

BAB 10

ANALISIS NILAI PEMULIAAN (*BREEDING VALUE*) LINGKAR DADA TERNAK SAPI PO

Nilai genetik dan rata-rata populasi ditentukan dengan menggunakan data kajian pada ternak sapi PO. Data fenotip yang dimaksud adalah lingkaran dada induk (cm) seperti pada Bab 7, Tabel 7.2.

A. Analisis Nilai Genetik dan Rata-Rata Bobot Badan Populasi Ternak

a. Nilai Genetik

Lingkaran dada dipengaruhi oleh genotip hanya pada satu lokus *GH-Msp1*. Populasi dianggap jadi seimbang dengan adanya frekuensi gen dan pengukuran fenotip seperti pada Tabel 10.1.

Tabel 10.1. Rata-rata lingkaran dada induk G0 pada setiap genotip restriksi enzim *Msp1*.

Genotip cm)	Frekuensi	Fenotip (rata-rata, cm)
GH-Msp1 ^{+/+}	p ²	P ₁₁ = 166,75
GH-Msp1 ^{+/-}	2pq	P ₁₂ = 179,50
GH-Msp1 ^{-/-}	q ²	P ₂₂ = 173,34

Nilai genotip ditetapkan sebagai deviasi dari fenotip dari rata-rata dua fenotip homisigot, P₁₁ dan P₂₂. Rataan dari dua homisigot tersebut diberi *symbol m*, yaitu $m = \frac{1}{2} (P_{11} + P_{22})$, dan nilai genotip diberi *symbol*

V. Untuk kajian ini, $m = \frac{1}{2} (166,75 + 173,34) = 170,045$ cm dan nilai genotip untuk setiap tiga genotip adalah seperti terlihat pada Tabel 10.2

Tabel 10.2. Nilai genotip pada setiap genotip restriksi enzim *MspI*.

Genotip	Nilai genotip (V)
GH-Msp1 ^{+/+} cm	$V_{11} = P_{11} - m = -a = -3,30$
GH-Msp1 ^{+/-}	$V_{12} = P_{12} - m = d = 9,45$ cm
GH-Msp1 ^{-/-}	$V_{22} = P_{22} - m = a = 3,30$ cm

. Karena m ditentukan sebagai rata-rata fenotip untuk dua genotip homosisot, maka nilai GH-Msp1^{-/-} (yaitu a) adalah positif dari hasil untuk GH-Msp1^{+/+} (yaitu $-a$). Keuntungan mengetahui nilai genotip dari $-a$, d dan a adalah untuk memperoleh rumus umum untuk rata-rata dan varians populasi.

b. Rata-Rata Populasi.

Parameter populasi yang dimaksud pada sifat-sifat yang diukur adalah rata-rata populasi (average) yang dinotasikan dengan simbol μ (myu). Rataan (mean) dihitung sebagai jumlah dari semua pengukuran fenotip dibagi dengan jumlah fenotip yang diamati. Untuk populasi dalam suatu keseimbangan *Hardy-Weinberg* (Van Vleck, 1987), rata-rata (mean) dalam kajian data lingkaran induk sapi PO adalah:

$$\begin{aligned} \mu &= p^2 (m-a) + 2pq (m+d) + q^2 (m+a) \\ &= m (p^2 + 2pq + q^2) - a (p^2 - q^2) + 2pqd \end{aligned}$$

Karena $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, dan $(p^2 - q^2) = (p + q)(p - q) = p - q$, maka mean untuk model lokus tunggal (Van Vleck, 1987), perhitungannya adalah:

$\mu = m - [a(p - q) + 2pqd]$ Mengikuti Rumuske-2 (Bab 9).

Rata-rata populasi yang ditulis dalam cara ini adalah merupakan suatu bagian tetap, m , ditambah rata-rata nilai genotip, $[a(p - q) + 2pqd]$. Bagian yang terakhir ini bisa dirubah dengan proses seleksi, yang dapat mengubah frekuensi gen. Dalam kajian ini, peningkatan $f(GH-MspI^+)$ dapat menambah level rata-rata lingkaran dada ternak dalam populasi.

Dalam sampel induk (G_0) sapi PO pada kajian ini, nilai $m = 170,045$ cm, $-a = -3,30$ cm dan $d = 9,45$ cm. Frekuensi gen $GH-MspI^+$ pada induk G_0 pada Bab 6, Tabel 6.1 ($2^4/74$) = 0,32; sehingga $(p) = 0,32$ dan frekuensi gen $GH-MspI^-$ (q) = 0,68, maka nilai μ dapat dihitung seperti berikut:

$$\begin{aligned} \mu &= m - [a(p - q) + 2pqd] \\ &= 170,045 - [3,3(0,32 - 0,68) + 2\{(0,32)(0,68)(9,45)\}] \\ &= 170,045 + 1,188 + 4,11264 \\ &= 175,35\text{cm} \end{aligned}$$

Dengan demikian, maka rata-rata lingkaran dada induk (G_0) pada populasi ternak sapi PO diduga sebesar 175,35 cm.

B. Analisis Respons Seleksi Rataan Lingkaran Dada Populasi Ternak

Tahapan pertama dalam mengembangkan program seleksi adalah menetapkan tujuan yang dicapai dengan seleksi. Untuk sifat lingkaran dada, jika tujuan adalah untuk meningkatkan rata-rata populasi (population mean), maka salah satu strategi adalah mengabaikan atau menyingkirkan semua ternak yang memiliki genotip $GH-MspI^{+/+}$ homosigot (sifat genetik rendah) dari populasi ternak pemuliaan. Jika

pada awalnya $p = 0,32$ (Bab 6, Tabel 6.1), maka nilai genotip adalah seperti terlihat pada Tabel 10.3.

Tabel 10.3. Nilai genotip lingkaran dada induk G_0 pada masing-masing genotip $GH-Msp1$

Genotip induk (G_0)	Frekuensi genotip (G_0)	Nilai genetik (cm)
$GH-Msp1^{+/+}$	$(0,32)^2 = 0,10$	$-a = -3,30$
$GH-Msp1^{+/-}$	$2(0,32)(0,68) = 0,44$	$d = 9,45$
$GH-Msp1^{-/-}$	$(0,68)^2 = 0,46$	$a = 3,30$

Rata-rata (mean) populasi dari progeny (μ_1) adalah:

$$\mu_1 = m - [a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d] \dots \dots \dots \text{Penyesuaian Rumus ke-3}$$

(Bab 9).

Respons terhadap seleksi (\hat{u}) adalah perubahan pada rata-rata populasi (population mean) dari generasi induk tua ke generasi anak (progeny), yang dinotasikan dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{u} = \mu_1 - \mu \dots \dots \dots \text{Rumus ke-4 (Bab 9)}.$$

Selanjutnya berdasarkan sampel anak (G_1) sapi PO, frekuensi alel $GH-Msp1^+$ pada Bab 6 (Tabel 6.2) terjadi perubahan frekuensi sebagai gen p_1 ($28/74 = 0,38$), sehingga sebaran gen $p_1 = 0,38$, maka frekuensi $GH-Msp1^+$ dan nilai genotip populasi pada anak G_1 adalah seperti terlihat pada Tabel 10.4.

Tabel 10.4. Nilai genotip lingkar dada Anak G₁ pada masing-masing genotip *GH-Msp1*

Genotip anak (G ₁)	Frekuensi genotip (G ₁)	Nilai genotip (cm)
<i>GH-Msp1</i> ^{+/+}	(0,38) ² = 0,15	- a = - 3,30
<i>GH-Msp1</i> ^{+/-}	2(0,38)(0,62) = 0,47	d = 9,45
<i>GH-Msp1</i> ^{-/-}	(0,62) ² = 0,38	a = 3,30

Rata-rata populasi ini jika $m = 170,045$ adalah:

$$\mu_1 = m - a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots \dots \dots \text{(pPenyesuaian)}$$

Rumus ke-3)

$$\begin{aligned} &= 170,045 - [3,3(0,38 - 0,62) + 2 \times 0,38 \times 0,62 \times 9,45] \\ &= 170,045 + 0,792 + 4,453 \\ &= \mathbf{175,29 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Dengan rata-rata populasi (μ_1) sebesar 175,29 cm, maka respons seleksi (\hat{u}) dari generasi induk tetua (G₀) ke generasi anak (*progeny*, G₁), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\ &= 175,29 \text{ cm} - 175,35 \text{ cm} \\ &= \mathbf{-0,06 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Jika berdasarkan hanya sampel anak (G₁) dari induk sapi PO bobot badan superior yang dikembangkan, maka frekuensi alel *GH-Msp1*⁺ pada Bab 6 (Tabel 6.2) terjadi perubahan frekuensi sebagai gen p₁ ($\frac{20}{40} = 0,50$), sehingga sebaran gen p₁ = 0,50. Dengan demikian, frekuensi *GH-Msp1*⁺ dan nilai genotip populasi pada anak G₁ adalah seperti terlihat pada Tabel 10.5.

Tabel 10.5. Nilai genotip lingkaran dada Anak G₁ pada masing-masing genotip *GH-MspI*

Genotip anak (G ₁)	Frekuensi genotip (G ₁)	Nilai genotip (cm)
<i>GH-MspI</i> ^{+/+}	(0,50) ² = 0,25	- a = - 3,30
<i>GH-MspI</i> ^{+/-}	2(0,50)(0,50) = 0,50	d = 9,45
<i>GH-MspI</i> ^{-/-}	(0,25) ² = 0,50	a = 3,30

Rata-rata populasi ini jika $m = 405,03$ adalah:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= m - a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Penyesuaian Rumus ke-3)} \\ &= 170,045 - [3,3(0,50 - 0,50) + 2 \times 0,50 \times 0,50 \times 9,45] \\ &= 170,045 - 0 + 4,725 \\ &= \mathbf{174,77 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Dengan rata-rata populasi (μ_1) sebesar 174,77, maka respons seleksi (\hat{u}) dari generasi induk tetua (G₀) ke generasi anak (*progeny*, G₁), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\ &= 174,77 \text{ cm} - 175,35 \text{ cm} \\ &= \mathbf{- 0,58 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Jika semua ternak genotip *GH-MspI*^{+/+} disingkirkan (tidak memakai pejantan Krista) dan induk genotip *GH-MspI*^{+/+}, maka frekuensi gen pada ternak-ternak yang masih hidup berkembang adalah $p_1 = 1/(1+q) = 2/3$.

Solusinya: Genotip hewan yang dapat berkembang hanya 1(*GH-MspI*^{-/-}):2(*GH-MspI*^{+/-}), sedangkan 1(*GH-MspI*^{+/+}) disingkirkan. Dengan demikian, jumlah gen yang masih bertahan atau eksis adalah 4(*GH-MspI*) dan 2(*GH-MspI*⁺), sehingga proporsi gen *GH-MspI* = $4/6 = 2/3$,

dan proporsi gen $GH-MspI^+ = 2/6 = 1/3$. Perkawinan acak dari ternak-ternak eksis dapat menghasilkan keturunan (*progeny*) sebagai berikut:

1. $(GH-MspI^{-/-}) \times (GH-MspI^{-/-}) \rightarrow (GH-MspI^{-/-})$
2. $(GH-MspI^{-/-}) \times (GH-MspI^{+/-}) \rightarrow (GH-MspI^{-/-})$ dan $(GH-MspI^{+/-})$
3. $(GH-MspI^{+/-}) \times (GH-MspI^{-/-}) \rightarrow (GH-MspI^{-/-})$ dan $(GH-MspI^{+/-})$
4. $(GH-MspI^{+/-}) \times (GH-MspI^{+/-}) \rightarrow (GH-MspI^{+/+}); 2 (GH-MspI^{+/-});$ dan $(GH-MspI^{-/-})$

Dengan frekuensi genotip seperti terlihat dalam Tabel 10.6.

Tabel 10.6. Frekuensi genotip anak (*progeny*) akibat eliminasi genotip $GH-MspI^{+/+}$ dalam persilangan induk tetua

Genotip <i>progeny</i>	Frekuensi genotip
$GH-MspI^{-/-}$	4/9
$GH-MspI^{+/-}$	4/9
$GH-MspI^{+/+}$	1/9

Rata-rata populasi ini jika $m = 170,045$ cm adalah:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= m - a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\ &= 170,045 - [3,3(1/3 - 2/3) + 2(1/3)(2/3)9,45] \\ &= 170,045 + 1,1 + 4,20 \\ &= \mathbf{175,345\text{cm}} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\ &= 175,345 \text{ cm} - 175,35 \text{ cm} \\ &= \mathbf{-0,005\text{cm}} \end{aligned}$$

Sebaliknya, jika semua ternak genotip $GH-MspI^{-/-}$ disingkirkan (tidak memakai pejantan Tunggul) dan induk genotip $GH-MspI^{-/-}$, maka

frekuensi gen pada ternak-ternak yang masih hidup berkembang adalah $p_1 = 1/(1+q) = 2/3$.

Genotip hewan yang dapat berkembang hanya 1($GH-MspI^{+/+}$):2($GH-MspI^{+/-}$), sedangkan 1($GH-MspI^{-/-}$) disingkirkan. Dengan demikian, jumlah gen yang masih bertahan atau eksis adalah 4($GH-MspI^+$) dan 2($GH-MspI^-$), sehingga proporsi gen $GH-MspI^+ = 4/6 = 2/3$, dan proporsi gen $GH-MspI^- = 2/6 = 1/3$. Perkawinan acak dari ternak-ternak eksis dapat menghasilkan keturunan (*progeny*) sebagai berikut:

1. ($GH-MspI^{+/+}$)x ($GH-MspI^{+/+}$) \rightarrow ($GH-MspI^{+/+}$)
2. ($GH-MspI^{+/+}$) x ($GH-MspI^{+/-}$) \rightarrow ($GH-MspI^{+/+}$) dan ($GH-MspI^{+/-}$)
3. ($GH-MspI^{+/-}$)x ($GH-MspI^{+/+}$) \rightarrow ($GH-MspI^{+/+}$) dan ($GH-MspI^{+/-}$)
4. ($GH-MspI^{+/-}$) x ($GH-MspI^{+/-}$) \rightarrow ($GH-MspI^{+/+}$); 2 ($GH-MspI^{+/-}$); dan ($GH-MspI^{-/-}$)

Dengan frekuensi genotip seperti terlihat dalam Tabel 10.7.

Tabel 10.7. Frekuensi genotip anak (*progeny*) akibat eliminasi genotip $GH-MspI^{-/-}$ dalam persilangan induk tetua

Genotip <i>progeny</i>	Frekuensi genotip
$GH-MspI^{+/+}$	4/9
$GH-MspI^{+/-}$	4/9
$GH-MspI^{-/-}$	1/9

Rata-rata populasi ini jika $m = 170,045$ cm adalah:

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= m + a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\
 &= 170,045 - [3,3(2/3 - 1/3) + 2(2/3)(1/3)9,45] \\
 &= 170,045 - 1,10 + 4,20 \\
 &= \mathbf{173,145 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\hat{u} &= \mu_1 - \mu \\ &= 173,145 \text{ cm} - 175,35 \text{ cm} \\ &= -2,205 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan hasil pengamatan lingkaran dada (LD) induk sapi PO ini, maka hasil respon seleksi (\hat{u}) melalui persilangan pejantan Krista (genotip $Kr-Msp^{+/+}$) dan Tunggul (genotip $Tu-Msp^{-/-}$) dapat dilakukan dengan empat pilihan persilangan seperti terlihat pada Tabel 10.8.

Tabel 10.8. Hasil respon seleksi (\hat{u}) melalui tiga pilihan perkawinan ternak induk sapi PO dengan pejantan Krista ($Kr-Msp^{+/+}$) dan Tunggul ($Tu-Msp^{-/-}$)

Genotip Induk yang Dikawinkan	Genotip Pejantan yang Dipakai Kawin	Frekuensi Genotip Anak (G_1)	Respon Seleksi (\hat{u}) BB Anak G_1 (cm)
Pilihan I:			
$GH-MspI^{+/+}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/+} = 0,38$	-0,06
$GH-MspI^{+/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/-} = 0,47$	
$GH-MspI^{-/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{-/-} = 0,15$	
Pilihan II			
$GH-MspI^{+/+}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/+} = 0,25$	- 0,58
$GH-MspI^{+/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/-} = 0,50$	
$GH-MspI^{-/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{-/-} = 0,25$	
Pilihan III:			
$GH-MspI^{+/-}$	$Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/+} = 1/9$	-0,005
$GH-MspI^{-/-}$	$Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/-} = 4/9$	
		$GH-MspI^{-/-} = 4/9$	
Pilihan IV:			
$GH-MspI^{+/+}$	$Kr-Msp^{+/+}$	$GH-MspI^{+/+} = 4/9$	-2,205
$GH-MspI^{+/-}$	$Kr-Msp^{+/+}$	$GH-MspI^{+/-} = 4/9$	
		$GH-MspI^{-/-} = 1/9$	

Dari Tabel 10.8 terlihat bahwa untuk mendapatkan respon seleksi lingkaran dada yang relatif konstan dalam arti tidak terlalu banyak penurunan (-0,005 cm) pada setiap generasi, maka metode persilangan dapat dilakukan melalui persilangan pilihan III, yang melibatkan hanya genotip induk sapi PO ($GH-MspI^{-/-}$ & $GH-MspI^{+/-}$) dengan pejantan Tunggul ($Tu-Msp^{-/-}$) untuk membentuk sebaran frekuensi gen ($GH-MspI^{+}$), $p = 0,33$ dan gen ($GH-Msp^{-}$), $q = 0,67$ dapat menghasilkan respon seleksi (\hat{u}) sebagai berikut:

C. Analisis Nilai Pemuliaan (*Breeding Value*)Lingkar Dada Ternak

Untuk itu nilai pemuliaan (Van Vleck, 1987) adalah seperti terlihat pada Tabel 10.9.

Tabel 10.9. Nilai pemuliaan (*Breeding value*) pada setiap genotip ternak yang berbeda.

Genotip	Nilai Pemuliaan (BV)
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q - p) \alpha$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha$

Istilah $\alpha = [a + d(q - p)]$ Rumus ke-12, Bab 9.

Dengan kajian hasil pengamatan lapangan, lingkaran dada induk G0, frekuensi alel $GH-MspI^{+}$ (terdapat pada Tabel 6.1) sebagai gen p ($2^4/74$) = 0,32, sehingga sebaran gen p = 0,32, maka frekuensi $GH-MspI^{+}$ dan nilai genotip populasi adalah seperti terlihat pada Tabel 10.10. Untuk populasi ternak induk G0 sapi PO ini, efek rata-rata dari substitusi gen adalah:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= a + d(q - p), \\
 &= -3,3 + 9,45(0,68 - 0,32) \\
 &= \mathbf{0,102\text{cm}}
 \end{aligned}$$

Tabel 10.10. Nilai pemuliaan (*Breeding value*)lingkar dada hasil pengamatan pada induk sapi PO

Genotip	Nilai Pemuliaan (cm)
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha = 2(0,68)(0,102) = \mathbf{0,13872}$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q-p)\alpha = (0,68-0,32)(0,102) = \mathbf{0,03672}$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha = -2(0,32)(0,102) = \mathbf{-0,06528}$

D. Analisis Deviasi DominanLingkar dada Ternak

Deviasi dominan dapat ditetapkan sebagai nilai dari kombinasi gen dalam genotip.Deviasi dominan (Van Vleck, 1987) telah diuraikan pada Rumus ke-13, ke-14 dan ke-15 dalam Bab 9. Untuk itu nilai pada setiap genotip, nilai genotip, nilai pemuliaan dan deviasi dominan (Van Vleck, 1987) adalah seperti terlihat pada Tabel 10.11.

Tabel 10.11. Nilai genotip, nilai pemuliaan dan deviasi dominan setiap genotip GH-Msp induk sapi PO disesuaikan dengan Van Vleck (1987)

Genotip	Nilai genotip (V)	Nilai pemuliaan (BV)	Deviasi dominan (D)
$GH-MspI^{+/+}$	a	$2q \alpha$	$- 2q^2d$
$GH-MspI^{+/-}$	d	$(q - p) \alpha$	$2pqd$
$GH-MspI^{-/-}$	- a	$-2p \alpha$	$- 2p^2d$

Dengan demikian, nilai pemuliaan (BV_{ij}) dan deviasi dominan (D_{ij}) melalui perhitungan rumus-rumus di atas dapat terlihat seperti pada Tabel 10.12.

Tabel 10.12. Nilai pemuliaan dan deviasi dominan lingkar dada induk sapi PO

Genotip	Nilai pemuliaan (BV_{ij})	Deviasi Dominan (D_{ij})
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha = 0,13872$	$- 2q^2d = -2(0,68)^2*9,45 = -8,739$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q-p)\alpha = 0,03672$	$2pqd = 2(0,32*0,68)*9,45 = 4,113$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha = - 0,06528$	$- 2p^2d = - 2(0,32)^2*9,45 = -1,9354$

Kemudian:

$$\begin{aligned} P_{11} &= \mu + BV_{11} + D_{11} \\ &= 175,35 \text{ cm} + \mathbf{0,13872} + (- 8,739) \\ &= \mathbf{166,75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{12} &= \mu + BV_{12} + D_{12} \\ &= 175,35 + \mathbf{0,03672} + 4,113 \\ &= \mathbf{179,5 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{22} &= \mu + BV_{22} + D_{22} \\ &= 175,35 - \mathbf{0,06528} - 1,9354 \\ &= \mathbf{173,34 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Nilai-nilai pada P11, P12 dan P22 adalah seperti terlihat pada nilai-nilai fenotiplingkar dada induk sapi PO pada Tabel 10.1

E. Varians (*Variance*) dan Standar deviasi Lingkar Dada Ternak

Varians fenotip, dinotasikan σ^2_p , dihitung untuk model lokus tunggal (Van Vleck, 1987) seperti berikut:

$$\sigma^2_p = 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2 \dots \dots \dots \text{Rumus ke-21, pada Bab 9.}$$

yaitu merupakan jumlah kuadrat nilai pemuliaan dan kuadrat deviasi dominan, pada keadaan yang seimbang; dimana, $2pq\alpha^2$ adalah varians antara nilai pemuliaan, yang dinotasikan σ^2_A dan disebut varians genetik aditif, dan $(2pqd)^2$ adalah deviasi dominan, yang dinotasikan σ^2_D . Jumlah $\sigma^2_A + \sigma^2_D$, untuk lokus tunggal adalah total varians genetik yang dinotasikan σ^2_G .

Dalam kajian ini, diperoleh rata-rata populasi (*population mean*) lingkar dada induk sapi PO, yaitu:

$$\mu = m - [a(p - q) + 2pqd]$$

$$\begin{aligned}
&= 170,045 - [3,3(0,32 - 0,68) + 2\{(0,32)(0,68)(9,45)\}] \\
&= 170,045 + 1,188 + 4,11264 \\
&= \mathbf{175,35 \text{ cm.}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_p^2 &= 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2; \text{ dan } \alpha = -a + d(q - p), \\
&= -3,3 + 9,45(0,68 - 0,32) \\
&= \mathbf{0,102 \text{ cm}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2(0,32)(0,68)(0,102)^2 + [2(0,32)(0,68)(9,45)]^2 \\
&= 0,00906 + (4,11264)^2 \\
&= \mathbf{16,922868}
\end{aligned}$$

$$\text{Standar Error} = \sqrt{\sigma_p^2} = \sqrt{16,922868} = \mathbf{4,1137}$$

Rataan lingkaran dada populasi induk sapi PO = **175,35 ± 4,1137**.

F. Analisis Nilai Heritabilitas Lingkaran Dada Ternak

Heritabilitas adalah parameter populasi yang sangat penting yang digunakan untuk pengestimasi nilai pemuliaan pada sifat-sifat kuantitatif dan untuk pendugaan respons yang diharapkan dari berbagai program seleksi. Heritabilitas dalam pengertian luas, yang dinotasikan (h^2_B) adalah ditetapkan sebagai rasio varians genetik dengan varians fenotip, yaitu:

$$\mathbf{h^2_B = (\sigma^2_G) / (\sigma^2_p) = (\sigma^2_A + \sigma^2_D) / (\sigma^2_p)}$$

Heritabilitas dalam arti luas menggambarkan berapa proporsi dari total variansi yang disebabkan perbedaan antara genotip-genotip dalam populasi. Karena, $\sigma^2_p \geq \sigma^2_G \geq 0$, maka $\mathbf{0 \leq h^2_B \leq 1}$.

Heritabilitas dalam pengertian sempit, yang dinotasikan (h^2) adalah ditetapkan sebagai rasio varians genetik aditif dengan varians fenotip, yaitu:

$$\mathbf{h^2 = (\sigma^2_A) / (\sigma^2_p)}$$

Dengan demikian, h^2 adalah proporsi dari total varians yang disebabkan perbedaan antara nilai pemuliaan dari individu-individu dalam populasi. Karena $\sigma^2_G \geq \sigma^2_A$, maka $0 \leq h^2 \leq h^2_B \leq 1$.

$$\begin{aligned}\sigma^2_A &= 2pq\alpha^2 \\ &= 2(0,32)(0,68)(0,102)^2 \\ &= \mathbf{0,004527821}\end{aligned}$$

$$\sigma^2_p = \mathbf{16,922868}$$

$$\begin{aligned}h^2 &= \frac{0,004527821}{16,922868} \\ &= \mathbf{0,0003}\end{aligned}$$

Nilai heritabilitas dapat dikategorikan tinggi jika lebih besar 0,30, dikategorikan sedang jika berkisar 0,15 sampai 0,30, dan dikategorikan rendah jika lebih kecil 0,15 (Van Velck, 19987). Dalam kajian ini menunjukkan bahwa nilai heritabilitas lingkaran dada induk sapi PO adalah sebesar 0,0003 dan termasuk dalam kategori heritabilitas sangat rendah.

Pada penerapan program pemuliaan ternak, heritabilitas (h^2) dalam arti sempit (σ^2_A) lebih tepat digunakan, karena pada program pemuliaan lebih ditekankan sifat-sifat yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Sifat ekonomi tinggi disamakan dengan sifat kuantitatif yang diekspresikan oleh aksi gen yang bersifat aditif.

G. Rangkuman

1. Dalam kajian ini, rata-rata fenotip oleh dua homozigot adalah ditetapkan sebagai nilai konstan (m), yang berkaitan dengan semua fenotip, yaitu $m = (P_{11} + P_{22})/2$. Deviasi oleh fenotip dari nilai $m = 170,045$ adalah merupakan nilai genetik (V), untuk genotip pada suatu lokus tunggal, sehingga:

$$P_{ij} = m + V_{ij}$$

Dimana,

$$V_{11} = -a, V_{12} = d, \text{ dan } V_{22} = a$$

Dalam kajian ini, nilai fenotip dan nilai genetik lingkaran dada adalah sebagai berikut:

Genotip (cm)	Frekuensi	Fenotip (rata-rata, cm)	Nilai genetik
GH-Msp1 ^{+/+} = -a = -3,30	p ²	P ₁₁ = 166,75	V ₁₁ = P ₁₁ - m
GH-Msp1 ^{+/-} = d = 9,45	2pq	P ₁₂ = 179,50	V ₁₂ = P ₁₂ - m
GH-Msp1 ^{-/-} m = a = 3,30	q ²	P ₂₂ = 173,34	V ₂₂ = P ₂₂ - m

2. Untuk lokus tunggal, rata-rata populasi (μ), adalah jumlah produk silang oleh frekuensi dan fenotip, yaitu:

$$\mu = f(B_1B_1) P_{11} + f(B_1B_2) P_{12} + f(B_2B_2) P_{22}$$

Untuk populasi dalam keadaan keseimbangan, rata-rata adalah:

$$\mu = m - [a(p - q) + 2pqd]$$

Istilah dalam kurung adalah rata-rata nilai genetik pada populasi yang dapat dirubah melalui seleksi. Dalam kajian ini, $\mu = m - [a(p - q) + 2pqd]$

$$\begin{aligned}
&= 170,045 - [3,3(0,32 - 0,68) + \\
&2\{(0,32)(0,68)(9,45)\}] \\
&= 170,045 + 1,188 + 4,11264 \\
&= \mathbf{175,35 \text{ cm}}
\end{aligned}$$

3. Jika d (nilai genotip dari heterosigot) adalah nol, maka sifat aditif lengkap (completely additive). Jumlah variasi fenotip terhadap rata-rata populasi adalah disebut varians. Untuk lokus tunggal, varians fenotip adalah rata-rata (average) oleh deviasi kuadrat dari rata-rata (mean), yaitu:

$$\sigma_p^2 = f(B_1B_1)(P_{11} - \mu)^2 + f(B_1B_2)(P_{12} - \mu)^2 + f(B_2B_2)(P_{22} - \mu)^2$$

Pada keadaan seimbang:

$$\sigma_p^2 = 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2$$

Dimana, $2pq\alpha^2$ adalah varians antara nilai pemuliaan, yang dinotasikan σ_A^2 dan disebut varians genetik aditif, dan $(2pqd)^2$ adalah deviasi dominan, yang dinotasikan σ_D^2 . Jumlah $\sigma_A^2 + \sigma_D^2$, untuk lokus tunggal adalah total varians genetik yang dinotasikan σ_G^2 .

$$\begin{aligned}
\sigma_p^2 &= 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2; \text{ dan } \alpha = -a + d(q - p), \\
&= -3,3 + 9,45(0,68 - 0,32) \\
&= \mathbf{0,102 \text{ cm}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2(0,32)(0,68)(0,102)^2 + [2(0,32)(0,68)(9,45)]^2 \\
&= 0,00906 + (4,11264)^2 \\
&= \mathbf{16,922868}
\end{aligned}$$

$$\text{Standar Error} = \sqrt{\sigma_p^2} = \sqrt{16,922868} = \mathbf{4,1137}$$

Rataan lingkaran dada populasi induk sapi PO = $\mathbf{175,35 \pm 4,1137}$.

4. Rata-rata (mean) lingkaran dada populasi dari progeny (μ_1) ternak sapi PO adalah:

$$\mu_1 = m - [a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d]$$

Respons terhadap seleksi (\hat{u}) adalah perubahan pada rata-rata populasi (population mean) dari generasi induk tua ke generasi anak (progeny), yang dinotasikan dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{u} = \mu_1 - \mu$$

Untuk mendapatkan respon seleksi lingkaran dada yang relatif konstan dalam arti tidak terlalu banyak penurunan (-0,005 cm) pada setiap generasi, maka metode persilangan dapat dilakukan melalui persilangan pilihan III, yang melibatkan hanya genotip induk sapi PO ($GH-MspI^{-/-}$ & $GH-MspI^{+/-}$) dengan pejantan Tunggul ($Tu-Msp^{-/-}$), untuk membentuk sebaran frekuensi gen ($GH-MspI^{+}$), $p = 0,33$ dan gen ($GH-Msp^{-}$), $q = 0,67$ dapat menghasilkan respon seleksi (\hat{u}) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= m - a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \\ &= 170,045 - [3,3(1/3 - 2/3) + 2(1/3)(2/3)9,45] \\ &= 170,045 + 1,1 + 4,20 \\ &= \mathbf{175,345 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\ &= 175,345 \text{ cm} - 175,35 \text{ cm} \\ &= \mathbf{-0,005 \text{ cm}} \end{aligned}$$

5. Nilai pemuliaan (BV_{ij}) dan deviasi dominan (D_{ij}) sifat lingkaran dada ternak sapi PO melalui perhitungan dalam rumus diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

Genotip	Nilai pemuliaan (BV_{ij})	Deviasi Dominan (D_{ij})
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha = 2(0,68)(0,102) = \mathbf{0,13872}$	$- 2q^2d = -2(0,68)^2 * 9,45 = \mathbf{-8,739}$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q-p)\alpha = (0,68-0,32)(0,102) = \mathbf{0,03672}$	$2pqd = 2(0,32*0,68)*9,45 = \mathbf{4,113}$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha = -2(0,32)(0,102) = \mathbf{-0,06528}$	$- 2p^2d = - 2(0,32)^2*9,45 = \mathbf{-1,9354}$

Dimana α adalah efek rataa dari substitusi gen, sehingga:

$$\begin{aligned} \alpha &= a + d(q - p), \\ &= -3,3 + 9,45(0,68 - 0,32) \\ &= \mathbf{0,102cm} \end{aligned}$$

Nilai pemuliaan dan deviasi dominan lingkaran dada di atas, jika dimasukkan dalam rumus fenotip untuk genotip homosisot dan heterosisot diperoleh nilai seperti terlihat pada data awal hasil pengamatan, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{11} &= \mu + BV_{11} + D_{11} \\ &= 175,35 \text{ cm} + \mathbf{0,13872} + (- 8,739) \\ &= \mathbf{166,75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{12} &= \mu + BV_{12} + D_{12} \\ &= 175,35 + \mathbf{0,03672} + 4,113 \\ &= \mathbf{179,5 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{22} &= \mu + BV_{22} + D_{22} \\ &= 175,35 - \mathbf{0,06528} - 1,9354 \\ &= \mathbf{173,34 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Nilai-nilai pada P11, P12 dan P22 adalah seperti terlihat pada nilai-nilai fenotip lingkaran dada induk sapi PO pada Tabel 10.1.

6. Nilai deviasi dominan adalah lebih banyak berperan dalam total nilai genetik pada sifat lingkaran dada dibandingkan dengan nilai pemuliaan

(nilai yang lebih berperan pada pewarisan sifat-sifat ekonomis ternak yang dipengaruhi gen aditif).

7. Dalam kajian ini nilai heritabilitas lingkaran dada induk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma^2_A &= 2pq\alpha^2 \\ &= 2(0,32)(0,68)(0,102)^2 \\ &= \mathbf{0,004527821}\end{aligned}$$

$$\sigma^2_p = \mathbf{16,922868}$$

$$\begin{aligned}h^2 &= \frac{0,004527821}{16,922868} \\ &= \mathbf{0,0003}\end{aligned}$$

Nilai heritabilitas dapat dikategorikan tinggi jika lebih besar 0,30, dikategorikan sedang jika berkisar 0,15 sampai 0,30, dan dikategorikan rendah jika lebih kecil 0,15 (Van Velck, 19987). Dalam kajian ini menunjukkan bahwa nilai heritabilitas lingkaran dada induk sapi PO adalah sebesar 0,0003 dan termasuk dalam kategori heritabilitas sangat rendah.

8. Pada penerapan program pemuliaan ternak, heritabilitas (h^2) dalam arti sempit (σ^2_A) lebih tepat digunakan, karena pada program pemuliaan lebih ditekankan sifat-sifat yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Sifat ekonomi tinggi disamakan dengan sifat kuantitatif yang diekspresikan oleh aksi gen yang bersifat aditif.