

**KAJIAN KECEKAPAN PENGGUNAAN NITROGEN DAN DISKRIMINASI ISOTOP KARBON KE
ATAS PADI GARISAN MUTAN NMR151 DAN NMR 152 DI LADANG DI BAWAH KADAR
NITROGEN DAN POTENSI AIR BERBEZA**

**(NITROGEN USE EFFICIENCY AND CARBON ISOTOPE DISCRIMINATION STUDY ON NMR151
AND NMR152 MUTANT LINES RICE AT FIELD UNDER DIFFERENT NITROGEN RATES AND
WATER POTENTIALS)**

Ahmad Nazrul Abd Wahid, Shyful Azizi Abdul Rahman, Abdul Rahim Harun, Latiffah Noordin, Abdul Razak Ruslan, Hazlina Abdullah and Khairuddin Abdul Rahim

Agrotechnology and Biosciences Division, Malaysian Nuclear Agency,
Bangi, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia
Corresponding author: a_nazrul@nuclearmalaysia.gov.my

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk menilai kecekapan penggunaan nitrogen dan diskriminasi isotop ^{13}C padi garisan mutan iaitu NMR151 dan NMR152. Kedua-dua kultivar yang dibangunkan di bawah program beras radiasi mutagenesis untuk keupayaan menyesuaikan diri kepada keadaan aerob. Dalam kajian ini, NMR151 dan NMR152 telah ditanam di bawah keadaan potensi air dan tahap nitrogen yang berbeza di ladang. Dua potensi air dan tiga kadar nitrogen pada rekabentuk rawak lengkap dengan tiga replikasi telah dijalankan. Padi garisan mutan ditanam untuk 110 hari di bawah dua potensi air, (i) Kapasiti had ladang dari 0-110 DAS [FC], dan (ii) Kapasiti had ladang dari 0-40 DAS dan 30% kering kapasiti had ladang dari 41-110 DAS [SS] dan tiga kadar nitrogen, (i) 0 kg N / ha (0N), (ii) 60 kg N / ha (60N), dan (iii) 120 kg N / ha (120N). Kaedah pengesanan isotop ^{15}N telah digunakan dalam kajian ini, di mana, ^{15}N berlabel baja urea 5.20% lebihan atom (a.e) telah digunakan sebagai penyurih untuk kajian kecekapan penggunaan nitrogen (NUE). Kehadiran isotop ^{15}N di dalam sampel telah ditentukan dengan menggunakan emission spektrometer dan peratusan jumlah nitrogen telah ditentukan menggunakan kaedah Kjeldahl. Nilai ^{15}N a.e di dalam sampel telah digunakan dalam penentuan dan penilaian NUE. Nilai diskriminasi isotop ^{13}C ($\Delta^{13}\text{C}$) di dalam sampel ditentukan menggunakan spektrometri jisim nisbah isotop (IRMS). Teknik diskriminasi isotop ^{13}C telah digunakan sebagai alat untuk mengenal pasti kultivar padi tahan kemarau dengan meningkatkan kecekapan penggunaan air. Data-data tumbuhan dan agronomi seperti tinggi pokok, bilangan tiler, hasil bijirin, hasil jerami dan berat 1000 biji turut direkodkan. Hasil daripada kajian ini menunjukkan kadar nitrogen memberi pengaruh atau kesan yang signifikan ke atas hasil (bijirin dan jerami), tinggi pokok, bilangan tiler dan berat 1000 biji padi. Sementara itu, potensi air mempunyai pengaruh yang signifikan hanya pada berat 1000 biji dan $\Delta^{13}\text{C}$. NUE untuk kedua-dua padi garisan mutan telah menunjukkan tiada perbezaan yang signifikan di antara rawatan. Kedua-dua padi garisan mutan NMR151 dan NMR152 juga didapati tidak mempunyai perbezaan signifikan ke atas parameter-parameter yang telah dikaji.

Katakunci: garisan padi mutan, potensi air, penyurih isotop ^{15}N , kecekapan penggunaan nitrogen, diskriminasi isotop ^{13}C

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the nitrogen use efficiency and ^{13}C isotope discrimination of rice mutant lines viz. NMR151 and NMR152. Both cultivars are developed under rice radiation mutagenesis programme for adaptability to aerobic conditions. In the present study, NMR151 and NMR152 were grown under conditions of varying water potentials and nitrogen levels in a field. Two water potentials and three nitrogen rates in a completely randomized design with three replications were carried out. The rice mutants were grown for 110 days under two water potentials, (i) Field capacity from 0 to 110 DAS [FC], and (ii) Field capacity from 0 to 40 DAS and 30% dry of field capacity from 41 to 110 DAS [SS] and three nitrogen rates, (i) 0 kg N/ha (0N), (ii) 60 kg N/ha (60N), and (iii) 120 kg N/ha (120N). ^{15}N isotopic tracer technique was used in this study, whereby the ^{15}N labeled urea fertilizer 5.20% atom excess (a.e) was utilized as a tracer for nitrogen use efficiency (NUE) study. ^{15}N isotope presence in the samples was determined using emission spectrometry and percentage of total

nitrogen was determined by the Kjeldahl method. ¹⁵N a.e values of the samples were used in the determination of the NUE. The value of ¹³C isotope discrimination ($\Delta^{13}C$) in the sample was determined using isotope ratio mass spectrometry (IRMS). The ¹³C isotope discrimination technique was used as a tool to identify drought resistance rice cultivars with improves water use efficiency. The growth and agronomy data, viz. plant height, number of tillers, grain yield, straw yield, and 1000 grain weight also were recorded. Results from this study showed nitrogen rates imparted significant effects on yield (grain and straw) plant height, number of tillers and 1000 grain weight. Water potentials had significant effects only on 1000 grain weight and $\Delta^{13}C$. The NUE for both mutant lines rice showed no significant different between treatments. Both Rice mutant lines rice NMR151 and NMR152 also were found to be not significantly different on the parameters that were studied.

Keywords: rice mutant lines, water potentials, ¹⁵N isotopic tracer, nitrogen use efficiency, ¹³C isotope discrimination.

PENDAHULUAN

Padi merupakan tanaman yang paling penting kedua di dunia selepas gandum dengan Asia menjadi pengeluar dan pengguna terbesar (Gumma et al., 2011). Penduduk Asia yang semakin meningkat telah membawa kepada peningkatan 70% anggaran dalam beras yang perlu untuk memenuhi permintaan pada masa hadapan (Apademetriou et al., 2000). Permintaan beras di Asia telah meningkat sebanyak 30% pada tahun 2010 yang mana kelembapan ekonomi serantau telah memaksa lebih ramai orang bergantung kepada diet ruji disebabkan kos yang lebih tinggi dalam mempelbagaikan diet (Najim et al., 2007). Atas sebab-sebab keselamatan makanan, adalah perlu bagi Malaysia untuk memastikan tahap sara diri beras sebagai makanan ruji. Di bawah Bidang Ekonomi Utama Negara (NKEA), Malaysia mensasarkan untuk meningkatkan pengeluaran beras tempatan kepada 90% daripada penggunaan domestik dalam beras menjelang tahun 2020. Ketika ini, tahap sara diri beras Negara adalah sekitar 72% dan selebihnya 28% lagi bergantung kepada beras import dari luar Negara (Badrulhadza et al., 2013). Merujuk kepada kajian di MARDI, kebergantungan kepada beras import adalah amat berbahaya untuk keselamatan bekalan padi dan beras negara walaupun ia hanya di bawah 30% (Sariam, 2010).

Nitrogen (N) merupakan salah satu daripada unsur-unsur nutrien penting utama yang secara langsung mempengaruhi pertumbuhan dan pembangunan tanaman padi yang boleh menyumbang kepada hasil yang lebih tinggi dan beras yang berkualiti. Nitrogen adalah serata berkurangan pada majoriti tanah pertanian dan kejayaan sesuatu pertanian adalah mustahil tanpa menggunakan baja N. Selain itu, pembajaan N juga bertujuan untuk memberi pulangan ekonomi yang tinggi daripada pelaburan melalui pengoptimuman dan peningkatan kualiti hasil tanaman. Kira-kira 82 juta tan metrik baja telah digunakan pada tahun 2001 di peringkat global (FAO, 2004). Daripada jumlah tersebut, 60% telah digunakan untuk pengeluaran bijirin (FAO, 2004). Menurut Jabatan Perangkaan Negara (2002), kira-kira 1.32 juta tan metrik baja mineral telah diimport ke Malaysia yang bernilai anggaran RM1.14 bilion di mana penggunaan baja nitrogen di Malaysia adalah kira-kira 677,000 tan dengan nilai jumlah baja nitrogen yang diimport ke dalam Malaysia adalah beranggaran lebih daripada RM 248 juta. Peningkatan harga baja nitrogen dan baja-baja lain telah menjadi masalah utama kepada negara dan petani kerana lebih daripada 90 peratus baja adalah digunakan oleh semua jenis sistem pertanian (FAO, 2004).

Pengurusan pembajaan N merupakan satu faktor penting dalam meningkatkan produktiviti dan keuntungan. Walau bagaimanapun, sistem pembajaan semasa telah menyebabkan kira-kira 60% hingga 70% daripada aplikasi baja N telah hilang (Morales et al., 2000). Kerugian ini disebabkan oleh beberapa sebab-sebab yang termasuk bentuk baja N, cara permohonan, perbezaan kultivar, ciri-ciri tanah dan sistem tanaman (Wang et al., 2010). Hanya 30% - 40% daripada baja N yang diaplikasi dengan kaedah taburan konvensional, tersedia untuk pertumbuhan tanaman padi dan bakinya adalah tertakluk kepada kehilangan melalui pemeruapan ammonia, denitrifikasi, larut lesap, air larian, dan pergerakan secara biologi atau kimia (Craswell et al., 1981; Ladha et al., 2005). Ramai penyelidik telah melaporkan bahawa kecekapan penggunaan N (NUE) pada padi sawah adalah rendah iaitu biasanya kurang daripada 30% - 40% (Craswell & Vlex, 1979; De Datta & Patrick, 1986) dan sangat susah untuk melebihi 50% (Tilman et al., 2002).

Air juga merupakan input yang sangat penting untuk tanaman padi. Oleh sebab itu, padi dikenali sebagai tanaman yang paling banyak ditanam sebagai tanaman tanah lembap di dunia. Rejim pengairan dalam tanaman tanah lembap adalah pelbagai dan boleh disesuaikan oleh petani untuk memudahkan bekalan mikronutrien yang maksimum. Rejim pengairan yang digunakan di dalam sistem tanaman padi adalah termasuk banjir berterusan, alternatif basah dan kering (AWD), padi tabur kering, padi aerob, separa tenggelam atau tepu dan pengairan pemercik. Secara konvensional, padi ditanam di kawasan tanah rendah di bawah keadaan banjir berterusan. Adalah dianggarkan lebih 75% daripada beras dunia dihasilkan menggunakan amalan pengurusan tersebut (Van

et al., 2001). Menurut Sharma (1989), penggunaan air melalui kaedah banjir berterusan adalah kurang cekap kerana kira-kira 50% - 80% daripada jumlah input air telah disia-siakan. Selain itu, pelepasan metana yang tinggi (Wassmann et al., 2009), kelemahan besar kepada masalah kekurangan air berbanding sistem penanaman yang lain, larut lesap nutrien, pengurangan aktiviti mikrob tanah, dan pengurangan mineral daripada kompleks tanah (Uphoff & Randriamiharisoa, 2002), merupakan kesan negatif sistem banjir berterusan di sawah padi. Penanaman padi secara banjir memerlukan kira-kira 2500 hingga 3000 m³ air untuk menghasilkan satu tan beras (Bouman et al., 2002).

Pengurangan ketersediaan air untuk tanaman padi telah menyebabkan penyelidikan dan pengeluaran mencari langkah-langkah alternatif penanaman padi untuk meningkatkan produktiviti air. Peningkatan kekurangan air dan ditambah pula dengan permintaan air yang tinggi untuk keadah banjir berterusan telah menyebabkan peralihan kepada kaedah penanaman padi yang menjimatkan penggunaan air seperti kaedah alternatif basah-kering (Tabbal et al., 2002) dan kaedah aerob (Bouman et al., 2005).

Penanaman padi secara aerob merupakan satu kaedah penanaman padi yang bertujuan untuk mengurangkan keperluan air sehingga 20% - 50% berbanding penanaman secara sawah (Chan et al., 2012). Kaedah tersebut telah digunakan oleh negara-negara yang mengalami cuaca panas berterusan yang tinggi serta mengalami masalah kekurangan bekalan air (Humphreys et al., 2010). Dalam sistem pengeluaran padi berkenaan, kultivar padi berhasil tinggi ditanam tanpa air bertakung dan memberi tindak balas tinggi kepada input (terutama baja). Di antara tujuan utama keadah ini dilaksanakan adalah untuk meningkatkan kecekapan penggunaan air tanaman padi (Kato & Katsura, 2014).

BAHAN DAN KAEDAH

Penyediaan kawasan

Eksperimen telah dijalankan di ladang Agensi Nuklear Malaysia dengan luas kawasan sebanyak 420 m persegi. Tanah di kawasan kajian adalah bertekstur lom berpasir dengan ketumpatan pukal lebih kurang 1.40 g/cm³ dan pH tanah sebanyak 5.6. Dinding jaring dibina sekeliling kawasan kajian bagi mengelakkan tanaman dirosakkan oleh binatang atau serangga perosak (Gambar 1). Sistem pengairan pula adalah jenis pemercik.



Gambar 1: Lokasi kajian

Penyediaan Benih

Dua jenis kultivar padi mutan iaitu NMR151 dan NMR152 digunakan sebagai tanaman ujian. Sebelum penanaman, biji benih kedua-dua kultivar padi mutan tersebut direndam ke dalam air terlebih dahulu untuk menyaring benih bernas dan hampas. Benih bernas yang terpilih direndam ke dalam air dan dicampurkan dengan penggalak pertumbuhan (oligokitosan). Biji benih yang direndam dibiarkan semalaman sebelum ditanam.

Penanaman

Plot-plot rawatan yang berukuran 2m x 2m setiap satunya disediakan. Biji benih padi garisan mutan NMR151 dan NMR152 ditanam secara terus ke atas tanah di dalam plot-plot tersebut. Lubang yang bersaiz lebih kurang 2 - 3 cm di buat pada tanah. 5 biji benih dimasukkan pada setiap lubang. Lubang yang terisi dengan biji benih di tutup dengan tanah. Jarak tanaman di antara biji benih adalah sebanyak 20 cm.

Potensi Air

Padi garisan mutan NMR151 dan NMR152 ditanam selama 110 hari di bawah dua potensi air yang berikut iaitu (i) Kapasiti had ladang dari 0 hari hingga 110 DAS (FC) dan (ii) Kapasiti had ladang dari 0 hari hingga 40 DAS dan 30% kering dari kapasiti had ladang dari 41 hari hingga 110 DAS [SS]. Sistem pengairan yang digunakan adalah jenis pemercik. Kelembapan air tanah diukur setiap hari dengan menggunakan alat "water mark" (Gambar 2). Pada setiap plot, sensor telah dipasang untuk mengukur kelembapan tanah. Sensor tersebut telah bertindakbalas dengan air tanah dan mentarjemahkan potensi air tanah ke atas "water mark" dalam unit tekanan (kPa). Tekanan air pada FC adalah kira-kira 10 - 30 kPa manakala, pada SS tekanan air adalah kira-kira 40 - 50 kPa.

Pembajaan Padi

Baja nitrogen (N) dalam bentuk ^{15}N berlabel urea, 5.20% atom lebih diletakkan dalam tiga kadar N iaitu (i) Rawatan 1 - tiada baja (0 kg N/ha), (ii) Rawatan 2 - sederhana (60 kg N/ha) dan (iii) Rawatan 3 - tinggi (120 kg N/ha) menggunakan kaedah tiga pecahan aplikasi iaitu 35% daripada kadar N pada 10 hari selepas tanam (DAS), 25% daripada kadar N pada 40 DAS dan 40% daripada kadar N pada 65 DAS. Baja N ditimbang terlebih dahulu mengikut sukatan pada rawatan yang telah ditetapkan dan dimasukkan ke dalam bekas. Di kawasan tanaman, baja yang telah ditimbang digaulkan dengan tanah halus dan disebar ke atas tanah dengan sekata. Aplikasi baja N pada ketiga-tiga pecahan adalah menggunakan teknik yang sama. Baja basal fosforus (P) daripada tiga fosfat super (TSP) pada kadar 60 kg P/ha dan kalium (K) dari muriat kalium (MOP) pada kadar 60 kg K/ha, diaplikasi pada 15 DAS dan 65 DAS. Cara aplikasi adalah sama seperti aplikasi baja N.



Gambar 2: Water Mark

Pensampelan Padi

Pensampelan padi dilakukan selepas tanaman tersebut matang dan buahnya masak. Kawasan pensampelan dikuadratkan seluas 1 m x 0.5 m (0.5 m²). Padi yang telah matang dalam kawasan kuadrat dipotong pada paras tanah menggunakan sabit. Berat keseluruhan padi matang di kawasan kuadrat ditimbang untuk mendapatkan berat bersih biomas. Parameter-parameter lain seperti tinggi pokok dan bilangan tiler turut direkod.

Bahagian-bahagian tanaman padi seperti batang, daun dan buah kemudiannya di asingkan dan dikira berat basah

setiap satunya. Selepas berat basah dikira, bahagian-bahagian tersebut dimasukkan kedalam karung kertas dan dimasukkan kedalam ketuhar yang bersuhu 70 °C hingga 80 °C untuk dikeringkan selama tiga hari. Selepas tiga hari, bahagian-bahagian padi tersebut dikeluarkan dan ditimbang untuk mendapatkan berat kering.

Analisa Sampel

Analisis jumlah N di dalam sampel batang, daun dan buah ditentukan dengan menggunakan kaedah kjeldahl. Kaedah kjeldahl boleh dipecahkan kepada tiga langkah utama; (i) Penghadaman, di mana penguraian N di dalam sampel menggunakan larutan asid pekat. Ini dapat dicapai dengan mendidih sampel yang seragam di dalam asid sulfurik pekat. Hasil akhir merupakan larutan ammonium sulfat. (ii) Penyulingan, di mana menambah pangkalan berlebihan untuk campuran pencernaan asid bagi menukar ammonium (NH_4^+) kepada ammonia (NH_3). (iii) Titratan, untuk mengukur jumlah NH_3 di dalam larutan sampel (IAEA, 2001).

Nilai ^{15}N di dalam sampel pula ditentukan dengan menggunakan alat Emission Spektrometer. Sampel dalam bentuk cecair digunakan dalam analisis ini. Kira-kira 25 μl larutan sampel dimasukkan ke dalam kapsul kaca kecil dan diletakkan pada picagari emission spektrometer. Kandungan ^{15}N di dalam sampel dipaparkan pada monitor alat tersebut. Nilai ^{15}N di dalam sampel digunakan untuk pengiraan kecekapan penggunaan nitrogen (NUE) dengan menggunakan formula di bawah (IAEA, 2001).

$$\% \text{ NUE} = \frac{\text{Hasil baja N (kg/ha)}}{\text{Kadar N (kg/ha)}} \times 100 \quad (1)$$

Analisis diskriminasi isotop ^{13}C ($\Delta^{13}\text{C}$) adalah menggunakan alat Spektrometer Jisim Nisbah Isotop (IRMS) di mana, sampel daun tanaman yang telah d kisar halus digunakan. Kandungan komposisi isotop ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) telah dinyatakan dalam unit ‰ menggunakan standard Pee Dee Belemnite antarabangsa (PDB) seperti yang ditunjukkan di bawah (Dercon et al., 2006):

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left(\frac{[\text{R sampel}]}{[\text{R standard}-1]} \right) \times 1000 \quad (2)$$

di mana, R adalah nisbah $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

kandungan $\delta^{13}\text{C}$ di dalam sampel adalah berkaitan dengan $\Delta^{13}\text{C}$ melalui persamaan berikut:

$$\Delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \frac{\delta\text{a}-\delta\text{p}}{1+\delta\text{p}} \times 100 \quad (3)$$

Di mana, δa adalah nilai $\delta^{13}\text{C}$ udara (-8 ‰) dan δp adalah nilai $\delta^{13}\text{C}$ sampel.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Data Tumbuhan dan Agronomi

Data tumbuhan dan agronomi pada jadual 1 telah menunjukkan, kadar N didapati telah mempengaruhi hasil bijirin, hasil jerami dan berat 1000 biji padi dengan signifikan. Kadar aplikasi baja N yang tertinggi (120N) telah menunjukkan min hasil bijirin, jerami dan berat 1000 biji padi yang paling tinggi dan tanpa baja N (0N) telah menunjukkan min yang paling rendah. Keputusan ini adalah serupa dengan Hirzel dan Cordero, (2011) yang mana telah melaporkan kadar N telah memberikan kesan yang positif ke atas hasil padi berbanding dengan kawalan tanpa N. Ethans. (2011) turut melaporkan perkara yang sama iaitu, apabila N berkurangan di dalam tanah, meningkatkan pembajaan N ke atas tanah tersebut dapat meningkatkan hasil padi. Tinggi pokok dan bilangan tiler pula juga turut signifikan dipengaruhi oleh kadar N di mana, min tinggi pokok dan bilangan tiler yang tertinggi adalah pada kadar aplikasi baja N yang paling tinggi (120N). Keputusan tersebut adalah sama seperti yang telah dilaporkan oleh Mannan et al. (2012) dan Amil et al. (2014).

Potensi air pula di dapati hanya signifikan mempengaruhi berat 1000 biji padi sahaja tetapi tidak signifikan mempengaruhi hasil bijirin dan hasil jerami. Sesetengah penyelidik seperti Rahman et al. (2002) dan Zinolabedin, (2010) telah melaporkan perkara yang sebaliknya di mana pertukaran kelembapan air daripada tinggi kepada rendah sebenarnya ketara mempengaruhi hasil padi. Keadaan kawasan kajian yang terbuka dan terdedah kepada hujan semasa kajian ini dijalankan mungkin telah menyebabkan hasil padi dan jerami dilihat tidak ketara di antara rawatan potensi air. Hasil kajian juga turut menunjukkan, potensi air tidak signifikan mempengaruhi tinggi pokok dan bilangan tiler. Walaubagaimanapun, menurut Zinolabedin, (2010) dan Rahman

et al. (2012), tinggi pokok padi sebenarnya boleh terganggu atau terjejas pada potensi air yang lebih kering. Bouman dan Tuong, (2001) pula telah melaporkan, bilangan tiler tanaman mungkin akan dipengaruhi oleh potensi air sekiranya kekurangan air berlaku sebelum atau semasa pembentukan tiler. Di dalam kajian ini, rawatan potensi air telah dilakukan selepas pembentukan tiler tanaman iaitu pada hari ke-41 selepas tanam. Kebiasaannya, pembentukan tiler adalah pada hari ke-15 hingga 25 selepas tanam.

Jadual 1: Analisis variasi kesan rawatan ke atas data hasil, agronomi, NUE dan $\Delta^{13}\text{C}$

| Rawatan | | Hasil bijirin (t/ha) | Hasil jerami (t/ha) | Tinggi pokok (cm) | Bilangan Tiler | Berat 1000 biji (g) | NUE (%) | $\Delta^{13}\text{C}$ (‰) |
|----------------|--------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|---------|---------------------------|
| Kadar N | 0N | 7.05a | 6.59a | 119.52a | 33.50a | 29.01a | - | 22.23a |
| | 60N | 8.79b | 8.25b | 125.28b | 42.00b | 31.08b | 49.84a | 22.19a |
| | 120N | 10.44c | 9.44c | 132.72c | 53.08c | 31.87c | 49.48a | 22.18a |
| <i>Nilai P</i> | | 0.0001 | 0.0001 | 0.002 | 0.0001 | 0.001 | 0.931 | 0.890 |
| Potensi air | FC | 8.89a | 8.19a | 128.49a | 43.22a | 31.90b | 35.25a | 22.37b |
| | SS | 8.64a | 8.00a | 123.18a | 42.50a | 29.49a | 30.97a | 22.02a |
| <i>Nilai P</i> | | 0.174 | 0.348 | 0.060 | 0.490 | 0.0001 | 0.616 | 0.0001 |
| Kultivar | NMR151 | 8.79a | 8.19a | 125.69a | 41.20a | 30.76a | 31.54a | 22.23a |
| | NMR152 | 8.74a | 7.99a | 125.99a | 42.78a | 30.65a | 34.68a | 22.17a |
| <i>Nilai P</i> | | 0.772 | 0.334 | 0.912 | 0.391 | 0.547 | 0.713 | 0.545 |

Nilai min yang diikuti oleh huruf yang sama dalam setiap lajur, tidak mempunyai perbezaan ketara pada 5% aras keertian.

Kecekapan Penggunaan Nitrogen

Di dalam kajian ini, NUE didapati tidak signifikan dipengaruhi oleh kadar N. Walaubagaimanapun keputusan yang telah diperolehi dalam kajian ini adalah di antara perbandingan dua kadar N sahaja iaitu 60N dan 120N. Pada kadar 0N, NUE tidak boleh dikira kerana tiada sebarang aplikasi baja N dilakukan ke atas tanaman. Keputusan juga menunjukkan, perubahan kadar N dari 60N kepada 120N sebenarnya tidak meningkatkan NUE. Menurut Nayak et al. (2015), perubahan kadar baja N dari sederhana kepada tinggi tidak meningkatkan NUE dengan signifikan ke atas tanaman padi. Mandana et al. (2011) turut melaporkan perkara yang sama dimana, tiada perbezaan signifikan NUE ke atas padi pada perubahan kadar N sederhana kepada tinggi dan peningkatan kadar N kepada nilai yang lebih tinggi telah menyebabkan NUE menurun.

Potensi air juga didapati tidak signifikan mempengaruhi NUE kedua-dua kultivar tersebut. Perubahan potensi air daripada keadaan kapasiti had ladang kepada potensi air yang lebih kering dilihat tidak mempengaruhi NUE. Walaubagaimanapun, terdapat perubahan nilai min NUE apabila perubahan potensi air berlaku dimana, nilai min NUE pada potensi air FC didapati sedikit tinggi berbanding pada potensi air SS. Menurut Nayak et al. (2015), potensi air boleh mempengaruhi NUE pada tanaman padi di mana, pada potensi air berkelembapan rendah boleh menyebabkan tanaman kurang cekap mengambil baja N berbanding kelembapan sederhana. Menurut Rahaman dan Sinha, (2013), NUE didapati rendah pada padi yang ditanam di bawah potensi air banjir berterusan berbanding potensi air yang sederhana.

Diskriminasi Isotop ^{13}C

Keputusan telah menunjukkan kadar N tidak signifikan mempengaruhi diskriminasi isotop ^{13}C ($\Delta^{13}\text{C}$). Perubahan kadar N daripada 0N kepada 60N dan sehinggalah kepada 120N didapati tidak mempunyai perbezaan nilai min $\Delta^{13}\text{C}$ yang signifikan. $\Delta^{13}\text{C}$ sebenarnya adalah berkaitan dengan potensi air dimana di dalam kajian ini, potensi air jelas telah mempengaruhi dan memberi kesan yang signifikan ke atas $\Delta^{13}\text{C}$ kedua-dua kultivar tersebut. Perubahan air dari keadaan kapasiti bidang kepada keadaan yang lebih kering, telah signifikan mengurangkan nilai $\Delta^{13}\text{C}$. Menurut Shangguan et al. (2000), bagi tanaman C_3 yang lain seperti gandum, nilai $\Delta^{13}\text{C}$ akan berkurangan apabila kekurangan air meningkat dan kadar N berkurangan. Menurut Dercon et al. (2006), bagi tanaman C_4 seperti jagung, nilai $\Delta^{13}\text{C}$ akan meningkat apabila kekurangan air meningkat dan kadar N juga turut meningkat.

Perubahan nilai $\Delta^{13}\text{C}$ apabila dipengaruhi oleh kadar N dan potensi air jelas menunjukkan corak yang hampir sama dengan tanaman gandum seperti yang telah dilaporkan oleh Shangguan et al. (2000) di mana, nilai $\Delta^{13}\text{C}$ telah berkurang kerana peningkatan kekurangan air dan N. Walaupun kesan perubahan $\Delta^{13}\text{C}$ di bawah kadar N didapati tidak signifikan, tetapi nilai $\Delta^{13}\text{C}$ di bawah kadar 0N didapati sedikit tinggi berbanding 60N dan 120N. Adu-Gyamfi et al. (2012) telah melaporkan nilai $\Delta^{13}\text{C}$ dalam tanaman padi telah berkurang kesan disebabkan oleh keadaan air yang tertekan tetapi, peningkatan kadar N tidak memberi kesan kepada nilai $\Delta^{13}\text{C}$.

Nilai $\Delta^{13}\text{C}$ di dalam kajian ini juga jelas menunjukkan kedua-dua kultivar NMR151 dan NMR152 mempunyai tahap diskriminasi ^{13}C yang lebih besar. Bagi tanaman C_3 , umumnya mempunyai komposisi isotop ^{13}C dari -22 ke -29 ‰ kurang daripada atmosfera (-6 ke -8 ‰) (IAEA, 2001). Nilai $\Delta^{13}\text{C}$ yang diperolehi daripada kajian ini adalah kira-kira 22 ‰ atau komposisi isotop ^{13}C melebihi -30 ‰. Ia jelas menunjukkan kedua-dua kultivar tersebut mampu melanjutkan tahap diskriminasi isotop ^{13}C di bawah bekalan air yang minimal.

KESIMPULAN

Dalam kajian ini, kadar N telah mempengaruhi hasil buah dan jerami, tinggi pokok, bilangan tiler, dan berat 1000 biji padi garisan mutan kultivar NMR151 dan NMR152 manakala, potensi air pula hanya mempengaruhi berat 1000 biji padi dan $\Delta^{13}\text{C}$. NUE bagi kedua-dua mutan tersebut adalah optimum pada kadar 60 kg N/ha di bawah potensi air kapasiti had ladang dimana, perubahan peningkatan kadar N kepada yang lebih tinggi (120 kg N/ha) di lihat tidak meningkatkan NUE. Nilai NUE di bawah potensi air yang sederhana basah juga dilihat lebih baik dari potensi air yang lebih kering. Mengelakkan lebihan pembajaan adalah cara yang terbaik untuk memperolehi kecekapan penggunaan yang tinggi dan pulangan ekonomi baja N dengan risiko yang terhad kehilangan dan pencemaran baja N ke atas alam sekitar. Semua perubahan dalam nilai $\Delta^{13}\text{C}$ bagi kedua-dua padi mutan, sama ada yang disebabkan oleh perubahan kadar N atau air potensi, adalah berkaitan dengan kesan defisit air. Nilai $\Delta^{13}\text{C}$ di dalam kedua-dua mutan tersebut yang diperolehi dalam kajian ini menunjukkan keupayaan mereka untuk melanjutkan diskriminasi isotop ^{13}C di bawah potensi air yang minima. Kultivar NMR151 dan NMR152 juga didapati tidak mempunyai perbezaan signifikan ke atas kesemua parameter yang dikaji.

PENGHARGAAN

Kajian ini telah dibiayai oleh MOSTI ScienceFund Grant: 06-03-01-SF0203. Eksperimen yang dibentangkan dalam kertas ini telah dijalankan di Agensi Nuklear Malaysia, Bangi, Kajang, Selangor. Bantuan teknikal oleh Latiffah Norddin, Abdul Razak Ruslan dan Hazlina Abdullah amat dihargai.

RUJUKAN

Adu-Gyamfi, J. J., Kenzhebeyeva, S., Dovchin, Z. & Ram, T. (2012). Interactive effects of water stress and salinity on ^{13}C isotope discrimination in rice, wheat and maize cultivars. *IAEA Tecdoc 1671*, 225-237.

Amil, K., Yakadri, M. & Jaysree, G. (2014). Influence of nitrogen levels and times of application on growth parameters of aerobic rice. *International journal of plant, animal and environmental sciences, Vol 4(3)*, 231-234.

Apademetriou, M. K., Dent, F. J. & Harath, E. M. (2000). Bridging the rice yield gap in the Asia-Pacific Region. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*, 4-25.

Badrulhadza, A., Siti, N. M., Maisarah, M, S., Azmi, M. Allicia, J. Mohd, F. M. & Chong, T. V. (2013). Pengurusan bersepadu perosak, penyakit dan rumpai dalam pengeluaran mampan tanaman padi. *Buletin Teknologi MARDI, Bil. 3*, 1-10.

Bouman, B. A. M. & Tuong, T. P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agriculture Water Management*, 49, 11-30.

Bouman, B. A. M., Hengsdijk, S., Hardy, B., Bindraban, P. S., Tuong, T. P. & Ladha. J. K. (2002). Water-wise rice production. *Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production*, 356 pp.

Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R. & Visperas, R. M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agriculture Water Management*, 74, 87-105.

- Chan, C. S., Zainudin, H., Saad, A. & Azmi, M. (2012). Productive water use in aerobic rice cultivation. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 49(1), 117-126.
- Craswell, E. T., De Datta, S. K., Obcemea, W. N. & Hartantya, M. (1981). Time and mode of nitrogen fertilizer application to tropical wetland rice. *Fertilizer Research*, 2, 247-259.
- Craswell, E.T. and Vlek, P.L.G. (1979). Fate of nitrogen fertilizer applied to wetland rice. *In: Nitrogen and rice*. pp. 175-192.
- De Datta, S. K. & Patrick, W. H. J. (1986). Nitrogen economy of flooded rice soils. *Martinus Nijhof Publishers*, Dordrecht, the Netherlands
- Department of Statistics. (2002). Rubber Statistics Handbook, Malaysia 2001. DOS, Malaysia.
- Dercon, G., Clymans, E., Diels, J., Merckx, R. and Deckers, J. (2006). Differential ¹³C isotopic discrimination in maize at varying water stress and at low to high nitrogen availability. *Plant and Soil*. 282: 313-326.
- Ethan, S., Odunze, A. C., Abu, S. T. & Iwuafor, E. N. O. (2011). Effect of water management and nitrogen rates on Fe concentration and yield in lowland rice. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(4), 622–629.
- FAO. (2004). Fertilizer Use by Crop in Malaysia. *FAO Corporate Document Repository*, <http://www.fao.org>.
- Hirzel, J., Pedreros, A. & Cordero, K. (2011). Effect of nitrogen rates and split nitrogen fertilization on grain yield and its components in flooded rice. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71(3), 437-444.
- Humphreys, E., Kukal, S. S., Christen, E. W., Hira, G. S., Balwinder-Singh, S. & Sharma, R. K. (2010). Halting the groundwater decline in north-west India—Which crop technologies will be winners?. *Advance in Agronomy* 109, 155-217.
- IAEA. (2001). Use of isotopes and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. *Training Course Series*, 14, 247 pp.
- Kato, Y. & Katsura, K. (2016). Rice adaptation to aerobic soils: physiological considerations and implications for agronomy. *Plant Production Science*, 17 (1), 1-12.
- Ladha, J. K., Pathak, H., Krupnik, T. J., Six, J. & Kessel, V. C. (2005). Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospect and prospects. *Advances in Agronomy* 87, 85-156.
- Mandana, T., Akif, G., Ebrahim, A. and Azin, N.Z. (2011). Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, nitrogen use efficiency of rice. *International Conference on Biology, Environment & Chemistry*, Vol 24, 470-473.
- Morales, A. C., Agustin, E. O., Lucas, M. P., Marcos, T. F., Culanay, D. A. & Balasubramanian, V. (2000). Comparative efficiency of N management practices on rainfed lowland rice in Batac, Philippines. *Soil, Nutrient, and Water Management*, 22-28.
- Najim, M. M. M., Lee, T. S., Haque, M. A & Esham, M. (2007). Sustainability of rice production: A Malaysia perspective. *The Journal of Agricultural Sciences*, Vol 3 (1), 1-12.
- Nayak, B. R., Pramnik, K., Panigraphy, N., Dash, A. K. & Swain, S. K. (2015). Yield, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency indices of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) under various irrigation regimes and nitrogen levels. *International Journal of Bioresources*, Vol 1(2), 8-13.
- Rahaman, S. and Sinha, A.C. (2013). Effect of water regimes and organic sources of nutrients for higher productivity and nitrogen use efficiency of summer rice. *African Journal of Agricultural Research*, Vol 8(48), 6189-6195.

- Rahman, M. T., Islam, M. T. & Islam, M. O. (2002). Effect of water stress at different growth stages on yield and yield contributing characters of transplanted Aman rice. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 5(2), 169-172.
- Sariam, O. (2010). Kesan pemanasan global terhadap industri padi. *Berita Harian, Monday 28/06/2010*, 176.
- Shangguan, Z. P., Shao, M. A. and Dyckmans, J. (2000). Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 44, 141-149.
- Sharma, P. K. (1989). Effect of periodic moisture stress on water-use efficiency in wetland rice. *Oryza* 26, 252-257.
- Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B. & Sattar, M. A. (2002). On- farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agriculture Water Management*, 56, 93-112.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. L. & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671-677.
- Uphoff, N. & Randriamiharisoa, R. (2002). Reducing water use in irrigated rice production with the Madagascar system of rice intensification (SRI). Los Banos, Philippines. *International Rice Research Institutes*, 71-87.
- Van, D. H. W., Sakthivadivel, R., Renshaw, M., Silver, J. B., Birley, M. H. & Konradsen, F. (2001). Alternate wet/dry irrigation in rice cultivation: a practical way to save water and control malaria and Japanese encephalitis. *Research Report*, 47, 30 pp.
- Wang, Q. I., Fengrui, L. I., Lin, Z., Enhe, Z., Shangli, S., Wenzhi, Z., Weixin, S. & Maureen M. V. (2010). Effects of irrigation and nitrogen application rates on nitrate nitrogen distribution and fertilizer nitrogen loss, wheat yield and nitrogen uptake on a recently reclaimed sandy farmland. *Plant Soil DOI 10*, 1007 pp.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Heuer, A., Ismail, E., Redona, R., Serraj, R. K., Singh, G., Howell, H., Pathak, & Sumfleth, K. (2009). Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. *Advance in Agronomy*, 101, 59-122.
- Zinolabedin, T. S., Hemmatollah, P., Seyed Ali, M. M. S. & Hamidreza, B. (2008). Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11, 1303-1309.