

Pengembangan Gandum di Daerah Tropika dengan Pendekatan Fisiologis dan Agronomis

Zulkifli Zaini dan Nuning Argo Subekti
Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.) bukan merupakan tanaman daerah tropika, namun dikenal sebagai tanaman yang berasal dari Asia Barat beriklim mediteran kering (Klages 1958). Daerah budi daya gandum, Curtis (1988) membagi negara-negara tropika menjadi dua tipe lingkungan utama, yaitu (1) wilayah dengan suhu udara tinggi, kelembaban udara rendah, periode tumbuh pendek dan sedikit ditemukan permasalahan penyakit tanaman, dan (2) wilayah dengan suhu dan kelembaban udara tinggi, periode tumbuh pendek, dan penyakit tanaman lebih dominan.

Indonesia digolongkan ke dalam tipe lingkungan kedua, walaupun sebenarnya kedua tipe lingkungan utama tersebut terdapat di Indonesia. Kawasan Timur Indonesia lebih mewakili tipe lingkungan yang pertama, sedangkan Kawasan Barat Indonesia mewakili tipe lingkungan kedua (Zaini *et al.* 1991). Sesuai dengan letak geografis Indonesia di daerah tropis, maka jenis gandum yang mungkin dibudi dayakan adalah gandum musim dingin (*winter wheat*). Jenis gandum tersebut dapat tumbuh pada kisaran suhu udara antara 4-31°C, dengan suhu udara optimum rata-rata 20°C (Fisher 1983).

Tulisan ini membahas kesesuaian lingkungan, pendekatan fisiologis dan agronomis dalam pengembangan gandum di daerah dengan cekaman suhu tinggi.

KESESUAIAN LINGKUNGAN TANAMAN GANDUM

Curah Hujan

Tanaman gandum membutuhkan air dan kelembaban udara yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanaman serealia lainnya. Curah hujan terbaik untuk tanaman gandum berkisar antara 640-890 mm/tahun. Diperlukan adanya bulan kering (< 100 mm/bulan) pada periode akhir sebelum panen. Curah hujan yang tinggi pada periode satu bulan sebelum panen akan meningkatkan penularan penyakit scab oleh *Fusarium* spp. di samping menyukarkan perontokan gabah dan menurunnya kualitas tepung yang dihasilkan.

Kassam (1976) dan FAO (1978) mengemukakan kesesuaian lingkungan/iklim untuk tanaman gandum adalah laju fotosintesa 20-30 mg CO₂/dm²/jam,

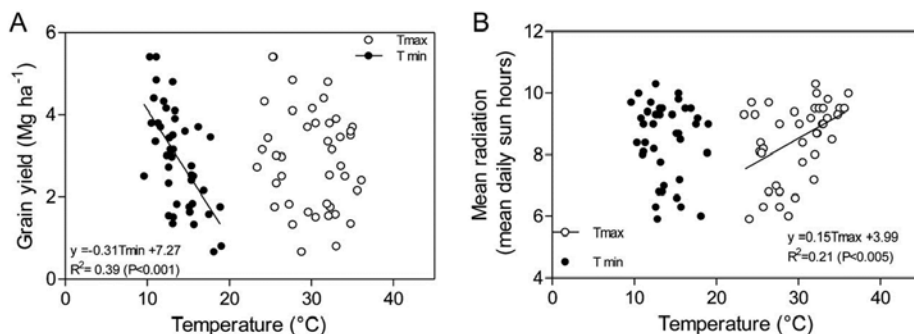
suhu udara rata-rata 15-23°C, radiasi surya 0,2-0,6 kal/cm²/menit, dan curah hujan 60-155 mm/bulan.

Suhu Udara

Suhu udara (maksimum dan minimum) merupakan faktor utama dalam menentukan kesesuaian wilayah untuk tanaman gandum. Tanaman gandum memberikan produksi optimal pada kisaran suhu udara 10-20°C (Fisher 1985) dan kisaran tersebut hanya terdapat pada daerah-daerah di sekitar lintang 20° atau lebih tinggi. Di sekitar garis khatulistiwa, kisaran ini sangat dipengaruhi oleh tinggi tempat dari muka laut. Di Indonesia, kisaran suhu tersebut ditemukan di daerah dengan ketinggian lebih dari 500 m di atas muka laut.

Aggarwal (1991) menggunakan model simulasi dalam memprediksi produktivitas gandum yang dikaitkan dengan suhu udara. Untuk setiap derajat celcius kenaikan suhu udara rata-rata, hasil gandum akan turun 504 kg/ha. Di daerah dengan suhu udara rata-rata 22,5-27,5°C hasil yang dapat dicapai hanya 1,9-4,4 t/ha, pada suhu 17,5-22,5°C memberi hasil 4,5-6,9 t/ha, dan pada suhu 12,5-22,5°C diperoleh hasil 7,0-9,4 t/ha. Rendahnya potensi hasil pada daerah berelevasi rendah erat kaitannya dengan respon tanaman terhadap suhu udara. Suhu yang tinggi memperpendek fase vegetatif tanaman, sehingga potensi genetik tanaman tidak tercapai (Kramer 1980).

Menurut Reynolds *et al.* (2001), penanaman gandum di wilayah tropika mempunyai kelemahan, terutama cekaman suhu tinggi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Cekaman panas terus-menerus didefinisikan sebagai suhu rata-rata harian lebih dari 17,5°C pada bulan paling dingin dalam satu musim (Fokar *et al.* 1998). Lebih dari 50 negara (yang mengimpor lebih dari 30-40 juta ton gandum per tahun) mengalami cekaman ini sepanjang siklus tanaman gandum. Hal ini menyebabkan sebagian besar negara-negara berkembang di daerah tropika memilih cekaman suhu tinggi sebagai salah satu prioritas penelitian utama mereka (Reynolds *et al.* 2001).



Gambar 1. Hubungan antara hasil gabah (A) dan rata-rata radiasi matahari (B) dengan suhu maksimum dan minimum dari 16 genotipe tanaman gandum.

Sumber: Cossani dan Reynolds (2012).

Tabel 1. Korelasi genetik antara komponen morfologi dengan hasil 10 varietas gandum pada 16 lingkungan kelembaban relatif yang berbeda, IHSGE 1990-94.

Komponen morfologi	Korelasi genetik
Biomasa bagian atas tanaman saat panen	0,88**
Gabah/m ²	0,77**
Gabah/malai	0,67*
Indeks panen	0,51
Bobot biji	-0,10
Malai/m ²	0,0
Umur antesis	0,83**
Umur panen	0,81**
Tinggi tanaman	0,20
% penutupan tanah (saat antesis)	0,67*
Biomasa saat antesis	0,35
Bobot kering tanaman (stadia 5 daun)	-0,45
% penutupan tanah (stadia 5 daun)	-0,30
Jumlah rumpun tanaman/m ²	-0,15

* Berbeda nyata pada taraf $t \leq 0,05$, ** berbeda sangat nyata pada taraf $t \leq 0,01$.

Sumber: Reynolds *et al.* 1998; Vargas *et al.* (1998)

Kerjasama penelitian *International Heat Stress Genotype Experiment* (IHSGE) antara CIMMYT dan NARS pada aspek fisiologis cekaman suhu tinggi tanaman gandum dimulai pada tahun 1990, melibatkan peneliti gandum di Bangladesh, Brazil, Mesir, India, Nigeria, Sudan, dan Thailand (Reynolds *et al.* 1998). Tujuan utama IHSGE adalah untuk mengamati keragaman genetik dalam kaitannya dengan suhu tinggi, dan meningkatkan pemahaman tentang dasar-dasar fisiologis dan genetika dari cekaman suhu tinggi.

Hasil utama penelitian IHSGE dalam periode 1990-94 menunjukkan: (1) interaksi antara lingkungan dan genotipe dipengaruhi oleh kelembaban udara relatif (RH), baik pada negara-negara yang mempunyai RH rendah (misalnya Sudan, Meksiko, dan India) maupun RH tinggi (seperti Bangladesh dan Brasil), dan (2) terdapat hubungan yang konsisten antara hasil gandum dan beberapa komponen morfologi tanaman (Tabel 1).

KARAKTER FISILOGIS TERKAIT TOLERANSI PANAS

Keanekaragaman genetik untuk toleransi panas dalam budi daya gandum telah banyak diketahui (Midmore *et al.* 1984, Rawson 1986, Wardlaw *et al.* 1989; Al-Khatib and Paulsen 1990, Reynolds *et al.* 1994). Cossani dan Reynolds (2012) mengemukakan jika air dan nutrisi tidak menjadi faktor pembatas, hasil gandum menjadi fungsi dari tiga karakter utama secara genetik, yaitu: (1) intersepsi cahaya (LI); (2) efisiensi penggunaan radiasi (RUE); dan (3) partisi total asimilasi.

Asimilasi fotosintesa menjadi faktor pembatas di bawah tekanan cekaman suhu tinggi di wilayah tropika dibandingkan dengan lingkungan beriklim sedang,

terutama karena cekaman suhu tinggi meningkat selama proses pengisian biji. Pada saat yang sama, kebutuhan hasil asimilat meningkat cepat. Hal ini diindikasikan oleh pengamatan bahwa di bawah cekaman suhu tinggi, jumlah biomassa di atas tanah berkorelasi sangat nyata dengan hasil biji dibandingkan dengan indeks panen (Tabel 1). Situasi ini biasanya terbalik pada wilayah beriklim sedang. Oleh karena itu, karakter yang mempengaruhi efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, seperti persentase penutupan tanah awal, tetap hijau/*stay green*, dan laju fotosintesis, menjadi penting di bawah tekanan suhu tinggi. Bukti fisiologis menunjukkan bahwa menurunnya jumlah klorofil selama proses pengisian biji berkaitan erat dengan penurunan hasil gandum di lapangan (Reynolds *et al.* 1994).

Studi dalam lingkungan terkendali (*growth chamber*) mengungkapkan adanya variabilitas genetik pada tingkat fotosintesis antara kultivar gandum bila terkena cekaman suhu tinggi (Wardlaw *et al.* 1980, Blum 1986). Perbedaan fotosintesis di bawah cekaman suhu tinggi terkait dengan menurunnya jumlah klorofil dan perubahan dalam rasio klorofil a:b karena proses penuaan daun yang lebih awal (Al-Khatib and Paulsen 1990, Harding *et al.* 1990, Moffat *et al.* 1990). Penurunan suhu kanopi (*canopy temperature depression/CTD*), ketahanan stomata pada daun bendera, dan laju fotosintesis berhubungan dengan keragaan tanaman di lapangan di bawah cekaman suhu tinggi (Reynolds *et al.* 1994). Ketahanan stomata dan CTD merupakan mekanisme melepaskan diri (*escape mechanism*) dari cekaman suhu tinggi (Amani *et al.* 1996, Shanahan *et al.* 1990).

Menggunakan konduktimeter untuk mengukur kebocoran zat terlarut dari sel, diperkirakan kerusakan akibat cekaman suhu tinggi terjadi pada membran plasma atau membran termostabilitas (MT) (Blum and Ebercon 1981). Saadalla *et al.* (1990) menemukan korelasi yang tinggi antara kerusakan MT pada stadia bibit dan stadia generatif (daun bendera) untuk genotipe yang tumbuh di bawah kondisi lingkungan terkontrol yang diberi perlakuan cekaman suhu tinggi.

Hilangnya integritas membran mungkin menjadi penyebab kebocoran ion sel. Fenomena ini juga bisa disebabkan oleh suhu tinggi yang mendorong penghambatan aktivitas enzim yang terikat pada membran yang berfungsi memelihara keluar masuknya ion-ion di dalam sel. Bukti langsung terjadinya penghambatan proses biokimia pada mekanisme toleran suhu tinggi pada tanaman gandum adalah tidak aktifnya enzim pelarut pati synthase pada suhu tinggi (Keeling *et al.* 1994). Konversi sukrosa menjadi pati dihambat pada kondisi cekaman suhu tinggi, yang menjelaskan peningkatan kadar karbohidrat dalam jaringan vegetatif terjadi pada proses pengisian biji (Bhullar and Jenner 1986, Gutierrez-Rodriguez *et al.* 2000).

PENDEKATAN FISILOGIS UNTUK PEMULIAAN TANAMAN TOLERAN SUHU TINGGI

Mekanisme fisiologis yang berbeda dapat berperan dalam toleransi suhu tinggi kultivar gandum di lapangan, seperti ditunjukkan oleh tingkat fotosintesis yang lebih tinggi, daun tetap hijau, membran thermostability, atau menghindari panas seperti yang ditunjukkan oleh penurunan suhu kanopi. Program pemuliaan dapat mengukur sifat-sifat tersebut untuk membantu pelaksanaan seleksi galur-galur toleran suhu tinggi.

Data lapangan menunjukkan hubungan yang nyata antara CTD dengan hasil biji, baik pada lingkungan suhu tinggi maupun beriklim sedang. CTD menunjukkan korelasi genetik yang tinggi dengan hasil biji. Reynolds *et al.* (1998) melaporkan sifat ini diwariskan sehingga dapat digunakan dalam seleksi generasi awal. Nilai CTD dapat diukur hampir seketika (*real time*) pada sejumlah tanaman dalam petak pemuliaan yang kecil. CTD dipengaruhi oleh banyak faktor fisiologis, yang membuatnya menjadi sifat integratif yang kuat, tetapi penggunaannya mungkin dibatasi oleh kepekaan terhadap faktor lingkungan. Pengukuran CTD pada 60 galur harapan tanaman gandum di Meksiko menunjukkan korelasi yang tinggi dengan hasil biji (Tabel 2).

Penurunan suhu kanopi tanaman sangat sesuai untuk seleksi galur-galur unggul secara fisiologis pada lingkungan suhu tinggi dengan kelembaban relatif yang rendah, evaporasi tinggi yang menyebabkan pendinginan daun hingga 10°C di bawah suhu kamar. Perbedaan di antara genotipe untuk dideteksi relatif mudah dengan menggunakan thermometer inframerah. Namun, perbedaan tersebut tidak dapat dideteksi dalam lingkungan kelembaban relatif tinggi, karena efek pendinginan evaporasi daun sangat kecil. Meskipun demikian, daun mempertahankan stomata tetap terbuka untuk memungkinkan penyerapan CO₂. Perbedaan laju fiksasi CO₂ dapat menyebabkan perbedaan ketahanan stomata daun yang dapat diukur dengan porometer.

Tabel 2. Asosiasi CTD (*canopy temperature depression*) dengan karakter 60 galur harapan tanaman gandum, Ciudad Obregon, Meksiko, 1995.

Karakter	Koefisien korelasi dengan CTD
Hasil biji	0,60**
Biomasa	0,40**
Indeks panen	0,14
Bobot kernel	-0,32*
Biji/m ²	0,62**
Malai/m ²	0,33*
Biji/malai	0,40**
Umur panen	0,10
Umur berbunga	0,42**
Tinggi tanaman	0,10

* Berbeda nyata pada taraf $t \leq 0.05$, ** berbeda sangat nyata pada taraf $t \leq 0.01$.
Sumber: Reynolds *et al.* (1998).

Pola cekaman suhu tinggi dapat bervariasi antardaerah tumbuh gandum. Faktor utama yang menjelaskan interaksi genotipe dan lingkungan adalah kelembaban relatif (RH). Pada wilayah dengan RH rendah, seperti Kawasan Timur Indonesia kurangnya ketersediaan kultivar yang secara fisiologis toleran suhu tinggi merupakan faktor pembatas hasil biji yang tinggi. Sementara pada kondisi lingkungan dengan RH tinggi seperti di Kawasan Barat Indonesia, tekanan penyakit dapat menjadi faktor pembatas tambahan dan mungkin lebih serius. Penurunan suhu kanopi dapat menjadi kriteria seleksi tidak langsung yang berpotensi kuat dalam lingkungan RH rendah, sedangkan ketahanan stomata dan membran termostabilitas dapat diterapkan di semua lingkungan.

PENDEKATAN AGRONOMIS UNTUK MENGURANGI PENGARUH CEKAMAN SUHU TINGGI

Pertumbuhan tanaman yang optimal membutuhkan pasokan air, hara, dan radiasi matahari. Bila suhu udara meningkat, permintaan terhadap sumber daya air dan hara meningkat karena tingginya laju metabolisme, pertumbuhan, dan evapotranspirasi (Rawson 1986). Ketika sumber daya seperti air dan hara dibatasi oleh tekanan panas, ukuran organ tanaman seperti luas daun, jumlah anakan, dan gabah berkurang (Fischer 1984). Tingkat sensitivitas proses metabolisme terhadap pengaruh suhu tinggi di lapangan, ditambah dengan berkurangnya umur tanaman pada suhu tinggi (Midmore *et al.* 1984), menjelaskan mengapa hasil gandum sangat terkait dengan total biomassa tanaman pada lingkungan suhu tinggi. Interaksi ini membuat manajemen pengelolaan tanaman menjadi penting untuk mempertahankan hasil panen gandum di lingkungan suhu tinggi.

Penggunaan pupuk organik seperti pupuk kandang dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah, serta membantu menjaga kelembaban tanah (Sattar and Gaur 1989; Tran-Thuc-Son *et al.* 1995). Pemberian pupuk organik sebanyak 10-15 t/ha di awal pertanaman meningkatkan hasil panen gandum selama tiga musim tanam berturut-turut, bila dikombinasikan dengan pemberian pupuk anorganik N pada kondisi panas dan kelembaban tinggi di Bangladesh (Mian *et al.* 1985). Pada kondisi suhu tinggi, penguapan pupuk N dalam bentuk NH_3 lebih cepat dibandingkan dengan aplikasi setara N dalam bentuk pupuk organik seperti pupuk kandang (Tran-Thuc-Son *et al.* 1995).

Penggunaan kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap hasil gandum dievaluasi dalam percobaan lapangan di Pakistan (Syah *et al.* 2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pemberian 25% N dari kotoran sapi, 25% N dari kotoran ayam, dan 50% N dari pupuk urea cenderung memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan 100% N asal urea (Tabel 3).

Mulsa jerami juga berpotensi memperbaiki cekaman suhu tinggi dengan mengurangi laju penguapan kelembaban tanah dan meningkatkan laju infiltrasi dan menurunkan suhu tanah (Lal 1975, Badaruddin *et al.* 1999). Suhu permukaan tanah dapat melebihi suhu udara 10-15°C jika permukaan tanah

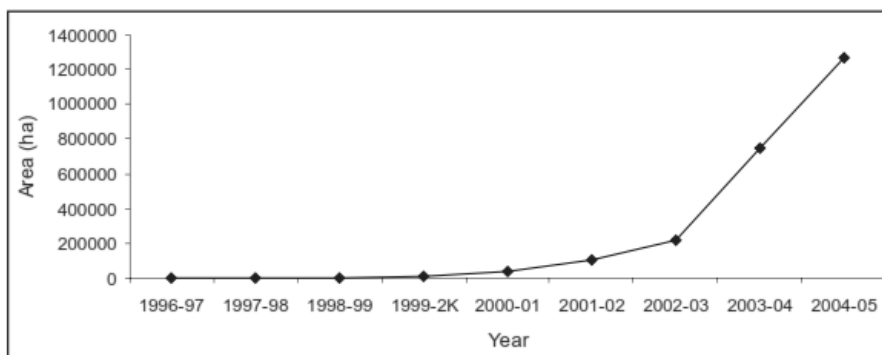
gundul dan intensitas radiasi matahari tinggi (Fischer 1984). Kondisi ini menunjukkan hasil gandum di lingkungan yang hangat dapat ditingkatkan dengan memodifikasi teknik budi daya. Secara keseluruhan, aplikasi pupuk kandang memiliki efek terbesar dan paling konsisten terhadap hasil. Teknik olah tanah minimum yang terkait dengan pemanfaatan sisa tanaman dan curah hujan juga meningkatkan hasil gandum (Malik *et. al.* 2004).

Pola tanam padi-gandum merupakan sistem tanam yang paling penting di India dan China. Petani menanam padi di lahan sawah pada musim hujan dan diikuti oleh gandum pada musim dingin. Padi dibudi dayakan setelah tanah diolah sempurna (OTS) dan gandum dibudi dayakan tanpa olah tanah (TOT). Berkembangnya gandum dengan teknik TOT didukung oleh pengembangan varietas toleran herbisida (Gambar 2). Produktivitas gandum cenderung lebih tinggi pada teknik TOT dibanding OTS.

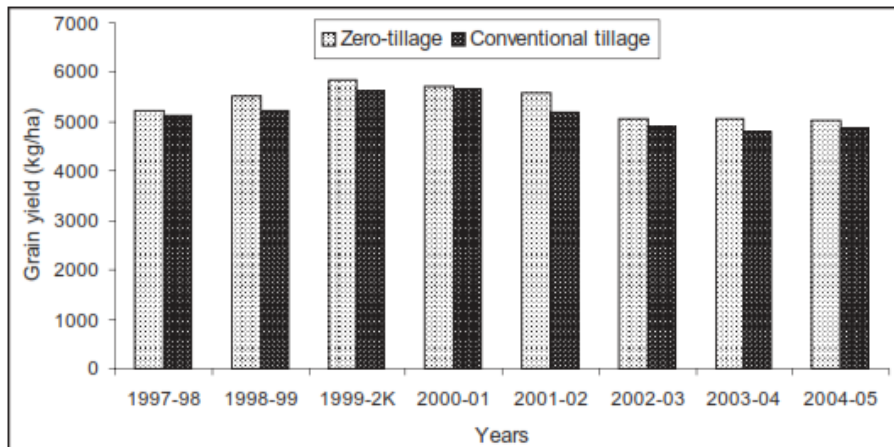
Tabel 3. Kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap komponen hasil dan hasil tanaman gandum.

N organik (%)		N pupuk urea (%)	Biji/ malai	Bobot 1000 biji (g)	Hasil biji (kg/ha)	Peningkatan hasil (kg/ha)
Kotoran sapi	Kotoran ayam					
0	0	0	31,16 d	20,64 e	2150 c	0
0	0	100	39,65 bc	40,08 bcd	2850 ab	700
25	0	75	42,35 ab	39,70 cd	2700 ab	550
0	25	75	41,15 ab	39,35 d	2550 b	400
25	25	50	39,30 bc	42,75 a	3050 a	900
LSD (0,05)			3,12	2,06	0,779	

Kandungan C-organik tanah 0,86%; kandungan N kotoran sapi 0,6% dan kotoran ayam 2,87%. Sumber: Shah *et al.* (2010)



Gambar 2. Perkembangan luas tanam gandum tanpa olah tanah di India
Sumber: Singh *et al.* (2005)



Gambar 3. Produktivitas gandum tanpa oian tanah (TOT) dan oian tanah sempurna (OTS), rata-rata enam lokasi, di lahan petani yang menerapkan TOT terus menerus dalam pola tanam padi – gandum di negara bagian Haryana, India
 Sumber: Yadav *et al.* (2005)

Pertumbuhan gandum pada kondisi suhu tinggi sangat sensitif terhadap manajemen pengelolaan tanaman. Pendekatan terpadu yang merupakan kombinasi beberapa teknik budi daya yang sinergis dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan air dan hara bagi tanaman. Pendekatan terpadu ini dapat dipilah untuk wilayah dengan cekaman suhu tinggi serta kelembaban tinggi dan wilayah dengan suhu tinggi serta kelembaban rendah.

KESIMPULAN

Tanaman gandum memberikan produksi optimal pada kisaran suhu udara 10-20°C dengan bulan kering (<100 mm/bulan) pada periode akhir sebelum panen. Rendahnya potensi hasil pada daerah berelevasi rendah erat kaitannya dengan respon tanaman terhadap suhu udara. Suhu yang tinggi memperpendek fase vegetatif tanaman, sehingga potensi genetik tanaman tidak tercapai. Penurunan suhu kanopi, ketahanan stomata pada daun bendera, dan laju fotosintesis berhubungan dengan keragaan tanaman di lapangan di bawah cekaman suhu tinggi. Penurunan suhu kanopi menunjukkan korelasi genetik yang tinggi dengan hasil biji sehingga dapat digunakan dalam seleksi generasi awal. Budi daya gandum tanpa olah tanah setelah padi sawah, penggunaan pupuk organik dan mulsa jerami merupakan kombinasi beberapa teknik budi daya yang sinergis, dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan air dan hara bagi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P. K. 1991. Simulating growth, development, and yield of wheat in warmer areas. Pages 429-446 *In* Saunders, D.A. (ed). Wheat for Non-Traditional Warm Area. Proc. of the International Conference, July 29-August 3, 1991, Brazil. CIMMYT, Mexico D.F.
- Al-Khatib, K. and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat cultivars from major world regions. *Crop Sci.* 30:1127-1132.
- Amani, I., R.A. Fischer, and M.P. Reynolds. 1996. Evaluation of canopy temperature as a screening tool for heat tolerance in spring wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 176:119-129.
- Badaruddin, M., M.P. Reynolds, and O.A.A. Ageeb. 1999. Wheat management in warm environments: effect of organic and inorganic fertilizers, irrigation frequency, and mulching. *Agronomy J.* 91.
- Bhullar, S.S., and C.F. Jenner. 1986. Effects of temperature on the conversion of sucrose to starch in the developing wheat endosperm. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:605-615.
- Blum, A. 1986. The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. *J. Experimental Botany* 37:111-118.
- Blum, A., and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.
- Cossani, C. M. and M. P. Reynolds. 2012. Physiological Traits for Improving Heat Tolerance in Wheat. *Plant Physiol.* 160:1710-1718
- Curtis, B. C. 1988. The potential for expanding wheat production in marginal and tropical environments. *In* A.R. Klatt (ed) *Wheat Production Constraints in Tropical Environments*. Mexico, D. F.- CIMMYT.
- FAO. 1978. Report on the agro ecological zones project. Methodology and Results for Africa. *World Soil Resources Report, Vol I/48*, Rome
- Fischer, R. A. 1983. Wheat. *In* Potential Productivity of Field Crops under Different Environments. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna. P. 129-154
- Fischer, R. A. 1984. Physiological limitations to producing wheat in semi-tropical and tropical environments and possible selection criteria. *In*: *Wheats for More Tropical Environments. A Proceedings of the International Symposium*. Mexico, D.F.: CIMMYT. pp. 209-230.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105:447-61.
- Fokar, M., H.T. Nguyen, and A. Blum. 1998. Heat tolerance in spring wheat. I. Genetic variability and heritability of cellular thermotolerance. *Euphytica* 104:1-8.
- Gutiérrez-Rodríguez, M., M.P. Reynolds, and A. Larqué-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. II: Traits associated with genetic gains in yield. *Field Crop Res.* 66:51-62.
- Harding, S.A., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. I. Interaction with senescence process. *Plant Physiol.* 92:648-653.
- Kassam, A. H. 1976. Crops on the West Africa semi-arid tropics. ICRISAT, Hyderabad.

- Keeling, P.L., R. Banisadr, L. Barone, B.P. Wasserman, and A. Singletary. 1994. Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing maize and wheat grain. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:807-827.
- Klages, K.H.W. 1958. *Ecological Crop Geography*. McMillan New York. 2nd Eds.
- Kramer, P. J. 1980. Drought stress and origin of adaptation of plants to water and high temperature stress. N.C. Turner and P.J. Kramer (Eds.). John Willey and Sons. Inc. New York.
- Lal, R. 1975. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. IITA Tech. Bull. I. Ibadan, Nigeria.
- Malik, R. K., A. Yadav, G. S. Gill, P. Sardana, R. K. Gupta, and C. Piggin. 2004. Evolution and Acceleration of No-till Farming in Rice-Wheat Cropping System of the Indo-Gangetic Plains. *In* New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep-1 Oct 2004, Brisbane, Australia. Web site [www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au)
- Mian, M.I.A., M.A. Rouf, M.A. Rashid, M.A. Mazid, and M. Eaquab. 1985. Residual effects of triple super phosphate (TSP) and farmyard manure (FYM) under renewed application of urea on the yield of crops and some chemical properties of soil. *Bangladesh J. Agric. Sci.* 10(2):99-109
- Midmore, D.J., P.M. Cartwright, and R.A. Fischer. 1984. Wheat in tropical environments. II. Crop Growth and Grain yield. *Field Crops Res.* 8:207-227.
- Moffat, J.M., G. Sears, T.S. Cox, and G.M. Paulsen. 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Sci.* 30:881-885.
- Rawson, H.N. 1986. High temperature-tolerant wheat: A description of variation and a search for some limitations to productivity. *Wild Crops Res.* 14:197-212.
- Reynolds, M.P., M. Balota, M.I.B. Delgado, I. Amani, and R.A. Fischer. 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:717-30.
- Reynolds, M.P., R.P. Singh, A. Ibrahim, O.A.A. Ageeb, A. Larqué-Saavedra, and J.S. Quick. 1998. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica* 100:84-95.
- Reynolds, M.P., S. Nagarajan, M.A. Razzaque, and O.A.A. Ageeb. 2001. Heat Tolerance. Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Saadalla, M.M, J.F. Shanahan, and J.S. Quick, 1990. Heat tolerance in winter wheat. I. Hardening and genetic effects on membrane thermostability. *Crop Sci.* 30:1243-1247.
- Sattar, M.A., and A.C. Gaur. 1989. Effect of Vamycorrhiza and phosphate dissolving microorganism on the yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum vulgare*) in Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 14(3):233-239.
- Shah, A. S., S. M. Shah, W. Mohammad, M. Shafi, H. Nawaz, S. Shehzadi and M. Amir. 2010. Effect of integrated use of organic and inorganic nitrogen sources on wheat yield. *Sarhad J. Agric.* 26(4): 559-563
- Shanahan, J.F., I.B. Edwards, J.S. Quick, and R.J. Fenwick. 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. *Crop Sci.* 30:247-251.

- Singh, S. S., R. K. Malik, R. Gupta, S. Singh, 2005. Weed problems associated with the new technologies in rice-wheat cropping system of Bihar. Project Workshop Proc. on "Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains" held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 252-260.
- Tran-Thuc-Son, U. Singh, J.L. Padilla, and R.J. Buresh. 1995. Management of urea and degraded soils of Red River Delta (Vietnam): Effect of growing season and cultural practice. p. 161-175. In G.L. Denning and VoTong-Xuan (eds.). Vietnam and IRRI, A Partnership in Rice Research, Proceedings of a Conference. Los Baños, Laguna (Phil.). IRRI.
- Vargas, M., Crossa, J., Sayre, K.D., Reynolds, M.P., Ramírez, M.E., and Talbot, M. 1998. Interpreting genotypes by environment interaction in wheat by partial least square regression. *Crop Sci.* 38:679-689.
- Wardlaw, J.F., I. Sofield, and P.M Cartwright. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 7:387-400.
- Yadav, A., R. K. Malik, S. S. Punia, R.S. Malik and S. Singh, 2005. Studies on the impact of long-term zero tillage in pearl millet cropping sequence. Project Workshop Proc. on Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 23-31.
- Zaini, Z., M. Jusuf, dan A. Kaher, 1991. Potential for Wheat Production in Indonesia. Pages 55-64 *In* Saunders, D.A. (ed). *Wheat for the Non-traditional Warm Areas*. Proc. of the International Conference, July 29 - August 3, 1991, CYMMIT, Mexico D.F.

