

Teleskop 50-cm Observatorium Nasional Timau: Performa dan Status Terkini (The 50-cm Telescope Timau National Observatory: Performance and Current Status)

M. D. Danarianto¹ dan M. B. Saputra¹

¹Balai Pengelola Observatorium Nasional, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Kupang

Riwayat naskah

Diterima: 31-12-2020
Direvisi: 31-12-2021
Disetujui: 27-09-2022

Korespondensi:

MD Danarianto
dio.danarianto@lapan.go.id

ABSTRAK

Sebuah teleskop 50-cm f/3,8 dengan kemampuan robotik telah terpasang di kawasan Kantor Operasional Balai Pengelola Observatorium Nasional, Kupang, Nusa Tenggara Timur. Teleskop dilengkapi dengan CCD beresolusi 4K, tiga filter fotometri dan empat filter fotografi. Sistem teleskop ini dirancang sanggup melakukan survei dan tindak lanjut fenomena transien. Dalam manuskrip ini, kami memaparkan status dan performa teleskop disertai dengan analisis fotometri, astrometri, dan pengamatan satelit buatan berdasarkan observasi yang dilakukan tahun 2020.

Kata kunci: teleskop robotik, instrumentasi: fotometer, fotometri

ABSTRACT

A 50-cm f/3,8 telescope with robotic capability has been installed in the National Observatory Operational Office area, Kupang, East Nusa Tenggara. The telescope is equipped with 4K resolution CCD, three photometric filters and four photographic filters. The telescope system is designed to be capable of conducting transient survey and follow-up observations. In this manuscript, we explain the status and performance of the telescope followed by photometry, astrometry, and artificial satellite observation analyses based on observations conducted in 2020.

Keywords: robotics telescope, instrumentation: photometer, photometry

1. PENDAHULUAN

Observatorium Nasional Timau yang merupakan kerja sama antara LAPAN, ITB, Universitas Nusa Cendana, Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, dan Pemerintah Kabupaten Kupang ini merupakan fasilitas pengamatan astronomi yang dibangun di lereng Gunung Timau, Kabupaten Kupang. Observatorium Nasional Timau nantinya akan memiliki fasilitas utama berupa teleskop berdiameter 3,8 meter dan ditambah dengan beberapa teleskop lebih kecil lainnya, diantaranya adalah teleskop 50 cm untuk keperluan survei (Mumpuni *et al.*, 2018).

Teleskop optik berdiameter cermin 50 centimeter f/3,8 Observatorium Nasional

Timau tersebut saat ini terpasang di Balai Pengelola Observatorium Nasional (10,1420° LS, 236,2686° BT, 100 mdpl), ~20 km dari pusat Kota Kupang dan dikelola oleh Balai Pengelola Observatorium Nasional.

Teleskop ini memiliki pasangan berdiameter sama dengan nisbah fokal lebih besar, f/8. Teleskop pasangan ini masih tersimpan di Balai Pengelola Observatorium Nasional untuk nantinya dipasang di Observatorium Nasional Timau. Kedua teleskop ini akan digunakan untuk berbagai sasaran, beberapa diantaranya yaitu survei dan tindak lanjut fenomena transien.

Teleskop bertipe Cassegrain ini dibuat oleh Officina Stellare dengan optik kustom yang memiliki cermin utama *spherical*.

Teleskop ini ditopang oleh dudukan bertipe *fork* buatan Software Bisque yang memiliki kemampuan robotik. Teleskop dipasang di dalam kubah *cangkang kerang* buatan Astrohaven berdiameter 5 meter. Kondisi teleskop dari dalam kubah dapat dilihat pada Gambar 1.

Kubah dan teleskop terpasang di akhir 2019 dan mulai dioperasikan awal 2020. Pada konfigurasi ini, teleskop mencakup daerah langit di ketinggian lebih dari 30°. Ruang kontrol terdapat di bawah kubah teleskop. Namun, pada saat ini kontrol dilakukan oleh operator di dalam kubah teleskop untuk memastikan teleskop berjalan sebagaimana mestinya.

Di manuskrip ini, kami akan membahas secara ringkas mengenai deskripsi dan status perangkat (Bab 2), metodologi (Bab 3), hasil dan analisis pengamatan yang telah dilakukan berdasarkan observasi yang telah dilakukan sepanjang tahun 2020 (Bab 4), dan kesimpulan (Bab 5).



Gambar 1. Konfigurasi teleskop yang terpasang di dalam kubah.

2. DESKRIPSI DAN STATUS PERANGKAT

Status dan performa komponen perangkat akan dijelaskan pada bagian ini. Detail parameter teleskop terdapat pada Tabel 1 dan parameter kamera pada Tabel 2.

2.1. Optik dan Kamera

Sistem tabung teleskop menggunakan f/3,8 Officina Stellare RiFast 500 yang terdiri dari cermin utama *aspherical* dan cermin sekunder sferis dengan lensa korektor di dekat bidang fokus. Badan teleskop berbahan serat karbon yang ringan dan memiliki ekspansi termal yang rendah. Teleskop dilengkapi dengan katup penutup untuk menjaga cermin utama ketika teleskop tidak digunakan. Terdapat aktuator pada cermin sekunder sehingga posisi fokus dapat diubah.

Selain itu, *focuser* dan rotator absolut Rotofoc 3" V2 terpasang di sisi belakang tabung.

Pada konfigurasi ini, kamera yang digunakan yaitu *charge coupled device* (CCD) FLI PL16803 dengan sensor On Semi KAF-16803 yang memiliki resolusi 4096×4096 piksel. Kamera memiliki pendingin internal yang mampu mencapai 55°C di bawah temperatur lingkungan.

Tabel 1. Parameter optik teleskop 50 cm.

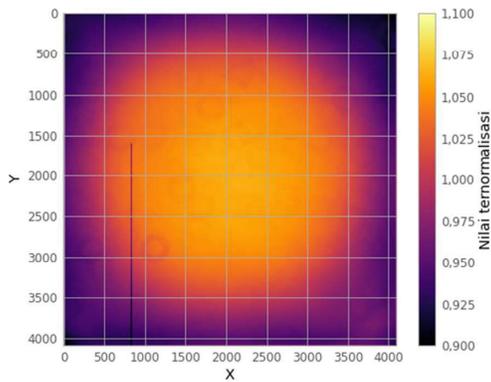
Parameter	Nilai
Diameter cermin primer	500 mm
Panjang fokus	1900 mm
Nisbah fokal	3,8
Obstruksi linier	55%
Medan citra terkoreksi	80 mm
Ukuran sensor	4096x4096 piksel 36,86 × 36,86 mm ²
Nisbah piksel	0,98"/piksel
Medan pandang	1,11°
Filter	BRI Fotometri LRGB Fotografi

Tabel 2. Parameter kamera CCD FLI PL16803.

Parameter	Nilai
Tipe sensor	ON Semi KAF-16803
Mode <i>readout</i>	1 MHz & 8 MHz
Tipe CCD	<i>Front Illuminated</i>
Ukuran piksel	9 μm
Kapasitas <i>full well</i>	10 ⁵ e ⁻
Derau <i>readout</i> @1MHz (<i>bin</i>)	6,37 e ⁻ (1x1) 9,78 e ⁻ (2x2)
<i>Dead time</i> (<i>bin</i>)	19 s (1x1) 10 s (2x2) 7 s (3x3)
<i>Gain</i>	1,46 e ⁻ /ADU
Arus <i>dark</i> (@100 s)	< 2 e ⁻ /piksel

Kami mengatur temperatur operasional pada -20°C. Sensor memiliki efisiensi kuantum sekitar 60% pada panjang gelombang 550 nm. Kamera dipasang roda filter CL-1-10 dengan set filter Johnson B, Cousins R, Cousins I, dan 4 filter warna LRGB fotografi.

Performa CCD telah dipelajari oleh Bumbungan *et al.* (2019). Secara umum, performa CCD diringkas pada Tabel 2. Citra *flat* diperoleh menggunakan langit saat fajar dan senja. *Vignetting* terlihat jelas pada citra *flat* dengan perbedaan terang pusat dan sudut citra berbeda sekitar 10% (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik warna citra *flat*. Sumbu x dan y secara berurutan merepresentasikan kolom dan baris pada citra CCD. Warna merepresentasikan nilai terang yang ternormalisasi terhadap nilai rerata. Tampak pola *vignetting*, cincin, dan *bad column*.

Pola ini juga ditemukan pada teleskop serupa (Hardy *et al.*, 2015).

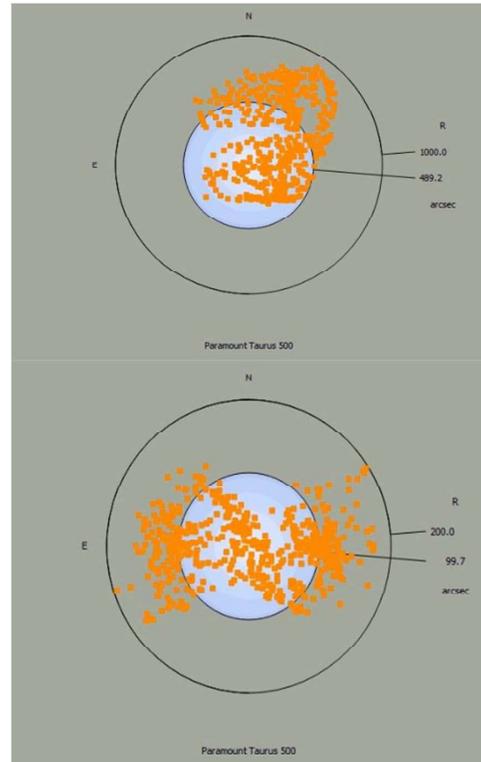
Selain *vignetting*, cacat optik berupa astigmatisme teleskop ini telah dipelajari oleh Priyatikanto *et al.* (2020) menggunakan metode defokus. Berdasarkan studi tersebut, diperoleh koefisien Zernike Z_2^2 bernilai 200 nm, lebih kecil daripada panjang gelombang operasional teleskop ($\sim 350 \text{ nm} - 900 \text{ nm}$).

2.2. Dudukan

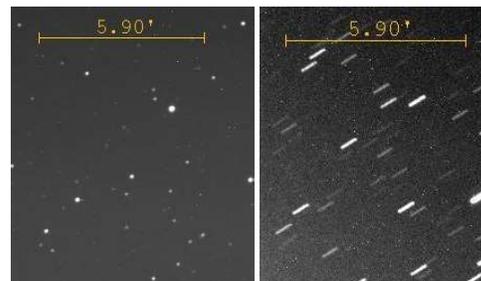
Teleskop ditopang oleh dudukan berjenis garpu tala Paramount Taurus 500. Bentuk garpu tala memungkinkan teleskop untuk *tracking* secara terus-menerus tanpa terjeda oleh *meridian flip*. Roda gigi penggerak sumbu asensio rekta (RA) dan deklinasi (Dek) menggunakan mekanisme antarmuka roda cacing-ke-gir bermuatan pegas, sehingga tidak ada reaksi berbalik (*backlash*).

Dudukan dilengkapi dengan *encoder* absolut pada dua sumbu. Namun, komponen ini masih menampilkan posisi yang berlawanan dengan arah teleskop, sehingga belum dapat digunakan. Pada konfigurasi saat ini, posisi asensio rekta dan deklinasi dibaca menggunakan *encoder* relatif yang perlu dilakukan *homing* setiap dudukan dihidupkan. Oleh karena itu, galat periodik dan akurasi *pointing* masih belum mencapai akurasi subdetikbusur.

Kecepatan gerak teleskop diatur pada 60% dari kecepatan maksimal yang dapat mencapai 3,5 derajat per detik. Kecepatan ini dibatasi oleh beban dan kesetimbangan



Gambar 3. Sebaran galat *pointing* tanpa koreksi (atas) dengan koreksi model Tpoint (bawah). Bagan dihasilkan melalui program The SkyX.



Gambar 4. Potongan citra dengan eksposur 1000 detik di sekitar Aquarius (kiri) dan 500 detik di sekitar Andromeda (kanan) yang diambil tepat setelahnya.

teleskop karena apabila torsi impuls terlalu besar, roda gigi dapat tergelincir ketika motor akselerasi atau deselerasi. Elektronik di dudukan harus dimulai ulang apabila hal ini terjadi karena *encoder* absolut masih tidak bisa digunakan.

Akurasi *pointing* dari konfigurasi teleskop ini adalah 1,6 menit busur rms (*root mean square*) berdasarkan 150 sampel posisi yang diambil dalam satu malam (Gambar 3). Akurasi dapat ditingkatkan dengan

membangun model Tpoint (Wallace, 1994) berdasarkan data galat posisi teleskop.

Teleskop memiliki kemampuan *tracking* dengan laju kustom pada dua sumbu. Hal ini memungkinkan untuk pengamatan benda Tata Surya yang redup maupun satelit orbit rendah yang bergerak cepat. Rata-rata eksposur yang dapat diambil tanpa terlihat jejak (*trail*) adalah sekitar 200 detik karena teleskop tidak memakai *guider*. Namun, teleskop dapat mengompensasi galat arah deklinasi berdasarkan model Tpoint. Oleh karena itu, akurasi *tracking* sangat bergantung pada model Tpoint yang dibangun, yang juga bergantung pada akurasi bacaan *encoder*. Sebagai contoh, pada suatu kondisi, eksposur dapat mencapai 1000 detik tanpa terlihat jejak. Namun, persis setelah target observasi diubah, pada eksposur 500 detik bintang kembali berjejak (Gambar 4).

2.3. Sistem Kontrol

Teleskop dikontrol menggunakan sebuah komputer berbasis Windows yang bertindak sebagai pengontrol, pengambil data, server kontrol jarak jauh, dan perekam cuaca. Komponen kamera, fokus, dan filter dikontrol menggunakan Maxim DL, sedangkan dudukan dikontrol melalui program The SkyX. Sebagian besar perangkat dikontrol melalui antarmuka ASCOM (Denny, 2002). Diagram kontrol dapat dilihat pada Gambar 5.

Dalam mode observasi manual, The SkyX juga digunakan untuk mengontrol Maxim DL. Beberapa fitur dapat diotomatisasi menggunakan The SkyX, seperti pengambilan sampel Tpoint dan pengambilan mosaik langit. *Tracking* kustom juga dilakukan di program ini dan dapat mengikuti objek non-sideris, baik itu yang bergerak lambat seperti komet dan asteroid maupun yang bergerak cepat seperti satelit orbit rendah.

Dalam mode robotik, seluruh komponen diintegrasikan melalui program ACP Observatory. Program ini terdiri dari program pengontrol, penjadwal, peladen web, dan penerima kejadian transien melalui protokol VOEvent. Namun, pengamatan secara robotik penuh masih belum dapat dilakukan karena terdapat masalah pada resinkronisasi dan *focuser*. Ketika teleskop menyinkronisasi terhadap galat *pointing*, skrip observasi selalu gagal dan tidak dapat dilanjutkan. Selain itu, program Focusmax mengalami galat dan berhenti bekerja setiap perintah fokus

otomatis dijalankan. Kami masih mempelajari penyebab masalah ini.

2.4. Kubah dan Monitor Cuaca

Teleskop terpasang di dalam kubah berjenis cangkang kerang berdiameter 5 m yang dapat dikontrol menggunakan antarmuka ASCOM. Kubah jenis ini memungkinkan waktu gerak teleskop yang cepat tanpa menunggu kubah untuk berputar seperti pada kubah konvensional. Hal ini memungkinkan teleskop untuk mengejar objek transien eksplosif dengan cepat atau mengikuti satelit orbit rendah.

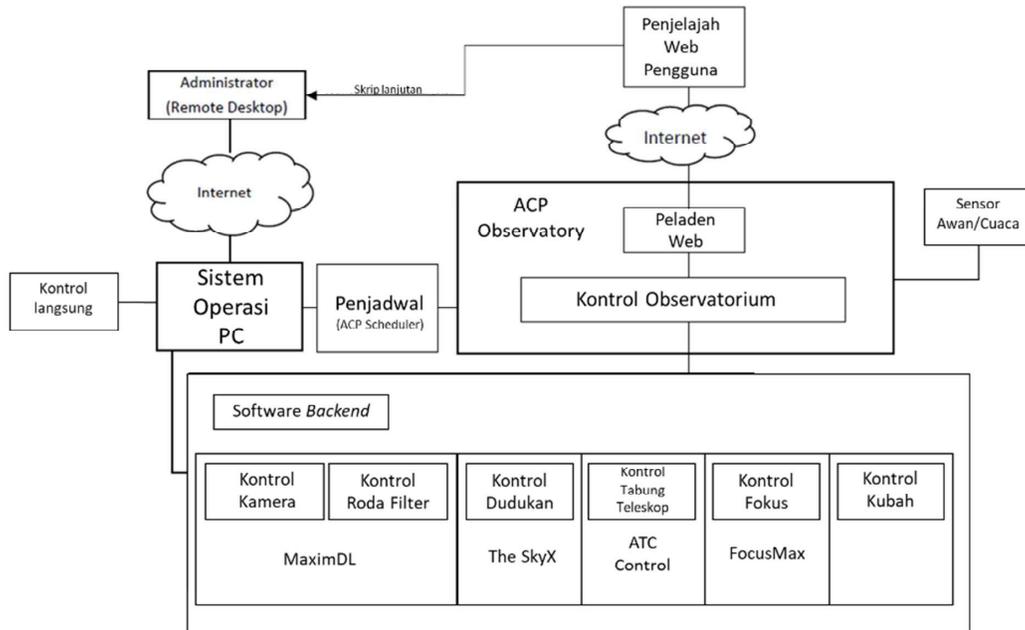
Pemantau cuaca merupakan komponen yang sangat krusial dalam hal keamanan teleskop robotik. Komponen pemantau cuaca memberi informasi ke sistem apakah kondisi langit cukup aman untuk melakukan observasi atau tidak. Informasi mengenai kondisi meteorologis diperoleh dari perangkat AAG Cloud Watcher yang memiliki sensor inframerah untuk mendeteksi keberadaan awan, sensor tetesan hujan, temperatur, dan kecerlangan langit.

2.5. Elektronik

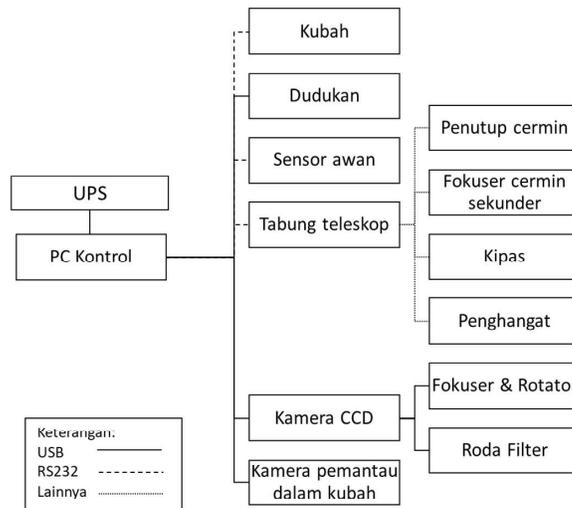
Sebagian besar perangkat terhubung ke komputer pengontrol melalui antarmuka USB dan RS232. Listrik motor kubah, komputer pengontrol, dan teleskop terhubung melalui sebuah *uninterrupted power supply* (UPS) yang ditujukan untuk menyokong daya agar kubah dapat ditutup ketika listrik padam. Diagram sambungan komponen elektronik dapat dilihat di Gambar 6.

3. METODOLOGI

Pengambilan data dilakukan pada periode Juli-September 2020. Seluruh citra observasi yang digunakan pada makalah ini diperoleh pada malam fotometrik ketika Bulan berada pada fase cekung. Kubah teleskop dan penutup cermin dibuka mulai senja nautikal untuk menyamakan temperatur dalam dan luar kubah. Kipas teleskop dan pendingin kamera dinyalakan setelahnya. Temperatur sensor diatur pada -20°C . Pengaturan fokus dilakukan pada filter I di setiap awal pengamatan. Titik fokus ditentukan dari titik minimum *half flux diameter* (HFD) bintang acuan terhadap posisi fokus. Fokus filter lain dihitung relatif terhadap posisi fokus pada filter I dan besarnya cenderung tidak berubah sehingga cukup mencari posisi fokus pada filter I setiap awal pengamatan.



Gambar 5. Diagram kontrol robotik teleskop.



Gambar 6. Diagram koneksi elektronik komponen teleskop.

Citra *bias* dan *dark* diperoleh sesaat sebelum dan setelah sesi pengamatan dilakukan. Citra *flat* diambil menggunakan langit fajar. Seluruh citra tersebut kemudian direduksi dan dibuat citra master.

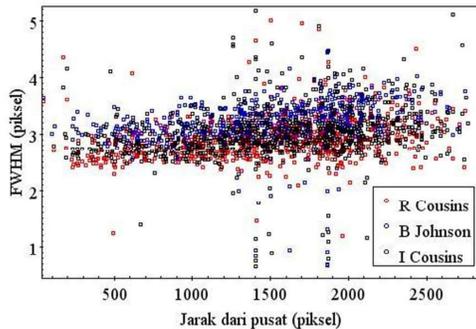
Seluruh citra pengamatan kemudian direduksi menggunakan *CCD Data Processor* pada *AstrolmageJ* (Collins, 2017). *Platesolve* dilakukan menggunakan *ANSVR* (Astrometry.net). Citra kemudian dianalisis menggunakan *AstrolmageJ* dan *Aperture Photometry Tool* (Laher *et al.*, 2012). Data tabulasi hasil fotometri dibandingkan dengan

katalog *Vizier* (Ochsenbein *et al.*, 2020) melalui *Topcat* (Taylor, 2017).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Performa Optik

Citra yang berpusat di M77 (RA 02^h42^m40^s, DEK -00°00'48") digunakan untuk menganalisis performa optik teleskop secara *in situ*. Fokus terbaik yang diperoleh adalah pada rerata FWHM (*full width at half maximum*) 3,0, 2,7, dan 2,8 detik busur masing-masing pada filter B, R, dan I. Hasil



Gambar 7. Sebaran FWHM radial objek titik dengan signifikansi di atas 3σ pada tiga citra dengan filter fotometri yang berbeda. Nilai FWHM cenderung meningkat semakin jauh jarak radial dari pusat citra akibat efek kurvatur.

ini masih berada di atas batas Dawes optik dan *seeing* lokasi ($\sim 0,7$ detik busur). Hal ini diperkirakan akibat getaran oleh angin dan *seeing* lokal akibat turbulensi udara dan sebaran panas di dalam kubah maupun tabung teleskop. Selain itu, efek kurvatur medan terlihat pada FWHM bintang citra pengamatan (Gambar 7). Efek ini terjadi ketika bidang fokus optik (bidang Petzval) yang melengkung jatuh pada sensor yang datar. Titik fokus optimal diatur pada posisi tengah citra sehingga FWHM semakin besar pada posisi semakin jauh dari pusat. Contoh potongan apertur bintang dapat dilihat pada Gambar 8.

4.2. Fotometri

Sebagai sampel, kami melakukan fotometri apertur terhadap lima citra gugus bola M2 (RA $21^{\text{h}}33^{\text{m}}27^{\text{s}}$, DEK $-00^{\circ}49'23''$, *airmass* 1,37-1,46) pada filter R (Gambar 9) untuk melihat statistik sebaran magnitudo objek titik. Kelima citra tersebut kemudian dikalibrasi menggunakan citra *bias*, *dark*, dan *flat*. Kami mendeteksi *point spread function* (PSF) yang memiliki signifikansi di atas 5σ menggunakan Aperture Photometry Tool. Pengukuran magnitudo instrumental dilakukan pada PSF yang terdeteksi di semua citra pada posisi yang sama. Nilai magnitudo diukur dengan terlebih dahulu mengurangi nilai pengukuran di dalam apertur dengan median anulus latar belakang. Magnitudo instrumental dinormalisasi setara dengan eksposur 1 detik. Magnitudo setiap bintang kemudian dirata-ratakan dari kelima citra tersebut.

Informasi posisi PSF dalam RA dan DEC dicocokkan dengan data survei TASS Mark III (Richmond *et al.*, 2000) dan USNO B1.0 (Monet *et al.*, 2003) dalam rentang toleransi 5 detik busur untuk kemudian dibandingkan antara magnitudo bintang yang diukur dengan katalog. Sebanyak 246 bintang dicocokkan dengan katalog TASS Mark III dan 1420 bintang dicocokkan dengan USNO B1.0.

Sebaran selisih antara magnitudo terukur dengan katalog dapat dilihat pada Gambar 10. Kami memperoleh nilai rerata titik nol magnitudo instrumental sebesar 19,89 magnitudo dengan standar deviasi 0,19 magnitudo (TASS Mark III) dan 19,91 magnitudo dengan standar deviasi 0,52 magnitudo (USNO B1.0). Nilai ini dihitung dengan menganggap data yang memiliki selisih $\pm 0,3$ magnitudo terhadap median sebagai pencilan. Perlu dicatat bahwa besar variasi nilai kalibrasi magnitudo ini bergantung pada seberapa variabilitas bintang yang ada pada suatu citra, akurasi pengukuran magnitudo katalog, seberapa baik kalibrasi *flat field*, dan galat instrumental lainnya. Histogram magnitudo bintang yang terkalibrasi dapat dilihat pada Gambar 11.

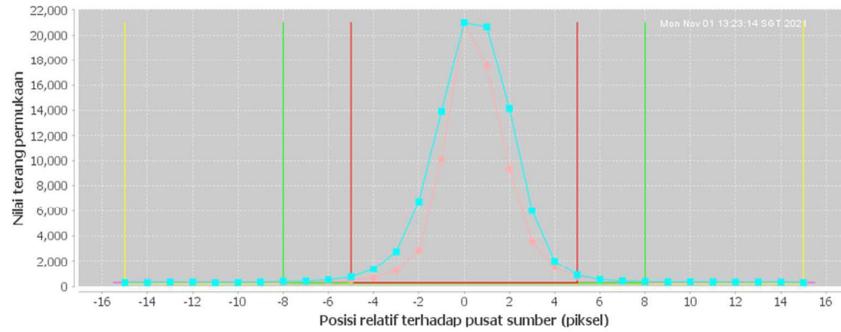
Kami mengulangi cara yang sama pada citra yang terpusat pada M77 pada filter B, R, dan I dengan *airmass* 1,04 dengan eksposur 300 detik. Sampel citra M77 pada filter R ditunjukkan pada Gambar 11.

Deteksi PSF dilakukan dengan signifikansi 3σ . Kami menggunakan katalog UCAC4 (Zacharias *et al.*, 2013) untuk kalibrasi pada filter B dan TASS Mark III untuk filter R dan I. Hasil tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

4.3. Deteksi Objek Kecil Tata Surya

Kami mencari PSF yang berpindah pada filter B, R, dan I masing-masing 3 citra yang berpusat pada NGC 1068 dengan eksposur 300 detik. Citra diambil pada tanggal 17 September 2020. Citra dilakukan *platesolve* terlebih dahulu dan PSF diidentifikasi menggunakan *Pinpoint* dengan kriteria signifikansi di atas 1 sigma dan FWHM di atas 3 piksel. Kami menemukan 2 objek yang berpindah pada setiap *frame*. Berdasarkan waktu dan posisinya, kami mengidentifikasi objek tersebut menggunakan layanan daring MPChecker¹. Kedua objek tersebut dapat diidentifikasi sebagai (6721) Minamiawaji dan (67143) 2000 AY170.

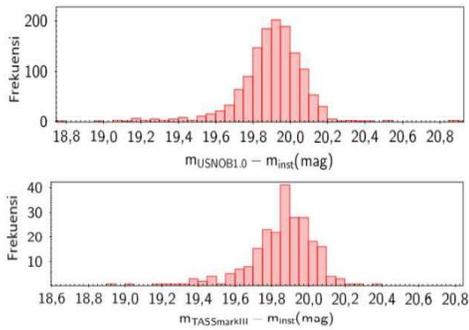
¹ <https://minorplanetcenter.net/cgi-bin/checkmp.cgi>



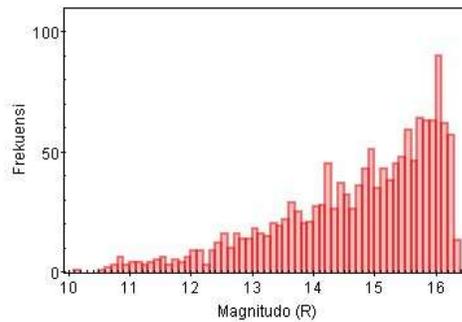
Gambar 8. Sampel potongan nilai terang permukaan pada sumbu x (biru) dan sumbu y (merah muda) dengan FWHM 3 detik busur. Garis vertikal berwarna merah, hijau, dan kuning masing-masing merepresentasikan radius apertur, batas latar dalam, dan batas latar luar.



Gambar 9. Citra R yang berpusat pada M2 (kiri) dan berpusat pada M77 (kanan).



Gambar 10. Sebaran selisih magnitudo instrumental citra M2 terhadap katalog USNO B1.0 (atas) dan TASS mark III (bawah).



Gambar 11. Sebaran magnitudo bintang dengan signifikansi PSF di atas 5σ pada citra M2 yang terkalibrasi menggunakan data dari katalog TASS Mark III. Waktu eksposur 200 detik, di mana nilai terang latar masuk ke dalam linearitas CCD.

Tabel 3. Statistik kalibrasi fotometri B-R-I bintang pada bingkai citra NGC 1068.

Pita	B	R	I
Katalog	UCAC4	TASS Mark III	TASS Mark III
Titik nol ternormalisasi 1s (mag)	19,93	19,84	19,26
Standar deviasi	0,062	0,094	0,091
Min. @3 σ (mag)	11,38	9,12	8,43
Maks. @3 σ (mag)	17,87	18,27	17,35

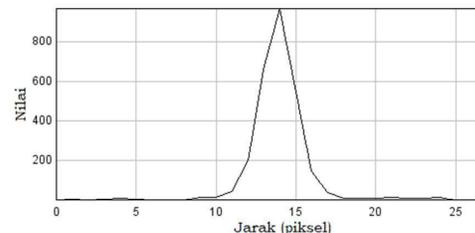
Informasi mengenai PSF yang teridentifikasi sebagai asteroid dapat dilihat pada Tabel 4. Fotometri apertur, pengukuran FWHM, dan *roundness* dilakukan menggunakan AstrolmageJ. Magnitudo instrumental dinormalisasi setara eksposur 1 detik.

4.4. Observasi Satelit Buatan

Kami mendemonstrasikan performa observasi satelit buatan melalui pengamatan satelit geostasioner. Pada pengamatan ini, posisi objek statis relatif terhadap pengamat sehingga galat *tracking* tidak terjadi karena motor kedua sumbu tidak bergerak. Melalui cara ini, kami melihat kemampuan objek buatan dapat diobservasi dan diidentifikasi.

Kami melakukan observasi satelit geostasioner dengan laju *tracking* kustom pada tanggal 18 Agustus 2020 pukul 18.42 WITA. Perintah *tracking* orbit satelit dilakukan melalui The SkyX. Informasi posisi satelit diperoleh melalui layanan daring Celestrak² dalam bentuk *two line elements* (TLE). The SkyX dapat mengonversi informasi TLE menjadi posisi sehingga teleskop dapat dikontrol untuk langsung mengarah dan mengikuti satelit hanya melalui informasi dari TLE.

Sebagai sampel, kami melakukan observasi satelit geostasioner di sekitar posisi 35812U PALAPA D pada filter B dengan eksposur 30 detik. Kami mengidentifikasi tiga PSF yang nampak dan membandingkannya dengan informasi yang diperoleh dari TLE. Potongan PSF yang diperoleh pada pengamatan tersebut ditunjukkan pada Gambar 12. Karakteristik citra objek yang telah diidentifikasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 12. Potongan PSF satelit PALAPA D yang diambil pada filter B dengan eksposur 30 detik, di mana nilai PSF satelit cukup signifikan dan *trail* bintang latar tidak terlalu panjang.

5. KESIMPULAN

Kami telah memaparkan status, konfigurasi, dan performa teleskop 50 cm f/3,8 yang terpasang di Kantor Balai Pengelola Observatorium Nasional. Teleskop nantinya akan digunakan untuk banyak sasaran. Secara umum, masih terdapat beberapa tantangan untuk meningkatkan akurasi *tracking* dan *pointing* serta untuk mengimplementasikan kontrol robotik secara penuh. Meskipun belum ada pengamatan sains tingkat lanjut spesifik yang telah dilakukan, kami mengambil tiga contoh pengamatan yang telah dilakukan untuk mengevaluasi performa perangkat untuk keperluan fotometri, pengamatan objek Tata Surya, dan satelit buatan. Konfigurasi dan hasil yang telah dipaparkan di sini merupakan hasil awal yang nantinya akan diperbarui sesuai dengan sasaran ilmiahnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Observatorium Nasional merupakan upaya kolaboratif dari LAPAN, Institut Teknologi Bandung, Universitas Nusa Cendana, Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, dan Pemerintah Kabupaten Kupang. Kami berterimakasih kepada R Priyatikanto dan MT Bumbungan atas masukkan dan diskusinya.

² <http://www.celestrak.com/>

Tabel 4. Astrometri objek titik bergerak yang terdeteksi pada bingkai citra NGC 1068.

(6721) Minamiawaji

Bingkai No.	Waktu (tanggal)	RA 02j42m	DEK +00°32'	Filter	Magnitudo Instrumental (ternormalisasi)	FWHM (piksel)	Roundness
1	17,78426	43,14s	6,6"	B	-2,73	3,76	0,97
2	17,78821	43,06s	6,5"	I	-3,49	4,82	0,93
3	17,79196	42,99s	6,7"	R	-3,76	3,43	0,96
4	17,79615	42,88s	6,2"	B	-2,73	3,34	0,95
5	17,79987	42,79s	6,5"	I	-3,82	4,63	0,86
6	17,80362	42,71s	6,6"	R	-3,84	3,21	0,99
7	17,80782	42,60s	6,6"	B	-2,52	3,48	0,96
8	17,81155	42,52s	6,6"	I	-3,45	4,19	0,99
9	17,81529	42,43s	6,7"	R	-3,71	3,12	0,99

(67143) 2000 AY170

Bingkai No.	Waktu (tanggal)	RA 02j42m	DEK +00°32'	Filter	Magnitudo Instrumental (ternormalisasi)	FWHM (piksel)	Roundness
1	17,78426	1,03s	13,1"	B	-1,95	3,17	0,86
2	17,78821	1,15s	5,80"	I	-2,69	3,90	0,26
3	17,79196	1,07s	6,97"	R	-3,13	3,87	0,96
4	17,79615	1,07s	16,7"	B	-1,95	3,68	0,99
5	17,79987	1,13s	12,0"	I	-2,86	3,55	0,45
6	17,80362	1,23s	12,2"	R	-3,26	3,57	0,95
7	17,80782	1,18s	23,6"	B	-2,02	3,69	0,96
8	17,81155	1,26s	18,6"	I	-2,91	3,02	0,95
9	17,81529	1,31s	20,8"	R	-3,21	3,38	0,97

Tabel 5. Properti PSF objek geostasioner yang teridentifikasi.

Nama objek	Sentroid (piksel)		FWHM (piksel)	Magnitudo instrumental (ternormalisasi)
	x	y		
35812U PALAPA D	2108,3	1877,9	2,78	-6,05
42984U KOREASAT 5A	1190,9	3515,9	3,15	-6,19
29349U KOREASAT 5 (MUGUNGWHA5)	1541,3	3523,3	3,54	-6,86

DAFTAR RUJUKAN

- Bumbungan, M. T., Priyatikanto, R. P., Danarianto, M. D., Saputra, M. B., Rohmah, F., Murti, M. D., ... & Legita, N. D. (2019). Two 0.5-m robotic telescopes for Timau National Observatory in eastern Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1231, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Collins, K. A., Kielkopf, J. F., Stassun, K. G., & Hessman, F. V. (2017). AstrolmageJ: Image processing and photometric extraction for ultra-precise astronomical light curves. *The Astronomical Journal*, 153(2), 77.
- Denny, R. B. (2002). Software Interoperation and Compatibility: ASCOM Update. Society for Astronomical Sciences Annual Symposium (Vol. 21, p. 39).
- Hardy, L. K., Butterley, T., Dhillon, V. S., Littlefair, S. P., & Wilson, R. W. (2015). pt5m—a 0.5 m robotic telescope on La Palma. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454(4), 4316-4325.
- Laher, R. R., Gorjian, V., Rebull, L. M., Masci, F. J., Fowler, J. W., Helou, G., ... & Law, N. M. (2012). Aperture photometry tool. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124(917), 737.
- Monet, D. G., Levine, S. E., Canzian, B., Ables, H. D., Bird, A. R., Dahn, C. C., ... & Levison, H. F. (2003). The usno-b catalog. *The Astronomical Journal*, 125(2), 984.

- Mumpuni, E. S., Puspitarini, L., Priyatikanto, R., Yatini, C. Y., & Putra, M. (2018). Future astronomy facilities in Indonesia. *Nature Astronomy*, 2(12), 930-932.
- Ochsenbein, F., Bauer, P., & Marcout, J. (2000). The VizieR database of astronomical catalogues. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 143(1), 23-32.
- Priyatikanto, R. (2020). Astigmatisme teleskop 50 cm f/3,8 untuk Observatorium Nasional Timau. *Jurnal Sains Dirgantara*, 17(1), 39-48.
- Richmond, M. W., Droege, T. F., Gombert, G., Gutzwiller, M., Henden, A. A., Albertson, C., ... & Johnson, H. (2000). TASS Mark III photometric survey of the celestial equator. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 112(769), 397.
- Taylor, M. (2017). Topcat: Desktop exploration of tabular data for astronomy and beyond. In *Informatics* (Vol. 4, No. 3, p. 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Wallace, P. T. (1994). TPOINT--Telescope Pointing Analysis System. *StaUN*, 100.
- Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G., & Zacharias, M. I. (2013). The fourth US naval observatory CCD astrograph catalog (UCAC4). *The Astronomical Journal*, 145(2)