

## **BAB 9**

### **ANALISIS NILAI PEMULIAAN (*BREEDING VALUE*) BOBOT BADAN TERNAK SAPI PO**

Nilai genetik dan nilai pemuliaan merupakan komponen parameter genetik individu yang sangat menentukan kemampuan mewariskan sifat-sifat yang dimiliki tetua induk pada generasi keturunan. Seleksi dipergunakan pada program pemuliaan dalam rangka untuk memilih atau mengganti tetua pada generasi berikut. Hal ini memerlukan keterampilan dalam menilai performans yang merupakan dasar dalam memperbaiki program pemuliaan secara praktis. Suatu hal yang perlu dilakukan dalam melaksanakan seleksi adalah bagaimana sistem perkawinan yang dipakai dalam usaha peternakan. Apabila hal ini dilakukan dan kalau berhasil maka akan terjadi perubahan frekuensi gen dan individu ternak yang lemah dapat tersisihkan. Keadaan ini akan lebih mempercepat target akhir yang akan dicapai. Harus pula dibedakan pemakaian istilah seleksi dan penyisihan (*culling*), karena implikasinya sangat berbeda. Seleksi adalah bertujuan meningkatkan sifat produksi, sedangkan penyisihan (*culling*) adalah bersifat negatif dan tidak ada kepentingannya yang berkaitan dengan usaha pemuliaan dan bermaksud untuk menghilangkan atau melindungi adanya pengaruh yang mengganggu kemajuan usaha peternakan.

Dalam melaksanakan seleksi terhadap individu-individu ternak, dasar utama yang diperhatikan berkaitan sifat-sifat dan silsilah ternak yaitu:

1. Pada waktu lampau dimana pedigree dari individu-individu ternak yang telah diuji untuk beberapa generasi yang lalu.
2. Pada saat sekarang dimana performans atau sifat-sifat yang terlihat dari masing-masing individu dan juga saudaranya (*brothersandsisters*) yang dipakai dalam pameran terakhir.
3. Pada waktu yang akan datang dimana manfaat program pemuliaan dari masing-masing individu dalam pameran dapat terlihat pada performansnya dari masing-masing turunannya secara terukur pada anak-anaknya.

Seleksi yang diharapkan oleh para peternak adalah memisahkan individu-individu yang murni dari gen yang diharapkan dengan mengawinkannya untuk membentuk individu baru atau sampai tercapainya kombinasi yang diinginkan dalam usaha peternakan.

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

### **a. Nilai Genetik**

Nilai genetik dan rata-rata populasi ditentukan dengan menggunakan data kajian pada ternak sapi PO. Datafenotip yang dimaksud adalah bobot badan induk (kg) seperti pada Bab 7, Tabel 7.2. Bobot badan itu dipengaruhi oleh genotip hanya pada satu lokus *GH-Msp1*. Populasi dianggap jadi seimbang dengan adanya frekuensi gen dan pengukuran fenotip seperti pada Tabel 9.1.

**Tabel 9.1. Rata-rata bobot badan induk G0 pada setiap genotip restriksi enzim *MspI*.**

GenotipFrekuensi	Fenotip (rata-rata, kg)	
GH-Msp1 <sup>+/+</sup>	p <sup>2</sup>	P <sub>11</sub> = 405,33
GH-Msp1 <sup>+/-</sup>	2pq	P <sub>12</sub> = 498,07
GH-Msp1 <sup>-/-</sup>	q <sup>2</sup>	P <sub>22</sub> = 404,73

Alel-alel dibedakan melalui tanda huruf, dengan *GH-MspI*<sup>+</sup>, yang dapat meningkatkan jumlah bobot badan. Huruf untuk fenotip (P) menunjukkan bahwa alel-alel mewakili genotip yang ditulis dengan P. Genotip ternak dapat berpengaruh dalam pengukuran yang diperoleh pada fenotip. Untuk itu genotip memiliki nilai tertentu yang diukur dalam satuan kg dari suatu sifat. Nilai genotip ditetapkan sebagai deviasi dari fenotip dari rata-rata dua fenotip homisigot, P<sub>11</sub> dan P<sub>22</sub>. 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,  $m = \frac{1}{2} (405,33 + 404,73) = 405,03$  kg dan nilai genotip untuk setiap tiga genotip adalah seperti terlihat pada Tabel 9.2.

Karena *m* ditentukan sebagai rata-rata fenotip untuk dua genotip homisigot, maka nilai GH-Msp1<sup>-/-</sup> (yaitu -a) adalah negatif dari hasil untuk GH-Msp1<sup>+/+</sup> (yaitu a).

**Tabel 9.2. Nilai genetik pada setiap genotip restriksi enzim *MspI*.**

Genotip Nilai genetik (V)	
GH-Msp1 <sup>+/+</sup>	$V_{11} = P_{11} - m = \mathbf{a} = 0,30\text{kg}$
GH-Msp1 <sup>+/-</sup>	$V_{12} = P_{12} - m = \mathbf{d} = 93,04 \text{ kg}$
GH-Msp1 <sup>-/-</sup>	$V_{22} = P_{22} - m = -\mathbf{a} = -0,30\text{kg}$

Keuntungan mengetahui nilai genotip dari **a**, **d** dan **-a** adalah untuk memperoleh rumus umum untuk rata-rata dan varians populasi. Hubungan **d** ke **a** dapat menentukan jenis dominan, yaitu seperti pada Tabel 9.3.

**Tabel 9.3. Hubungan nilai genotip dengan kerja gen pada sifat produksi ternak.**

Hubungan d ke a	Hubungan fenotip	Kerja gen
$d > a$	$P_{12} > P_{11}$	Over dominance
$d = a$	$P_{12} = P_{11}$	Complete dominance B <sub>1</sub>
$0 < d < a$	$m < P_{12} < P_{11}$	Incomplete dominance B <sub>1</sub>
$d = 0$	$P_{12} = m$	No dominance
$0 > d > -a$	$m > P_{12} > P_{22}$	Incomplete dominance B <sub>2</sub>
$d = -a$	$P_{12} = P_{22}$	Complete dominance B <sub>2</sub>
$d < -a$	$P_{12} < P_{22}$	Over dominance

Setiap fenotip dapat ditulis dengan persamaan (Van Vleck, 1987) sebagai berikut:

$$P_{ij} = m + V_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

Model ini diasumsikan tidak ada pengaruh-pengaruh lingkungan terhadap fenotip dan pengukuran P dilakukan tanpa error.

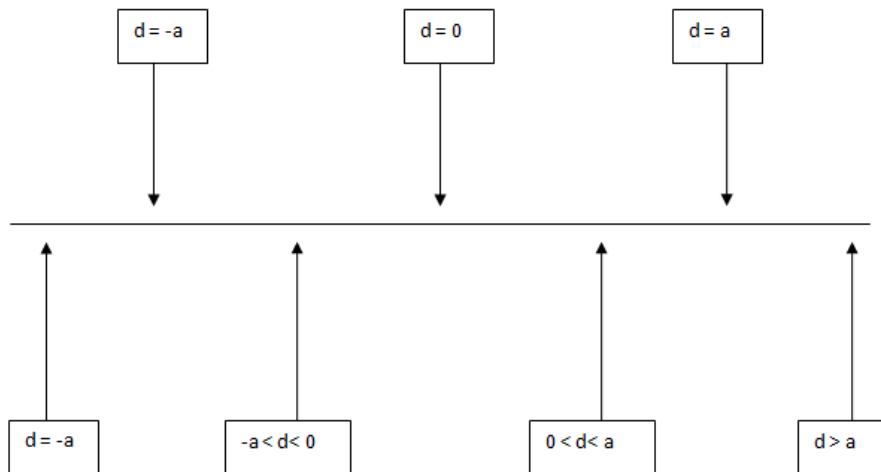
**b. Rata-Rata Populasi.**

Parameter populasi yang dimaksud pada sifat-sifat yang diukur adalah rata-rata populasi (average) yang dinotasikan dengan simbol  $\mu$  (myu). Rataan (mean) dihitung sebagai jumlah dari semua pengukuran fenotip dibagi dengan jumlah fenotip yang diamati. Untuk model lokus tunggal (Van Vleck, 1987), perhitungannya adalah:

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

Nilai  $\mu$  untuk suatu populasi dalam keseimbangan *Hardy-Weinberg* adalah:

$$\mu = p^2 P_{11} + 2pq P_{12} + q^2 P_{22}$$



**Gambar 9.1. Hubungan nilai genotipe dengan kerja gen pada sifat produksi ternak**  
 Suatu alternatif perhitungan formula untuk memperoleh rata-rata (mean) dapat didasarkan pada substitusi  $m + V_{ij}$  untuk setiap fenotip, misalnya

$m + a$  untuk  $P_{11}$  (Van Vleck, 1987). Untuk populasi dalam suatu keseimbangan *Hardy-Weinberg*, rata-rata (mean) 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 adalah:

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

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 bobot dalam populasi.

Dalam sampel induk ( $G_0$ ) sapi PO pada kajian ini, nilai  $m = 405,03\text{kg}$ ,  $a = 0,3 \text{ kg}$  dan  $d = 93,04 \text{ kg}$ . Frekuensi gen  $GH-MspI^+$  pada induk  $G_0$  pada Bab 6, Tabel 6.1 ( $24/74$ ) = 0,32; sehingga  $(p) = 0,32$  dan frekuensi gen  $GH-MspI^-$  ( $q$ ) = 0,68, maka nilai  $\mu$  dapat dihitung seperti berikut:

$$\begin{aligned} \mu &= m + [a (p - q) + 2pqd] \\ &= 405,03 + [0,3(0,32 - 0,68) + 2\{(0,32)(0,68)(93,04)\}] \\ &= 445,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian, maka rata-rata bobot badan induk ( $G_0$ ) pada populasi ternak sapi PO diduga sebesar 445,41 kg.

**B. Analisis Respons Seleksi Rataan Bobot Badan Populasi Ternak**

Tahapan pertama dalam mengembangkan program seleksi adalah menetapkan tujuan yang dicapai dengan seleksi. Misalnya dalam sifat bobot badan, 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 9.4.

**Tabel 9.4. Nilai genotip bobot badan induk  $G_0$  pada masing-masing genotip  $GH-MspI$**

Genotip induk ( $G_0$ )	Frekuensi genotip ( $G_0$ )	Nilai genetik (kg)
$GH-MspI^{+/+}$	$(0,32)^2 = 0,10$	$a = 0,30$
$GH-MspI^{+/-}$	$2(0,32)(0,68) = 0,44$	$d = 93,04$
$GH-MspI^{-/-}$	$(0,68)^2 = 0,46$	$- a = - 0,30$

Rata-rata (mean) populasi dari progeny ( $\mu_1$ ) adalah:

$$\mu_1 = m + [a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d] \dots \dots \dots (3)$$

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:

$$\hat{u} = \mu_1 - \mu \dots \dots \dots (4)$$

Selanjutnya berdasarkan sampel anak ( $G_1$ ) sapi PO, frekuensi alel  $GH-MspI^+$  pada Bab 6 (Tabel 6.2) terjadi perubahan frekuensi sebagai gen  $p_1$  ( $\frac{28}{74} = 0,38$ ), sehingga sebaran gen  $p_1 = 0,38$ , maka

frekuensi  $GH-MspI^+$  dan nilai genotip populasi pada anak  $G_1$  adalah seperti terlihat pada Tabel 9.5.

**Tabel 9.5. Nilai genotip bobot badan Anak  $G_1$  pada masing-masing genotip  $GH-MspI$**

Genotip anak ( $G_1$ )	Frekuensi genotip ( $G_1$ )	Nilai genotip (kg)
$GH-MspI^{+/+}$	$(0,38)^2 = 0,15$	$a = 0,30$
$GH-MspI^{+/-}$	$2(0,38)(0,62) = 0,47$	$d = 93,04$
$GH-MspI^{-/-}$	$(0,62)^2 = 0,38$	$- a = -0,30$

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

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= m + a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d. \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\
 &= 405,03 + [0,3(0,38 - 0,62) + 2 \times 0,38 \times 0,62 \times 93,04] \\
 &= 405,03 - 0,072 + 43,73 \\
 &= \mathbf{448,69 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Dengan rata-rata populasi ( $\mu_1$ ) sebesar 448,69 kg, maka respons seleksi ( $\hat{u}$ ) dari generasi induk tetua ( $G_0$ ) ke generasi anak (*progeny*,  $G_1$ ), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\
 &= 448,69 \text{ kg} - 445,41 \text{ kg} \\
 &= \mathbf{3,38 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Jika berdasarkan hanya sampel anak ( $G_1$ ) dari induk sapi PO bobot badan superior yang dikembangkan, maka frekuensi alel  $GH-MspI^+$  pada Bab 6 (Tabel 6.2) terjadi perubahan frekuensi sebagai gen  $p_1$  ( $20/40 = 0,50$ ), sehingga sebaran gen  $p_1 = 0,50$ . Dengan demikian,



frekuensi  $GH-MspI^{+}$  dan nilai genotip populasi pada anak  $G_1$  adalah seperti terlihat pada Tabel 9.6.

**Tabel 9.6. Nilai genotip bobot badan Anak  $G_1$  pada masing-masing genotip  $GH-MspI$**

Genotip anak ( $G_1$ )	Frekuensi genotip ( $G_1$ )	Nilai genotip (kg)
$GH-MspI^{+/+}$	$(0,50)^2 = 0,25$	$a = 0,30$
$GH-MspI^{+/-}$	$2(0,50)(0,50) = 0,50$	$d = 93,04$
$GH-MspI^{-/-}$	$(0,25)^2 = 0,50$	$-a = -0,30$

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

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= m + a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\
 &= 405,03 + [0,3(0,50 - 0,50) + 2 \times 0,50 \times 0,50 \times 93,04] \\
 &= 405,03 - 0 + 46,52 \\
 &= \mathbf{451,55 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Dengan rata-rata populasi ( $\mu_1$ ) sebesar 451,55 kg, maka respons seleksi ( $\hat{u}$ ) dari generasi induk tetua ( $G_0$ ) ke generasi anak (*progeny*,  $G_1$ ), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\
 &= 451,55 \text{ kg} - 445,41 \text{ kg} \\
 &= \mathbf{6,14 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

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  $p_1 = 1/(1+q) = 2/3$ .

**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 9.7.

**Tabel 9.7. 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  $m = 405,03$  adalah:

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= m + a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\
 &= 405,03 + [0,3(2/3 - 1/3) + 2(2/3)(1/3)93,04] \\
 &= 405,03 + 0,1 + 41,35 \\
 &= \mathbf{446,48\text{kg}}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\
 &= 446,48 \text{ kg} - 445,41 \text{ kg} \\
 &= \mathbf{1,07 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Karena  $m$  adalah konstan, maka perubahan nilai rata-rata (mean) adalah hasil peningkatan rata-rata nilai genetik melalui peningkatan frekuensi gen  $GH-MspI^+$ . Dari kajian di atas, jika seleksi dibuat hanya membiarkan ternak-ternak genotip ( $GH-MspI^{+/+}$ ) yang berkembang, maka rata-rata generasi keturunan (progeny) akan menjadi 405.33 kg (Tabel 9.1), yaitu  $p = 1$ . Gen  $GH-MspI^+$  bisa menjadi tetap pada generasi keturunan (progeny) sehingga tidak ada lagi respon seleksi selanjutnya yang terjadi. Sifat telah berada pada batas tertinggi sifat genetik ini.

Sebaliknya, 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 9.8.

**Tabel 9.8. 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  $m = 405,03$  adalah:

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= m + a(p_1 - q_1) + 2p_1q_1d \dots\dots\dots \text{(Rumus ke-3)} \\
 &= 405,03 + [0,3(1/3 - 2/3) + 2(1/3)(2/3)93,04] \\
 &= 405,03 - 0,1 + 41,35 \\
 &= \mathbf{446,28\text{kg}}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \hat{u} &= \mu_1 - \mu \\
 &= 446,28 \text{ kg} - 445,41 \text{ kg} \\
 &= \mathbf{0,87 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Karena  $m$  adalah konstan, maka perubahan nilai rata-rata (mean) adalah hasil peningkatan rata-rata nilai genetik melalui peningkatan frekuensi gen  $GH-MspI^-$ . Dari kajian di atas, jika seleksi dibuat hanya membiarkan ternak-ternak genotip ( $GH-MspI^{-/-}$ ) yang berkembang, maka rata-rata generasi keturunan (*progeny*) akan menjadi 404.73 (Tabel 9.1), yaitu  $p = 1$ . Gen  $GH-MspI^+$  bisa menjadi tetap pada generasi keturunan (*progeny*) sehingga tidak ada lagi respon seleksi selanjutnya yang terjadi. Sifat telah berada pada batas tertinggi sifat genetik ini.

Dengan menggunakan hasil pengamatan bobot badan (BB) 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 9.9.

**Tabel 9.9. 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 $G_1$ (kg)
<b>Pilihan I:</b>			
$GH-Msp1^{+/+}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{+/+} = 0,38$	3,38
$GH-Msp1^{+/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{+/-} = 0,47$	
$GH-Msp1^{-/-}$	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{-/-} = 0,15$	
<b>Pilihan II:</b>			
	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{+/+} = 0,25$	6,14
	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{+/-} = 0,50$	
	$Kr-Msp^{+/+} & Tu-Msp^{-/-}$	$GH-Msp1^{-/-} = 0,25$	
<b>Pilihan III:</b>			
$GH-Msp1^{+/+}$	$Kr-Msp^{+/+}$	$GH-Msp1^{+/+} = 2/3$	1,07
$GH-Msp1^{+/-}$	$Kr-Msp^{+/+}$	$GH-Msp1^{+/-} = 2/3$	
		$GH-Msp1^{-/-} = 1/3$	

Pilihan IV:			
$GH-MspI^{+/-}$	$Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/+}=1/3$	0,87
$GH-MspI^{-/-}$	$Tu-Msp^{-/-}$	$GH-MspI^{+/-}=2/3$	
		$GH-MspI^{-/-}=2/3$	

Dari Tabel 9.9 terlihat bahwa untuk mendapatkan respon seleksi bobot badan yang tinggi (6,14 kg) pada setiap generasi, maka metode persilangan ternak dapat dilakukan melalui persilangan pilihan 2, yang melibatkan semua genotip induk sapi PO dengan bobot badan superior dikawinkandengan pejantan Krista ( $Kr-Msp^{+/+}$ ) dan Tunggul ( $Tu-Msp^{-/-}$ ) untuk membentuk sebaran frekuensi gen ( $GH-MspI^{+}$ ),  $p = 0,50$  dan gen ( $GH-Msp^{-}$ ),  $q = 0,50$ .

### C. Analisis Nilai Pemuliaan (*Breeding Value*) Bobot Badan Ternak

Perbedaan dalam fenotip-fenotipternak pada lokus tunggal adalah merupakan suatu fungsi dari nilai genotip (Van Vleck, 1987). Misalnya:

$$P_{11} - P_{22} = (m + a) - (m - a) = 2a \dots \dots \dots (5)$$

Dengan dominan penuh (*complete dominance*),  $P_{11} = P_{12}$ , maka secara fenotip individu-individu hewan adalah sama. Induk tetua tidak dapat menurunkan genotip-genotip pada keturunan-keturunan mereka, tetapi nampak hanya dapat menurunkan pada sampel secara acak dari satu gen pada setiap lokus progeny. Pertanyaan ialah genotip tetua mana yang akan menghasilkan progeny dengan nilai rata-rata tertinggi?

Jawaban pertanyaan di atas akan menentukan suatu nilai pemuliaan (*Breeding value*). Istilah nilai pemuliaan adalah mengarah pada nilai suatu ternak dalam program pemuliaan. *Nilai pemuliaan* adalah suatu pengukuran performan anak yang diharapkan dalam hubungan dengan rata-rata populasi (*population mean*). Untuk lokus tunggal, nilai pemuliaan untuk setiap genotip dihitung sebagai *dua kali* perbedaan dari nilai rata-rata anak (*progeny*) yang diharapkan dari rata-rata populasi. Alasan untuk pelipatan deviasi progeny ialah bahwa progeny mengandung hanya setengah dari gen-gen induk tetua. Deviasi progeny itu sendiri menunjukkan kemampuan mewariskan (*transmitting ability*) oleh induk tetua, yang merupakan setengah dari nilai pemuliaan.

Asumsi jantan dengan genotip  $GH-Msp1^{+/+}$  dikawinkan dengan populasi betinagenotipsepertipada Tabel 9.10, maka frekuensi genotip yang diharapkan dari progeny dapat ditentukan dari probabilitas union antara alel-alel dari jantan dan kumpulan gen dari betina. Dengan jantan

genotip  $GH-Msp1^{+/+}$ , probabilitas gen  $GH-Msp1^+$  adalah 1 dan probabilitas gen  $GH-Msp1^-$  adalah 0.

**Tabel 9.10. Nilai dan frekuensi genotip oleh individu dengan genotip restriksi enzim  $GH-Msp$  yang berbeda**

Genotip	Frekuensi genotip	Nilai genotip
$GH-Msp1^{+/+}$	$p^2$	a
$GH-Msp1^{+/-}$	$2pq$	d
$GH-Msp1^{-/-}$	$q^2$	- a

Dalam kumpulan gen betina, probabilitas yang menggambarkan gen  $GH-Msp1^+$  adalah p dan probabilitas yang menggambarkan gen  $GH-Msp1^-$  adalah q. Untuk itu, frekuensi genotip  $GH-Msp1^{+/+}$  pada progeny diharapkan menjadi  $P(GH-Msp1^+ \text{ dari jantan}) P(GH-Msp1^+ \text{ dari betina}) = p$ , dan  $f(GH-Msp1^{+/-})$  diharapkan menjadi  $P(GH-Msp1^+ \text{ dari jantan}) P(GH-Msp1^- \text{ dari betina}) = q$ . Frekuensi genotip progeny dan nilai genotip adalah terlihat pada Tabel 9.11.

**Tabel 9.11. Frekuensi gen progeny dan nilai genotip hasil perkawinan induk tanpa melibatkan pejantan genotip  $GH-Msp1^{-/-}$  dalam populasi**

Genotip	Frekuensi	Nilai genotip
$GH-Msp1^{+/+}$	p	a
$GH-Msp1^{+/-}$	q	d
$GH-Msp1^{-/-}$	0	- a

$\{\text{♂ } GH-Msp1^{+/+} \times \text{♀ } GH-Msp1^{+/+}\} \rightarrow \text{semua } GH-Msp1^{+/+}$

$\text{♀ } GH-Msp1^{+/-} \} \rightarrow GH-Msp1^{+/+} \& GH-Msp1^{+/-} \rightarrow GH-Msp1^{-/-} = 0$



$$\text{♀ } GH-MspI^{+/-} \} \rightarrow \text{ semua } GH-MspI^{+/-} \rightarrow GH-MspI^{-/-} = 0$$

Rata-rata yang diharapkan pada progeny jantan ( $\text{♂ } GH-MspI^{+/+}$ ) yang diberi notasi  $\mu_{II}$  adalah jumlah produk frekuensi genotip dan nilai-nilai fenotip yang berkaitan (Van Vleck, 1987), yaitu:

$$\begin{aligned} \mu_{II} &= f(GH-MspI^{+/+}) P_{11} + f(GH-MspI^{+/-}) P_{12} + f(GH-MspI^{-/-}) P_{22} \\ &= p(m+a) + q(m+d) + 0(m-a) \\ &= m(p+q) + pa + qd \\ &= \mathbf{m + pa + qd} \dots \dots \dots \end{aligned}$$

. (6)

Nilai pemuliaan dari jantan ( $\text{♂ } GH-MspI^{+/+}$ ), donotasikan  $BV_{11}$ , adalah dua kali deviasi dari rata-rata progeny mereka dari rata-rata populasi (Van Vleck, 1987), yaitu:

$$\begin{aligned} BV_{11} &= 2(\mu_{II} - \mu) \rightarrow \text{ rumus (ke-6) - rumus (ke-2)} \\ &= 2[\mathbf{m + pa + qd} - \{m + a(p - q) + 2pqd\}] \\ &= 2[m + pa + qd - m - a(p - q) - 2pqd] \\ &= 2[\cancel{m} + \cancel{pa} + qd - \cancel{m} - \cancel{pa} + qa - 2pqd] \\ &= 2[qd + qa - 2pqd] \\ &= 2[qa + qd - qd(2p)] \\ &= 2[qa + qd(1 - 2p)] \\ &= 2q[a + d\{1 - p - p\}] \\ &= 2q[a + d\{1 - p - (1 - q)\}] \\ &= 2q[a + d\{1 - p - 1 + q\}] \\ &= \mathbf{2q[a + d(q - p)]} \dots \dots \dots \end{aligned}$$

..

(7)

Demikian pula, nilai pemuliaan ( $BV_{22}$ ), frekuensi gen progeny dan nilai genotip hasil perkawinan induk tanpa melibatkan pejantan genotip  $GH-MspI^{+/+}$  dalam populasi adalah seperti terlihat pada Tabel 9.12.

**Tabel 9.12. Frekuensi gen progeny dan nilai genotip hasil perkawinan induk tanpa melibatkan pejantan genotip  $GH-MspI^{+/+}$  dalam populasi**

Genotip	Frekuensi	Nilai genotip
$GH-MspI^{+/+}$	0	a
$GH-MspI^{+/-}$	p	d
$GH-MspI^{-/-}$	q	- a

Demikian pula, nilai pemuliaan ( $BV_{22}$ ), akan diperoleh dengan solusi yang digambarkan dalam Van Vleck (1987), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{♂ } GH-MspI^{-/-} \times \text{♀ } GH-MspI^{+/+} \} &\rightarrow \text{ semua } GH-MspI^{+/-} \\ \text{♀ } GH-MspI^{+/-} \} &\rightarrow GH-MspI^{+/+} \& GH-MspI^{+/-} \rightarrow GH-MspI^{+/+} = 0 \end{aligned}$$

$$\text{♀ } GH-MspI^{-/-} \} \rightarrow \text{ semua } GH-MspI^{-/-} \rightarrow GH-MspI^{+/+} = 0$$

$$\mu_{22} = f(GH-MspI^{+/+}) P_{11} + f(GH-MspI^{+/-}) P_{12} + f(GH-MspI^{-/-})$$

$P_{22}$

$$\begin{aligned} &= 0(m+a) + p(m+d) + q(m-a) \\ &= m(p+q) + pd - qa \\ &= m + pd - qa \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

$$BV_{22} = 2(\mu_{22} - \mu) \rightarrow \text{ rumus (8) - rumus (2).}$$

$$\begin{aligned} &= 2[m + pd - qa - \{m + a(p-q) + 2pqd\}] \\ &= 2[m + pd - qa - m - a(p-q) - 2pqd] \\ &= 2[m + pd - qa - m - pa + qa - 2pqd] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2[pd - pa - 2pqd] \\
&= 2[-pa - pd(-1 + 2q)] \\
&= -2pa - 2pd(-1 + 2q) \\
&= -2p[a + d\{-1 + (q + q)\}] \\
&= -2p[a + d\{-1 + q + (1 - p)\}] \\
&= -2p[a + d\{-1 + q + 1 - p\}] \\
&= -2p[a + d(q - p)] \dots \dots \dots (9)
\end{aligned}$$

Demikian pula, nilai pemuliaan ( $BV_{12}$ ), adalah:

$$BV_{12} = 2(\mu_{12} - \mu)$$

Dengan nilai pemuliaan ( $BV_{12}$ ), maka frekuensi gen progeny dan nilai genotip hasil perkawinan induk tanpa melibatkan pejantan genotip  $GH-MspI^{+/-}$  dalam populasi adalah seperti terlihat pada Tabel 9.13.

**Tabel 9.13. Frekuensi gen progeny dan nilai genotip hasil perkawinan induk tanpa melibatkan pejantan genotip  $GH-MspI^{+/-}$  dalam populasi**

Genotip	Frekuensi	Nilai genotip
$GH-MspI^{+/+}$	p	a
$GH-MspI^{+/-}$	0	d
$GH-MspI^{-/-}$	q	- a

♂  $GH-MspI^{-/-}$  x ♀  $GH-MspI^{+/+}$  } → semua  $GH-MspI^{+/+}$   
♀  $GH-MspI^{+/-}$  } →  $GH-MspI^{-/-}$  &  $GH-MspI^{+/-}$  →  $GH-MspI^{+/+} = 0$   
♀  $GH-MspI^{-/-}$  } → semua  $GH-MspI^{-/-}GH-MspI^{+/-} = 0$ ;  $GH-MspI^{+/+} = 0$

$$\begin{aligned}
& \text{♂ } GH-MspI^{+/+} \times \text{♀ } GH-MspI^{+/+} \longrightarrow \text{semua } GH-MspI^{+/+} \\
& \quad \text{♀ } GH-MspI^{+/-} \longrightarrow GH-MspI^{+/+} \text{ dan } GH-MspI^{+/-} \longrightarrow GH-MspI^{+/-} \\
& = 0 \\
& \text{♀ } GH-MspI^{+/-} \longrightarrow \text{semua } GH-MspI^{+/-} \longrightarrow GH-MspI^{+/+} \& GH-MspI^{+/-} = \\
& 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{12} &= f(GH-MspI^{+/+}) P_{11} + f(GH-MspI^{+/-}) P_{12} + f(GH-MspI^{+/-}) \\
P_{22} \\
&= p(m+a) + 0(m+d) + q(m-a) \\
&= m(p+q) + a(p-q) \\
&= \mathbf{m + a(p - q)} \dots \dots \dots \mathbf{(10)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{BV}_{12} &= 2(\mu_{12} - \mu) \rightarrow \text{rumus (10)} - \text{rumus (2)} \\
&= 2[\mathbf{m + a(p - q)} - \{m + a(p - q) + 2pqd\}] \\
&= 2[m + pa - qa - m + a(p - q) - 2pqd] \\
&= 2[\mathbf{m} + pa - qa - \mathbf{m} + pa - qa - 2pqd] \\
&= 2[2pa - 2qa - 2pqd] \\
&= 2[pa - qa - pqd] \\
&= 2[a(p-q) - pd(q)] \\
&= 2[1-q(q\{a + d(-1- p)\})] \\
&= 1-q+1-q[a + d\{-1 + q - p\}] \\
&= 2p[a+d\{-1-q+1+q+1-p(1-q)\}] \\
&= -1+q+1-p[a + d\{-1 + q + 1 - p\}] \\
&= \mathbf{(q - p)[ a + d(q - p)]} \dots \dots \dots \mathbf{(11)}
\end{aligned}$$

Istilah  $[a + d(q - p)]$ , yang ada pada nilai pemuliaan (*Breeding Value*) dari setiap genotip biasanya diberi notasi dengan  $\alpha$  (alfa) (Van Vleck, 1987).

Istilah  $\alpha = [a + d(q - p)]$ . . . . . (12)

Nilai  $\alpha$  sering dipakai sebagai efek rata-rata dari substitusi gen. *Nilai pemuliaan* adalah suatu fungsi dari frekuensi gen dan nilai-nilai genotip. Frekuensi gen adalah mungkin dapat berbeda-beda dari suatu populasi ke populasi lain, dan begitu juga nilai-nilai pemuliaan. Dua kasus yang menggunakan bobot badan induk sapi PO akan diuji: Pertama,  $f(GH-Mspl^+) = 0,32$  dan kedua  $f(GH-Mspl^+) = 0,68$ . Untuk itu nilai pemuliaan (Van Vleck, 1987) adalah seperti terlihat pada Tabel 9.14.

**Tabel 9.14. Nilai pemuliaan (*Breeding value*) pada setiap genotip ternak yang berbeda.**

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

Dengan kajian hasil pengamatan lapangan, bobot badan induk G0, frekuensi alel  $GH-Mspl^+$  (terdapat pada Tabel 6.1) sebagai gen p ( $2^4/74$ ) = 0,32, sehingga sebaran gen p = 0,32, maka frekuensi  $GH-Mspl^+$  dan nilai genotip populasi adalah seperti terlihat pada Tabel 9.15.

**Tabel 9.15. Nilai genotip bobot badan hasil pengamatan pada induk sapi PO**

Genotip	Frekuensi	Nilai genotip (kg)
$GH-MspI^{+/+}$	$(0,32)^2 = 0,10$	$a = 0,30$
$GH-MspI^{+/-}$	$2(0,32)(0,68) = 0,44$	$d = 93,04$
$GH-MspI^{-/-}$	$(0,68)^2 = 0,46$	$-a = -0,30$

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

$$\begin{aligned} \mu &= m + a(p - q) + 2pqd \\ &= 405,03 + [0,3(0,32 - 0,68) + 2 \times 0,32 \times 0,68 \times 93,04] \\ &= \mathbf{445,41 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Untuk populasi ini, efek rata-rata dari substitusi gen adalah:

$$\begin{aligned} \alpha &= a + d(q - p), \\ &= 0,3 + 93,04(0,68 - 0,32) \\ &= \mathbf{33,79 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Kedua induk tetua  $GH-MspI^{+/+}$  dan  $GH-MspI^{+/-}$  akan meningkatkan rata-rata populasi karena kedua nilai pemuliaan adalah positif. Nilai pemuliaan adalah seperti terlihat pada Tabel 9.16.

**Tabel 9.16. Nilai pemuliaan (*Breeding value*) bobot badan hasil pengamatan pada induk sapi PO**

Genotip	Nilai Pemuliaan (kg)
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha = 2(0,68)(33,79) = \mathbf{45,95}$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q-p)\alpha = (0,68-0,32)(33,79) = \mathbf{12,16}$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha = -2(0,32)(33,79) = \mathbf{-21,63}$

#### D. Analisis Deviasi Dominan Bobot Badan Ternak

Pada kajian dilapangan, nilai-nilai genotip dan nilai pemuliaan bobot badan induk adalah terlihat pada Tabel 9.17. Nilai pemuliaan adalah nilai setiap genotip sebagai induk tetua. Karena tetua mewariskan satu atau lebih gen-gennya yang lain pada setiap progeny, maka nilai pemuliaan menunjukkan jumlah nilai dari setiap alel dalam genotip (Van Vleck, 1987). Pertanyaan yang timbul ialah mengapa nilai-nilai genotip dan nilai pemuliaan berbeda?

**Tabel 9.17. Nilai genotip dan nilai pemuliaan kajian bobot badan induk sapi PO**

Genotip	Nilai genotip (kg)	Nilai pemuliaan (kg)
<i>GH-MspI</i> <sup>+/+</sup>	a = 0,30	45,95
<i>GH-MspI</i> <sup>+/-</sup>	d = 93,04	12,16
<i>GH-MspI</i> <sup>-/-</sup>	- a = -0,30	-21,63

Perbedaan antara nilai genotip ( $V_{ij}$ ) dan nilai pemuliaan ( $BV_{ij}$ ), untuk *GH-MspI*<sup>+/+</sup> dapat diuraikan sebagai berikut:

Untuk *GH-MspI*<sup>+/+</sup> :

$$\begin{aligned}
 (V_{11}) - (BV_{11}) &= a - 2q \alpha \\
 &= a - 2q[a + d(q - p)] \\
 &= a - 2q[a + qd - pd] \\
 &= a - 2qa - 2q^2d + 2pqd \\
 &= a - (q + 1 - p)a - 2q^2d + 2pqd \\
 &= a - qa - a + pa - 2q^2d + 2pqd \\
 &= a(p - q) - 2q^2d + 2pqd
 \end{aligned}$$

$$= a(p - q) + 2pqd - 2q^2d. \dots \dots \dots (13)$$

Untuk  $GH-MspI^{+/+}$  :

$$\begin{aligned} (V_{12}) - (BV_{12}) &= d - (q - p) \alpha \\ &= d - (q - p)[a + d(q - p)] \\ &= d - qa + pa + d[(q - p)(-q + p)] \\ &= d + a(p - q) + d[-q^2 + 2pq - p^2] \\ &= d + a(p - q) - q^2d + 2pqd - p^2d \\ &= d + a(p - q) + 2pqd - q^2d - p^2d \\ &= d + a(p - q) + 2pqd - d(p^2 + q^2) \\ &= d + a(p - q) + 2pqd - d[p(1 - q) + q(1 - p)] \\ &= d + a(p - q) + 2pqd - d[p - pq + q - pq] \\ &= d + a(p - q) + 2pqd - dp + pqd - dq + pqd \\ &= d + a(p - q) + 2pqd + 2pqd - dp - dq \\ &= d + a(p - q) + 2pqd + 2pqd - d(p + q) \\ &= d + a(p - q) + 2pqd + 2pqd - dp - d(1 - p) \\ &= d + a(p - q) + 2pqd + 2pqd - dp - d + dp \\ &= a(p - q) + 2pqd + 2pqd. \dots \dots \dots (14) \end{aligned}$$

Untuk  $GH-MspI^{-/-}$  :

$$\begin{aligned} (V_{22}) - (BV_{22}) &= -a - (-2p \alpha) \\ &= -a - (-2p[a + d(q - p)]) \\ &= -a - (-2pa - 2pqd + 2p^2d) \\ &= -a + 2pa + 2pqd - 2p^2d \\ &= -a + (p + 1 - q)a + 2pqd - 2p^2d \\ &= -a + pa + a - qa + 2pqd - 2p^2d \\ &= a(p - q) + 2pqd - 2p^2d. \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

Istilah  $[a(p - q) + 2pqd]$  adalah rata-rata nilai genotip dari populasi ( $\mu$ ) dan muncul dalam perbedaan  $[(V_{ij}) - (BV_{ij})]$  untuk setiap genotip. Istilah



yang tersisa dalam setiap perbedaan di atas menunjukkan sebagai deviasi dominan yang diberi notasi ( $\mathbf{D}_{ij}$ ), yaitu:

$$(\mathbf{D}_{11}) = -2q^2d$$

$$(\mathbf{D}_{12}) = 2pqd$$

$$(\mathbf{D}_{22}) = -2p^2d$$

Deviasi dominan dapat ditetapkan sebagai nilai dari kombinasi gen dalam genotip. Dengan demikian, nilai genotip ( $\mathbf{V}_{ij}$ ) dapat diurai seperti penjumlahan berikut ini:

$$\mathbf{V}_{ij} = \text{Rata-rata nilai genotip} + \mathbf{BV}_{ij} + \mathbf{D}_{ij}$$

Untuk itu nilai pada setiap genotip, nilai genotip, nilai pemuliaan dan deviasi dominan (Van Vleck, 1987) adalah seperti terlihat pada Tabel 9.18.

Di awal pembahasan, fenotip ternak ditulis seperti berikut:

$$\mathbf{P}_{ij} = m + \mathbf{V}_{ij}$$

Model ini sekarang bisa ditulis (Van Vleck, 1987):

$$\mathbf{P}_{ij} = \mu + \mathbf{BV}_{ij} + \mathbf{D}_{ij}$$

$$\mathbf{P}_{ij} = m + [a(p - q) + 2pqd] + \mathbf{BV}_{ij} + \mathbf{D}_{ij} \dots\dots\dots$$

.. (16)

**Tabel 9.18. 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)
<i>GH-MspI<sup>+/+</sup></i>	a	2q $\alpha$	- 2q <sup>2</sup> d
<i>GH-MspI<sup>+/-</sup></i>	d	(q - p) $\alpha$	2pqd
<i>GH-MspI<sup>-/-</sup></i>	- a	-2p $\alpha$	- 2p <sup>2</sup> d

Dibawah ini, fenotip diurai kedalam bagian-bagian komponennya. Untuk kajian bobot badan induk sapi PO, alel p = 0,32 (Bab 6, Tabel 6.1) pada frekuensi gen *GH-MspI<sup>+</sup>*, sehingga:

$$\begin{aligned} \mu &= m + [a(p - q) + 2pqd] \\ &= 405,03 + [0,3(0,32 - 0,68) + 2 \times 0,32 \times 0,68 \times 93,04] \\ &= \mathbf{445,41 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Dan

$$\begin{aligned} \alpha &= a + d (q - p) \\ &= 0,3 + 93,04(0,68 - 0,32) \\ &= \mathbf{33,79 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Dengan demikian, nilai pemuliaan (**BV<sub>ij</sub>**) dan deviasi dominan (**D<sub>ij</sub>**) melalui perhitungan rumus-rumus di atas dapat terlihat seperti pada Tabel 9.19.

**Tabel 9.19. Nilai pemuliaan dan deviasi dominan bobot badan induk sapi PO**

Genotip	Nilai pemuliaan ( $BV_{ij}$ )	Deviasi Dominan ( $D_{ij}$ )
$GH-MspI^{+/+}$	$2q \alpha = 45,95$	$- 2q^2d = - 86,04$
$GH-MspI^{+/-}$	$(q-p)\alpha = 12,16$	$2pqd = 40,49$
$GH-MspI^{-/-}$	$-2p \alpha = -21,63$	$- 2p^2d = - 19,05$

Kemudian:

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \mu + BV_{11} + D_{11} \\
 &= 445,41 + 45,95 + (- 86,04) \\
 &= \mathbf{405,32}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= \mu + BV_{12} + D_{12} \\
 &= 445,41 + 12,16 + 40,49 \\
 &= \mathbf{498,06 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{22} &= \mu + BV_{22} + D_{22} \\
 &= 445,41 - 21,63 - 19,05 \\
 &= \mathbf{404,73 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

Nilai-nilai pada P11, P12 dan P22 adalah seperti terlihat pada nilai-nilai fenotip bobot badan sapi PO pada Tabel 9.1.

### E. Varians (*Variance*) dan Standar deviasi Bobot Badan Ternak

Rata-rata populasi (*population mean*) adalah merupakan rata-rata fenotip (*fenotip average*). Observasi nyata adalah berbeda-beda tentang rata-rata (*mean*), Variasi observasi tentang rata-rata dapat dihitung dan disebut varians. Varians biasanya dinotasikan dengan  $\sigma^2$  (Greek sigma kuadrat).

Varians fenotip, dinotasikan  $\sigma_p^2$ , dihitung untuk model lokus tunggal (Van Vleck, 1987) seperti berikut:

$$\sigma_p^2 = f(B_1B_1)(P_{11} - \mu)^2 + f(B_1B_2)(P_{12} - \mu)^2 + f(B_2B_2)(P_{22} - \mu)^2 \dots (17)$$

dimana,

rataan berat (*average*) deviasi kuadrat dari rata-rata (*mean*),  $(P_{ij} - \mu)^2$ . Karena  $P_{ij} - \mu = BV_{ij} + D_{ij}$  (jumlah nilai pemuliaan dan deviasi dominan), maka varians fenotip dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_p^2 &= p^2(BV_{11} + D_{11})^2 + 2pq(BV_{12} + D_{12})^2 + q^2(BV_{22} + D_{22})^2 \\ &= p^2(BV_{11}^2 + D_{11}^2 + 2BV_{11}D_{11}) + 2pq(BV_{12}^2 + D_{12}^2 + 2BV_{12}D_{12}) \\ &\quad + q^2(BV_{22}^2 + D_{22}^2 + 2BV_{22}D_{22}) \\ &= (p^2BV_{11}^2 + 2pqBV_{12}^2 + q^2BV_{22}^2) + (p^2D_{11}^2 + 2pqD_{12}^2 + q^2D_{22}^2) \\ &\quad + 2(p^2BV_{11}D_{11} + 2pqBV_{12}D_{12} + q^2BV_{22}D_{22}) \end{aligned}$$

Istilah pertama didalam kurung adalah mewakili jumlah kuadrat nilai pemuliaan, istilah kedua mewakili jumlah kuadrat nilai deviasi dominan, dan istilah ketiga mewakili jumlah produk silang antara nilai pemuliaan dan deviasi dominan.

1). Jumlah kuadrat *nilai pemuliaan* berkurang menjadi  $2pq\alpha^2$ , yaitu sebagai berikut:

$$p^2BV_{11}^2 + 2pqBV_{12}^2 + q^2BV_{22}^2 = p^2(2q\alpha)^2 + 2pq[(q - p)\alpha]^2 + q^2(-2p\alpha)^2$$

$$\begin{aligned}
&= 4p^2q^2\alpha^2 + 2pq\alpha^2(q - p)^2 + \\
4q^2p^2\alpha^2 &= 8p^2q^2\alpha^2 + 2pq\alpha^2(q^2 + p^2 - 2pq) \\
&= 8p^2q^2\alpha^2 + 2pq^3\alpha^2 + 2p^3q\alpha^2 - \\
4p^2q^2\alpha^2 &= 4p^2q^2\alpha^2 + 2pq^3\alpha^2 + 2p^3q\alpha^2 \\
&= 2pq\alpha^2(p^2 + 2pq + q^2) \\
&= 2pq\alpha^2 \dots \dots \dots (18)
\end{aligned}$$

2). Jumlah kuadrat *nilai deviasi dominan* berkurang menjadi **(2pqd)<sup>2</sup>**, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
p^2D_{11}^2 + 2pqD_{12}^2 + q^2D_{22}^2 &= p^2(-2q^2d)^2 + 2pq[(2pqd)^2 + q^2(- \\
2p^2d)^2 &= 4p^2q^4d^2 + 8p^3q^3d^2 + 4p^4q^2d^2 \\
&= 4p^2q^2d^2(q^2 + 2pq + p^2) \\
&= 4p^2q^2d^2 \\
&= (2pqd)^2 \dots \dots \dots \\
\dots \dots (19)
\end{aligned}$$

3). Jumlah produk silang antara nilai pemuliaan dan deviasi dominan adalah menjadi **nol**, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
&2p^2BV_{11}D_{11} + 4pqBV_{12}D_{12} + 2q^2BV_{22}D_{22} \\
&= 2p^2(2q\alpha)(-2q^2d) + 4pq[(q - p)\alpha](2pqd) + 2q^2(-2p\alpha)(-2p^2d) \\
&= -8p^2q^3(\alpha d) + 8p^2q^2(q - p)(\alpha d) + 8p^3q^2(\alpha d) \\
&= -8p^2q^2(q\alpha d) + 8p^2q^2(q\alpha d - p\alpha d) + 8p^2q^2(p\alpha d) \\
&= 8p^2q^2(-q\alpha d + q\alpha d - p\alpha d + p\alpha d) \\
&= 0 \dots \dots \dots (20)
\end{aligned}$$

Dengan demikian, maka

$$\sigma_p^2 = 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2 \dots \dots \dots (21)$$

yaitu merupakan jumlah kuadrat nilai pemuliaan dan kuadrat deviasi dominan. Pada keadaan seimbang:

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

dimana,

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

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

$$\begin{aligned} \mu &= m + [a(p - q) + 2pqd] \\ &= 405,03 + [0,3(0,32 - 0,68) + 2 \times 0,32 \times 0,68 \times 93,04] \\ &= \mathbf{445,41 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p^2 &= 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2; \text{ dan } \alpha = a + d(q - p), \\ &= 0,3 + 93,04(0,68 - 0,32) \\ &= \mathbf{33,79 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2(0,32)(0,68)(33,79)^2 + [2(0,32)(0,68)(93,04)]^2 \\ &= 496,90 + (40,49)^2 \\ &= \mathbf{2109,34} \end{aligned}$$

$$\text{Standar Error} = \sqrt{\sigma_p^2} = \sqrt{2109,34} = \mathbf{45,93}$$

Rataan bobot badan populasi induk sapi PO =  $\mathbf{445,41 \pm 45,95}$

## F. Analisis Nilai Heritabilitas Bobot Badan 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:

$$h^2_B = (\sigma^2_G) / (\sigma^2_P) = (\sigma^2_A + \sigma^2_D) / (\sigma^2_P)$$

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  $0 \leq h^2_B \leq 1$ .

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

$$h^2 = (\sigma^2_A) / (\sigma^2_P).$$

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  $0 \leq h^2 \leq h^2_B \leq 1$ .

$$\begin{aligned}\sigma^2_A &= 2pq\alpha^2 \\ &= 2(0,32)(0,68)(33,79)^2 \\ &= 496,90\end{aligned}$$

$$\sigma^2_P = 2109,34$$

$$h^2 = \frac{496,90}{2109,34}$$

$$= 0,24$$

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 bobot badan induk sapi PO adalah sebesar 0,24 dan termasuk dalam ketegori heritabilitas sedang.

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



## G. Rangkuman

1. Fenotip oleh beberapa sifat dapat diukur secara kuantitatif. Rataan fenotip oleh dua homisigot adalah ditetapkan sebagai nilai konstan ( $m$ ), yang berkaitan dengan semua fenotip, yaitu  $m = (P_{11} + P_{22})/2$ . Deviasi oleh fenotip dari nilai  $m$  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 phenotip dan nilai genetik bobot badan adalah sebagai berikut:

Genotip	Frekuensi	Fenotip (rataan, kg)	Nilai genetik
GH-Msp1 <sup>+/+</sup>	p <sup>2</sup>	P <sub>11</sub> = 405,33	V <sub>11</sub> = P <sub>11</sub> - m = a = 0,30kg
GH-Msp1 <sup>+/-</sup>	2pq	P <sub>12</sub> = 498,07	V <sub>12</sub> = P <sub>12</sub> - m = d = 93,04 kg
GH-Msp1 <sup>-/-</sup>	q <sup>2</sup>	P <sub>22</sub> = 404,73	V <sub>22</sub> = P <sub>22</sub> - m = -a = -0,30kg

2. Untuk lokus tunggal, rata-rata populasi ( $\mu$ ), 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,  $\mu = m + [a(p - q) + 2pqd]$

$$\begin{aligned}
&= 405,03 + [0,3(0,32 - 0,68) + \\
&2\{(0,32)(0,68)(93,04)\}] \\
&= \mathbf{445,41 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

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  $\sigma_A^2$  dan disebut varians genetik aditif, dan  $(2pqd)^2$  adalah deviasi dominan, yang dinotasikan  $\sigma_D^2$ . Jumlah  $\sigma_A^2 + \sigma_D^2$ , untuk lokus tunggal adalah total varians genetik yang dinotasikan  $\sigma_G^2$ .

$$\begin{aligned}
\sigma_p^2 &= 2pq\alpha^2 + (2pqd)^2; \text{ dan } \alpha = a + d(q - p), \\
&= 0,3 + 93,04(0,68 - 0,32) \\
&= \mathbf{33,79 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2(0,32)(0,68)(33,79)^2 + [2(0,32)(0,68)(93,04)]^2 \\
&= 496,90 + (40,49)^2 \\
&= \mathbf{2109,34}
\end{aligned}$$

$$\text{Standar Error} = \sqrt{\sigma_p^2} = \sqrt{2109,34} = \mathbf{45,93}$$

Rataan bobot badan populasi induk sapi PO =  $\mathbf{445,41 \pm 45,95}$

4. Rata-rata (mean) populasi dari progeny ( $\mu_I$ ) adalah:

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

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

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

Persilangan yang melibatkan semua genotip induk sapi PO dengan bobot badan superior dikawinkan dengan pejantan Krista (*Kr-Msp<sup>+/+</sup>*) dan Tunggul (*Tu-Msp<sup>-/-</sup>*) untuk membentuk sebaran frekuensi gen (*GH-MspI<sup>+</sup>*),  $p = 0,50$  dan gen (*GH-Msp<sup>-</sup>*),  $q = 0,50$  dapat menghasilkan respon seleksi ( $\hat{u}$ ) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \mu_I - \mu \\ &= 451,55 \text{ kg} - 445,41 \text{ kg} \\ &= \mathbf{6,14 \text{ kg}} \end{aligned}$$

5. Nilai pemuliaan ( $\mathbf{BV}_{ij}$ ) dan deviasi dominan ( $\mathbf{D}_{ij}$ ) sifat bobot badan ternak sapi PO melalui perhitungan dalam rumus diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

Genotip	Nilai pemuliaan ( $\mathbf{BV}_{ij}$ )	Deviasi Dominan ( $\mathbf{D}_{ij}$ )
<i>GH-MspI<sup>+/+</sup></i>	$2q \alpha = 2(0,68)(33,79) = \mathbf{45,95}$	$-2q^2d = -2(0,68)^2 * 93,04 = -\mathbf{86,04}$
<i>GH-MspI<sup>+/-</sup></i>	$(q-p)\alpha = (0,68-0,32)(33,79) = \mathbf{12,16}$	$2pqd = 2(0,32 * 0,68) * 93,04 = \mathbf{40,49}$
<i>GH-MspI<sup>-/-</sup></i>	$-2p \alpha = -2(0,32)(33,79) = -\mathbf{21,63}$	$-2p^2d = -2(0,32)^2 * 93,04 = -\mathbf{19,05}$

Dimana  $\alpha$  adalah efek rata-rata dari substitusi gen, sehingga:

$$\begin{aligned} \alpha &= [a + d(q - p)] \\ &= 0,3 + 93,04(0,68 - 0,32) \\ &= \mathbf{33,79 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Nilai pemuliaan adalah merupakan nilai yang tergantung (dependent) pada frekuensi gen sehingga bisa bervariasi dari satu populasi ke populasi lain. Perbedaan antara nilai pemuliaan pada  $B_1B_1$  dan  $B_1B_2$  adalah  $\alpha$ , seperti adanya perbedaan antara nilai pemuliaan pada  $B_1B_2$  dan  $B_2B_2$ . Dengan demikian, nilai pemuliaan adalah menunjukkan sebagai nilai genetik aditif pada genotip.

Nilai pemuliaan dan deviasi dominan bobot badan di atas, jika dimasukkan dalam rumus fenotip untuk genotip homosigot dan heterosigot diperoleh nilai seperti terlihat pada data awal hasil pengamatan, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{11} &= \mu + BV_{11} + D_{11} \\ &= 445,41 + 45,95 + (- 86,04) \\ &= \mathbf{405,32} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{12} &= \mu + BV_{12} + D_{12} \\ &= 445,41 + 12,16 + 40,49 \\ &= \mathbf{498,06 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{22} &= \mu + BV_{22} + D_{22} \\ &= 445,41 - 21,63 - 19,05 \\ &= \mathbf{404,73 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Nilai-nilai pada P11, P12 dan P22 adalah seperti terlihat pada nilai-nilai fenotip bobot badan induk sapi PO pada Tabel 9.1.

6. Nilai deviasi dominan adalah lebih banyak berperan dalam total nilai genetik pada sifat bobot badan dibandingkan dengan nilai pemuliaan (nilai yang lebih berperan pada pewarisan sifat-sifat ekonomis ternak yang dipengaruhi gen aditif).

7. Heritabilitas dalam pengertian luas, yang dinotasikan ( $h^2_B$ ) adalah ditetapkan sebagai rasio varians genetik dengan varians fenotip, yaitu:

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

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  $0 \leq h^2_B \leq 1$ .

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

$$h^2 = (\sigma^2_A) / (\sigma^2_p).$$

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  $0 \leq h^2 \leq h^2_B \leq 1$ . Dalam kajian ini nilai heritabilitas bobot badan induk adalah sebagai berikut:

Dalam kajian ini, nilai heritabilitas bobot badan induk adalah sebagai berikut:

$$\sigma^2_A = 2pq\alpha^2 \\ = 2(0,32)(0,68)(33,79)^2 \\ = 496,90$$

$$\sigma^2_p = 2109,34$$

$$h^2 = \frac{496,90}{2109,34}$$

$$= 0,24$$

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 bobot badan induk sapi PO adalah sebesar 0,24 dan termasuk dalam ketegori heritabilitas sedang.

8. Pada penerapan program pemuliaan ternak, heritabilitas ( $h^2$ ) dalam arti sempit ( $\sigma^2_A$ ) 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.