

Warta



LAPAN

LEMBARAN TAMBAHAN MAJALAH LAPAN

VOL 1 NO. 4 BULAN OKTOBER - DESEMBER 1999 ISSN 0126-9754

DAFTAR ISI

- MENINGKATKAN KINERJA ROKET DENGAN MEMPERKECIL SLIVER GRAIN PADA GRAIN BENTUK BINTANG
Marhaindro Waluyo, Susetyo Mulyodrono 1
- ✓ ● TELAAH TEC IONOSFER DI LINTANG RENDAH
Effendy, Sarmoko Saroso, dan S.L. Manurung 14
- APLIKASI STATISTIK UNTUK PENGUJIAN PENILAIAN P2JP TERHADAP HASIL LITBANG DAN KEGIATAN ILMIAH PENELITI LAPAN BERDASARKAN TINGKAT PENDIDIKAN
Tri Warningsih 20
- STUDI KELAYAKAN INDUSTRI NATRIUM KHLORAT, NATRIUM PERKHLORAT DAN AMONIUM PERKHLORAT DI INDONESIA DITINJAU DARI SEGI EKONOMI
Dwi Wahyuni 26
- ANALISIS DATA LANDSAT - TM UNTUK PEMANTAUAN PERKEMBANGAN LUAS PERMUKIMAN KABUPATEN SIDOARJO TAHUN 1995 - 1997 DENGAN SIG GABUNGAN NOT-AND
Yon Rijono, Susanto, Hidayat 43

DITENBITKAN OLEH :

LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL

Jl. Pemuda, Perseil No. 1, Jakarta 13220, INDONESIA

Meningkatkan Kinerja Roket Dengan Memperkecil Sliver Grain Pada Grain Bentuk Bintang

Marhaindro Waluyo*), Susetyo Mulyodrono**)

ABSTRACT

Sliver grain in a solid rocket motor propulsion is one of various aspects that has to be eliminated or minimized to find better performance of the motor. By studying grain configuration change at any time in RX-250 rocket motor enabling us to design a grain for the said motor with small sliver grain. With comparison method done on various grain configurations we are able to find grain configuration with small sliver which then to be chosen and applied it on rocket motor.

RINGKASAN

Sliver grain dalam propulsi motor roket padat adalah salah satu aspek yang harus diperkecil untuk mendapatkan penampilan motor roket yang lebih baik. Dengan mempelajari perubahan konfigurasi grain setiap saat di dalam motor roket RX-250 memungkinkan merancang grain motor dengan sliver grain yang kecil. Dengan metode perbandingan yang dilakukan pada beberapa konfigurasi grain, dapat diperoleh konfigurasi grain dengan sliver grain kecil yang dipilih dan digunakan pada motor roket.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan banyaknya masalah yang ada dalam perancangan suatu sistem propulsi motor roket, mengakibatkan sangat tidak sederhana dalam penyelesaian rancangan yang baik. Untuk itu diperlukan pembahasan dalam berbagai sisi permasalahan secara sistematis dan bertahap, sehingga diharapkan nantinya dapat dipadukan menjadi suatu sistem perancangan sistem propulsi motor roket yang lengkap.

1.2 Tinjauan Masalah

Salah satu sisi permasalahan adalah *sliver grain* dalam propulsi motor roket padat merupakan salah satu aspek yang

harus diperkecil untuk mendapatkan penampilan motor roket yang lebih baik. Bagian ini sering merugikan karena gaya dorong yang dihasilkan tidak efektif dan cenderung menurun. Dalam pemakaiannya sisa tenaga cenderung tidak mampu untuk mendorong roket lebih tinggi (Barrere, 1960).

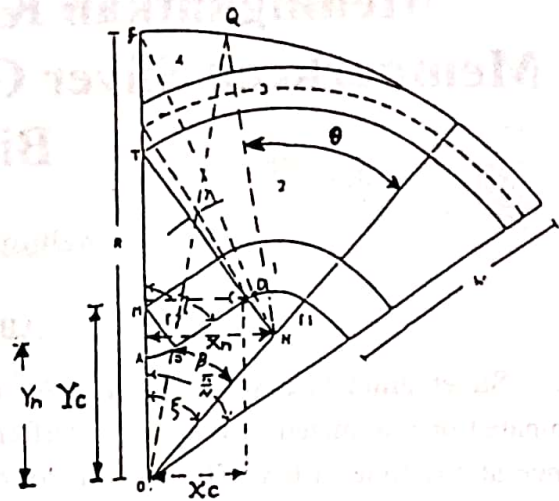
1.3 Batasan Masalah

Sliver grain merupakan bagian grain secara keseluruhan. Dengan mempelajari perubahan konfigurasi grain motor roket RX 250 dapat diketahui besarnya sliver grain. Penggunaan propelan dibatasi pada jenis polibutadiena yang data teknisnya ada di LAPAN. Hasil ini diharapkan dapat dijadikan pegangan untuk pengembangan sistem propulsi motor roket yang mempunyai diameter lebih besar lagi.

*) Peneliti Bidang Motor Roket, Pusat Propulsi dan Energetik, LAPAN
**) Kepala Pusat Propulsi dan Energetik, LAPAN

1.4 Metode Penyelesaian

Dengan bantuan gambar penampang melintang konfigurasi grain dapat dianalisis perubahan grain setiap zone sampai zone terakhir atau zone sliver grain. Dalam pembahasan ini dirancang empat buah konfigurasi grain yang masing-masing menghasilkan besarnya sliver grain. Dari masing-masing nilai sliver grain tersebut, kemudian dibandingkan, termasuk parameter sistem propulsi yang lain, nilai gaya dorong, nilai tekanan ruang bakar dan sebagainya. Kemudian dipilih salah satu sliver grain suatu konfigurasi grain yang nilainya paling kecil.



Gambar 2-1 : GRAIN BINTANG

Parameter-parameter pelengkap yang akan digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 ON &= R - W + r_1 \\
 TC &= ON \sin \xi / \cos \eta - r_1 \\
 OT &= Y_t = ON (\cos \xi + \sin \xi \tan \eta) \\
 X_c &= TC \cos \eta \\
 Y_c &= Y_t - TC \sin \eta \\
 FN &= [(ON \sin \eta)^2 + (R - ON \cos \xi)^2]^{1/2} \\
 FD &= FN - r_1 \\
 FA &= R - r_2
 \end{aligned}$$

Pembagian zone untuk perhitungan *perimeter burning* adalah sebagai berikut :

a) - zone 1, jika $0 = W_c < r_2$

$$\begin{aligned}
 P_b &= (R - W + W_c) (\pi/N - \xi) + (r_1 + W_c) \\
 &(\pi/2 - \eta + \xi) + (TC - r_2) / \tan \eta + (r_2 - W_c) \\
 &(\pi/2 - \eta) \dots \dots \dots (2-1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= (1/2(R - W + W_c)^2) (\pi/N - \xi) + (1/2(r_1 + \\
 &W_c)^2) (\pi/2 - \eta + \xi) + (ON Y_t)/2 \sin \xi - (TC \\
 &- W_c)^2 / 2 \tan \eta + (r_2 - W_c)^2 / 2 \tan \eta - 1/2(r_2 \\
 &- W_c)^2 (\pi/2 - \eta) \dots \dots \dots (2-2)
 \end{aligned}$$

b) - zone 2, jika $r_2 = W_c < TC$

$$\begin{aligned}
 P_b &= (R - W + W_c) (\pi/N - \xi) + (r_1 + W_c) (\pi/2 - \\
 &\eta + \xi) + (TC - W_c) / \tan \eta \dots \dots \dots (2-3)
 \end{aligned}$$

2. DASAR TEORI

Konfigurasi grain yang sliver grainnya kecil pada motor rocket dapat dibentuk dan direncanakan. Untuk itu sangat diperlukan pengetahuan dalam mempelajari perubahan bentuk grain yang terjadi pada saat pembakaran. Perubahan itu akan menyebabkan bekerjanya sistem propulsi motor roket sebagai suatu sistem yang terpadu.

2.1 Perubahan Pada Grain

Grain yang merupakan komponen motor roket merupakan bahan bakar padat. Perubahan luas permukaan bakar pada grain akibat proses pembakaran dapat ditinjau melalui perubahan *burning perimeter*nya. Untuk grain yang berbentuk bintang (*convex*), berdasarkan *Andrea Ricciardi (1992)* perubahan luasannya terbagi dalam beberapa zone. Potongan lintang grain tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-1 dimana $r_2 < TC$ dan $TC < W$

$$A_p = 1/2 (R - W + W_c)^2 (\pi/N - \xi) + 1/2 (r_1 + W_c)^2 (\pi/2 - \eta + \xi) + 1/2 (ON Y_t) \sin \xi - 1/2 (TC - W_c)^2 / \tan \eta \dots (2-4)$$

c) - zone 3, jika $TC = W_c < W$

$$P_b = (R - W + W_c) (\pi/N + (r_1 + W_c) (\pi/2 - \eta + \xi - \gamma)) \dots (2-5)$$

$$A_p = 1/2 (R - W + W_c)^2 (\pi/N - \xi) + 1/2 (r_1 + W_c)^2 (\pi/2 - \eta + \xi - \gamma) + 1/2 ON (r_1 + W_c) \sin (\pi/2 + \eta - \xi + \gamma) \dots (2-6)$$

dengan $\gamma = \arccos ((TC + r_1) / (r_1 + W_c) \cos \eta) - \eta$

d) - zone 4, jika $W = W_c < FD$

$$P_b = (r_1 + W_c) (\pi/2 - \eta + \xi - \gamma - \theta) \dots (2-7)$$

$$A_p = 1/2 R^2 (\pi/N - \xi + \beta) - (1/2) R ON \sin \beta + (1/2) (r_1 + W_c)^2 (\pi/2 - \eta + \xi - \gamma - \theta) + (1/2) (r_1 + W_c) ON \sin (\pi/2 + \eta - \xi + \gamma) \dots (2-8)$$

nilai γ sama dengan pada zone 3 dan nilai θ adalah :

$$\theta = \arcsin [(R / (r_1 + W_c)) \sin (\xi - \arccos (Y_a/R))]$$

dan $\beta = \xi - \arccos Y_a/R$

Y_a

$$= \left[A \left(\frac{Y_n}{X_n} \right) + \sqrt{A^2 \left(\frac{Y_n}{X_n} \right)^2 - \left(1 + \left(\frac{Y_n}{X_n} \right)^2 \right) (A^2 - R^2)} \right] \left(1 + \left(\frac{Y_n}{X_n} \right)^2 \right)^{-1}$$

$$A = (R^2 + X_n^2 + Y_n^2 - (r_1 + W_c)^2) / (2 X_n)$$

2.2 Motor Roket

Motor roket merupakan suatu sistem terpadu yang menghasilkan gaya dorong dan terdiri dari beberapa bagian dari igniter, nosel, tabung sampai grain. Pada saat igniter membakar propelan dan mengawali proses pembakaran di dalam tabung motor roket, saat itu pula akan timbul suatu tekanan ruang bakar. Tekanan ruang bakar yang dihasilkan diasumsikan terdistribusi secara

merata ke seluruh bagian dalam tabung dan secara matematis dapat dituliskan dalam hubungan persamaan berikut : (Shorr, 1967)

$$P_c = \frac{\rho \quad A_b \quad r \sqrt{Rg} \quad T_c}{\Gamma \quad A_t} \dots (2-9)$$

A_b adalah luas pembakaran yang merupakan perkalian antara burning perimeter P_b dengan panjang propelan l dan dapat ditulis sebagai $A_b = P_b \times l$, dan bilangan Vanderkerchove Γ dapat ditulis sebagai : (Shorr, 1967)

$$\Gamma = \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(r+1)/2(r-1)} \dots (2-10)$$

Gaya dorong yang dihasilkan dari timbulnya tekanan ruang bakar (Marty, 1986) tersebut adalah :

$$F = 0.9 C_f P_c A_t \dots (2-11)$$

Persamaan 2-11 sudah termasuk pengaruh kerugian gaya dorong akibat adanya pembakaran propelan yang tidak sempurna dan pengaruh kontur nosel. C_f adalah koefisien gaya dorong yang dapat ditulis dalam hubungan persamaan (Barrere, 1960) sebagai berikut :

$$C_f = \Gamma \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right) + \left(\frac{P_e - P_t}{P} \right) \frac{A_e}{A}} \dots (2-12)$$

Perancangan ini dikondisikan dalam keadaan optimal yaitu $P_e = P_a$ (Barrere, 1960), sehingga persamaan 2-12 dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_f = \Gamma \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right)} \dots (2-13)$$

Beberapa konstanta pelengkap yang diperlukan dalam perencanaan motor roket antara lain :

$$K = A_b / A_t \dots\dots\dots (2-14)$$

Harga K umumnya, $K = 100$ s.d. 2000 (Sutton, 1976)

Besar kecilnya sliver grain dapat dilihat dari besar luasan zone 4, dan dengan menganggap bahwa zone 4 merupakan zone yang merugikan (Barrere, 1960), maka efisiensi zone dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut,

Efisiensi zone =

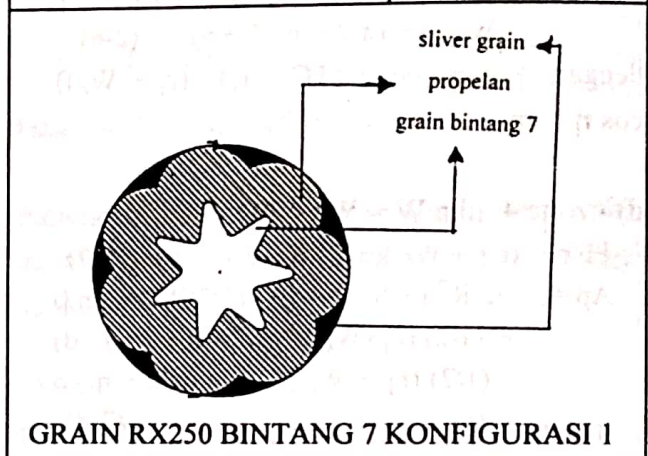
$$\frac{(zone1 + zone2 + zone3 + zone4) - (zone4)}{(zone1 + zone2 + zone3 + zone4)} \times 100\% \dots (2-15)$$

3. DATA PARAMETER SLIVER GRAIN RX250

Menggunakan teori perubahan grain yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan sifat-sifat motor roket yang ada, dapat diterapkan perancangan grain sistem propulsi motor roket RX250 yang "sliver grain"-nya kecil serta dengan metode perbandingan beberapa konfigurasi rancangan grain dalam beberapa parameter. Perancangan dan perhitungan dilakukan dengan simulasi sistem propulsi tiap-tiap zone. Propelan yang digunakan dari jenis polibutadiena yang terbukti mempunyai spesifik impuls lebih baik dari yang lain (LAPAN, 1998). Sebelum dilakukan perhitungan, berikut disajikan beberapa data pelengkap mengenai konfigurasi grain yang direncanakan beserta karakteristik propelannya.

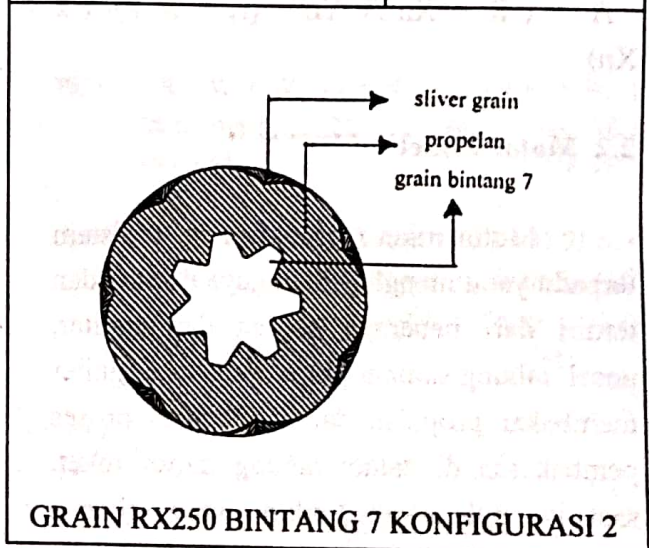
Tabel 3-1 : DATA PARAMETER GRAIN RX 250 KONFIGURASI 1

| | |
|---|------|
| Web thickness, w, (cm) | 5.2 |
| Jari-jari luar grain, r, (cm) | 11.7 |
| Jari-jari fillet, r ₁ , (cm) | 0.45 |
| Jari-jari cusp, r ₂ , (cm) | 0.48 |
| Sudut bintang, ξ | 25.7 |
| Star point semiangle, η | 42 |
| Jumlah bintang, n | 7 |



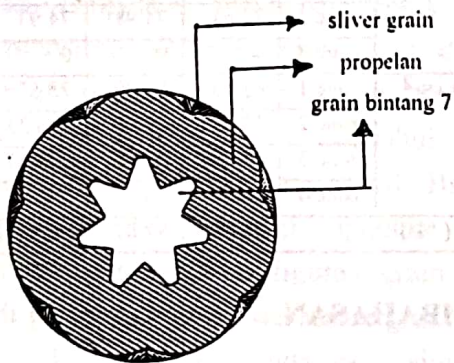
Tabel 3-2 : DATA PARAMETER GRAIN RX 250 KONFIGURASI 2

| | |
|---|-----|
| Web thickness, w, (cm) | 6 |
| Jari-jari luar grain, r, (cm) | 12 |
| Jari-jari fillet, r ₁ , (cm) | 0.3 |
| Jari-jari cusp, r ₂ , (cm) | 0.3 |
| Sudut bintang, ξ | 20 |
| Star point semiangle, η | 44 |
| Jumlah bintang, n | 7 |



Tabel 3-3 : DATA PARAMETER GRAIN RX 250 KONFIGURASI 3

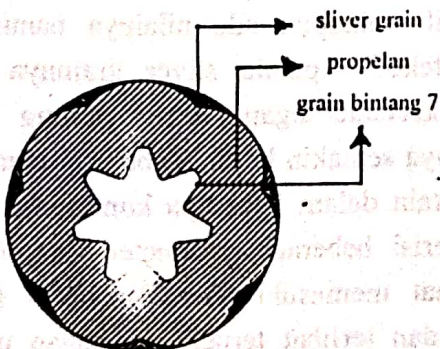
| | |
|---|-----|
| Web thickness, w, (cm) | 6 |
| Jari-jari luar grain, r, (cm) | 12 |
| Jari-jari fillet, r ₁ , (cm) | 0.3 |
| Jari-jari cusp, r ₂ , (cm) | 0.4 |
| Sudut bintang, ξ | 23 |
| Star point semiangle, η | 45 |
| Jumlah bintang, n | 7 |



GRAIN RX250 BINTANG 7 KONFIGURASI 3

Tabel 3-4 : DATA PARAMETER GRAIN RX-250 KONFIGURASI 4

| | |
|---|-----|
| Web thickness, w, (cm) | 6 |
| Jari-jari luar grain, r, (cm) | 12 |
| Jari-jari fillet, r ₁ , (cm) | 0.4 |
| Jari-jari cusp, r ₂ , (cm) | 0.4 |
| Sudut bintang, ξ | 23 |
| Star point semiangle, η | 44 |
| Jumlah bintang, n | 7 |



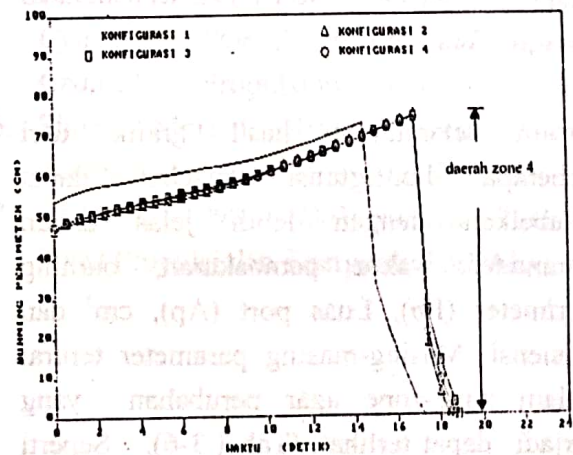
GRAIN RX250 BINTANG 7 KONFIGURASI 4

Tabel 3-5 : DATA PROPELAN POLYBUTADIENA

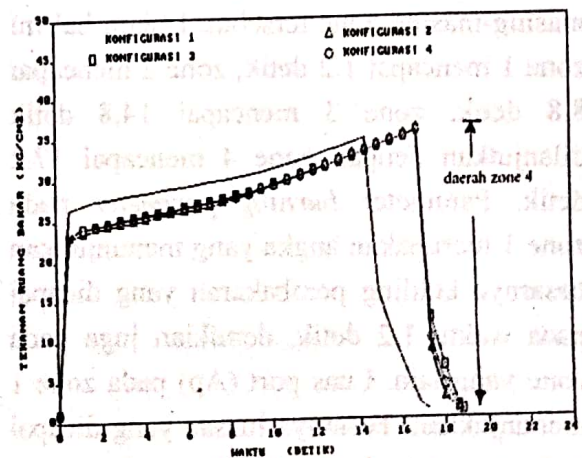
| | |
|--|------------|
| Burning Rate, r, (cm/dt) | 0.35 |
| Konstante gas, Rg | 3080222.22 |
| Kerapatan Propelan, ρ | 0.0016 |
| Luas throat, A _t , (cm ²) | 28.26 |
| Temperatur chamber, T _c , (K) | 1900 |

4. HASIL

Setelah memasukkan data yang ada ke dalam persamaan kemudian dilakukan simulasi sistem roket padat maka akan diperoleh beberapa hasil yang menunjukkan karakteristik roket RX 250 dalam beberapa sliver grain yang berbeda. Beberapa parameter unjuk kerja dari RX 250 dapat ditunjukkan sebagai berikut :

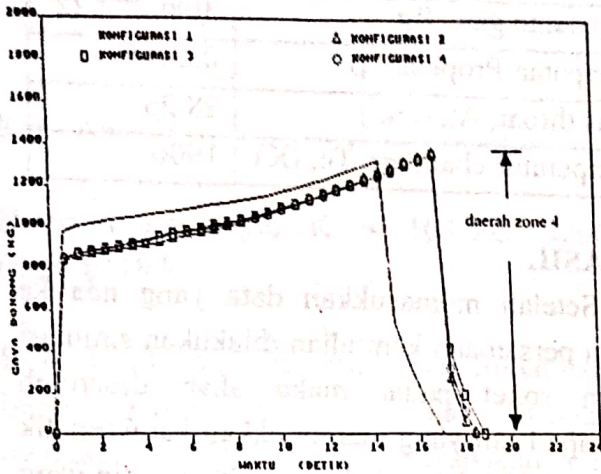


Gambar 3-1 : HASIL GRAFIK BURNING PERIMETER (Pb) FUNGSI WAKTU RX250



Gambar 3-2 : HASIL GRAFIK TEKanan RUANG BAKAR (Pc) FUNGSI WAKTU RX250

Tabel 3-6 : SLIVER GRAIN (ZONE 4) DALAM KE 4 KONFIGURASI PADA ROKET JENIS RX 250



Gambar 3-3 : HASIL GRAFIK GAYA DORONG (F) FUNGSI WAKTU RX250

Selanjutnya hasil grafik dari beberapa konfigurasi tersebut dapat ditabelkan dengan lebih jelas dalam parameter waktu pembakaran, burning perimeter (Pb), Luas port (Ap), cm² dan efisiensi. Masing-masing parameter terurai dalam zone-zone agar perubahan yang terjadi dapat terlihat. (Tabel 3-6). Seperti waktu pembakaran yang dihasilkan oleh konfigurasi 1, angka yang dihasilkan merupakan waktu terakhir yang dicapai oleh masing-masing zone tersebut. Dalam hal ini zone 1 mencapai 1.2 detik, zone 2 mencapai 8.8 detik, zone 3 mencapai 14.8 detik dilanjutkan dengan zone 4 mencapai 17.2 detik. Parameter *burning perimeter* pada zone 1 merupakan angka yang menunjukkan besarnya keliling pembakaran yang dicapai pada waktu 1.2 detik, demikian juga pada zone yang lain. Luas port (Ap) pada zone 1 menunjukkan besarnya luasan yang dicapai pada saat 1.2 detik, demikian seterusnya. Parameter yang terakhir yaitu efisiensi yang nilainya ditentukan oleh besar kecilnya nilai luas port zone 4.

| PARAMETER | | KONFIGURASI GRAIN | | | |
|---------------------------|--------|-------------------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Waktu Pembakaran (dt) | zone 1 | 1.2 | 0.8 | 1 | 1 |
| | zone 2 | 8.8 | 6.8 | 8 | 7.4 |
| | zone 3 | 14.8 | 17 | 17 | 17 |
| | zone 4 | 17.2 | 18.4 | 18.8 | 18.6 |
| Burning Perimeter Pb (cm) | zone 1 | 56.83 | 48.94 | 49.86 | 49.92 |
| | zone 2 | 63.61 | 55.36 | 58.04 | 56.86 |
| | zone 3 | 73.61 | 74.98 | 74.93 | 74.89 |
| | zone 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Luas Ap cm ² | zone 1 | 83.65 | 84.90 | 78.67 | 80.12 |
| | zone 2 | 172.21 | 120.82 | 143.35 | 131.01 |
| | zone 3 | 143.07 | 230.29 | 207.57 | 219.09 |
| | zone 4 | 16.26 | 10.38 | 14 | 10.80 |
| Efisiensi (%) | | 96.08 | 97.67 | 96.84 | 97.55 |

5. PEMBAHASAN

Pada Tabel 3-1 sampai Tabel 3-4 berisi gambar konfigurasi grain, di mana bagian yang diarsir gelap merupakan bagian zone 4 atau yang disebut *sliver grain*. Dari beberapa grafik yang dihasilkan pada grafik *burning perimeter* pada Gambar 3-1 terlihat nilai *burning perimeter* cenderung naik dan pada saat memasuki zone 4 perimeter akan semakin kecil. Gaya dorong merupakan parameter yang berbanding langsung dengan tekanan ruang bakar dimana grafik yang dihasilkan pada Gambar 3-3 akan semakin tinggi nilainya dengan bertambahnya waktu, dan pada saat mencapai zone 4 nilai gaya dorongnya akan mengecil walaupun ada nilainya namun itu tidak efektif. Apabila *sliver grain*nya lebih kecil, kecenderungan gaya dorong yang dicapainya semakin besar. Tabel 3-6 mengenai *sliver grain* dalam beberapa konfigurasi grain yang berisi beberapa parameter yang timbul pada saat memasuki daerah zone 4 (*sliver grain*), dan terlihat terjadi perubahan ukuran *sliver grain* dari konfigurasi 1 sampai konfigurasi 4 yang masing-masing

mempunyai nilai 16.26 cm^2 , 10.38 cm^2 , 14 cm^2 dan 10.80 cm^2 . Konfigurasi grain yang kedua menunjukkan luas port zone 4 paling kecil yaitu 10.38 cm^2 sehingga didapat efisiensi luas port yang paling besar 97.67%

6. KESIMPULAN

Dalam perencanaan *sliver grain* dengan mempelajari perubahan bentuk grain dan mensimulasikan beberapa kali dalam sistem propulsi serta membandingkan satu sama lain akan dapat diketahui dan ditentukan *sliver grain* yang kecil. Bahwa setiap perubahan sekecil apapun pada parameter-parameter konfigurasi grain akan terjadi perubahan pada luas *sliver grain* atau zone 4. Dengan adanya simulasi perancangan grain bintang, sangat diuntungkan dalam penghematan biaya perancangan. Diharapkan dari hasil ini dapat dijadikan acuan dalam perancangan grain yang *sliver grain*nya kecil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barrere, Marcel, 1960, "Rocket Propulsion", Elsevier Publishing Company.
2. Marty, Daniel, 1986, "Conception des Spatiaux", Mason
3. Marhaindro, Waluyo; K. Pinem, Loekman Satibi, 1994, "Redesign Konfigurasi Grain Bintang 7 roket RX150 untuk meningkatkan loading density", Proceeding LAPAN.
4. P. Sutton, George, Donald M Ross, 1976, "Rocket Propulsion Elements", 4 th edition John Wiley & New York.
5. Ricciardi, Andrea, 1992, "Generalised Geometric Analysis of Right Circular Cylindrical Star Perforated and Tapered Grains", J. Propulsion, 8 (1)
6. Shorr, Morton, 1967, "Solid Rocket Technology" John Wiley and Sons, Inc.
7. LAPAN, 1998, "Dokumentasi Teknik", Pusat Propulsi dan Energetik LAPAN

DAFTAR SIMBOL

- W = web thickness
- Wc = variable web burnt
- R = jari-jari luar grain
- r_1 = jari-jari fillet
- r_2 = jari-jari cusp
- ξ = sudut bintang
- η = star point semiangle
- N = jumlah bintang
- l = panjang propelan
- Pb = perimeter pembakaran

- Ap = luas port
- Pc = tekanan dalam ruang bakar
- Pe = tekanan diluar
- ρ = kerapatan propelan
- Ab = luas pembakaran
- r = burning rate
- Rg = konstante gas
- Tc = temperatur chamber
- Γ = bilangan Vanderkerchove
- At = luas throat
- γ = ratio panas jenis
- C_T = koefisien thrust
- F = thrust (gaya dorong)

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>

/* program simulasi grain roket padat */
#define J 150

int i;
double w, r, r1, r2, esp, psi, ru, n, rhu, delt, ar, at, tck, pe, lp, rr, g;
double on, a1, a2, a3, a4, tc, yt, xn, yn, tn, fn, fd, k1, k2, k3, k4, gam;
double van, p1, p2, tx, ty, p, van1, van2;
double t[J], pc[J], f[J], wc[J], pb[J], ap[J], b[J], s[J];
double gams[J], k5[J], k6[J], a[J], q1[J], q2[J], q3[J];
double yq[J], betx[J], bet[J], kur[J], tet[J], k7[J], k8[J], k9[J], k10[J];
double ab[J], cf1[J], cf2[J], cf[J];

void main()
{
    data();
    konstante();
    fprintf(stdprn, "zone      i      t[i]    pb[i]    ap[i]    ab[i]    p:[i]
f[i]");
    fprintf(stdprn, " \n          (dt)    (cm)    (cm2)    (cm2)
(kg/cm2)    (kg)");
    fprintf(stdprn, "\nzone 1");
    fprintf(stdprn, "%4d\t%5.2f\t%5.2f\t%5.2f\t%6.2f\t%6.3f\t%7.3f\n", ..., t[1],
pb[1], ap[1], ab[1], pc[1], f[1]);

    if((r2<tc)&&(tc<w)){
        /*konfigurasi 1*/
        konfigurasi_1();
    }
    else{
        /*konfigurasi 2*/
        konfigurasi_2();
    }
    getch();
}

/* masukkan data */
data()
{
    printf("masukkan nilai gam, gam= ");
    scanf("%lf", &gam);
    printf("web thickness, w, (cm)= ");
    scanf("%lf", &w);
    printf("jari2 luar grain, r, (cm)= ");
    scanf("%lf", &r);
    printf("jari2 fillet, r1, (cm)= ");
    scanf("%lf", &r1);
    printf("jari2 cusp, r2, (cm)= ");
    scanf("%lf", &r2);
}

```

```

printf("angular fraction, esp, (derajat)= ");
scanf("%lf", &esp);
printf("sudut bintang, psi, (derajat)= ");
scanf("%lf", &psi);
printf("star point semiangle, ru, (derajat)= ");
scanf("%lf", &ru);
printf("jumlah bintang, n, (buah)= ");
scanf("%lf", &n);
printf("waktu, t[1], (detik)= ");
scanf("%lf", &t[1]);
printf("waktu sampling, delt, (detik)= ");
scanf("%lf", &delt);
printf("kerapatan propelan, rhu= ");
scanf("%lf", &rhu);
printf("konstante gas, ar= ");
scanf("%lf", &ar);
printf("temperatur chamber, tck, (kelvin)= ");
scanf("%lf", &tck);
printf("pressure luar, pe, (kg/cm2)= ");
scanf("%lf", &pe);
printf("luas throat, at, (cm2)= ");
scanf("%lf", &at);
printf("pressure, pc[1], (kg/cm2)= ");
scanf("%lf", &pc[1]);
printf("panjang propelan, lp, (cm)= ");
scanf("%lf", &lp);
printf("variable web burning, wc[1], (cm)= ");
scanf("%lf", &wc[1]);
printf("burning rate, rr= ");
scanf("%lf", &rr);
printf("thrust, f[1], (kg)= ");
scanf("%lf", &f[1]);
printf("grafitasi, g, (cm/dt2)=");
scanf("%lf", &g);
return;

```

.)

```

/* menghitung konstante */
konstante()

```

```

{
    on=r-w-r1;
    a1=sin(psi/180*M_PI);
    a2=cos(ru/180*M_PI);
    a3=sin(ru/180*M_PI);
    a4=cos(psi/180*M_PI);
    tc=on*a1/a2-r1;
    yt=on*(a4+a1*a3/a2);
    tn=tc+r1;
    xn=tn*a2;
    yn=yt-(tc*a3);
    fn=sqrt((on*a1)*(on*a1)+(r-on*a2)*(r-on*a2));
    fd=fn-r1;
    k1=M_PI/n-(psi/180*M_PI);
    k2=M_PI/2+((psi-ru)/180*M_PI);
    k3=a3/a2;
    k4=M_PI/2-(ru/180*M_PI);

```

```

pb[1]=360*n/180*((r-w+wc[1])*k1+(r1+wc[1])*k2+(tc-r2)/k3+(r2-wc[1])*k4);
ap[1]=360*n/180*((r-w+wc[1])*
w+wc[1])/2*k1+(r1+wc[1])*(r1+wc[1])/2*k2+on*yt/2*a1-(tc-wc[1])*(tc-
wc[1])/(2*a3/a2)+(r2-wc[1])*(r2-wc[1])/(2*a3/a2)-(r2-wc[1])*(r2-wc[1])/:-k4);
s[1]=ap[1]/at;
return;
)

```

```

/* konfigurasi 1*/
konfigurasi_1()

```

```

{
    for(i=2;i<=J;i++){
        t[i]=t[i-1]+delt ;
        wc[i]=wc[i-1]+(delt*rr) ;

        if(wc[i]<r2){
            /* masuk zone 1*/
            zone_1();
            prethrust();
            fprintf(stdprn,"zone 1");
            cetak();
        }
        else if(wc[i]<tc){
            /* masuk zone 2 */
            zone_2();
            prethrust();
            fprintf(stdprn,"zone 2");
            cetak();
        }
        else if(wc[i]<w)
        {
            /* masuk zone 3 */
            zone_3();
            prethrust();
            fprintf(stdprn,"zone 3");
            cetak();
        }
        else if(wc[i]<=fd)
        {
            /* masuk zone 4 */
            zone_4();
            if(pb[i]<=0){
                pb[i]=0;
                pc[i]=1.033;
                f[i]=0;
                fprintf(stdprn,"zone 4");
                cetak();
                break;
            }
            else{
                prethrust();
                fprintf(stdprn,"zone 4");
                cetak();
            }
        }
    }
}

```

```

else
{
    pb[i]=0;
    pc[i]=1.033;
    f[i]=0;
    printf("habis");
    cetak();
}
}
return;
}

/* menghitung pressure dan thrust */
prethrust()
{
    s[i]=ap[i]/at;
    ab[i]=pb[i]*lp;
    p=(gam+1)/(2*(gam-1));
    van1=sqrt(gam);
    van2=2/(gam+1);
    van=van1*pow(van2,p);
    p1=2*gam/(gam-1);
    p2=(gam-1)/gam;
    tx=van*at;
    ty=sqrt(ar*tck);
    pc[i]=rhu*ab[i]*rr*ty/tx*1/g;
    cf1[i]=pe/pc[i];
    cf2[i]=1-pow(cf1[i],p2);
    if(cf2[i]<=0){
        cf[i]=0;
    }
    else{
        cf[i]=van*sqrt(p1*cf2[i]);
    }
    f[i]=cf[i]*pc[i]*at*0.9;
    return;
}

/* masuk zonel */
zone_1()
{
    pb[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*k1+(r1+wc[i])*k2+(tc-r2)/k3+(r2-wc[i])*k4);
    ap[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*(r-
w+wc[i])/2*k1+(r1+wc[i])*(r1+wc[i])/2*k2+on*yt/2*a1-(tc-wc[i])*(tc-
wc[i])/(2*a3/a2)+(r2-wc[i])*(r2-wc[i])/(2*a3/a2)-(r2-wc[i])*(r2-wc[i])/2-k4);
    return;
}

/* masuk zone 2 */
zone_2()
{
    pb[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*k1+(r1+wc[i])*k2+(tc-wc[i])/(a3/a2));
    ap[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*(r-
w+wc[i])/2*k1+(r1+wc[i])*(r1+wc[i])/2*k2+on*yt/2*a1-(tc-wc[i])*(tc-
wc[i])/(2*a3/a2));
    return;
}
}

```

```

/* masuk zone 3 */
zone_3()
{
    b[i]=(tc+r1)/(r1+wc[i])*a2;
    gams[i]=acos(b[i])-(ru/180*M_PI);
    k5[i]=M_PI/2+(psi-ru-(gams[i]*180/M_PI))/180*M_PI;
    k6[i]=M_PI/2+((gams[i]*180/M_PI)+ru-psi)/180*M_PI;
    pb[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*k1+(r1+wc[i])*k5[i]);
    ap[i]=360*n/180*((r-w+wc[i])*k1+(r1+wc[i])*k5[i]+
w+wc[i])/2*k1+(r1+wc[i])*k5[i]+on/2*(r1+wc[i])*sin(k6[i]));
    return;
}

/* masuk zone 4 */
zone_4()
{
    a[i]=(r*r+xn*xn+yn*yn-(r1+wc[i])*(r1+wc[i]))/(2*xn);
    q1[i]=a[i]*a[i]*(yn/xn)*(yn/xn);
    q2[i]=(1+(yn/xn)*(yn/xn));
    q3[i]=a[i]*a[i]-r*r;
    yq[i]=(a[i]*(yn/xn)+sqrt(q1[i]-q2[i]*q3[i]))*1/(1+(yn/xn*yn/xn));
    betx[i]=(psi/180*M_PI)-acos(yq[i]/r);
    bet[i]=sin(betx[i]);
    kur[i]=r/(r1+wc[i])*bet[i];
    tet[i]=asin(kur[i]);
    b[i]=(tc+r1)/(r1+wc[i])*a2;
    gams[i]=acos(b[i])-(ru/180*M_PI);
    k6[i]=M_PI/2+((gams[i]*180/M_PI)+ru-psi)/180*M_PI;
    k7[i]=M_PI/2+(psi-ru-(gams[i]*180/M_PI)-(tet[i]*180/M_PI))/180*M_PI;
    k8[i]=M_PI/n+((betx[i]*180/M_PI)-psi)/180*M_PI;
    pb[i]=360*n/180*((r1+wc[i])*k7[i]);
    ap[i]=360*n/180*(r*r/2*k8[i]-
r/2*on*bet[i]+(r1+wc[i])*(r1+wc[i])/2*k7[i]+(r1+wc[i])/2*on*sin(k6[i]));
    return;
}

/* cetak */
cetak()
{
    fprintf(stdprn,"%4d\t%5.2f\t%5.2f\t%5.2f\t%6.2f\t%6.3f\t%7.3f\n",i,t[i],pb[i],a
p[i],ab[i],pc[i],f[i]);
    return;
}

```