

DAFTAR ISI

Penentuan distribusi dosis serap target volume kanker serviks pada radioterapi Cobalt-60 berbasis Monte Carlo (Caecilia Ayu Larasati, Wihantoro*, Aris Haryadi, dan Etmy Kurniasari)	1
Identifikasi daerah rawan tanah longsor menggunakan metode geolistrik di desa Karangtengah kecamatan Imogiri kabupaten Bantul (Phisca Maulana Zaky Ichsany, Denny Darmawan*)	9
Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali magnetik tereduksi ke kutub di kawasan prospek bijih emas desa paningkaban kecamatan Gumelar kabupaten Banyumas (Syimah Nur Rahmah Shabrina, Seha*, Sukmaji Anom Raharjo).....	17
Variasi bentuk elektroda terhadap distribusi plasma yang dihasilkan (Mira Setiana*, Bangkit Ina Ferawati)	28
DC to DC converter sebagai pembangkit tegangan tinggi pada resistivity meter (Hartono, R. Farzand Abdullatif*, Abdullah Nur Aziz, Sahrul Iksan).....	34
Perbandingan identifikasi citra penderita tumor otak menggunakan jaringan syaraf tiruan LVQ dan MLVQ (Veronika Pitri, Yudha Arman*, Hasanuddin).....	39

Penentuan distribusi dosis serap target volume kanker serviks pada radioterapi Cobalt-60 berbasis Monte Carlo

Caecilia Ayu Larasati, Wihantoro*, Aris Haryadi, dan Etmy Kurniasari

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*email: wihantoro@unsoed.ac.id

Abstrak - Penyinaran radioterapi pada kanker serviks diperlukan perencanaan. Treatment Planning System (TPS) radioterapi diperlukan untuk memaksimalkan dosis serap sel kanker dan meminimalkan dosis serap pada organ sekitar. Untuk mengetahui distribusi dosis serap pada kanker serviks maka diperlukan simulasi menggunakan Monte Carlo. Monte Carlo menggunakan metode probabilistik karena perjalanan foton secara acak dan heterogenitas organ yang diradiasi. Pemodelan phantom organ dilakukan mengacu pada ukuran tubuh wanita dewasa di Asia menggunakan Taiwanese Reference Woman (TRW). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan distribusi dosis serap radiasi sel kanker serviks dan organ sekitar, dengan teknik penyinaran sudut 0° dan 180° , serta menentukan distribusi dosis serap gabungan dari variasi penyinaran dalam bentuk kontur radiasi berdasarkan target volume (Gross Tumor Volume, Clinical Target Volume dan Planning Target Volume) ICRU 50. Berdasarkan hasil penelitian dosis serap gabungan yang dihitung dari dua sudut penyinaran 0° dan 180° pada target radiasi GTV sel kanker 1,32 Gy, kandung kemih 1,29 Gy, serviks 0,350 Gy, dan rektum 1,21 Gy. Hasil target radiasi GTV sel kanker berada dibawah rentang dosis radiasi yang diperbolehkan yaitu 1,5-2,5 Gy. Distribusi dosis serap maksimum terdapat pada target radiasi tepat mengenai sel kanker dan memenuhi syarat laporan ICRU 50. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilanjutkan dengan menggunakan Multi Leaf Collimator dan menambah organ yang ada pada bagian perut bawah wanita dewasa sehingga dapat mengetahui sebaran dosis serap keseluruhan organ bagian perut.

Kata kunci: Dosis serap, Monte Carlo, Radioterapi, Treatment Planning System.

Abstract – Radiotherapy for cervical cancer required planning. Treatment Planning System (TPS) is purposed to maximize absorbency dose in the cancer tumour and minimize absorbency dose surrounding organs. To find out the absorption distribution of cervical cancer, a simulation using Monte Carlo is needed. Monte Carlo used the probabilistic method because of the random travel of photons and the heterogeneity of the organ in radiation. Phantom organ modeling is carried out referring to the body size of adult women in Asia using Taiwanese Reference Woman (TRW). The study aims to determine the distribution of absorption dose of cervical cell cancer and surrounding organs, with 0° and 180° angles irradiation techniques, and to determine the combined absorption dose distribution of irradiation variations in the form of radiation contour based on target volume (Gross Tumor Volume, Clinical Tumor Volume and Planning Target Volume) ICRU 50. Based on the results of the study the combined absorption dose calculated from two irradiation angles of 0° and 180° on the target of GTV radiation cell cancer 1,32 Gy, bladder 1,29 Gy, cervix 0,350 Gy, and rectum 1,21 Gy. The results GTV radiation target of cancer cells is given based on the allowed radiation dose of 1,5-2,5 Gy. Distribution of maximum absorption dose according to the radiation target of the cancer cell and meets the requirements of the ICRU 50 report. From the research that has been done, it can be continued by using the Multi Leaf Collimator and adding organs in the lower abdomen of adult women so that can find out the distribution of the overall absorptive dose of the abdominal organs.

Key words: Absorption dose, Monte Carlo, Radiotherapy, Treatment Planning System

PENDAHULUAN

Kanker merupakan penyakit akibat pertumbuhan tidak normal dari sel-sel jaringan tubuh yang berubah menjadi sel kanker. Sel kanker yang berkembang dapat merusak organ atau jaringan tubuh sehingga dapat mengganggu fungsi dari organ atau jaringan tersebut. Kanker rahim atau

serviks merupakan kanker yang paling sering menyerang wanita dewasa. Di Indonesia diperkirakan ditemukan 40 ribu kasus kanker mulut rahim setiap tahunnya. Berdasarkan data kanker berbasis patologi di 13 pusat laboratorium patologi, kanker serviks merupakan penyakit kanker yang memiliki

jumlah penderita terbanyak di Indonesia, yaitu lebih kurang 36% [1].

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, semakin banyak teknik dan metode dalam pengobatan kanker. Salah satu pengobatan kanker yaitu radioterapi. Radioterapi adalah metode pengobatan penyakit-penyakit maligna (tumor yang terdiri dari sel kanker) dengan menggunakan sinar pengion, bertujuan untuk mematikan sel-sel kanker sebanyak mungkin dan melindungi jaringan sehat di sekitar tumor agar tidak menderita kerusakan terlalu berat [2].

Radioterapi Cobalt-60 pada kanker serviks dilakukan penyinaran eksternal dua arah yaitu *anteroposterior-posteroanterior* (AP-PA) dengan dosis total sebesar 2 Gy sudut penyinaran 0° dan 180° . Sebelum dilakukan radioterapi diperlukan perencanaan terapi atau *Treatment Planning System* (TPS) dengan tujuan agar *treatment* tepat sasaran dengan memaksimalkan dosis pada target yang akan diradiasi dan meminimalkan efek pada jaringan normal disekitar target. TPS yang digunakan adalah TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Stovall *et al* [3] bahwa telah dilakukan perhitungan dosis serap pada radioterapi eksternal menggunakan metode Monte Carlo pada kanker serviks. Dalam penelitian Stovall [3] organ yang diukur dosis serapannya adalah otak, payudara, ginjal, paru-paru, ovarium, pankreas, kelenjar ludah, perut dan tiroid. Pada penelitian ini dosis serapan yang telah diukur adalah *Organ At Risk* yaitu kandung kemih dan rektum serta sebaran dosisnya. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat diketahui besar dosis serapan pada sel kanker, serviks, kandung kemih dan rektum serta pola distribusi dosis *target volume* dengan berdasarkan ICRU 50.

METODE PENELITIAN

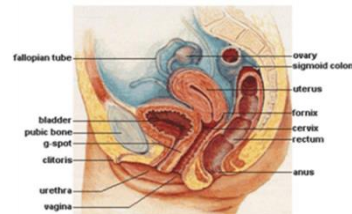
Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60, pemodelan *phantom* serviks, daerah kanker dan OAR (rektum dan kandung kemih), analisis dan verifikasi dari *Gross Tumor Volume* (GTV), *Clinical Target Volume* (CTV) dan *Planning Target Volume* (PTV) dengan *Treatment Planning System* (TPS) berdasarkan *report The International Commission on Radiation Unit and Measurement* (ICRU) 50.

1. Pemodelan Unit Kepala Pesawat Radioterapi Co-60

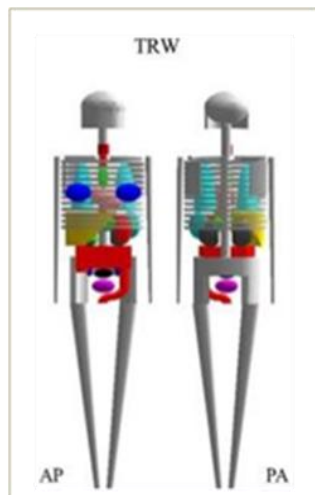
Unit kepala radioterapi Co-60 dimodelkan dengan geometri sederhana menggunakan *phantom*. Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 telah dilakukan oleh Aat Maftuhatusun [4]. Pemodelan dibuat hanya terdiri komponen utamanya saja yaitu sumber radiasi Co-60 dan kolimator. Kolimator terdiri dari kolimator primer dan sekunder. Pemodelan geometri ini dilakukan sebagai input yang dimasukkan yaitu densitas, material penyusun, bentuk, dan ukuran *surface* pada program *MCNPX Visual Editor*.

2. Pemodelan *phantom* serviks, daerah kanker dan OAR (rektum dan kandung kemih)

Terdapat beberapa organ yang akan dimodelkan dengan *phantom* TRW, organ tersebut adalah serviks (leher rahim) dan OAR. Bentuk serta jarak antar organ dibuat berdasarkan anatomi organ perut wanita dewasa seperti pada **Gambar 1**. Terdapat organ yang memiliki resiko dan sensitifitas tinggi terhadap radiasi [5]. Rektum dan kandung kemih merupakan OAR sehingga termasuk *critical organ* dalam *treatment* radioterapi pada kanker serviks.



Gambar 1 Anatomi serviks, rektum dan kandung kemih wanita [6]



Gambar 2 Model Phantom TRW organ tubuh wanita dewasa anteroposterior (depan) - posteroanterior (belakang) [7]

Phantom TRW menggunakan komposisi material organ dan data geometri masyarakat Asia, sehingga dapat dilihat pada **Gambar 2** organ tubuh wanita dewasa tampak depan dan belakang. Jaringan tubuh memiliki volume, densitas dan komposisi dasar yang berbeda-beda. Berikut merupakan volume, densitas dan komposisi dasar jaringan tubuh berdasarkan model *phantom* TRW **Tabel 1** [7].

Tabel 1 Densitas dan komposisi dasar seluruh organ pada phantom TRW [7]

Organ		Usus besar	Kandung kemih	Uterus
Densitas (g/cm^3)		1,04	1,04	1,04
Volume (cm^3)		502	84	84
%	H	10,6	10,5	10,5
	C	11,5	9,6	9,6
	N	2,2	2,6	2,6
	O	75,1	76,1	76,1
	Ca	-	-	-
	Na	0,1	0,2	0,2
	P	0,1	0,2	0,2
	S	0,1	0,2	0,2
	Cl	0,2	0,3	0,3
	K	0,1	0,3	0,3

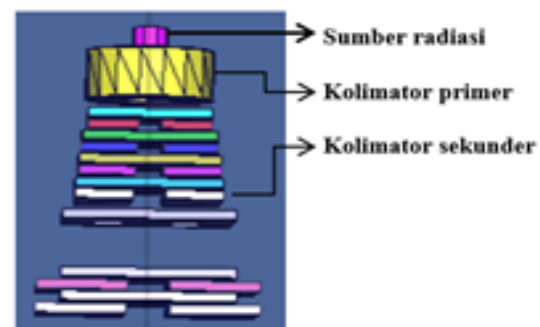
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi radioterapi kanker serviks untuk mengetahui distribusi dosis serap pada kanker serviks dan organ sekitarnya dengan penyinaran eksternal dua arah *anteroposterior* sudut 0° dan *posteroanterior* sudut 180° masing-masing

sebesar 1 Gy. Pemodelan organ dilakukan dengan membuat *phantom* organ menggunakan MCNPX *Visual Editor*. Organ yang disimulasikan adalah kanker pada serviks, kandung kemih dan saluran anus (rektum). Organ yang disimulasikan merupakan *critical organ* dimana letak organ sangat beresiko dalam *treatment* penyinaran radioterapi. Teknik yang digunakan dalam pengukuran dosis pada pasien menggunakan teknik *Source Surface Distance* (SSD) 80 cm dengan metode *Percentage Depth Dose* (PDD) kedalaman 5 cm [4]. Distribusi dosis pada kanker dapat ditentukan melalui metode Monte Carlo menggunakan MCNPX, dengan menyimulasikan pergerakan foton yang dipancarkan oleh sumber yaitu Co-60. Hasil yang didapat dari distribusi dosis kemudian dilakukan analisis GTV, CTV, PTV sesuai pada *report* ICRU 50 (1993) berdasarkan TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto untuk melihat sasaran dosis yang diterima pada setiap organ.

A. Pemodelan Unit Kepala Pesawat Radioterapi Co-60 Penyinaran Sudut 0° dan sudut 180°

Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 pada penelitian ini merujuk pada pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 Maftuhaturun (2018) beserta nilai PDD kedalaman 5 cm dan jarak SSD 80 cm dan medan radiasi (10×10) cm. Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 terdiri dari geometri sumber radiasi, kolimator primer dan kolimator sekunder seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60

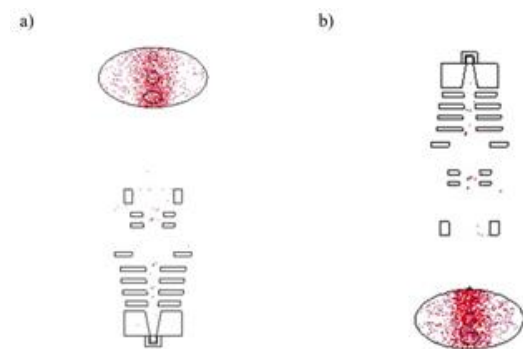
Sumber radiasi

Sumber radiasi yang digunakan adalah Co-60 dimana dapat menyebar ke segala arah dengan energi diskrit 1,17 MeV dan 1,33 MeV [2]. Inti sumber Co-60 dilindungi oleh kepala sumber

(source head) merupakan bagian perangkat radioterapi eksternal tempat menyimpan dan mengeluarkan radionuklida Co-60 sebagai sumber radiasi [8].

Kolimator

Unit kepala pesawat Radioterapi Co-60 terdiri dari dua macam kolimator, yaitu kolimator primer dan kolimator sekunder. Kolimator ini terbuat dari bahan Tungsten yang memiliki densitas sebesar $19,3 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan kolimator sekunder berfungsi untuk membentuk medan radiasi.

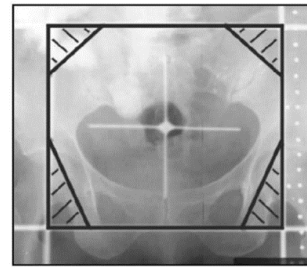


Gambar 4 Ilustrasi penyinaran radioterapi kanker serviks a) atas (sudut 0°) dan b) bawah (sudut 180°).

Pada penyinaran radioterapi kanker serviks dilakukan penyinaran dua arah. Pada sudut 0° unit kepala pesawat radioterapi berada di atas tubuh pasien. Pada sudut 180° kolimator diputar ke bawah tubuh pasien. Pemodelan unit pesawat radioterapi penyinaran sudut 0° dan 180° dalam 2D dapat dilihat pada **Gambar 4**.

B. Pemodelan Geometri Phantom Kanker pada Serviks dan Organ At Risk (OAR)

Geometri dan definisi material yang digunakan dalam pemodelan phantom TRW sangat penting dalam simulasi radioterapi kanker serviks. Dalam pembuatan geometri selalu dibutuhkan data input yang diperlukan meliputi densitas, material penyusun, bentuk dan ukuran surface serta cell. Densitas, volume dan material penyusun diambil dari phantom TRW oleh Chang (2016) dan pemodelan blok Timbal (Pb) berdasarkan TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Radiografi anterior (bagian depan) menunjukkan batas bidang AP- PA dan empat blok sudut [9]

Pemodelan organ perut bagian bawah wanita dewasa secara tepat tidaklah mudah. Oleh karena itu dilakukan pendekatan dengan membuat geometri organ yang sesuai dengan volume. Organ yang disimulasikan adalah sel kanker pada serviks, kandung kemih dan rektum. Bentuk organ yang disimulasikan dibuat berdasarkan bentuk anatomi tubuh wanita dewasa dan referensi Los Alamos National Laboratory [10]. Pada Input MCNP merupakan bagian terpenting dalam simulasi partikel dan pembuatan phantom organ. Struktur Input ini terdiri dari tiga bagian utama yang disebut CARDS. Ketiga CARDS tersebut adalah title cards, cell cards, surface cards dan data cards. Penulisan input MCNPX pada surface cards membuat geometri kandung kemih ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Input MCNPX geometri kandung kemih pada kartu permukaan

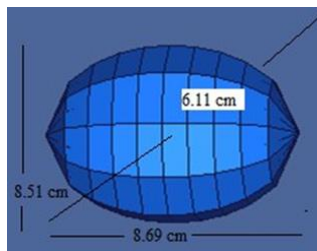
Nomor Permukaan	Mnemonic	List
207	Sq	0.040681 0.083628 0.083628 0 0 0 - 1 0 -17.6 2.5
208	Sq	0.040681 0.097291 0.097291 0 0 0 - 1 0 -17.6 2.5

Dalam pembuatan geometri kandung kemih pada MCNPX Visual Editor input yang dimasukan pertama adalah nomor permukaan (Surface number), kemudian alphabetic mnemonic dan dilanjutkan dengan list (spesifikasi input yang mendeskripsikan permukaan seperti dimensi dan radius dalam centimeter pada surface cards). Geometri yang digunakan pada kandung kemih adalah ellipsoid. Ellipsoid yang digunakan untuk membuat geometri kandung kemih yaitu permukaan 207. "Sq" menandakan bahwa permukaan ini merupakan ellipsoid yang paralel pada sumbu x, y atau z. Nilai yang harus dimasukkan dalam

input yaitu A, B, C, D, E, F, G, $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$. Nilai $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ adalah posisi geometri dari pusat koordinat ke titik pusat bidang torus. Nilai A, B, C, D, E, F, G diperoleh dari **persamaan 1**.

$$A(x - \bar{x})^2 + B(y - \bar{y})^2 + c(z - \bar{z})^2 + 2D(x - \bar{x}) + 2E(y - \bar{y}) + 2F(z - \bar{z}) + G = 0 \quad (1)$$

Dari hasil persamaan mnemonic Sq maka akan membentuk liszt (spesifikasi input pada MCNP untuk membentuk geometri ellipsoid).



Gambar 6 Pemodelan organ kandung kemih hasil simulasi

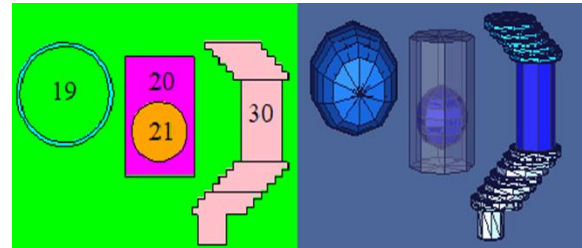
Masing-masing organ diberi nomor sel dan memiliki warna yang berbeda bergantung pada densitas setiap organ. Volume, densitas dan komposisi setiap organ terdapat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** [7]. Nomor sel setiap organ dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Daftar nomor sel setiap organ pada *phantom* organ perut bagian bawah

Organ	No. Sel pada MCNPX
Kandung Kemih	19
Saluran anus (<i>rectum</i>)	30
Serviks	20
Sel kanker	21

Sel kanker disimulasikan berbentuk bola yang letaknya di dalam serviks. Posisi sel kanker berada pada titik koordinat sumbu (x, y, z) yaitu berada pada titik (0, -10,8 ,0). Berdasarkan dari data TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto kanker yang disimulasikan adalah kanker stadium IIIB. Kanker pada tingkatan stadium IIIB memiliki besar diameter 4 cm [11]. Geometri serviks dan saluran anus (*rectum*) disimulasikan berbentuk tabung. Geometri serviks berada pada titik koordinat sumbu (x,y,z) yaitu titik (0, -10,8 ,0)

dengan jari-jari 2.5 cm. Geometri saluran anus (*rectum*) yang akan disimulasikan berada pada titik koordinat sumbu (x,y,z) yaitu titik (0, -3,5 ,0) dengan jari-jari 1,5 cm, sedangkan untuk saluran ke atas (usus besar) dan saluran ke bawah (anus) disimulasikan dengan silinder yang bertumpuk supaya bentuknya sesuai dengan fisiologi organ perut bagian bawah wanita dewasa. Geometri *phantom* organ perut bagian bawah hasil simulasi dalam 2D dan 3D dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Geometri phantom organ bawah perut wanita dewasa 2D (kiri) dan 3D (kanan)

Simulasi partikel dapat dilihat dan dilakukan dengan Particle Track Plotting. **Gambar 7** merupakan simulasi Particle Track Plotting menggunakan 1000 partikel untuk menunjukkan radiasi gamma dari sumber Co-60 dengan sudut penyinaran 0° dan 180° mengenai phantom organ perut bagian bawah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa radiasi gamma mempunyai arah dan interaksi yang random baik pada unit kepala linac maupun phantom.

C. Dosis Serap Masing-masing Organ

Pemodelan pesawat radiasi Co-60 dan phantom organ perut bagian bawah wanita dewasa yang telah dibuat, dilakukan simulasi untuk menentukan distribusi dosis masing-masing organ dengan sudut penyinaran 0° dan 180° . Setiap organ yang telah disimulasikan kemudian dihitung menggunakan *tally*, yaitu perhitungan khusus yang akan diakumulasikan saat simulasi [12]. Perhitungan ini berupa nilai fluks atau energi dalam satuan tertentu. Terdapat beberapa jenis *tally* pada Tally cards MCNPX, untuk menghitung deposit energi rata-rata pada sebuah sel *tally* yang digunakan adalah *tally f6*. Untuk mendapatkan nilai dosis yang sebenarnya dilakukan penambahan faktor multiplikasi *fm6* karena output *f6* memiliki satuan MeV/g. Faktor pengali (*fm*) sebesar $1,6 \times 10^{-10}$ agar output yang dihasilkan memiliki satuan gray (Gy). Untuk sumber partikel berupa zat radioaktif maka jumlah partikel adalah sebanding dengan intensitas medan radiasi yang diketahui dari

nilai aktivitas radiasinya [13]. Perhitungan aktivitas sumber radioterapi yang mengenai medan radiasi dapat dilihat di bawah ini. Dosis serap setiap organ yang dihasilkan dari penyinaran 0° dan 180° dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Dosis serap per organ pada masing-masing organ dalam satuan gray (Gy)

Organ	Dosis serap (Gy)		
	Sudut 0°	Sudut 180°	Gabungan kedua sudut
Sel kanker	0,656	0,661	1,32
Kandung kemih	0,902	0,389	1,29
Serviks	0,175	0,175	0,350
Rektum	0,337	0,868	1,21

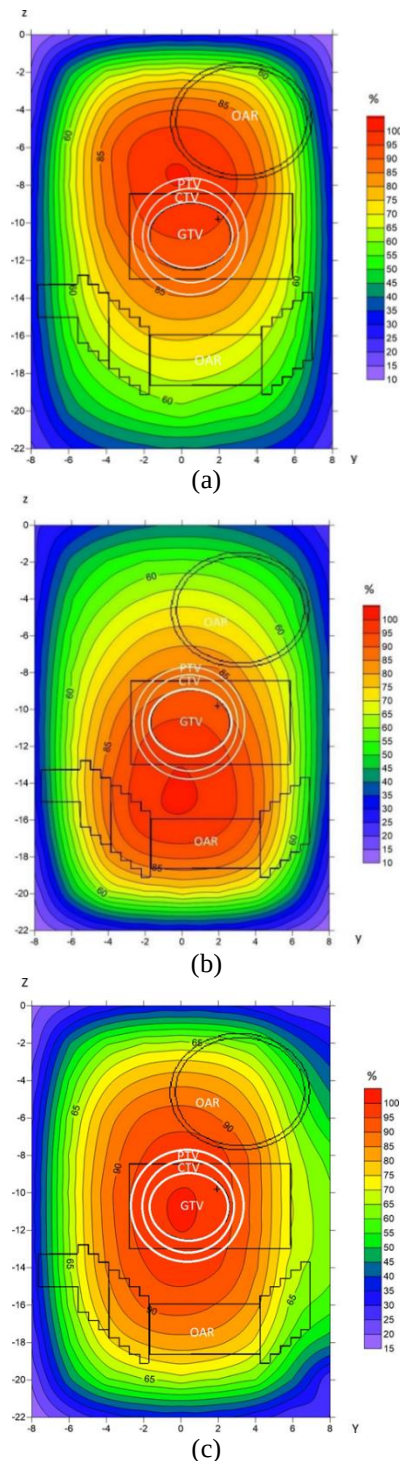
Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa dosis yang paling banyak diterima pada sudut gabungan 0° dan 180° adalah sel kanker yaitu sebesar 1,32 gray. Pada sudut 0° besar dosis serap sel kanker adalah 0,656 gray dan pada sudut 180° adalah 0,661 gray. Menurut data hasil PDD diketahui bahwa faktor build up terjadi pada kedalaman 0,5 cm, selanjutnya semakin dalam posisi suatu organ maka persentase dosis serap akan semakin rendah. Dengan begitu organ lain yang berada dekat dengan permukaan yang disinari akan lebih besar. Hasil simulasi yang diperoleh juga menunjukkan hal yang serupa, yaitu organ-organ yang berada pada posisi dekat permukaan yang disinari menyerap dosis yang lebih besar. Pada siklus sel, sel sehat akan lebih cepat bergenerasi daripada sel kanker. Oleh sebab itu penyinaran radioterapi dilakukan beberapa kali fraksi sehingga memungkinkan sel-sel normal beregenerasi sebelum dosis tambahan diberikan [15].

Deviasi dosis serap radiasi yang diperbolehkan yaitu $-25\% \leq x \leq 25\%$, apabila dosis radiasi yang direncanakan adalah 2 Gy sehingga dosis radiasi yang diterima berada pada rentang (1,5-2,5) Gy [15]. Dengan demikian dosis radiasi yang diterima di atas 2,5 Gy maka jaringan sehat yang ada di sekitar kanker akan menerima radiasi yang tinggi, sehingga akan terjadi penyebaran kanker pada jaringan sehat. Total dosis serap yang diterima sel kanker (GTV) sebesar 1,32 gray dimana

dibawah 1,5 Gy maka setelah proses penyinaran radiasi selesai kemungkinan akan menyebabkan kanker muncul kembali, oleh karena itu pada treatment kanker serviks dilakukan tindakan lanjutan yaitu Brachytherapy. Pada penyinaran radioterapi eksternal memang mempunyai resiko tinggi pada OAR karena posisi penyinaran sejajar dengan kandung kemih dan rektum akan tetapi total dosis serap yang diterima masih dibawah batas maksimum.

D. Distribusi Dosis Serap Total dan Pola Target Volume (GTV, CTV, PTV) Organ Kandung Kemih, Serviks, dan Rektum Wanita Dewasa

Distribusi dosis serap total pada phantom organ perut bagian bawah dibuat dalam bentuk kontur untuk mengetahui sebaran dosis yang diterima terhadap kedalaman. Sebaran dosis dalam bentuk kontur menunjukkan distribusi dosis serap dalam satu sayatan phantom koordinat (y,z), yaitu sumbu y menunjukkan sisi mendatar perut dan sumbu z menunjukkan kedalaman perut agar dapat terlihat sebaran dosis radiasi terhadap OAR pada kanker serviks. Pada kontur tersebut dibuat dalam satuan persen. Distribusi dosis serap ini diperoleh dari hasil running MCNPX menggunakan tally f5 yang menghasilkan nilai fluks energi dengan satuan MeV/cm^2 , kemudian dikonversikan kesatuan dosis serap. Dalam melakukan External Beam Radiotherapy (EBRT) pada kanker serviks dilakukan penyinaran total sebanyak 25 kali dengan dosis serap per-fraksi adalah 2 Gy. Penyinaran dilakukan dua kali dengan sudut 0° dan 180° masing-masing 1 Gy. Oleh karena itu simulasi ini mengasumsikan bahwa dosis serap maksimum yang harus diterima oleh organ pada masing-masing sudut penyinaran adalah 1 Gy. Hasil output f5 dinormalisasi terlebih dahulu (nilai fluks per-organ dibagi dengan nilai fluks terbesar seluruh organ) kemudian dikalikan dengan 100% sehingga hasilnya dalam persen. Hasil data fluks energi yang telah dinormalisasi tersebut kemudian dibuat kontur distribusi dosis serapnya dengan Surfer 10. Dengan begitu dapat diketahui distribusi dosis yang diserap pada sayatan phantom tersebut. Kontur distribusi dosis serap yang telah dibuat dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8 Kontur penyebaran distribusi dosis serap terhadap kedalaman perut dalam persen a) sudut penyinaran 0° ($100\% = 1\text{Gy}$) b) Sudut penyinaran 180° ($100\% = 1\text{Gy}$) c) Sudut penyinaran gabungan ($100\% = 2\text{Gy}$)

Pada gambar dapat dilihat penyebaran distribusi dosis pada kedalaman organ serta pola target volume yang memuat GTV, CTV, PTV berdasarkan report ICRU 50. Pada penelitian ini GTV telah ditentukan letak dan ukurannya oleh

dokter. Sel kanker berada pada organ serviks dengan diameter 4 cm kemudian dibuat pola CTV dan PTV dengan margin $\text{CTV} = \text{GTV} + 1\text{ cm}$ dan $\text{PTV} = \text{CTV} + 1\text{ cm}$ [16]. Kontur tersebut dibuat dalam satuan persen dengan besar dosis maksimal pada masing-masing sudut 1 Gy dan sudut gabungan 2 Gy. Pada penyinaran sudut 0° kolimator berada di atas perut dimana organ yang paling dekat dengan pusat penyinaran adalah organ kandung kemih kemudian di bawahnya terdapat serviks dan rektum.

Radioterapi sinar foton eksternal biasanya dilakukan dengan lebih dari satu sudut sinar radiasi untuk mencapai distribusi dosis seragam di dalam target volume dan dosis serendah mungkin di jaringan sehat di sekitar target. **Gambar 9** (c) adalah hasil kontur distribusi dosis serap dari gabungan penyinaran sudut 0° dan 180° dengan luas lapangan penyinaran sebesar $(10 \times 10)\text{ cm}^2$. Hasil penyebaran total dosis serap dapat dilihat bahwa terpusat pada daerah GTV (sel kanker). Rentang distribusi dosis pada GTV sebesar 95%-100%, pada daerah CTV 95% dan PTV 90%. Rentang dosis yang terdapat pola target volume masih dalam kategori aman karena menurut laporan ICRU 50 rentang aman keseragaman dosis target di pusat kanker $+ 7\%$ dan -5% dari dosis yang ditentukan dalam resep dokter onkologi [17]. Sedangkan untuk OAR yang terkena paparan radiasi dibawah 90% pada simulasi ini masih dalam kategori diperbolehkan/ aman karena luasan daerah yang terpapar radiasi 70%-90% kecil dan masih dibawah batas maksimum dosis yang diperbolehkan dari perhitungan dosis serap per-organ **Tabel 4**. Distribusi dosis serap juga dilakukan tegak lurus dengan arah penyinaran dimana diambil letak pada titik tengah kanker, akan tetapi OAR menjadi sulit dianalisis karena letaknya sejajar dengan sel kanker (GTV).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 dan *phantom* organ bagian bawah perut pada wanita dewasa telah berhasil dibuat menggunakan MCNPX *Visual Editor*. Dosis serap gabungan yang dihitung dari dua sudut penyinaran 0° dan 180° pada target radiasi GTV sel kanker 1,32 Gy, kandung kemih 1,21 Gy, serviks 0,350 Gy, dan rektum 1,29 Gy. Distribusi dosis serap maksimum terdapat pada target radiasi tepat mengenai sel kanker (GTV)

sebesar 95%-100%, pada daerah CTV 95% dan PTV 90% dan memenuhi syarat laporan ICRU 50.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada seluruh dosen, staf jurusan Fisika Universitas Jenderal Soedirman dan staf unit radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto yang tidak dapat peneliti sebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Rasjidi, "Epidemiologi Kanker Serviks," *Indonesian Journal of Cancer*, vol. 3, pp. 103-108, 2009.
- [2] M. Khan and J. P. Gibbons, *The Physics of Radiation Therapy*, 5th ed., Philadelphia: Two Commerce Square, 2014.
- [3] M. Stovall, S. A. Smith and M. Rosenstein, "Tissue Doses from Radiotherapy of Cancer of the Uterine Cervix," *Medical Physics*, vol. 5, 1989.
- [4] A. Maftuhaturun, "Perhitungan Distribusi Dosis Radiasi Kanker Payudara dan Organ Sekitar dengan Teknik Tangensial Menggunakan Program MCNPX," *Skripsi*, 2018.
- [5] E. Weiss, S. Richter and T. Kraus, "Conformal Radiotherapy Planning of Cervix Carcinoma: differences in the delineation of the Clinical Target Volume," *Radiation Oncology*, pp. 87-95, 2003.
- [6] H. Kim, M. S. Huq and S. Beriwal, *Clinical Application of Ultrasound Imaging in Radiation Therapy*, USA: University of Pittsburgh Cancer Institute, 2016.
- [7] S. J. Chang, S. Y. Hung and Y. L. Liu, "Construction of Taiwanese Adult Reference Phantoms for Internal Dose Evaluation," *PLOS ONE*, vol. 9, p. 11, 2016.
- [8] W. Santoso, "Desain Dasar Perangkat Radioterapi Eksternal Menggunakan Cobalt-60," *Jurnal Pernagkat Nuklir*, vol. 6, 2012.
- [9] IAEA, "Management of cervical cancer: Strategies for limited - resources centres- A guide for radiation oncologist," International Atomic Energy Agency, Vienna, 2013.
- [10] A. L. Reed, *Medical Physics Calculations with MCNP: A Primer*, Texas: Los Alamos National Laboratory, 2007.
- [11] T. Toita, K. Ogawa and H. Moromizato, "Combination External Beam Radiotherapy and High Dose Rate Intracavitary Brachytherapy for Uterine Cervical Cancer: Analysis of Dose and Fractionation Schedule," *Radiation Oncology*, pp. 1344-1353, 2003.
- [12] H. Oktajianto, *Dasar-dasar Software MCNP*, Semarang: Kelompok Studi Fisika Radiasi (KSFR), Fisika Universitas Diponegoro, 2015.
- [13] Rasito, *Pengenalan MCNP untuk Pengkajian Dosis*, Pusdiklat-BATAN, 2013.
- [14] J. R. Hubenak, Q. Zhang, D. C. Branch and S. J. J, "Mechanisms of injury to normal tissue after radiotherapy: a," *National Institute of Health*, vol. 133, pp. 49e-56e, 2014.
- [15] M. Handayani, "Verifikasi Ketepatan Hasil Perencanaan Nilai Dosis Radiasi Terhadap Penerimaan Dosis Radiasi pada Pasien Kanker," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 5, 2016.
- [16] E. A. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: Hand Book for Teacher and Student*, Austria: IAEA, 2005.
- [17] J. A. Purdy, "Current ICRU Definition of Volumes: Limitations and Future Directions," ICRU, 2004.

Identifikasi daerah rawan tanah longsor menggunakan metode geolistrik di desa Karangtengah kecamatan Imogiri kabupaten Bantul

Phisca Maulana Zaky Ichsany, Denny Darmawan*

Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

Jl. Colombo No.1 Karangmalang Yogyakarta 55281

*e-mail:darmawan@uny.ac.id

Abstrak – Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai resistivitas lapisan tanah dan struktur bawah permukaan di daerah rawan tanah longsor. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole di daerah rawan tanah longsor Desa Karangtengah, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul dengan koordinat daerah penelitian $7,9430^{\circ}$ LS sampai $7,9401^{\circ}$ LS dan $110,3962^{\circ}$ BT sampai $110,3939^{\circ}$ BT. Pengambilan data menggunakan resistivitymeter merek Syscal. Panjang setiap lintasan yaitu 200 m dengan jarak antar elektroda adalah 10 m. Struktur bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari material lempung dengan nilai resistivitas $3,39 \Omega\text{m}$ - $58,3 \Omega\text{m}$ dan material batu pasir dengan nilai resistivitas $58,4 \Omega\text{m}$ - $319,89 \Omega\text{m}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material lempung mendominasi daerah tersebut, sehingga ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi dapat berpotensi longsor karena kemiringan lereng lebih dari 40° . Bidang gelincir daerah penelitian belum terlihat hingga kedalaman 21,8 m, sehingga diperkirakan bidang gelincir berada di kedalaman lebih dari 21,8 m.

Kata kunci: tanah longsor, bidang gelincir, metode geolistrik

Abstract – The purpose of this research was to determine the resistivity value of soil layer and subsurface structures in a landslide prone area. This research used geoelectrical method with dipole-dipole configuration in landslide prone area of Karangtengah Village, Imogiri Subdistrict, Bantul Regency with coordinates of 7.9430° S to 7.9401° S and 110.3962° E to 110.3939° E. The data were acquired using a Syscal resistivitymeter. The length of each track was 200 m with distance between electrodes is 10 m. The subsurface structure of the research area consists of clay material with resistivity values of $3.39 \Omega\text{m}$ - $58.3 \Omega\text{m}$ and sandstone material with resistivity values of $58.4 \Omega\text{m}$ - $319.89 \Omega\text{m}$. Based on the results, it is shown that clay material dominates the area, so when there is a high-intensity rain, it can trigger landslides because the slope is more than 40° . The slip plane of the research area has not been found until a depth of 21.8 m, so it is estimated that the slip plane is at a depth of more than 21.8 m.

Key words: landslide, slip plane, geoelectrical method

PENDAHULUAN

Indonesia berada pada garis khatulistiwa, sehingga Indonesia memiliki iklim tropis. Dampak dari iklim tropis di Indonesia adalah terdapat dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau [1]. Pada musim hujan, Indonesia mengalami bencana tanah longsor dan banjir sedangkan musim kemarau mengalami kekeringan dan kebakaran hutan. Tanah longsor dapat terjadi karena adanya faktor dari alam dan manusia. Faktor alam yang menjadi penyebab terjadinya tanah longsor yaitu ketebalan tanah, lerengnya curam, hujan deras dan gempa bumi [2]. Faktor manusia yang menyebabkan tanah longsor yaitu penebangan hutan sehingga menyebabkan tanah mudah bergerak dan penggalian tambang. Akibat yang ditimbulkan dari tanah longsor yaitu korban jiwa, harta,

rusaknya bangunan warga dan rusaknya akses jalan warga [3].

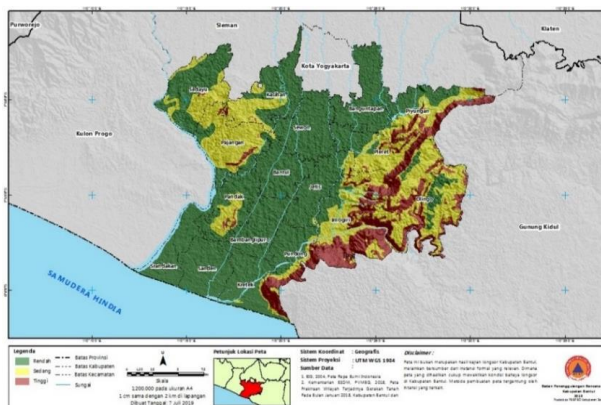
Kabupaten Bantul merupakan salah satu daerah yang sering mengalami bencana alam, karena di Bantul terdapat perbukitan yang rawan terjadi tanah longsor, seperti daerah Imogiri, Dlingo, Piyungan, dan Pleret. Berdasarkan kejadian bencana alam di Kabupaten Bantul tahun 2016-2020 (Tabel 1), bencana yang sering terjadi di Kabupaten Bantul adalah tanah longsor. Berdasarkan peta kerawanan tanah longsor Kabupaten Bantul 2019 (Gambar 1), Kecamatan Imogiri, Pleret, Dlingo, dan Piyungan merupakan daerah yang rawan mengalami tanah longsor di Kabupaten Bantul. Dalam peta tersebut, daerah penelitian yang berada di Desa Karangtengah, Kecamatan

Imogiri termasuk dalam daerah rawan bencana tanah longsor di Kabupaten Bantul.

Tabel 1. Kejadian Bencana Alam di Kabupaten Bantul periode tahun 2016-2020 [4]

Tahun	Gempa Bumi	Tanah Longsor	Banjir
2016	11	77	22
2017	27	319	20
2018	97	23	0
2019	79	176	8
2020	13	85	0

Berdasarkan data jumlah tanah longsor di Kabupaten Bantul tahun 2012-2019, Kecamatan Imogiri merupakan salah satu daerah yang sering mengalami tanah longsor. Pada tahun 2013 sampai dengan 2019, Kecamatan Imogiri mengalami kejadian tanah longsor dengan jumlah kejadian tertinggi pada tahun 2017 yaitu dengan jumlah kejadian sebanyak 79 kejadian tanah longsor [6]. Kecamatan Imogiri memiliki topografi perbukitan dan dataran rendah. Perbukitan berada di Desa Karangtengah, Desa Sriharjo, Desa Selopamiro, Desa Girirejo, dan Desa Wukirsari [7]. Pada tahun 2017, di Kecamatan Imogiri terdapat bencana alam tanah longsor dimana salah satunya terjadi di Desa Karangtengah [8]. Desa Karangtengah merupakan salah satu desa yang rawan longsor di Kecamatan Imogiri karena terdapat perbukitan yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Dlingo (Gambar 2).



Gambar 1. Peta Kerawanan Tanah Longsor Kabupaten Bantul 2019 [5]



Gambar 2. Tanah Longsor di Desa Karangtengah [8]

Berdasarkan kondisi di Desa Karangtengah, untuk keperluan mitigasi bencana tanah longsor, maka dilakukan analisis struktur bawah permukaan menggunakan metode geolistrik. Penelitian dilakukan dengan menentukan struktur bawah permukaan tanah berdasarkan nilai resistivitas batuan. Nilai resistivitas yang rendah menunjukkan bahwa batuan tersebut banyak menyimpan air sehingga dapat menjadi material longsor, sedangkan batuan yang memiliki nilai resistivitas tinggi menjadi bidang gelincir longsor. Bidang gelincir merupakan bidang yang memiliki sifat menahan air dan bersifat padat sehingga memungkinkan tanah di atasnya dapat bergerak [9].

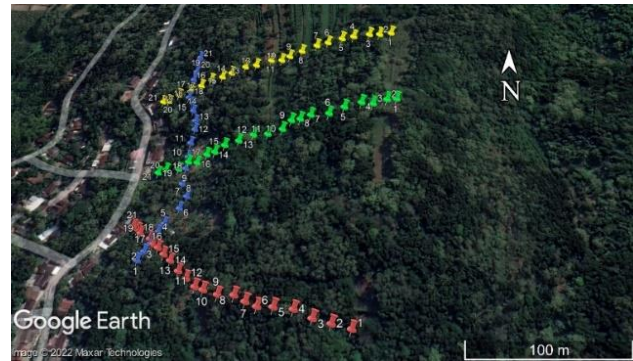
METODE PENELITIAN

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi dengan mempelajari sifat aliran listrik batuan [10]. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi *dipole-dipole*. Konfigurasi *dipole-dipole* dipilih karena konfigurasi ini memiliki keunggulan dalam pemetaan daerah rawan tanah longsor berdasarkan nilai resistivitas batuan [11-21]. Pengambilan data dilakukan di lintasan yang sudah disurvei, yang terdiri dari 4 lintasan, yaitu lintasan yang sejajar lereng bukit sebanyak 3 lintasan dan lintasan yang tegak lurus lereng bukit sebanyak 1 lintasan. Panjang setiap lintasan yaitu 200 m dengan jarak antar elektroda arus yaitu 10 m dan jarak antar elektroda potensial yaitu 10 m sehingga didapatkan *datum point* sebanyak 116. Perbesaran jarak (n) antara elektroda arus ($c2$) dan elektroda potensial ($p1$) diperbesar dari $n=1$ sampai dengan $n=8$. Pengambilan data dimulai dengan membentangkan kabel sesuai

dengan lintasan yang sudah terpasang elektroda dengan spasi 10 meter. Proses selanjutnya yaitu pengukuran arus listrik (I) bersumber dari aki yang diinjeksikan menggunakan elektroda ke tanah, dan pengukuran beda potensial (ΔV). Alat yang digunakan untuk mengukur arus listrik (I) dan beda potensial (ΔV) yaitu *resistivitymeter* merek Syscal. *Resistivitymeter* akan menampilkan nilai I dan ΔV pada layar monitor. Selain itu juga digunakan GPS untuk mengetahui titik koordinat (*longitude* dan *latitude*) dari elektroda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

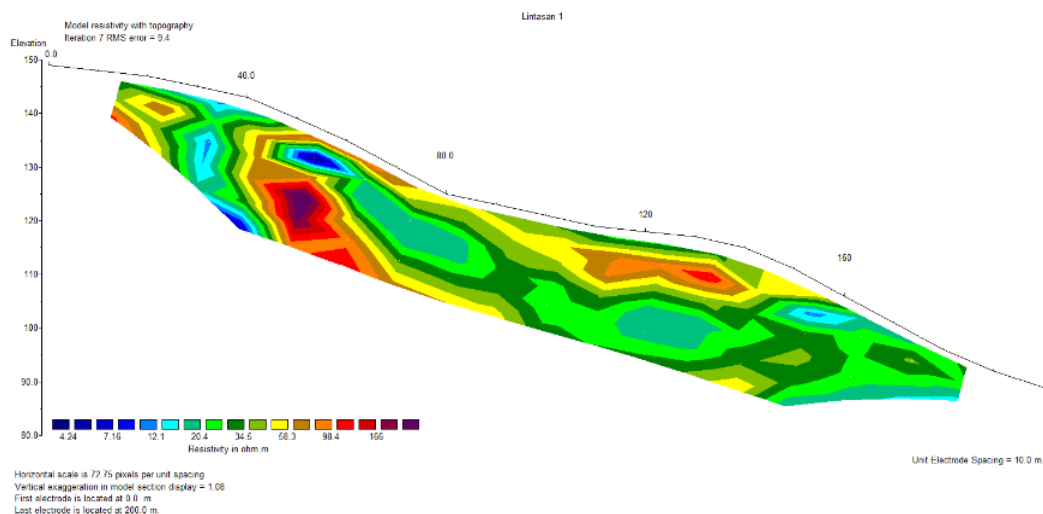
Hasil pengukuran dan analisis data di daerah rawan tanah longsor Desa Karangtengah, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul ditunjukkan dalam bentuk model resistivitas bawah permukaan untuk setiap lintasan. Pada Gambar 3 ditunjukkan lintasan pengukuran yang ditandai dengan warna yang berbeda, yaitu lintasan pertama berwarna kuning, lintasan kedua berwarna hijau, lintasan ketiga berwarna merah, dan lintasan keempat berwarna biru. Berdasarkan pengolahan data lapangan, kedalaman struktur bawah permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran yaitu 21,8 m.



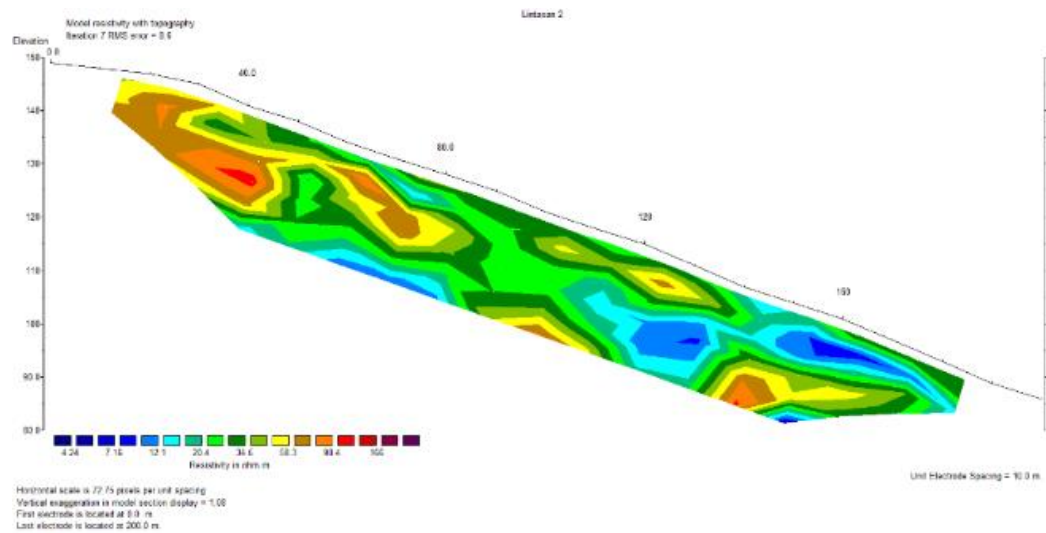
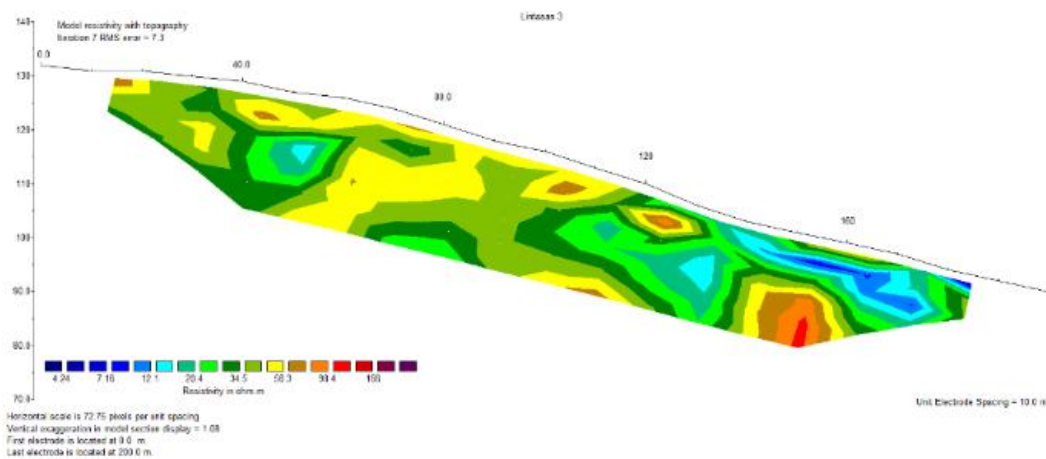
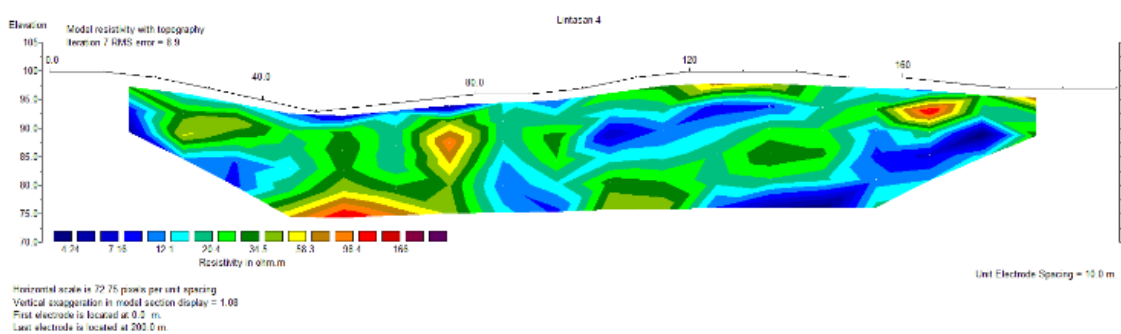
Gambar 3. Lintasan Pengukuran Resistivitas Batuan

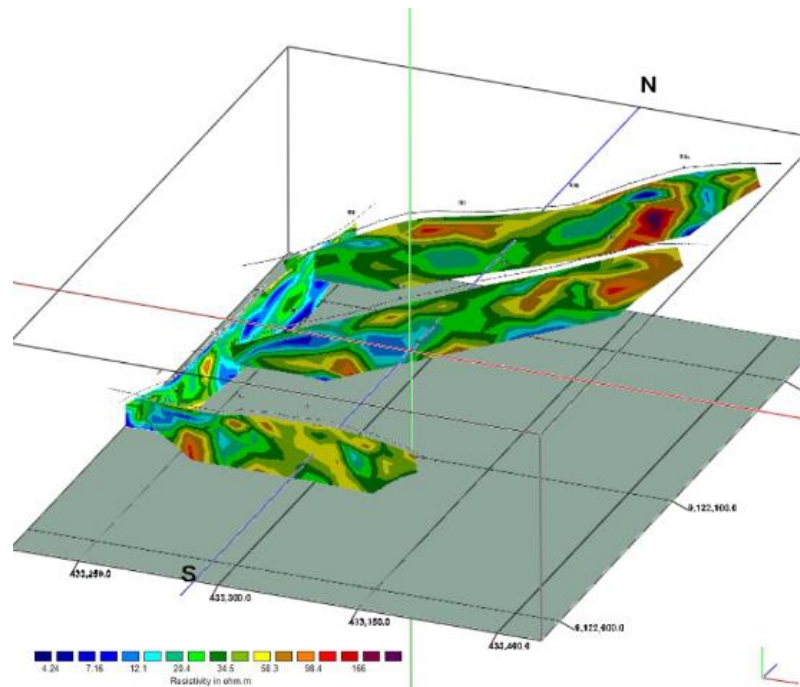
A. Lintasan 1

Lintasan 1 (warna kuning pada Gambar 3) merupakan lintasan yang menurun lereng dimana titik awal pengukuran berada pada posisi $7,9407^\circ$ LS dan $110,3959^\circ$ BT dan titik akhir pengukuran berada pada posisi $7,9408^\circ$ LS dan $110,3942^\circ$ BT. Lintasan 1 merupakan lintasan paling utara di daerah penelitian. Ketinggian titik awal lintasan 1 berada pada 149 m di atas permukaan laut dan titik akhir berada 89 m di atas permukaan laut. Data hasil pengukuran pada lintasan 1 diinversi hingga iterasi ke-7 untuk membuat hasil mendekati kondisi lapangan dan mengurangi nilai *RMS error* menjadi 9,4 yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, lintasan 1 memiliki rentang nilai resistivitas $3,72 \Omega\text{m}$ - $319,89 \Omega\text{m}$. Berdasarkan hasil pengolahan data lintasan 1, belum ditemukan adanya bidang gelincir hingga kedalaman 21,8 m.

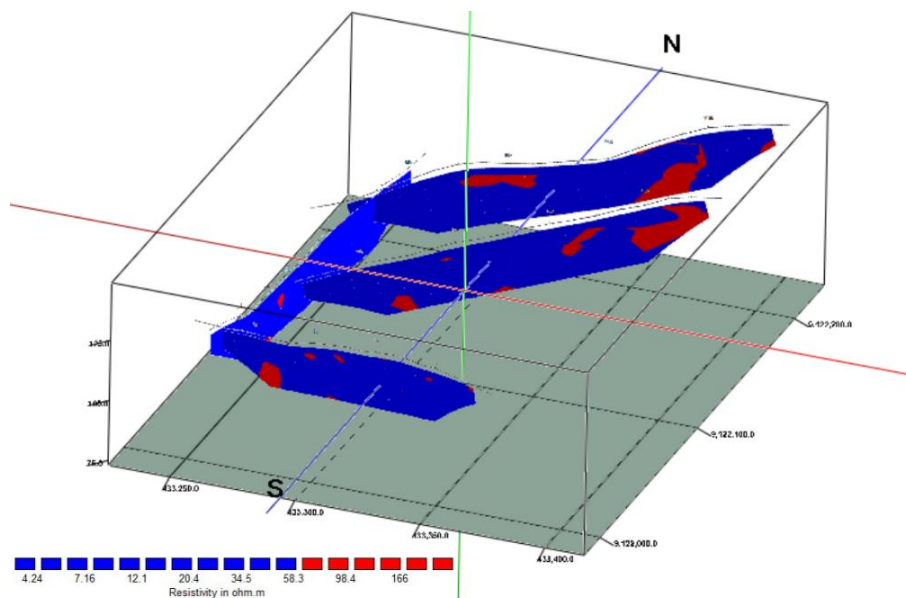


Gambar 4. Model Nilai Resistivitas untuk Lintasan 1

**Gambar 5.** Model Nilai Resistivitas untuk Lintasan 2**Gambar 6.** Model Nilai Resistivitas untuk Lintasan 3**Gambar 7.** Model Nilai Resistivitas untuk Lintasan 4



Gambar 8. Penggabungan Model Nilai Resistivitas untuk Keempat Lintasan



Gambar 9. Struktur Bawah Permukaan Secara Tiga Dimensi dari Daerah Penelitian. Warna merah mewakili batu pasir dengan nilai resistivitas 3,39 Ωm - 58,3 Ωm dan warna biru mewakili lempung dengan nilai resistivitas 3,39 Ωm - 58,3.

B. Lintasan 2

Lintasan 2 (warna hijau pada Gambar 3) memiliki titik awal pada koordinat 7,9413° LS dan 110,3959° BT dengan ketinggian 149 meter di atas permukaan laut dan titik akhir pada koordinat 7,9415° LS dan 110,3942° BT dengan ketinggian 86 m di atas permukaan laut. Lintasan 2 merupakan lintasan terdekat dengan lokasi kejadian tanah longsor pada tahun 2017,

sehingga terdapat *early warning system* yang terletak pada jarak 190 m dari titik awal. Nilai *RMS error* lintasan 2 setelah diinversi hingga iterasi ke-7 pada pengolahan data hasil pengukuran diketahui sebesar 8,6. Berdasarkan Gambar 5, lintasan 2 mempunyai rentang nilai 6,09 Ωm - 112,78 Ωm . Berdasarkan hasil perbandingan nilai resistivitas batuan, material pada lintasan 2 sama dengan lintasan 1 yaitu

lempung dan batu pasir. Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan 2, belum ditemukan adanya bidang gelincir hingga kedalaman 21,8 m.

C. Lintasan 3

Lintasan 3 (warna merah pada Gambar 3) merupakan lintasan vertikal ketiga yang letaknya berada di paling selatan dari lokasi penelitian. Lintasan 3 memiliki titik awal pada koordinat $7,9427^{\circ}$ LS dan $110,3955^{\circ}$ BT dan titik akhir pada koordinat $7,9419^{\circ}$ LS dan $110,3942^{\circ}$ BT. Titik awal pengukuran untuk lintasan 3 berada di ketinggian 132 m di atas permukaan laut dan titik akhir berada di ketinggian 90 meter di atas permukaan laut. Untuk mengurangi nilai *RMS error*, data hasil pengukuran diinversi hingga iterasi ke-7, sehingga dihasilkan nilai *RMS error* sebesar 7,3. Nilai resistivitas lintasan 3 yaitu $5,45 \Omega\text{m}$ - $109,22 \Omega\text{m}$. Struktur bawah permukaan dua dimensi lintasan 3 ditunjukkan pada Gambar 6. Material di lintasan 3 merupakan lempung dan batu pasir. Nilai resistivitas $5,45 \Omega\text{m}$ - $58,3 \Omega\text{m}$ merupakan material lempung dan nilai resistivitas $58,4 \Omega\text{m}$ - $109,22 \Omega\text{m}$ merupakan material batu pasir. Berdasarkan hasil pengolahan data lintasan 3, belum ditemukan adanya bidang gelincir hingga kedalaman 21,8 m.

D. Lintasan 4

Lintasan 4 (warna biru pada Gambar 3) merupakan lintasan horizontal yang memiliki titik awal pada koordinat $7,9422^{\circ}$ LS dan $110,3943^{\circ}$ BT dan titik akhir pada koordinat $7,9405^{\circ}$ LS dan $110,3944^{\circ}$ BT. Lintasan ini membentang dari selatan ke utara. Lintasan 4 memiliki topografi mendatar dan memotong 3 lintasan vertikal (lintasan 1 hingga lintasan 3). Ketinggian titik awal berada pada 100 m di atas permukaan laut dan titik akhir berada pada ketinggian 97 m di atas permukaan laut. Data hasil pengukuran pada lintasan 4 diinversi hingga iterasi ke 7 sehingga dihasilkan nilai *RMS error* sebesar 8,9. Lintasan 4 memiliki nilai resistivitas $3,39 \Omega\text{m}$ - $135,29 \Omega\text{m}$. Berdasarkan Gambar 7, rentang nilai resistivitas material lempung yaitu $3,39 \Omega\text{m}$ - $58,3 \Omega\text{m}$ dan material batu pasir yaitu $58,4 \Omega\text{m}$ - $135,29 \Omega\text{m}$.

Struktur bawah permukaan secara tiga dimensi dari daerah rawan tanah longsor di Desa Karangtengah ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan hasil analisis dari empat lintasan,

maka litologi yang terdapat di daerah penelitian terdiri dari dua material, yaitu lempung dan batu pasir. Material lempung di daerah penelitian memiliki nilai resistivitas $3,39 \Omega\text{m}$ - $58,3 \Omega\text{m}$, sedangkan material batu pasir memiliki nilai resistivitas $58,4 \Omega\text{m}$ - $319,89 \Omega\text{m}$.

Berdasarkan Gambar 8, maka dapat dihasilkan model struktur bawah permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 9 dimana warna merah mewakili material batu pasir dan warna biru mewakili material lempung. Terlihat bahwa material lempung mendominasi empat lintasan di daerah penelitian, sehingga berpotensi terjadi tanah longsor jika terdapat hujan dengan intensitas tinggi karena lempung ikatannya kurang kuat sehingga mudah bergerak. Kemiringan lereng yang lebih dari 40° di daerah penelitian juga menjadi pendukung terjadinya tanah longsor. Berdasarkan model struktur bawah permukaan ini, hingga kedalaman 21,8 m belum ditemukan adanya lapisan batuan yang dapat diidentifikasi sebagai bidang gelincir, sehingga lapisan batuan yang menjadi bidang gelincir diduga memiliki kedalaman lebih dari 21,8 m. Berdasarkan penggabungan dari keempat lintasan tersebut, pada titik perpotongan antar setiap lintasan menghasilkan material yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa penampang keempat lintasan tersebut konsisten.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur bawah permukaan daerah penelitian yang terletak di Desa Karangtengah, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul terdiri dari material lempung dengan nilai resistivitas $3,39 \Omega\text{m}$ - $58,3 \Omega\text{m}$ dan material batu pasir dengan nilai resistivitas $58,4 \Omega\text{m}$ - $319,89 \Omega\text{m}$.
2. Berdasarkan struktur bawah permukaan daerah penelitian, diketahui material lempung mendominasi daerah tersebut, sehingga ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi maka dapat berpotensi longsor karena kemiringan lereng lebih dari 40° .
3. Bidang gelincir di daerah penelitian belum terlihat hingga kedalaman 21,8 m, sehingga diperkirakan bidang gelincir berada di kedalaman lebih dari 21,8 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses pengukuran di lapangan hingga selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. D. Rahayu, B. Sasmito, & N. Bashit, "Analisis Pengaruh Fenomena *Indian Ocean Dipole (IOD)* Terhadap Curah Hujan di Pulau Jawa", *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [2] C. C. Plummer, D. H. Carlson, & L. Hammersley, *Physical Geology Fifteenth Edition*, New York, 2016.
- [3] R. Azeriansyah, Y. Prasetyo, & B. D. Yuwono, "Analisis Identifikasi Dampak Bencana Tanah Longsor Dengan Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV)," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 6, no. 4, 2017.
- [4] BPBD Kabupaten Bantul, Jumlah Kejadian dan Penanganan Bencana di Kabupaten Bantul Tahun 2016-2020, 2020). Website: <https://data.bantulkab.go.id/hr/dataset/jumlah-kejadian-dan-penanganan-bencana-di-kabupaten-bantul-tahun-2016-2020/resource/c5e6848c-2996-4506-8330-46dc5a82ccd0>. Diakses pada 12 April 2022.
- [5] BPBD Kabupaten Bantul, Peta Bahaya Longsor Kabupaten Bantul, 2020, Website: <https://twitter.com/PusdalopsBantul/status/1205164659197628416>. Diakses pada 12 April 2022.
- [6] BPBD Kabupaten Bantul, Kejadian Bencana Tanah Longsor Per Kecamatan Tahun 2012-2019, 2019, Website: https://data.bantulkab.go.id/fa_IR/dataset/bencana-tanah-longsor/resource/6e85fa02-773c-4ab6-bf77-e1b44a19cb67. Diakses Pada 12 April 2022.
- [7] Pemerintah Kecamatan Imogiri, 2006, Website: <https://kec-imogiri-arsip.bantulkab.go.id/hal/profil>. Diakses pada 11 April 2022.
- [8] Pemerintah Desa Karangtengah, Bantul Darurat: Tanah Longsor di Karangtengah, . 2017, Website: <https://karangtengah.bantulkab.go.id/firs-t/artikel/236Bantul-Darurat---Tanah-Longsor-di-Karangtengah>. Diakses pada 19 April 2022.
- [9] I. R. Dona, Akmam, & N. Y. Sudiar, "Identifikasi Bidang Gelincir Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan", *Pillar Of Physics*, vol. 5, 2015.
- [10] A. S. Wijaya, "Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya", *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 19, no. 55, 2015.
- [11] R. Galla, R. Efendi, & Sandra, "Studi Bawah Permukaan Bumi Menggunakan Metode Geolistrik Hambatan Jenis di Lokasi Rawan Longsor (Studi Kasus: Desa Mataue Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi)", *Gravitasi*, vol. 15, no. 2, 2016.
- [12] M. Sutasoma, A. Susilo, & E.A. Suryo, "Penyelidikan Zona Longsor dengan Metode Resistivitas dan Analisis Stabilitas Lereng untuk Mitigasi Bencana Tanah Longsor (Studi Kasus di Dusun Jawar, Desa Sri Mulyo, Kecamatan Dampit, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur)", *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 7, no.1, 2017).
- [13] E. Yuliana, Y. Tryono, & E. Minarto, "Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Identifikasi Zona Bidang Gelincir Tanah Longsor Studi Kasus Desa Nglajo Kec. Cepu Kab. Blora", *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [14] R.K. Pratama, kmam, & Mahrizal, "Identifikasi Prekursor Tanah Longsor Berdasarkan Perubahan Nilai Tahanan Jenis Batuan Menggunakan Metode Geolistrik Time-Lapse Konfigurasi Dipole-Dipole di Bukit

- Lantiak Kecamatan Padang Selatan”, *Pillar of Physics*, vol. 11, no 1, 2018.
- [15] N. Dzakiya, R. A. Hidayah, & Larikiansyah, “Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-dipole di Desa Kasihan Kecamatan Tegalombo Kabupaten Pacitan Jawa Timur”, *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, vol. 2, no. 8, 2018.
- [16] A. Nurfalaq, & A. Jumardi, “Identifikasi Batuan Bawah Permukaan Daerah Longsor Kelurahan Kambo Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole”, *Jurnal Geoelebes*, vol. 3, no. 2, 2019.
- [17] F. Jusmi, & S.R.A. Lilla, “Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Dan Bidang Gelincir Lereng Pertanian Desa Tampumia Menggunakan Metode Geolistrik”, *Jurnal Dinamika*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [18] R. Mulyasari, I.G.B. Darmawan, D.S. Effendi, S.P. Saputro, Hesti, A. Hidayatika, & N. Haerudin, “Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Analisis Bidang Gelincir Dan Studi Karakteristik Longsoran Di Jalan Raya Suban Bandar Lampung”, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [19] S.K. Rachmawati, Y. Sudradjat, L. Handayani, D.D. Wardhana, “Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole Untuk Penetapan Bidang Gelincir Gerakan Tanah di Jajaway, Palabuhanratu, Sukabumi”, *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, vol. 11, no. 1, 2021.
- [20] R. Amukti, C. Damayanti, A.K. Yamko, J.D. Lekalette, “Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole untuk Identifikasi Daerah Rawan Longsor (Studi Kasus di Desa Poka, Ambon)”, *Teknik*, vol. 42, no. 1, 2021.
- [21] Ariandi, E. D. Mayasari, & E.W.D. Hastuti, “Interpretasi Bawah Permukaan Zona Kerentanan Longsor Daerah Cipelah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipole-Dipole”, *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, vol. 20, no. 2, 2022.

Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali magnetik tereduksi ke kutub di kawasan prospek bijih emas desa paningkaban kecamatan Gumelar kabupaten Banyumas

Syimah Nur Rahmah Shabrina, Seha^{*}, Sukmaji Anom Raharjo

¹ Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
^{*}e-mail: seha^{*}@unsoed.ac.id

Abstrak – Penelitian dilakukan di kawasan prospek bijih emas Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas. Penelitian bertujuan untuk memetakan data anomali magnetik dan memodelkan struktur geologi bawah permukaan secara dua dimensi (2D) berdasarkan analisis tilt derivative data anomali magnetik yang tereduksi ke kutub. Filter tilt derivative berfungsi untuk mempertegas batas struktur geologi khususnya sesar dan batuan intrusi, sehingga mempermudah proses interpretasi data anomali magnetik. Pengolahan data medan magnetik dilakukan hingga diperoleh data anomali magnetik lokal. Selanjutnya data anomali lokal direduksi ke kutub, sehingga diperoleh nilai anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub sebesar -381,8 – 218,7 nT. Berdasarkan analisis tilt derivative, pola kontras sebaran anomali yang bernilai tinggi berada dalam arah timur – barat. Hal ini diinterpretasi sebagai pola sebaran struktur sesar dan tubuh batuan intrusi di daerah penelitian yang merupakan jalur mineralisasi emas. Pemodelan 2D telah dilakukan menggunakan software Geosoft Oasis Montaj v. 8.4 untuk mengetahui model struktur geologi bawah permukaan pada Lintasan AA', BB', dan CC'. Hasil-hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa pada Lintasan AA' terdapat satu batuan intrusi andesit, Lintasan B-B' terdapat dua batuan intrusi andesit, dan Lintasan C-C' terdapat satu batuan intrusi dan satu sesar. Batuan intrusi tersebut diperkirakan merupakan lokasi terjadinya mineralisasi emas.

Kata kunci: anomali magnetik, tilt derivative, reduksi ke kutub, mineralisasi emas, Desa Paningkaban

Abstract – The research was carried out in the gold ore prospect area of Paningkaban Village, Gumelar District, Banyumas Regency. This research aims to map magnetic anomaly data and model subsurface geological structures in two dimensions (2D) based on tilt derivative analysis of magnetic anomalies data which are reduced to the poles. The tilt derivative filter serves to reinforce the boundaries of geological structures, especially faults and intrusive rocks, thus facilitating the interpreting process of magnetic anomalies data. Magnetic field data processing is carried out to obtain local magnetic anomalies data. Furthermore, the local anomalies data are reduced to the poles, in order to obtain local magnetic anomalies data reduced to the poles with values ranging from -381.8–218.7 nT. Based on the tilt derivative analysis, the high-value anomaly contrast patterns are in the east - west direction. This can be interpreted as a pattern of distribution of fault structures and intrusive rock bodies in the research area which is a path of gold mineralization. 2D-modeling has been carried out using Geosoft Oasis Montaj v. 8.4 to obtain the subsurface geological structure model in the AA', BB', and CC' sections. The 2D-modeling results show that in the AA' section there is one andesitic intrusion, in the BB' section there are two andesite intrusions, and in the CC' section there are one intrusion and one fault. The intrusive rock is thought to be the location of gold mineralization.

Key words: Geoelectric, Geomagnetic, Liyangan Site

PENDAHULUAN

Secara umum potensi sumberdaya alam bawah permukaan, khususnya bijih emas di wilayah Kabupaten Banyumas relatif lebih tinggi dibandingkan dengan daerah-daerah di sekitarnya [1]. Luas wilayah di Kabupaten Banyumas yang diperkirakan prospek mengandung bijih emas adalah 16.000 ha. Meskipun lokasinya relatif tersebar, tetapi bijih emas berada pada jalur endapan aluvial yang

terus menyambung hingga ke kawasan lereng Gunungapi Slamet. Beberapa wilayah yang diestimasi prospek mengandung bijih emas adalah Kecamatan Gumelar, Ajibarang, Cilongok, Rawalo, Purwojati, Kebasen, Patikraja, Kemranjen, dan Somagede [2]. Meskipun jumlah kandungan emasnya belum diketahui, namun saat ini di beberapa wilayah tersebut telah berkembang kegiatan pertambangan bijih emas tradisional yang dikelola masyarakat. Umumnya masyarakat

menambang bijih emas dengan menggali pasir yang diduga mengandung butiran logam emas dalam sumur-sumur yang berkedalaman 50 – 100 m (seperti terlihat pada **Gambar 1**) yang diteruskan dengan pembuatan terowongan horisontal. Penggalian terowongan dilakukan secara acak ke kanan dan kiri, kemudian ke bawah lagi dengan kedalaman tidak pasti untuk mengikuti “jalur emas” tanpa memperhatikan dampak negatif, seperti tanah longsor dan lingkungan yang rusak.

Salah satu desa di Kecamatan Gumelar yang merupakan lokasi kegiatan penambangan emas adalah Desa Paningkaban [3]. Desa Paningkaban termasuk kawasan yang memiliki tipe lingkungan pengendapan, berbentuk endapan emas epitermal sulfidasi rendah [4]. Kondisi ini dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral seperti emas (Au), elektum (Au-Ag), perak (Ag), pirit (FeS₂), arsenopirit (FeAsS), kalkopirit (CuFeS₂) dan galena (PbS) pada alterasi argilik [5]. Pengendapan emas epitermal sulfidasi rendah merupakan lingkungan yang dapat terbentuk dari suatu proses dilatasi fluida hidrotermal dengan kedalaman sekitar 1 – 2 km dengan suhu sekitar 150° – 300°C [6]. Kendala penambangan yang dialami oleh masyarakat tersebut adalah kurangnya teknologi, minimnya pemahaman zona-zona yang memiliki potensi mineral emas dan prospek pengembangannya, serta keterbatasan data dan informasi [1]. Oleh sebab itu hasil penelitian yang diperoleh ini diharapkan dapat membantu Pemerintah Daerah Kabupaten Banyumas dan masyarakat desa dalam memetakan potensi endapan bijih emas, sehingga dapat diambil kebijakan strategis di dalam mengelola sumberdaya alam bijih emas yang menguntungkan semua pihak dengan tidak merusak lingkungan.



Gambar 1. Salah satu sumur tambang emas yang dikelola oleh masyarakat Desa Paningkaban.

Penelitian geofisika metode magnetik pernah dilakukan di Desa Paningkaban untuk memodelkan struktur batuan bawah permukaan di kawasan pertambangan emas rakyat [3]. Hasil yang diperoleh menunjukkan ada intrusi batuan beku namun masih belum jelas polanya. Agar hasil pemodelan lebih jelas, maka pengolahan data pada penelitian ini menerapkan teknik pemfilteran *tilt derivative*. Teknik ini dapat diterapkan untuk mempertegas batas anomali magnetik terhadap batuan di sekitarnya. Selain itu metode *tilt derivative* ini juga dapat digunakan untuk memetakan struktur dan perlapisan batuan. Filter ini membatasi frekuensi anomali residual yang masuk dengan cara menerapkan fungsi tangensial. Oleh sebab itu, filter *tilt derivative* memasukkan dua keseimbangan dari efek pemfilteran yaitu *vertical derivative* dan *horizontal derivative* [7]. Filter *tilt derivative* juga dapat digunakan untuk pemetaan struktur geologi yang dangkal serta eksplorasi mineral emas epitermal [8].

LANDASAN TEORI

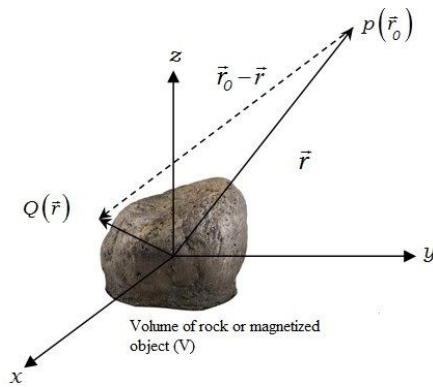
A. Metode Magnetik

Anomali magnetik merupakan medan magnet yang berasal dari sebaran benda atau batuan bawah permukaan bumi yang termagnetisasi. Telford et.al. [11] menyatakan suatu volume benda yang terdiri atas bahan-bahan magnetik dapat dianggap sebagai dipol magnetik seperti **Gambar 2**. Magnetisasi yang terjadi pada benda atau batuan tersebut tergantung dari rekam jejaknya selama benda itu berada di dalam medan magnetik utama bumi, atau dengan kata lain tergantung dari induksi magnetik yang diterima benda dari medan magnetik utama bumi. Berdasarkan **Gambar 2**, besar potensial magnetik di seluruh volume batuan dapat dirumuskan [9]:

$$V(\vec{r}_0) = -C_m M \frac{\partial}{\partial \alpha} \int \left[\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] \quad (1)$$

dengan M adalah momen dipol magnetik per satuan volume dan C_m adalah suatu tetapan. Besar induksi magnetik total batuan tersebut dapat dirumuskan [9]:

$$\vec{B}(\vec{r}_0) = C_m \nabla \int_V \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (2)$$



Gambar 2. Anomali magnetik dari batuan atau benda anomali bawah permukaan bumi [9].

Medan induksi magnetik seperti ditunjukkan pada persamaan (2) disebut sebagai anomali magnetik yang berada bersama-sama dengan medan magnetik utama bumi B_0 berada di suatu titik lokasi pengukuran. Dengan demikian, medan magnetik total sebenarnya yang terukur pada peralatan di suatu titik lokasi pada permukaan bumi adalah gabungan antara medan magnetik utama bumi (B_0) dan anomali medan magnetik (B_{f0}) dengan asumsi bahwa medan magnetik luar diabaikan. Secara umum formulasinya dapat dinyatakan [9]:

$$\vec{B}_T = \vec{B}_0 + \vec{B}(\vec{r}_0) \quad (3)$$

B. Reduksi ke Kutub

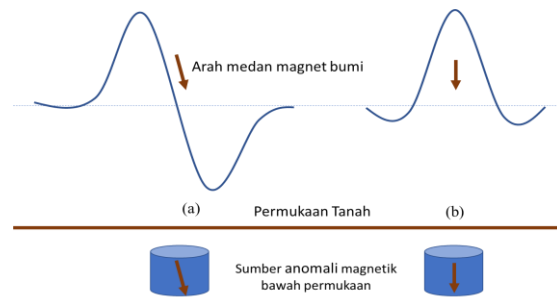
Reduksi ke kutub dapat dilakukan dengan membawa data anomali magnetik menuju kutub utara medan magnetik bumi sehingga kondisi data medan magnetik di daerah penelitian menjadi seperti di kutub utara (sudut inklinasi diasumsikan 90° dan deklinasi diasumsikan 0°). Hasil reduksi ke kutub menunjukkan anomali magnetik yang bersifat monopol dan memiliki pola yang simetris, dimana kurva anomali magnetik berbentuk setengah gelombang. Berdasarkan hasil reduksi ke kutub, benda atau sumber anomali dianggap berada tepat di bawah puncak kurva yang memiliki nilai anomali magnetik tertinggi mirip kurva anomali gravitasi. Proses reduksi data anomali magnetik di dalam domain frekuensi ke kutub dapat dinyatakan dengan persamaan [10]:

$$\Delta B_{\perp}(x, y) = H(x, y) \Delta B(x, y) \quad (4)$$

Dalam transformasi Fourier cepat (*Fast Fourier Transform*), persamaan (4) dapat dituliskan [10]:

$$F[\Delta T_r] = F[\psi_r] F[\Delta T] \quad (5)$$

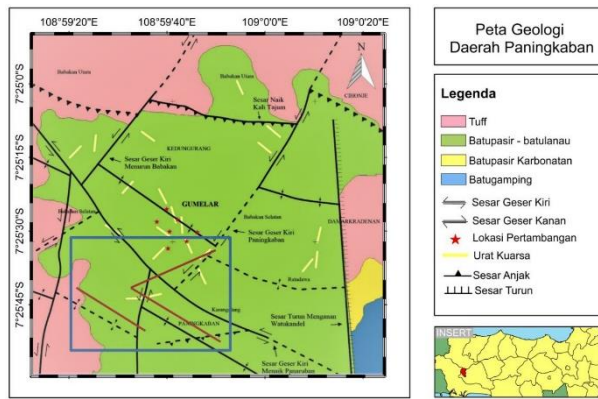
Penerapan $F[\psi_r]$ disebut sebagai reduksi ke kutub, sebab ΔT_r adalah anomali magnetik yang akan “diukur” di kutub utara magnetik bumi. Magnetisasi induksi dan medan magnetik *ambient* akan terarah secara vertikal ke bawah seperti terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Profil anomali magnetik (a) pada posisi *mid-latitude* dan (b) pada posisi di kutub (hasil reduksi ke kutub) [10].

C. Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi Desa Paningkaban dan sekitarnya terdiri atas tiga formasi batuan. Susunan formasi batuan dari yang tertua hingga termuda adalah Formasi Tapak, Formasi Kumbang, dan Formasi Halang. Pada Formasi Halang terdapat satuan batupasir-batulanau yang diestimasi berusia Miosen Tengah hingga Pliosen Awal dengan ketebalan 800 – 2.400 m [11]. Sedangkan Formasi Kumbang secara selaras diendapkan di atas Formasi Halang, yang terdiri dari breksi gunungapi, lava, tuff, batupasir tufaan yang berumur Miosen Atas [12]. Menurut Hutamadi dan Mulyana [13], struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian umumnya berupa sesar naik, sesar normal, dan sesar geser dengan arah baratlaut-tenggara hingga timurlaut-baratdaya serta perlipatan berupa sinklin dan antiklin pada arah relatif barat-timur. Mineralisasi terjadi di dalam batuan breksi berupa urat-urat logam *pyrite* halus yang mengisi rekahan. Keberadaan mineral *pyrite* biasanya merupakan indikasi awal dari jejak mineralisasi emas, karena emas dapat bersosialisasi dengan *pyrite*, sehingga mineral emas kemungkinan terdapat di dalam *pyrite*. Secara lengkap peta geologi daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta geologi daerah Paningkaban – Cihonje dan sekitarnya [14].

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah area pertambangan emas rakyat dan sekitarnya yang berada di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas. Akuisisi data magnetik telah dilaksanakan pada bulan Mei – Nopember 2013. Sedangkan proses pengolahan data yang menggunakan filter reduksi ke kutub dilaksanakan pada bulan Juli – Desember 2022.

B. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas peralatan untuk akuisisi data di lapangan dan peralatan yang digunakan untuk pengolahan data di laboratorium. Peralatan lapangan terdiri atas *Proton Precession Magnetometer* (PPM) GSM-19T produk GEM System dengan ketelitian 0,05 nT, *Global Positioning System* (GPS) V produk Garmin, kompas, peta topografi, kamera digital, lembar data, dan sebagainya. Sedangkan peralatan di laboratorium terdiri atas laptop, serta beberapa perangkat lunak seperti Microsoft Excel, Surfer, Fortran, Oasis Montaj, dan sebagainya.

C. Pelaksanaan Penelitian

Pengukuran medan magnetik total dan posisi geografis dilakukan secara bersama menggunakan PPM dan GPS pada setiap *station*. Data yang dicatat selama pengukuran meliputi: kuat medan magnetik, posisi geografis, hari, tanggal, waktu (jam dan menit), serta kondisi lingkungan. Jarak antara satu *station* dan *station* berikutnya diusahakan sama dan teratur. Untuk mendapatkan data anomali magnetik,

maka dilakukan koreksi terhadap data kuat medan magnetik hasil pengukuran di setiap *station* yang meliputi koreksi harian, koreksi IGRF, dan koreksi topografi. Persamaan koreksinya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = H_{Total} - \Delta H_{Harian} - H_0 - \Delta H_{Topo} \quad (6)$$

H_{Total} adalah kuat medan magnetik total yang terukur di setiap *station*, ΔH_{Harian} adalah nilai koreksi harian, H_0 adalah medan magnetik utama bumi atau nilai IGRF, dan ΔH_{Topo} adalah koreksi topografi.

Data anomali magnetik yang diperoleh dari persamaan (6) masih terdistribusi pada permukaan topografi atau dituliskan $\Delta H(\lambda, \vartheta, h)$. Untuk pengolahan menuju tahap berikutnya, data harus direduksi ke bidang datar. Metode yang digunakan untuk mereduksi data dari topografi ke bidang datar adalah pendekatan Deret Taylor dengan persamaan [10]:

$$\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i+1]} = \Delta H(\lambda, \vartheta, h) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(h-h_0)^n}{n!} \frac{\partial^n \Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i]}}{\partial z^n} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (7), nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang tersebar pada bidang datar dapat diestimasi melalui pendekatan, yaitu nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang diperoleh dari proses iterasi ke- i dapat digunakan untuk mendapatkan nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ pada iterasi ke $(i+1)$. Proses iterasi ini dilakukan secukupnya, sedemikian hingga nilai yang diperoleh menunjukkan konvergen [10].

Data anomali magnetik yang diperoleh dari persamaan (7) belum bersih dari efek magnetik regional. Oleh karena itu data anomali magnetik tersebut harus dibersihkan dari efek regional. Data anomali regional bisa diperoleh melalui proses pengangkatan data (*upward continuation*) hingga ketinggian tertentu, sehingga perubahan data memperlihatkan pola yang sangat halus. Persamaan pengangkatan data anomali ke atas dapat dituliskan [10]:

$$\Delta H(\lambda', \vartheta', h_0 + \Delta h) = \frac{\Delta h}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)}{\sqrt{((\lambda' - \lambda)^2 + (\vartheta' - \vartheta)^2 + \Delta h^2)^{3/2}}} d\lambda d\vartheta \quad (8)$$

Data yang diperoleh, selanjutnya dikoreksikan terhadap data anomali magnetik yang dihasilkan persamaan (7), sehingga diperoleh data anomali magnetik lokal dengan persamaan:

$$\Delta H_L(\lambda, \vartheta, h_0) = \Delta H(\lambda', \vartheta', h_0) - \Delta H(\lambda', \vartheta', h_0 + \Delta h) \quad (9)$$

Data anomali lokal yang diperoleh dari persamaan (9) ini selanjutnya direduksi ke kutub. Metode ini bertujuan untuk menghilangkan efek sudut inklinasi dan deklinasi magnetik. Reduksi ke kutub data anomali magnetik diperlukan sebelum menerapkan *tilt derivative*, sebab data anomali memiliki sifat dipol yang menyulitkan interpretasi data lapangan yang pada umumnya masih berpola asimetrik [15]. Hasil dari reduksi ke kutub adalah data anomali magnetik yang bersifat monopol. Nilai inklinasi, deklinasi, dan waktu pengukuran merupakan parameter pengontrol hasil reduksi tersebut. Inklinasi adalah sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah. Adapun deklinasi adalah sudut antara utara medan magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari arah utara menuju ke timur.

Filter *tilt derivative* merupakan salah satu metode analisis turunan yang digunakan untuk memperjelas batas-batas dan bentuk anomali yang menjadi target penelitian [16]. Filter *tilt derivative* dalam pengolahan data magnetik baik digunakan untuk membantu menentukan struktur dan perlapisan. Data anomali magnetik yang tereduksi ke kutub digunakan sebagai data untuk analisis *tilt derivative*. Hasil perpaduan keduanya membantu pemodelan, sehingga hasilnya terlihat lebih detail. *Tilt derivative* merupakan suatu fungsi tangensial yang dapat dirumuskan [16]:

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h}{z_c} \right] \quad (10)$$

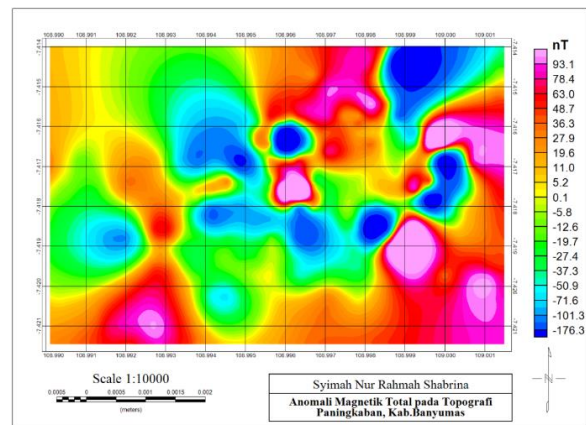
Berdasarkan hasil analisis *tilt derivative*, selanjutnya data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub dimodelkan secara dua dimensi (2D). Pemodelan bertujuan mengetahui struktur geologi bawah permukaan di sepanjang sayatan atau lintasan yang diletakkan di atas target atau benda anomali. Pemodelan dilakukan menggunakan *Geosoft Oasis Montaj*. Pemodelan ini melibatkan beberapa parameter seperti nilai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi, data elevasi, bentuk geometri, nilai suseptibilitas magnetik, dan lain-lain. Pemodelan dilakukan dengan cara mencocokkan kurva model dan kurva observasi. Apabila tidak sesuai, maka pemodelan harus diulang dengan mengubah beberapa parameter sehingga dicapai kesesuaian. Setelah melakukan pemodelan, maka model yang diperoleh tersebut

diinterpretasi. Hasil interpretasi dicocokkan dengan informasi geologi daerah tersebut untuk memperoleh korelasi yang baik antara data model dan peta geologi. Tubuh batuan yang telah teridentifikasi pada pemodelan tersebut akan dikaji mana yang membawa mineral emas, sebab umumnya mineral emas menempel pada tubuh batuan tertentu, tidak berbentuk bongkahan [17].

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengolahan Data

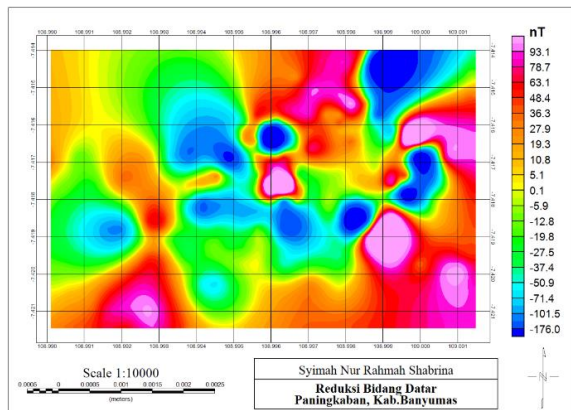
Daerah penelitian merupakan kawasan penambangan emas rakyat di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas. Secara geografis daerah penelitian terletak pada posisi 108°59'24.61" hingga 109°0'5.11" BT dan 7°24'50.51" hingga 7°25'17.00" LS, dengan luas daerah penelitian kurang lebih 1,02 km². Data yang diperoleh di lapangan adalah kuat medan magnetik total. Setelah dilakukan koreksi IGRF dan harian, diperoleh data anomali magnetik total yang tersebar pada topografi dengan nilai berkisar -176,3 – 93,1 nT, dimana peta konturnya ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Peta kontur anomali magnetik total daerah penelitian; Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas.

Topografi daerah penelitian mempunyai tinggi permukaan yang tidak rata, sehingga masing-masing *station* pengukuran memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Nilai ketinggian pada daerah penelitian ini kurang lebih bernilai 241,5 hingga 162,9 meter. Permukaan yang lebih tinggi terdapat di bagian barat daya dan timur laut. Sebagaimana telah dijelaskan di dalam Metode Penelitian, data anomali magnetik total perlu dibawa ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor. Agar iterasi Deret

Taylor mencapai konvergen, maka bidang datar diambil pada ketinggian rata-rata topografi daerah penelitian [10], yaitu 191,37 meter. Peta kontur anomali magnetik total yang telah terdistribusi pada bidang datar ditunjukkan pada **Gambar 6**.

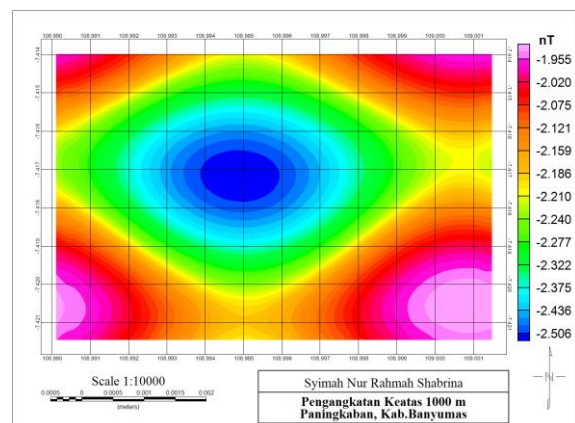


Gambar 6. Peta kontur anomali magnetik total daerah penelitian yang telah tereduksi ke bidang datar.

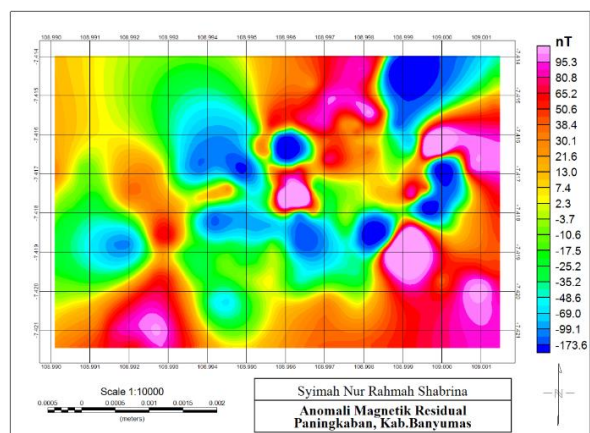
Koreksi medan magnetik regional dimulai dengan proses pengangkatan data anomali magnetik total ke atas. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan pola anomali magnetik yang berasal oleh sumber anomali yang dalam dan luas, yang disebut sebagai anomali magnetik regional. Pengangkatan ke atas juga berfungsi untuk menghilangkan *noise* dan efek-efek anomali magnetik dari sumber-sumber dangkal di permukaan bumi yang tidak menjadi target survei. Teknis pengangkatan ke atas dilakukan *step by step* hingga diperoleh pola kontur anomali yang sangat halus dengan interval nilai kecil. Pada penelitian ini, variasi ketinggian untuk pengangkatan ke atas adalah 200 m, 250 m, 300 m, 500 m, 800 m, 1.000 m, 1.200 m, 1.300 m, 1.400 m, dan 1.500 m. Hal ini dilakukan agar dapat melihat perubahan dan menganalisa pola kontur anomali dari setiap ketinggian tersebut. Hasil analisa menunjukkan bahwa data anomali magnetik regional diperoleh pada ketinggian pengangkatan 1.000 m seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Peta kontur anomali magnetik regional menunjukkan zona anomali tinggi dikelilingi zona anomali yang lebih rendah. Pada lingkungan pengendapan emas epitermal sulfida rendah, zona anomali magnetik tinggi yang dikelilingi zona anomali rendah dapat diasumsikan sebagai tubuh intrusi pada sumber yang dalam. Data anomali magnetik regional, selanjutnya dikoreksikan terhadap data anomali

magnetik total yang telah terdistribusi di bidang dasar sehingga diperoleh data anomali magnetik lokal. Anomali magnetik lokal adalah data anomali yang terbentuk akibat respon dari batuan bawah permukaan yang bersifat dangkal [18]. Data anomali magnetik lokal yang diperoleh memiliki nilai berkisar dari -173,6 – 95,3 nT dengan peta kontur ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Peta kontur anomali magnetik regional daerah penelitian hasil pengangkatan pada ketinggian 1.000 m.

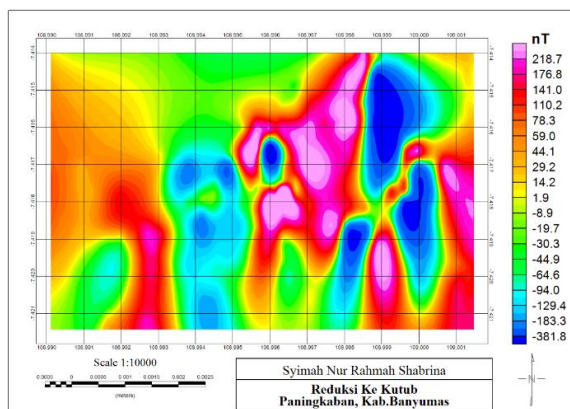


Gambar 8. Peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian hasil koreksi efek regional.

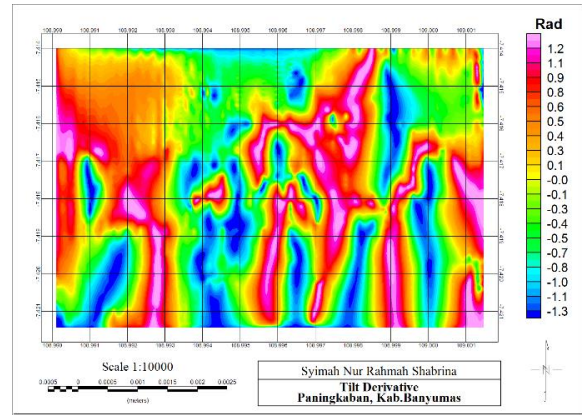
Data anomali lokal yang diperoleh, selanjutnya direduksi ke kutub. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian Metode Penelitian, reduksi ke kutub bertujuan untuk mereduksi efek dipol. Peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 8** masih bersifat dipol, sehingga posisi sumber anomali masih tidak tepat di atas pusat *closure* anomali. Oleh karena itu, pemfilteran dengan reduksi ke kutub cukup tepat dilakukan agar sumber anomali tepat berada di bawah pusat *closure* anomali magnetik. Proses reduksi ke kutub

dilakukan menggunakan Geosoft Oasis Montaj. Data yang direduksi ke kutub adalah data anomali magnetik lokal. Secara visual peta kontur anomali magnetik lokal hasil reduksi ke kutub dapat dilihat pada **Gambar 9**, dengan nilai anomali berkisar $-381,8 - 218,7$ nT. Berdasarkan informasi dari peta geologi, di daerah penelitian terdapat batuan breksi andesit serta sesar yang menunjukkan arah Selatan - Utara. Nilai anomali tinggi diinterpretasi sebagai batuan beku intrusi yang mengandung mineralisasi emas.

Filter *tilt derivative* merupakan salah satu filter yang sangat baik digunakan untuk interpretasi struktur geologi. Filter ini berfungsi mempertegas sumber anomali bawah permukaan. Hasil penerapan *tilt derivative* pada data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub dapat ditunjukkan pada **Gambar 10**. Gambar ini menunjukkan bahwa estimasi nilai kontur anomali berada pada kisaran $-1,3-1,2$ radian. Jika dilihat perbandingan antara peta kontur anomali residual dan peta kontur *tilt derivative*, pada bagian selatan memiliki beberapa hasil yang konsisten dan tidak banyak perubahan. Bagian tersebut dapat diinterpretasi sebagai intrusi batuan beku dekat dengan permukaan. Namun pada bagian barat laut terdapat juga sumber anomali yang kontras. Hal ini diduga berasal dari sumber anomali yang lebih dalam. Bijih emas di daerah penelitian termasuk bijih emas dengan sulfida rendah sehingga batuan intrusi terdapat di dalam (bawah permukaan tanah) [17].



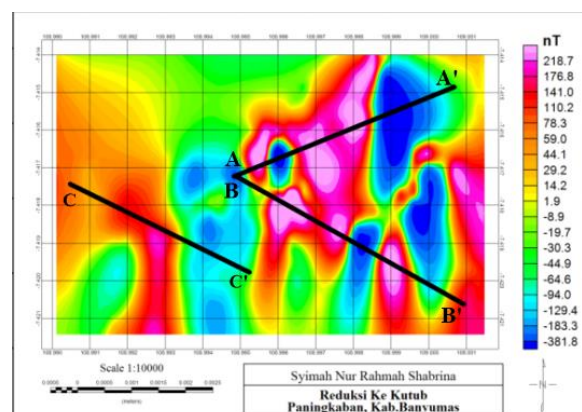
Gambar 9. Peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian yang telah tereduksi ke kutub.



Gambar 10. Peta konur *tilt derivative* terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub.

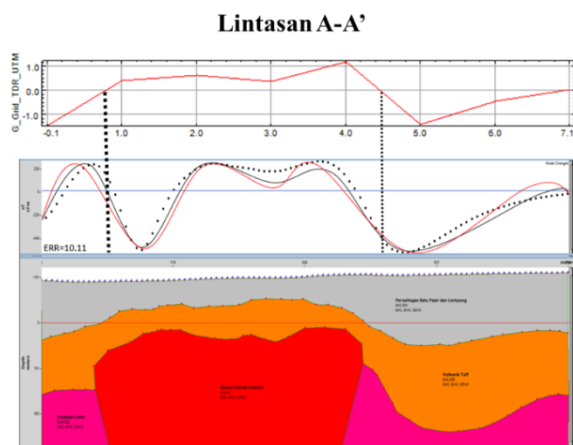
B. Hasil Pemodelan dan Interpretasi Data

Pemodelan data anomali magnetik lokal yang tereduksi ke kutub didasarkan atas informasi peta kontur *tilt derivative*. Peta ini digunakan untuk memperkirakan zona alterasi yang dapat dilihat pada anomali rendah dan tertutup. Tertutupnya anomali tersebut menandakan sebagai obyek spesifik dengan ukuran yang tidak terlalu besar [16]. Anomali rendah ini juga diperkirakan bersumber dari zona alterasi yang mengandung mineral-mineral sulfida rendah yang biasanya berupa *pyrite*, *chlocopyrite*, *arsenopyrite*, serta sinabar di daerah penelitian [5]. Berdasarkan hasil analisis *tilt derivative*, penentuan lintasan model pada peta kontur anomali lokal yang tereduksi ke kutub dapat dilakukan. Pada penelitian ini ditentukan tiga lintasan yaitu Lintasan AA' dengan panjang 710 m, Lintasan BB' dengan panjang 745 m dan Lintasan CC' dengan panjang sekitar 595 m. Secara visual posisi lintasan-lintasan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Lintasan pemodelan AA', BB', dan CC' pada peta anomali magnetik lokal hasil reduksi ke kutub.

Pemodelan dua dimensi (2D) data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub dilakukan di sepanjang lintasan-lintasan tersebut dengan metode *forward modelling*. Metode *forward modelling* merupakan metode pemodelan data anomali yang tidak langsung [19] atau memperkirakan nilai suseptibilitas magnetik batuan bawah permukaan dengan jalan membuat model benda anomali terlebih dahulu. Metode ini dilakukan secara *trial and error* sehingga mendapatkan bentuk dan nilai suseptibilitas magnetik yang cocok sesuai kondisi geologi bawah permukaan penelitian. Hasil-hasil pemodelan data anomali magnetik ditunjukkan pada **Gambar 12**, **Gambar 13**, dan **Gambar 14**.



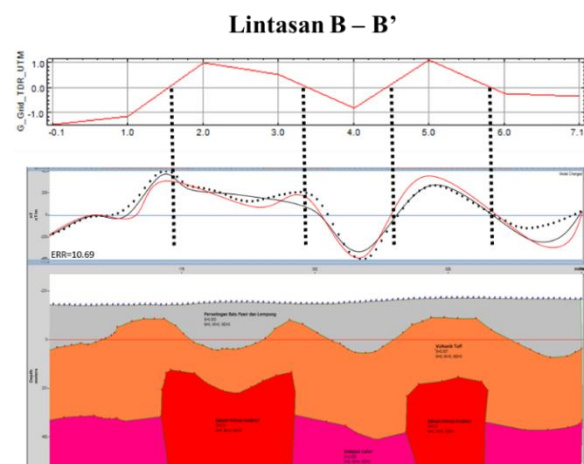
Gambar 12. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA'.

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk lengkung atas pada **Gambar 12** mengindikasikan keberadaan sumber anomali bawah permukaan di daerah penelitian. Fasa 0 (nol) yang ditunjukkan pada pola tersebut mengindikasikan batas struktur, yaitu batas antara batuan beku intrusi dengan batuan lingkungan di sekitarnya. Pemodelan *forward* terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA' secara 2D telah menghasilkan empat batuan, seperti terlihat pada **Gambar 12**. Hasil pemodelan juga menunjukkan bahwa batuan intrusi andesit terlihat menerobos lapisan batuan yang terdapat di atasnya, sehingga mengakibatkan terjadi patahan pada batuan di sekeliling batuan intrusi tersebut. Selanjutnya hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
	0 - 200	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
	90 - 500	0,006	lapisan vulkanik tuff
	350 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
	200 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk dua buah lengkung atas mengindikasikan keberadaan dua buah benda anomali bawah permukaan. Fasa 0 seperti ditunjukkan pada pola *tilt derivative* tersebut menunjukkan batas struktur, yaitu batas fisis antara batuan intrusi dengan batuan lingkungan di sekitarnya, baik intrusi pertama maupun kedua. Pemodelan 2D dengan teknik *forward* terhadap data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub di sepanjang Lintasan BB' telah menghasilkan empat blok batuan, seperti terlihat pada **Gambar 13**. Selanjutnya hasil interpretasi litologi terhadap hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 2**.

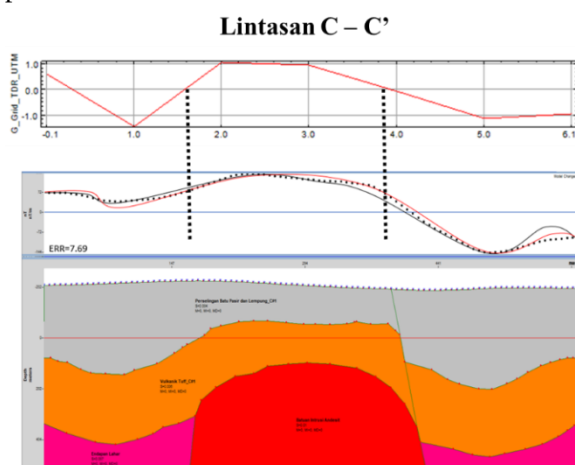


Gambar 13. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan BB'.

Tabel 2. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan BB'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
	0 - 200	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
	90 - 600	0,006	lapisan vulkanik tuff
	500 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
	350 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk lengkung atas pada **Gambar 14** mengindikasikan keberadaan sumber anomali bawah permukaan di daerah penelitian. Fasa 0 yang ditunjukkan pada pola tersebut menunjukkan batas struktur, yaitu batas antara batuan intrusi dengan batuan lingkungan di sekelilingnya. Pemodelan *forward* secara 2D terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC' telah menghasilkan empat blok batuan, seperti terlihat pada **Gambar 14**. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa batuan intrusi andesit menerobos lapisan batuan yang terdapat di atasnya, sehingga mengakibatkan terjadi patahan pada batuan tersebut. Secara lengkap hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 3**.



Gambar 14. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC'.

Tabel 3. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
	0 - 300	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
	100 - 600	0,006	lapisan vulkanik tuff
	500 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
	250 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

C. Pembahasan

Berdasarkan informasi geologi, daerah penelitian tersusun atas batuan bawah permukaan dari Formasi Halang, Formasi Tapak, endapan lahar dan satuan intrusi andesit [12,14]. Hasil interpretasi di tiga lintasan menunjukkan intrusi batuan beku andesit tekstur

porfiritik. Intrusi batuan beku ini diperkirakan berasal dari larutan hidrotermal (magma) yang bergerak naik melalui zona-zona bukaan pada sesar akibat proses tektonik dengan membawa mineral-mineral sulfida menerobos batuan di atasnya. Dalam perjalanan, larutan hidrotermal ini bereaksi dengan batuan-batuan yang dilaluinya, sehingga mengalami alterasi (ubahan mineral) pada batuan sampling sedimen (*host rock*). Naiknya larutan hidrotermal dibuktikan adanya intrusi magma pada zona timur daerah penelitian yang memotong satuan batupasir dari Formasi Halang. Selain itu ditemukan penyebaran urat (*vein*) yang diestimasi sebagai hasil alterasi hidrotermal [17].

Mineralisasi logam sulfida yang mengandung bijih emas diperkirakan terjadi di dalam batuan lempung pasir dalam bentuk urat *pyrite* halus dan sejenisnya yang mengisi rekahan dan pori-pori batuan itu. Batuan itu diperkirakan berasal dari endapan batuan beku yang tidak terurai dan batuan sampling sedimen klastik halus karbonatan yang berasal dari Formasi Tapak. Batuan sampling sedimen itu berubah menjadi propilit dan argilit, yang di berbagai tempat terpotong oleh urat kalsit dan kuarsa. Mineralisasi bijih sulfida tersebar secara tidak merata dalam batuan sampling sedimen yang berubah, secara setempat-setempat terakumulasi di dalam batuan ubahan dan urat-urat. Beberapa mineral sulfida seperti *pyrite*, *galena*, dan *chalcopryrite* diperkirakan banyak mengandung bijih emas yang berasosiasi dengan kalsit dan kuarsa [17]. Di daerah penelitian, proses mineralisasi ini terkontrol melalui struktur geologi dalam bentuk sesar dan kekar [20].

KESIMPULAN

Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali magnetik tereduksi ke kutub di kawasan prospek bijih emas telah dilakukan di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas, dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Data anomali magnetik lokal yang diperoleh memiliki nilai berkisar dari -173,6 – 95,3 nT, adapun data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub memiliki nilai anomali berkisar -381,8 – 218,7 nT.
2. Analisis *tilt derivative* yang dilakukan terhadap data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub berhasil mengidentifikasi lokasi dan batas-batas struktur antara batuan intrusi dengan batuan

lain di sekelilingnya sehingga memudahkan proses pemodelan.

3. Hasil pemodelan pada tiga lintasan; AA', BB', dan CC' menunjukkan keberadaan batuan intrusi (0,01 cgs) yang diinterpretasi sebagai batuan andesit. Intrusi batuan ini diduga berasal dari larutan hidrotermal yang bergerak naik dengan membawa mineral-mineral sulfida.
4. Mineralisasi logam sulfida yang mengandung bijih emas diperkirakan terjadi di dalam batuan lempung pasir dalam bentuk urat *pyrite* halus dan sejenisnya yang mengisi rekahan dan pori-pori batuan itu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman atas alat *Proton Precession Magnetometer* (PPM) tipe GSM-19T dan *Global Positioning System* (GPS) V yang digunakan dalam akuisisi data medan magnetik di lapangan. Terimakasih juga disampaikan kepada tim survei magnetik yang telah bersusah payah dan bersinergi dalam melakukan akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Aziz, "odel Pertambangan Emas Rakyat dan Pengelolaan Lingkungan Tambang di Wilayah Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah", *Dinamika Rekayasa*, vol. 10, no. 1, pp. 20-28, 2014.
- [2] A. Widagdo, dan R. Setijadi, "Potensi Bencana Geologi Pada Penambangan Emas dan Lempung di Desa Cihonje Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas", *Dinamika Rekayasa*, vol. 11, no. 1, pp. 11-15, 2015.
- [3] Seha, S.A. Raharjo, dan O. Wibowo, "Pendugaan Model Sumber Anomali Magnetik Bawah Permukaan di Area Pertambangan Emas Rakyat Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas", *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 18, no. 53, pp. 38-42, 2014.
- [4] R. Ernawati, A. Idrus, dan H.T.B.M. Petrus, "Mineralogi dan Geokimia Endapan Emas Epitermal di Paningkaban, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah" in *Prosiding Seminar Nasional XII Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*, 2017.
- [5] S. Aminah, "Karakterisasi Batuan Bijih Emas", *Jurnal Elemen*, vol. 5, no. 2, pp. 66-70, 2018.
- [6] Hasria, A. Idrus, I.W. Warmada, "Karakteristik Fluida Hidrotermal Endapan Emas Orogenik di Pegunungan Rumbia, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol.20, no.2, pp. 111-117, 2019.
- [7] O.G. Prihatiwi, "Identifikasi Sesar Pati di Wilayah Jawa Tengah Menggunakan Metode First Horizontal Derivative dan Second Vertical Derivative" in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, 2021.
- [8] A. Zaenudin, G.R. Pambudi, M. Sarkowo, R.Z. Sinambela, "Analisis Zona Mineralisasi Emas Denganmetode Derivative dan Pemodelan 3D Anomali Gayaberat, Studi Kasus: Pongkor, Jawa Barat", *Seminar Nasional AvoER IX*. Palembang, 2019.
- [9] W.M. Telford, L.P. Geldart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics*, New York: Cambridge University Press, 1990.
- [10] R.J. Blakely, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, New York: Cambridge University Press, 1995.
- [11] R.W. Van Bemmelen, *The Geology of Indonesia, Vol. II: Economic Geology*, Hague :Government Printing Office, 1949.
- [12] M. Djuri, H. Samodra, T.C. Amin, dan S. Gafoer, "Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung, 1996.
- [13] R. Hutamadi dan Mulyana, "Evaluasi Sumberdaya dan Cadangan Bahan Galian untuk Pertambangan Skala Kecil Daerah Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah" , Badan Geologi. Kementerian ESDM, Jakarta, 2011.
- [14] H. Fahmi, "Geologi, Alterasi, Mineralisasi Bijih, dan Karakteristik Fluida Hidrotermal pada Endapan Emas Epitermal Sulfidasi

- Rendah di Daerah Cihonje - Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Propinsi Jawa Tengah”, Skripsi, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, 2015,
- [15] P. Indratmoko, M.I. Nurwidyanto, , ”T. Yulianto Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik”, *Berkala Fisika*, vol. 12 no. 4, pp. 153-160, 2009.
- [16] M. Shahverdi, L. Namaki, M. Montahaei, F. Mesbahi, ”Interpretation Of Magnetic Data Based on Tilt Derivative Methods and Enhancement of Total Horizontal Gradient, A Case Study: Zanzan Depression”, *Journal of the Earth and Space Physics*, vol. 43, no. 1, pp. 101-113, 2017.
- [17] S. Indarto, Sudarsono, I. Setiawan, , H. Permana, A. AlKautsar, A. Yuliyanti, M.D Yuniati, ”Batuan Pembawa Emas pada Mineralisasi Sulfida Berdasarkan Data Petrografi dan Kimia Daerah Cihonje Gumelar Banyumas Jawa Tengah”, *Riset Geologi dan Pertambangan*, vol. 24, no. 2, pp. 115-130, 2014..
- [18] K.A. Nugroho, Y.S. Putra, R. Perdhana, ”Interpretasi Data Anomali Magnetik Bawah Permukaan pada Daerah Kabupaten Tulungagung dan Sekitarnya”, *Prisma Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 4-15, 2021.
- [19] Deniyatno, ”Pemodelan ke Depan (Forward Modeling) 2 Dimensi Data Magnetik untuk Identifikasi Bijih Besi di Lokasi X Propinsi Sumatera Barat”, *Jurnal Aplikasi Fisika*, vol. 6, no. 2, pp. 76-82, 2010.
- [20] A. Budhinayaka, ”Identifikasi Struktur Geologi dan Tubuh Intrusi Menggunakan Metode Gravitasi di Daerah Mineralisasi Emas Desa Paningkaban-Cihonje, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah”, Skripsi. Program Studi S1 Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, 2016.

Variasi bentuk elektroda terhadap distribusi plasma yang dihasilkan

Mira Setiana*, Bangkit Ina Ferawati

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta

Jl. IKIP PGRI I No. 117, Kab. Bantul-D.I Yogyakarta

*e-mail: mirasetiana@upy.ac.id

Abstrak - Elektroda memainkan peran penting dalam membangkitkan dan mempertahankan plasma, serta mengendalikan sifat plasma dan meningkatkan kualitas lapisan tipis yang dideposisikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh bentuk elektroda bagian atas terhadap distribusi plasma yang dihasilkan. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua buah elektroda (elektroda atas dan bawah) yang dirangkai dengan konfigurasi Capacitive Coupled Discharges (CCD). Tebal elektroda atas adalah 1 cm. Bentuk Elektroda atas yang digunakan pada penelitian ini adalah balok dan silinder. Distribusi plasma yang dihasilkan diamati menggunakan teknik pengambilan gambar biasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk elektroda mempengaruhi distribusi plasma yang dihasilkan. Elektroda atas berbentuk balok menghasilkan plasma yang cenderung homogen dibandingkan dengan plasma yang dihasilkan oleh elektroda atas berbentuk silinder.

Kata Kunci: Plasma, bentuk elektroda

Abstract – The electrodes play an important role in generating and maintaining the plasma, as well as controlling the properties of the plasma and improving the quality of the deposited films. This study aims to analyze the effect of the shape of the top electrode on the distribution of the resulting plasma. The electrodes used in this study consist of two electrodes (upper and lower electrodes) arranged in a Capacitive Coupled configuration Discharges. The thickness of the top electrode is 1 cm. The shape of the top electrode used in this study is a beam and a cylinder. The resulting plasma distribution was observed using conventional imaging techniques. The results showed that the shape of the electrodes affected the distribution of the resulting plasma. The top electrode in the form of a beam produces plasma that tends to be homogeneous compared to the plasma produced by the top electrode in the form of a cylinder.

Key words: : Plasma, electrode shape

PENDAHULUAN

Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD) memainkan peran penting dalam rekayasa material karena memungkinkan untuk produksi lapisan tipis dengan komposisi, tekstur, dan sifat yang dapat dikontrol dengan baik [1–4]. Salah satu bagian dari sistem Plasma CVD yang memegang peran penting untuk mengontrol stabilitas plasma adalah bagian elektroda sistem. Elektroda digunakan untuk membangkitkan dan mempertahankan plasma [5–8] yang diperlukan untuk mengubah bahan kimia menjadi lapisan tipis yang terdeposisi di atas permukaan substrat. Elektroda juga dapat digunakan untuk mengatur tegangan dan arus plasma untuk memastikan reaksi kimia yang diinginkan. Dalam sistem Plasma CVD, elektroda berfungsi sebagai sumber energi dan kontrol untuk memastikan kondisi optimal untuk pembentukan lapisan tipis. Elektroda dalam sistem plasma mengontrol stabilitas plasma dengan modulasi aliran elektron dan mempertahankan potensial

listrik yang stabil di antara elektroda dan permukaan yang sedang diproses. Ini membantu menjaga konsentrasi ion dan elektron dalam sistem dan memastikan bahwa reaksi plasma berlangsung secara konsisten dan efisien.

Kestabilan plasma sangat berpengaruh pada kualitas lapisan tipis yang terdeposisi di atas substrat [1]. Plasma yang stabil memastikan bahwa proses deposisi berlangsung dengan konsisten dan memungkinkan produksi lapisan tipis yang berkualitas tinggi. Reaksi plasma yang tidak stabil atau tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan atau variasi dalam komposisi dan struktur lapisan tipis, yang berdampak negatif pada kualitas dan performansinya. Sebagai permisalan, jika terjadi fluktuasi tegangan atau konsentrasi plasma, maka dapat terjadi variasi dalam jumlah ion dan elektroda yang terlibat dalam proses deposisi. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan atau perubahan dalam komposisi dan struktur lapisan tipis yang terdeposisi, seperti adanya *defect* atau

variasi dalam ketebalan dan komposisi. Oleh karena itu, menjaga stabilitas plasma dan mengontrol parameter-parameter yang mempengaruhinya sangat penting untuk memastikan produksi lapisan tipis yang berkualitas tinggi.

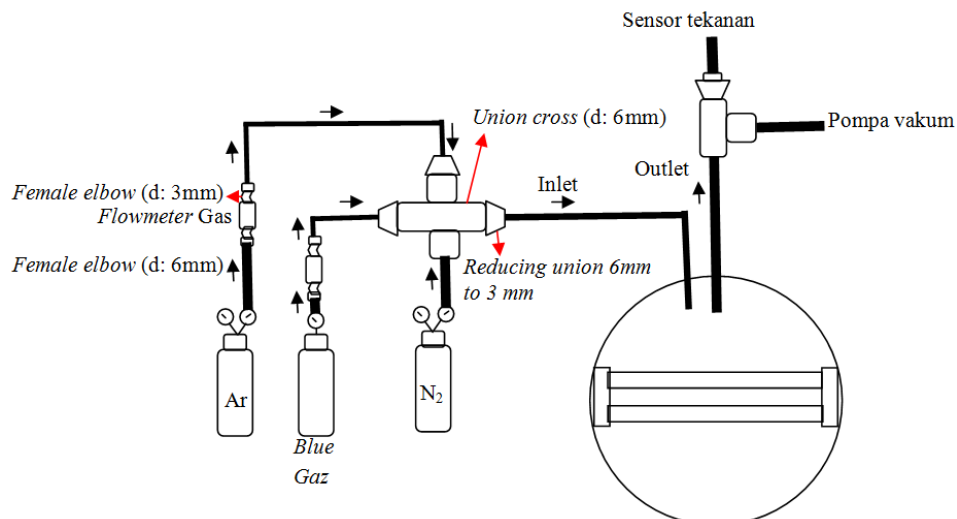
Geometri permukaan elektroda mempengaruhi intensitas plasma yang dihasilkan[9]. Hal ini karena geometri permukaan elektroda mempengaruhi distribusi medan listrik[8,10–13] dan aliran gas yang membentuk plasma. Perubahan geometri dapat mengubah intensitas medan listrik dan distribusinya, sehingga mempengaruhi jumlah partikel plasma yang terbentuk dan proses interaksinya. Menemukan geometri yang tepat adalah penting untuk mencapai plasma yang stabil dan efisien[14].

Bentuk elektroda atas dan bawah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap intensitas plasma dalam suatu sistem plasma. Bentuk elektroda yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan stabilitas plasma[15–17], serta mempengaruhi distribusi tegangan dan arus dalam ruang plasma. Jika geometri permukaan

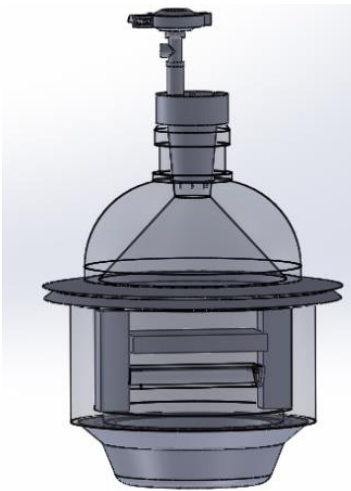
elektroda tidak sama pada sistem plasma CVD, hal ini dapat mempengaruhi kinerja sistem dan memperparah masalah seperti distribusi medan listrik yang tidak merata dan aliran gas yang tidak terkoordinasi. Ini dapat menyebabkan pembentukan plasma yang tidak stabil dan mengurangi efisiensi proses.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan membuat desain sistem reaktor plasmas CVD menggunakan software Solidworks 2013. Desain sistem ini terdiri dari desain tutup reaktor[18], desain jalur perpipaan gas (**Gambar 1**), desain penyangga elektroda[18], dan desain elektroda (**Gambar 3**). Gas yang digunakan adalah Gas Argon (*carrier gas*), *Blue Gaz* (sumber karbon), dan Gas Nitrogen (*flashing*). *Chamber* reaktor dibuat dari desikator vakum (**Gambar 2**). Penyangga elektroda yang digunakan berbahan keramik dengan lubang pengait berbentuk persegi (1 cm x 1 cm) dengan kedalaman 1 cm.



Gambar 1. Desain Jalur Perpipaan Sistem Plasma CVD



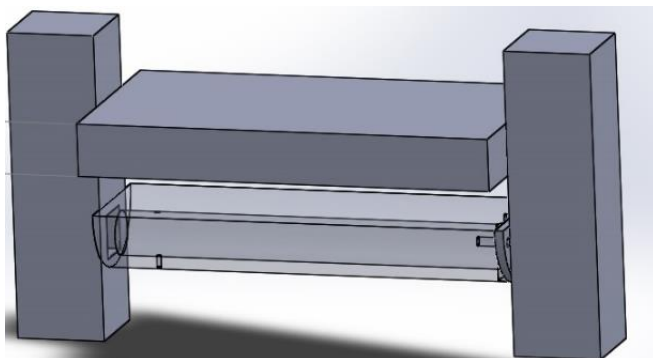
Gambar 2. Chamber Reaktor Sistem Plasma CVD

Tutup reaktor dan elektroda dibuat dari bahan stainless steel tipe SS 304. Elektroda yang digunakan divariasikan bentuk dan ukuran, yaitu balok (p: 9,5 cm; l: 5 cm; t: 1 cm) dan silinder(p: 9,5 cm; d: 1 cm). Masing-masing elektroda dipasang pada sistem secara bergantian, dan diamati pengaruhnya terhadap intensitas plasma yang terbentuk.

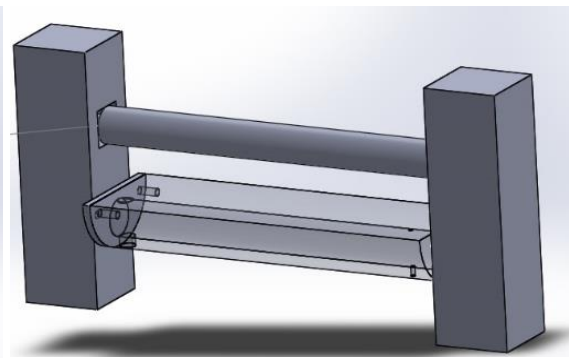
HASIL DAN PEMBAHASAN

Plasma dihasilkan dari disosiasi dan ionisasi molekul maupun atom senyawa gas yang mendapatkan energi, baik itu energi listrik maupun panas. Pada penelitian ini, energi yang dimaksudkan adalah energi listrik. Karena adanya energi tersebut, molekul maupun atom dalam senyawa gas yang awalnya bersifat netral, akan mengalami pergerakan, saling bertumbukan dan akhirnya mengalami disosiasi dan ionisasi. Pada pembahasan ini, pengaruh energi listrik diabaikan, karena besar daya yang digunakan adalah tetap. Penelitian ini akan lebih banyak menyoroti mengenai pengaruh medan listrik terhadap intensitas dan distribusi plasma yang dihasilkan.

Elektroda merupakan bagian penting pada sistem Plasma CVD. Pada penelitian ini, konfigurasi elektroda yang digunakan adalah *Capacitively Coupled Discharges* (CCD). Sebagaimana istilahnya tersebut, elektroda pada sistem ini terdiri dari dua buah elektroda (elektroda atas dan elektroda bawah), yang disusun seperti kapasitor. Pada penelitian ini bentuk elektroda bagian atas divariasikan, yaitu berbentuk balok dan silinder (**Gambar 3**).



(a)



(b)

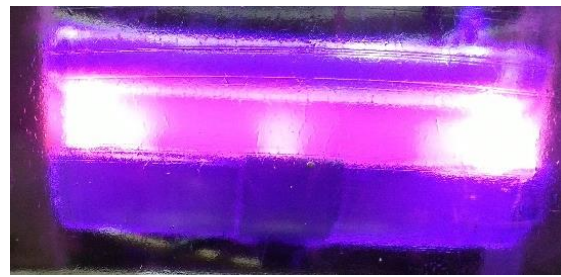
Gambar 3. Bentuk elektroda bagian atas: (a) balok, (b) silinder.

Kedua bentuk elektroda tersebut (**Gambar 3**) memiliki geometri permukaan yang berbeda. Hal ini tentunya akan mempengaruhi

distribusi medan listrik dan intensitas plasma yang dihasilkan (**Gambar 3**).



(a)



(b)

Gambar 4. Intensitas plasma pada elektroda: a. Balok, b. Silinder

Pada Gambar 4.a dan 4.b terlihat bahwa plasma yang dihasilkan adalah plasma *glow discharge*. Plasma yang terbentuk dari elektroda atas balok (Gambar 4.a) cenderung homogen dan stabil. Sedangkan plasma yang terbentuk dari elektroda atas silinder (Gambar 4.b) cenderung tidak homogen, dengan intensitas tertinggi terdapat pada ujung elektroda. Hal ini dapat terjadi karena geometri elektroda dapat mempengaruhi distribusi medan listrik yang dihasilkan. Peran medan listrik dalam konteks plasma adalah memberikan gaya, mengarahkan, dan membantu mempercepat gerak partikel bermuatan. Hubungan antara gaya, medan listrik, dan kecepatan gerak partikel bermuatan, dinyatakan dalam persamaan Hukum Lorentz berikut:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad (1)$$

dengan $\vec{F}$ merupakan gaya yang diberikan pada partikel (N), q merupakan muatan partikel (C), $\vec{E}$ merupakan medan listrik yang diberikan (Volt/m), $\vec{v}$ merupakan kecepatan partikel, dan $\vec{B}$ merupakan medan magnet (T).

Elektroda dengan kurvatur yang lebih besar (silinder), cenderung menghasilkan distribusi medan listrik yang tidak merata dibandingkan dengan elektroda yang memiliki kurvatur nol (balok). Hal ini dikarenakan, kurvatur mempengaruhi garis-garis medan listrik yang terbentuk di sekitarnya. Elektroda dengan kurvatur lebih besar seperti silinder, memiliki perubahan radius kelengkungan (jari-jari) yang signifikan pada permukaannya. Perubahan radius kelengkungan ini menyebabkan garis-garis medan listrik yang melintasi permukaan elektroda berubah secara signifikan. Akibatnya, distribusi medan listrik di sekitar elektroda menjadi tidak merata. Pada penelitian ini, ujung elektroda silinder yang digunakan memiliki jari-jari yang lebih kecil. Semakin kecil jari-jarinya, maka permukaan elektroda akan semakin melengkung, dan kurvturnya akan semakin besar. Selain itu, lubang untuk mengaitkan elektroda silinder memiliki bentuk yang berbeda (persegi), sehingga masih ada ruang bagi plasma untuk menjangkau ujung elektroda. Dikarenakan jari-jari ujung elektroda silinder lebih kecil dibandingkan jari-jari elektroda silinder, maka medan listrik paling kuat dihasilkan pada bagian ujung elektroda, sedangkan di bagian tengah elektroda medan listriknya cenderung lebih lemah. Akibatnya arus listrik dan plasma yang

terbentuk lebih terkonsentrasi pada bagian ujung elektroda, dan intensitas plasma yang dihasilkan menjadi lebih tinggi di bagian ujung elektroda. Sehingga pada elektroda silinder, plasma dengan intensitas tinggi dihasilkan pada ujung-ujung elektroda.

Elektroda berbentuk balok memiliki geometri permukaan yang datar (kurvatur nol). Pada kondisi ini, muatan akan terdistribusi merata di permukaan elektroda, sehingga medan listrik yang dihasilkan cenderung lebih homogen. Hal ini memungkinkan pembentukan plasma yang lebih homogen pada permukaan elektroda balok.

KESIMPULAN

Variasi bentuk elektroda berhasil dibuktikan dapat mempengaruhi distribusi plasma yang dihasilkan. Bentuk elektroda mempengaruhi distribusi medan listrik yang dihasilkan. Distribusi medan listrik ini nantinya akan mempengaruhi disosiasi dan ionisasi partikel-partikel dalam plasma sehingga menghasilkan intensitas dan distribusi plasma yang berbeda. Elektroda berbentuk balok menghasilkan plasma *glow discharge* yang cenderung stabil dan homogen, sementara elektroda berbentuk silinder menghasilkan plasma yang cenderung berpusat di ujung elektroda (tidak homogen).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis haturkan untuk semua anggota Laboratorium Research Center for Advanced System and Material Technology, Universitas Brawijaya dan Tim yang telah membantu mengimplementasikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Bitá, S. Vizireanu, D. Stoica, V. Ion, S. Yehia, A. Radu, S. Iftimie, G. Dinescu, "On the Structural, Morphological, and Electrical Properties of Carbon Nanowalls Obtained by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition", *J. Nanomater.* vol. 2020, pp 12–17, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8814459>.
- [2] S.S. Choi, D.W. Kim, J.W. Joe, J.H. Moon, K.C. Park, J. Jang, "Deposition of diamondlike carbon films by plasma enhanced chemical vapour deposition", *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 46, pp 133–136, (1997)

- [https://doi.org/10.1016/S0921-5107\(96\)01948-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5107(96)01948-4).
- [3] J. Miller, A. Ceballos, L.B. Bayu Aji, A. Moore, C. Wasz, S.O. Kucheyev, S. Elhadj, S. Falabella, "Hollow-cathode chemical vapor deposition of thick, low-stress diamond-like carbon films", *Thin Solid Films*, vol. 714, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138394>.
- [4] Y. Seekaew, N. Tammanoon, A. Tuantranont, T. Lomas, A. Wisitsoraat, C. Wongchoosuk, "Conversion of Carbon Dioxide into Chemical Vapor Deposited Graphene with Controllable Number of Layers via Hydrogen Plasma Pre-Treatment", *Membranes (Basel)*, vol. 12, 2022. <https://doi.org/10.3390/membranes12080796>.
- [5] G. Saito, Y. Nakasugi, T. Akiyama, "Generation of solution plasma over a large electrode surface area", *J. Appl. Phys.*, vol. 118, 2015 023303. <https://doi.org/10.1063/1.4926493>.
- [6] M.I. Boulos, P.L. Fauchais, E. Pfender, *Handbook of Thermal Plasmas*, Springer International Publishing, Cham, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12183-3>.
- [7] T. Oh, C. Cho, W. Ahn, J. Yook, J. Lee, S. You, J. Yim, J. Ha, G. Bae, H. You, Y. Lee, "Plasma Generator with Dielectric Rim and FSS Electrode for Enhanced RCS Reduction Effect Taejoo", *Sensors*, vol. 21, no. 24, pp. 8486, 2021. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21248486>.
- [8] N. De Geyter, R. Morent, S. Van Vlierberghe, M. Frère-Trentesaux, P. Dubruel, E. Payen, "Effect of electrode geometry on the uniformity of plasma-polymerized methyl methacrylate coatings", *Prog. Org. Coatings.*, vol. 70, no. 4 pp. 293–299, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.11.009>.
- [9] E. V. Barnat, G.R. Laity, S.D. Baalrud, "Response of the plasma to the size of an anode electrode biased near the plasma potential", *Phys. Plasmas.*, vol. 21, no. 10, 103512, 2014. <https://doi.org/10.1063/1.4897927>.
- [10] R. Tyata, D. Subedi, "An Investigation of the Effect of Electrode Geometry and Frequency of Power Supply in the Homogeneity of Dielectric Barrier Discharge in Air", *Kathmandu Univ. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, pp. 96–101, 1970. <https://doi.org/10.3126/kuset.v6i1.3316>.
- [11] K. Takaki, M. Shimizu, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, "Effect of electrode shape in dielectric barrier discharge plasma reactor for NO_x removal", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 32, pp. 32–38, 2004. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.823973>.
- [12] J. Jain, J. Moreno, B. Bora, L. Soto, "Influence of electrode geometry on X-ray emission, plasma inductance, voltage, and current derivative signals obtained from a plasma focus device", *Results Phys.*, vol. 23, p. 104016, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104016>.
- [13] N. A. K. Umiati, and M. Facta, "Electric field contours in non-uniform electrode shape," *BERKALA FISIKA*, vol. 23, no. 4, pp. 126-130, 2020.
- [14] M. Shuto, F. Tomino, H. Ohmi, H. Kakiuchi, K. Yasutake, "Voltage distribution over capacitively coupled plasma electrode for atmospheric-pressure plasma generation", *Nanoscale Research Letters*, vol. 8, 202, 2013. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-202>
- [15] W.Z. Ahmad Farhadi, Y. Zhu, L. Gu, "Influence of electrode shape and size on electrical arc channel and creator", *Procedia CIRP.*, vol. 68, pp. 215–220, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.051>.
- [16] L. Sansonnens, J. Schmitt, "Shaped electrode and lens for a uniform radio-frequency capacitive plasma", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp. 182–184, 2003. <https://doi.org/10.1063/1.1534918>.
- [17] A.Y. Wardaya, Z. Muhlisin, J.E. Suseno, M. Nur, P. Triadyaksa, A. Khumaeni, S. Hadi, E.A. Sarwoko, J. Windarta, "The Current-Voltage Characteristics for Electrode Geometry Model of Positive DC Corona Discharge in Air", *Gazi Univ. J. Sci.*, vol. 35, pp. 1140–1150, 2022. <https://doi.org/10.35378/gujs.885345>.

- [18] M. Setiana, D.H. Santjojo, "Perancangan reaktor plasma CVD untuk deposisi lapisan karbon", *Jurnal Teras Fisika*, vol. 5, no. 1 hlm. 267, 2022.
<https://doi.org/10.20884/1.jtf.2022.5.1.5502>
.

DC to DC converter sebagai pembangkit tegangan tinggi pada resistivity meter

Hartono, R. Farzand Abdullatif*, Abdullah Nur Aziz, Sahrul Iksan

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*e-mail: farzand@unsoed.ac.id

Abstrak – Penelitian rancang bangun DC-DC converter untuk menghasilkan catu daya DC tegangan tinggi telah dilakukan menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM) konfigurasi push-pull. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan tegangan tinggi DC menggunakan sumber daya 12 V dan menentukan karakteristik pembebanan DC-DC converter. Terdapat empat rangkaian utama dalam DC-DC converter yaitu rangkaian Multivibrator menggunakan IC TL494, rangkaian driver MOSFET menggunakan optocoupler TLP250, rangkaian switching MOSFET, rangkaian penyearah menggunakan dioda bridge KBP-206. Tegangan input menggunakan baterai 12 V 7,2 Ah dan frekuensi switching yang digunakan 25kHz. Ferrite ETD29 dipilih sebagai transformator step up berfrekuensi tinggi. Penelitian ini dilakukan uji pembebanan menggunakan resistor 2 k ohm hingga 50 k ohm. Hasil pengujian tegangan output dari DC-DC converter sebesar 335 V pada keadaan open circuit dan yang mengalami penurunan tegangan 10 % dari tegangan normal pada penarikan arus mulai 91,86 mA.

Kata Kunci: konverter DC-DC, Pulse Width Modulation, Multivibrator, switching MOSFET

Abstract – A DC-DC converter that generates high-voltage DC from a 12 V power supply has been built. Designed using the pulse width modulation (PMW) method in push-pull configuration, the load characteristic of the DC-DC converter was studied. Four The system consists of four main circuits, i.e. the TL594 IC multivibrator circuit, the TLP250 optocoupler MOSFET driver circuit, the MOSFET switching circuit, and the KBP-206 diode bridge rectifier circuit. The system is powered by a 12 V 7,2 Ah battery with a 25 kHz switching frequency. An ETD29 ferrite is used for the high-frequency step-up transformer. Conducted by placing the system under a loading test ranging from 2 kohm to 50 kOhm, the study found that the converter yields a 335 V voltage output at open conditions, and its voltage drops to 10% from its normal value as it draws a current of 91,86mA.

Key words: DC-DC converter, Pulse Width Modulation, Multivibrator, switching MOSFET

PENDAHULUAN

Survei geofisika merupakan metode untuk melakukan pendugaan struktur batuan bawah permukaan melalui pengukuran di permukaan. Salah satu metode survei yang sering digunakan adalah geolistrik resistivitas. Survei dengan metode ini membutuhkan peralatan survei yang utama adalah resistivity meter. Resistivity meter dirancang dan dibangun dalam tiga bagian utama, yaitu rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC, rangkaian pensaklaran dan bagian terakhir adalah modul pengukur arus dan tegangan.

Banyak peralatan listrik dan elektronik yang membutuhkan catu daya DC tegangan tinggi, termasuk alat survei geofisika resistivity meter. Pembangkit tegangan tinggi pada resistivity meter merupakan bagian penting dari

alat tersebut. Pembangkit tegangan tinggi atau catu daya tegangan tinggi merupakan suatu piranti elektronik yang dapat menghasilkan arus listrik dengan tegangan tinggi [1]. Penelitian ini adalah untuk menghasilkan tegangan tinggi DC dari tegangan masukan 12 V DC.

Tegangan tinggi arus searah dalam elektronika daya merupakan tegangan yang di mulai dari batas 220 V sampai dengan tegangan yang mempunyai nilai ribuan volt. Terdapat empat jenis batas tegangan tinggi, yaitu: Tegangan Tinggi (High Voltage) mulai dari 220 V hingga 2,4 KV, Tegangan Tinggi Menengah (Medium High Voltage) mulai dari 3 KV hingga 30 KV, Tegangan Ekstra Tinggi (Extra High Voltage) mulai dari 60 KV hingga 100 KV, dan Tegangan Ultra Tinggi (Ultra High Voltage) mulai dari 240 KV hingga 1000 KV. Sementara catu daya yang dipasang pada alat tersebut

umum 12 V atau 24 V. Untuk itu diperlukan suatu perangkat catu daya yang mampu menghasilkan suplai tegangan searah DC (*Direct Current*), yang dihasilkan melalui konversi tegangan masukan ke tingkat tegangan keluaran yang lebih tinggi yang disebut DC to DC converter [2].

Rangkaian yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi sangat beragam. Rangkaian yang paling sederhana adalah metode Dickson. Metode ini menggunakan dioda dan kapasitor yang disusun secara berseri (Mikailu A et al., 2015). Teknik lain untuk dapat meningkatkan tegangan adalah dengan teknik Pulse Width Modulation (PWM). Modifikasi PWM dengan sistem switching dapat memperbaiki hasil sinyal AC yang dihasilkan [4].

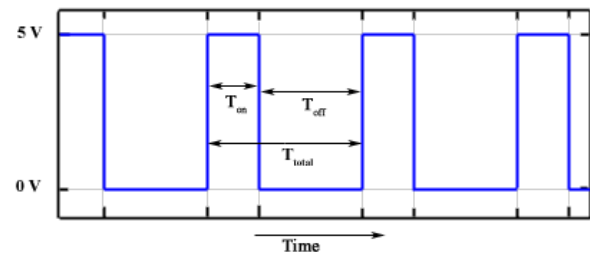
Rangkaian-rangkaian seperti Inverter, DC-DC Converter, *Switch mode power supply* (SMPS) dan Pengontrol kecepatan (*Speed Controller*) adalah rangkaian-rangkaian mempunyai banyak sakelar elektronik di dalamnya. Sakelar-sakelar elektronik yang digunakan pada rangkaian tersebut umumnya adalah komponen elektronik daya seperti MOSFET, IGBT, TRIAC dan lain-lainnya. Untuk mengendalikan sakelar elektronik daya semacam ini, membutuhkan metode *Pulse Width Modulation* (PWM)

Metode PWM merupakan metode modulasi lebar pulsa yang berfungsi untuk mengubah atau mengatur periode on (T_{on}) dengan frekuensi dan amplitudo yang tetap. Sinyal PWM umumnya berbentuk kotak persegi. Lebar sempitnya kotak persegi ditentukan nilai *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan perbandingan sinyal PWM pada kondisi on dalam satu periode (Nugraha & Krismadinata, 2020). Perbandingan antara waktu di mana sinyal pada kondisi Periode on (T_{on}) dengan periode off atau nol (T_{off}) disebut *duty cycle* (D). Untuk menentukan besarnya *duty cycle* digunakan persamaan

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\%, \quad (1)$$

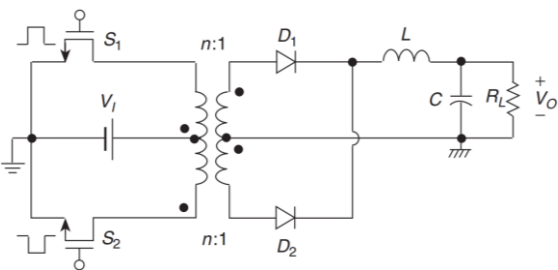
dengan D menyatakan *duty cycle*, t_{on} adalah periode waktu on (s) di mana tegangan output berada pada kondisi high, t_{off} adalah waktu periode off (s) di mana tegangan output berada pada kondisi low. Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan mengatur *duty cycle* dan dapat dinyatakan dengan persamaan

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2)$$



Gambar 1. Sinyal PWM

Pembuatan catu daya DC tegangan tinggi menggunakan rangkaian *push-pull converter*. Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET sebagai proses switching. Switching MOSFET merupakan proses untuk mengaktifkan dan menonaktifkan MOSFET secara bergantian sehingga mengubah sinyal listrik DC menjadi AC. Transformator step up difungsikan sebagai penaik tegangan AC. Agar tegangan tinggi AC diubah menjadi tegangan tinggi DC diperlukan rangkaian dioda penyearah jembatan penuh [5]. Rangkaian *push-pull converter* seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Push-Pull DC-DC Converter

METODE PENELITIAN

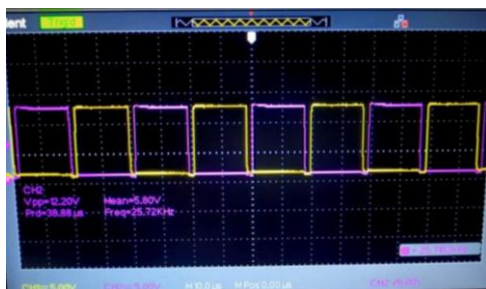
Penelitian ini dimulai pembuatan Multivibrator sebagai sistem control DC-DC converter. Rangkaian dibuat menggunakan IC TL494. Multivibrator difungsikan sebagai perangkat yang mengontrol switching pada rangkain MOSFET push-pull. Dengan mengatur nilai *duty cycle* untuk menghasilkan sinyal persegi. Multivibrator akan mengrim sinyal PWM pada driver MOSFET TLP250. Tujuan dari driver MOSFET yaitu sebagai penguat sinyal PWM yang dihasilkan dari multivibrator dikarenakan tegangan keluaran dari multivibrator belum cukup untuk membuat MOSFET bekerja pada daerah saturasi. Selanjutnya melakukan perancangan transformator untuk menghasilkan tegangan tinggi sekitar 300 V. Perancangan transformator menggunakan tegangan masukan sebesar 12 V dari baterai. Langkah terakhir

dalam pembuatan DC- DC converter yaitu melakukan perangkaian pada papan PCB sehingga menjadi catu daya DC tegangan tinggi.

Seluruh rangkaian sebelum diinstal akan dilakukan pengujian untuk mengetahui fungsi dan kinerjanya masing-masing. Pengujian terhadap rangkaian PWM dilakukan dengan menggunakan oscilloscope untuk melihat sinyal keluarannya. Variabel yang diamati dari keluaran PWM adalah tegangan puncak-puncak (V_{pp}), duty cycle dan frekuensinya. Pengujian transformator dilakukan dengan menggunakan generator isyarat sebagai pembangkit sinyal dan oscilloscope untuk menampilkan hasilnya. Variabel yang diamati adalah tegangan masukan dan tegangan keluaran yang dihasilkan transformator step up. Tahap pengujian berikutnya adalah pengujian rangkaian penyearah. Pengujian penyearah dilakukan dengan menggunakan catu daya variabel sebagai sumber tegangan dan oscilloscope sebagai penampil hasilnya. Variabel yang diamati adalah nilai tegangan DC dan nilai riak gelombang yang masih terjadi. Penyearah yang baik harus mempunyai tegangan riak sekecil mungkin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

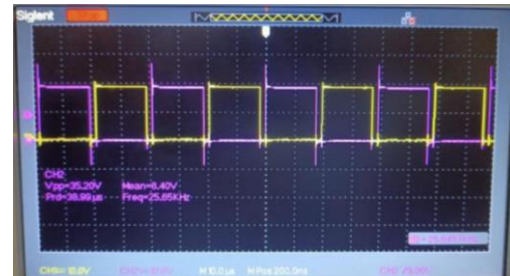
Sistem DC-DC Converter untuk menghasilkan catu daya DC tegangan tinggi terdapat jalur input sebagai power dari baterai 12 V 7,2 Ah. DC-DC converter bekerja dalam 3 tahap operasi. Tahap pertama kerja converter adalah mengkonversi tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC melalui switching MOSFET. Tahap kedua tegangan AC ditingkatkan menjadi tegangan tinggi menggunakan transformator. Tahap terakhir tegangan tinggi AC diubah menjadi bentuk DC melalui dioda penyearah.



Gambar 3. Sinyal PWM menggunakan TL494.

Berdasarkan hasil sinyal keluaran PWM yang ditampilkan pada osiloskop (**Gambar 3**), menunjukkan sinyal output keluaran dari TL494 berbentuk kotak dan memiliki duty cycle 47,5 %. Dapat dilihat bahwa nilai frekuensi switching

sebesar 25 kHz dan tegangan PWM sebesar 5,80 V. Nilai frekuensi switching dapat diatur menggunakan potensiometer yang terhubung dengan TL494. Pada Gambar 3, sinyal yang berwarna kuning menunjukkan output gate satu sedangkan sinyal berwarna ungu menunjukkan output gate dua. Terdapat perbedaan beda fase gelombang 180 derajat diantara sinyal tersebut. Perbedaan fase gelombang ini yang berfungsi mengaktifkan MOSFET bergantian sehingga tidak terjadi konduksi secara bersamaan.



Gambar 4. Sinyal PWM pada Kaki Gate 1 dan 2 dari MOSFET

Berdasarkan hasil sinyal keluaran output osiloskop pada **Gambar 4**, menunjukkan sinyal output keluaran dari gate driver MOSFET berbentuk kotak. Switching MOSFET yang baik adalah proses switching yang menghasilkan bentuk gelombang kotak sempurna. Dapat dilihat **Gambar 4** bentuk gelombang PWM dari gate driver terdapat ripple tegangan sebesar 35,5 V yang dipengaruhi oleh timbal induktansi dan kapasitansi dari gate MOSFET. Hal tersebut menandakan semakin besar nilai ripple tegangan suatu switching maka disipasi daya yang terjadi semakin besar, artinya daya tidak tersalurkan sepenuhnya ke beban melainkan membuat MOSFET menjadi panas [6].

Perbandingan peningkatan tegangan dapat dilihat antara Gambar 3 dan Gambar 4. Tegangan PWM mengalami peningkatan menjadi 8,40 V setelah melewati driver MOSFET. Peningkatan tegangan ini bertujuan untuk membuat MOSFET bekerja pada daerah saturasi. Daerah saturasi MOSFET IRLZ44N yaitu saat tegangan V_{GS} 7 -16 V arus akan mengalir secara penuh. Selain memberikan peningkatan tegangan, TLP250 berfungsi untuk mengisolasi sinyal agar tidak mengganggu proses switching dikarenakan rangkaian control dan MOSFET tidak terhubung satu rangkaian melainkan terhubung secara optik.

Transformator yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi AC menggunakan transformator switching tipe ETD29. Tahap

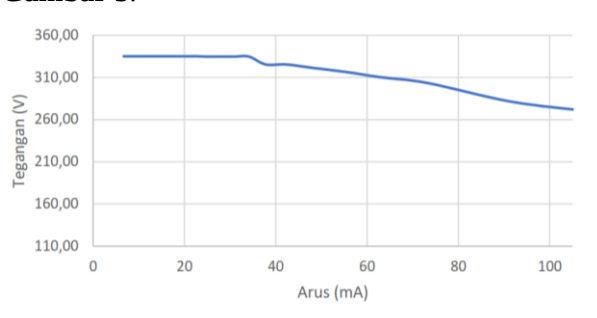
perancangan transformator yang harus diperhatikan yaitu menentukan lilitan primer dan lilitan sekunder. Hasil transformator switching dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 4.7 merupakan hasil lilitan central trap (CT) tranformator lilitan primer. Lilitan dimulai dari CT dengan jumlah dua kawat email a dan b yang memiliki ukuran 0,5 mm, arah lilitan masing masing kawat saling berlawanan. Kawat a searah jarum jam dan kawat (b) berlawanan arah jarum jam. Jumlah lilitan primer transformator 10 lilit dan lilitan sekunder 279 lilit. Pembuatan lilitan pada transformator diusahakan tidak boleh ada renggangan, hal ini untuk mencegah terjadinya induktansi bocor yang besar. Tegangan tinggi AC dapat dapat diukur menggunakan MMD. Hasil pengukuran tegangan input tranformator 12 V menghasilkan tegangan output 335 V dengan frekuensi sebesar 25 kHz. Sinyal keluaran dari transformator dihubungkan dengan rangkaian penyearah bridge untuk mendapatkan tegangan DC. Hasil pengukuran tegangan dari transformator pada kondisi *open circuit* seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter transformator dan tegangan transformator

V_{in}	12,46 Volt
V_{out}	335 Volt
N_{primer}	10 lilitan
$N_{sekunder}$	279 lilitan

Pengujian sistem DC-DC Converter dilakukan setelah semua komponen sudah terintegrasi. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan pembebanan berupa beban resistif. Pengujian pembebanan yang dilakukan menggunakan papan pengujian resistor 1 kohm 10 Watt sebanyak 16 buah dan 1 kohm 1 Watt sebanyak 34 buah. Hasil pengujian pembebanan dari DC-DC konverter seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil uji pembebanan DC-DC konverter

Gambar 5 menjelaskan pengujian tegangan keluaran DC-DC konverter terhadap perubahan arus 6,68 mA hingga 110,61 mA yang mengalami penurunan tegangan. Tegangan terbaik yang dihasilkan dari DC-DC converter adalah 335 V saat arus 6,68 mA hingga 22,83mA. Standar penurunan tegangan yang diperbolehkan maksimum 10% dari tegangan normal [9]. Berdasarkan grafik tersebut, terdapat penurunan tegangan yang melebihi 10% yaitu saat penarikan arus 91,86 mA dan 110,61 mA. Tegangan turun menjadi 281 V dan 268 V.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian DC-DC converter sebagai Pembangkit Tegangan Tinggi pada Resistivity Meter dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan tinggi DC sebesar 335 volt berhasil dibangkitkan dengan rangkaian DC-DC Converter
2. Hasil pengujian pembebanan menunjukkan penurunan tegangan melebihi 10% dari tegangan output pada penarikan arus mulai 91,86 mA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan bekerja sama sampai terselesaikannya penelitian ini. Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada:

1. LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang sudah menugaskan dan memberikan pembiayaan terhadap penelitian ini
2. Laboratorium Elektronika Instrumentasi dan Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Unsoed atas dukungan peralatannya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Cahyadi, E. Nasrullah, & A. Trisanto, "Rancang Bangun Catu Daya DC 1V–20V Menggunakan Kendali PI Berbasis Mikrokontroler", *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol 10, no. 2, 2016.
- [2] M. A. Assyidiq, B. Winardi, & T. Andromeda, "Perancangan Boost Converter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya", *Transient: Jurnal Ilmiah*

- Teknik Elektro*, vol. 6, No. 3, pp. 404–410, 2017.
- [3] A. Mikailu, I. Abdullahi, M.G, Sani, & S. Muhammad, “Development of Digital Resistivity Meter”, *Advances in Physics Theories and Application*, vol. 42, pp. 56-61, 2015.
- [4] E. F. Huda, “Pengembangan digital resistivity meter multielektroda otomatis untuk konfigurasi Schlumberger”, *Pillar Of Physics*, vol. 13, no. 1, pp. 74-81, 2020. <http://dx.doi.org/10.24036/8291171074>
- [5] D. Nugraha, & K. Krismadinata, “Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer”, *Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional*, vol. 6, no. 1, pp. 340–351, 2020.
- [6] M. K. Kazimierczuk, “Pulse-width modulated DC-DC power converters”, John Wiley & Sons.
- [7] D. P. Mulyono, “Modifikasi Rangkaian Mekanik Bootstrap Untuk Meningkatkan Kinerja Gate Driver Mosfet”, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, 2017.
- [8] N. Septiani, S. Thaha, & N. Muchtar, “Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Panakkukang” *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, hlm 129–135, 2021.

Perbandingan identifikasi citra penderita tumor otak menggunakan jaringan syaraf tiruan LVQ dan MLVQ

Veronika Pitri, Yudha Arman*, Hasanuddin

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

Jl. Prof. Dr. H. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Bansir Laut, Kec. Pontianak Tenggara,
Kota Pontianak, Kalimantan Barat

*e-mail: yudha_arman@physics.untan.ac.id

Abstrak – Telah dilakukan identifikasi citra magnetic resonance imaging (MRI) pada penderita tumor otak menggunakan metode learning vector quantization termodifikasi (MLVQ). Modifikasi dilakukan pada bagian pembaharuan learning rate metode LVQ, menerapkan konsep peluang pada sebaran data berdistribusi gaussian. Sebanyak citra yang terdiri atas citra otak normal dan citra otak terdiagnosa tumor digunakan pada penelitian ini. Proses pengolahan citra yang dilakukan adalah pemotongan, pengubahan ukuran, pengubahan skala abu-abu, pengubahan skala hitam putih dan deteksi tepi. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh menggunakan metode LVQ. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, metode MLVQ memiliki akurasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode LVQ untuk kasus ini.

Kata Kunci: learning rate, LVQ, MLVQ, tumor otak

Abstract – Identification of magnetic resonance imaging (MRI) has been performed on brain tumor patients using the modified learning vector quantization (MLVQ) method. Modifications were made to update the learning rate of the LVQ method, applying the concept of opportunity to the distribution of data with a Gaussian distribution. A total of 3.000 images consisting of 1.500 typical brain images and 1.500 tumor-diagnosed brain images were used in this study. Image processing includes cropping, resizing, grayscale conversion, black-and-white scale conversion, and edge detection. The results were then compared with those obtained using the LVQ method. Based on the calculation results, the MLVQ method has higher accuracy when compared to the LVQ method for this case.

Key words: brain tumor, learning rate, LVQ, MLVQ

PENDAHULUAN

Tumor otak merupakan pertumbuhan sel abnormal di sekitar otak. Pertumbuhan tersebut akan mengganggu fungsi koordinasi ke bagian lain dari tubuh manusia karena otak merupakan pusat kendali seluruh pergerakan tubuh manusia. Menurut *International Agency for Research on Cancer*, penderita tumor otak di setiap tahun mencapai lebih dari 126.000 jiwa dan lebih dari 97.000 jiwa meninggal dunia setiap tahunnya [1].

Keberadaan tumor otak dapat dideteksi menggunakan *magnetic resonance imaging* (MRI) [2]. Alat ini menggunakan medan magnet sebesar 0,064 sampai 1,5 tesla (1 tesla = 1000 gauss), yang sejaris dengan arah perputaran pada inti atom hidrogen [3]. Citra hasil MRI dilaporkan memiliki kualitas yang lebih baik daripada alat diagnosis radiologi lainnya, sehingga MRI sering digunakan pada bidang medis [1].

Analisis hasil MRI umumnya dilakukan secara manual sehingga akurasi yang dihasilkan perlu ditingkatkan. Keterbatasan mata manusia dalam mengidentifikasi objek yang cukup kompleks menjadi salah faktor penyebab hal ini. Diperlukan perangkat bantu yang dapat meminimalisir kesalahan dalam proses diagnosa tersebut [2].

Teknik komputasi yang umum digunakan untuk pemecahan masalah pengenalan pola karakteristik serta memiliki akurasi perhitungan yang tinggi adalah jaringan syaraf tiruan (JST). Metode *Learning Vector Quantization* (LVQ) merupakan salah satu varian dari metode JST. LVQ menggunakan sistem pembelajaran kompetitif terawasi [4]. Metode ini dilaporkan telah digunakan untuk mengklasifikasi penyakit ginjal kronis [5]. Learning rate sebesar 0,002 dilaporkan menghasilkan model prediksi dengan akurasi terbaik untuk kasus tersebut. Penentuan parameter *learning rate* ini sangat menentukan keberhasilan dari penggunaan metode LVQ.

Modifikasi dapat dilakukan pada metode LVQ untuk mendapatkan hasil dengan akurasi yang lebih baik. Metode ini biasa disebut sebagai *Modified Learning Vector Quantization* (MLVQ). Umumnya, modifikasi dilakukan pada proses pemutakhiran *learning rate* untuk meningkatkan akurasi perhitungan. Metode LVQ termodifikasi digunakan untuk menentukan centroid pada identifikasi pola [6]. Akurasi yang dihasilkan melalui modifikasi ini dilaporkan lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode LVQ. Peningkatan akurasi juga dijumpai dalam mengenali citra wajah [4]. Penggunaan MLVQ untuk kasus tersebut diketahui memiliki akurasi 50,37%, lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode propagasi balik (48,14%) dan metode LVQ (49,24%).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan JST metode MLVQ dalam mengidentifikasi tumor otak citra MRI. Citra MRI akan melalui beberapa proses untuk mendapatkan karakteristik yang bisa digunakan pada proses analisis. Hasil dari metode MLVQ ini kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh menggunakan metode LVQ.

Citra yang digunakan pada studi ini adalah citra hasil MRI pada bagian otak manusia yang terdiri dari citra otak normal dan abnormal (tumor) dengan ekstensi .jpg. Sebanyak 3.000 citra digunakan sebagai masukan untuk sistem yang dibuat. Citra yang digunakan sebanyak 3.000, terdiri atas 1.500 citra otak normal dan 1.500 citra otak abnormal (tumor) diambil dari laman internet www.kaggle.com.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara garis besar terdiri dari 2 tahapan, yaitu, pengolahan citra dan perancangan jaringan syaraf tiruan. Pengolahan citra terdiri dari pemotongan citra, pengubahan ukuran, pengubahan skala abu-abu, pengubahan skala hitam putih dan deteksi tepi. Pengolahan citra dilakukan untuk mendapatkan ciri khas khusus citra otak yang didiagnosis tumor otak dan normal. Pengolahan ini dimulai dengan melakukan pemotongan bagian yang tidak digunakan untuk proses identifikasi. Proses tersebut menghasilkan ukuran citra yang tidak seragam, sehingga diperlukan pengubahan ukuran citra. Ukuran citra yang digunakan pada penelitian ini sebesar 100×100 piksel berformat merah, hijau dan biru (RGB). Citra RGB ini kemudian diubah ke skala abu-abu (hitam, putih, dan abu-abu) untuk selanjutnya

diubah ke citra berformat biner. Citra dengan skala abu-abu ($f_0(x,y)$) diperoleh dengan merata-ratakan komponen warna merah ($f^R(x,y)$), hijau ($f^G(x,y)$), dan biru ($f^B(x,y)$) pada x dan y seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (1) berikut,

$$f_0(x,y) = \left(\frac{f^R(x,y) + f^G(x,y) + f^B(x,y)}{n} \right), \quad (1)$$

dengan n merupakan banyaknya data.

Pengubahan citra ke skala biner dilakukan agar perbedaan antara bagian yang terdiagnosa tumor otak dan bagian normal dapat terlihat. Pengubahan ke citra biner dilakukan dengan menggunakan nilai threshold (T) sebesar 127,5 yang diperoleh dari rata-rata nilai piksel ($f(x,y)$) maksimum dan minimum sesuai persamaan berikut,

$$T = \frac{f(x,y)_{\text{maksimum}} + f(x,y)_{\text{minimum}}}{n}, \quad (2)$$

dengan ketentuan apabila nilai $f(x,y)$ lebih besar atau sama dengan 127,5 maka nilai piksel yang baru $g(x,y)$ berubah menjadi 1 (putih), sedangkan jika $f(x,y)$ lebih kecil dari atau sama dengan 127,5 maka akan berubah menjadi 0 (hitam). Kondisi ini dituliskan sebagai:

$$(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) \geq T \\ 0, & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

Pengolahan citra diakhiri dengan proses deteksi tepi. Proses ini bertujuan untuk mempertegas detail-detail yang ada pada citra dengan mempertajam garis-garis tepi. Proses deteksi tepi pada penelitian ini menggunakan penjumlahan dari operasi operator sobel (M) pada absis x (S_x) dan ordinat y (S_y). Operator sobel yang digunakan disajikan pada Gambar 1.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \\ S_x & S_y \end{matrix}$$

Gambar 1. Operator 2 buah kernel [4] (Sumber: Ketaren, 2016)

Jaringan syaraf tiruan yang dibangun, yaitu LVQ dan MLVQ terbagi menjadi 2 proses, yaitu pelatihan dan uji coba. Perancangan dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman python.

Proses pelatihan pada metode LVQ diawali dengan menetapkan jumlah k -folds, n -codebooks

(W_{ji}), *epoch* dan *learning rate* (α). *Learning rate* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,02. Selanjutnya dilakukan perhitungan jarak (S_j) antara vektor masukan (X_i) dengan *codebooks* (W_{ji}) menggunakan persamaan (4).

$$S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - W_{ji})^2} \quad (4)$$

Kelas bagi vektor masukan ditentukan berdasarkan jarak terkecil ke *codebooks*. Setelah proses ini, pembaharuan nilai *learning rate* (a_{baru}) dilakukan sesuai persamaan berikut:

$$a_{baru} = 0,4(a_{lama}) \quad (5)$$

dengan a_{lama} adalah *learning rate* sebelumnya.

Proses terakhir dari siklus perhitungan adalah memutakhirkan *codebooks* dengan beberapa syarat tertentu. Apabila hasil yang didapatkan menunjukkan target kelas (T_j) dan kelas *codebooks* (C_j) sama maka *codebooks* diperbaharui menggunakan:

$$W_{ji_{baru}} = W_{ji_{lama}} + \alpha_{baru} (X_i - W_{ji_{lama}}) \quad (6)$$

Sebaliknya, apabila T_j dan C_j tidak sama maka W_{ji} diperbaharui menggunakan persamaan (7) berikut,

$$W_{ji_{baru}} = W_{ji_{lama}} - \alpha_{baru} (X_i - W_{ji_{lama}}) \quad (7)$$

dengan $W_{ji_{baru}}$, $W_{ji_{lama}}$, α_{baru} , dan X_i masing-masing merupakan *codebooks* baru, *codebooks* lama, *learning rate* baru, dan vektor masukan.

Pelatihan metode LVQ diakhiri dengan proses uji coba. Proses ini dimulai dengan mencari jarak terpendek yang menjadi kelasnya seperti langkah pertama pada proses pelatihan menggunakan persamaan (4). Persentase akurasi kemudian dihitung menggunakan:

$$Akurasi = \frac{J_b}{J_s} \times 100\% \quad (8)$$

dengan J_b adalah jumlah benar dan J_s adalah jumlah salah.

Proses yang sama juga dilakukan pada metode MLVQ. Namun terdapat perbedaan pada pembaharuan *learning rate* (a) yang tidak lagi menggunakan 0,02 tetapi menggunakan persebaran data pada fungsi gaussian (f) sesuai persamaan berikut:

$$f = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (9)$$

dengan σ merupakan simpangan baku, μ adalah nilai rata-rata, e adalah bilangan euler dan y adalah nilai dari variabel acak. Dengan mengganti beberapa variabel pada fungsi gaussian persamaan (9) dengan nilai jarak (S_j) antara vektor masukan (X_i) dan *codebooks* (W_{ij}), maka pemutakhiran *learning rate* (a) dilakukan sesuai persamaan berikut:

$$a = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\left(\frac{S_j}{2\sigma^2}\right)} \quad (10)$$

Kendala yang dihadapi saat mengimplementasikan persamaan (10) ke sistem adalah pada hasil perhitungan $\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}$. Nilai yang dihasilkan terlalu besar mengakibatkan sistem tidak stabil. Untuk mengatasi hal ini, nilai kemudian diperkecil sesuai persamaan berikut:

$$a = \left(0,01 \sqrt{2\pi\sigma_b^2}\right) \left(e^{-\left(\frac{S_j}{2\sigma_b^2}\right)}\right) \quad (11)$$

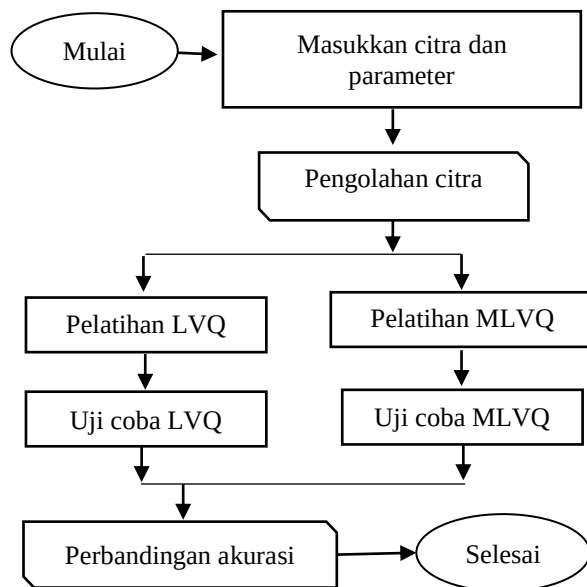
Variable σ_b pada persamaan (11) adalah simpangan baku dari data sebanyak n yang dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (m_i - \mu_n)^2} \quad (12)$$

dengan m_i adalah data ke- i dan μ_n adalah nilai rata-rata data ke- n . Karena $(m_i - \mu_n)^2$ memiliki kesamaan karakteristik dengan $(X_i - W_{ji})^2$ maka,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - W_{ji})^2} \quad (13)$$

Sama seperti proses terakhir metode LVQ, pada metode MLVQ juga dilakukan proses perhitungan akurasi dengan menggunakan persamaan (8). Hasil akurasi yang didapat kemudian dibandingkan dengan akurasi metode LVQ melihat metode dalam mengidentifikasi citra hasil MRI penderita tumor otak. Adapun serangkaian proses pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



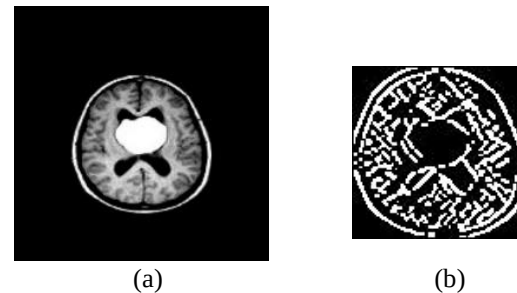
Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan citra merupakan proses awal pada penelitian ini yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik unik pada citra sehingga mudah untuk dianalisis. Proses diawali dengan pemotongan bagian yang tidak

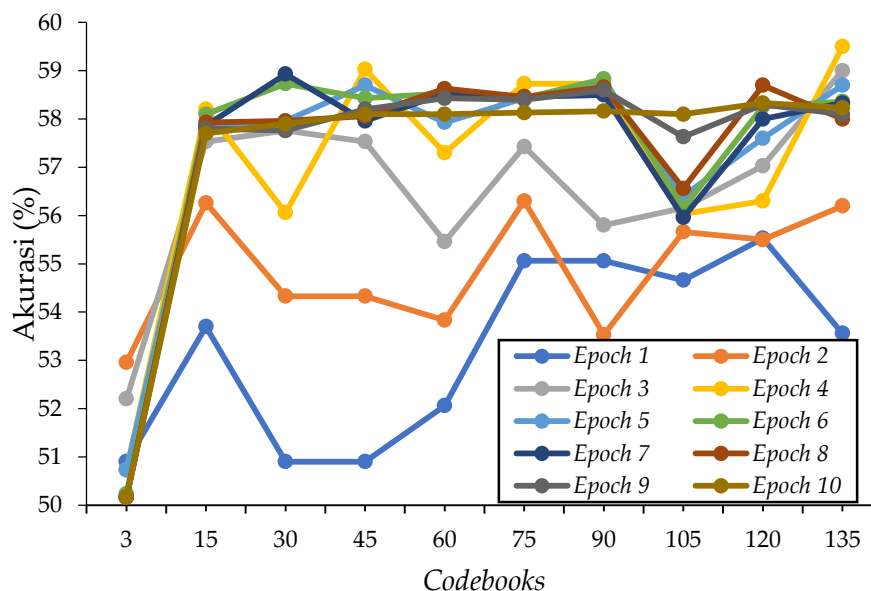
digunakan pada citra dan diakhiri dengan deteksi tepi menggunakan operator sobel.

Gambar 3 memperlihatkan perbedaan antara citra asli dengan yang telah melewati proses pengolahan citra.



Gambar 3. Citra (a) asli dan (b) hasil pengolahan citra

Parameter yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas *codebooks* dengan variasi jumlah 3,15,30,45,60, 75, 90, 105, 120 dan 135, 2 kelompok *epoch* (1-10 dan 10-100), *k-folds* sebanyak 2, serta *learning rate* yang digunakan pada metode LVQ adalah 0,002.



Gambar 4. Hasil pengujian metode LVQ (epoch 1-10)

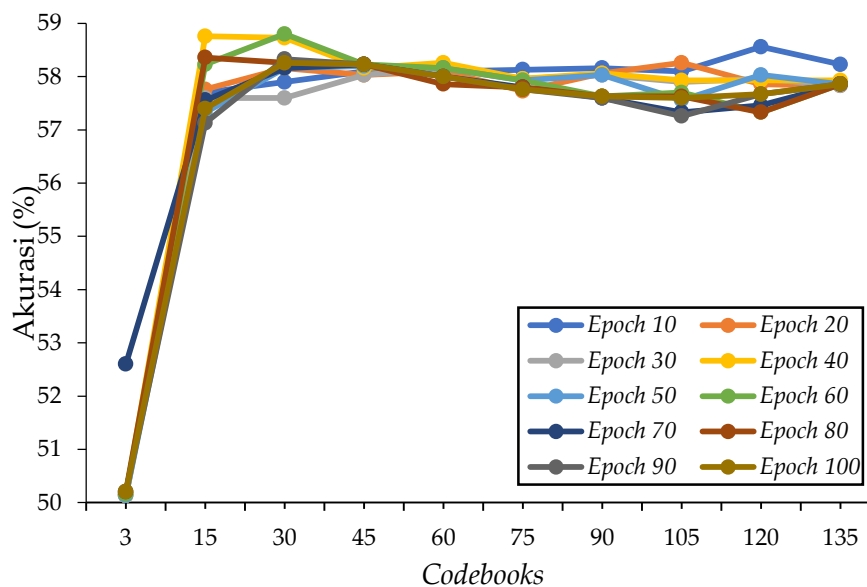
Gambar 4 memperlihatkan grafik hasil akurasi metode LVQ untuk *epoch* 1-100. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa akurasi untuk epoch 1-10 mengalami fluktuasi. *Epoch* 1 menghasilkan akurasi terendah pada pengujian ini dengan rata-rata akurasi sebesar 53,23%, sedangkan akurasi tertinggi berada pada *epoch* 6

dengan rata-rata akurasi sebesar 57,40%. Akurasi cenderung mengalami kenaikan pada saat *epoch* 1, *epoch* 2, dan *epoch* 3, namun untuk *epoch* setelahnya akurasi yang dihasilkan hampir berada di titik yang sama. Hal ini disebabkan karena pembaharuan *learning rate* bergantung pada jumlah *epoch* yang digunakan.

Epoch merupakan jumlah maksimum dari iterasi. Semakin besar jumlah *epoch* yang digunakan maka besar nilai *learning rate* yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada kasus ini, besarnya pembaharuan *learning rate*, sudah tidak memiliki pengaruh besar pada pembaharuan nilai *codebooks* untuk *epoch* 4 sampai *epoch* 10.

Namun, apabila dilihat berdasarkan variasi *codebooks*, akurasi terendah berada pada *codebooks* 3 dengan rata-rata akurasi sebesar 50,84%, sedangkan akurasi tertinggi berada

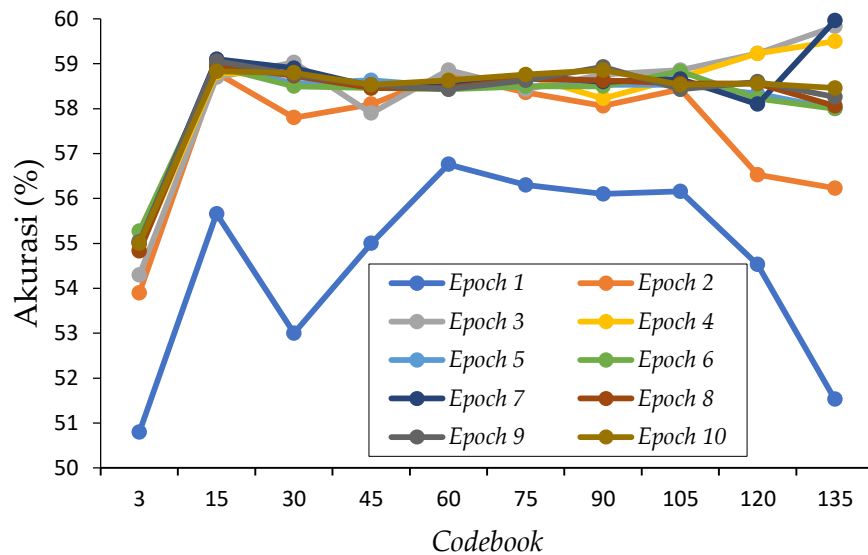
pada *codebooks* 75 dengan rata-rata akurasi sebesar 57,78%. Nilai akurasi berdasarkan variasi *codebooks* tersebut terlihat sangat berfluktuasi. Banyaknya *codebooks* juga mempengaruhi besarnya akurasi yang didapatkan. Biasanya, semakin banyak menggunakan *codebooks* maka semakin baik akurasi yang didapatkan. Tetapi, karena pembaharuan *learning rate* yang bergantung pada penggunaan jumlah *epoch* maka mengakibatkan hasil dari variasi *codebooks* ini tidak begitu terlihat jelas kenaikannya.



Gambar 5. Hasil pengujian metode LVQ (*epoch* 10-100)

Akurasi pengujian metode LVQ untuk *epoch* 10-100 ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5. Nilai akurasi juga menunjukkan fluktuasi untuk variasi *epoch* tersebut namun dengan amplitudo yang lebih kecil. Akurasi terendah berada masih berada pada *epoch* 90 dengan rata-rata akurasi sebesar 57,00%, sedangkan untuk akurasi tertinggi berada pada *epoch* 40 dengan rata-rata akurasi sebesar 57,38%. Fluktuasi yang dihasilkan untuk variasi *epoch* ini, hampir berada di titik yang sama. Hal tersebut, disebabkan oleh variasi yang digunakan cukup besar, sehingga mengakibatkan pembaharuan nilai *learning rate* yang didapatkan cukup kecil. *Learning rate* yang bisa dikatakan sangat kecil ini, sudah tidak lagi memiliki pengaruh besar pada pembaharuan *codebooks* yang menyebabkan menurunnya kualitas program

dalam mengidentifikasi. Penurunan tersebut, yang menyebabkan akurasi yang dihasilkan cenderung menurun disetiap *epoch*-nya. Analisis berdasarkan variasi *codebooks* memperlihatkan nilai akurasi terendah ditunjukkan oleh *codebook* 3 dengan rata-rata akurasi sebesar 50,40%, sedangkan akurasi tertinggi berada pada *codebook* 30 dengan rata-rata akurasi sebesar 58,24%. Fluktuasi nilai Akurasi yang ditunjukkan oleh bagian ini tidak sebesar dari variasi sebelumnya. Sama seperti pada pengujian *epoch* sebelumnya, akurasi berdasarkan *codebooks* ini bergantung pada jumlah *epoch* dan penurunan pembaharuan *learning rate* yang menyebabkan *codebooks* diperbaharui terlalu kecil sehingga kurang efektif dalam proses identifikasi.

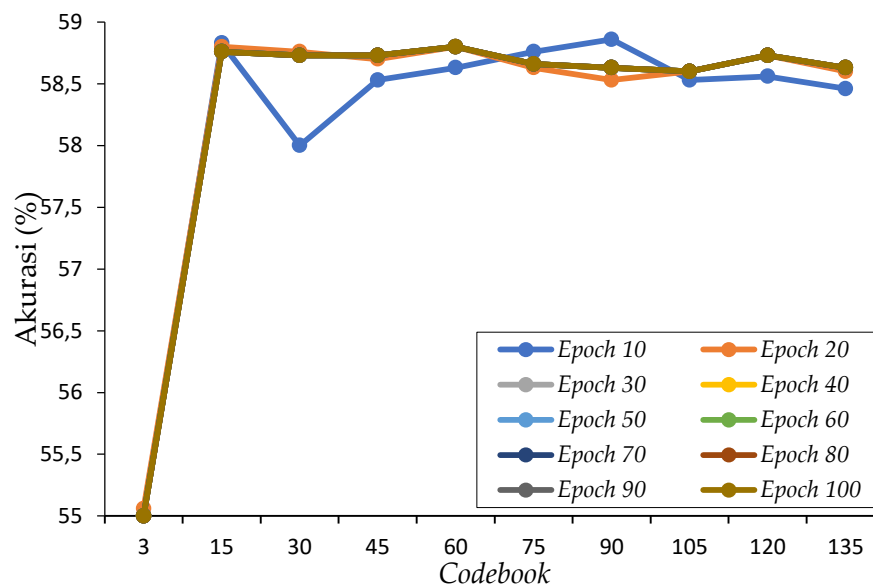


Gambar 6. Hasil pengujian metode MLVQ (*epoch* 1-10)

Hasil pengujian metode MLVQ pada *epoch* 1-10 yang ditunjukkan oleh Gambar 6 memperlihatkan bahwa *epoch* 1 dan *epoch* 7 masing-masing menunjukkan nilai akurasi terendah dan tertinggi dengan akurasi rata-rata masing-masing *epoch* sebesar 54,58% dan 58,40%. Akurasi pada pengujian ini, masih mengalami fluktuasi tetapi amplitudo yang dimiliki tidak sebesar pengujian LVQ dengan variasi *epoch* yang sama. Hasil memperlihatkan bahwa akurasi sudah tidak mengalami kenaikan yang signifikan pada saat *epoch* 20 sampai dengan *epoch* 100 sehingga grafik yang dihasilkan hampir berada dititik yang sama. Hal tersebut, menunjukan bahwa pembaharuan

learning rate yang dihasilkan sudah hampir berada pada nilai maksimum pada saat *epoch* 20.

Apabila fluktuasi dilihat berdasarkan *codebooks* terlihat bahwa akurasi terendah berada pada *codebook* 3 dan tertinggi berada pada *codebooks* 15 dengan rata-rata hasil akurasi pada masing-masing *codebooks* sebesar 54,40% dan 58,58%. Fluktuasi akurasi berdasarkan *codebooks* cenderung stabil daripada pengujian LVQ sebelumnya dengan kasus yang sama. Hal ini disebabkan karena ketergantungan pembaharuan *codebooks* dengan jumlah *epoch*.

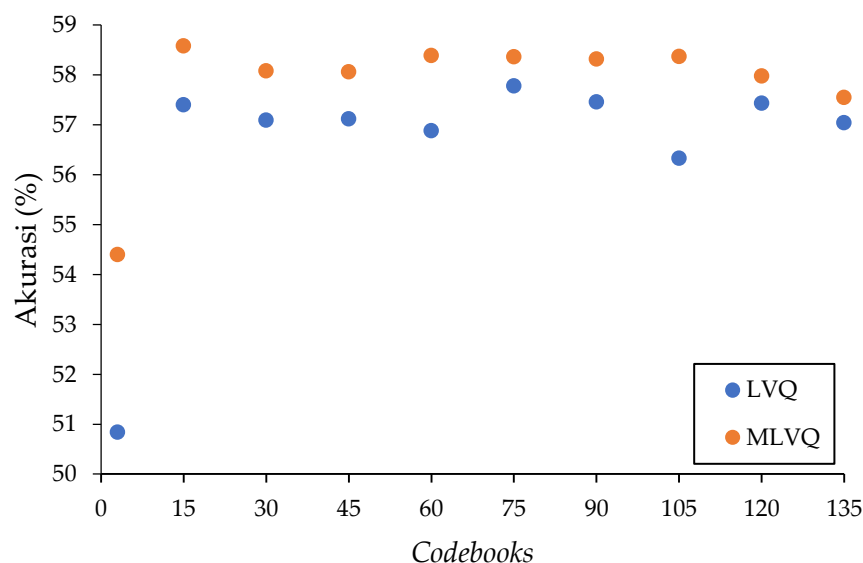


Gambar 7. Hasil pengujian metode MLVQ (*epoch* 10-100)

Hasil pengujian metode MLVQ pada *epoch* 10-100 diperlihatkan oleh gambar 7. Gambar menunjukkan bahwa fluktuasi hasil akurasi pada setiap *epoch* cukup konstan. Akurasi terendah berada pada *epoch* 10 dengan rata-rata akurasi sebesar 58,21% dan akurasi terendah berada pada *epoch* 30, *epoch* 40, *epoch* 50, *epoch* 60, *epoch* 70, *epoch* 80, *epoch* 90 dan *epoch* 100 dengan besar rata-rata akurasi yaitu, 58,32%. Hal ini terjadi karena pembaharuan *learning rate* yang dihasilkan sudah sangat kecil bahkan sudah mendekati nol. Nilai pembaharuan *learning rate* yang sudah sangat kecil ini, tidak lagi memiliki pengaruh terhadap pembaharuan *codebooks* sehingga akurasi yang dihasilkan selalu sama (konstan).

Jika dilihat berdasarkan pada *codebooks* akurasi mengalami penurunan untuk *epoch* 10,

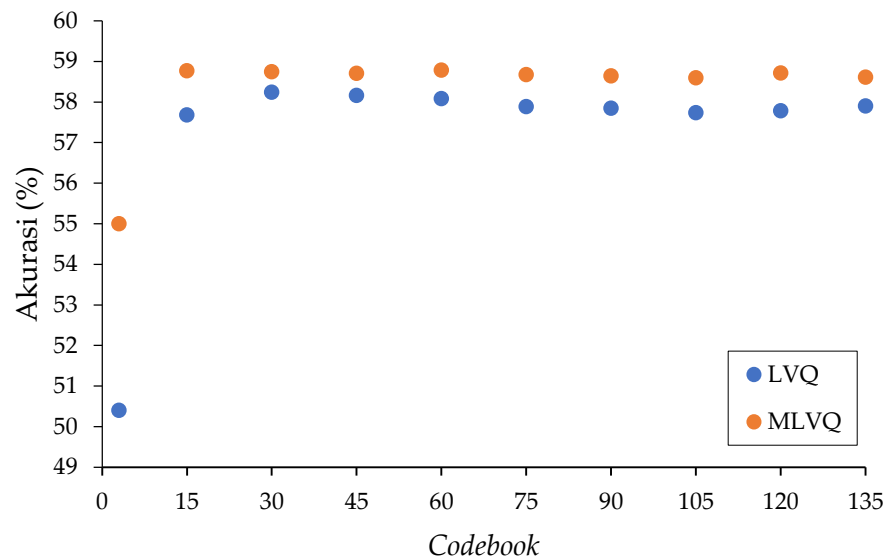
epoch 20, dan *epoch* 30 pada beberapa *codebooks*. Untuk *epoch* di atas 30 akurasi mengalami penurunan maksimum yang menyebabkan akurasi pada *epoch* selanjutnya (*epoch* 40, *epoch* 50, *epoch* 60, *epoch* 70, *epoch* 80, *epoch* 90, dan *epoch* 100) selalu konstan. Penurunan maksimum terjadi karena *codebooks* sudah tidak lagi mengalami perubahan akibat besar *learning rate* yang mendekati nol. Amplitudo yang dihasilkan sangat kecil sehingga sulit untuk terlihat. Namun berdasarkan data dapat diketahui bahwa akurasi tertinggi berada pada *codebook* 3 dan akurasi terendah berada pada *codebook* 60 dengan rata-rata akurasi masing-masing *codebooks* adalah sebesar 55% dan 58,78%.



Gambar 8. Perbandingan metode LVQ dan metode MLVQ (*epoch* 1-10)

Gambar 8 merupakan perbandingan antara metode LVQ dan metode MLVQ untuk *epoch* 1-10. Perbandingan ini didapatkan dengan merata-ratakan hasil akurasi *codebooks* di setiap *epoch* yang sudah didapatkan sebelumnya. Pada gambar terlihat bahwa metode MLVQ memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi daripada metode LVQ. Selisih akurasi tertinggi terjadi pada *codebooks* 3 sedangkan selisih akurasi terendah pada *codebooks* 135 dengan besar selisih akurasi masing-masing *codebooks* yaitu 3,35% dan 0,51%.

Perbandingan metode LVQ dan metode MLVQ (*epoch* 10-100) didapatkan sama seperti pada perbandingan metode LVQ dan metode MLVQ (*epoch* 10-100). Pada gambar 9 terlihat bahwa metode MLVQ juga memiliki tingkat akurasi rata-rata tertinggi daripada metode LVQ. Selisih akurasi tertinggi juga masih terjadi pada *codebooks* 3, sedangkan terendah terjadi saat *codebooks* 30 dengan besar selisih akurasi masing-masing *codebooks* yaitu 4,60% dan 0,50%.



Gambar 9. Perbandingan metode LVQ dan metode MLVQ (epoch 10 – 100)

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini, didapatkan bahwa metode MLVQ memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dari pada metode LVQ. Pada metode MLVQ *learning rate* didapatkan dari hasil perhitungan fungsi *gaussian*, sedangkan metode LVQ masih menggunakan *learning rate* yang ditentukan dari penelitian sebelumnya. Fluktuasi yang didapatkan pada metode MLVQ cenderung lebih stabil jika dibandingkan dengan fluktuasi pada metode LVQ yang masih acak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Sofian, & R. H. Laluma, "Klasifikasi Hasil Citra Mri Otak Untuk Memprediksi Jenis Tumor Otak Dengan Metode Image Threshold Dan GLCM Menggunakan Algoritma K-Nn (Nearest Neighbor) Classifier Berbasis Web", *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, vol. 4, no. 2, p 51, 2019. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2019.4.2.258>
- [2] K. Amalia, "Klasifikasi Penyakit Tumor Otak Pada Citra MRI Menggunakan Metode CNN Dengan Arsitektur Alexnet", *e-Proceeding of Engineering*, vol. 9, no. 5), pp. 3289–3297, 2022.
- [3] R. Wood, et al, "1.5 Tesla Magnetic Resonance Imaging Scanners Compared with 3.0 Tesla Magnetic Resonance Imaging Scanners: Systematic Review of Clinical Effectiveness", *CADTH Technology Overviews*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2012.
- [4] E. Ketaren, "Modifikasi Jaringan Syaraf Tiruan Learning Vector Quantization Pada Pengenalan Wajah", Skripsi, FMIPA Universitas Sumatera Utara, 2016.
- [5] I. G. Bgs, B. Adi, I. M. Widiartha, & L. Gede, "Implementation Learning Vector Quantization (LVQ) for Chronic Kidney Disease Classification", *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, vol. 9, no. 2, pp. 241–248, 2020.
- [6] R. Y. Liu, C. Y. Wu, & I. C. Jou, "A CMOS current-mode design of modified learning-vector-quantization neural networks", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 8, no. 2, pp. 157–181, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF01239108>

