitas badan air dan mengganggu ekosistem perairan.

Tabel 1.4 Limbah B3 dari produksi energi listrik tahun 2025 Januari-Desember

Bulan	Majun (Kg)	Filter oil (Kg)	Minyak pelumas (Kg)	Kaleng bekas (Kg)	HSD Bekas (Kg)	Resin Bekas (Kg)
Januari	71,5	20	640	10	200	380
Februari	44	3	350	7	250	300
Maret	60	10	400	15	230	350

Bulan	Majun (Kg)	Filter oil (Kg)	Minyak pelumas (Kg)	Kaleng bekas (Kg)	HSD Bekas (Kg)	Resin Bekas (Kg)
April	50	26	500	11	330	320
Mei	15	50	400	2	242	400
Juni	30	30	592	25	280	330
Juli	26	25	300	20	310	390
Agustus	26	30	450	15	210	387
September	23,4	55	800	10	297	300
Oktober	71	40	400	21	320	417
November	50	35	100	10	227	354
Desember	30	20	350	25	300	400

Sumber : Data Perusahaan

Adapun tabel 1.4 merupakan limbah yang dihasilkan yakni limbah B3 berupa majun, filter oil, minyak pelumas, kaleng bekas, HSD bekas, dan resin bekas. Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* menjadi krusial dalam konteks ini karena memungkinkan PLN untuk memetakan dampak lingkungan, mulai dari ekstraksi bahan bakar, proses distribusi, hingga fase pembakaran di unit pembangkit. Dengan metode LCA, perusahaan tidak hanya melihat emisi langsung dari cerobong asap, tetapi juga menilai dampak "tersembunyi" seperti potensi pencemaran air dari limbah pendingin dan degradasi ekosistem akibat rantai pasokan bahan bakar. Melalui data yang dihasilkan dari LCA, PLN dapat merumuskan strategi mitigasi yang lebih akurat, seperti optimalisasi efisiensi energi atau percepatan transisi ke energi terbarukan yang lebih rendah karbon.

Metode LCA (*Life Cycle Assement*) merupakan pendekatan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan, yaitu tahapan dalam siklus hidup yang

menghasilkan dampak lingkungan terbesar, baik berupa emisi karbon, konsumsi energi, atau produksi limbah. Secara umum, *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh suatu produk atau aktivitas sepanjang tahapan siklus hidupnya. Analisis ini dapat dimulai dari tahap hulu, seperti pengadaan dan penggunaan bahan baku, kemudian dilanjutkan dengan proses produksi dan penggunaan produk, hingga tahap hilir berupa pembuangan atau pengelolaan limbah. (Maisarah & Dian, 2024). Secara signifikan, pembakaran bahan bakar fosil ini melepaskan emisi gas rumah kaca ke atmosfer, terutama karbon dioksida CO₂. Selain dampak atmosferik, operasional pembangkit juga berisiko menurunkan kualitas udara lokal melalui pelepasan partikulat dan sulfur yang memicu hujan asam serta gangguan pernapasan terhadap masyarakat sekitar. Pendekatan yang identik untuk menilai dampak lingkungan menggunakan metode *life cycle assement*.

Menurut literatur penelitian terdahulu Yanti dkk, (2026) *Life Cycle Assessment to Improve the Sustainability of Cylinder Head Component Production Process at PT XYZ* membahas bahwa metode ini sangat efektif digunakan penilaian siklus hidup (*life cycle assessment*) terhadap dampak lingkungan dari aktivitas manufaktur produk komponen *cylinder head* dengan proses *casting*, *machining*, dan *engine assy* menggunakan metode EDIP, kategori dampak yang diidentifikasi meliputi: *human toxicity water*, *ecotoxicity soil chronic*, *ozone formation (vegetation)*, *global warming 100a*. Skenario alternatif atau usulan perbaikan yang dapat diterapkan Pemanfaatan sumber energi terbarukan, seperti energi surya melalui sistem panel surya dan energi angin, dapat menjadi salah satu

upaya untuk menekan emisi gas rumah kaca serta mengurangi pelepasan zat pencemar yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi pada ekosistem perairan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

” Bagaimana menghitung nilai eco-cost, memberikan usulan perbaikan dampak lingkungan, mengidentifikasi dan menganalisis input serta output dari keseluruhan siklus hidup proses operasional dan produksi listrik di PLN Indonesia Power UBP Grati? ”

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang ditetapkan untuk menjaga agar pembahasan dan penyelesaian masalah tetap sesuai dengan ruang lingkup serta fokus penelitian yang telah ditentukan, yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan pada bulan November-Desember 2025 sampai data terpenuhi.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mulai tahun 2025 serta batasan sistem LCA menggunakan *gate-to-gate*.
3. Penelitian ini tidak membahas aspek sosial, melainkan difokuskan pada aspek ekonomi dan lingkungan pembangkit GT 2.3.

1.4 Asumsi

Adapun asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, serta limbah yang dihasilkan dari proses pembangkitan listrik yang dianalisis bersifat akurat.
2. Data yang digunakan dianggap akurat, valid, dan mewakili kondisi sebenarnya, baik data primer maupun data sekunder yang diperoleh dari perusahaan.
3. Aliran input dan output utama (bahan bakar, energi, air, emisi, dan limbah) teridentifikasi dan terukur dalam sistem yang dianalisis serta nilai tukar yang digunakan dalam penelitian adalah 1 Euro (€) = Rp 20.648 dan digunakan sebagai dasar konversi nilai *eco-cost* dari Euro ke Rupiah.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Menghitung nilai *eco-cost* dan mengidentifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pembangkitan listrik di PLN Indonesia Power UBP Grati, Memberikan rekomendasi perbaikan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan meningkatkan kinerja *green manufacturing* di PLN Indonesia Power UBP Grati, Mengidentifikasi dan menganalisis input serta output pada proses pembangkitan listrik yang meliputi penggunaan bahan bakar, energi, air, emisi, dan limbah menggunakan pendekatan *Life Cycle Assesment (LCA)*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari pelaksanaan tugas akhir ini

adalah sebagai berikut::

a) Manfaat Teoritis

1. Melalui penelitian ini, mahasiswa dapat memperoleh pemahaman serta pengalaman dalam menerapkan konsep *Green Manufacturing* untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan lingkungan dan proses produksi.
2. Untuk mengetahui sejauh mana teori yang telah diperoleh selama perkuliahan dapat diterapkan dalam menghadapi dan menyelesaikan permasalahan nyata yang terdapat di perusahaan.

b) Manfaat Praktis

1. Menjadi bahan referensi bagi perusahaan dalam melakukan evaluasi dan mengembangkan strategi penerapan *Green Manufacturing* di masa mendatang.
2. Memberikan informasi yang lebih jelas mengenai dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas proses pembangkitan listrik di PLN Indonesia Power UBP Grati.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan dan asumsi yang digunakan, serta tujuan dan manfaat penelitian. Selain itu, bab ini juga menjelaskan sistematika penulisan

yang digunakan sebagai pedoman dalam penyusunan keseluruhan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori yang relevan dengan penerapan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) sebagai dasar dalam menentukan tahapan dan pelaksanaan penelitian. Selain itu, bab ini juga mencakup hasil penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi untuk mendukung proses analisis dan penyelesaian permasalahan yang dikaji.

BAB III PENGUMPULAN DATA

Bab ini menjelaskan tahapan penyelesaian masalah yang dilakukan secara sistematis, dimulai dari perumusan masalah dan penetapan tujuan yang ingin dicapai, studi pustaka, identifikasi serta penentuan variabel, pengumpulan data, hingga proses pengolahan dan analisis data yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV PENGOLAHAN DATA

Bab ini menguraikan tahapan pengumpulan, pengolahan, dan analisis data yang telah diperoleh. Hasil dari tahapan tersebut selanjutnya digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengevaluasi kemungkinan penerapan kebijakan perusahaan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil

analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun untuk menjawab tujuan penelitian dan permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk penyempurnaan penelitian serta sebagai masukan bagi penelitian selanjutnya yang masih memerlukan pengembangan dan kajian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN