

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Biofuel

Fuel adalah bahan bakar untuk menghasilkan energi apabila melalui proses pembakaran. Biofuel adalah bahan bakar yang berasal dari biomassa. Biomassa berasal dari tumbuhan dan hewan. Contoh biomassa yaitu kayu, tanaman dan produk pertanian, tumbuhan air, limbah tumbuhan dan hewan (Filamon, 2010). Biomassa merupakan bahan biofuel yang dapat diperbaharui. Dalam arti yang umum biofuel merupakan semua jenis bahan bakar padat, cair dan gas yang berasal dari biomassa. Contoh biofuel padat yaitu kayu, arang dan ampas tebu. Contoh biofuel gas yaitu gas metana. Gas metana dapat diperoleh dari fermentasi anaerobik kotoran hewan. Contoh biofuel cair yaitu etanol, minyak tumbuhan dan biodiesel (Debalina and Ralph, 2013).

### 2.2. Biodiesel

Biodiesel adalah *monoalkil ester* yang diproses dari minyak tumbuhan dan lemak hewan (Debalina and Ralph, 2013). Biodiesel dari produk pertanian dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung industri pertanian lokal. Biodiesel menawarkan manfaat besar dalam hal keberlanjutan, mengurangi polutan dan emisi gas rumah kaca (Evangelos, 2013; Harold, 2013).

Biodiesel (*metil ester* atau *etil ester*) merupakan bahan bakar yang sangat menjanjikan untuk sektor transportasi karena memiliki sifat yang mirip dengan bahan bakar diesel, dapat dicampur dengan diesel pada proporsi berapapun atau dapat langsung digunakan (B100) di mesin diesel tanpa memodifikasi mesin diesel (Yang et. al., 2007).

### 2.3. Perbandingan Biodiesel dan Diesel

Biodiesel merupakan bahan yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan diesel. Biodiesel mudah terbakar sama seperti diesel tetapi biodiesel menghasilkan emisi yang lebih sedikit dibandingkan diesel. Berikut tabel 2.1 menyajikan perbandingan biodiesel dan diesel (Budiman et al., 2017).

Tabel 2.1. Perbandingan karakteristik biodiesel dan diesel

| Kategori                      | Biodiesel  | Diesel   |
|-------------------------------|--|--|
| Sifat pembakaran              | Bersih   | Menimbulkan polusi dan gangguan kesehatan  |
| Sifat pelumasan               | Mempunyai sifat pelumasan sehingga dapat membersihkan mesin dari dalam | Tidak mempunyai sifat pelumas  |
| Angka setana                  | Lebih tinggi dari diesel   | Lebih rendah dari biodiesel  |
| Emisi CO <sub>2</sub>         | 78% lebih rendah dari diesel   | Sangat besar dan menyebabkan pemanasan global  |
| Emisi zat padat dan gas buang | Menghasilkan sedikit jelaga, CO, hidrokarbon dan SO <sub>2</sub>       | Menghasilkan banyak jelaga, CO, hidrokarbon dan SO <sub>2</sub>                          |
| Efek terhadap lingkungan      | Tidak beracun dan mudah terurai  | Sifat <i>biodegradable</i> lebih rendah dari biodiesel dan penyebab utama gas rumah kaca |

(Budiman et al., 2017)

Penggunaan bahan bakar fosil seperti diesel suatu saat akan habis. Sedangkan, biodiesel dapat di produksi dari minyak tanaman, limbah minyak tanaman dan limbah lemak hewan yang banyak terdapat di dunia dan bersifat terbarukan. Polusi udara yang diakibatkan penggunaan bahan bakar fosil yang mengemisikan gas CO<sub>2</sub>, gas buang dan debu yang tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Menggunakan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar fosil dapat mengurangi dampak pencemaran (Budiman et al., 2017).

#### 2.4 Single Feedstock dan Multi Feedstock Biodiesel

Biodiesel dari *single feedstock* minyak kelapa sawit menimbulkan permasalahan lingkungan dan berkurangnya keanekaragaman hayati (Jahirul et al.,

2013). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan membuat *multi feedstock* biodiesel dan memperhitungkan LCA proses produksi biodiesel. *Multi feedstock* biodiesel dapat dibuat dengan mengkombinasikan beberapa bahan baku minyak nabati yang telah diproses dan dicampurkan. Potensi pemanfaatan minyak jelantah yang jumlahnya melimpah bermanfaat untuk mengatasi pencemaran yang disebabkan karena minyak jelantah langsung dibuang ke lingkungan (Jincheng and Jianxin, 2011; Phan and Phan, 2008). Minyak rapeseed salah satu jenis minyak nabati yang telah banyak digunakan sebagai bahan baku *single feedstock* biodiesel (Daun et al., 2011). Minyak jelantah, minyak kelapa sawit mentah dan minyak rapeseed mentah dapat digunakan sebagai bahan baku *multi feedstock* biodiesel. Manfaat yang dihasilkan dari *multi feedstock* adalah mengatasi pencemaran lingkungan dan menambah keanekaragaman hayati.

## 2.5 Life Cycle Assessment (LCA)

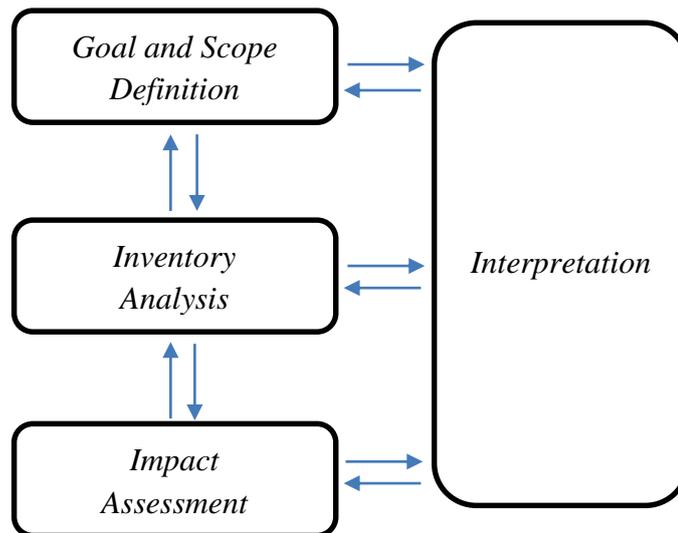
Menurut ISO 14040 (2006), LCA didefinisikan sebagai kompilasi evaluasi input, output dan dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh siklus hidupnya. LCA merupakan investigasi dan evaluasi dampak lingkungan dari produk tertentu yang disebabkan oleh keberadaannya. LCA mengukur seluruh siklus hidup produk. LCA sering disebut sebagai *cradle to grave* yang mungkin dimulai dengan pengumpulan bahan mentah dari bumi untuk dibuat produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan dikembalikan ke bumi. Ruang lingkup LCA terbagi menjadi empat, yaitu : *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to gate* dan *cradle to cradle*. *Cradle to grave* (bahan baku → limbah), *cradle to gate* (bahan baku → produk), *gate to gate* (1 tahap → 1 tahap lain) dan *cradle to cradle* (bahan baku → proses pengolahan limbah menjadi bahan baku lagi atau limbah yang ramah lingkungan). Pada konsep LCA memungkinkan penggunaan asumsi yang masuk akal dan terdefinisi dengan baik.

Sebagian besar studi LCA tentang bioenergi dari pertanian berfokus pada *global warming potential* (GWP) (Bernesson and Hansson, 2006). Dalam beberapa tahun terakhir penilaian siklus hidup telah menjadi fokus utama pembuatan kebijakan lingkungan. Contoh yang jelas adalah konsep IPP (Kebijakan Produk Terpadu) sebagaimana dikomunikasikan oleh Uni Eropa. Banyak negara maju (Amerika, Jerman, China) mengembangkan strategi yang

mempromosikan penilaian siklus hidup sebagai konsep utama. Perkembangan lainnya adalah gerakan pelaporan keberlanjutan. Banyak perusahaan kini melaporkan aspek keberlanjutan operasi mereka (Goedkoop et al., 2010).

### 2.5.1 Tahapan Penilaian Siklus Kehidupan (LCA)

Pada dasarnya, setiap studi LCA terdiri dari empat fase yang berbeda, tetapi saling terkait. Berikut gambar 2.1 merupakan kerangka LCA menurut ISO 14040.



Gambar 2.1. Kerangka LCA menurut ISO 14040: 2006

Berdasarkan gambar 2.1, langkah LCA yaitu diawali dengan menentukan *goal and scope definition* (tujuan dan ruang lingkup studi), dilanjutkan dengan *inventory analysis* (analisis inventaris semua parameter emisi dan konsumsi sumber), *impact assessment* (metode penilaian dampak) dan *interpretation* (menafsirkan hasil).

#### 1. Goal and Scope Definition

Sasaran dan ruang lingkup dari LCA adalah panduan yang memberikan arahan dan bantuan untuk memastikan konsistensi LCA yang dilakukan (ISO 14040, 2006).

1. Alasan untuk melaksanakan LCA dan pertanyaan-pertanyaan yang perlu dijawab.
2. Definisi yang tepat tentang produk, siklus hidupnya dan fungsi yang terpenuhi.
3. Definisi dasar perbandingan (*unit fungsional*) ketika produk harus dibandingkan.

4. Deskripsi *system boundary*.
5. Penjelasan tentang cara penanganan masalah alokasi.
6. Persyaratan kualitas data.
7. Asumsi dan batasan.
8. Persyaratan terkait prosedur LCIA (*life cycle impact assessment*)

## 2. Inventory Analysis

Tahap analisis inventori melibatkan alokasi aliran dan rilis, pengumpulan data dan prosedur perhitungan untuk mengukur input dan output terkait dari sistem produk. Pengumpulan data dapat dicapai melalui penggunaan data *built-in* yang relevan dalam perangkat lunak LCA dan/atau penggunaan data spesifik yang dihasilkan dari sistem (Debalina and Ralph, 2013).

## 3. Impact Assessment

Tahap penilaian dampak dari LCA didefinisikan sebagai fase yang ditujukan untuk mengevaluasi besarnya dampak lingkungan potensial dari suatu produk atau sistem. Hasil *life cycle inventory* (LCI) memberikan informasi untuk siklus hidup tahap interpretasi melalui tahap penilaian dampak, yang melibatkan (ISO 14040, 2006):

1. Seleksi dan definisi kategori dampak (wajib): mengidentifikasi kategori dampak lingkungan yang relevan (misalnya pemanasan global, pengasaman, toksisitas terestrial).
2. Klasifikasi (wajib): menetapkan hasil LCI ke kategori dampak (misalnya mengklasifikasikan emisi karbon dioksida ke pemanasan global).
3. Karakterisasi (wajib): memodelkan dampak LCI dalam kategori dampak menggunakan faktor konversi berbasis sains (misalnya pemodelan potensi dampak karbon dioksida dan metana pada pemanasan global).
4. Skor tunggal (opsional): menekankan dampak potensial yang paling penting.

## 4. Interpretation

Interpretasi adalah fase LCA dimana temuan dari analisis inventaris dan penilaian dampak. Fase ini juga memberikan hasil yang konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditetapkan dan mencapai kesimpulan menjelaskan batasan dan menyediakan rekomendasi (ISO 14040, 2006).

## 2.6 Greenhouse Gas Protocol

Greenhouse Gas Protocol V1.02 adalah salah satu metode penilaian dampak siklus hidup. Greenhouse Gas Protocol V1.02 memiliki hasil perhitungan kategori dampak: *fossil CO<sub>2</sub>eq*, *biogenic CO<sub>2</sub>eq*, *CO<sub>2</sub>eq from land transformation* dan *CO<sub>2</sub> uptake*. Faktor karakterisasi per zat identik dengan metode IPCC 2007 GWP (100a) di SimaPro. Satu-satunya perbedaan adalah bahwa serapan karbon dan emisi karbon biogenik dimasukkan dalam metode ini. Berikut penjelasan 4 kategori dampak hasil kalkulasi Greenhouse Gas Protocol V1.02: 1) *CO<sub>2</sub> uptake* (CO<sub>2</sub> yang disimpan di pohon dan tanaman saat tumbuh). 2) *CO<sub>2</sub>eq from land transformation* (dampak langsung). 3) *Biogenic CO<sub>2</sub>eq* (karbon yang berasal dari sumber biogenik seperti pohon dan tanaman). 4) *Fossil CO<sub>2</sub>eq* (karbon yang berasal dari bahan bakar fosil) (Soldal and Modahl, 2016).

## 2.7 Perhitungan dari Input Energi Hingga Mendapatkan Satuan kg CO<sub>2</sub>eq

Studi kasus LCA pada pembuatan gubuk kayu

Sebanyak 1.25 ton pohon di hutan telah ditebang untuk memproduksi 1 ton batang kayu, 0.25 ton dibakar di tempat pemotongan (*sawmill*) untuk pengeringan. Jarak dari hutan ketempat pemotongan kayu adalah 200 km.

Proses pemotongan dengan batang kayu sebagai bahan masukan akan menghasilkan tiga produk (keluaran) dengan proporsi sebagai berikut:

1. Papan kayu, 50% = 500 kg
2. Serbuk kayu, 40% = 400 kg
3. Kulit kayu, 10 % = 100 kg

Proses pemotongan dilakukan dengan gergaji listrik yang mengkonsumsi energi sebesar 150 kWh per tonnya.

Pembakaran ranting dan daun untuk pengeringan, menghasilkan emisi ke udara yaitu:

1. 450 kg CO<sub>2</sub>
2. 2.9 kg CO
3. 0.5 kg NO<sub>2</sub>
4. 0.54 kg partikulat, < 10 µm
5. 0.1 kg SO<sub>2</sub>

Faktor emisi untuk transportasi (kg/tkm):

|                  |        |
|------------------|--------|
| CO <sub>2</sub>  | 0.296  |
| CH <sub>4</sub>  | 0.0036 |
| N <sub>2</sub> O | 0.0022 |

Faktor emisi untuk listrik (kg/kWh):

|                  |           |
|------------------|-----------|
| CO <sub>2</sub>  | 12.32     |
| CH <sub>4</sub>  | 0.0002414 |
| N <sub>2</sub> O | 0.0001826 |

Tabel 2.2. Penilaian dampak daur hidup (LCIA) bagian 1

|       |                                | Kategori Dampak                |                    |  |                   |                    |                                |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------------------|
|       |                                | Pemanasan Global               | Asidifikasi        | Penipisan Ozon                                 | Oksidan Fotokimia | Penipisan Abiotik  | Toksistasitas terhadap Manusia |
| Emisi | NO                             | Amonia                         | CFC-12             | NO <sub>2</sub>                                | Nikel             | Dioxin             |                                |
|       | CO <sub>2</sub>                | NO                             | Halotan            | Propan   | Magnesium         | Hg                 |                                |
|       | NF <sub>3</sub>                | NO <sub>2</sub>                | HCFC               | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH <sub>3</sub> | Mangan            | NO <sub>2</sub>    |                                |
|       | CH <sub>4</sub>                | SO <sub>2</sub>                | CH <sub>2</sub> Br | CO   | Klorin            | Zink               |                                |
|       | CO                             | SO                             | Etana              | CH <sub>4</sub>                                | Arsenik           | Partikulat < 10 µm |                                |
|       | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Propan             | SO   | Tembaga (Cu)      | Bentazon           |                                |
|       | N <sub>2</sub> O               | SO <sub>3</sub>                | CH <sub>3</sub> Br | SO <sub>2</sub>                                | Kobalt            | Nikel              |                                |

Berdasarkan tabel 2.2, emisi yang menyebabkan pemanasan global adalah NO, CO<sub>2</sub>, NF<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, dan N<sub>2</sub>O. Senyawa-senyawa yang menyebabkan pemanasan global dapat dihitung nilainya dan disetarakan menjadi *CO<sub>2</sub> equivalen* (kg CO<sub>2</sub>eq). CO<sub>2</sub> dapat disetarakan menjadi CO<sub>2</sub>eq melalui 2 tahap yaitu pertama, nilai kuantitas pencemaran gas dikalikan faktor emisi yang ditampilkan pada tabel 2.3. Kedua, hasil perkalian tersebut dijumlahkan dan dikalikan dengan faktor karakterisasi seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.3. Penilaian dampak daur hidup (LCIA) bagian 2

| Masukan Energi | Satuan | Kuantitas [a] | Faktor Emisi (kg/satuan) [b] |           | Total Emisi (kg) [a] x [b] |
|----------------|--------|---------------|------------------------------|-----------|----------------------------|
| Transportasi   | ton.km | 250           | CO <sub>2</sub>              | 0.296     | 74                         |
|                |        |               | CH <sub>4</sub>              | 0.036     | 9.03621                    |
|                |        |               | N <sub>2</sub> O             | 0.0022    | 0.57739                    |
| Listrik        | kWh    | 150           | CO <sub>2</sub>              | 12.32     | 1848                       |
|                |        |               | CH <sub>4</sub>              | 0.0002414 | 0.03621                    |
|                |        |               | N <sub>2</sub> O             | 0.0001826 | 0.02739                    |

Berdasarkan tabel 2.3, perhitungan total emisi adalah:

Transportasi = kuantitas x faktor emisi = ton.km x kg/ton.km = kg

Listrik = kuantitas x faktor emisi = kWh x kg/kWh = kg

Tabel 2.4. Penilaian dampak daur hidup (LCIA) bagian 3

| Emisi            | Kategori Dampak                        |  |          |
|------------------|--|--|----------|
|                  | Pemanasan Global (GWP <sub>100</sub> ) |  |          |
|                  | Jumlah (kg)                            | Faktor Karakterisasi (kg CO <sub>2</sub> eq) | Total    |
| CO <sub>2</sub>  | 450 + 74 + 1848 = 2372                 | 1  | 2372     |
| CH <sub>4</sub>  | 9.03621 + 0.03621 = 9.072              | 25   | 226.8    |
| N <sub>2</sub> O | 0.57739 + 0.02739 = 0.6048             | 298  | 180.224  |
| CO               | 2.9                                    | 1.9  | 5.51     |
| NO <sub>2</sub>  | 0.5                                    | 0  | 0        |
| Partikulat       | 0.54                                   | 0  | 0        |
| SO <sub>2</sub>  | 0.1                                    | 0  | 0        |
| Total            | kg CO <sub>2</sub> eq                  |  | 2779,024 |

(IPCC, 2006; Goedkoop et al., 2016)

Berdasarkan tabel 2.4, nilai kg CO<sub>2</sub>eq didapatkan dengan cara menjumlahkan emisi kg CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O dan CO, kemudian hasil penjumlahan dikalikan dengan faktor karakterisasi. CO<sub>2</sub>eq adalah nilai total pencemaran gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Sumber gas pencemar tidak hanya dari gas CO<sub>2</sub> tetapi juga dari gas CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, dan CO.

## **2.8 Keterkaitan Penelitian dengan Dasar Hukum di Indonesia**

### **1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi**

Pasal 1, Ayat 10, berbunyi: lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Ayat 11, menyatakan: pelestarian fungsi lingkungan hidup adalah rangkaian upaya untuk memelihara kelangsungan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Ayat 25, menyebutkan: kebijakan energi nasional adalah kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian dan ketahanan energi nasional.

Penelitian ini berkaitan dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi, yaitu pada Pasal 1, Ayat 10, 11 dan 25. Definisi lingkungan hidup (Ayat 10) dan pelestarian fungsi lingkungan hidup (Ayat 11) tertuang dalam dalam undang-undang tentang energi yang menunjukkan pentingnya menjaga lingkungan hidup dan pelestarian fungsi lingkungan hidup dalam sektor energi. Ayat 25 menyatakan bahwa kebijakan energi nasional harus berwawasan lingkungan.

### **2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional**

Pasal 2, Ayat 2, mengutarakan: Sasaran Kebijakan Energi Nasional adalah:

- a. Tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari 1 (satu) pada tahun 2025.
- b. Terwujudnya energi (primer) mix yang optimal pada tahun 2025, yaitu peranan masing-masing jenis energi terhadap konsumsi energi nasional: 1) minyak bumi menjadi kurang dari 20% (dua puluh persen). 2) gas bumi menjadi lebih dari 30% (tiga puluh persen). 3) batubara menjadi lebih dari 33% (tiga puluh tiga persen). 4) biofuel menjadi lebih dari 5% (lima persen). 5) panas bumi menjadi lebih dari 5% (lima persen). 6) energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya, Biomasa, Nuklir, Tenaga Air Skala Kecil, Tenaga Surya, dan Tenaga Angin menjadi lebih dari 5% (lima persen). 7) Bahan Bakar Lain yang berasal dari pencairan batubara menjadi lebih dari 2% (dua persen).

Topik penelitian ini berkaitan dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional, Pasal 2, Ayat 2, Point b menyebutkan terwujudnya energi primer (mix) yang optimal pada tahun 2025, yaitu peranan masing-masing jenis energi terhadap konsumsi energi nasional salah satunya adalah biofuel menjadi lebih dari 5% (lima persen).

### 3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Pasal 1, Ayat 19 menyebutkan: perubahan iklim adalah berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia sehingga menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan selain itu juga berupa perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan. Ayat 26 menyatakan: dampak lingkungan hidup adalah pengaruh perubahan pada lingkungan hidup yang diakibatkan oleh suatu usaha dan/atau kegiatan. Ayat 34 mengutarakan: ancaman serius adalah ancaman yang berdampak luas terhadap lingkungan hidup dan menimbulkan keresahan masyarakat.

Penelitian LCA ini berhubungan dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal 1, Ayat 19, Ayat 26, Ayat 34. Penelitian ini mengkalkulasi jumlah pencemaran CO<sub>2</sub> pada produksi biodiesel. CO<sub>2</sub> adalah gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global dapat menyebabkan perubahan iklim global. Ayat 19 membahas tentang perubahan iklim yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Pemanasan global dapat membuat es pada daerah kutub mencair yang akan berdampak pada naiknya permukaan air laut. Ayat 26 menyebutkan tentang dampak lingkungan hidup. Menurut *United Nations Development Programs* (2007), terdapat beberapa ancaman utama perubahan iklim terhadap kehidupan masyarakat, khususnya rakyat miskin, antara lain sumber nafkah, kesehatan, ketahanan pangan, dan air. Hal tersebut menjadi ancaman serius bagi masyarakat. Ayat 34 mengatakan tentang ancaman serius.