

Multidisciplinary Design Optimization (MDO) pada Perancangan Vessel Truck Menggunakan Augmented Lagrange Multiplier Method

Yuwono B. Pratiknyo* dan I Wayan Suweca**

*Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya

**Kelompok Keahlian Perancangan Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,
Institut Teknologi Bandung

E-mail: yuwonobudi@ubaya.ac.id, csuweca@edc.ms.itb.ac.id

ABSTRAK

Pada saat ini, perkembangan keilmuan di bidang optimasi perancangan (*design optimization*) meningkat begitu pesat. Perkembangan ini selaras dengan kompetisi di era globalisasi yang menuntut semua bidang untuk melakukan efisiensi dan optimasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemungkinan penerapan metode optimasi perancangan dalam perancangan awal *vessel truck*, menyusun strategi perancangan *vessel truck*, dan menyusun program komputer optimasi perancangan *vessel truck* yang optimum. *Multidisciplinary Design Optimization Methods* (Metode *MDO*) diterapkan pada perancangan *vessel truck* untuk mengatasi kompleksitas beberapa parameter perancangan yang harus diakomodasi dalam persamaan matematis untuk mendapatkan hasil perancangan yang optimum. Strategi optimasi perancangan *vessel truck* dilakukan dengan mengambil dimensi *vessel truck* sebagai variabel perancangan, volume *vessel truck* sebagai *objective function*, hukum Newton II pada saat kendaraan melaju ke depan sebagai *equality constraint*. Penyelesaian permasalahan optimasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode optimasi *ALM* (*Augmented Lagrange Multiplier*). Strategi yang telah dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk membantu tahap awal perancangan *vessel truck* melalui penentuan dimensi awal yang optimum. Perangkat lunak optimasi yang dihasilkan juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi yang lebih luas.

Kata kunci: Perancangan, optimasi, *MDO*, *ALM*.

ABSTRACT

Progress in design optimization is swift. The progress is in line with competitions in the globalization era that call for efficiency and optimization in all aspect of engineering field. In engineering design process, optimization is performed to reduce time, cost, and to improve quality and accuracy of the design. All of these are essential to produce more and more competitive products. The objectives of the optimization process in this research are to implement an optimization method in vessel truck design, to compile optimum scheme strategy for the vessel of truck, and to establish computer program for design optimization of vessel truck. This research use MDO methods for designing the vessel truck. The design of the vessel truck covers some aspects. All these aspects need to be formulated in mathematical equation to obtain the optimum design. The strategy of the design optimization takes vessel truck dimensions as the design variable, vessel truck volume as the objective function and Newton Second Law (NSL) as the equality constraint. The strategy developed in this study can be used to help the initial design stage in obtaining the optimum initial dimension of vessel truck. Software resulted for early optimization process of vessel truck can be further developed widely for other application.

Keywords: Design, optimization, *MDO*, *ALM*.

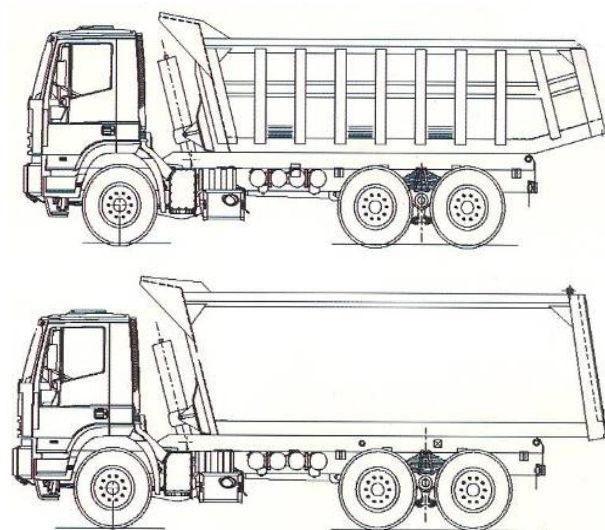
PENDAHULUAN

Pada saat ini perkembangan keilmuan di bidang optimasi perancangan (*design optimization*) meningkat begitu pesat. Perkembangan ini selaras dengan kompetisi di era globalisasi yang menuntut semua bidang untuk melakukan efisiensi dan optimasi.

Pada bidang perancangan, proses optimasi dilakukan dengan tujuan diantaranya adalah untuk mereduksi waktu, biaya, serta meningkatkan kualitas dan keakuratan hasil rancangan. Pengurangan waktu, biaya dan peningkatan kualitas rancangan mutlak dilakukan untuk menghasilkan produk yang kompetitif.

Optimasi perancangan pada kenyataannya bukan merupakan hal yang sederhana dan bukan hanya dilihat dari satu aspek saja. Namun, proses optimasi perancangan dapat merupakan hal yang kompleks dan mencakup beberapa aspek sekaligus. Hal inilah yang menyebabkan metode *MDO* berkembang sebagai suatu disiplin baru (Sobieszcanski-Sobieski, 1995). *MDO* memberikan dukungan, yaitu berupa metode dan teknik yang membantu perancang dalam melakukan optimasi perancangan yang meliputi multi aspek/disiplin keilmuan. Beberapa metode *MDO* berkembang seiring dengan problematika yang ada. *MDO* telah diterapkan dalam beberapa proses perancangan yang kompleks dan membutuhkan beberapa interaksi antara fenomena fisik dan komponen, contohnya dalam industri pesawat terbang dan otomotif.

Dalam penelitian dibahas penerapan *MDO* pada perancangan *vessel truck*. Perancangan *vessel truck* (Gambar 1), meskipun terlihat sederhana, akan tetapi memiliki parameter perancangan yang kompleks. Kompleksitas perancangan *vessel truck* meliputi beberapa aspek seperti komponen penyusun, dinamika kendaraan, fenomena fisik (kondisi infrastruktur jalan/lintasan dan jembatan, jenis muatan) dan kebutuhan pelanggan (jenis *head truck*, beban, kapasitas). Beberapa aspek tersebut harus diakomodasi dalam persamaan matematis untuk mendapatkan hasil perancangan yang optimum.



Gambar 1. *Vessel Truck*

Beberapa parameter perancangan yang sudah diformulasikan dalam persamaan matematis untuk selanjutnya akan dilakukan proses optimasi. Proses optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *ALM*. Proses optimasi ini bertujuan untuk mengetahui dimensi *vessel truck* yang optimum dengan mengakomodasi kebutuhan pelanggan, spesifikasi teknik truk, kestabilan statis dan kestabilan dinamis.

Beberapa permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini difokuskan pada permasalahan optimasi perancangan *vessel truck*. Secara spesifik permasalahan pada perancangan *vessel truck* adalah sebagai berikut:

1. Pada perancangan *vessel truck* ada beberapa parameter yang saling mempengaruhi dan bertolak belakang. Parameter yang bertolak belakang akan menyulitkan perancang untuk menentukan berapa nilai parameter yang optimum.
2. Proses perancangan membutuhkan waktu yang lama. Lamanya waktu perancangan terjadi karena kebutuhan pelanggan yang beraneka ragam dan banyaknya jenis truk yang memiliki spesifikasi teknis berbeda.
3. Pada saat ini suatu rancangan *vessel* digunakan untuk beberapa jenis truk yang berbeda. Sehingga pada beberapa kasus, *chasis* truk harus mengalami modifikasi atau penambahan komponen.

Penelitian ini bertujuan untuk membantu proses perancangan, khususnya pada perancangan *vessel truck*. Secara terperinci tujuan penelitian ini adalah :

1. Mempelajari kemungkinan penerapan metode optimasi perancangan dalam perancangan awal *vessel truck*.
2. Menyusun strategi perancangan yang optimum untuk *vessel truck*.

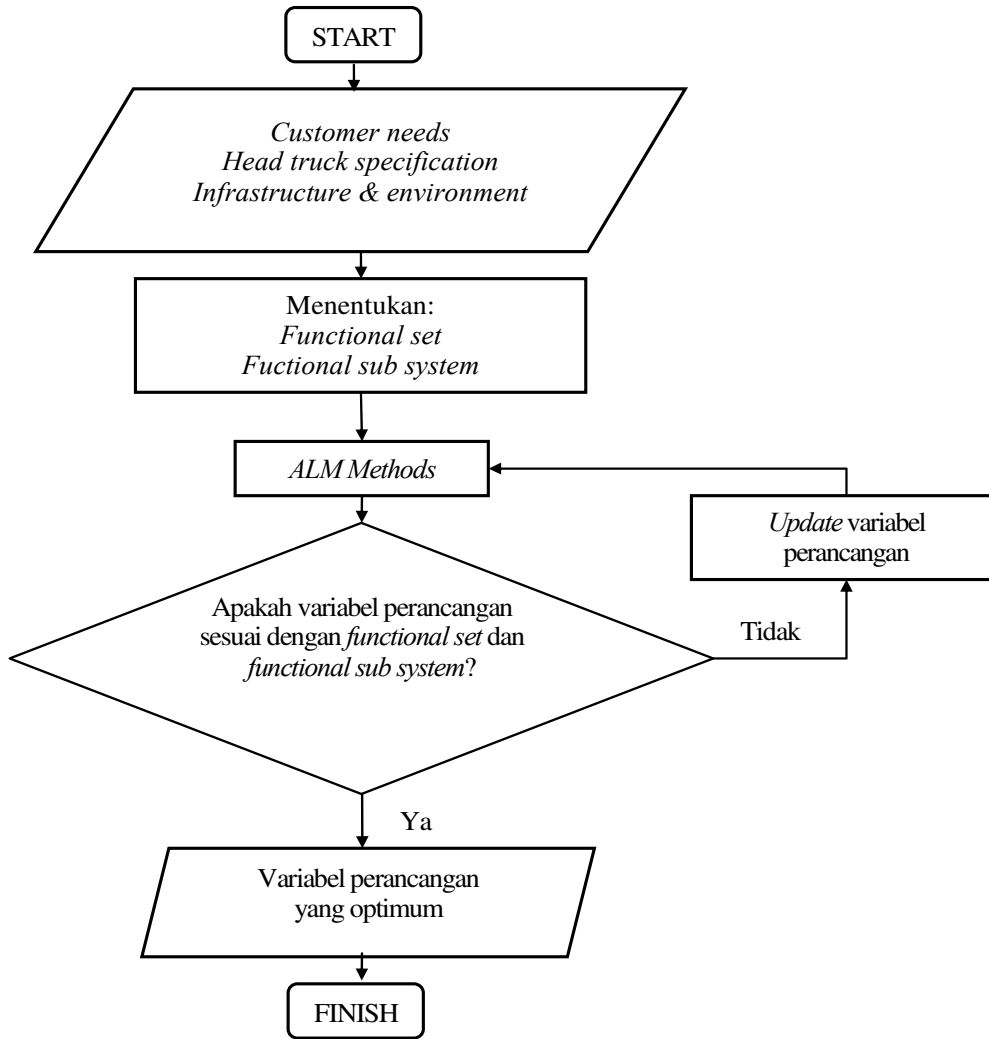
Menyusun program komputer optimasi perancangan *vessel truck* yang optimum.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti prosedur dan langkah-langkah seperti pada Gambar 2.

Metode penelitian secara detail dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data *customer needs*, *head truck specification*, *infrastructure and environment* (kondisi jalan, jembatan, kecepatan angin). *customer needs* digunakan dalam proses optimasi perancangan untuk mengetahui keinginan konsumen yang harus dipenuhi dalam produk (jenis material, kapasitas angkut, tipe truk). Data spesifikasi teknik truk diperlukan sebagai kendala dalam proses optimasi. Data teknis ini juga diperlukan untuk melihat dari sisi mana optimasi perancangan dapat dilakukan dengan tetap melihat aspek-aspek teknis yang harus dipenuhi. *Infrastructure and environment* meliputi informasi yang terkait dengan kondisi jalan (*highway*, *on roads*, *off roads*), kondisi jembatan (*max loads*, lebar, tinggi) dan kecepatan angin.



Gambar 2. Metodologi Penelitian

2. Penentuan *functional set* dan *sub-functional*.

Pengorganisasian proses perancangan memegang peranan yang penting di dalam merancang suatu produk. Produk yang berkualitas ditentukan oleh beberapa performansi (*performance*). Performansi tersebut akan yang dipengaruhi oleh fungsional dari berbagai macam *parts* yang tersusun menjadi *components*, *sub-system* dan *system*. Pada perancangan *vessel truck*, *hierarchical organization* sangat diperlukan untuk melakukan kolaborasi beberapa performansi seperti *power limited*, *traction limited*, *aerodynamic*, *rolling resistance* dan *braking performance*.

Berdasarkan *robust design strategy*, untuk optimasi perancangan *vessel truck* diambil langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penentuan *design function* dan pendefinisian variabel perancangan.
2. Penentuan parameter fungsi.

Functional set dan *sub-functional* digunakan untuk menguraikan beberapa hal yang harus

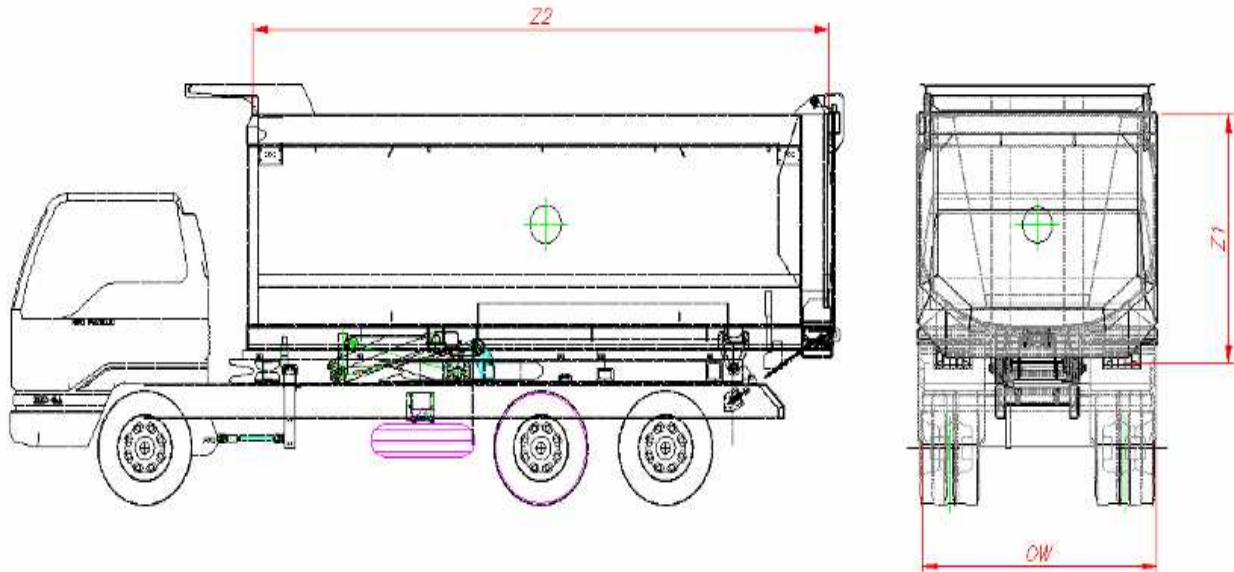
dipenuhi dalam proses perancangan. *Functional set* yang dipakai pada penelitian ini adalah dengan memaksimalkan volume *vessel truck*, dan sebagai *sub-functional* adalah *power limited*, *traction limited*, *rolling resistance*, *aerodynamic drag* dan *static stability*.

Tujuan utama yang ingin dicapai pada perancangan *vessel truck* adalah mengoptimalkan volume *vessel truck* sesuai dengan keinginan konsumen. Variabel perancangan (Gambar 3) yang mempengaruhi dalam mengoptimalkan volume *vessel truck* adalah:

z_1 = tinggi *vessel truck* (ft)

z_2 = panjang *vessel truck* (ft)

Nilai variabel perancangan (z_1 dan z_2) yang berbeda akan menimbulkan *performance* dan *robustnes constraints* yang berbeda pula. Beberapa kompromi diatur selama *phase* optimasi dengan tujuan untuk membuat optimasi *design function* dan menentukan penyebab ketidakpastian antara tujuan desain dan kendala dalam



Gambar 3. Variabel Perancangan Vessel Truck

multidisciplinary design environment. Berat jenis material yang diangkut dan jenis *head truck* ditetapkan sebagai *customer needs*, yang selanjutnya akan mempengaruhi volume *vessel truck*. *Design function* dari perancangan *unit vessel truck* adalah memaksimalkan volume *vessel truck*.

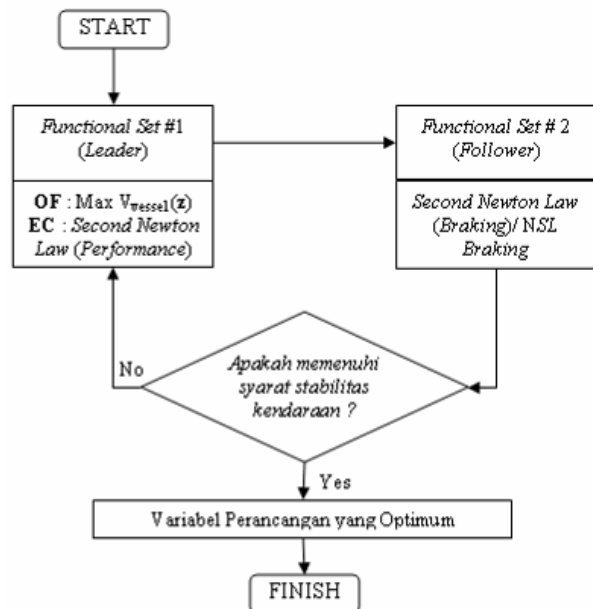
3. Proses optimasi.

Proses optimasi yang digunakan pada permasalahan penelitian ini menggunakan salah satu metode penyelesaian optimasi yaitu metode *Augmented Lagrange Multiplier (ALM)*. Metode *ALM* dipilih karena dalam penyelesaian optimasi, metode ini lebih sederhana dengan faktor pengali (λ dan r_p). Selain itu, metode ini dapat mengurangi ketergantungan algoritma pada *pinlty parameter* dan dapat diperbaharui sepanjang proses optimasi.

Proses optimasi *vessel truck* terdiri dari dua *functional set*. *Functional set* pertama adalah memaksimalkan volume *vessel truck* dengan *equality constraint* performansi kendaraan pada saat melaju. *Functional set* kedua adalah pengecekan hasil variabel perancangan pada *functional set* pertama terhadap performansi pengereman.

Hubungan antara kedua *functional set* dinyatakan dalam Gambar 4.

Pada proses optimasi *vessel truck functional set* memiliki hubungan sebagai berikut: *functional set* # 1 ditetapkan sebagai *leader* dan *functional set* # 2 ditetapkan sebagai *follower*. Hasil variabel perancangan pada *functional set* # 1 diberikan ke *functional set* # 2 untuk dilakukan pengecekan



Gambar 4. Hubungan Antara *Functional Set*

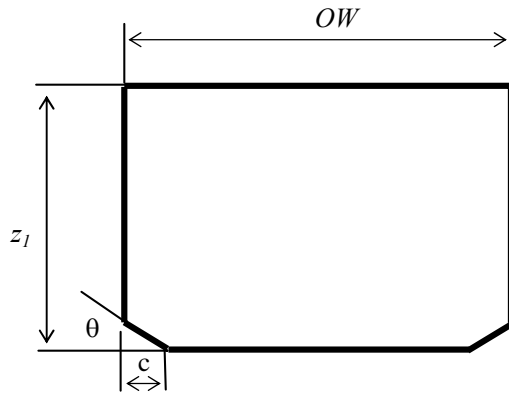
a. *Functional Set* # 1

Pada *functional set* # 1 akan dilakukan proses optimasi dengan tujuan memaksimalkan volume *vessel truck* yang sesuai dengan *equality constraint* hukum *Newton II* pada saat kendaraan melaju ke arah depan. Proses optimasi disusun berdasarkan langkah-langkah berikut:

1. Penentuan *objective function*.

Objective function pada optimasi perancangan *vessel truck* adalah bagaimana menghasilkan volume *vessel truck* yang maksimum dan sesuai dengan berat jenis muatan dan spesifikasi *head*

truck yang diinginkan konsumen. Sehingga kita mendapatkan variabel perancangan (z_1 dan z_2) yang optimum. Pada optimasi perancangan vessel truck ini dipilih bentuk penampang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Detail Penampang Transversal Vessel Truck

Volume vessel truck (V_{vessel}) dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$V_{vessel} = (OW) \times (z_1) \times (z_2) - c^2 \times \text{tg } \theta \times (z_2) \quad (1)$$

dengan:

OW = lebar maksimum kendaraan (*over width*) (ft)

z_1 = tinggi vessel (ft)

z_2 = panjang vessel (ft)

c = jarak champer (ft)

θ = sudut champer ($^\circ$)

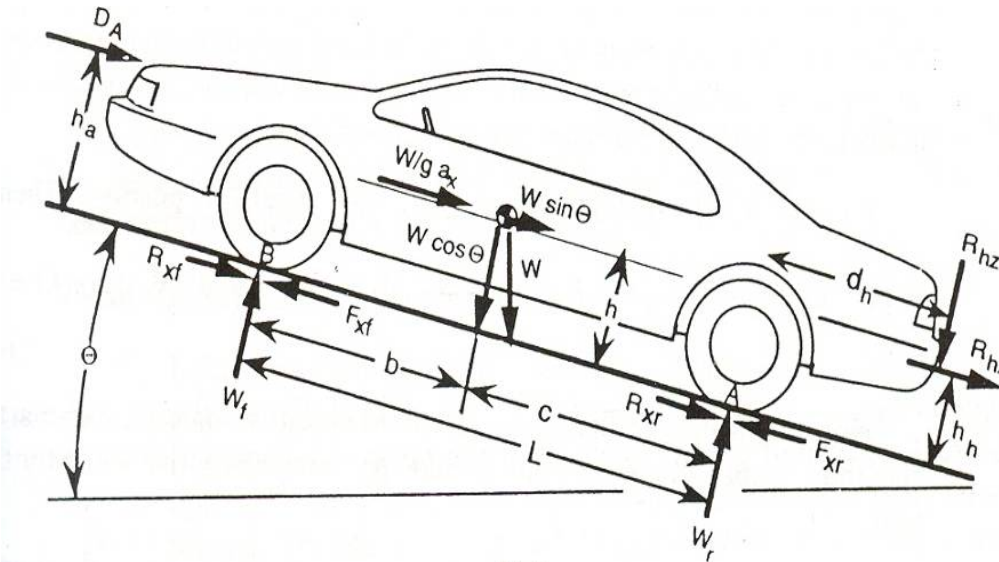
V_{vessel} = volume vessel truck (ft³)

Sehingga diperoleh *objective function*:

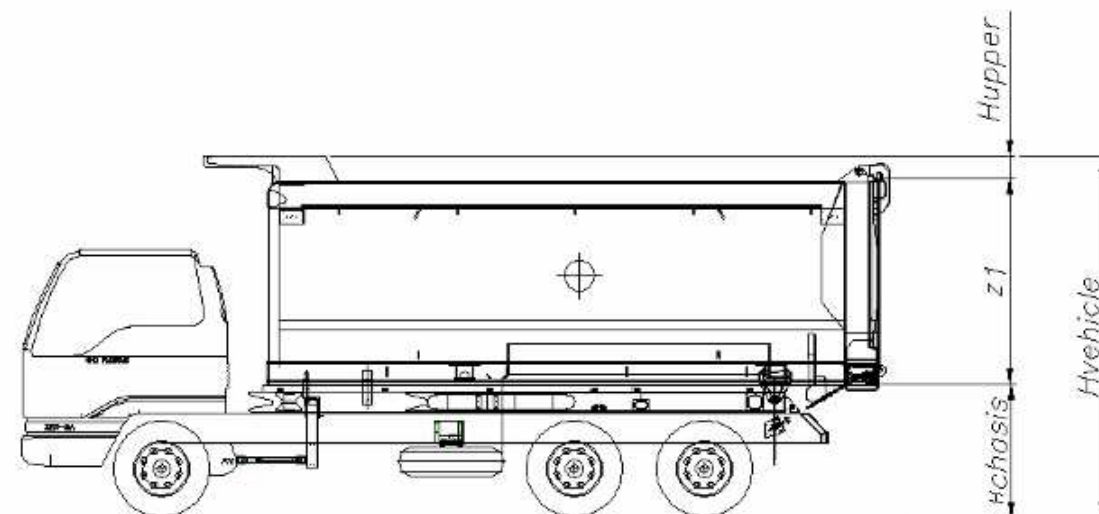
$$\text{Max: } V_{vessel}(z) = (OW) \times (z_1) \times (z_2) - c^2 \times \text{tg } \theta \times (z_2) \quad (2)$$

2. Penentuan *equality constraint*.

Equality constraint ditentukan berdasarkan *Second Newton Law* pada pada Gambar 6 dan Persamaan (3).



Gambar 6. Beberapa Gaya yang Terjadi Pada Kendaraan



Gambar 7. Detail Tinggi Unit Vessel Truck

$$(F_x(z_1, z_2) - (D_A(z_1, z_2)) - W_{tot}(z_1, z_2) \sin \Theta - (R_x(z_1, z_2)) - (F_x(z_1, z_2) - (D_A(z_1, z_2)) - W_{tot}(z_1, z_2) \sin \Theta - (R_x(z_1, z_2)) - \frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g} (a_x(z_1, z_2))) = 0 \quad (3)$$

dengan:

W_{tot} = berat total kendaraan (lb)

g = gaya gravitasi (ft/sec²)

a_x = percepatan kendaraan (ft/sec²)

F_x = traction force (lb)

D_A = drag force (lb)

R_x = rolling resistance (lb)

Θ = sudut tanjakan arah longitudinal (°)

3. Penentuan side constraint.

Side constraint ditentukan berdasarkan beberapa syarat yaitu:

- Tinggi total kendaraan tidak boleh melebihi tinggi infrastruktur (HR) yang ada misalnya tinggi jembatan, tinggi gerbang tol, dan regulasi pemerintah). Tinggi total kendaraan dirumuskan dengan rumusan:

$$H_{vehicle} = H_{chasis} + H_{upper} + z_1 \quad (4)$$

Sehingga diperoleh side constraint z_1 sebesar $0 \leq z_1 \leq HR - H_{chasis} - H_{upper}$

(5)

dengan:

$H_{vehicle}$ = tinggi total kendaraan (ft)

H_{chasis} = tinggi chasis (ft)

H_{upper} = tinggi upper (ft)

HR = tinggi maksimum pada lintasan yang diijinkan (ft)

- Panjang vessel truck memiliki side constraint $(CA + ROH) \leq z_2 \leq (CA + 0.8 WB)$

(6)

- Stabilitas kendaraan

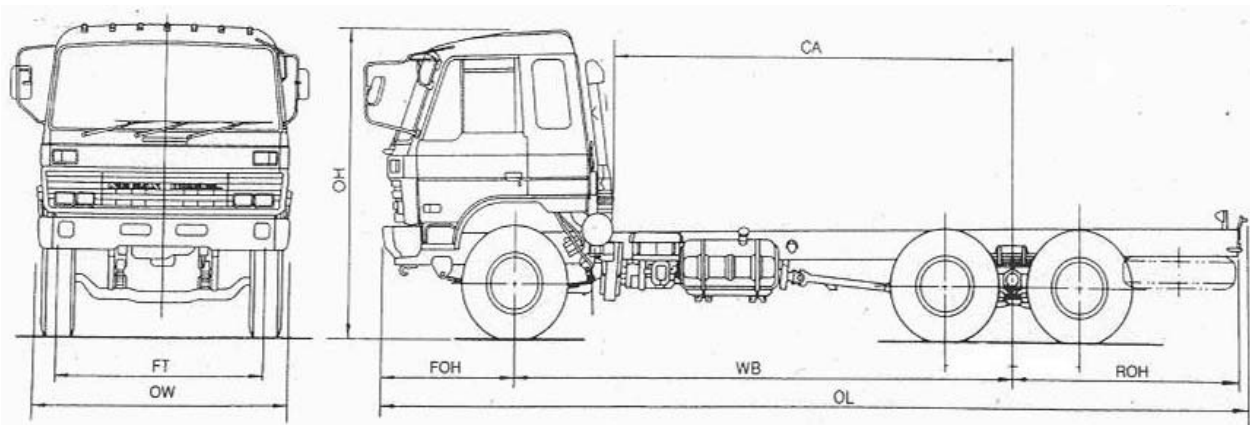
Stabilitas kendaraan pada posisi ekstrim adalah apabila kendaraan berada pada lintasan dengan kondisi menanjak dengan kemiringan tertentu (Θ). Stabilitas kendaraan pada kondisi menanjak dapat dijelaskan pada Gambar 9 dan Persamaan (7).

Stabilitas kendaraan akan terjadi sesuai dengan persamaan berikut:

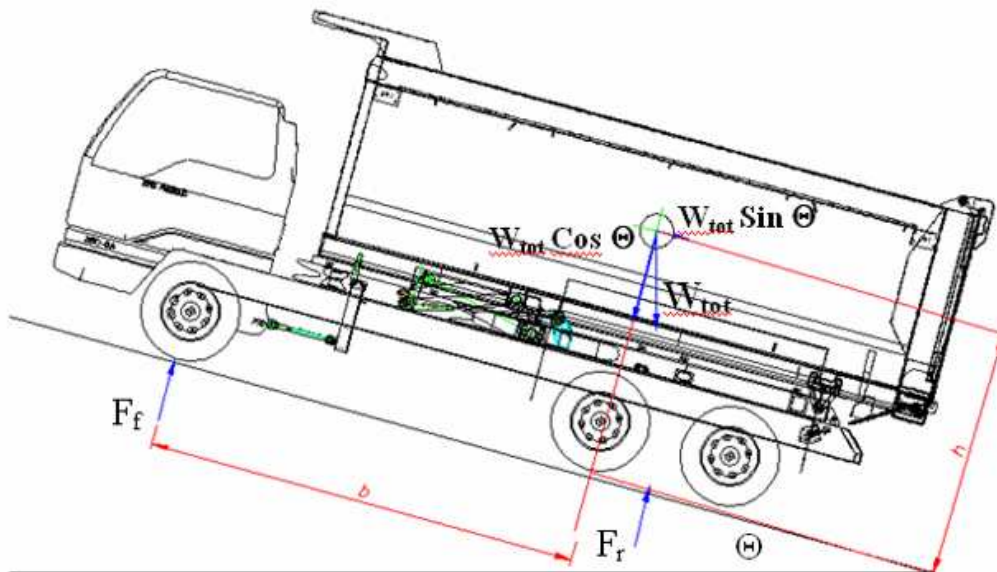
$$\sum MF_f = 0$$

$$(b) \times (W_{tot} \times \cos \Theta) + (h) \times (W_{tot} \times \sin \Theta) -$$

$$(WB) \times (F_r) = 0 \quad (7)$$



Gambar 8. Detail Penampang Longitudinal Unit Head Truck



Gambar 9. Free Body Diagram Dump Truck Pada Lintasan

Nilai *side constraint* untuk h adalah:

$$0 \leq h \leq \frac{(WB)(F_r) - b(W_{tot} \times \cos \Theta)}{W_{tot} \times \sin \Theta} \quad (8)$$

dengan:

$$F_r = \text{beban yang diterima poros belakang (lb)} \\ = \frac{(b) \times (W_{tot} \times \cos \Theta)}{WB} \quad (9)$$

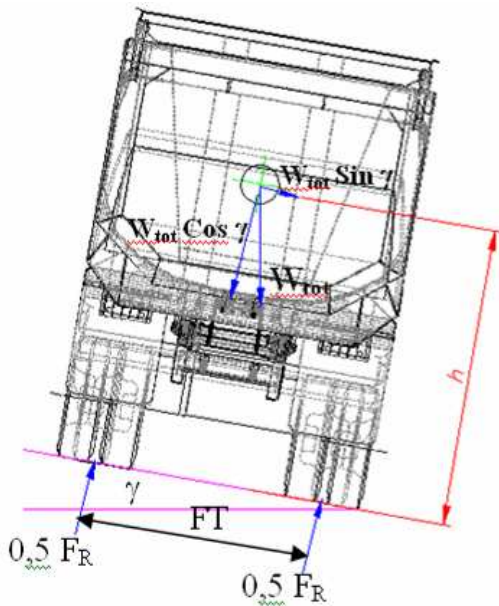
$$W_{tot} = \text{berat total kendaraan (lb)} \\ = W_{head\ truck} + (OW) \times (z_1) \times (z_2) \times (\rho) - c^2 \times \text{tg } \theta \\ \times (z_2) \times (\rho) \quad (10)$$

dengan:

$$WB = \text{wheel base (ft)} \\ h = \text{tinggi CG dari permukaan tanah (ft)} \\ \Theta = \text{sudut tanjakan arah longitudinal (°)} \\ b = \text{jarak front wheel dengan CG (ft)} \\ \left(b_1(W_{head\ truck}) + \left(WB - CA + \left(\frac{z_2}{2} \right) \right) \right) \\ b = \frac{\left((OW)(z_1)(z_2)(\rho) - a^2 \text{tg } \theta (z_2)(\rho) \right)}{W_{tot}} \quad (11)$$

b_1 = jarak front wheel dengan CG head truck (ft)

Stabilitas kendaraan pada kondisi lintasan miring dapat dijelaskan pada Gambar 10 dan Persamaan 12.



Gambar 10. Free Body Diagram Dump Truck Pada Lintasan Miring

Stabilitas kendaraan akan terjadi sesuai dengan persamaan berikut:

$$\Sigma M = 0 \\ \left(\frac{1}{2} FT \right) (W_{tot} \cos \gamma) + (h) (W_{tot} \sin \gamma) - (FT)(F_R) = 0 \quad (12)$$

dengan:

F_R = beban yang diterima roda belakang (lb)
 OW = lebar kendaraan (ft)
 W_{tot} = berat total kendaraan (lb)

γ = sudut kemiringan jalan arah lateral (°)

FT = jarak roda belakang sisi kiri dan sisi kanan (ft)

Pada saat kendaraan sedang melaju pada lintasan dengan radius belokan tertentu, besar gaya $W_{tot} \sin \gamma$ akan dilawan oleh gaya sentripetal sehingga efek stabilitas pada posisi ini dapat diabaikan.

Sehingga untuk *functional set* # 1, problem optimasi dinyatakan dengan:

OW = lebar maksimum kendaraan (*over width*) (ft)

c = jarak *champer* (ft)

θ = sudut *champer* (°)

ρ = masa jenis material yang diangkut (lb/ft³)

g = gaya gravitasi (ft/sec²)

Θ = sudut kemiringan jalan raya (°)

HR = tinggi maksimum lintasan (ft)

H_{chasis} = tinggi *chasis* dari permukaan tanah (ft)

H_{upper} = tinggi *upper* (ft)

CA = jarak kabin ke poros belakang (ft)

ROH = julur belakang (ft)

WB = jarak poros roda (ft)

b_1 = jarak front wheel dengan CG head truck (ft)

Fungsi Obyektif

Volume vesel maksimum

$$V_{vessel}(z) = (OW) \times (z_1) \times (z_2) - c^2 \times \text{tg } \theta \times (z_2) \quad (13)$$

dengan variabel perancangan adalah:

z_1 = tinggi vesel (ft)

z_2 = panjang vesel (ft)

Sesuai dengan Hukum Newton II, maka:

$$\frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g} (a_x(z_1, z_2)) = F_x(z_1, z_2) - D_A(z_1, z_2) - W_{tot} \\ (z_1, z_2) \sin \Theta - R_x(z_1, z_2) \quad (14)$$

$$F_x(z_1, z_2) - D_A(z_1, z_2) - W_{tot}(z_1, z_2) \sin \Theta - R_x(z_1, z_2) - \\ \frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g} (a_x(z_1, z_2)) = 0 \quad (15)$$

Side constraints:

$$0 \leq z_1 \leq HR - H_{chasis} - H_{upper} \quad (16)$$

$$(CA + ROH) \leq z_2 \leq (CA + 0.5 WB) \quad (17)$$

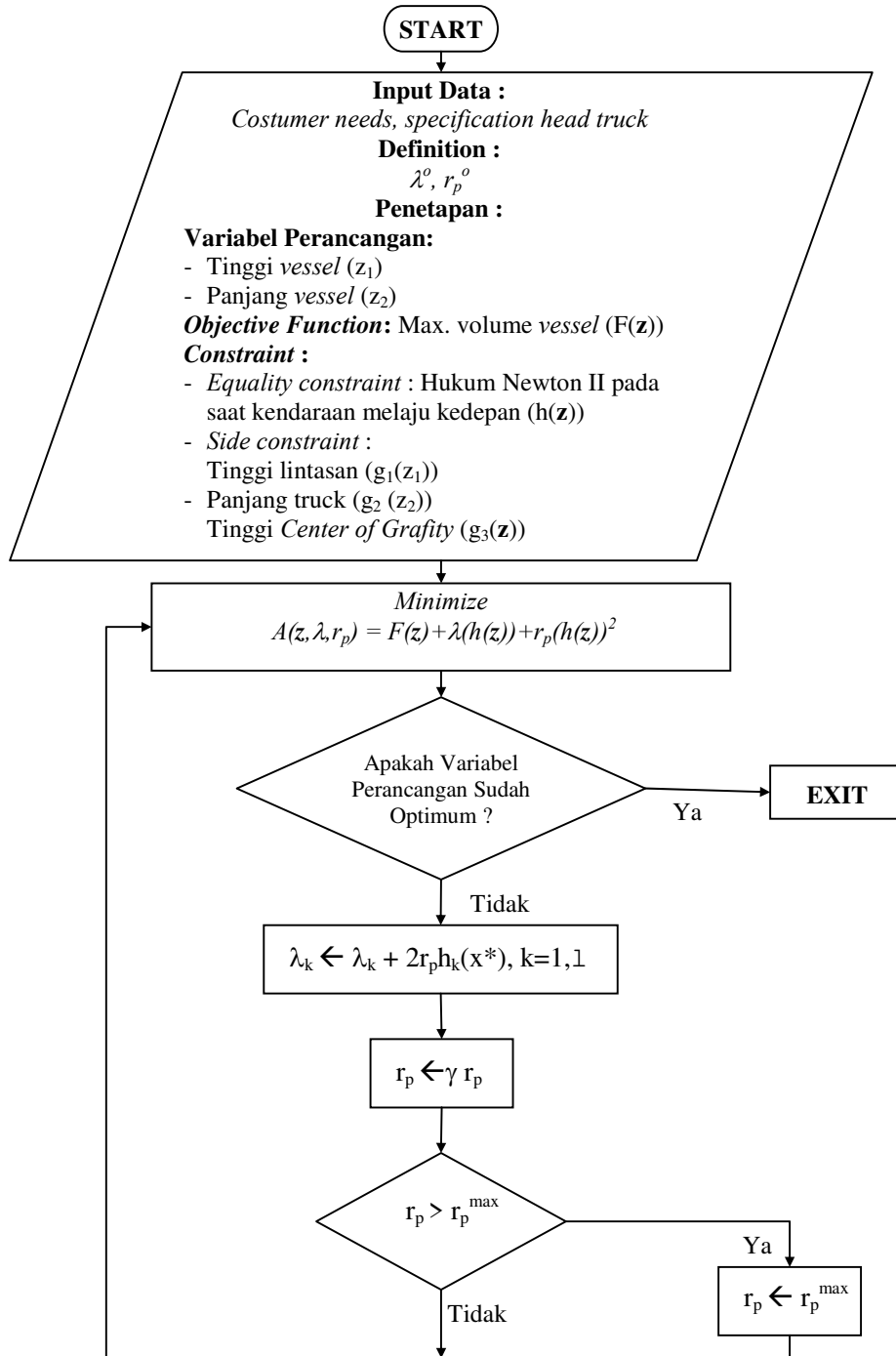
$$0 < h \leq \frac{(WB)(F_r) - b(W_{tot} \cos \Theta)}{W_{tot} \sin \Theta} \quad (18)$$

dengan

$$b = \frac{(b_1)(W_{head\ truck}) + (WB - CA + z_2)}{W_{tot}} \quad (19)$$

$$F_r = \frac{(b)(W_{tot} \cos \Theta)}{WB} \quad (20)$$

$$W_{tot}(z_1, z_2) = W_{head\ truck} + (OW) \times (z_1) \times (z_2) \times (\rho) - c^2 \times \text{tg } \theta \\ \times (z_2) \times (\rho) \quad (21)$$



Gambar 11. Diagram Alir Aplikasi ALM Method Pada Perancangan Vessel Truck

b. Functional Set # 2

Functional set # 2 digunakan untuk melakukan pengecekan apakah variabel perancangan yang dihasilkan oleh functional set # 1 sudah sesuai dengan Hukum Newton II pada saat pengereman. Performansi pengereman akan berlangsung dengan optimal apabila:

$$\frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g} (-\alpha_x(z_1, z_2)) > -F_{xf} - F_{xr} - D_A - W_{tot}(z_1, z_2) \sin \Theta \quad (22)$$

Sehingga functional set # 2

$$\frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g} (-\alpha_x(z_1, z_2)) + F_{xf} + F_{xr} + D_A + W_{tot}(z_1, z_2) \sin \Theta > 0 \quad (23)$$

Functional set # 2 terdiri dari 3 sub functional set yaitu:

1. Sub functional set 2.1: Power limited
2. Sub functional set 2.2: Aerodynamic force
3. Sub functional set 2.3: Braking force

Pada *functional set # 2, sub functional set 2.1 (power limited)* memiliki target nilai semimum mungkin. Sedangkan pada *sub-functional set 2.2 (aerodynamic force)* memiliki target nilai yang semaksimal mungkin. Hal ini berlawanan dengan *functional set # 1*. Oleh karena itu apabila *functional set # 1* dan *functional set # 2* berdiri sendiri-sendiri maka problem ini tidak dapat diselesaikan, sehingga ditetapkan *functional set # 1* sebagai *leader* dan *functional set # 2* sebagai *follower*.

Problem untuk *sub functional set 2.3* dinyatakan dengan:

Front wheel braking force (F_{xmf})

$$F_{xmf} = \mu_p (W_{fs} + \frac{h(z_1)}{L} \frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g}) (D_x) \quad (24)$$

Rear wheel braking force (F_{xmr})

$$F_{xmr} = \mu_p (W_{rs} + \frac{h(z_1)}{L} \frac{(W_{tot}(z_1, z_2))}{g}) (D_x) \quad (25)$$

dengan:

μ_p = peak coefficient of friction

g = gaya gravitasi (ft/sec²)

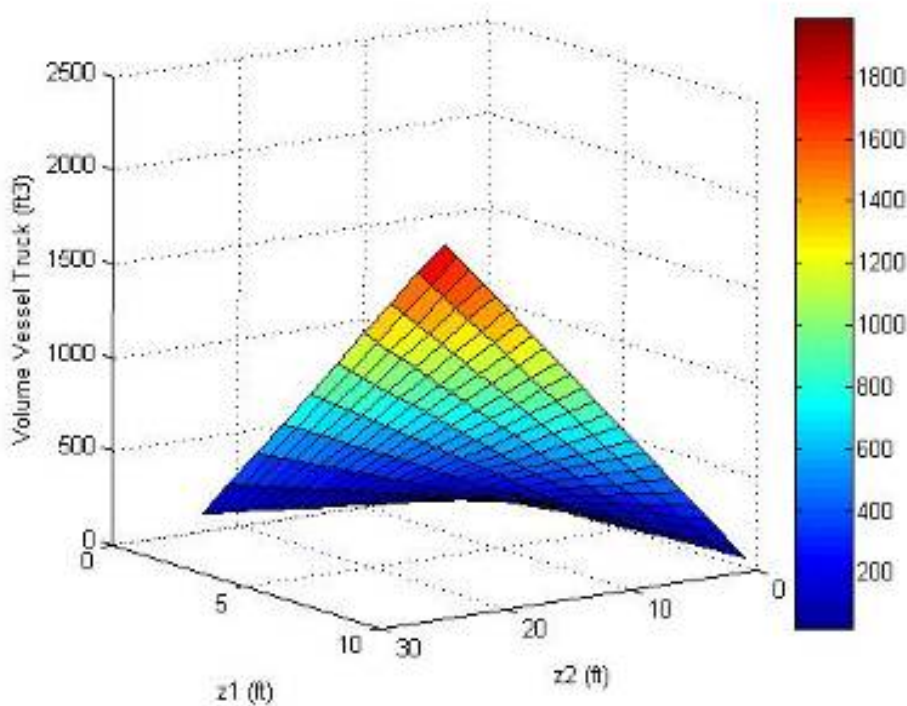
D_x = perlambatan kendaraan (ft/sec²)

$$h \leq \frac{(WB)(F_r) - b(W_{tot} \text{Cos}\Theta)}{W_{tot} \text{Sin}\Theta} \quad (26)$$

$$W_{tot}(z_1, z_2) = W_{head\ truck} + OW(z_1)(z_2)(\rho) - c^2 \text{tg } \theta (z_2)(\rho) \quad (27)$$

2. Penentuan variabel perancangan yang optimum. Variabel perancangan yang optimum ditentukan berdasarkan hasil proses optimasi pada tahap 3. Nilai variabel perancangan yang optimum untuk selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam poses perancangan. Secara rinci diagram alir aplikasi *ALM methods* pada perancangan *vessel truck* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan input data yang terkait dengan *customer needs* dan spesifikasi teknik *head truck* dan pendefinisian λ^0, r_p^0
2. Penentuan variabel perancangan, *objective function* dan *equality constraint*. Variabel perancangan meliputi tinggi *vessel truck* (z_1) dan panjang *vessel truck* (z_2), sedangkan *objective function* yaitu memaksimalkan volume *vessel truck*.
3. Penyelesaian dengan metode *ALM*. Penyusunan persamaan *ALM* didapatkan dari *objective function*, λ^0, r_p^0 , dan *equality constraint*. Persamaan yang didapatkan akan diminimumkan sebagai *unconstrained function*.
4. Penentuan nilai variabel perancangan (z_1 dan z_2) dengan menurunkan persamaan *ALM* terhadap *variable* z_1 dan z_2 . Selanjutnya harga z_1 dan z_2 dimasukkan ke dalam *equality constraints* untuk mengetahui pengecekan *equality constraints* apakah sudah memenuhi syarat atau belum.



Gambar 12. Hubungan Variabel Perancangan vs Volume *Vessel Truck*

5. Jika *equality constraint* belum memenuhi syarat maka akan diambil nilai λ dan r_p yang baru. Proses ini berulang terus sampai mendapatkan nilai optimum.

Diagram alir aplikasi *ALM* pada studi kasus perancangan *vessel truck* dilakukan dengan langkah-langkah seperti Gambar 11.

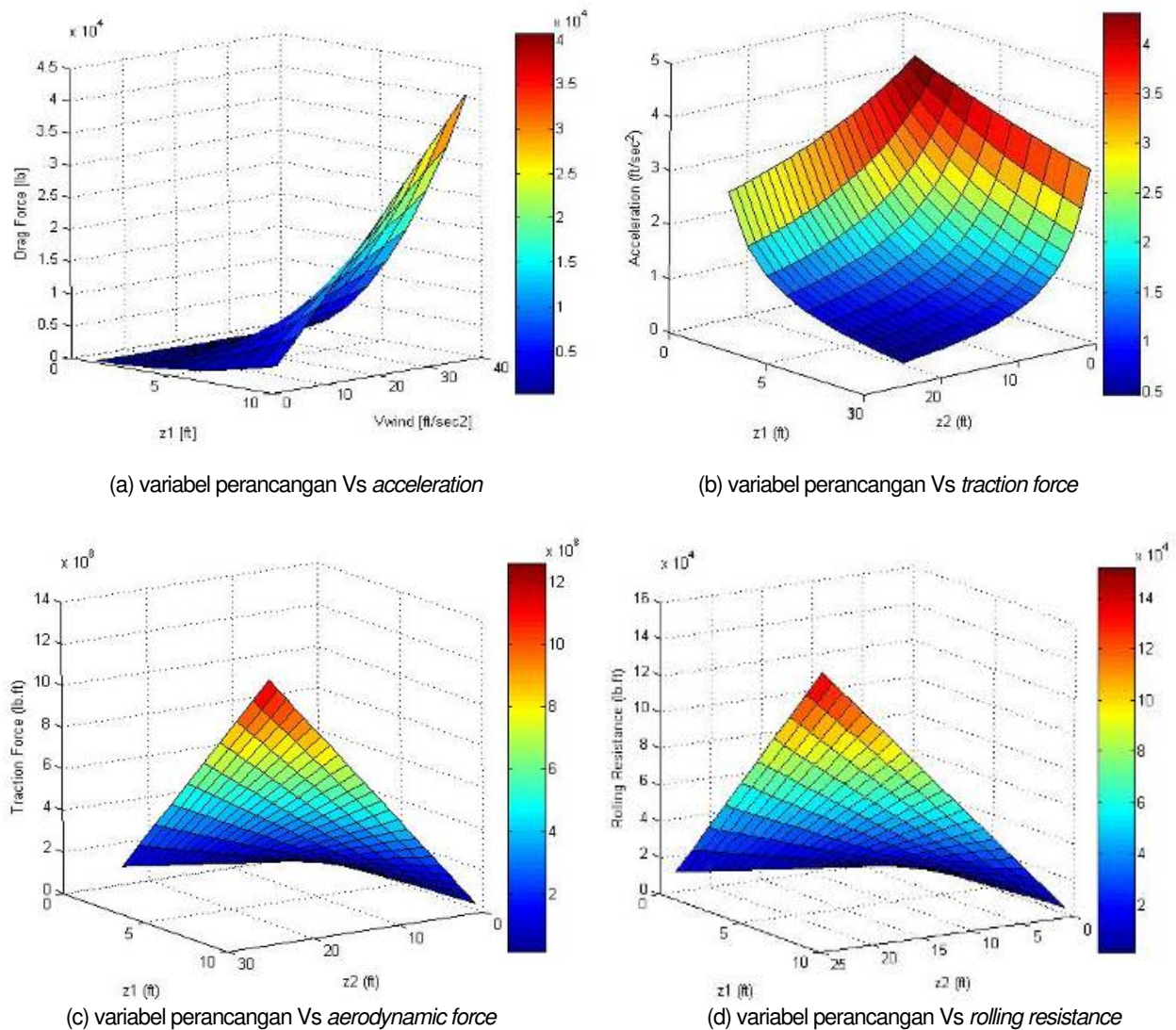
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, hubungan antar variabel perancangan terhadap *functional set* dan *sub functional set* sangat berkaitan erat. Hubungan variabel perancangan (z_1 dan z_2) dengan volume *vessel truck* dinyatakan pada Gambar 12. Pada Gambar 12 terlihat bahwa kenaikan harga *design variable* z_1 dan z_2 akan menaikkan harga *volume vessel truck*.

Hubungan antara variabel perancangan dan pada masing-masing sub *functional set* (*acceleration*, *traction force*, *aerodynamic force* dan *rolling resistance*) dijelaskan pada Gambar 13.

Pemrograman optimasi perancangan *vessel truck* dilakukan untuk mempermudah perhitungan optima's perancangan. Aplikasi *software* optimasi perancangan *vessel truck* memakai bahasa pemrograman *MATLAB 7*, yang diberi nama *OPTALM V.1*. *Software* ini terdiri dari beberapa sub menu yaitu input data, penentuan dimensi optimum, spesifikasi kendaraan, pengecekan pengereman dan pengecekan stabilitas kendaraan. Aplikasi *software* ini masih bisa dikembangkan untuk aplikasi berbagai fungsi truk seperti, *water/oil tank*, *box truck* dan beberapa bentuk penampang *vessel*.

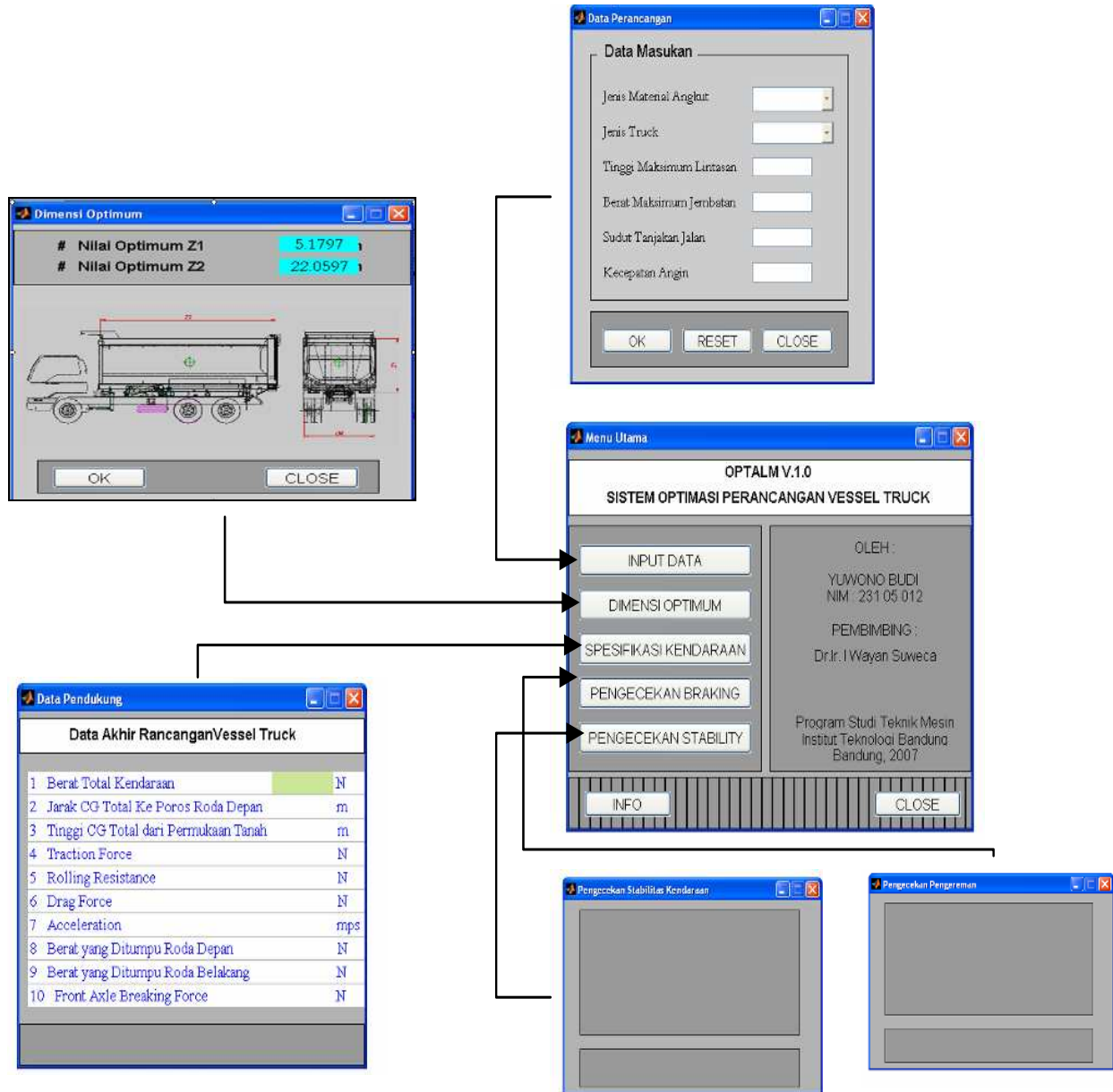
Struktur tampilan menu program ditunjukkan pada Gambar 14.



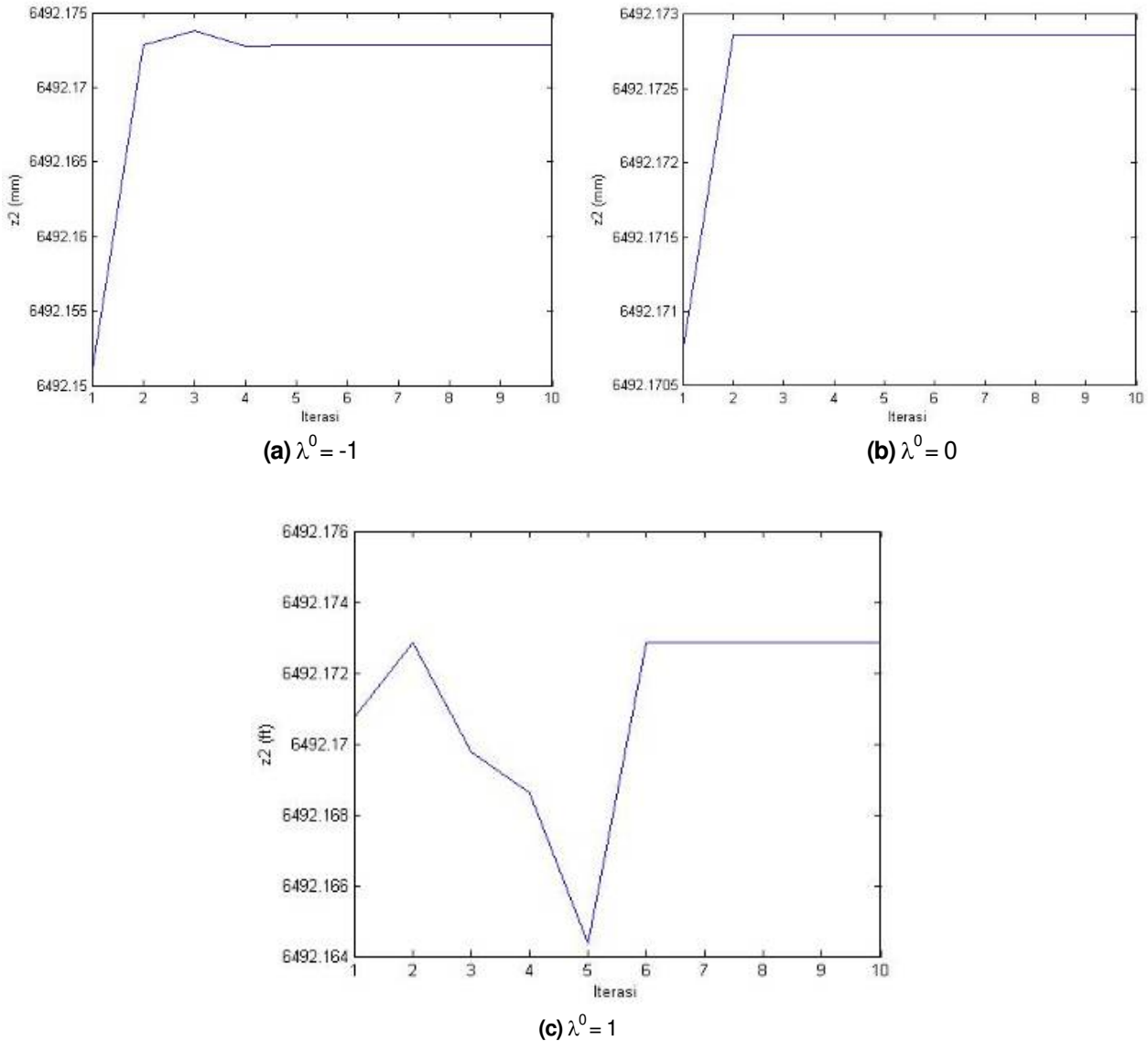
Gambar 13. Hubungan Antara Variabel Perancangan dan Sub *Functional Set*

Hasil analisis perancangan *vessel truck* pada study kasus *head truck Nissan Diesel 290 PS* dan berat jenis batubara 900 kg/m^3 memiliki nilai optimum untuk z_1 adalah 5,63 ft (1.716 mm) dan

nilai z_2 adalah 21,299 ft (6.492 mm). Nilai ini dibuktikan pada beberapa proses iterasi dengan λ^0 yang bervariasi (-1,0, dan 1).



Gambar 14. Struktur Tampilan Menu Program OPTALM V.1



Gambar 15. Iterasi vs Variabel z_2

KESIMPULAN

Pada permasalahan optimasi perancangan *vessel truck*, optimasi perancangan awal dapat dilakukan dengan metode *Multidisciplinary Design Optimization (MDO)*. Strategi optimasi perancangan *vessel truck* dilakukan dengan mengambil dimensi *vessel truck* sebagai variabel perancangan, volume *vessel truck* sebagai *objective function*, hukum *Newton II* pada saat kendaraan melaju ke depan sebagai *equality constraint*, dan menyelesaikan permasalahan optimasi dengan menggunakan bantuan *ALM Method*. Pada penelitian ini juga berhasil dibuat perangkat lunak optimasi *vessel truck* versi awal, perangkat lunak tersebut diberi nama *OPTALM V.1*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gillespie, T.D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992.
2. Vanderplaats, Garret N., *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design*, McGraw-Hill, Inc., 1984.
3. Pike, Ralph W., *Optimization for Engineering System*, Reinhold Company Inc. 1986.
4. The MathWorks, *Learning MATLAB 7*, The MathWorks Inc., 2004.
5. Hans Eschnauer, Juhani Koski, Andrzej Osyczka, *Multicriteria Design Optimization: procedures and application*, Springer-Verlag Berlin, 1990.

6. MM.Chatillon, L.Jezequel, *Hierarchical Optimization of The Design Parameters of a Vehicle Suspension System*, Vehicle System Dynamics Vol.00, No.00, 2005, pp.1-23.
7. Monu Kalsi, Kurt Hacker, and Kemper Lewis, *A Comprehensive Robust Design Approach for Decision Trade-Offs in Complex Systems Design*, University of Buffalo.
8. Kodiyalam, S. and Sobieszczanski-Sobieski, *Multidisciplinary Design Optimization – Some Formal Methods, Framework Requirements, and Application to Vehicle Design*, International Journal Vehicle Design 2001, pp. 3-22.