

## PENDUGAAN PARAMETER GENETIK KARAKTER BIOMASSA DAN HASIL PADA GALUR-GALUR F7 SORGUM NUMBU X SAMURAI 2

### ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS OF BIOMASS AND YIELD CHARACTERISTICS IN F7 SORGHUM LINES FROM A CROSS OF NUMBU X SAMURAI 2

Muhammad Antony Jefri Pratama<sup>1</sup>, Trikoesoemaningtyas<sup>2\*</sup>, Desta Wirnas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB, Darmaga, Bogor 16680

<sup>2</sup> Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB, Darmaga, Bogor 16680

\*Korespondensi: trikadytia@gmail.com

Diterima: 21 Juni 2024 / Direvisi: 15 Juli 2024 / Disetujui: 23 Juli 2024

#### ABSTRAK

Penelitian ini merupakan bagian dari uji daya hasil pendahuluan galur-galur F7 hasil persilangan Numbu x Samurai 2. Tujuannya adalah memperoleh kriteria seleksi hasil dan biomassa, memperoleh hubungan antar karakter vegetatif dengan karakter hasil dan biomassa, memperoleh karakter vegetatif yang berpengaruh langsung terhadap karakter hasil dan biomassa dan memperoleh galur sorgum yang memiliki potensi produksi tinggi. Penelitian ini menggunakan 20 galur F7 dan 4 galur pembanding yang ditanam menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak. Data dianalisis ragam, analisis komponen ragam, heritabilitas arti luas, koefisien keragaman genetik, analisis korelasi, analisis sidik lintas dan Indeks seleksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk mendapatkan galur dengan biomassa tinggi perlu memperhatikan karakter tinggi tanaman, diameter dan bobot malai. Sedangkan seleksi galur dengan hasil tinggi perlu memperhatikan karakter bobot malai. Karakter-karakter tersebut menunjukkan ragam genetik yang luas, nilai heritabilitas dalam arti luas yang tinggi, dan mempunyai korelasi dan pengaruh langsung besar terhadap biomassa dan hasil, sehingga merupakan karakter seleksi yang sangat baik untuk program pemuliaan tanaman sorgum. Galur F7 yang terseleksi dengan biomassa dan hasil tinggi berdasarkan indeks seleksi adalah NS021, NS126, NS107, NS123, NS112, NS020, NS015, NS119, NS121 dan NS011.

Kata kunci: Biomassa, Galur sorgum, Hasil, Indeks seleksi, Sidik lintas

#### ABSTRACT

This research is a preliminary yield test of the F7 lines crossing from Numbu x Samurai 2. The aims are to obtain selection criteria, a relationship between vegetative characters and yield and biomass characters, and to obtain vegetative characters that have a direct influence on character Yield and biomass and have high production potential. This study used 20 F7 lines and 4 check lines grown using a Randomized Complete Block Design. The data were analyzed for variance and to estimate variance component analysis, broad sense heritability, genetic diversity coefficient, correlation analysis, cross-trace analysis, and selection index. The results showed that to obtain lines with high biomass, attention should be put on the characters of

plant height, panicle diameter, and weight while selecting lines with high yields needs to pay attention to characters of the number of leaves at harvest and panicle weight. These characters show wide genetic variation, high broad sense heritability values, and have a high correlation and direct influence on biomass and yield. Therefore, they were potent selection criteria for sorghum plant breeding programs. The F7 lines selected for high biomass and yield based on the selection index were NS021, NS126, NS107, NS123, NS112, NS020, NS015, NS119, NS121 and NS011.

Keywords: Biomass, Index selection, Line of sorghum, Path analysis, Yield

## PENDAHULUAN

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) merupakan tanaman pangan utama ke 5 di dunia, mempunyai kandungan karbohidrat setara beras padi, kandungan protein, vitamin B dan mineral yang lebih tinggi dari beras padi (FAO, 2021; Kumar *et al.*, 2013; Suarni & Singgih, 2002). Sorghum ditanam dan dikembangkan di daerah semi kering sebagai bahan pangan dan memiliki kandungan lignin rendah sebagai bahan pakan (Reddy & Reddy, 2019; Kumari *et al.*, 2017). Sorghum efisien dalam penggunaan hara, memiliki daya adaptasi yang luas sehingga dapat tumbuh di lahan dengan kandungan hara fosfor rendah dan potensial dikembangkan sebagai varietas toleran Aluminium (Momongan *et al.*, 2019; Lestari *et al.*, 2015). Sorghum memiliki potensi biomassa hingga 109,9 t ha<sup>1</sup> yang terdiri atas karbohidrat struktural (hemiselulosa, selulosa dan lignin) (He *et al.*, 2020; Almeida *et al.*, 2019).

Produktivitas tanaman tergantung dari kemampuan tanaman untuk mengalokasikan sebagian besar hasil fotosintesis (Yuliasari *et al.*, 2014). Produktivitas tanaman berbanding lurus dengan biomassa karena berhubungan dengan pembentukan bagian vegetatif atau generatif. Biomassa mengikuti hubungan *source* (sumber) dan *sink* (penampungan). Jika *source* terganggu maka kapasitas *sink* tidak optimal (Sitompul & Guritno, 1995).

Pemuliaan sorgum telah menghasilkan varietas-varietas unggul nasional yang memiliki potensi untuk dikembangkan di Indonesia, diantaranya yaitu Numbu dan Samurai 2. Numbu memiliki kelebihan tahan rebah, tahan hama dan penyakit (hama aphis, penyakit karat dan bercak daun). Potensi produksi yaitu 3,11 t ha<sup>-1</sup> dengan kadar protein 9,12%, lemak 3,94% dan karbohidrat 84,58% (Arvan & Aqil, 2020). Sedangkan Samurai 2 tahan rebah, tahan penyakit busuk pelepah dan penyakit karat daun. Potensi hasil 8,5 t ha<sup>-1</sup> dan potensi biomassa 95,5 t ha<sup>-1</sup> dengan rata-rata bobot biomassa batang sebesar 47,5 t ha<sup>-1</sup>.

IPB telah melakukan program pemuliaan tanaman sorgum untuk memperoleh galur-galur harapan yang berdaya hasil dan biomassa tinggi. Saat ini di peroleh galur-galur F7 hasil persilangan Numbu x Samurai 2 yang perlu diseleksi. Seleksi ini dapat didasarkan pada satu dan beberapa karakter sekaligus (Ahmad *et al.*, 2014). Seleksi pada beberapa karakter dapat dipilih berdasarkan parameter pendugaan genetik (Jafar *et al.*, 2023), keeratan hubungan antar karakter dan pengaruh langsung dan tak langsung karakter agronomi terhadap daya hasil dan biomassa (Andriani *et al.*, 2020).

Munarti *et al.* (2022) melakukan penelitian pada populasi F2 Numbu x Samurai 2 yang nilai tengahnya berada di antara kedua tetuanya (karakter tinggi

tanaman, jumlah daun, diameter batang, bobot biji per tanaman, dan *stay greenness*). Populasi ini memiliki nilai heritabilitas arti luas yang tinggi pada karakter tinggi tanaman (67,8), jumlah daun (100), diameter batang (66,7) dan bobot biji per tanaman (83,3). Dewi *et al.* (2021) menyatakan nilai heritabilitas tinggi pada populasi F4 hasil persilangan Numbu x Samurai 2 pada karakter tinggi tanaman (97,0), lebar daun (68,0), bobot biomassa (78,0), persentase daun hijau (86,0), umur berbunga (72,0) dan bobot 1000 biji (82,0). Penelitian ini menggunakan galur-galur F7 dari hasil persilangan Numbu x Samurai 2.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memperoleh keragaan daya hasil dan biomassa galur-galur F7 hasil persilangan Numbu x Samurai 2, (2) memperoleh hubungan keeratan antar karakter terhadap hasil dan biomassa, (3) memperoleh karakter vegetatif yang memiliki nilai pengaruh langsung dan tak langsung tinggi terhadap karakter hasil dan (4) memperoleh galur yang memiliki potensi produksi yang lebih tinggi dari pembanding.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Agustus 2023. Percobaan dilakukan pada satu lokasi yaitu di Kebun Percobaan IPB Leuwikopo, Dramaga, Bogor. Lokasi penelitian berada pada ketinggian 250 m dpl. Pengamatan pasca panen dilakukan di Laboratorium Pemuliaan Tanaman AGH, IPB.

Materi genetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 galur sorgum (20 galur merupakan galur F7 hasil persilangan Numbu x Samurai dan 4 galur pembanding yaitu IPB 4, IPB 8, Numbu dan Samurai 2). Benih yang digunakan dalam penelitian ini

berasal dari Laboratorium Pemuliaan tanaman 2.

Material genetik ditanam dengan menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLK) faktor tunggal yaitu genotipe. Penanaman sorgum dilakukan dengan jarak tanam 75 cm x 15 cm dengan 2-3 benih per lubang. Pada saat penanaman, setiap lubang tanam diberi insektisida Karbofuran sebanyak 0,5-1,0 g per lubang pupuk yang digunakan adalah 300 kg ha<sup>-1</sup> Urea, 100 kg ha<sup>-1</sup> SP-36 dan 100 kg ha<sup>-1</sup> KCl.

Pemeliharaan tanaman yang dilakukan yaitu penyulaman, pembumbunan, pengendalian gulma dan pengendalian hama dan penyakit. Pengamatan dilakukan terhadap enam belas karakter. Karakter-karakter tersebut yaitu tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun vegetatif maksimal, kehijauan daun vegetatif maksimal menggunakan SPAD, umur berbunga (dihitung saat 50% tanaman dalam plot berbunga), jumlah daun saat panen, kehijauan daun saat panen, brix menggunakan refraktometer, umur panen, panjang malai, diameter malai, bobot malai, bobot biji per malai, bobot 1000 biji, biomassa dan produktivitas.

Data dianalisis ragam melalui uji F, jika berpengaruh nyata maka akan dilanjutkan ke Uji BNJ pada taraf 5%. Selain itu, dilakukan juga analisis dugaan parameter genetik meliputi analisis komponen ragam, heritabilitas arti luas, koefisien keragaman genetik, analisis korelasi, analisis sidik lintas dan indeks seleksi. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MS. Excel, STAR, SAS On Demand for Academic (SAS ODA) dan R versi 4.3.2.

Koefisien keragaman genetik digunakan untuk melihat besaran keragaman genetik dalam suatu populasi. Menurut Alnopri (2004) nilai koefisien keragaman dibagi

menjadi 3 yakni: sempit (0-10%), sedang (10-20%), dan luas (>20%). Rohaeni& Susanto (2017) mengatakan keragaman genetik dikatakan luas apabila  $\sigma^2g > 2$  dan dikatakan sempit apabila  $\sigma^2g < 2$ . Keragaman fenotipik dikatakan luas apabila  $\sigma^2p > 2$  dan dikatakan sempit apabila  $\sigma^2p < 2$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Keragaman antara galur F7 Sorgum Numbu x Samurai 2

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa galur-galur sorgum F7 hasil persilangan Numbu x Samurai 2 memberikan pengaruh nyata ( $p < 0,05$ ) terhadap karakter tinggi tanaman, umur berbunga, bobot 1000 butir, karakter diameter batang, jumlah daun, kehijauan daun saat panen, brix, dan panjang malai (Tabel 1). Berdasarkan hal ini diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai

tengah antar genotipe, yaitu antara varietas pembanding dan galur-galur F7 sorgum hasil persilangan Numbu x Samurai 2. Perbedaan nilai tengah ini menunjukkan bahwa terdapat keragaman pada karakter karakter tinggi tanaman, umur berbunga, bobot 1000 butir, karakter diameter batang, jumlah daun, kehijauan daun saat panen, brix, dan panjang malai (Andriani *et al.*, 2020).

Koefisien keragaman tinggi menandakan bahwa respon dipengaruhi oleh lingkungan (Abdelkhalek *et al.*, 2015). Lingkungan heterogen dapat disebabkan oleh cekaman biotik berupa serang hama dan penyakit bersifat acak terhadap tanaman tergantung pada kondisi genotipe dan faktor abiotik lainnya (Nakato *et al.*, 2023). Karakter yang memiliki koefisien keragaman di atas 25% yaitu bobot malai, bobot biji per malai, biomassa dan produktivitas (Tabel 1).

Tabel 1. Kuadrat tengah dan koefisien keragaman pada karakter-karakter agronomis

Karakter	Nilai Tengah	KT	KK(%)
Tinggi tanaman (cm)	230,31	1176,37	**
Diameter batang (mm)	15,95	7,55	*
Jumlah daun Veg. maks (helai)	10,24	1,76	*
Kehijauan daun Veg. maks (CCI unit)	53,25	11,63	tn
Umur berbunga (hari)	71,39	8,08	**
Jumlah daun hijau saat panen (helai)	5,98	0,92	tn
Kehijauan daun saat panen (CCI unit)	42,60	41,96	*
Brix (%)	14,36	7,70	*
Umur panen (hari)	111,01	0,01	tn
Panjang malai (cm)	19,94	2,74	*
Diameter malai (mm)	34,17	55,40	tn
Bobot malai (gr)	61,64	615,32	tn
Bobot biji/malai (gr)	32,81	159,17	tn
Bobot 1000 biji (gr)	34,63	19,32	**
Biomassa (t ha <sup>-1</sup> )	57,13	391,98	tn
Produktivitas (t ha <sup>-1</sup> )	5,74	4,87	tn

\*\* berpengaruh nyata pada taraf  $\alpha = 0,01$ , \* berpengaruh nyata pada taraf  $\alpha = 0,05$  berdasarkan uji F, tn= tidak berpengaruh nyata; KT: kuadrat tengah; KK: koefisien keragaman.

Koefisien keragaman dalam penelitian ini berada pada kisaran 0,11%-34,91% (Tabel 1). Menurut Mattjik&Sumertajaya

(2013) di bidang pertanian koefisien keragaman dikategorikan cukup jika nilainya berkisar antara 20-25%. Koefisien

keragaman digunakan untuk menentukan besarnya galat dan keragaman pada lingkungan. Semakin kecil nilai koefisien keragaman menunjukkan derajat ketelitian dan validitas kesimpulan dari percobaan semakin baik. Beberapa karakter yang memiliki nilai KK di bawah 25% yaitu tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, kehijauan daun, umur berbunga, jumlah daun saat panen, kehijauan daun saat panen, brix, panjang malai, diameter malai, umur panen dan bobot 1000 biji (Tabel 1).

#### Keragaman karakter-karakter agronomi

Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa terdapat delapan karakter yang berbeda nyata antar genotipe, yaitu tinggi tanaman,

diameter batang, jumlah daun, umur berbunga, kehijauan daun saat panen, brix, panjang malai dan bobot 100 biji. Galur NS015 memiliki tinggi tertinggi yaitu 254,3 cm, galur NS118 memiliki diameter terbesar yaitu 18 mm dan jumlah daun tertinggi yaitu galur IPB8 sebanyak 12,2 helai. Untuk komponen hasil galur NS021 memiliki bobot 1000 biji tertinggi yaitu 38,1 g (Tabel 2). Diketahui bahwa terdapat beberapa galur yang memiliki keragaan lebih baik atau setara dengan varietas pembanding. Hal tersebut memungkinkan terdapat galur dengan keragaan agronomi dan hasil yang lebih baik dari varietas pembanding.

Tabel 2. Keragaan karakter agronomi galur-galur F7 vs pembanding

Galur	TT	DB	JD	UB	KD2	Brix	PM	B1000
NS010	201,6 <sup>ab</sup>	13,2 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	73,3 <sup>a</sup>	41,0 <sup>a</sup>	13,0 <sup>ab</sup>	17,9 <sup>a</sup>	34,9 <sup>ab</sup>
NS011	232,3 <sup>ab</sup>	14,9 <sup>a</sup>	9,9 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	45,2 <sup>a</sup>	14,4 <sup>ab</sup>	19,0 <sup>a</sup>	35,7 <sup>ab</sup>
NS012	232,9 <sup>ab</sup>	14,4 <sup>a</sup>	9,7 <sup>ab</sup>	73,0 <sup>a</sup>	<b>47,0<sup>a</sup></b>	12,5 <sup>ab</sup>	19,6 <sup>a</sup>	33,8 <sup>abc</sup>
NS015	<b>254,3<sup>a</sup></b>	17,6 <sup>a</sup>	10,9 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	44,5 <sup>a</sup>	14,9 <sup>ab</sup>	20,7 <sup>a</sup>	35,4 <sup>ab</sup>
NS020	246,2 <sup>a</sup>	16,2 <sup>a</sup>	10,2 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	46,0 <sup>a</sup>	15,1 <sup>ab</sup>	20,1 <sup>a</sup>	35,8 <sup>ab</sup>
NS021	239,8 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	10,4 <sup>ab</sup>	69,3 <sup>ab</sup>	47,0 <sup>a</sup>	15,1 <sup>ab</sup>	19,4 <sup>a</sup>	<b>38,1<sup>a</sup></b>
NS024	225,0 <sup>ab</sup>	13,3 <sup>a</sup>	9,7 <sup>ab</sup>	71,7 <sup>ab</sup>	46,9 <sup>a</sup>	14,8 <sup>ab</sup>	19,0 <sup>a</sup>	35,0 <sup>ab</sup>
NS107	232,4 <sup>ab</sup>	16,0 <sup>a</sup>	10,4 <sup>ab</sup>	71,3 <sup>ab</sup>	45,8 <sup>a</sup>	15,4 <sup>a</sup>	19,9 <sup>a</sup>	37,7 <sup>a</sup>
NS108	236,6 <sup>a</sup>	16,1 <sup>a</sup>	10,1 <sup>ab</sup>	72,3 <sup>a</sup>	44,8 <sup>a</sup>	13,8 <sup>ab</sup>	21,1 <sup>a</sup>	33,8 <sup>abc</sup>
NS112	234,5 <sup>ab</sup>	16,0 <sup>a</sup>	10,0 <sup>ab</sup>	72,7 <sup>a</sup>	44,6 <sup>a</sup>	12,6 <sup>ab</sup>	19,3 <sup>a</sup>	37,2 <sup>ab</sup>
NS114	234,7 <sup>ab</sup>	17,3 <sup>a</sup>	10,2 <sup>ab</sup>	70,3 <sup>ab</sup>	42,3 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	20,0 <sup>a</sup>	36,8 <sup>ab</sup>
NS116	230,3 <sup>ab</sup>	16,9 <sup>a</sup>	10,3 <sup>ab</sup>	70,7 <sup>ab</sup>	44,0 <sup>a</sup>	15,4 <sup>a</sup>	20,1 <sup>a</sup>	34,6 <sup>ab</sup>
NS117	246,9 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	72,3 <sup>a</sup>	37,1 <sup>a</sup>	<b>16,9<sup>a</sup></b>	21,1 <sup>a</sup>	34,6 <sup>ab</sup>
NS118	237,8 <sup>a</sup>	<b>18,0<sup>a</sup></b>	10,8 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	43,3 <sup>a</sup>	14,3 <sup>ab</sup>	20,8 <sup>a</sup>	37,0 <sup>ab</sup>
NS119	244,0 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	72,0 <sup>a</sup>	40,7 <sup>a</sup>	15,1 <sup>ab</sup>	20,7 <sup>a</sup>	32,9 <sup>abc</sup>
NS121	226,9 <sup>ab</sup>	14,9 <sup>a</sup>	9,9 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	38,0 <sup>a</sup>	14,8 <sup>ab</sup>	18,8 <sup>a</sup>	36,4 <sup>ab</sup>
NS122	249,1 <sup>a</sup>	17,5 <sup>a</sup>	10,8 <sup>ab</sup>	71,0 <sup>ab</sup>	38,8 <sup>a</sup>	15,0 <sup>ab</sup>	<b>21,6<sup>a</sup></b>	29,9 <sup>bc</sup>
NS123	245,0 <sup>a</sup>	16,7 <sup>a</sup>	10,8 <sup>ab</sup>	70,7 <sup>ab</sup>	44,1 <sup>a</sup>	16,2 <sup>a</sup>	19,4 <sup>a</sup>	35,3 <sup>ab</sup>
NS126	241,3 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	10,6 <sup>ab</sup>	71,7 <sup>ab</sup>	45,0 <sup>a</sup>	14,8 <sup>ab</sup>	19,8 <sup>a</sup>	36,1 <sup>ab</sup>
NS129	249,7 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a</sup>	10,4 <sup>ab</sup>	72,3 <sup>a</sup>	42,2 <sup>a</sup>	15,0 <sup>ab</sup>	19,8 <sup>a</sup>	33,6 <sup>abc</sup>
IPB4	208,5 <sup>ab</sup>	16,8 <sup>a</sup>	11,0 <sup>ab</sup>	70,0 <sup>ab</sup>	36,4 <sup>a</sup>	15,4 <sup>a</sup>	20,4 <sup>a</sup>	31,2 <sup>abc</sup>
IPB8	169,1 <sup>b</sup>	17,3 <sup>a</sup>	<b>12,2<sup>a</sup></b>	66,0 <sup>b</sup>	35,4 <sup>a</sup>	14,1 <sup>ab</sup>	20,5 <sup>a</sup>	26,9 <sup>c</sup>
Numbu	203,9 <sup>ab</sup>	12,3 <sup>ab</sup>	8,5 <sup>b</sup>	73,3 <sup>a</sup>	46,0 <sup>a</sup>	11,6 <sup>ab</sup>	18,2 <sup>a</sup>	35,0 <sup>ab</sup>
Samurai2	204,9 <sup>ab</sup>	13,7 <sup>a</sup>	9,1 <sup>b</sup>	<b>74,3<sup>a</sup></b>	36,3 <sup>a</sup>	9,3 <sup>b</sup>	21,3 <sup>a</sup>	33,8 <sup>abc</sup>

TT, tinggi tanaman; DB, diameter batang; JD, jumlah daun; UB, umur berbunga; KD2, kehijauan daun saat panen; Brix, kadar gula terlarut/100 gr larutan; PM, panjang malai; B1000, bobot 1000 butir. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji BNJ 5%.

Karakter tinggi tanaman dalam penelitian ini memiliki nilai tengah yaitu 230,31 cm. Hal tersebut termasuk dalam katagori yang diharapkan. Kriteria tinggi tanaman sorgum yang diharapkan untuk mempermudah panen yaitu berkisar antara 76-225 cm (Elangovan *et al.*, 2014).

Nilai tengah karakter kandungan gula brix batang pada penelitian ini adalah 14,36% berkisar antara 9,30-16,90%. Galur NS117 memiliki kandungan gula brix tertinggi yaitu 16,90% (Tabel 2). Nilai ini tidak jauh berbeda dengan penelitian Erdurmus *et al.* (2018) yaitu berkisar antara 13,25 dan 17,38%. Erdurmus *et al.* (2018) menyatakan bahwa nilai brix akan meningkat seiring dengan semakin matangnya tanaman sorgum. Pengukuran brix batang sorgum dilakukan menggunakan refraktometer, proses pengukuran dilakukan dengan meremas

batang sorgum hingga getahnya menetes keluar ke dalam gelas refraktometer dan diidentifikasi dalam skala brix (Ariefin *et al.*, 2021). Karakter kandungan gula pada batang merupakan karakter penting dalam menentukan potensi bioenergi pada sorgum (Xiao *et al.*, 2021).

#### Nilai ragam genetik dan heritabilitas arti luas

Nilai koefisien keragaman genetik pada penelitian ini yaitu 1,32-19,55% (Tabel 3), Wardiana, (2018) membagi nilai ini menjadi tiga kategori yaitu rendah (<10%), sedang (10-20%), dan tinggi (>20%). Nilai koefisien keragaman genetik pada penelitian ini termasuk dalam kategori rendah, sedang dan tinggi. Nilai koefisien keragaman berfungsi untuk membandingkan dua sebaran data dengan simpangan baku dalam satuan yang berbeda (Istianingrum&Damanhuri, 2016).

Tabel 3. Parameter genetik, koefisien keragaman genetik dan heritabilitas arti luas ( $h^2_{bs}$ ) pada galur F7 sorgum persilangan Numbu x Samurai 2

Karakter	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_g$	$\sigma^2_p$	KKG	$H^2_{bs}$	Kriteria $H^2_{bs}$
Tinggi Tanaman	446,13	243,41	689,55	6,77	0,62	Tinggi
Diameter Batang	3,89	1,22	5,11	6,93	0,48	Sedang
Jumlah Daun	0,93	0,28	1,21	5,15	0,47	Sedang
Kehijauan Daun	10,15	0,49	10,64	1,32	0,13	Rendah
Umur Berbunga	3,48	1,53	5,01	1,73	0,57	Tinggi
Jumlah Daun saat panen	0,58	0,11	0,70	5,60	0,37	Sedang
Kehijauan Daun saat panen	20,47	7,16	27,63	6,28	0,51	Tinggi
Brix	3,59	1,37	4,96	8,15	0,53	Tinggi
Panjang Malai	1,44	0,43	1,88	3,30	0,47	Sedang
Diameter Malai	44,80	3,53	48,34	5,50	0,19	Rendah
Bobot Malai	229,61	34,06	263,68	19,55	0,31	Sedang
Berat Basah	19256,29	2115,11	21371,40	9,67	0,25	Sedang
Berat Kering	12490,82	103,41	12594,23	3,11	0,02	Rendah
Bobot Biji/Malai	114,94	14,74	129,68	11,70	0,28	Sedang
Bobot 1000 butir	5,63	4,56	10,20	6,17	0,71	Tinggi

$\sigma^2_e$ : ragam lingkungan;  $\sigma^2_g$ : ragam genetik;  $\sigma^2_p$ : ragam fenotipik; KKG: koefisien keragaman genetik;  $H^2_{bs}$ : heritabilitas arti luas

Nilai koefisien keragaman yang tinggi menunjukkan bahwa karakter tersebut dipengaruhi oleh galat lingkungan, sedangkan nilai koefisien keragaman

rendah menandakan keakuratan data tersebut lebih baik sehingga akan diperoleh kesimpulan yang baik (Delgado *et al.*, 2019). Jika nilai koefisien keragaman

fenotipe lebih besar dari koefisien keragaman genotipe, maka hal ini menunjukkan bahwa akan ada pengaruh positif setelah melalui proses seleksi. Hal ini dikarenakan terdapat pengaruh aditif pada ragam fenotip (Naoura *et al.*, 2019).

Heritabilitas karakter agronomi dan hasil pada penelitian ini berkisar antara 0,02-0,71 (Tabel 3). Kehijauan daun, diameter malai dan berat kering, memiliki tingkat heritabilitas sedang yang artinya faktor genetik kurang berpengaruh terhadap penampilan fenotipe. Sebaliknya karakter agronomi yang memiliki nilai heritabilitas tinggi yang berkisar antara 53,92%-94,12% (Tabel 3) maka peluang penurunan sifat dari tetua kepada keturunannya besar.

Heritabilitas merupakan hubungan ragam genotipe dengan ragam fenotipe yang memperlihatkan seberapa jauh fenotipe yang tampak sebagai refleksi dari genotipe. Heritabilitas digunakan sebagai pertimbangan untuk mengevaluasi performa karakter di lingkungannya. Karakter tinggi tanaman (0,62), umur berbunga (0,57), brix (0,51) dan B1000 butir (0,71) pada galur F7 sorgum persilangan Numbu x Samurai 2 memiliki nilai heritabilitas arti luas ( $h^2_{bs}$ ) tinggi (tabel 3), sehingga dapat diartikan bahwa karakter tersebut dikendalikan oleh ragam genetik yang lebih besar dibandingkan ragam lingkungannya (Anyomi *et al.*, 2023). Trikoesoemaningtyas *et al.* (2017) menyatakan bahwa karakter agronomi dapat diwariskan jika nilai heritabilitas sedang sampai tinggi. Memiliki nilai heritabilitas tinggi dan berkorelasi dengan daya hasil merupakan faktor penentu suatu karakter dapat dijadikan sebagai karakter seleksi untuk kegiatan pemuliaan selanjutnya (Wirnas *et al.*, 2016; Silva *et al.*,

2017).

### **Korelasi karakter agronomi terhadap hasil**

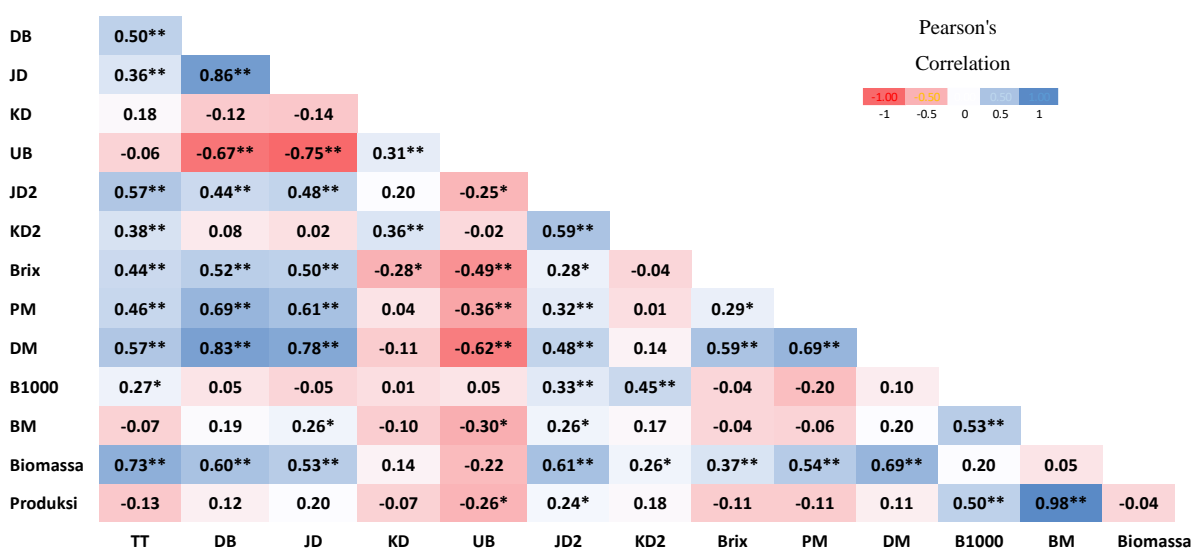
Karakter umur berbunga, jumlah daun saat panen, bobot 1000 biji dan bobot malai memiliki korelasi positif dan nyata terhadap hasil (Gambar 1). Sedangkan karakter umur berbunga memiliki nilai korelasi negatif. Ketika karakter yang memiliki nilai korelasi positif tersebut memiliki nilai korelasi tinggi, maka produksi akan tinggi sedangkan apabila nilai karakter yang berkorelasi positif rendah maka potensi produksi kan rendah pula.

Ketika nilai karakter yang berkorelasi negatif semakin tinggi, maka potensi hasil akan rendah dan apabila nilai karakter yang berkorelasi negatif semakin rendah, maka potensi hasil akan tinggi. Nilai korelasi Pearson pada penelitian ini hanya menggunakan nilai rata-rata di satu lokasi, sehingga ada potensi terjadi asosiasi palsu (Venables & Ripley, 2002). Oleh karena itu karakter yang berkorelasi negatif maupun positif perlu di uji kembali di berbagai lingkungan. Trikoesoemaningtyas *et al.* (2015) menyatakan bahwa interaksi lingkungan x genotipe dapat mengurangi besarnya ragam genetik dan heritabilitas dibandingkan dengan perkiraan satu lingkungan.

Tinggi tanaman berkorelasi positif dan nyata dengan diameter batang (0,50), jumlah daun (0,36), jumlah daun saat panen (0,57), kehijauan daun saat panen (0,38), brix (0,44), panjang malai (0,46), diameter malai (0,57), bobot 1000 biji (0,27) dan biomassa (0,73) (Gambar 1). Korelasi positif dan nyata mengartikan bahwa pertambahan tinggi tanaman akan diikuti pertambahan diameter batang, jumlah daun, jumlah daun saat panen,

kehijauan daun saat panen, brix, panjang malai, diameter malai, bobot 1000 biji dan biomassa. Hubungan antara tinggi tanaman dengan jumlah daun mengindikasikan adanya peningkatan aktivitas pada sel yang meningkatkan ukuran tinggi tanaman dan beberapa karakter agronomi lain, aktivitas sel tersebut berupa proses pembelahan, pembesaran dan pemanjangan (Jain & Patel, 2014). Selain itu, diketahui pula bahwa terdapat korelasi positif pada tinggi

tanaman, diameter batang dan jumlah daun terhadap bobot 1000 butir, sehingga karakter agronomi yang mampu mempengaruhi hasil dapat dijadikan sebagai dasar seleksi dalam program pemuliaan sorgum. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan *et al.* (2019) yang memperoleh nilai korelasi positif pada tinggi tanaman dan diameter batang terhadap karakter hasil yaitu bobot biji malai.



TT, tinggi tanaman; DB, diameter batang; JD, jumlah daun; KD, kehijauan daun vegetatif maksimal; UB, umur berbunga; JD2, Jumlah daun saat panen; KD2, kehijauan daun saat panen; Brix, kadar gula terlarut/100 gr larutan; PM, panjang malai; B1000, bobot 1000 butir; BM, bobot malai; \* : p < 0.05; \*\*: p < 0.01.

Gambar 1 Korelasi Pearson karakter galur-galur F7 sorgum pesilangan Numbu x Samurai 2

### Korelasi Karakter agronomi terhadap biomassa

Karakter tinggi tanaman (0,73) dan diameter batang (0,60) dan jumlah daun saat panen (0,53) memiliki korelasi positif dan nyata terhadap biomassa (Gambar 1). Korelasi yang bernilai positif dan nyata menandakan bahwa penambahan tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah daun akan diikuti oleh penambahan biomassa.

Takanashi&Weijde (2023) menjelaskan

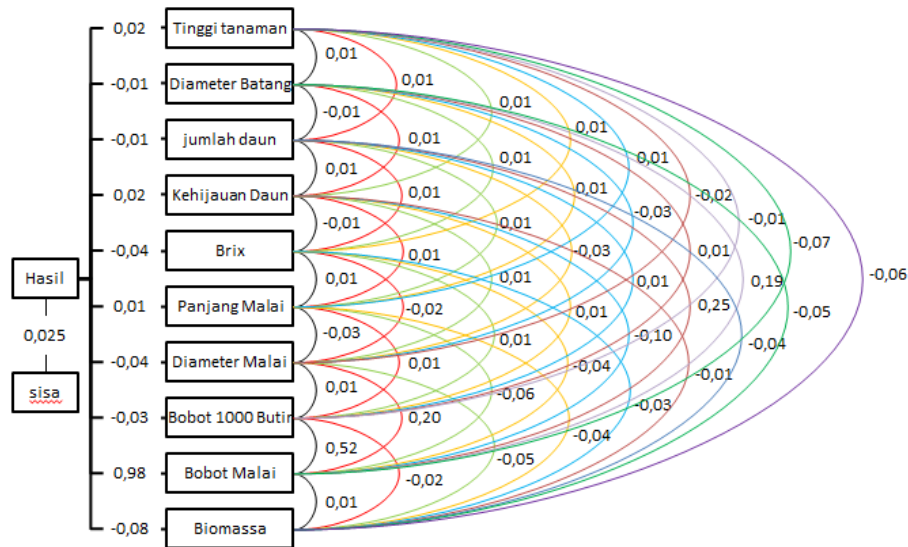
bahwa hasil biomassa dipengaruhi oleh beberapa sifat morfogenetik seperti tinggi tanaman, diameter batang, batang kering, jumlah daun, sudut daun dan panjang malai. Pada populasi ini karakter-karakter tersebut memiliki nilai heritabilitas sedang-tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai kriteria seleksi untuk perbanyak sorgum dengan biomassa tinggi.

### Pengaruh Langsung dan tak langsung semua karakter terhadap hasil



Kontribusi setiap karakter terhadap hasil galur sorgum persilangan Numbu x Samurai 2, baik langsung maupun tidak langsung dianalisis melalui analisis lintasan (Gambar 2). Berdasarkan hasil analisis regresi linier di dapat nilai R-square

sebesar 0,982 yang menjelaskan bahwa pengaruh langsung dari karakter-karakter tanaman yang berasosiasi dengan produksi sebesar 98,2%. Dengan demikian, model ini sudah sangat baik, dengan sisaan atau residual sebesar 0,025 atau 2,5%.



Gambar 2. Diagram lintas (*path diagram*) karakter agronomi terhadap hasil

Hasil analisis lintas menunjukkan bahwa karakter dengan pengaruh langsung yang besar terhadap produksi adalah karakter bobot malai yaitu sebesar 0,98 (Gambar 2). Hal tersebut menjelaskan bahwa bobot malai berhubungan langsung dengan hasil, atau peningkatan bobot malai akan diikuti oleh peningkatan hasil sorgum. Selain itu, diketahui bahwa karakter bobot 1000 butir berpengaruh tak langsung terhadap hasil melalui bobot malai sebesar 0,52 (Gambar 2). Karakter tersebut juga memiliki nilai heritabilitas sedang-tinggi. Karakter yang memiliki nilai signifikan berdasarkan hasil analisis ini dapat digunakan sebagai karakter seleksi dalam pemuliaan tanaman (Ayer *et al.*, 2017).

#### Pengaruh langsung dan tak langsung

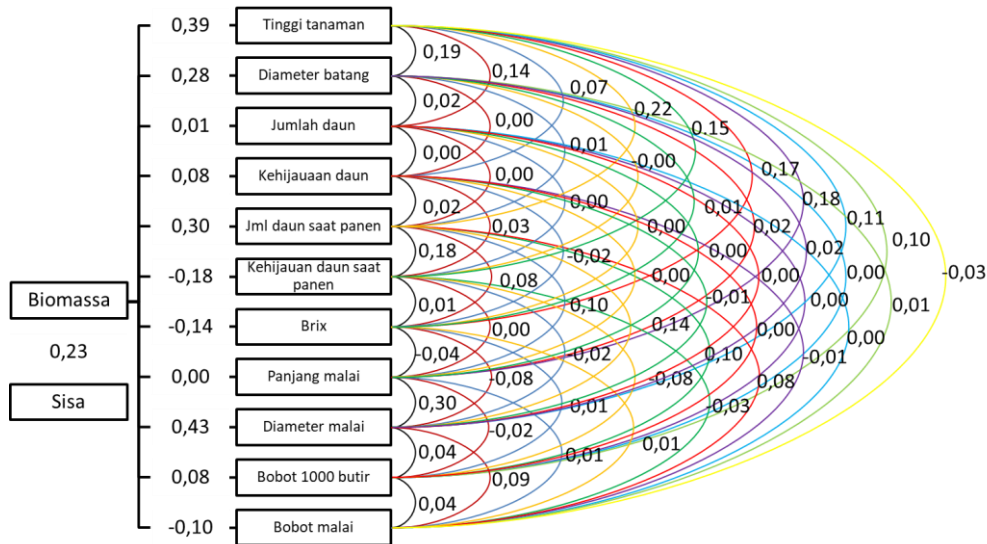
#### semua karakter terhadap biomassa

Kontribusi setiap karakter terhadap biomassa galur sorgum persilangan Numbu x Samurai 2, baik langsung maupun tidak langsung dianalisis melalui analisis lintasan (Gambar 3). Karakter yang dilibatkan dalam analisis ini yaitu tinggi tanaman (TT), diameter batang (DB), jumlah daun (JD), kehijauan daun saat panen (KD2), kadar gula terlarut/100 g larutan (Brix), panjang malai (PM), bobot 1000 butir (B1000) dan bobot malai (BM). Berdasarkan hasil analisis regresi linier di dapat nilai R-square sebesar 0,766 yang menjelaskan bahwa pengaruh langsung dari karakter-karakter tanaman yang berasosiasi dengan biomassa sebesar 76,6%. Adapun sisaan atau residual sebesar 0,23 atau 23%.

Model yang digunakan dapat menjelaskan keadaan sebesar 76,6%, hal

ini menunjukkan bahwa biomassa dipengaruhi oleh karakter yang diuji. Tinggi tanaman (0,39), diameter batang (0,28) jumlah daun vegetatif maksimal (0,30) dan diameter malai (0,43) memberikan pengaruh langsung paling besar terhadap

biomassa. Ariska et al., (2017) menjelaskan bahwa biomassa merupakan penentu dari hasil yang dipanen. Fotosintat yang diakumulasi pada bobot biomassa akan ditranslokasikan ke bagian biji.



Gambar 3. Diagram lintas (*path diagram*) karakter agronomi terhadap biomassa

### Seleksi galur-galur F7 sorgum

Pemilihan galur sorgum dengan potensi biomassa dan produksi tinggi pada penelitian ini menggunakan indeks seleksi. Indeks Seleksi memberikan perolehan genetik yang konsisten dan dapat digunakan untuk menentukan genotip terpilih berdasarkan nilai heritabilitas dan nilai ekonomis suatu karakter (Batista et al., 2021; Missanjo&Matsumura, 2017).

Terdapat dua hal yang harus diperhatikan dalam melakukan seleksi indeks, yaitu nilai karakter dan nilai pembobot. Dalam penelitian ini, nilai karakter berasal dari lima peubah yang dipilih berdasarkan nilai pengaruh langsung yaitu tinggi tanaman, diameter batang,

jumlah daun saat panen, diameter batang dan bobot malai.

Nilai pembobot dari masing-masing karakter diambil dari nilai pengaruh langsung karakter tersebut terhadap hasil dan biomassa yang diperoleh dari analisis sidik lintas. Nilai pengaruh langsung hasil analisis sidik lintas lebih menggambarkan kondisi obyektif yang menciptakan keragaman. Berdasarkan hasil perhitungan nilai indeks seleksi, dipilih 10 galur terbaik yang mempunyai nilai indeks seleksi tertinggi. Berdasarkan kriteria tersebut, maka berikut 10 galur yang terpilih, yaitu NS021, NS126, NS107, NS123, NS112, NS020, NS015, NS119, NS121 dan NS011 (Tabel 4).

Tabel 4. Galur F7 sorgum persilangan Numbu x Samurai 2 berdasarkan seleksi indeks

Galur	TT	DB	JD2	DM	BM	Indeks Seleksi	Biomassa	Produksi
NS021	239,77	16,83	5,97	39,53	120,30	6,32	62,11	8,04
NS126	241,31	16,75	6,43	35,71	107,10	5,01	70,17	7,47
NS107	232,43	15,97	6,47	36,06	108,86	4,87	70,99	7,20
NS123	244,95	16,67	6,13	35,87	100,48	3,30	64,50	6,80
NS112	234,49	16,01	5,90	29,43	108,57	2,75	48,71	7,47
NS020	246,15	16,22	7,13	38,09	90,92	2,19	68,01	6,09
NS015	254,31	17,56	6,67	38,33	84,61	1,46	72,14	5,27
NS119	244,01	17,42	5,87	35,05	83,92	0,46	67,17	5,15
NS121	226,87	14,85	5,10	31,47	96,57	0,31	48,11	6,36
NS011	232,27	14,85	6,37	32,48	91,83	0,24	52,30	6,15
NS118	237,76	18,03	6,20	36,86	79,08	0,12	70,02	4,92
NS129	249,68	15,99	6,80	34,93	75,63	-0,54	67,83	4,96
NS114	234,70	17,28	5,63	39,77	82,55	-0,70	54,71	5,14
NS024	225,02	13,25	6,20	31,58	85,14	-1,29	49,07	5,92
NS122	249,09	17,54	5,83	37,96	71,68	-1,73	61,76	4,36
NS116	230,27	16,91	5,78	36,06	71,88	-2,19	56,29	4,91
NS108	236,61	16,12	6,03	34,38	70,33	-2,25	59,22	4,80
NS012	232,86	14,43	6,09	30,25	69,81	-3,30	56,05	4,48
NS117	246,88	16,91	6,17	35,73	59,54	-4,28	61,95	3,00
NS010	201,59	13,18	5,37	26,85	73,78	-4,68	42,96	4,67

TT, tinggi tanaman (cm); DB, diameter batang (mm); JD2, jumlah daun saat panen (helai); DM, diameter malai (mm); BM, bobot malai (g); Biomassa, potensi biomassa persatuan luas ( $t\ ha^{-1}$ ); Produksi, potensi produksi persatuan luas ( $t\ ha^{-1}$ ).

### SIMPULAN

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah:

1. Terdapat keragaman yang nyata antar genotipe pada karakter tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, umur berbunga, kehijauan daun saat panen, brix, panjang malai dan bobot 100 biji.
2. Diperoleh informasi karakter vegetatif yang memiliki korelasi erat serta memiliki nilai pengaruh langsung dan tak langsung tinggi terhadap karakter hasil yakni tinggi tanaman, diameter malai dan bobot malai.
3. Karakter ini direkomendasikan sebagai karakter seleksi untuk sorgum dan ditunjang memiliki ragam genetik yang luas dan heritabilitas tinggi.
4. Diperoleh 10 Galur F7 sorgum persilangan Numbu x Samurai 2 terbaik

berdasarkan indeks seleksi (karakter biomassa dan hasil tinggi) yakni NS021, NS126, NS107, NS123, NS112, NS020, NS015, NS119, NS121 dan NS011.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkhalek, A. A., Darwesh, R. K., & El-Mansoury, M. A. M. (2015). Response of some wheat varieties to irrigation and nitrogen fertilization using ammonia gas in North Nile Delta region. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.012>
- Ahmad, S. L., Wigena, M. H., & Human, A. S. (2014). Identifikasi pengaruh beberapa karakter agronomi terhadap daya hasil sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) dengan analisis lintas. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 2(49). <https://doi.org/10.17146/jair.2014.10>

2.2711

- Almeida, L. G. F., Parrella, R. A. de da C., Simeone, M. L. F., Ribeiro, P. C. de O., Dos-Santos, A. S., Da-Costa, A. S. V., Guimarães, A. G., & Schaffert, R. E. (2019). Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 122, 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.030>
- Alnopri, A. (2004). Variabilitas genetik dan heritabilitas sifat-sifat pertumbuhan bibit tujuh genotipe kopi robusta-arabika. *JlPI*, 6(2), 91–96.
- Andriani, D., Wirnas, D., & Trikoesoemaningtyas. (2020). Efektivitas metode seleksi pedigree dan modified bulk pada tiga populasi sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 47(3), 275–282. <https://doi.org/10.24831/jai.v47i3.27661>
- Anyomi, W. E., Barnor, M. T., Danquah, A., Ofori, K., Padi, F. K., Avicor, S. W., Hale, I., & Danquah, E. Y. (2023). Heritability and genetic advance estimates of key shea fruit traits. *Agronomy*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy13030640>
- Ariefin, M. N., Harsono, P., & Sakya, A. T. (2021). Potential of sorghum varieties as biofuel. *Agromet*, 35(2), 108–115. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.35.2.108-115>
- Ariska, T., Sebayang, H. T., & Suminarti, N. E. (2017). Upaya efisiensi pemanfaatan lahan melalui penanaman tanaman sela dalam sistem tanam tumpangsari dengan tanaman sorgum di lahan kering improvement of land use efficiency by using intercropping among sorghum and eggplant in dry land. *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(8), 1367–1374. <https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/514>
- Arvan, R. Y., & Aqil, M. (2020). *Deskripsi Varietas Unggul Jagung, Sorgum dan Gandum*.
- Ayer, D., Sharma, A., Ojha, B., Paudel, A., & Dhakal, K. (2017). Correlation and path coefficient analysis in advanced wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.3329/sja.v15i1.33155>
- Batista, L. G., Gaynor, R. C., Margarido, G. R. A., Byrne, T., Amer, P., Gorjanc, G., & Hickey, J. M. (2021). Long-term comparison between index selection and optimal independent culling in plant breeding programs with genomic prediction. *PLOS ONE*, 16(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235554>
- Delgado, I. D., F M A Gonçalves, F. M. A., Parrella, R. A. da C., Castro, F. M. R. de, & Nunes, J. A. R. (2019). Genotype by environment interaction and adaptability of photoperiod-sensitive biomass sorghum hybrids. *Bragantia*, 78(4), 509–521. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190028>
- Dewi, I. T., Trikoesoemaningtyas, & Wirnas, D. (2021). *Keragaman Karakter Agronomi, Stay Green dan Hasil Galur F4 Sorgum*. Departemen Agronomi dan Hortikultura, IPB.
- Elangovan, M., Reddy, G. V, Babu, P. K., & Rani, M. J. (2014). *Preliminary evaluation of mini-core collections of sorghum for utilization. Conference: global consultaltion on millets*

- promotion for health & nutritional security. Directorate of sorghum research. Hyderabad.*  
[https://www.researchgate.net/publication/259842742\\_Preliminary\\_evaluation\\_of\\_Minicore\\_collections\\_of\\_sorghum\\_for\\_utilization](https://www.researchgate.net/publication/259842742_Preliminary_evaluation_of_Minicore_collections_of_sorghum_for_utilization)
- Erdurmus, C., Yucel, C., Cinar, O., A, B.-Y., & Oten, M. (2018). Bioethanol And Sugar Yields Of Sweet Sorghum. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 7(11 ver 2), 21–26. <https://doi.org/10.9790/1813-0711022126>
- FAO. (2021). *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021.* <https://doi.org/10.4060/cb4477en>
- He, S., Tang, C., Wang, M. L., Li, S., Diallo, B., Xu, Y., Zhou, F., Sun, L., Shi, W., & Xie, G. H. (2020). Combining ability of cytoplasmic male sterility on yield and agronomic traits of sorghum for grain and biomass dual-purpose use. *Industrial Crops and Products*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112894>
- Istianingrum, P., & Damanhuri. (2016). Keragaman dan heritabilitas sembilan genotip tomat (*Lycopersicum esculentum* mill.) Pada budidaya organik (diversity and heritability of nine tomato genotypes (*Lycopersicum esculentum* mill.) On the organic cultivation). *In. Jur. Agroekotek*, 8(2). <https://doi.org/10.33512/j.agrtek.v8i2.1480>
- Jafar, M., Tesso, B., & Mengistu, G. (2023). Genetic variability, heritability, and genetic advance for quantitative traits of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes at Fedis, Eastern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 9(3), 064–075. <https://doi.org/10.17352/2455-815x.000195>
- Jain, S. K., & Patel, P. R. (2014). Characters association and path analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) f 1 s and their parents. *Annals of Plant and Soil Research*, 16(2), 107–110.
- Kumar, A. A., Sharma, H. C., Sharma, R., Blummel, M., Reddy, P. S., & Reddy, B. V. S. (2013). *Phenotyping in Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. In Phenotyping for Plant Breeding: Applications of Phenotyping Methods for Crop Improvement.* Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8320-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8320-5_3)
- Kumari, P., Pahuja, S. K., Panchta, R., Arya, S., Satpal, Tokas, J., & Aruna, C. (2017). Evaluation of forage sorghum brown midrib lines for quality biomass production. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology*, 6, 234–239.
- Lestari, T., Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, & Ardie, S. W. (2015). Screening of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Genotypes for Aluminium Stress Tolerance in Nutrient Culture. *Proc. Int. Conf. Plt. Phy.*
- Mattjik, A. A., & Sumertajaya, M. (2013). *Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab.* IPB Press.
- Missanjo, E., & Matsumura, J. (2017). Multiple Trait Selection Index for Simultaneous Improvement of Wood Properties and Growth Traits in Pinus kesiya Royle ex Gordon in Malawi. *Forests*, 8(4), 96. <https://doi.org/10.3390/f8040096>
- Momongan, J. D., Trikoesoemaningtyas, Wirnas, D., & Sopandie, D. (2019). Potensi hasil dan toleransi galur-galur

- inbrida sorgum pada tanah dengan hara fosfor rendah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 47, 39–46. <https://doi.org/10.24831/jai.v47i1.22629>
- Munarti, Wirnas, D., Trikoesoemaningtyas, Syukur, M., Sobir, & Sopandie, D. (2022). Kendali Genetik Stay Greenness dan Hasil serta Identifikasi Segregan Transgresif pada Empat Populasi F2 Sorgum. *J. Agron. Indonesia*, 50(1), 41–48. <https://doi.org/10.24831/jai.v50i1.39067>.
- Nakato, G. V, Okonya, J. S., Kantungeko, D., Ocimati, W., Mahuku, G., Legg, J. P., & Blomme, G. (2023). Influence of altitude as a proxy for temperature on key Musa pests and diseases in watershed areas of Burundi and Rwanda. *J.Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13854>.
- Naoura, G., Sawadogo, N., Atchozou, E. A., Emendack, Y., Hassan, M. A., Reoungal, D., Amos, D. N., N, N. D., Tabo, R., & Laza, H. (2019). Assesment of agro-morphological variability of dry-season sorghum cultivars in Chad as novel sources of drought tolerance. *Scientific Reports*, 9(1):19581. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56192-6>
- Reddy, P. S., & Reddy, B. V. S. (2019). *History of Sorghum Improvement, Breeding Sorghum for Diverse End Uses* (Food Scien). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00004-8>.
- Rohaeni, W. R., & Susanto, U. (2017). Penampilan agronomis dan pendugaan parameter genetik 100 galur Padi generasi lanjut pada kondisicekaman kekeringan. *Jurnal Agro*, 4(2). <https://doi.org/10.15575/1562>
- Setiawan, K., Restiningtias, R., Utomo, S. D., Ardian, A., Hadi, M. S., Sunyoto, S., & Yuliadi, E. (2019). Keragaman genetik, fenotip dan heritabilitas beberapa genotip sorghum pada kondisi tumpangsari dan monokultur. *Jurnal Agro*, 6(2), 95–109. <https://doi.org/10.15575/4568>
- Silva, K. J., Teodoro, P. E., De-Menezes, C. B., Júlio, M. P. M., De-Souza, V. P., Da-Silva, M. J., Pimentel, L. D., & Borém, A. (2017). Contribution of morphoagronomic traits to grain yield and earliness in grain sorghum. *J Genetics and Molecular Research*, 16(2), 3–10. <https://doi.org/10.4238/gmr16029649>
- Sitompul, S. M., & Guritno, B. (1995). *ANALISIS PERTUMBUHAN TANAMAN*. Gajah Mada University Press.
- Suarni, & Singgih, S. (2002). Karakteristik sifat fisik dan komposisi kimia beberapa varietas/galur biji sorgum. *J. Stigma*, 10(2), 127–130. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n>
- Takanashi, H., & Weijde, V. D. (2023). Genetic control of morphological traits useful for improving sorghum. *Breeding Science*, 73(1), 57–69. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.22069>
- Trikoesoemaningtyas, Winas, D., Sopandie, D., & Tesso, T. (2015). Genotypes X environment interaction effect on nutritional quality of sorghum lines in Indonesia. *Ekin J. Crop Breeding Genet*, 1, 26–31.
- Trikoesoemaningtyas, Wirnas, D., Saragih, E. L., Rini, E. P., Sari, M., Marwiyah, S., & Sopandie, D. (2017). Kendali genetik karakter morfologi dan agronomi pada tiga populasi sorgum (*Sorghum bicolor*

- (L.) Moench). *J. Agron Indonesia*, 45(3), 285–291. <https://doi.org/10.24831/jai.v45i3.18387>
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S Fourth edition by. World. USA*. Cambridge Publisher.
- Wardiana, E. (2018). *Menelisik Indikator Tingkat Ketelitian Suatu Penelitian Percobaan*.
- Wirnas, D., Trikoesoemaningtyas, Sutjahjo, S. H., Sopandie, D., Rohaeni, W. R., Marwiyah, S., & Sumianti. (2016). Keragaman karakter komponen hasil dan hasil pada genotipe kedelai hitam. *J. Agron. Indonesia*, 40(3), 184 –189.
- <https://doi.org/10.24831/jai.v40i3.13202>
- Xiao, M. Z., Q, Q. S., Hong, S., Chen, W. J., Pang, B., Du, Z. Y., Yang, W. B., Sun, Z., & Yuan, T. Q. (2021). Sweet sorghum for phytoremediation and bioethanol production. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3(32). <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00074-z>
- Yuliasari, R., Kamal, M., & Sunyoto. (2014). Distribusi bahan kering sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yang ditumpangsarikan dengan ubikayu (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agrotek Tropika*, 2(1), 61–64. <https://doi.org/10.23960/jat.v2i1.1931>