

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Kekuatan Struktur Pelat Baja

Kekuatan kemampuan elemen dan komponen struktur yang bekerja secara vertikal ataupun horizontal bangunan menahan beban-beban yang timbul. Komponen struktur berfungsi menahan gaya-gaya vertikal ataupun horizontal (Zuhri, 2011). Plat merupakan sebuah material dengan struktur kaku yang diproduksi secara khusus dan terbuat dari komposisi monolit yang tinggi dan lebih kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Yang dirancang untuk menahan beban yang umumnya bekerja dari berbagai macam arah dan menyebar. Serta dipadukan dengan berbagai macam elemen dengan komposisi karbon yang dapat mempengaruhi sifat sifatnya (Zainuri, 2008). Adapun macam macam pelat yang pada dasarnya memiliki unsur masing masing yaitu:

- Baja karbon (*carbon steel*) paduan baja dengan karbon memiliki kekuatan tarik maximum 296 MPa dan 840 Mpa. Baja karbon mengandung elemen seperti mangan, fosfor, silikon dan sebagainya. Kekuatan dan kekerasan baja karbon meningkat dengan meningkatnya unsur karbon, tetapi lebih getas dan keuletannya berkurang (Zainuri, 2008).
- Baja paduan (*alloy steel*) baja dengan campuran yang mengandung aluminium, kromium, tembaga, mangan, molybdenum, nikel, fosfor, silikon, titanium, dan vanadium. Digunakan meningkatkan kekerasan, ketangguhan, keuletan dan kekuatan tarik baja (Zainuri, 2008).
- Baja tahan karat (*stainless steel*) baja kromium dan besi ketahanan korosi sangat baik. Kandungan ketahanan korosi minimum 30% dengan 12% membentuk lapisan dan 18% ketahanan korosi udara. Elemen lainnya yang digunakan nikel, aluminium, silikon, dan molybdenum. baja seperti ini digunakan industri kimia proses, peralatan proses minyak, perpipaan dan sebagainya (Zainuri, 2008).
- Baja struktural (*structural steel*)
Baja pengolahan panas berbagai bentuk dan bermacam elemen untuk ketahanan beban dan gaya yang bekerja. Bentuk yang digunakan seperti W

(*wide flange*), bentuk C (*channels*), bentuk L (*angle bar*), batang (*bars*) dan pipa baja (Zainuri, 2008).

2.2 Proses *Lifting*.

Lifting proses merupakan proses pengangkatan benda yang tidak mampu dilakukan oleh manusia dengan kapasitas benda dengan ukuran yang besar maupun *structure* bangunan lepas pantai. *Lifting Operation* metode digunakan untuk instalasi anjungan lepas pantai. *specialized Crane Vessel* merupakan kegiatan yang paling penting di laut (Soegiono, 2004). Proses *lifting* konstruksi dan instalasi sangat penting. Untuk itu memahami perhitungan *lifting* karena pekerjaan tersebut tergantung perhitungan *lifting* (El-Reedy, 2015). *Lifting* aktifitas menaikkan atau menurunkan struktur dengan menggunakan crane (DNV-OS-H205, 2014).

lifting struktur dek berhubungan dengan konfigurasi *rigging* yang digunakan, serta berkaitan erat dengan penentuan *lift point* serta *spreader bar*. *Lift point* atau *padeye* dipasang harus direncanakan tepat, dengan adanya pemasangan *padeye* akan mempengaruhi titik berat berat struktur globalnya. tata letak dari *padeye* mempengaruhi kestabilan struktur saat pengangkatan, distribusi massa yang tidak merata terjadi tegangan berlebihan pada suatu member (Soelarso et al., 2015).

Pekerjaan *lifting* merupakan suatu proses pekerjaan yang memiliki resiko yang sangat tinggi dalam hal tingkat kecelekaan kerja yang besar, seperti halnya putusnya tali sling pengikat, mengakibatkan rusak material yang diangkat ataupun struktur dari bangunan yang di angkat. Dalam hal kegiatan pekerjaan, keselamatan dan kesehatan kerja merupakan hak setiap pekerja mendapatkan lingkungan kerja aman dan terhindar cidera ataupun penyakit yang ditimbulkan terutama dalam kegiatan *lifting*, dimana terdapat peluang terjadinya kecelakaan kerja yaitu manusia, faktor alat, dan faktor sistem manajemen serta budaya perusahaan, dalam hal terdapat peran sangat penting dalam hal penguasaan ilmu pengetahuan dasar dalam menjalankan kegiatan *lifting*, seperti dalam bidang matematika dan fisika (Ananta et al., 2018).

Merancang fasilitas dan memperbaiki teknik pemindahan barang manual secara ergonomis, analisa yang dilakukan menggunakan metode *maximum permissible limit* (MPL) untuk mendapatkan nilai dari *force compression* (FC). Dan hasil yang diperoleh dari nilai FC tersebut sebesar 10.018,078 N. nilai FC tersebut

lebih besar dari nilai MPL. Dengan hasil yang didapat disimpulkan postur tubuh pekerja dalam level bahaya. Maka dari itu dibutuhkannya alat bantu untuk pengangkatan untuk mencegah cedera tulang belakang (Adiyanto et al., 2019).

2.3 Lifting Equipment

Untuk menunjang suatu proses pengangkatan (*lifting*) dibutuhkan peralatan peralatan yang menunjang kemudahan dalam pengangkatan dan juga keselamatan dalam pengerjaan proses pengangkatan yang sedang berjalan. Ada berbagai jenis peralatan pengangkatan.

a. Hoist



(Sumber: www.indotara.co.id/perbedaan-hoist-dan-crane)

Gambar 2. 1 *Hoist Crane*

Crane Hoist adalah *hoist crane* yang banyak dipakai sebagai alat angkat dan angkut dalam dunia industri, pabrik, bengkel. *Hoist crane* dilengkapi dengan roda dan lintasan rel agar dapat bergerak maju dan mundur penunjang proses kerjanya. *Crane Hoist* digunakan dalam proses angkat muatan dengan berat ringan hingga muatan berat medium. *Crane Hoist* biasa digunakan pengangkatan dan pengangkutan muatan di dalam ruangan. *Crane Hoist* berada di atas, dekat dengan atap ruangan. Berbeda dengan jenis *hoist crane* yang digunakan di daerah terbuka struktur rangka memiliki penopang berdiri tegak di tanah, *hoist crane* jenis ini bertumpuan padasisi kiri dan sisi kanan dari bangunan itu sendiri (Ropework, 1970).

b. Crane

Crane jenis pesawat angkat yang banyak dipakai sebagai alat angkat dan angkut. dilengkapi roda dan lintasan rel agar dapat bergerak maju dan mundur sebagai penunjang proses kerjanya. digunakan untuk mengangkat muatan dengan berat ringan hingga muatan medium. Crane digunakan untuk pengangkatan dan pengangkutan di dalam maupun di lapangan terbuka. Berbagai macam *type* dari *crane* dengan struktur berbeda-beda (Ropework, 1970). jenis jenis *crane* yang biasanya digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Crane Clawer*



(Sumber: www.pusdiklatk3.com/2022/03/pelatihan-operator-crane)

Gambar 2. 2 *Crane Crawler*

Crawler Crane umumnya dipakai pada proyek pembangunan maupun pelabuhan dengan jangkauan yang tidak terlalu panjang. Type ini memiliki sisi atas yang bisa bergerak 360 derajat. *crane* type ini bisa bergerak di dalam tempat proyek waktu lakukan pekerjaannya. Ketika crane dipakai ditempat lain jadi crane diangkut dengan menggunakan lowbed trailer. Pengangkutan ini dikerjakan dengan membongkar boom jadi bagian-bagian untuk memudahkan proses pengangkutan.

2. *Mobile Crane*

Mobile Crane (Truck Crane) adalah pesawat angkat crane terdapat mobil sehingga mudah dibawa langsung pada lokasi kerja tanpa harus menggunakan kendaraan (trailer). Crane ini memiliki kaki (pondasi/tiang) ketika beroperasi untuk

menjaga crane tetap seimbang. Mobile crane ini juga kebanyakan beroperasi di pelabuhan untuk kelancaran proses bongkar muat.



(Sumber: [www. https://commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org))

Gambar 2. 3 *Mobile Crane*

3. *Tower Crane*

Tower crane alat yang dipakai untuk mengangkat material secara vertical horizontal kesuatu tempat yang tinggi pada ruangan gerak yang terbatas.



(Sumber : www.kemenkeu.go.id/media/13164/mk-september-2019.pdf)

Gambar 2. 4 *Crane Tower*

Type crane ini berdiri bebas (free standing crane), crane di atas rel (rail mounted crane), Seperti pada gambar 2.4 pengoprasian bongkar muat peti kemas di pelabuhan indonesia III type rail mounted crane lebih memudahkan bongkar muat

peti kemas dari atas kapal ke terminal pelabuhan atau sebaliknya dari terminal pelabuhan ke atas kapal.

4. *Hidraulik Crane.*



(Sumber: <https://synergysolusi.com>)

Gambar 2. 5 *Hidraulik Crane*

type crane menggunakan system hidraulik (minyak) serta pneumatik (hawa) bisa bekerja. Tetapi cara spesial Hidraulik crane yaitu crane yang umum dipakai pada perbengkelan serta pergudangan, pelabuhan dan lain-lain, memiliki susunan simpel. Crane ini umumnya ditempatkan disuatu titik serta untuk tidak dipindah-pindah serta dengan jangkauan tidaklah terlalu panjang dan putaran yang cuma 180 derajat. Selain dijelaskan diatas ada beberapa item seperti aksesoris pelengkap penunjang penggunaan alat alat yang sudah dijelaskan diatas. Yaitu sebagai berikut:

- *Chains*
- *Ropes*
- *Slings*
- *Shackles*
- *Eyebolts*
- *Lifting/runway beams*
- *Lifting Frame and Vacuum lifting device.*

Untuk proses instalasi *equipment* deororizer sebuah *lifting plan* yang ada didalamnya termaksud *crane*, alat bantu kerja *crane*, lokasi kerja, *manpower*, dari hasil *lifting plan* tersebut maka pelaksanaan dilakukan dengan metode *assembly* dan

lifting methode, lifting and air rising methode atau melakukan kombinasi antara assembling dan *lifting methode, lifting* dan air rising methode (Hartono, 2015).

eyebolt adalah sebuah pengait berulir yang digunakan sebagai alat bantu tambahan pada saat proses *lifting* untuk mengetahui tingkat keamanan dari eyebolt tersebut, Dilakukan sebuah analisa dengan menggunakan bantuan software berbasis *finete element analysis*, Kemudian penggunaan sudut di eyebolt dilakukan pada saat simulasi menggunakan sudut 35, 45 dan 60 derajat. Dengan beban sebesar 575.604 N di peroleh nilai tegangan *maximum* 195.765 Mpa kemudian didapatkan kesimpulan nilai *Factor of safety* (FOS) aman sudut 60 sebesar 2,7. Semakin besar sudut yang digunakan, semakin rendah tingkat teggangan yang diterima oleh *eyebolt* tersebut (Putra et al., 2020).

2.4 Konstruksi Baja

Merupakan sebuah konstruksi yang seluruh material yang digunakan dalam proses pembangunan sebuah konstruksi menggunakan baja. Disusun secara terstruktur antatra satu dan dengan yang lain.

Bedasarkan spesifikasi bangunan gedung baja struktural berdasarkan (SNI 1729;2015) suatu struktur wajib memiliki kekuatan, stabil, tahan lama dan memenuhi dari segi ekomoni dan juga kemudahan dalam proses pembangunanya. Pada 1960, baja dipakai adalah baja karbon (*carbon steel*) sebutan ASTM (*American Society For Testing And Material*) A7. tegangan leleh minimum yang di izinkan sebesar 33 ksi. (Moruk et al., 2019)

Analisa menggunakan software baja ringan yaitu bricscad. hasil penelitian 65% dari maksimal 80% yaitu dengan modulus elestisitas maksimal dari struktur sebesar 1262.500 mpa (aman) < 200.00 mpa. Dan nilai gaya tarik maksimal 406,25 mpa (aman)<406,25 mpa, dan analisi struktur baja WF dapati nilai tegangan maksimal 511,75 kg/cm²< tegangan ijin 1.600 kg/cm (Husnah et al., 2019).

2.5 Explorasi Minyak dan Gas

Explorasi minyak dan gas di Indonesia dimulai pertama kali pada tahun 1871 di Jawa barat, beberapa tahun kemudian minyak ditemukan dipangkalan Brandan di Sumatra pada tahun 1885 dan sanga- sanga dikalimantan timur pada tahun 1892.

Tabel 2. 1 Komsumsi Minyak dan Gas Indonesia

Jenis Bahan Bakar Dan Pelumas	Satuan	2005	2006	2007	2008	2009
Solar/Ado	Kiloliter	140.892	127.554	123.013	108.332	146.254
Minyak Diesel	Kiloliter	7.997	7.239	7.123	12.246	16.533
Gas Alam	000 Mscf	515.991	461.678	252.772	209.402	282.704
Pelumas	Kiloliter	61.719	55.872	13.238	13.142	17.742

(Sumber: <https://www.bps.go.id/>)

Berdasarkan data 5 tahun terakhir tahun 2005 sampai 2009, dari badan pusat statistic Indonesia, kebutuhan minyak dan gas tiap tahunnya mengalami kenaikan dan penurunan. Akan tetapi kebutuhan minyak dan gas tiap tahunnya pastinya meningkat mengingat populasi didunia yang semakin tahun meningkat, dalam menunjang ketersediaan minyak dan gas maka dari itu dibutuhkannya lebih banyak lagi bangunan anjungan lepas pantai yang baru. Untuk memaksimalkan produksi minyak dan gas didalam negeri.

Permasalahan bahan bakar minyak yang menjadi pusat perhatian dan menjadi objek vital bagi negara indonesia sendiri dalam hal pengelolaan, mulai dari titik strategis, modal yang terbatas dan sisitm perdagangan global yang terbuka (bebas). Dari permasalahan ini penulis memberikan gambaran terkhususnya bagi masyarakat setempat bahwa meningkatnya kegiatan eksplorasi minyak dan gas di kepulauan natuna, merupakan sumber minyak dan gas menjadi salah satu dari strategi keamanan energi jangka panjang untuk menghindari krisinya energi dibumi ini. Dan ditambahnya banyaknya investor asing yang masuk untuk berinvestasi. Diharapkan benefitnya kepada masyarakat dapat meningkatkan kehidupan dan kegiatan di kepulauan natuna (Purwatiningsih & Masykur, 2012).

cadangan minyak dan gas bumi menggunakan metode volumetrik, OOIP Formasi Lemat sebesar 7.85 MMSTB dan OGIP Formasi Talang Akar sebesar 1.343,15 MMSCF. berdasarkan kuantitatif nilai kandungan volum serpih (Vsh) dibawah 30%, porositas efektif tersebut diatas dari 12%, saturasi air efektif (Sw)

dibawah 70%. Untuk permeabilitas di atas 13 mD kandungan minyak dan gas. Masing-masing struktur umum relatif terpisah batas GOC (*Gas Oil Contact*) ataupun batas OWC (*Oil Water Contact*) yang berbeda (Pratiknyo et al., 2019).

2.6 Subsea Structure

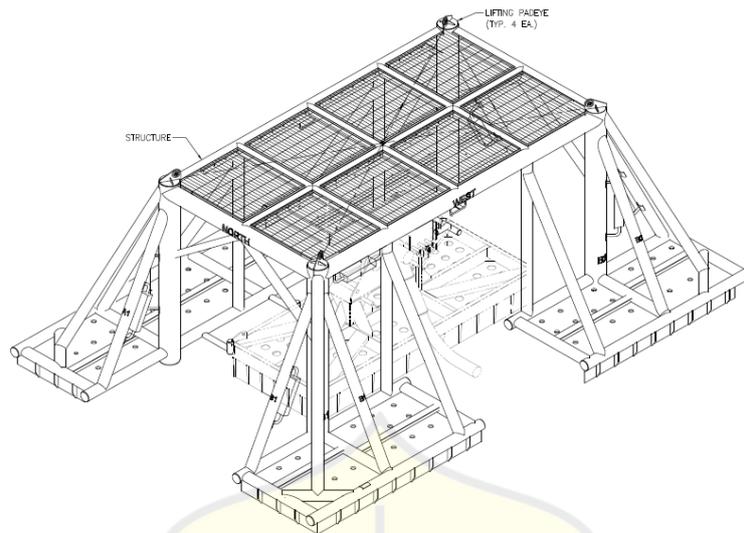
Subsea peralatan, teknologi dan metode dipakai mengeksplorasi, mengebor, pengembangan. lapangan migas dibawah permukaan air untuk daerah dangkal (*shallow*) dan laut dalam (*deepwater*) sesuai dengan kondisi kandungan minyak dan gas yang terdapat di area tersebut (Ansyori, 2007). Alasan instalasi *subsea* dipilih untuk memproduksi minyak dan gas, antara lain:

- Mengeksplotasi lading minyak marginal.
- Memproduksi dari laut yang lebih dalam
- Kapasitasnya lebih fleksibel dikembangkan secara bertahap atau menambah umur lapangan.
- Adanya pembatasan yang berhubungan lingkungan hidup.

disamping sisi menguntungkan diatas, sisi lain yang perlu diperhatikan:

- Instalasi kompleks
- Reliabilitas yang tinggi.
- Teknologi tahap pengembangan , belum terbukti.

Ada dua factor yang menentukan dalam pengembangan subsea ini, yaitu kondisi pengembangan : Lokasi geografik (kedalaman), infrastruktur terdekat dan topografi, factor ini menentukan besarnya capital diperlukan. kedua adalah karakteristik operasi : karakteristik reservoir, proses yang dibutuhkan, karakteristik aliran, karakteristik fluida, dst (Bai & Bai, 2010).



(Sumber : Data Pribadi)

Gambar 2. 6 Tiga Dimensi Dari *Subsea Structure* UIT

2.7 Padeye

Padeye atau juga sering dikenal dengan sebutan *lifting lug* merupakan bagian dari konstruksi sebuah bangunan struktur yang berfungsi sebagai alat bantu untuk proses pengangkatan, *padeye* atau *lifting lug* biasanya berbentuk seperti cupingan, yang mempunyai lubang yang berfungsi untuk sabungan menggunakan shackle agar memudahkan untuk proses pengangkatan. *Padeye* didesain berdasarkan dari beban *load* yang akan diangkat. Pada tahapan desain ini harus mengikuti standart serta harus melewati pengujian agar tidak terjadi kegagalan pada saat proses pengangkatan terjadi.



(Sumber : Data Pribadi)

Gambar 2. 7 Bentuk *Padeye*

Geometri padeye juga berpengaruh dalam perencanaan FOS (*Factor of Safety*) dari padeye atautidak. Hasil simulasi menunjukkan Geometri dari padeye mempengaruhi semua aspek dari segi tegangan, regangan, peralihan, dan FOS pada saat melakukan pengangkatan. Geometri 1 memiliki FOS sebesar 4,08, geometri 2 memiliki FOS sebesar 5,94 dan geometri 3 mempunyai FOS 6,02. Jadi geometri 3 lebih aman 47,55 % dan 1,35 % dibandingkan geometri 1 dan 2 (Satoto et al., 2017).

Design Padeye untuk memenuhi standar yang sesuai dengan API RP 2A dan juga berdasarkan pada Tesis Li Liang (*Heavy Lift Instalation Study of Offshore Structures*). Maka design Padeye dilengkapi dengan safety factor 2.0. Dari hasil design padeye diperoleh stress maksimum yang masih dalam batas aman sebesar 15,4 Ksi atau < 36 ksi (Padeye dibuat menggunakan baja A36). Serta pada Analisis Ballasting pada Barge Diperlukan waktu 25 menit untuk mengubah kondisi awal draft crane barge 2,4 m ke kondisi akhir draft 2,7 m. Pada analisa diperoleh perbandingan Area Ratio kritis terjadi pada Operasi Lifting-Tahap Load Out step 6 sebesar 1,55 (dimana kondisi safety-nya harus 1,4 berdasarkan kriteria American Bureau of Shipping (Rizal et al., 2013).

Perbandingan antara 3 jenis susunan padeye pada SB dibuat berdasarkan sifat kekuatannya sebagaimana tercermin dalam API RP 2A edisi 22 untuk memastikan desain optimal yang berpusat pada berat material dan kriteria pekerjaan pengelasan. Beban tekuk untuk pipa paling ringan di antara 3 jenis SB kemudian dihitung. Analisis metode elemen hingga (MEH) dilakukan untuk memverifikasi tegangan desain dan beban tekuk pipa yang dipilih. Dari pengamatan, ketebalan pipa tubular dapat dikurangi hingga 50 persen dibandingkan dengan jenis SB lainnya dengan mengatur garis tengah (CL) padeye atas agar sejajar dengan sumbu pipa tubular (Zakaria & Aziz, 2018).

Platform LER OB-10 dikerjakan Oleh PT. MIM Cikarang. Platform panjang sekitar 5,685 m, lebar 4.4 meter tinggi 3,616 meter, berat total 468,15 KN. Sistim Rigging single hook tanpa menggunakan spreader bar. hasil SACS nilai Maksimal UC terkoneksi dengan lifting point 0.127 dan tidak terkoneksi yaitu 0.196. Nilai sling force 167,90 KN.menentukan dimensi shackle, sling dan Pad Eye. Dimensi shackle lebar rahang dalam (*inside jaw width*) 104.9 mm dan diameter Pin 71.1 mm,

dimensi sling 48 mm. Untuk dimensi pad eye diameter lubang 87 mm (Manurung et al., 2021).

2.8 Metode Elemen Hingga (MEH)

Dalam mekanika struktur sifat material yang mengalami tegangan nonlinier diperhitungkan menyebabkan runtuh atau rangkak, dan munculnya tekuk lokal. Material disebut nonlinier adalah fungsi kondisi tegangan atau regangan, elastisitas nonlinier, plastisitas dan rangkak. Masalah yang timbul dalam material menjadi nonlinier karena kekakuan, termasuk akibat beban menjadi fungsi peralihan atau deformasi. Penyelesaian perhitungan tegangan nonlinier menggunakan variabel dari aljabar, differensial suatu daerah memenuhi syarat-syarat batas. Penentuan syarat batas meskipun untuk masalah sederhana. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*).

metode elemen hingga kesulitan dalam metode numerik dan penentuan syarat-syarat batas dapat diatasi membagi kontinum menjadi bagianbagian kecil disebut elemen (Adina, 2009).

persamaan matrik diselesaikan numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. penyelesaian matematis menghitung inverse matrik diperoleh persamaan bentuk matrik satu elemen dan matrik total merupakan penggabungan (*assembly*) matrik elemen. Secara garis besar bentuk persamaan dalam penyelesaian regangan dan tegangan struktur dan pemipaan didasarkan perhitungan kekuatan konstruksi mekanik untuk daerah elastis sebagai berikut (Stasa, 1989).

Jangkar kapal di gunakan sebagai untuk membatasi gerak kapal. Kapal tetap berada di kedudukannya meskipun mendapatkan gaya dari luar seperti halnya angin, arus serta gelombang dari laut. kelelahan rantai yang menghubungkan antara jangkar dan kapal dengan 4 variasi beban lingkungan yang diakibatkan oleh heaving serta beban internal kapal dan beban hidrostatis sehingga didapatkan nilai fatigue life dari rantai tersebut dengan Finite Element Method (FEM). didapatkan stress maksimal sebesar 681 Mpa, stress minimal 89,9 Mpa, stress rata-rata 385 Mpa dan stress amplitudo sebesar 298 Mpa, yield strength material yang dipakai sebesar 760 Mpa. untuk mendapatkan tegangan dari variasi beban dan MSC Fatigue

siklus terpendek dari 4 variasi tegangan dinamis tersebut, didapatkan hasil life cycle paling kritis sebanyak $7,24 \times 10^3$ cycle (Hutama et al., 2016).

2.9 DNVGL-ST-N001

Menurut DNVGL-ST-N001, pada bagian P.2 kalkulasi untuk desain *padeye* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan metode elemen hingga (MEH) atau dengan menggunakan hitungan manual.

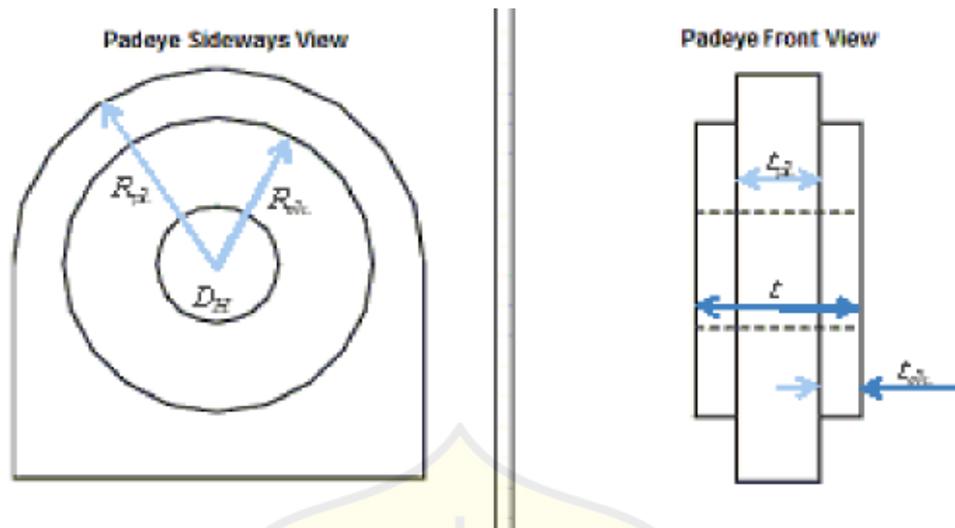
Untuk metode elemen hingga (MEH) adapun hal yang perlu diperhatikan seperti halnya pengimputan beban load yang diaplikasikan, jenis dan size elemen yang digunakan, serta tegangan maksimum yang diperoleh apakah melebihi dari tegangan yang diizinkan (DNVGL-ST-N001, 2016).

Sedangkan untuk perhitungan manual Menurut DNVGL-ST-N001 distribusi tegangan aktual tidak mungkin diprediksi secara akurat. Oleh karena itu, seperti perhitungan harus mencakup evaluasi kapasitas berdasarkan distribusi tegangan yang diasumsikan. Setidaknya cukup kapasitas item berikut harus didokumentasikan:

- Tekanan yang terjadi pada pin hole *Padeye*
- Deformasi yang terjadi pada pin hole *Padeye*
- Pengelasan pada bagian cheek pin hole
- Kombinasi aksial antara shear dan bending yang terjadi.

Pada bagian *P.2 Padeye Calculation* sub P.2.4.2 menjelaskan mengenai aturan ukuran geometri *padeye*, adapun syaratnya sebagai berikut:

- Jari-jari luar pelat utama pada *padeye* harus tidak kurang dari diameter lubang pin
- Ketebalan pelat pada *padeye* $\leq 75\%$ dari kedalaman lebar dari *shackle*
- Diameter lubang *padeye* sesuai diameter *shackle pin* bertujuan untuk kekuatan, perbedaan diameter lubang dan pin harus sekecil mungkin
- Untuk *padeye* dengan pembebanan diluar dari nilai signifikan (yaitu 10%) direkomendasikan bahwa diameter *shackle pin* $\leq 94\%$ dari diameter lubang *padeye*
- Diameter pin dan lubang diameter harus dapat diterapkan dalam perhitungan kekuatan.



(Sumber : DNVGL-ST-N001)

Gambar 2. 8 Kriteria Desain *Pin Hole*

2.10 Desain *Load*

Menurut DNVGL-ST-N001 faktor beban merupakan beban yang mempengaruhi berat saat proses *lifting* terjadi. Dalam hal proses *lifting* banyak faktor hal yang perlu menjadi perhatian untuk diperhitungkan yaitu meliputi beban statis, beban dinamis, beban Tambahan, faktor kontigensi, faktor konsekuensi

2.10.1 Beban Statis.

Merupakan beban mati dari *subsea structure* itu sendiri. Beban statis ini meliputi dari seluruh material yang terpasang dan menjadi satu kesatuan dari *subsea structure*. Sehingga dapat diartinya menjadi beban dari structure ataupun *deadload*.

2.10.2 Beban Dinamis

Saat proses *lifting* berlangsung efek dinamis merupakan salah satu yang mempengaruhi kegiatan proses *lifting*, yang disebabkan dari pergerakan objek yang diangkat. pembebanan dinamis harus diterapkan dimana dalam faktor-faktor yang mempengaruhinya yaitu dengan memperhitugkan efek dinamis secara global yang terdiri dari gerakan kapal, *boom crane*, kekuan dan tali temali, lokasi dan gerakan derek, serta angin (DNVGL-ST-N001, 2016). Dalam hal ini biasanya dinyatakan sebagai nilai *amplification factor* (DAF). Adapun nilai-nilai yang telah ditetapkan pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Nilai Factor DAF (*Dynamic Amplification Factor*)

Static Hook Load (SHL) (tonnes)			DAF		
			Onshore ^{2), 3)}	Inshore ^{4), 6)}	Offshore ^{5), 6)}
3 ¹⁾	$\begin{matrix} < SHL \\ \leq \end{matrix}$	100	1.10	$1.07+0.05\sqrt{100/SHL}$	$1+0.25\sqrt{100/SHL}$
100	$\begin{matrix} < SHL \\ \leq \end{matrix}$	300	1.05	1.12	1.25
300	$\begin{matrix} < SHL \\ \leq \end{matrix}$	1000	1.05	1.10	1.20
1000	$\begin{matrix} < SHL \\ \leq \end{matrix}$	2500	1.03	1.08	1.15
SHL > 2500			1.03	1.05	1.10

(Sumber: DNVGL-ST-N001)

2.10.3 Beban Tambahan

Beban tambahan yang biasanya juga dikenal *skew load factor* (SKL), beban-beban tambahan ini biasanya disebabkan dari toleransi fabrikasi *rigging, structure* dan juga berhubungan dengan distribusi penyebaran gaya yang dipengaruhi oleh tali-menali. Berdasarkan DNVGL-ST-N001 pada 16.2.6.8 membahas mengenai nilai dari *skew load factor* (SKL) dengan menggunakan 4 sling. Dengan nilai *skew load factor* (SKL) yang ditetapkan sebesar 1.25.

2.10.4 Faktor Kontigensi.

Merupakan beban perkiraan atau kemungkinan berdasarkan desain *lifting* yang sudah di rancang atau direncanakan. Dalam hal ini DNVGL-ST-N001 memberikan ketentuan pada bagian 16.10.2.1 dengan nilai dari faktor kontigensi sebesar 1.1.

2.10.5 Faktor Konsekuensi

Faktor konsekuensi merupakan beban faktor yang dianggap jika terjadinya kegagalan pada sling yang dapat menyebabkan hilangnya total struktur yang akan diangkat, dalam ketentuan DNVGL-ST-N001 pada bagian 16.4.5.1 menetapkan faktor konsekuensi yang ditetapkan sebesar 1.3.

2.11 Stabilitas Kapal

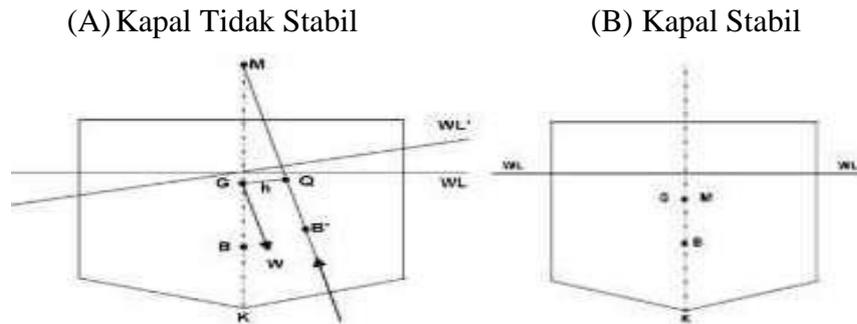
Stabilitas kapal adalah kemampuan sebuah kapal untuk tegak semula setelah miring yang disebabkan pengaruh gaya dari aktivitas dikapal, baik pengaruh dari luar maupun dari dalam kapal itu sendiri. Dalam peraturan yang telah ditetapkan oleh organisasi yang dikenal dengan *international maritime organization* (IMO) pada bulan november 1993 telah menyetujui dan juga menyepakati mengenai keselamatan jiwa dilaut solas 1974 (*safety of life at sea 1974*), dimana syarat ini menjadi keharusan yang wajib dipenuhi (Albertus, 2010). Ada beberapa hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal, antara lain:

- Titik G (gravity) yaitu titik berat kapal.
- Titik B (bouyancy) yaitu titik tekan ke atas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup air.
- Titik M (metacentre) yaitu titik perpotongan antara vektor gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut oleng.

Salah satu penelitian kapal cepat yang di desain untuk melakukan pengawasan dan keamanan diwilayah perairan kepulauan riau. Metode yang dilakukan melakukan proses inclining test dengan hasil yang didapat untuk tinggi metacenter dan nilai GZ dari kapal tersebut. Dan dari hasil analisa tersebut telah memenuhi kriteria berdasarkan BKI dan IMO (Saputra et al., 2017).

Penambahan variasi posisi sudut dan lebar bilga keel pada kondisi kritis yaitu saat muatan penuh dan muatan kosong, dan model 3 adalah model dengan posisi sudut penempatan pada 0,5 R dan lebar 50 cm dinilai memiliki pengaruh untuk memperbaiki stabilitas kapal. Model 3 pada muatan penuh memiliki nilai GZ 0,758 m dan pada kondisi muatan kosong 0,857 m. Periode oleng yang dihasilkan oleh semua model kapal pada 10 kondisi stabilitas yang dianalisa dinyatakan memenuhi standar periode oleng menurut IMO untuk kapal penumpang barang yaitu 10,5 sampai 14,5 detik, dan model 3 memiliki rata-rata periode oleng yang paling kecil yaitu sekitar 14 detik (Gorat et al., 2017).

Gambar 2.3 mengilustrasikan posisi kondisi saat kapal dan tidak stabil dan stabil. Hal ini dapat di perhatikan dari posisi keadaan lambung kapal. Pada kondisi A merupakan kondisi kapal tidak stabil dan kondisi B kondisi keadaan kapal stabil.



(Sumber: Santoso dkk, 2016)

Gambar 2. 9 Kondisi Stabilitas Kapal

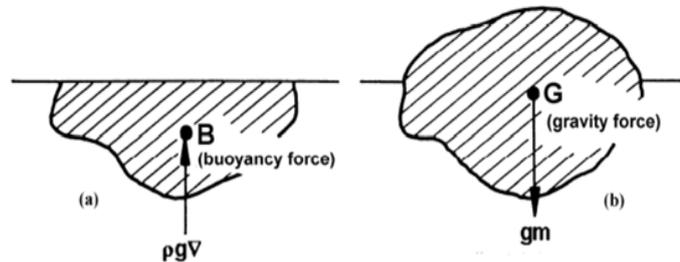
2.12 IMO A.749 “*Intact Stability for All Types of Ships*”

Dalam *IMO A.749 “Intact Stability for All Types of Ships”* terdapat berbagai tipe kapal dan bangunan laut dengan ukuran 24 meter atau lebih. Perbedaan tipe kapal tersebut berdasarkan fungsi dan konfigurasi dari masing-masing kapal. Stabilitas suatu kapal akan berpengaruh sesuai dengan tipe kapal masing-masing. Tipe kapal yang terdapat pada *IMO A.749 “Intact Stability for All Types of Ships”* antara lain:

- Kapal kargo
- Kapal kargo dengan kargo timber
- Kapal kargo dengan kargo grain/butiran
- Kapal penumpang
- Kapal ikan
- Kapal special
- *Offshore supply vessel*
- *Mobile offshore drilling units*
- Ponton
- *Dynamically supported craft*
- Kapal container

Pada saat air tenang *crane vessel* atau *crane barge* titik berat dan gaya *bouyancy* (gaya apung) yang tetap tidak ada gerakan. Namun jika ada massa tambah terjadi akibat proses pengangkatan, akan terjadi perubahan titik berat dan terjadi gerakan *crane barge* (IMO A.749, 1995). Gaya hidrostatis dan momen dikarenakan lingkungan seperti gelombang. *Volume bouyancy* yang tercelup adalah volume kapal terendam berada dibawah garis air dan memiliki titik *bouyancy*. Titik berat (

center of gravity) adalah titik berat kapal dalam keadaan statik (Journee & Massie, 2001).

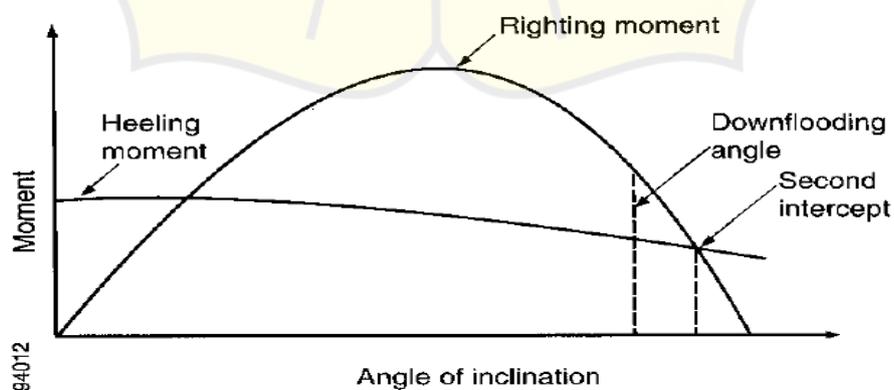


(Sumber: Offshore hydromechanic, Delf University Of Technology Journee dan Massie, 2001)

Gambar 2. 10 Perumpamaan Titik Tengah Dan Gaya

Kapal atau bangunan apung dikatakan dalam keadaan kesetimbangan atau *balance* yaitu ketika resultan semua gaya dan resultan semua momen sama dengan nol. Tiga perbedaan keadaan kesetimbangan atau tipe stabilitas dapat dibedakan berdasarkan gangguan pada posisi kesetimbangan, yaitu:

- Jika, terjadi gangguan, struktur kembali ke posisi kesetimbangan maka bisa disebut struktur tersebut dalam keadaan *stable equilibrium* atau memiliki stabilitas positif.
- Jika, terjadi gangguan, struktur tetap dalam posisi tidak terjadi perubahan maka bisa disebut struktur dalam keadaan *neutral equilibrium* atau memiliki stabilitas netral.
- Jika, terjadi gangguan, struktur mengalami penyimpangan dari keadaan kesetimbangan cenderung meningkat, sehingga struktur bisa disebut dalam keadaan *unstable equilibrium* atau memiliki stabilitas negatif.



(Sumber: Offshore hydromechanic, Delf University Of Technology Journee dan Massie, 2001)

Gambar 2. 11 *Righting Moment* dan *Heeling Moment*

Untuk menjamin keselamatan kapal dalam hal *intact stability*, maka standar IMO yang harus dipenuhi. Pada gambar 2.11 menunjukkan kurva *rigting moment* dan *heeling moment* dari kapal, bisa dijelaskan sebagai berikut :

1. Luasan dibawah kurva GZ sampai dengan 40° tidak boleh $\leq 0,09$ meter-radian atau 5,16 meter-degree.
2. Tinggi metasentra awal (GM) tidak boleh kurang dari 0.15 meter.
3. Jarak lengan momen pengembali (GZ) tidak boleh lebih kecil dari 0,15 m pada saat kemiringan kapal sama dengan atau lebih dari 300.

2.13 Hukum Newton

Hukum newton II merupakan nilai resultan gaya yang bekerja pada suatu benda yang akan mengakibatkan terjadinya perubahan momentum pada benda tersebut. Perubahan momentum tiap satu satuan waktu yang dialami oleh benda tersebut berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut (Halliday & Robert, 2005).

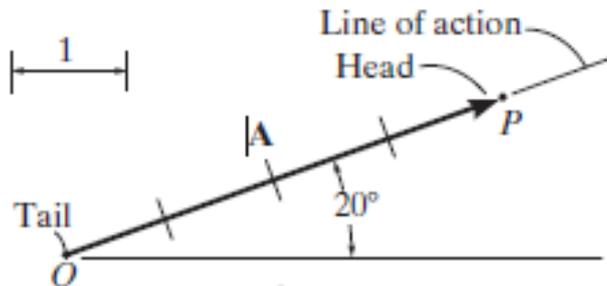
Hukum Newton III yang berbunyi “Untuk setiap aksi selalu terdapat reaksi yang sama besar dan berlawanan arah atau, aksi timbal – balik satu terhadap yang lain antara dua benda selalu sama besar, dan berarah ke bagian yang berlawanan (Halliday & Robert, 2005).

Pengaruh massa terhadap kecepatan dan percepatan yaitu kecepatan dan percepatan massa beban 128 g sebesar 0,062 m/s dan 0,00625 m/s² lebih besar dari kecepatan dan percepatan dengan beban yang dimiliki sebesar 400,46g dengan nilai kecepatan 0,056 m/s dan 0,0518, hal ini terbukti berdasarkan hasil dari pernyataan hukum newton II, yaitu kecepatan dan percepatan berbanding terbalik dengan massa, dengan pernyataan tersebut artinya semakin besar beban benda maka kecepatan dan percepatannya akan semakin kecil, begiyu juga dengan sebaliknya (Sirait, 2018).

2.13.1 Vektor

Vektor adalah setiap besaran fisis yang besarnya memerlukan arah untuk mendeskripsikannya, contoh dari vektor yang dihadapi dalam statika adalah seperti gaya, posisi dan momen. Vektor ditunjukkan berdasarkan dalam bentuk panah.

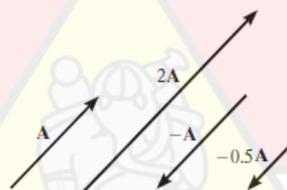
Panjang dari anak panah melambangkan besaran dari nilai vektor, dimana sudut antara vektor sumbu menentukan arah garis dari kerjanya (Hibbeler, 2016).



(Sumber: static engineering mechanic, rhibblerbook4th)

Gambar 2. 12 Gambar Sudut Arah Gaya Vektor

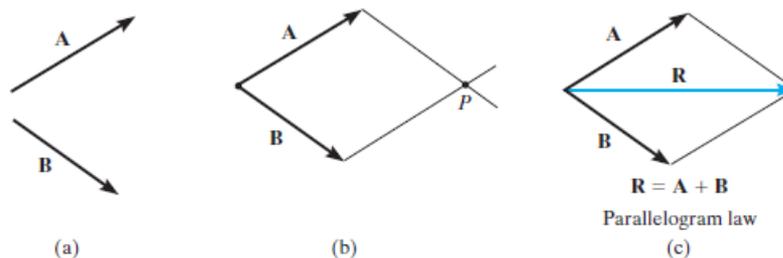
Jika terdapat dua buah vektor dapat dikalikan berdasarkan dengan skalar positif, besarnya bertambah sebesar dengan jumlah yang ditambahkan tersebut. Dan apabila dengan skalar negatif dapat mengubah arah dan makna dari pengertian vektornya (Hibbeler, 2016).



(Sumber: static engineering mechanic, rhibblerbook4th)

Gambar 2. 13 Arah Gaya Vektor Yang Berlawanan

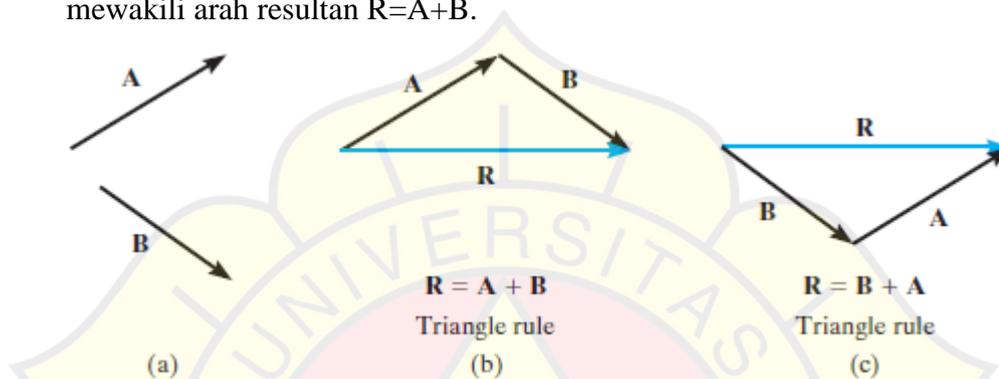
Saat terjadi dua vektor bersama-sama, sangat penting untuk memperhitungkan besaran dan arahnya. Untuk menentukan dalam hal ini kita harus menggunakan hukum jajar genjang penjumlahan sebagai ilustrasi yang di perlihatkan pada gambar 2.14, kedua vektor komponen A dan B pada gambar tersebut 2-3a ditambahkan kemudian membentuk resultan vektor $R=A+B$ dengan menggunakan sistem tersebut (Hibbeler, 2016).



(Sumber: static engineering mechanic, rhibblerbook4th)

Gambar 2. 14 Konsep Menggunakan 2 Komponen Vektor

- Konsep pertama dengan menggabungkan ekor komponen pada satu titik menjadi satu agar saling berhubungan yang di perlihatkan pada gambar 2.14 pada bagian (b).
- Dari bagian arah B, digambarkan garis sejajar dengan arah A. kemudian akan membentuk perpotongan diberi inisial titik P. kemudian terbentuk sisi-sisi yang berbentuk seperti jajaran genjang.
- Tiap diagonal jajaran genjang ini yang memanjang ke P membentuk R, yang mewakili arah resultan $R=A+B$.

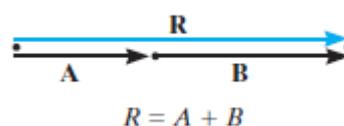


(Sumber: static engineering mechanic, rchibblerbook4th)

Gambar 2. 15 Konsep Vektor Dalam Aturan Segitiga

Kita juga dapat menggunakan aturan segitiga, pada gambar 2.15, dimana vektor B ditambahkan ke vektor A dengan cara “kepala-ke ekor” yaitu dengan menghubungkan titik A ke titik B, pada gambar 2.15b. resultan dengan inisial R memanjang dari titik A ke titik B. dimana nilai R juga dapat memperoleh dengan menambahkan A ke B. sedangkan pada gambar 2.15c sebagai perbandingan bawah penjumlahan vektor adalah komutatif dengan kata lain vektor tersebut dapat dijumlahkan dalam satu urutan yaitu, $R=A+B = B + A$.

Pada kasus khusus jika terdapat dua vektor A dan B disebut dengan kolinear, keduanya memiliki garis aksi yang sama, hukum dari konsep jajaran genjang diaplikasikan menjadi penjumlahan aljabar atau skalar $R=A+B$, yang dijelaskan pada gambar 2.16.



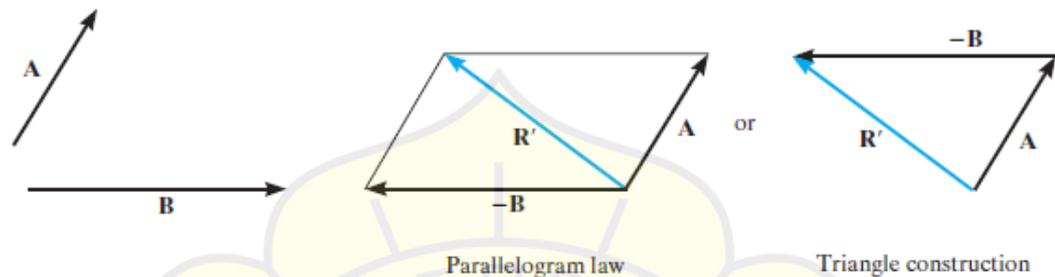
(Sumber: static engineering mechanic, rchibblerbook4th)

Gambar 2. 16 Vektor Dengan Garis Gaya Aksi Yang Sama

2.13.2 Pengurangan vektor

Resultan yang terdapat dua arah yang berlawanan berdasarkan vektor A dan B dari jenis yang sama di dapatkan persamaan $R = A - B = A + (-B)$.

Persamaan dari vektor ini ditunjukkan secara grafis pada gambar 2.17. pengurangan didefinisikan sebagai kasus khusus penambahan, sehingga aturan dari penambahan vektor ini berlaku untuk pengurangan vektor (Hibbeler, 2016).



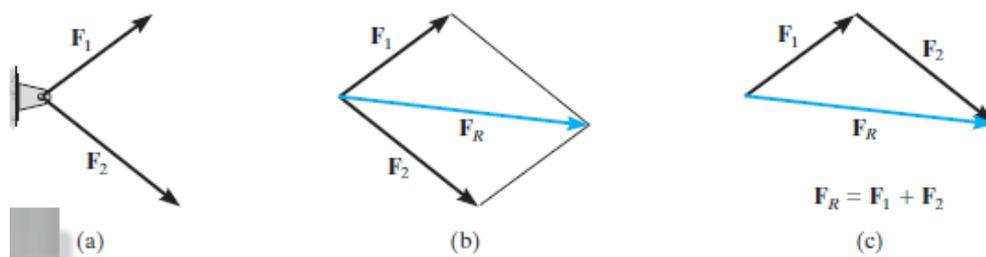
(Sumber: static engineering mechanic, rchibblerbook4th)

Gambar 2. 17 Pengurangan Vektor Terhadap Konsep Jajaran Genjang Dan Segitiga

2.13.3 Resultan Nilai Gaya Vektor

Sebuah eksperimen telah membuktikan gaya merupakan besaran vektor yang memiliki besaran, arah dan hal-hal tertentu dan ditambahkan sesuai dengan hukum jajaran genjang dalam statika menemukan gaya yang dihasilkan, dengan mengetahui komponennya.

Contoh dari studi kasus terdapat dua komponen F1 dan F2 yang memiliki gaya pada gambar 2.18 pada bagian (a) dijelaskan dalam hal ini dapat ditambahkan bersama-sama untuk membentuk resultan gaya $F_R = F_1 + F_2$, yang diperlihatkan dari gambar 2.18 (b) dari konsep tersebut dapat dinyatakan dari aturan segitiga, yang terlihat pada bagian gambar 2.18 (c) dari hal tersebut dapat diterapkan hukum kosinus atau hukum sinus ke segitiga untuk mendapatkan besarnya resultan kekuatan dan gaya nya (Hibbeler, 2016).

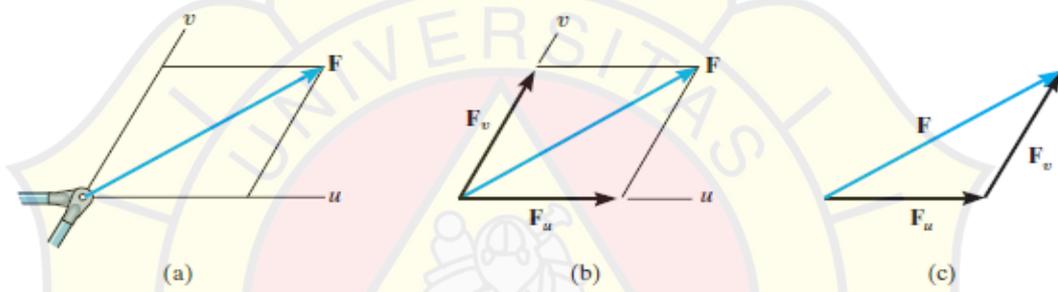


(Sumber: static engineering mechanic, rchibblerbook4th)

Gambar 2. 18 Menentukan Nilai Dari Resultan Gaya Vektor

2.13.4 Menentukan Nilai Gaya Vektor Dua Komponen.

Pada gambar 2.19a diketahui nilai dari F dibagi menjadi dua komponen yang dengan panjang yang sama, didefinisikan sebagai sumbu U dan V , untuk menentukan besaran dari masing-masing untuk nilai tersebut menggunakan konsep penggambaran jajaran genjang. Dengan memulai membuat garid dari ujung F , satu garis dengan U , dan garis lainnya sejajar dengan V , kemudian dari kedua perpotongan dua garis tersebut membentuk jajaran genjang. Nilai dari titik F_U dan F_V terbentuk dengan mengabungkan ekor F ketitik perpotongan pada sumbu u dan v , pada gambar 2.19b. kemudian ditransformasi menjand segitiga yang memiliki aturan sinus pada gambar 2.19cm dengan begitu dapat diterapkan dengan menentukan besaran dari komponen yang tidak diketahui nilainya (Hibbeler, 2016).



(Sumber: static engineering mechanic, rchibblerbook4th)

Gambar 2. 19 Menentukan Nilai Gaya Vektor Dua Komponen