

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Decommissioning*

*Decommissioning* adalah proses pemberhentian operasional dan pembongkaran fasilitas industri yang telah selesai masa operasinya atau tidak lagi ekonomis untuk beroperasi. Di sektor minyak dan gas lepas pantai, *decommissioning* tidak hanya melibatkan pembongkaran fisik struktur produksi, tetapi juga mencakup penutupan sumur, pengelolaan limbah berbahaya, serta pemulihan lokasi agar sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku. Proses *decommissioning* adalah hal yang kompleks, melibatkan berbagai disiplin ilmu, dan sering kali membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk dilaksanakan secara penuh.

Proses *decommissioning* juga memerlukan perhatian besar terhadap keamanan, dampak lingkungan, dan biaya, yang semuanya harus dipertimbangkan dalam setiap tahap. Dalam *decommissioning*, ada dua dimensi utama: efek dan teknik. Dimensi pertama mencakup berbagai elemen seperti perencanaan teknis yang mendalam, keamanan kerja, dan biaya logistik. [8]

#### 2.1.1 *Decommissioning FPSO*

*Decommissioning FPSO (Floating Production, Storage, and Offloading)* merujuk pada serangkaian langkah yang dilakukan untuk menghentikan operasional FPSO setelah masa penggunaannya berakhir, serta membongkar atau mengangkat struktur dan peralatan yang ada. FPSO adalah *unit* terapung yang berfungsi untuk memproduksi, mengolah, dan menyimpan minyak dan gas di laut. Namun, seiring berjalannya waktu dan berakhirnya periode produksi, FPSO perlu dihentikan dan dibongkar untuk memastikan bahwa strukturnya tidak lagi menimbulkan ancaman bagi lingkungan atau keselamatan manusia.

Dalam hal ini, *decommissioning FPSO* lebih mengarah pada pengangkatan modul *topside*, yang mencakup peralatan besar yang digunakan untuk proses produksi dan penyimpanan. Proses ini sering kali melibatkan penggunaan *heavy lift vessels* dan *crane* besar untuk mengangkat struktur-modul yang berat dan memindahkannya ke lokasi daur ulang. *Decommissioning FPSO* memerlukan pengelolaan yang hati-hati untuk memastikan setiap langkah dilakukan dengan memperhatikan keselamatan kerja dan lingkungan serta untuk mengurangi biaya yang mungkin timbul akibat kecelakaan atau kesalahan teknis. [9]

#### 2.1.2 Tahapan *Decommissioning*

*Decommissioning FPSO* melibatkan beberapa tahapan yang saling berkaitan, yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua bagian dari FPSO dibongkar dengan aman dan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Tahapan ini meliputi:

1. Pengangkatan Modul *Topside*

Salah satu tahapan utama dalam *decommissioning FPSO* adalah pengangkatan modul *topside*, yang mencakup peralatan seperti fasilitas produksi, penyimpanan, dan pemrosesan minyak. Pengangkatan ini memerlukan penggunaan *heavy lift cranes* dan kapal pengangkut besar yang dapat menangani beban berat. Dengan perhitungan yang cermat, *rigging* yang tepat harus dilakukan untuk memastikan beban yang sangat berat dapat didistribusikan dengan baik dan pengangkatan dilakukan tanpa risiko kegagalan.

2. Pemindahan Substruktur FPSO

Selain modul *topside*, struktur *sub-sea* seperti *mooring lines* dan *risers* sering kali terhubung dengan dasar laut. Beberapa bagian dari substruktur ini mungkin perlu

dipindahkan, sementara yang lainnya dapat dibiarkan di dasar laut sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku. Keputusan ini sangat bergantung pada biaya serta dampaknya terhadap lingkungan sekitar.

### 3. Pemulihan Lokasi

Tahapan pemulihan lokasi melibatkan pembersihan *area seabed* dari struktur yang tertinggal, yang bertujuan untuk mengembalikan kondisi dasar laut ke keadaan yang aman dan alami. Semua material yang tertinggal harus diangkat atau diproses, dengan memperhatikan protokol lingkungan agar tidak ada polusi lebih lanjut yang terjadi.

### 4. Pengelolaan Limbah dan Kontaminasi

Selama proses *decommissioning*, penting untuk mengelola limbah berbahaya seperti minyak sisa, bahan kimia, dan gas beracun lainnya dengan cara yang benar. Semua limbah harus diproses sesuai dengan standar keselamatan yang ketat untuk mencegah pencemaran lebih lanjut di laut. Pengendalian limbah selama *decommissioning* FPSO memerlukan prosedur yang sangat hati-hati dan mengikuti peraturan ketat yang berlaku untuk mencegah pencemaran lebih lanjut. [8]

## 2.1.3 Tantangan Proses *Decommissioning* FPSO

Proses *decommissioning* FPSO tidak lepas dari berbagai tantangan yang harus dihadapi oleh operator dan kontraktor. Beberapa tantangan terbesar yang dihadapi dalam *decommissioning* FPSO adalah:

### 1. Biaya yang Tinggi

Pengangkutan dan pemindahan modul *topside* FPSO adalah operasi yang sangat mahal, mengingat ukuran dan berat struktur yang diangkat. Biaya ini menjadi lebih tinggi karena *heavy lift vessels* atau *crane* yang digunakan memerlukan investasi besar dan biaya operasional yang tinggi. Selain itu, pengangkutan ke fasilitas daur ulang atau pembuangan juga membutuhkan biaya yang signifikan.

### 2. Keamanan dalam *Lifting*

Proses pengangkutan modul *topside* FPSO memerlukan perencanaan *rigging* yang sangat teliti untuk memastikan bahwa beban terdistribusi secara merata dan tidak menyebabkan kegagalan. *Sling*, *pad eye*, dan *spreader bar* harus dipilih dengan sangat hati-hati, dan sudut pengikatan *sling* harus dihitung dengan cermat untuk menghindari kegagalan dalam proses *lifting*. Ketidaktepatan dalam *rigging* dapat berakibat fatal, baik untuk *crane*, modul yang diangkat, maupun pekerja.

### 3. Pengelolaan Limbah dan Dampak Lingkungan

Proses *decommissioning* FPSO sering kali melibatkan pengelolaan limbah berbahaya, yang jika tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari lingkungan. Hal ini memerlukan pemrosesan yang tepat, dengan peralatan yang dapat menangani minyak residu, bahan kimia, dan limbah lainnya dengan aman. Pengelolaan limbah yang salah dapat menyebabkan dampak ekologis yang besar.

## 2.2 *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO)

FPSO (*Floating, Production, Storage, and Offloading*) merupakan *unit* terapung lepas pantai yang berfungsi untuk memproduksi, menyimpan, dan mengeksport produk minyak dan gas yang dihasilkan di lepas pantai. FPSO memberikan solusi untuk operasi lepas pantai di lokasi yang

jauh dari daratan, dimana pemasangan *platform* tetap mungkin tidak *feasible*. FPSO memiliki kemampuan untuk melakukan produksi, penyimpanan, serta *offloading* (pemindahan produk) ke *tanker* atau pipa tanpa harus membangun infrastruktur tetap di dasar laut, sehingga sangat berguna untuk pengeboran minyak dan gas di laut dalam [10], [11].



Gambar 2. 1 *Floating, Production, Storage, & Offloading*  
(latitudegeography.org)

FPSO terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian terapung yang biasanya merupakan kapal besar dan fasilitas produksi di atasnya. Bagian terapung dapat berbentuk kapal *tanker* yang dimodifikasi atau desain kapal khusus yang lebih besar dan lebih kuat [12]. FPSO dibangun dengan kemampuan untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras dan memiliki kemampuan untuk melakukan pengeboran serta produksi dari sumur minyak atau gas lepas pantai. Selain itu, FPSO juga dilengkapi dengan fasilitas untuk memisahkan minyak dari air dan gas, serta menyediakan ruang untuk penyimpanan dan pemindahan produk [10].

Bergantung pada kedalaman air dan kondisi lingkungan, FPSO dapat dipasang menggunakan berbagai jenis sistem penambatan. Penambatan ini dapat berupa sistem penambatan tetap (seperti jangkar dan rantai) atau sistem yang lebih fleksibel, seperti *dynamic positioning*. FPSO sangat penting dalam pengembangan ladang minyak dan gas di wilayah yang jauh dari daratan, di mana *platform* tetap tidak dapat dipasang. FPSO juga lebih fleksibel dalam hal mobilitas dan dapat dipindahkan setelah beroperasi dalam jangka waktu tertentu [10].

Seiring berjalannya waktu, FPSO terus mengalami pengembangan dan inovasi dalam desain dan teknologi, baik dari segi kapasitas penyimpanan maupun efisiensi operasional. Teknologi baru juga mulai diterapkan pada FPSO, terutama dalam hal pengurangan dampak lingkungan, pemantauan produksi, serta peningkatan keamanan selama operasi [10].

FPSO bukan hanya mencakup fasilitas produksi, namun juga membutuhkan peralatan untuk mendukung operasi tambahan, termasuk sistem pengolahan air, sistem pengelolaan limbah, serta fasilitas untuk pemeliharaan dan pengecekan rutin [13].

FPSO juga dilengkapi dengan sistem yang mendukung *offloading* yang memungkinkan *transfer* produk minyak dan gas ke kapal pengangkut atau pipa yang terhubung dengan fasilitas daratan. Pengoperasian FPSO sangat bergantung pada teknologi canggih dalam hal stabilitas, pengendalian, serta sistem proteksi dari berbagai potensi risiko, termasuk kerusakan struktur akibat kondisi cuaca ekstrem [10].

### 2.3 Electrical Switchgear Module (E-House)

*Electrical House (E-House)* merupakan suatu unit distribusi sistem kelistrikan yang dirancang secara modular dan terintegrasi untuk menampung seluruh perangkat utama distribusi daya dalam satu bangunan atau kontainer terpadu. Dalam industri minyak dan gas lepas pantai, khususnya pada fasilitas seperti *Floating, Production, Storage, and Offloading (FPSO)*, *E-House* berperan sebagai pusat kelistrikan yang menampung perangkat distribusi utama seperti *switchgear* tegangan menengah (MV), *switchgear* tegangan rendah (LV), *motor control center (MCC)*, sistem proteksi dan kontrol, serta *transformator* distribusi yang mengatur tegangan dari sumber daya ke beban operasional. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Norhaziyah et al., *Electric House* dalam konteks FPSO merupakan “suatu sistem pembangkit daya lengkap yang memasok jaringan distribusi listrik ke situs” di mana semua peralatan penting terkait kelistrikan terletak di dalam satu unit terakit untuk memudahkan instalasi dan operasi di lingkungan industri berat seperti *offshore* [14].



Gambar 2. 2 *E-House Module*  
(enersetcorp.com)

Desain modular *E-House* memungkinkan integrasi sistem yang komprehensif dalam satu struktur, meminimalkan pekerjaan *on-site* yang kompleks dan meningkatkan efisiensi konstruksi serta *commissioning*. penggunaan *E-House* menjadikan instalasi distribusi daya lebih terstandarisasi dan teruji sebelum pengiriman ke lokasi proyek, sehingga mengurangi risiko kesalahan saat instalasi dan potensi gangguan operasional fasilitas [14].

#### 2.3.1 *E-House* dalam Konteks FPSO

Dalam fasilitas FPSO, *E-House* merupakan bagian krusial dari sistem kelistrikan *topside* yang memberikan distribusi daya kepada seluruh sistem produksi, kontrol, serta fasilitas pendukung lainnya. FPSO adalah struktur terapung yang kompleks yang dirancang untuk menerima, memproses, dan menyimpan minyak atau gas dari sumur lepas pantai sebelum dipindahkan ke kapal pengangkut atau jaringan pipa. Struktur ini membutuhkan sumber listrik yang stabil dan terproteksi dengan baik untuk mendukung operasi terus-menerus. [15].

Penerapan *E-House* di FPSO tidak hanya menjadi pusat distribusi, tetapi juga sebagai ruang yang dirancang agar mampu menampung peralatan otomatisasi, proteksi, dan sistem kontrol utama yang memastikan kontinuitas operasi kelistrikan dalam kondisi lingkungan laut yang berat. Lingkungan laut lepas memiliki faktor risiko tambahan seperti kelembapan tinggi, paparan garam laut, serta getaran yang dapat mempengaruhi performa dan umur perangkat kelistrikan. Oleh

karena itu, *E-House* di FPSO umumnya dirancang dengan sistem HVAC untuk pengaturan suhu, dan pelindung tambahan untuk mengurangi pengaruh luar yang berpotensi menyebabkan kegagalan sistem [14].

### 2.3.2 Pengangkutan dan Instalasi di FPSO

Proses pengangkutan dan instalasi *E-House* di FPSO memiliki tantangan tersendiri, terutama karena ukurannya yang besar dan kompleksitas sistem kelistrikan yang terdapat di dalamnya. Karena *E-House* membawa beban berat dan berbagai peralatan kelistrikan yang sensitif, proses pengangkatannya memerlukan perencanaan *rigging* yang sangat matang untuk memastikan keamanan dan efisiensi selama proses instalasi di atas FPSO.

Salah satu aspek utama yang perlu diperhatikan dalam pengangkutan dan pemasangan *E-House* adalah pemilihan *crane* dan konfigurasi *rigging* yang tepat. Hal ini mencakup perencanaan mengenai jumlah *sling*, jarak antar *sling*, dan konfigurasi yang mendistribusikan beban secara merata untuk meminimalkan risiko kerusakan pada peralatan. *Rigging* yang buruk atau pengangkatan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan pada struktur *E-House* maupun *crane* yang digunakan, sehingga meningkatkan biaya dan waktu instalasi. Pengangkutan *E-House* memerlukan penggunaan *crane* dengan kapasitas maksimum yang mampu menangani berat total serta memberikan ruang yang cukup untuk memastikan keseimbangan selama pengangkatan. Penggunaan teknologi terbaru seperti sistem *monitoring* beban dan sensor juga dapat meningkatkan akurasi dan keamanan selama proses ini.

Dengan perencanaan *rigging* yang tepat, pengangkutan dan instalasi *E-House* di FPSO dapat dilakukan dengan efisien dan aman, mengurangi risiko terjadinya kecelakaan atau kerusakan yang dapat memperlambat proyek atau meningkatkan biaya. Optimisasi proses ini adalah salah satu faktor penting yang mendukung keberhasilan operasional FPSO dalam jangka panjang.

### 2.4 Lifting

*Lifting* adalah proses pengangkatan atau pemindahan material, peralatan, atau komponen menggunakan alat angkat seperti *crane*, *forklift*, *hoist*, atau *winch*. Aktivitas ini penting dalam berbagai sektor industri, terutama di sektor konstruksi dan pemeliharaan, di mana pengangkatan beban berat dan besar adalah bagian dari pekerjaan sehari-hari. Dalam proses *lifting*, beban yang diangkat harus dipastikan dalam posisi yang aman dan stabil selama pemindahan untuk menghindari kecelakaan atau kerusakan.

Di sektor minyak dan gas, terutama pada FPSO (*Floating, Production, Storage, and Offloading*), *lifting* menjadi bagian integral dalam proses *decommissioning*, di mana berbagai struktur, peralatan, dan komponen besar harus dipindahkan dari *platform* FPSO untuk dibongkar atau dipindahkan ke tempat lain. *Lifting* yang aman dan efisien memerlukan penggunaan peralatan yang tepat, perencanaan yang cermat, dan pengawasan yang ketat untuk memastikan proses berjalan lancar tanpa menimbulkan risiko kecelakaan.



Gambar 2. 3 Proses *Lifting*  
(coreindustries.com)

#### 2.4.1 Prinsip Dasar *Lifting Operation*

*Lifting* berfokus pada tiga prinsip inti: distribusi beban kestabilan, dan kepatuhan terhadap kapasitas peralatan. Setiap benda yang akan diangkat harus dianalisis titik beratnya (*center of gravity/CoG*) dan orientasinya agar garis gaya tarik *crane/rigging* melewati atau searah dengan *CoG*, kesalahan penentuan *CoG* dapat menghasilkan momen yang menyebabkan beban miring, berputar, atau terlepas. Selain itu, geometri pengikatan, khususnya *sling angle* menentukan besarnya gaya yang bekerja pada setiap *sling*. Ketika sudut antara *sling* dan vertikal mengecil gaya tarik pada *sling* meningkat *non-linier* sehingga perlu diperhitungkan pada *load calculation*. Untuk menjamin margin keselamatan, seluruh komponen *rigging* dan *crane* harus dipilih berdasarkan *Working Load Limit (WLL)* dan faktor keamanan sesuai standar yang berlaku.

$$SWL (WLL) = \frac{\text{Kekuatan Material}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (1)$$

Praktik pengendalian gerak (misalnya meminimalkan *swing*, *pendulation*, atau osilasi pada beban) dan pelaksanaan angkat bertahap (*controlled lift/slow lift*) menjadi penting pada beban besar atau di lingkungan dinamis (gelombang/angin) karena kondisi dinamis dapat menambah gaya inersia dan beban tambahan pada *rigging* serta sambungan struktur. Studi numerik dan FEA pada modul *modular/offshore* menunjukkan bahwa analisis beban statis saja tidak cukup, harus dilengkapi analisis respon dinamis untuk menentukan *allowable sea states* dan parameter operasional.

#### 2.4.2 Peralatan *Lifting*

Peralatan yang digunakan dalam operasi *lifting* sangat bervariasi tergantung pada jenis beban, lokasi, dan teknik yang diterapkan. Beberapa peralatan *lifting* yang umum digunakan antara lain:

- a. *Crane*.
- b. *Rigging Tools (wire rope sling, chain sling, shackle, hook, spreader bar)*.
- c. *Lifting Frame, Lifting Lug, Padeye*

#### **2.4.3 Prosedur *Lifting***

- a. Perencanaan (*Planning*)

Mencakup identifikasi beban (massa, dimensi, CoG), pemilihan *crane/rigging* yang memenuhi kapasitas pada radius kerja, penentuan orientasi dan jalur pemindahan, dan penjadwalan operasi pada kondisi lingkungan yang sesuai. Perencanaan harus menghasilkan *lift plan* tertulis yang memuat diagram, perhitungan, dan persyaratan *safety*. Pedoman industri seperti *IMCA Guidelines* merekomendasikan klasifikasi *lift (simple, complex, heavy/critical)* dan langkah verifikasi yang jelas dalam tahap perencanaan.

- b. Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Sebelum eksekusi, dilakukan *Job Safety Analysis (JFA)* untuk mengidentifikasi potensi bahaya (kegagalan *rigging*, tumbukan, jatuhnya beban, kondisi cuaca ekstrem) dan merumuskan mitigasi, pembentukan *exclusion zone*, penggunaan *tag lines* untuk mengendalikan orientasi beban, inspeksi pra-angkat, dan pemastian kompetensi personel (*crane operator, rigger, signalman*). Dokumentasi mitigasi dan *contingency plan* harus terintegrasi di dalam *lift plan*.

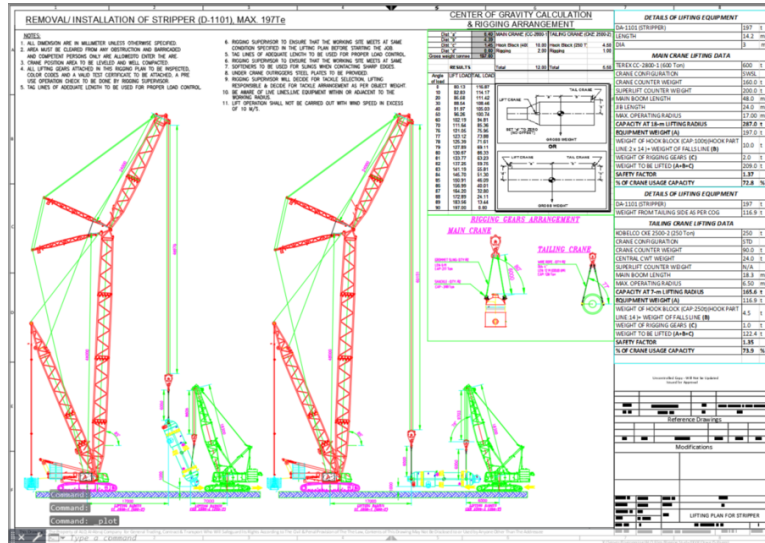
- c. Pelaksanaan (*Execution*)

Pada fase eksekusi, semua Langkah perencanaan dan mitigasi diimplementasikan, briefing pra-angkat, pemeriksaan akhir kondisi *rigging* dan *crane*, komunikasi tersentral (*hand signals/radio*), uji angkat ringan (*trial lifting*) untuk memverifikasi keseimbangan, dan angkat penuh secara kontrol (*slow lifting*) dengan memantau reaksi struktur dan *rigging*. Bila operasi dilakukan di laut (*floating crane/barge*), pemantauan *heave/pitch/roll* dan penyesuaian *timing* terhadap kondisi laut perlu dilakukan. Semua Tindakan harus dicatat dalam *lift report* pasca-operasi.

#### **2.4.4 *Lift Plan Document***

- a. Diagram *Lifting*

Skematik yang jelas menunjukkan posisi *crane*, orientasi beban, titik angkat, *rigging arrangement* (jenis *sling*, panjang, *spreader bar*), jalur pemindahan, serta area *exclusion zone*. Diagram ini harus mudah dimengerti oleh operator di lapangan dan menjadi acuan visual pada saat eksekusi.



Gambar 2. 4 Lifting Plan  
(www.grabcad.com)

b. *Load Calculation*

*Load calculation* mencakup berat sebenarnya dari beban (termasuk peralatan internal), distribusi beban ke tiap titik angkat, perhitungan gaya pada setiap sling dengan memperhitungkan *sling angle*, faktor keamanan, serta kapasitas *crane* pada radius kerja (*crane load chart*). Untuk operasi di kondisi dinamis, perhitungan harus menambahkan efek inersia dan kondisi lingkungan sehingga *allowable operating limits* dapat ditentukan. Penelitian FEA dan simulasi *multibody* kerap dipakai untuk memvalidasi hasil perhitungan ini pada modul-modul besar.

c. *Safety Requirements*

Meliputi kualifikasi personel, prosedur komunikasi, batas kondisi cuaca, pemeriksaan pra-angkat, aturan penggunaan PPE, serta prosedur kontinjensi. Standar dan pedoman internasional [7], [16], [17], serta peraturan klasifikasi menjadi rujukan untuk menetapkan batas-batas keselamatan dan inspeksi

## 2.5 Standar dan Regulasi

Dalam operasi *decommissioning* FPSO, keselamatan, efisiensi, dan kepatuhan terhadap standar dan regulasi menjadi hal yang sangat penting. Berbagai standar dan regulasi yang diterapkan dalam kegiatan pengangkatan dan *decommissioning offshore platform* berfungsi untuk memastikan bahwa prosedur dilakukan dengan aman dan sesuai dengan pedoman yang telah ditetapkan, baik dari sisi keselamatan kerja maupun perlindungan lingkungan.

Di tingkat internasional, berbagai lembaga dan organisasi menetapkan standar yang mengatur kegiatan *lifting* dan *decommissioning*. Salah satu sumber utama regulasi ini adalah *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) melalui standar B30.9 yang mengatur keselamatan operasi untuk sistem kabel, derek, *hoists*, dan peralatan *lifting* lainnya. ASME B30.9 mengatur pengoperasian, pemeriksaan, dan pemeliharaan peralatan *lifting* untuk memastikan operasional dilakukan dengan aman di berbagai kondisi, termasuk di *offshore*.

Selain itu, untuk operasional *lifting* yang lebih spesifik pada sektor *offshore*, *International Marine Contractors Association* (IMCA) menyediakan pedoman yang menyeluruh. Panduan IMCA untuk operasi *lifting* menjelaskan perencanaan yang matang untuk setiap operasi, termasuk risiko yang terkait dengan kondisi perairan, prosedur keselamatan untuk pengangkatan beban, serta pelatihan untuk personel yang terlibat dalam operasi *lifting* [7]. Panduan ini mencakup kategori pengangkatan biasa, non-biasa, dan teknik pengangkatan yang dirancang khusus yang memerlukan perencanaan yang lebih detil serta evaluasi risiko yang lebih mendalam.

Di sisi lain, DNV GL sebagai badan yang memiliki standar untuk operasional *offshore* juga mengatur banyak aspek yang terkait dengan *decommissioning* FPSO. DNVGL-OS-H205 memberikan pedoman terkait operasi *decommissioning* untuk struktur *offshore*, termasuk FPSO, yang harus memperhatikan prosedur perencanaan dan evaluasi risiko yang dapat mempengaruhi keselamatan operasional dan kelestarian lingkungan [10].

Selain standar Internasional, masing-masing negara yang memiliki industri *offshore*, seperti Amerika Serikat, Norwegia, dan Inggris, juga memiliki peraturan yang mengatur *decommissioning* dan pengangkatan beban. Misalnya, *Bureau of Safety and Environmental Enforcement* (BSEE) di Amerika Serikat mengatur *decommissioning* fasilitas *offshore* dengan peraturan 30 CFR Part 250, yang mengatur tentang penghapusan *platform*, pengeboran sumur, dan pengelolaan limbah *offshore*. Selain itu, dalam regulasi AS, ada kebijakan "Idle Iron" yang mengatur agar fasilitas yang tidak produktif atau rusak segera dilakukan *decommissioning* untuk menghindari dampak lingkungan yang berbahaya.

Keselamatan adalah aspek yang sangat diperhatikan dalam setiap regulasi ini. Semua prosedur *lifting* dan *decommissioning* harus memperhitungkan potensi risiko kecelakaan kerja, kerusakan lingkungan, dan kebocoran bahan berbahaya yang bisa terjadi selama proses. Oleh karena itu, prosedur keselamatan yang ketat, pelatihan personel yang sesuai, serta penggunaan peralatan yang teruji dan berkualitas tinggi sangat diperlukan dalam setiap tahap operasional *decommissioning* FPSO.

Dalam konteks ini, standar dan regulasi yang berlaku memberikan dasar hukum dan teknis yang memungkinkan operasional *decommissioning* FPSO dilakukan dengan meminimalkan risiko dan dampak lingkungan, serta memastikan semua aktivitas dilakukan dengan mematuhi prinsip-prinsip keselamatan yang tinggi.