

Desain Struktur Nosel Untuk Roket 2 Tingkat RX 200

Oleh:
Sauman B*

Abstrak

Desain struktur nosel sebuah roket sangat penting untuk menjamin kehandalan sebuah roket sewaktu meluncur, nosel berfungsi sebagai pendorong roket sehingga harus handal dalam operasinya. Dalam pelaksanaan perancangan motor roket kendali kaliber 200 mm, dibutuhkan Thrust History atau profil gaya dorong yang cukup spesifik yaitu dua profil gaya dorong sebagai booster dan sustainer, oleh karena itu dalam perancangannya motor roket yang dibuat terdiri dari dua motor yang berbeda karena profil gaya dorong yang diharapkan juga berbeda. Dalam kesempatan ini dilakukan analisis struktur nosel untuk motor booster dengan profil gaya dorongnya netral dengan lama pembakaran kisaran 3 hingga 4 detik, sedangkan motor sustainer sebaiknya menggunakan konfigurasi cigarette burning (pembakaran ujung) dengan harapan mempunyai gaya dorong relatif kecil dan stabil sehingga mudah dalam pengontrolannya dengan waktu bakar yang relatif lama kisarannya 20 hingga 30 detik.

Desain model booster dan sustainer dimaksud diharapkan seluruh through konturnya menggunakan grafit semua. Dari ujung sampai ujung atau dari sisi masuk sampai keluar. Dari simulasi yang dilakukan bahwa nosel dengan counter through yang dirancang aman dalam operasinya. Bahwa temperatur pembakaran propelan pada grafit diabaikan.

Abstract

The design of a rocket nozzle structure is essential to ensure the reliability of a rocket during the glide, serves as a booster rocket nozzle so it must be reliable in operation. In the implementation of the design of rocket motor control 200 mm caliber, it takes Thrust History or thrust profile enough that the two profiles Specific thrust as a booster and sustainer, and therefore in its design that made the rocket motor consists of two motors are different because the thrust profile also expected to differ. On this occasion the nozzle structure analysis for booster motors to push her propfil neutral with old style firing range of 3 to 4 seconds, while the sustainer motors should use the configuration cigarette burning (burning end) in the hope of having a relatively small thrust and stable so easy in pengontrolannya with burn time is relatively long range of 20 to 30 seconds.

Design this model booster and sustainer hope are usually all with grafits . froms exsite to out comes.

Of a simulation that the nozzle white counter this through are designed safety in its operations. This temperatur burning time frome grafit neglected.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi masa depan mengharuskan suatu Negara menguasai teknologi militer secara mandiri, sehingga tidak tergantung dari Negara lain. Roket yang dipunyai oleh TNI, kondisinya secara umum, banyak yang sudah tidak sesuai kemampuan waktu dibeli, sebagian besar disebabkan oleh umur bahan propelannya yang kadaluarsa, serta tidak tersediaannya suku cadang karena adanya embargo dari penjual atau pembuat roket tersebut.

Tujuan mengembangkan roket kendali untuk pertahanan disesuaikan dengan kondisi geografis negara Indonesia yang luas dan terdiri dari pulau-pulau sehingga susah pengawasannya, sehingga menjadi rawan dari serangan musuh, serta untuk menjaga asset-asset Nasional dan lain-lain, sehingga menciptakan rasa aman bagi kepentingan nasional, yang secara langsung membuka peluang dan memberikan daya tarik bagi investor yang sangat dibutuhkan pada saat ini untuk meningkatkan pertumbuhan perekonomian dan lapangan kerja.

Peluru kendali jarak pendek yang banyak digunakan berbagai negara adalah peluru kendali darat ke udara, udara ke udara, udara ke darat, sedangkan untuk anti kapal biasanya diluncurkan dari pesawat, dari kapal selam atau dari kapal yang sering disebut roket *Surface-to-Surface*.

Rudal anti-kapal yang dipunyai TNI salah satunya Exocet buatan Prancis dan Rapiers buatan Inggris. Karena bentuk kedua roket tersebut hampir sama dan mempunyai tingkat yang sama, tetapi sistem

*Peneliti Pusat Teknologi Roket

exocet tanpa sparasi sedangkan Rapiet menggunakan sparasi sehingga tidak menggunakan blas tube, sedangkan tetapi dimensi kedua roket tersebut berbeda ukuran saja.

2. PERANCANGAN MOTOR DENGAN SPARASI

Motor roket merupakan bagian yang sangat penting dari sebuah roket, yaitu mendorong roket secara keseluruhan, adapun system yang sangat penting dari sebuah motor roket adalah system propulsi, kemudian struktur dan bahan bakarnya.

2.1 Sistem Propulsi

Perancangan sistem propulsi RKX 200 disesuaikan dengan dimensi tabung yang tersedia yaitu diameter dalam 182 mm, maka propulsi merupakan suatu ukuran kinerja motor roket, karena berkaitan dengan besarnya gaya dorong, tekanan ruang bakar, lama pembakaran dan impuls total yang dihasilkan dari motor roket. Dengan demikian segala variable yang berkaitan dengan hal tersebut diatas harus menjadi perhatian khusus, agar misi dari roket ini dapat tercapai, variable tersebut diantaranya ialah dimensi roket keseluruhan, property propelan, konfigurasi grain propelan dan kontur nosel.

2.2 Nosel

Dalam pelaksanaan perancangan motor roket kendali kaliber 200 mm, dibutuhkan Thrust History atau profil gaya dorong yang cukup spesifik yaitu dua profil gaya dorong sebagai booster dan sustainer, oleh karena itu dalam perancangannya motor roket yang dibuat terdiri dari dua motor yang berbeda karena profil gaya dorong yang diharapkan juga berbeda. Dalam kesempatan ini dilakukan analisis nosel untuk motor booster dengan propfil gaya dorongnya netral dengan lama pembakaran kisaran 3 hingga 4 detik, sedangkan motor sustainer sebaiknya menggunakan konfigurasi cigarette burning (pembakaran ujung) dengan harapan mempunyai gaya dorong relatif kecil dan stabil sehingga mudah dalam pengontrolannya dengan waktu bakar yang relatif lama kisarannya 20 hingga 30 detik.

3. REGANGAN DAN TEGANGAN NOSEL

3.1 Akibat Beban Tekanan

Untuk beban tekanan gas pembakaran, perhitungan tegangan statik yang terjadi pada struktur dapat dilakukan dengan membuat model elemen hingga Motor Roket, Jumlah keseluruhan elemen yang dihasilkan dari pemodelan elemen hingga ini adalah 640 nodal

Untuk melakukan analisis tegangan yang terjadi pada elemen-elemen tabung Motor Roket ini, akan ditinjau sebuah elemen segiempat. Pada elemen segiempat dari dinding tabung yang isotropis, untuk kondisi bidang tegangan (*plane stress*), hubungan tegangan-regangan dapat dinyatakan sebagai :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \dots\dots\dots 3.1$$

di mana :

- σ - tegangan elemen
- ε - regangan elemen
- E - modulus elastisitas material

Konsep dasar dari metode elemen hingga menyatakan bahwa untuk setiap besaran-besaran kontinyu seperti temperatur, tekanan dan perpindahan, dapat didekati oleh sebuah model diskrit dari kumpulan fungsi kontinyu yang didefinisikan pada batas dari sejumlah sub domain. Fungsi kontinyu yang terpotong kecil-kecil ini akan didefinisikan dengan menggunakan harga dan besaran kontinyu pada titik-titik didalam domain tersebut, dan harga besaran ini tidak diketahui, tetapi dapat dicari sehingga untuk selanjutnya pada setiap titik tertentu didalam daerah domain akan dapat ditentukan harga numeriknya.

Matrik kekakuan

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.2$$

Asumsi awal untuk perpindahan adalah sebagai berikut, $w = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot r$

Vektor regangan awal dan tegangan bidang [D]

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_r \\ \epsilon_H \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{dw}{dr} \\ \frac{w}{r} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1/r & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots 3.3$$

dimana

$$\{\alpha\} = [C^{-1}] \cdot \{U_i\}$$

atau

$$\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_1 \\ 1 & R_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{Bmatrix}$$

Tegangannya adalah,

$$\begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_H \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu \\ \nu & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_r \\ \epsilon_H \end{Bmatrix} \dots\dots\dots 3.4$$

dimana : ϵ_r = regangan radial

ϵ_H = Regangan tangensial

σ_r = Tegangan radial

σ_H = Tegangan tangensial

fungsi perpindahan $u = (1 - \zeta) \cdot u_1 + \zeta \cdot u_2$

$$w = (1 - 3\zeta^2 + 2\zeta^3) \cdot w_1 + \theta_1 \cdot l(\zeta + 2\zeta^2 + \zeta^3) + (3\zeta^2 - 2\zeta^3)w + \theta_2 \cdot l(-\zeta^2 + \zeta^3)$$

dimana $\zeta = x/l$

vector tegangan dan momen adalah,

$$\begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_H \\ M_x \\ M_H \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 & 0 \\ \nu & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & t^2/12 & \nu t^2/12 \\ 0 & 1 & \nu t^2/12 & t^2/12 \end{bmatrix} \cdot \{\epsilon\}$$

3.2 Akibat Beban Temperatur

Semua material teknik akan bereaksi terhadap perubahan temperatur. Jika perubahan perubahan temperatur pada sebuah benda yang homogen seragam diseluruh bagian, maka

pertambahan dimensionalnya akan seragam kesemua arah. Pertambahan panjang dari panjang mula-mula, yang mengalami kenaikan temperatur, dapat dinyatakan dengan :

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \dots\dots\dots 3.6$$

dimana α koefisien of thermal Expantion (koefisien muai)
 L_0 = panjang mula-mula

Dengan demikian tegangan dan regangan termal yang terjadi, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_t = \frac{\Delta L}{L} \cdot E \dots\dots\dots 3.7$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T}{L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)} \dots\dots\dots 3.8$$

dimana : ΔL = Pertambahan panjang
 E = Modulus Elasisitas bahan

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan pemuaian benda bebas yang tidak ditumpu. tegangan termal terjadi akibat pemuaian yang tidak dapat berlangsung dengan bebas pada benda kontinyu. Pemuai yang terhambat dapat terjadi akibat suatu benda yang mempunyai tumpuan (restraint) atau karena mengalami pemanasan yang tidak merata.

Pada kenyataannya pemuaian benda terjadi secara tiga dimensi. Perubahan dari regangan ketegangan memerlukan besaran-besaran konstanta elastisitas E dan perbandingan *poisson* ν dari material. Untuk hal khusus kondisi tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan *strain gage* .

Hubungan tegangan dan regangan menurut hokum Hooke akibat temperatur pada persamaan persamaan 6) dapat digunakan untuk mendapatkan persamaan tegangan regangan termal, jika tegangan dalam arah x diterapkan pada keadaan tiga dimensi, menurut hokum Hooke, persamaannya menjadi,

$$\epsilon = \frac{\sigma_x}{E} \dots\dots\dots 3.9$$

Perpanjangan elemen dalam arah x disertai dengan pemendekan lateral yang dinyatakan oleh persamaan,

$$\epsilon_y = -\nu \cdot \frac{\sigma_x}{E} \text{ dan } \epsilon_z = -\nu \cdot \frac{\sigma_x}{E}$$

dimana ν menyatakan angka Poisson ratio, selanjutnya untuk tegangan normal pada temperatur T dan superposisi tegangan menghasilkan :

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{(\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z))}{E} + \alpha \cdot T \\ \epsilon_y &= \frac{(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z))}{E} + \alpha \cdot T \dots\dots\dots 3.10 \\ \epsilon_z &= \frac{(\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y))}{E} + \alpha \cdot T \end{aligned}$$

Vektor regangan awal dan tegangan bidang [D]

$$\varepsilon_o = \alpha \cdot \Delta T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.11$$

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.12$$

Untuk kasus tegangan bidang

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu/(1-\nu) & 1 \\ \nu/(1-\nu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2(1-\nu) \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.13$$

dan

$$[\varepsilon_o] = (1+\nu)\alpha \cdot \Delta T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.14$$

Untuk elemen segi empat, distribusi gaya karena temperatur yang terjadi pada nodal dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[B]^T [D] [\varepsilon_o] t \cdot A = \frac{\alpha \cdot E \cdot t (\Delta T)}{2(1-\nu)} \begin{bmatrix} b_i \\ c_i \\ b_j \\ c_j \\ b_k \\ c_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.15$$

dimana : t = tebal shell/tabung
A = luas elemen segi empat

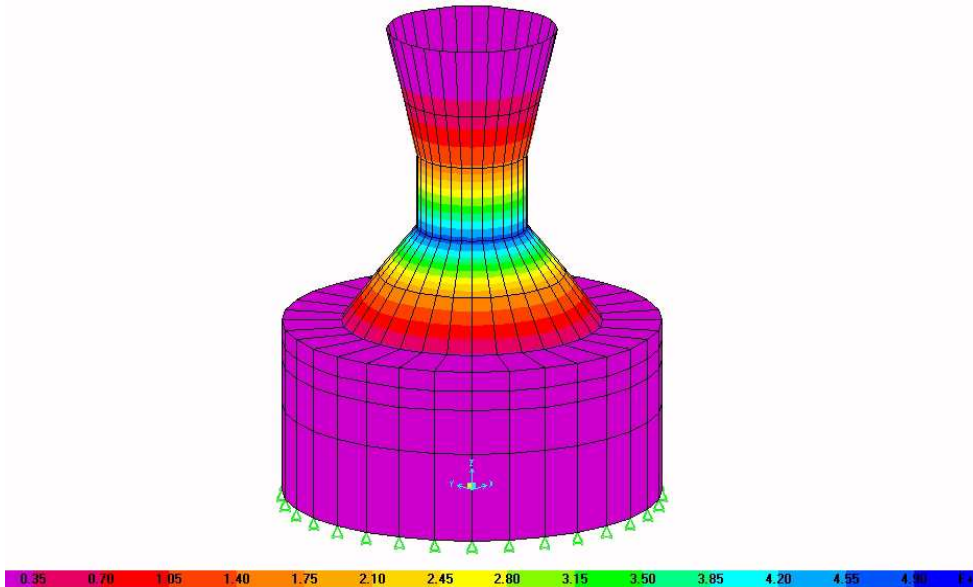
sehingga transpose matriks perpindahan nodal elemen segi empat [B] adalah,

$$[B] = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.16$$

4. ANALISA DAN SIMULASI KOMPUTER

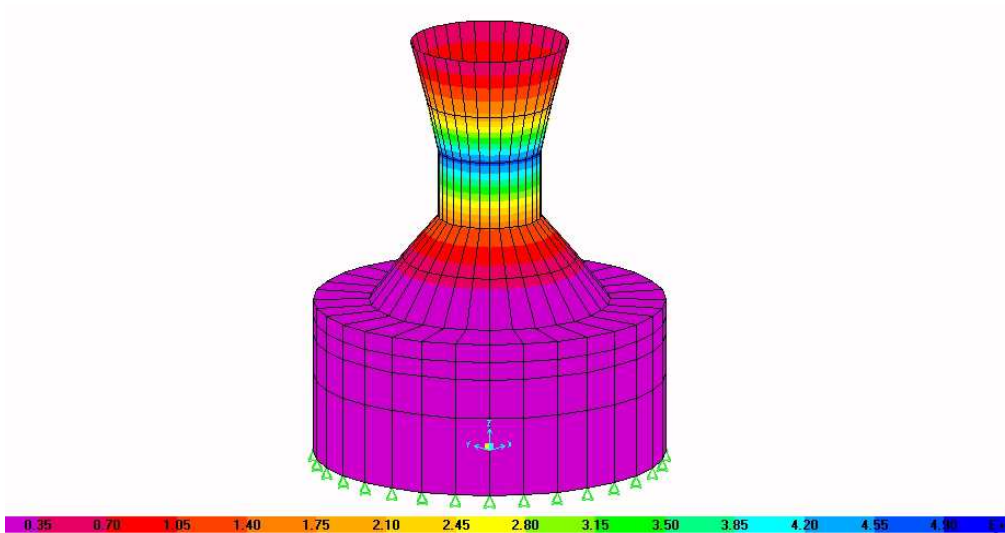
4.1 Simulasi Struktur

Bentuk nosel disimulasikan menggunakan perangkat lunak struktur yang berbasis elemen hingga didapat hasilnya seperti gambar dibawah ini



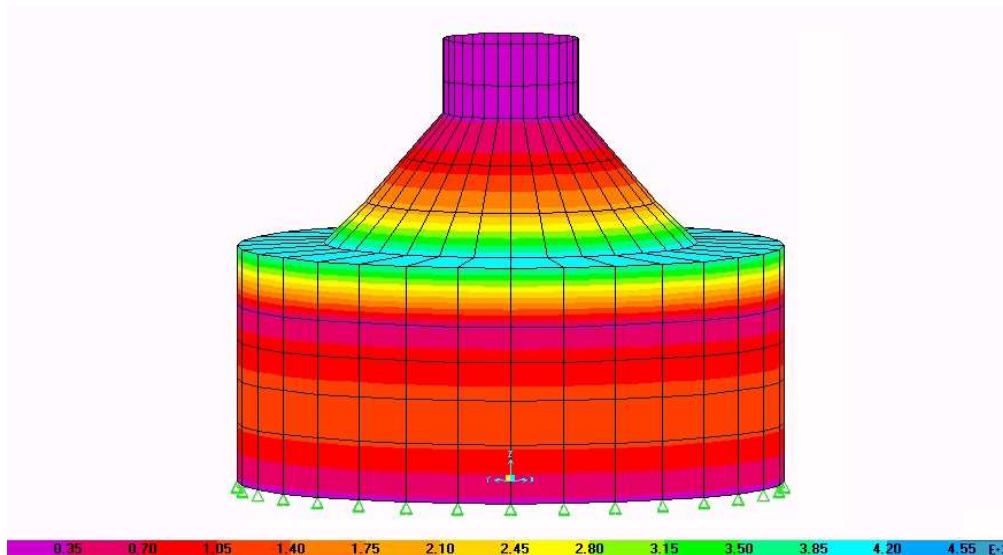
Gambar 4.1 Tegangan Nosel Booster Akibat Beban Tekanan 2100 kg/cm²

$$SF = \frac{5800}{2100} = 2.7$$



Gambar 4.2 Tegangan Nosel Booster Akibat Beban Temperatur 4900 kg/cm²

$$SF = \frac{5800}{4900} = 1.19$$



Gambar 5-1 Tegangan Nosel Sustainer Akibat Beban Tekanan 4550 kg/cm^2

$$SF = \frac{5800}{4550} = 1.28$$

4.2 Analisis Hasil Perhitungan

- Dengan software komputer akibat pengaruh tekanan didapat Tegangan Nosel Booster Akibat Beban Tekanan 2100 kg/cm^2 $SF=2.7$
- Dengan software komputer akibat pengaruh temperatur didapat Tegangan Nosel Booster Akibat Beban Temperatur 4900 kg/cm^2 $SF=1.19$
- Untuk Sustainer karena grafit penuh dai pangkal keujung maka perhitungan hanya pengaruh tekanan saja, 1 Tegangan Nosel Sustainer Akibat Beban Tekanan 4550 kg/cm^2 $SF=1.28$

5. KESIMPULAN

Uraian diatas telah memberikan gambaran cukup jelas dalam perancangan sistem propulsi dan struktur roket RKX 200, yaitu roket kendali dengan ukuran diameter motor 200mm, dengan panjang roket booster 350 mm dan panjang propelan roket sustainer 200 mm, meliputi:

- a. Perancangan Sistem propulsi roket RKX 200, terdiri dari dua tingkat, yaitu booster dan sustainer yang masing mempunyai fungsi berbeda, motor booster sebagai penghantar wahana pada jangkauan tertentu dengan kecepatan tertentu, sedangkan motor sustainer sebagai motor penjelajah yang dapat dikendalikan karena karakteristik kecepatan motor yang diharapkan tidak terlalu besar.
- b. Gaya dorong yang diberikan oleh roket booster dengan menggunakan konfigurasi grain propelan bintang 8 didapat 1502 kg dengan tekanan ruang bakar 51 kg/cm^2 selama 3,7 detik sedangkan motor sustainer dengan konfigurasi End burning berkontribusi gaya dorong rerata 66 kg, dengan tekanan ruang bakar 43 kg/cm^2 selama 24,6 detik.
- c. Material struktur Nosel roket juga cukup aman terhadap beban-beban yang bekerja, baik pengaruh tekanan maupun pengaruh temperature di, nosel
- d. Roket RKX 200, merupakan roket staging terdiri dari dua motor berbahan bakar padat, dimana rancangan selama terbangnya roket mengalami pemisahan (separasi) sehingga

sustainer tidak perlu menggunakan perpanjangan ruang bakar (blasttube). Kedua tingkat roket menggunakan nosel tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Y. C. PAO, *A First Course in Finite Element Analysis*. Allyn and Bacon, inc Boston USA. 1986.
- Kursus Singkat, *Engineering Numerical Method*, ITB Bandung, 1994.
- Cook D.R, *Concepts And Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley Inc, 1982.
- User Manual SAP. *Structure Analysis Program*” Computer and Structure Inc, 2000.
- L.H Abraham, *Structural Design of Missiles and SpaceCraft*, McGraw-Hill, New York, 1962.
- J.P Holman, *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book, Inc, New York, 1981.
- Boley And Weiner, *Theory of Thermal Stresses*, John wiley and Son, Singapore, 1982.
- Alan A, *Computer-Aided Heat Transfer Analisis*, McGraw-Hill, Tokyo, 1984.
- Morgan, *Numerical Methods in Heat Transfer*, John Willey, 1981.
- William.W &.J. Gere. *Matrix Analysis of Frame Structure*, Van Nosrand Co, 1988.
- C.T.F Ross, *Finite Element Program in Engineering*, John Wiley & Son, 1984.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Sauman
Tempat & Tgl. Lahir : Klaten, 19 September 1957
Jenis Kelamin : Pria
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 300000257
Pangkat / Gol. Ruang : Pembina - IV/a
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti
Agama : Islam
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : STM Mesin Tahun: 1970
AKADEMI : ATN Klaten Tahun: 1974
STRATA 1 (S.1) : STMI Dep. Perindustrian Tahun: 1984
STRATA 2 (S.2) : ITB, Teknik Manajemen Ind. Tahun: 1989

ALAMAT

Alamat Rumah : Cipinang Besar RT 011/06 No. 26, Jakarta
Telp. : 8511185. HP. : 0858 1461 1909
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN, No. 2, Mekarsari, Rumpin, Bogor
Jawa Barat