

# Paper jurnal Kubik 2023 (Keterhubungan Graf Pembagi Tak Nol)

*by* Vika Yugi Kurniawan

---

**Submission date:** 14-Sep-2023 08:27PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2165930150

**File name:** Artikel\_Vivi-Vika\_submit\_jurnal\_Kubik\_September\_2023.pdf (979.19K)

**Word count:** 3862

**Character count:** 18292

# KETERHUBUNGAN GRAF PEMBAGI TAK NOL DARI RING

Oktaviana Putri<sup>1, a)</sup> Vika Yugi Kurniawan<sup>1, b)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Universitas Sebelas Maret

<sup>a)</sup>email: oktavianaputri2210@stude<sup>12</sup>uns.ac.id

<sup>b)</sup>email: vikayugi@staff.uns.ac.id

## Abstrak

Misalkan  $R$  suatu ring. Graf pembagi tak nol dari  $R$  yang dinotasikan dengan  $\Phi(R)$  merupakan graf sederhana yang himpunan vertex-nya adalah  $V(\Phi(R)) = R \setminus \{0, 1, -1\}$  dimana dua vertex berbeda  $x, y \in V(\Phi(R))$  akan adjacent jika dan hanya jika  $xy \neq 0$  atau  $yx \neq 0$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat-sifat dasar graf pembagi tak nol dari suatu ring. Sifat-sifat tersebut kemudian digunakan untuk menyelidiki syarat keterhubungan graf pembagi tak nol dari suatu ring. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, yaitu dengan menghimpun dan mengkaji ulang berbagai sumber pustaka yang terkait dengan topik penelitian. Berdasarkan penyelidikan yang dilakukan, diperoleh hasil jika himpunan vertex  $V(\Phi(R))$  mempunyai elemen invertible, maka  $\Phi(R)$  merupakan graf yang terhubung. Kemudian untuk kasus ring  $Z_n$  diperoleh graf pembagi tak nol dari ring  $Z_n$  atau  $\Phi(Z_n)$  akan menjadi graf terhubung jika dan hanya jika  $n \notin \{1, 2, 3, 6\}$ . Selain itu, suatu graf  $\Phi(R)$  akan menjadi graf terhubung jika  $R$  adalah ring tereduksi dengan  $|V(\Phi(R))| > 3$ .

*Kata kunci: graf terhubung, pembagi tak nol, ring bilangan bulat modulo  $n$ , ring tereduksi*

## Abstract

Let  $R$  be a ring. Non-zero divisor graph of  $R$ , denoted  $\Phi(R)$ , is a simple graph with set of vertices  $V(\Phi(R)) = R \setminus \{0, 1, -1\}$  and two distinct vertices  $x, y \in V(\Phi(R))$  are adjacent if and only if  $xy \neq 0$  or  $yx \neq 0$ . This research examines the basic properties of the non-zero divisor graph of a ring. These properties will be used to investigate the connectivity conditions for the non-zero divisor graph of a ring. The method used in this research is a literature study by collecting and reviewing various references related to the research topic. Based on the investigation, the result is that  $\Phi(R)$  is a connected graph if the vertex set  $V(\Phi(R))$  has invertible element. For the case of ring  $Z_n$ , the result  $\Phi(Z_n)$  is a connected graph if and only if  $n \notin \{1, 2, 3, 6\}$ . It is also obtained that a graph  $\Phi(R)$  will be a connected graph if  $R$  is a reduced ring with  $|V(\Phi(R))| > 3$ .

*Keywords: connected graph, non-zero divisor, ring of integer modulo  $n$ , reduced ring*

## 1. Pendahuluan

Teori graf merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang dapat digunakan untuk menyederhanakan berbagai masalah. Masalah yang dapat direpresentasikan dengan graf biasanya terkait dengan struktur dan hubungan antar objek, sebagai contohnya antara lain sistem transportasi, jaringan telekomunikasi, dan struktur kimia. Selain itu, antar cabang ilmu matematika sendiri, teori graf juga bisa digunakan untuk merepresentasikan elemen-elemen dari suatu struktur aljabar dalam bentuk graf untuk menganalisa sifat-sifatnya. Penelitian pertama yang mengaitkan graf dengan

struktur aljabar diperkenalkan boleh Beck [1] pada tahun 1988 yang mendefinisikan graf pembagi nol dari ring komutatif. Graf pembagi nol dari ring  $R$  merupakan graf sederhana yang himpunan vertex-nya terdiri dari elemen ring  $R$  termasuk 0 dan himpunan edge-nya adalah himpunan elemen  $(x, y)$  dimana  $xy = 0$  untuk elemen  $x, y \in R$ . Jika  $xy = 0$ , dikatakan  $x$  dan  $y$  adjacent. Kemudian Anderson dan Livingston [2] mengembangkan konsep dari Beck dengan mendefinisikan ulang konsep graf pembagi nol. Anderson dan Livingston mendefinisikan graf pembagi nol dari ring  $R$  sebagai graf tak berarah dengan vertex-vertexnya adalah semua pembagi nol dari ring dan dua vertex terhubung jika perkalian vertex-vertex ini sama dengan nol. Selanjutnya banyak sekali penulis yang mengkaji konsep graf yang dikaitkan dengan struktur aljabar. Akbari dkk [3] pada tahun 2013 mengkaji tentang sifat-sifat dari graf irisan ideal dari suatu ring. Atani dkk [4] mendefinisikan graf total dari suatu semiring komutatif. Belakangan banyak penulis yang mengembangkan kembali konsep graf pembagi nol dari ring komutatif seperti [5], [6], [7], dan [8]. Pada tahun 2020, Kadem dkk. [9] mengembangkan penelitian graf pembagi nol menjadi graf pembagi tak nol dari ring. Sebagaimana yang ditulis dalam penelitian tersebut, graf pembagi tak nol dari ring  $R$  yang dinotasikan dengan  $\Phi(R)$  merupakan graf dengan himpunan vertex  $V(\Phi(R)) = R \setminus \{0, 1, -1\}$ . Dua vertex berbeda  $x$  dan  $y$  di  $\Phi(R)$  adjacent jika dan hanya jika  $xy \neq 0$  atau  $yx \neq 0$ . Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kadem dkk [9] penulis akan mengkaji ulang sifat-sifat graf pembagi tak nol dari ring sehingga dapat mengetahui bagaimana syarat konektivitas graf pembagi tak nol dari ring bilangan bulat modulo  $n$  dan ring tereduksi.

## 2. Tinjauan Pustaka

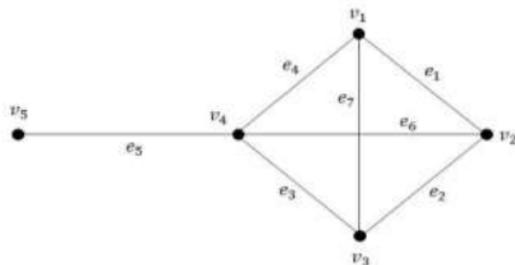
Artikel ini bertujuan untuk mengetahui syarat keterhubungan graf pembagi tak nol dari ring. Oleh karena itu beberapa definisi yang mendasari penelitian perlu diuraikan. Beberapa definisi tersebut meliputi konsep dasar graf, ring dan graf pembagi tak nol.

### 2.1. Konsep Dasar Graf

Definisi-definisi tentang konsep dasar graf yang dibahas berikut merujuk pada Chartrand dan Zang [10].

**Definisi 2.1.** Suatu graf  $G$  adalah himpunan tak kosong berhingga  $V(G) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  yang disebut himpunan vertex dan himpunan yang mungkin kosong  $E(G) = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  merupakan himpunan pasangan tidak berurutan dari anggota-anggota  $V(G)$  yang disebut edge.

Setiap graf harus memuat minimal satu vertex, tetapi dimungkinkan tidak memiliki edge. Banyaknya vertex dari suatu graf  $G$  disebut order dinotasikan dengan  $|V(G)|$  dan banyaknya edge dinotasikan dari graf  $G$  dengan  $|E(G)|$ . Pada Gambar 2.1, graf  $G_1$  mempunyai  $V(G_1) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ ,  $E(G_1) = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$ ,  $|V(G_1)| = 5$ , dan  $|E(G_1)| = 7$ .



Gambar 2.1. Graf  $G_1$

Dua buah vertex disebut *adjacent* jika terdapat edge yang menghubungkan keduanya. Sebagai contoh, graf  $G_1$  pada Gambar 2.1, vertex  $v_1$  dan  $v_2$  saling *adjacent* karena terdapat  $e_1$  yang menghubungkannya, sedangkan  $v_1$  dan  $v_5$  tidak saling *adjacent*. Kemudian Edge  $e_1$  disebut *incident* dengan vertex  $v_1$  dan  $v_2$ .

**Definisi 2.2.** Suatu barisan berhingga dari vertex yang dimulai dengan vertex  $u$  dan berakhir di vertex  $v$  sedemikian sehingga vertex dalam deretan tersebut *adjacent* dalam suatu graf  $G$  disebut  $u$ - $v$  walk.

**Definisi 2.3.** Suatu  $u$ - $v$  walk pada graf  $G$  yang tidak terdapat vertex berulang disebut  $u$ - $v$  path.

**Definisi 2.4.** Panjang dari path adalah banyaknya edge yang termuat dalam path tersebut.

Sebagai contohnya perhatikan graf  $G_1$  pada Gambar 2.1. barisan  $v_1 - e_1 - v_2 - e_2 - v_3 - e_3 - v_4 - e_4 - v_4$  merupakan walk, sedangkan barisan  $v_5 - e_5 - v_4 - e_4 - v_1 - e_1 - v_2$  merupakan path karena tidak mengulang sembarang vertex, dan panjang dari path tersebut  $d(v_5, v_2) = 3$ .

**Definisi 2.5.** Jarak antara  $u$  dan  $v$  dalam suatu graf  $G$ , dinotasikan dengan  $d(u-v)$  adalah panjang dari  $u$ - $v$  path terpendek pada graf  $G$ .

**Definisi 2.6.** Suatu graf  $G$  merupakan graf terhubung (*connected*) jika terdapat suatu  $u$ - $v$  path antara sebarang dua vertex di  $G$ .

**Definisi 2.7.** Diameter dari simple graf  $G$ , dinotasikan dengan  $diam(G)$ , adalah jarak terjauh antara semua pasangan vertex dari graf  $G$ .

Pada contoh graf  $G_1$  dengan Gambar 2.1, antara vertex  $v_2$  dengan  $v_4$  terdapat beberapa path yang menghubungkan yaitu  $v_2 - e_1 - v_1 - e_4 - v_4$  atau  $v_2 - e_2 - v_3 - e_3 - v_4$  atau  $v_2 - e_6 - v_4$ . Karena definisi jarak adalah panjang path terpendek maka jarak antara  $v_2$  dengan  $v_4$  adalah  $d(v_2, v_4) = 1$  yang merupakan panjang dari path terpendek  $v_2 - e_6 - v_4$ .

## 2.2. Ring

Definisi-definisi tentang konsep ring yang akan dibahas berikut merujuk pada Fraleigh [11].

**Definisi 2.8.** Suatu ring  $(R, +, \cdot)$  adalah himpunan  $R$  dengan dua operasi biner  $+$  dan  $\cdot$ , yang disebut dengan penjumlahan dan perkalian, didefinisikan pada  $R$  sedemikian sehingga aksioma berikut dipenuhi :

(1)  $(R, +)$  merupakan grup abelian.

(2) Operasi perkalian bersifat asosiatif.

(3) Untuk semua  $a, b, c \in R$ , memenuhi sifat distribusi kiri,  $a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$ , dan distribusi kanan,  $(a + b) \cdot c = (a \cdot c) + (b \cdot c)$ .

**Definisi 2.9.** Diberikan  $R$  suatu ring, misalkan  $a \in R$ ,  $a$  merupakan elemen nilpoten dari ring jika terdapat bilangan bulat positif  $n$  sedemikian sehingga  $a^n = 0$ . Himpunan nilpoten dari ring  $R$  dinotasikan dengan  $N(R)$ .

**Definisi 2.12.** Suatu ring dikatakan sebagai ring yang tereduksi jika tidak memiliki elemen nilpoten tak nol atau dengan kata lain elemen nilpotennya hanya nol.

## 2.4. Graf Pembagi Tak Nol

Definisi dasar yang akan dibahas merupakan definisi dari graf pembagi tak nol yang diambil dari Kadem [7].

**Definisi 2.13.** Misalkan  $R$  adalah ring. Graf pembagi tak nol dari ring  $R$  dinotasikan  $\Phi(R)$  adalah graf sederhana dengan himpunan vertex  $V(\Phi(R)) = R \setminus \{0, 1, -1\}$  dimana dua vertex berbeda  $x, y \in V(\Phi(R))$  adjacent jika dan hanya jika  $xy \neq 0$  atau  $yx \neq 0$ .

### 3. Hasil dan Diskusi

Pada bagian ini akan diuraikan hasil terkait sifat-sifat dasar dari graf pembagi tak nol dari ring  $\Phi(R)$ . Berikut diberikan teorema mengenai sifat yang menyatakan  $\Phi(R)$  merupakan graf yang terhubung.

**Lema 3.1.** Jika himpunan vertex  $V(\Phi(R))$  mempunyai elemen invertible, maka  $\Phi(R)$  merupakan graf yang terhubung.

**Bukti.** Jika  $a$  adalah elemen invertible maka terdapat  $b \in G$  sehingga  $ab = ba = 1$ . Selanjutnya ambil sembarang  $x$  anggota  $V(\Phi(R))$ . Andaikan  $ax = 0$  atau  $xa = 0$ , maka diperoleh  $x = 0$ . Terjadi kontradiksi karena  $0 \notin V(\Phi(R))$ . Dengan demikian elemen invertible  $a$  pasti adjacent dengan semua vertex yang lain atau  $|Deg(a)| = |V(\Phi(R))|$ , sehingga  $\Phi(R)$  terhubung ■

Berikut diberikan contoh suatu graf pembagi tak nol yang dibentuk dari ring  $Z_5$  dengan anggota himpunan vertex yang sesuai dengan syarat  $\Phi(R)$  yaitu  $V(\Phi(Z_5)) = \{2, 3\}$ . Karena anggota  $V(\Phi(Z_5))$  merupakan elemen *invertible* yang saling adjacent, maka  $\Phi(Z_5)$  dikatakan sebagai graf terhubung seperti pada gambar di bawah.



Gambar 3.1. Graf Pembagi Tak Nol dari  $Z_5$

Untuk  $n \notin \{1, 2, 3, 5\}$ . Dimisalkan  $(Z_n)^\times$  merupakan grup perkalian dari bilangan bulat modulo  $n$ . Selanjutnya, akan diberikan fungsi phi Euler  $\phi(n) = \prod_{i=1}^s (p_i^{\delta_i} - p_i^{\delta_i-1})$ , sedemikian sehingga  $n$  bisa ditulis secara tunggal sebagai  $n = \prod_{i=1}^s p_i^{\delta_i}$  dengan  $\delta_i \geq 1$  adalah bilangan bulat dan  $p_i < p_{i+1}$  adalah bilangan prima. Perlu diketahui bahwa  $\phi(n)$  menotasikan jumlah elemen *invertible* dalam ring bilangan bulat modulo  $n$ , berbeda dengan notasi  $\Phi(R)$  yang merupakan graf pembagi tak nol dari  $R$ .

**Lema 3.2.** Diketahui  $Z_n$  adalah ring bilangan bulat modulo  $n$ . Jika  $n > 6$  maka  $\phi(n) > 2$ .

**Bukti.** Misalkan  $n = \prod_{i=1}^s p_i^{\delta_i}$  maka  $\phi(n) = \prod_{i=1}^s (p_i^{\delta_i} - p_i^{\delta_i-1})$ . Dengan demikian diperoleh  $\phi(n) = 2$  jika dan hanya jika terdapat  $j$  sehingga  $p_j^{\delta_j} - p_j^{\delta_j-1} = 2$  dan  $\prod_{i=1, i \neq j}^s (p_i^{\delta_i} - p_i^{\delta_i-1}) = 1$ . Hal ini tidak mungkin terjadi pada  $n > 6$ . ■

Dari Lema 3.2 bisa diperoleh syarat keterhubungan untuk graf pembagi tak nol dari ring bilangan bulat modulo  $n$  seperti yang disajikan pada teorema berikut.

**Teorema 3.1.** Diketahui  $Z_n$  adalah ring bilangan bulat modulo  $n$ . Graf  $\Phi(Z_n)$  akan menjadi graf terhubung jika dan hanya jika  $n \notin \{1, 2, 3, 6\}$ .

**Bukti.** Dengan menggunakan Lema 3.1 maka telah didapatkan bahwa  $Diam(\Phi(Z_n)) \geq 2$ , jika  $n > 6$ . Karena terdapat  $x \in (Z_n)^x \cap V(\Phi(Z_n))$  maka akan diperoleh  $\Phi(Z_n)$  merupakan graf terhubung dengan mengikuti Lema 3.1. ■

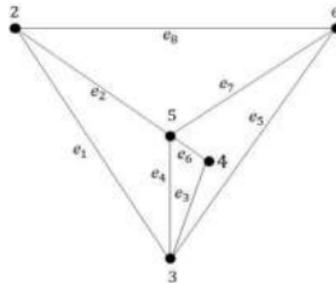
Berikut contoh  $\Phi(Z_8)$  dengan  $Z_8$  merupakan ring bilangan bulat modulo 8 yang selanjutnya akan didapatkan  $V(\Phi(Z_8)) = \{2, 3, 4, 5, 6\}$ . Dapat dilihat bahwa kondisi  $\Phi(Z_8)$  sesuai dengan Lema 3.1 yang menjelaskan bahwa himpunan vertexnya memiliki elemen *invertible* yaitu 3 dan sesuai juga dengan Lema 3.2 karena  $n = 8 > 6$ .

Berikutnya akan diberikan tabel perkalian antar anggota himpunan vertex  $V(\Phi(Z_8)) = \{2, 3, 4, 5, 6\}$  untuk melihat keterhubungan antar vertex.

Tabel 3.1. Tabel perkalian elemen-elemen  $Z_8$

Vertex	2	3	4	5	6
2	4	6	0	2	4
3	6	1	4	7	2
4	0	4	0	4	0
5	2	7	4	1	6
6	4	2	0	6	4

Berdasarkan perkalian elemen-elemen pada tabel 3.1 diperoleh *adjacency* antar vertex sehingga dapat dikonstruksikan graf  $\Phi(Z_8)$  seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Graf Pembagi Tak Nol dari  $Z_8$

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.2, karena  $Z_8$  memenuhi kondisi Lema 3.1 dan Lema 3.2 maka berakibat bahwa  $\Phi(Z_8)$  merupakan graf terhubung dengan  $Diam(\Phi(Z_8)) = 2$ .

**Teorema 3.2.** Misalkan  $R$  adalah ring. Jika  $\Phi(R)$  adalah suatu graf terhubung dengan  $R \cong Z_2 \times Z_4$ , maka  $Diam(\Phi(R)) \leq 2$ .

**Bukti.** Diambil  $x, y \in V(R)$  dimana  $x \neq y$ . Jika  $xy \neq 0$  maka jelas  $x$  dengan  $y$  saling adjacent. Berikutnya diasumsikan bahwa  $xy = 0 = yx$ . Karena  $\Phi(R)$  merupakan graf terhubung maka terdapat  $a, b \in V(R)$  sedemikian sehingga  $d(x, a) = d(y, b) = 1$  yang berarti  $(ax \neq 0$  atau  $xa \neq 0)$  dan  $(by \neq 0$  atau  $yb \neq 0)$ . Sehingga terdapat dua kasus sebagai berikut.

1) Jika  $d(y, a) = 1$  atau  $d(x, b) = 1$ , maka dalam kasus ini diperoleh  $Diam(\Phi(R)) \leq 2$ .

- 2) Jika  $bx = xb = ay = ya = 0$  dan dimisalkan  $w = a \pm b$ , maka jelas bahwa  $d(x, w) = 1 = d(y, w)$ . Kemudian diasumsikan bahwa  $a + b$  dan  $a - b$  tidak termuat dalam  $V(\Phi(R))$ . Maka perlu dipertimbangkan subkasus berikut.
- (a) Jika  $a - b = 0$  atau  $a + b = 0$ , maka  $ax = bx = 0$ . Terjadi kontradiksi.
- (b) Jika  $a + b = 1$  dan  $a - b = 1$ . Maka didapatkan  $ax = x, 2b = 0, 2a = 2$  dan  $by = y$ . Dari sini perlu diperhatikan juga
- i. jika  $x^2 = 0$ , maka diperoleh kasus berikut.
    - Jika  $y^2 = 0$ , ambil  $q = y + 1$  sehingga berlaku  $d(q, x) = d(q, y) = 1$ . Menjadi salah jika  $y = \pm 2$  dikalikan dengan  $a$  menghasilkan  $0 = ay = 2a = 2$ , yang berarti  $y = 0$  sehingga terjadi kontradiksi.
    - Jika  $y^2 \neq 0$ , maka  $x + 1, x - 1, y + a$ , dan  $y - a$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$  dan hal ini tidak benar karena  $R \cong Z_2 \times Z_4$ . Misalkan diambil  $z \in V(\Phi(R))$  dengan  $z \notin \{x, y, a, -a, b\}$ . Jika  $d(z, x) = d(y, z) = 1$  maka kasus selesai. Tetapi jika  $d(x, z) = 1, d(y, z) = 0$  maka ambil  $z + b$  dan jika  $d(x, z) = 0, d(y, z) = 1$ . Selainnya, ambil  $z + 1$  untuk menghubungkan  $x$  dengan  $y$ .
  - ii. jika  $x^2 \neq 0$ , maka diperoleh kasus berikut
    - Jika  $y^2 = 0$ , maka  $d(y + 1, x) = d(y + 1, y) = 1$  dan ini menjadi salah jika  $y = \pm 2$ . Karena jika dikalikan dengan  $a$  menghasilkan  $0 = ay = 2a = 2$  yang artinya  $y = 0$  sehingga terjadi kontradiksi.
    - Jika  $y^2 \neq 0$ , maka  $x + y \in V(\Phi(R))$  menghubungkan  $x$  dan  $y$ .
- (c) Jika  $a + b = -1$  dan  $a - b = -1$ , maka didapatkan  $ax = -x, 2b = 0, 2a = -2, by = -y = y$  dan  $2y = 0$ . Selanjutnya dapat digunakan argument dalam kasus (b) sebelumnya untuk menunjukkan  $\text{Diam}(\Phi(R)) = 2$ .
- (d) Jika  $a + b = -1$  dan  $a - b = 1$ , maka diperoleh  $ax = x, 2b = b, 2a = 0, by = -y$  dan  $2x = 0$ . Maka perlu dipertimbangkan subkasus berikut.
- i. jika  $x^2 = 0$ , maka diperhatikan
    - Jika  $y^2 = 0$ , dengan mengambil  $w = x + 1$  maka jelas  $d(w, x) = d(w, y) = 1$ . Hal ini salah karena jika  $x = \pm 2$  dikalikan dengan  $a$  akan menghasilkan  $0 = bx = 2b = 2$  yang artinya  $x = 0$  sehingga terjadi kontradiksi.
    - Jika  $y^2 \neq 0$ , maka  $x + 1$  dan  $x - 1$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$ . Ini artinya  $ax = 2a = 0$  sehingga juga terjadi kontradiksi.
  - ii. jika  $x^2 \neq 0$ , maka perhatikan
    - Jika  $y^2 = 0$  maka  $y + 1, y - 1, x + b$  dan  $x - b$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$ . Hal ini jelas salah karena  $R \cong Z_2 \times Z_4$  yang memiliki diameter tiga. Selanjutnya diambil  $z \in V(\Phi(R))$  dengan  $z \notin \{x, y, a, -a, b\}$ . Jika  $d(z, x) = d(y, z) = 1$  maka terbukti. Namun apabila  $d(x, z) = 1, d(y, z) = 0$  ambil  $z + b$  dan jika  $d(x, z) = 0, d(y, z) = 1$  maka ambil  $z + a$ . Selainnya ambil  $z + 1$  untuk menghubungkan  $x$  dengan  $y$ .
    - Jika  $y^2 \neq 0$ , maka  $x + y \in V(\Phi(R))$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$ .

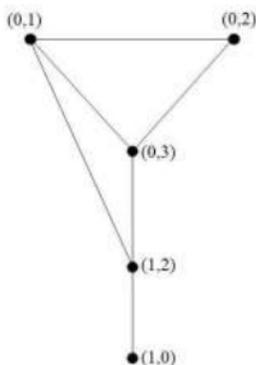
- (e) Jika  $a + b = 1$  dan  $a - b = -1$ , akan didapatkan  $ax = x, 2b = b, 2a = 0, by = y$  dan  $2x = 0$ . Gunakan argumen pada kasus (d) sebelumnya untuk memperoleh  $Diam(\Phi(R)) \leq 2$ . ■

Sebagai ilustrasi untuk memahami Teorema 3.2 diambil contoh  $Z_2 = \{0,1\}$  dan  $Z_4 = \{0,1,2,3\}$  sehingga diperoleh  $Z_2 \times Z_4 = \{(0,0), (0,1), (0,2), (0,3), (1,0), (1,1), (1,2), (1,3)\}$ . Dari  $Z_2 \times Z_4$ , didapatkan vertex yang memenuhi syarat graf pembagi tak nol yaitu  $V(\Phi(Z_2 \times Z_4)) = \{(0,1), (0,2), (0,3), (1,0), (1,2)\}$ .

Tabel 3.2. Perkalian elemen  $Z_2 \times Z_4$ 

$Z_2 \times Z_4$	(0,1)	(0,2)	(0,3)	(1,0)	(1,2)
(0,1)	(0,1)	(0,2)	(0,3)	(0,0)	(0,2)
(0,2)	(0,2)	(0,0)	(0,2)	(0,0)	(0,0)
(0,3)	(0,3)	(0,2)	(0,1)	(0,0)	(0,2)
(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)
(1,2)	(0,2)	(0,0)	(0,2)	(1,0)	(1,0)

Berdasarkan perkalian vertex pada Tabel 3.2 didapatkan graf pembagi tak nol dari  $Z_8 \cong Z_2 \times Z_4$  seperti pada Gambar 3.3.

Gambar 3.3. Graf Pembagi Tak Nol dari  $Z_8 \cong Z_2 \times Z_4$ 

Pada gambar tersebut, terlihat bahwa graf yang terbentuk memiliki  $Diam(\Phi(Z_2 \times Z_4)) = 3$  sehingga menunjukkan bahwa graf pembagi tak nol dari ring  $Z_8 \cong Z_2 \times Z_4$  memiliki diameter lebih besar dari 2 dan hal ini sesuai dengan Teorema 3.2.

**Teorema 3.3.** Jika  $R$  adalah ring tereduksi dengan  $|V(\Phi(R))| > 3$ , maka  $\Phi(R)$  merupakan graf yang terhubung.

**Bukti.** Diambil dua vertex  $x, y \in V(\Phi(R))$ . Jika  $d(x, y) = 1$ , maka jelas  $x$  dan  $y$  saling adjacent. Selanjutnya jika  $d(x, y) \neq 1$ , maka  $xy = yx = 0$ . Perlu dipertimbangkan beberapa kasus sebagai berikut.

1. Jika  $R$  tidak memiliki elemen satu maka  $x + y$  menghubungkan  $x$  dan  $y$ . Jika  $x + y = 0$  maka  $x^2 = 0$  terjadi kontradiksi dengan  $R$  sebagai ring tereduksi.

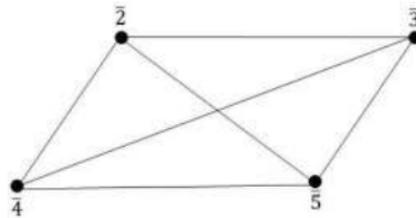
2. Jika  $R$  memiliki elemen satu maka  $x + y = 1$ . Karena  $|V(\Phi(R))| > 3$  maka terdapat  $z \neq w \in V(R) \setminus \{x, y\}$ . Selanjutnya perlu dipertimbangkan beberapa subkasus berikut ini.
- Jika  $zx = 0 = zy$  maka  $z - 1$  menghubungkan dengan  $x$  dengan  $y$ , dan hal ini menjadi salah jika  $z = 2$ . Dalam kasus ini  $z + 1$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$  juga salah jika  $z \neq -2$ . Jika kedua kasus tersebut salah maka diperoleh  $4 = 0$  yang berarti  $z^2 = 0$  sehingga terjadi kontradiksi.
  - Jika  $zx \neq 0 \neq zy$ , maka  $z$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$ .
  - Jika  $zx \neq 0, zy = 0$ , maka  $z + y$  akan menghubungkan  $x$  dengan  $y$  hanya jika  $z + y \neq -1$ . Jika  $z + y = -1$ , akan didapatkan  $2y = 0, x^2 = x, z^2 = -z$ , dan  $x = -z$ . Jika  $w$  sama dengan 1 atau 2 maka kasus selesai. Namun, jika tidak akan diperoleh beberapa subkasus berikut
    - Jika  $wy \neq 0, wx = 0$ , maka  $w + x$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$  sehingga menjadi salah jika  $w + x = -1$ . Akibatnya  $2x = 0, y^2 = y, w^2 = -w$ , dan  $y = -w$ , yang berarti  $x = z$  sehingga terjadi kontradiksi.
    - Jika  $wy = 0, wx \neq 0$  maka  $w + y$  menghubungkan  $x$  dengan  $y$  sehingga menjadi salah jika  $w + y = -1$ . Karena itu diperoleh  $w + y = z + y$  yang artinya  $w = z$  sehingga terjadi kontradiksi.
  - Jika  $zx = 0, zy \neq 0$ , maka sama dengan kasus sebelumnya dapat diperoleh *path* diantara  $x$  dan  $y$ .
3. Jika  $R$  memiliki elemen satu sehingga  $x + y = -1$ , maka langkah pembuktian ini sama dengan pada kasus (2). ■

Untuk dapat memahami Teorema 3.3. dengan baik, berikut diberikan contoh kasus ring tereduksi yaitu ring yang tidak mempunyai elemen nilpoten tak nol. Diketahui ring  $Z_7$  dengan anggota  $Z_7 = \{0,1,2,3,4,5,6\}$  merupakan ring tereduksi. Selanjutnya sesuai dengan definisi graf pembagi tak nol dari ring maka diperoleh himpunan vertex dari  $\Phi(Z_7)$  yaitu  $V(\Phi(Z_7)) = \{2,3,4,5\}$  yang menunjukkan bahwa  $|V(\Phi(Z_7))| = 4 > 3$ . Dari himpunan vertex tersebut, akan diselidiki keterhubungan antar vertex melalui pada tabel perkalian sebagai berikut.

Tabel 3.3. Perkalian antar vertex di  $\Phi(Z_7)$ 

vertex	2	3	4	5
2	4	6	1	3
3	6	2	5	1
4	1	5	2	6
5	3	1	6	4

Berdasarkan Table 3.3 dapat dilihat perkalian antar dua vertex tidak ada yang menghasilkan nilai nol sehingga setiap vertex di  $\Phi(Z_7)$  adjacent dengan semua vertex yang lain. Diperoleh graf  $\Phi(Z_7)$  seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Graf Pembagi tak nol dari  $Z_7$

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa ring  $Z_7$  memenuhi syarat pada Teorema 3.3 yaitu ring tereduksi dengan  $|V(\Phi(Z_7))| > 3$  sehingga graf pembagi tak nol dari ring  $Z_7$  merupakan graf terhubung.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan teorema-teorema yang telah dibuktikan, dapat diambil kesimpulan tentang keterhubungan graf pembagi tak nol dari ring  $\Phi(R)$  sebagai berikut :

1. Graf pembagi tak nol dari ring  $Z_n$  atau  $\Phi(Z_n)$  merupakan graf terhubung jika  $n \notin \{1,2,3,6\}$ .
2. Jika  $\Phi(Z_n)$  merupakan graf terhubung dengan  $R \cong Z_2 \times Z_4$  maka  $\text{Diam}(\Phi(R)) \leq 2$ .
3. Jika  $R$  adalah ring tereduksi dengan  $|V(\Phi(R))| > 3$  maka  $\Phi(R)$  merupakan graf terhubung.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada LPPM Universitas Sebelas Maret yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Grup Riset Tahun Anggaran 2023, serta semua instansi maupun perseorangan yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian dan penulisan makalah.

#### Daftar Pustaka

- [1] I. Beck, "Coloring of Commutative Ring", *Journal of Algebra*, Vol. 116, No. 1, pp. 208-226, 1988
- [2] D.F. Anderson and P.S. Livingston, "The Zero-Divisor Graph of a Commutative Ring", *Journal of Algebra*, 217, pp. 434-447, 1999
- [3] S. Akbari, R. Nikandish, and M. J. Nikmehr, "Some results on the intersection graphs of ideals of rings", *J. Algebra Appl.* 12, no. 4, 1250200, 13 pp., 2012
- [4] S.E. Atani, S.D.P. Hesari, and M. Khoramdel, "Total graph of a commutative semiring with respect to identity-summand elements", *J. Korean Math. Soc.* 51 no. 3, 593-607, 2014
- [5] M.R. Ashidiqi, V.Y. Kurniawan, and P.H. Utomo, "Graf Annihilator dari Ring Komutatif". *Prosiding KNPMP V UMS (2020)*, 5 Agustus, Sukoharjo, Indonesia, pp.293-302
- [6] Soleha, Dian W., Setyowati, Satrio A.W., "Kajian Sifat-Sifat Graf Pembagi-Nol dari Ring Komutatif dengan Elemen Satuan", *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNESA (2015)*, 25 April, Surabaya, Indonesia, pp.492-501
- [7] V.Y. Kurniawan, "Zero Divisor Graf of Semiring of Matrices over Boolean Semiring", *Natural Science: Journal of Science and Technology*, Vol. 7(1) : 127-137, 2018
- [8] Celikel, E.C., "Triple Zero Graph of Commutative Ring", *Communications Faculty of Sciences University of Ankara, Series A1 Mathematics and Statistics*, Vol. 70(2), pp: 653-663, 2021

- [9] S. Kadem, A. Aubad and A.H. Majeed, "The non-zero divisor graph of a ring", *Itaian Journal of Pure and Applied Mathematics*, N.43 : 975-983, 2020
- [10] G. Chartrand, and P. Zhang, "A First Course in Graph Theory", Dover Publications, New York, 2012
- [11] J.B. Fraleigh, "A first Course in Abstract Algebra", Pearson Education, Vermont, 2002

# Paper jurnal Kubik 2023 (Keterhubungan Graf Pembagi Tak Nol)

## ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://etheses.uin-malang.ac.id">etheses.uin-malang.ac.id</a> Internet Source	3%
2	<a href="https://publikasiilmiah.ums.ac.id">publikasiilmiah.ums.ac.id</a> Internet Source	2%
3	<a href="https://docplayer.info">docplayer.info</a> Internet Source	2%
4	<a href="https://doaj.org">doaj.org</a> Internet Source	2%
5	<a href="https://eprints.uny.ac.id">eprints.uny.ac.id</a> Internet Source	1%
6	<a href="https://dergipark.org.tr">dergipark.org.tr</a> Internet Source	1%
7	<a href="https://downloads.hindawi.com">downloads.hindawi.com</a> Internet Source	1%
8	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	1%
9	<a href="https://arxiv.org">arxiv.org</a> Internet Source	1%

10

pt.scribd.com

Internet Source

1 %

11

moam.info

Internet Source

1 %

12

repository.usd.ac.id

Internet Source

1 %

13

eigen.unram.ac.id

Internet Source

1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off